

# PHYSIOLOGIE · OPTIK UNTERSUCHUNGSMETHODEN BAKTERIOLOGIE

BEARBEITET VON

A. BRÜCKNER · W. COMBERG · R. DITTLER  
H. ERGGELET · R. HELMBOLD · K. VOM HOFE  
A. KOHLRAUSCH · H. K. MÜLLER  
M. ZUR NEDDEN · O. WEISS

 Springer

# KURZES HANDBUCH DER OPHTHALMOLOGIE

BEARBEITET VON

C. BAKKER-HILVERSUM · M. BARTELS-DORTMUND · C. BEHR-HAMBURG · F. BEST-DRESDEN · R. BING-BASEL · A. BIRCH-HIRSCHFELD-KÖNIGSBERG I. PR. · A. BRÜCKNER-BASEL · W. COMBERG-BERLIN · R. CORDS†-KÖLN · E. CRAMERT-COTTBUS · R. DITTLE-MARBURG · H. DOLD-KIEL · P. EISLER-HALLE · H. ERGGELET-JENA · A. FRANCESCHETTI-BASEL · E. FREY-GÖTTINGEN · W. GILBERT-HAMBURG · R. HELMBOLD-DANZIG · K. VOM HOFE-KÖLN · J. ITERSHEIMER-FRANKFURT A. M. · A. JESS-GIESSEN · A. KOHLRAUSCH-TÜBINGEN · H. KÖLLNER†-WÜRZBURG · R. KÜMMELL-HAMBURG · W. KYRIELEIS-HAMBURG · G. LENZ-BRESLAU · L. LICHTWITZ-BERLIN · A. LINCK-GREIFSWALD · W. LÖHLEIN-FREIBURG I. BR. · W. LÜTZ-BASEL · W. MEISNER-GREIFSWALD · H. K. MÜLLER-BASEL · R. A. PFEIFER-LEIPZIG · F. QUENSEL-LEIPZIG · W. REIS-BONN · H. RÖNNE-KOPENHAGEN · W. RÜNGE-CHEMNITZ · C. H. SÄTTLER-KÖNIGSBERG I. PR. · F. SCHIECK-WÜRZBURG · R. SEEFELDER-INNSBRUCK · H. STEIDLE-WÜRZBURG · R. THIEL-BERLIN · L. W. WEBER†-CHEMNITZ · O. WEISS-KÖNIGSBERG I. PR. · FR. WOHLWILL-HAMBURG · M. ZAIDE-HEIDELBERG · H. ZONDEK-BERLIN · M. ZUR NEDDEN-DÜSSELDORF

HERAUSGEGEBEN VON

**F. SCHIECK**      **UND**      **A. BRÜCKNER**  
WÜRZBURG    BASEL

ZWEITER BAND

PHYSIOLOGIE · OPTIK  
UNTERSUCHUNGSMETHODEN  
BAKTERIOLOGIE

SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH

1932

# PHYSIOLOGIE · OPTIK UNTERSUCHUNGSMETHODEN BAKTERIOLOGIE

BEARBEITET VON

A. BRÜCKNER · W. COMBERG · R. DITTLER  
H. ERGGELET · R. HELMBOLD · K. VOMHOFE  
A. KOHLRAUSCH · H. K. MÜLLER  
M. ZUR NEDDEN · O. WEISS

MIT 630 ZUM TEIL FARBIGEN ABBILDUNGEN



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH

1932

ISBN 978-3-7091-5258-4      ISBN 978-3-7091-5406-9 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-7091-5406-9

**ALLE RECHTE, INSBESONDERE DAS DER ÜBERSETZUNG  
IN FREMDE SPRACHEN, VORBEHALTEN.  
COPYRIGHT 1932 BY SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG  
URSPRÜNGLICH ERSCHIENEN BEI JULIUS SPRINGER IN BERLIN 1932.**

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
<b>Physiologie der Ernährung und der Zirkulation des Auges.</b> Von Professor Dr. O. WEISS-Königsberg i. Pr. (Mit 11 Abbildungen.) . . . . .	1
I. Physiologie der Ernährung des Auges . . . . .	1
A. Ernährung der gefäßhaltigen Teile des Bulbus . . . . .	1
1. Die Ernährung des Sehnerven . . . . .	1
2. Die Ernährung der Netzhaut . . . . .	2
3. Die Ernährung der Chorioidea, des Corpus ciliare und der Iris . . . . .	3
4. Die Ernährung der Sclera und Conjunctiva . . . . .	4
B. Ernährung der gefäßlosen Teile des Bulbus . . . . .	4
1. Die Ernährung der Hornhaut . . . . .	4
a) Die chemische Zusammensetzung der Hornhaut . . . . .	4
b) Die Ernährung der Hornhaut . . . . .	4
c) Bedingungen für die Durchsichtigkeit der Hornhaut . . . . .	6
2. Die Ernährung der Linse . . . . .	7
a) Chemische Zusammensetzung der Linse . . . . .	7
b) Ernährungsvorgänge an der Linse . . . . .	9
c) Übergang gelöster Stoffe in die Linse . . . . .	10
d) Verhalten der ganzen Linse gegen fremde Substanzen. . . . .	11
e) Bedingungen für die Durchsichtigkeit der Linse . . . . .	11
Anhang: Der Einfluß von Nerven auf die Ernährung des Auges . . . . .	13
II. Physiologie der Blutzirkulation des Auges . . . . .	13
1. Die Zirkulation in der Netzhaut . . . . .	14
2. Die Zirkulation in der Aderhaut . . . . .	16
3. Die Zirkulation in den übrigen Teilen des Auges . . . . .	18
4. Die Innervation der Gefäße des Bulbus oculi . . . . .	18
a) Die Innervation der Gefäße der Retina . . . . .	18
b) Die Innervation der Gefäße der Uvea . . . . .	19
c) Die Innervation der Gefäße der Conjunctiva . . . . .	19
III. Die lymphatische Zirkulation des Auges . . . . .	20
A. Chemie der Augenflüssigkeiten . . . . .	20
1. Humor aqueus . . . . .	20
Das Regenerat des Humor aqueus . . . . .	25
2. Humor vitreus . . . . .	26
B. Die physiologische Erneuerung des Humor aqueus . . . . .	29
1. Gründe für eine Strömung der Augenflüssigkeiten . . . . .	30
2. Über die Herkunft des Humor aqueus . . . . .	34
a) Das Corpus ciliare als Quelle des Regenerates . . . . .	34
b) Das Corpus ciliare als Quelle des normalen Humor aqueus . . . . .	35
c) Argumente gegen eine Humorbildung im Ciliarkörper . . . . .	37
d) Die Iris als Quelle des Humor aqueus . . . . .	39
e) Die Natur des Absonderungsvorganges des Humor aqueus. . . . .	40
1. Der Ciliarkörper als Filter . . . . .	40
2. Der Ciliarkörper als Drüse . . . . .	41
3. Abfluß des Humor aqueus . . . . .	43
a) Der SCHLEMMSCHE Kanal als Abflußstätte . . . . .	43
b) Die Iris als Abflußstätte . . . . .	46
c) Andere Abflußstätten des Humor aqueus . . . . .	48
d) Abfluß des Humor durch Lymphgefäße . . . . .	49
e) Die treibenden Kräfte für den Abfluß des Humor aqueus . . . . .	49
4. Kritik der Filtrationstheorie. Tatsachen, die mit ihr nicht vereinbar sind . . . . .	50
5. Erneuerung der Augenflüssigkeiten durch molekulare Kräfte . . . . .	55
6. Nerveneinfluß auf Bildung und Abfluß des Humor aqueus . . . . .	60
C. Humor vitreus . . . . .	60
D. Die übrigen Lymphgefäße des Auges . . . . .	60
Anhang: I. Der „physiologische Pupillenabschluß“ . . . . .	61
Anhang: II. Die ENRLICHSche Linie . . . . .	63

	Seite
IV. Der intraokulare Druck . . . . .	64
1. Methodik der Messung . . . . .	64
2. Instrumente zur Registrierung des Augendruckes . . . . .	65
3. Höhe des Augendruckes . . . . .	65
4. Gleichheit des Druckes im ganzen Bulbus . . . . .	66
5. Abhängigkeit des Augendruckes vom Blutdrucke und von Druckwirkungen auf das Auge . . . . .	66
6. Pulsatorische und respiratorische Schwankungen des Augendruckes . . . . .	66
7. Einfluß der Augenflüssigkeiten auf den Augendruck . . . . .	67
8. Nerveneinfluß auf den Augendruck . . . . .	68
Literatur . . . . .	68
<b>Die morphologischen Veränderungen der Netzhaut durch Lichtwirkung.</b>	
Von Privatdozent Dr. K. vom Hofe-Köln. (Mit 3 Abbildungen.) . . . . .	80
I. Die Veränderungen an den Zapfen . . . . .	80
II. Die Veränderungen an den Stäbchen . . . . .	83
III. Die Reaktion des Pigmentepithels . . . . .	84
IV. Die Bedeutung der Bewegungsvorgänge in der Netzhaut . . . . .	88
V. Die Veränderungen in der Gehirnschicht der Netzhaut . . . . .	89
VI. Die Änderungen der Färbbarkeit der Netzhaut . . . . .	90
Literatur . . . . .	90
<b>Der Sehpurpur.</b> Von Professor Dr. R. DITTLER-Marburg. (Mit 5 Abbildungen.) . . . . .	93
Vorkommen und Nachweis des Sehpurpurs S. 93. — Arten des Sehpurpurs S. 94. Physikalische und chemische Eigenschaften S. 95. — Sehgelb S. 98. — Sehpurpur und Netzhauterregung S. 102. — Die theoretischen Folgerungen S. 105. — Regeneration des Sehpurpurs S. 107.	
Literatur . . . . .	109
<b>Die chemischen Vorgänge in der Netzhaut.</b> Von Professor Dr. R. DITTLER-Marburg . . . . .	112
<b>Die elektrischen Vorgänge im Sehorgan.</b> Von Professor Dr. A. KOHLRAUSCH-Tübingen. (Mit 34 Abbildungen.) . . . . .	118
Allgemeines über die Bedeutung der objektiven Netzhautprozesse . . . . .	118
A. Das Bestandpotential . . . . .	120
1. Die Richtung und Stärke des Bestandpotentials . . . . .	120
2. Die örtliche Potentialverteilung am Bulbus . . . . .	121
3. Die zeitlichen Veränderungen des Bestandpotentials; „Gesetz der konstanten Spannungsänderung“ . . . . .	122
4. Gas-, Temperatur-, Ionen- und andere Wirkungen auf das Bestandpotential . . . . .	123
5. Der Bestandstrom und das Donnanpotential . . . . .	124
B. Das Belichtungspotential . . . . .	125
1. Die Phasen und die Stärke des Belichtungspotentials . . . . .	125
2. Die Phasenänderungen des Belichtungspotentials bei Schädigungen und unter Temperatur-, Ionen- und anderen nichtoptischen Einflüssen . . . . .	128
3. Die örtliche Verteilung des Belichtungspotentials am Bulbus . . . . .	133
4. Der Einfluß des Adaptationszustandes auf das Elektretinogramm . . . . .	134
5. Die Ablaufgeschwindigkeit des Elektretinogramms und der Gesichtsempfindungen unter verschiedenen Bedingungen . . . . .	136
6. Quantitative Beziehungen zwischen Elektretinogramm und Gesichtsempfindungen in ihrer Abhängigkeit von der Reizintensität (Lichtmenge) . . . . .	141
7. Einfluß der Wellenlängen auf den Belichtungsstrom . . . . .	143
8. Die Augenströme des Menschen . . . . .	149
9. Die periodischen Ströme vom Bulbus und Opticus . . . . .	153
a) Die periodischen Bulbusströme . . . . .	153
b) Die periodischen Opticusströme . . . . .	154
C. Theoretisches . . . . .	159
1. Zur Deutung des Bestandpotentials . . . . .	159
2. Die Belichtungspotentiale und ihre Zuordnung zur Sehfunktion . . . . .	161
3. Die Leitung verschiedener Intensitäten und Qualitäten in einer einzelnen Opticusfaser als Grundlage einer Licht- und Farbensinntheorie . . . . .	166
Literatur . . . . .	168

	Seite
<b>Lichtsinn.</b> Von Professor Dr. W. COMBERG-Berlin. (Mit 83 Abbildungen.) . . . . .	172
I. Allgemeines über den Lichtsinn und seine Erforschung . . . . .	172
II. Allgemeines über Empfindung und Wahrnehmung . . . . .	175
III. Phänomenologie des Lichtsinnes . . . . .	183
A. Analyse der einfachen Empfindungen des Lichtsinnes: Weiß, Schwarz und die Graureihe . . . . .	183
B. Das Tages- und Dämmerungssehen . . . . .	188
1. Die Verhältnisse des Tagessehens . . . . .	188
2. Dunkel- und Helladaptation . . . . .	193
3. Das Dämmerungssehen . . . . .	199
4. Folgerungen aus dem PURKINJESCHEN Phänomen. Duplizitätstheorie . . . . .	203
C. Die zeitlichen Verhältnisse bei der Erregung . . . . .	206
1. Das Anklingen bei der Erregung . . . . .	206
2. Spezielles über die Empfindungszeit . . . . .	206
3. Empfindungsanstieg, Nutzzeit, Gipfelzeit, Chronaxie . . . . .	211
4. Empfindungsverlauf bei Unterbrechung des Reizes. Nachdauer der Empfindung. Summation . . . . .	211
5. Abklingen der Erregung. Nachbilder . . . . .	213
D. Andere Erscheinungen in der Lichtsinntätigkeit . . . . .	220
1. Kontrast . . . . .	220
2. Irradiation und gleichsinnige Induktion . . . . .	228
3. Ineinandergreifen von Kontrast und Irradiation bzw. gleichsinniger Induktion . . . . .	231
4. Binokulare Erscheinungen . . . . .	232
5. Der Glanz . . . . .	238
6. Blendung . . . . .	240
IV. Die Pathologie des Lichtsinnes . . . . .	242
A. Allgemeines über die Störungen des Lichtsinnes . . . . .	242
B. Echte essentielle Störungen des Lichtsinnes . . . . .	245
C. Symptomatische Hemeralopie bei Erkrankungen des Sehorganes . . . . .	246
1. Physikalisch-optische Beeinträchtigung der Lichtsinnesfunktion . . . . .	247
2. Störung der Receptorenfunktion . . . . .	249
3. Leitungstörungen des Sehorgans . . . . .	254
D. Lichtsinnstörungen bei Allgemeinerkrankungen und Intoxikationen . . . . .	257
1. Vergiftungen durch Stoffe, die von außen zugeführt werden . . . . .	258
2. Vergiftungen durch körpereigene Produkte . . . . .	259
3. Mangel-Hemeralopie . . . . .	260
4. Andere Einwirkungen von Erkrankungen des Körpers auf die Sehsinnessubstanz . . . . .	262
E. Adaptationsstörungen auf subjektiver (psychogener) Grundlage . . . . .	262
F. Lichtsinnstörungen durch Überempfindlichkeit gegen Licht . . . . .	263
V. Untersuchungsmethoden, Apparate . . . . .	265
A. Allgemeines über Licht und Lichterzeugung, Lichtmischung und Lichtabstufung . . . . .	265
1. Allgemeines . . . . .	265
2. Lichterzeugung . . . . .	265
3. Lichtmischung . . . . .	267
4. Quantitative Lichtabstufung . . . . .	268
B. Lichtmessung, Photometrie . . . . .	270
1. Grundbegriffe der Photometrie . . . . .	270
2. Beschreibung wichtiger Photometer . . . . .	271
a) Integralphotometer . . . . .	271
b) Spezielle Apparate zur Messung von Lichtstärke und Leuchtdichte . . . . .	272
c) Spezielle Apparate zur Beleuchtungsmessung . . . . .	274
d) Andere Geräte für verschiedene Untersuchungen . . . . .	275
C. Methoden der Lichtsinnprüfung . . . . .	276
1. Vorbemerkungen . . . . .	276
2. Die Technik bei Adaptationsversuchen . . . . .	276
a) Herstellung der Helladaptation . . . . .	276
b) Herstellung der Dunkeladaptation . . . . .	278
c) Das Vorgehen bei der Prüfung der Adaptation . . . . .	278
3. Spezielle Methoden und Apparate zur Lichtsinnprüfung . . . . .	283
Literatur bei den einzelnen Kapiteln.	

	Seite
<b>Der Farbensinn.</b> Von Dr. R. HELMBOLD-Danzig. (Mit 20 Abbildungen.) . . . . .	295
Definition. Begrenzung des Gebietes . . . . .	295
I. Die Farben als Sehqualitäten . . . . .	296
II. Die OSTWALDSche Farbenlehre . . . . .	297
III. Die einfachen Lichter . . . . .	299
IV. Lichtmischung . . . . .	300
V. Die Stimmung des Sehorganes . . . . .	303
Das PURKINJESche Phänomen . . . . .	304
VI. Farbensehen der exzentrischen Netzhautteile . . . . .	305
VII. Nachbilder, Kontrast . . . . .	305
VIII. Die Störungen des Farbensinnes . . . . .	306
A. Angeborene Farbensinnstörungen . . . . .	308
B. Die erworbenen Farbensinnstörungen . . . . .	320
1. Die erworbene Blaugelbblindheit . . . . .	323
2. Die erworbene Rotgrünblindheit . . . . .	325
3. Die erworbene totale Farbenblindheit . . . . .	329
4. Das Farbigsehen (Chromatopie). . . . .	329
C. Die Diagnose der Farbensinnstörungen . . . . .	331
1. Qualitative Untersuchungsmethoden . . . . .	334
Simulation und Dissimulation von Farbensinnstörungen . . . . .	347
2. Quantitative Untersuchungsmethoden . . . . .	347
Prüfung mittels des kleinsten Netzhautbildes . . . . .	348
Prüfung mittels der geringsten Lichtintensität . . . . .	348
Prüfung mittels der minimalen objektiven Sättigung . . . . .	348
Messung der Farbenzeitschwelle . . . . .	349
Prüfung der Unterschiedsempfindlichkeit mittels Farbgleichungen . . . . .	349
Literatur . . . . .	349
<b>Die Theorien des Licht- und Farbensinnes.</b> Von Dr. R. HELMBOLD-Danzig. (Mit einer Abbildung.) . . . . .	353
<b>Die Theorien der Adaptation.</b> Von Dr. H. K. MÜLLER-Basel. (Mit 2 Abbildungen.) . . . . .	366
HERINGS Theorie der Umstimmung des Sehorganes . . . . .	366
Die physiko-chemischen Theorien der Dunkeladaptation . . . . .	367
Literatur . . . . .	377
<b>Die Physiologie des optischen Raumsinnes.</b> Von Professor Dr. R. DITTLER-Marburg. (Mit 43 Abbildungen.) . . . . .	378
Einleitung . . . . .	378
I. Das Sehen mit einem Auge . . . . .	380
1. Die Feinheit des Ortssinnes und die Sehschärfe . . . . .	380
2. Das Augenmaß . . . . .	387
3. Die geometrisch-optischen Täuschungen . . . . .	389
4. Die Grundlagen der optischen Lokalisation nach Höhe und Breite . . . . .	392
a) Die Verteilung der Raumwerte auf der Einzelnetzhaut . . . . .	392
b) Theoretische Folgerungen. . . . .	397
c) Die Veränderlichkeit des subjektiven Maßstabes . . . . .	399
d) Die absolute Lokalisation im ebenen Sehfeld . . . . .	400
e) Der Einfluß des Labyrinthes auf die optische Lokalisation . . . . .	404
5. Das Sehen von Bewegungen . . . . .	406
6. Die Einordnung des blinden Fleckes in das Sehfeld . . . . .	411
II. Das Sehen mit zwei Augen . . . . .	414
1. Die Korrespondenz der Netzhäute . . . . .	414
2. Der Horopter . . . . .	418
3. Das Sehen mit identischen Netzhautstellen . . . . .	420
4. Das Sehen mit disparaten Netzhautstellen . . . . .	425
5. Die Tiefenschärfe. . . . .	429
6. Die Stereoskopie . . . . .	432
7. Relative und absolute Tiefenlokalisation . . . . .	437
8. Der Einfluß der Erfahrung auf die Tiefenlokalisation . . . . .	442
9. Theoretisches. Wettstreit der Sehfelder . . . . .	444
Literatur . . . . .	450

	Seite
<b>Die Refraktion und die Akkommodation mit ihren Störungen.</b> Von Professor Dr. H. ERGGELETT-Jena. (Mit 202 Abbildungen.) . . . . .	460
I. Zur geometrischen Optik . . . . .	460
A. Die Spiegelung . . . . .	461
B. Die Lichtbrechung . . . . .	462
1. Die Lichtbrechung an ebenen Flächen, Platten und Keilen (Prismen) . . . . .	462
2. Die Brechung an einer und mehreren Kugelflächen . . . . .	466
a) Die Brechung an Kugelflächen mit Beschränkung auf den GAUSSSICHEN RAUM . . . . .	466
Die Einzelfläche S. 466. — Die Brechung an zwei Kugelflächen S. 474. — Die mehrteiligen Flächenfolgen S. 478. — Das Zeichen- verfahren S. 480. — Die Strahlenbegrenzung und Strahlungsver- mittlung S. 482.	
b) Die Brechung an Kugelflächen ohne Beschränkung auf den GAUSSSICHEN RAUM . . . . .	486
Die sphärische Aberration S. 487. — Der Astigmatismus schiefer Bündel S. 489.	
II. Die Dioptrik des Menschauges . . . . .	497
A. Die Bestimmungsstücke (Konstanten) der brechenden Flächenfolge . . . . .	498
1. Die Konstanten der Hornhaut . . . . .	499
2. Die Vorderkammer . . . . .	504
3. Die Konstanten der Linse . . . . .	505
B. Das schematische Auge . . . . .	509
C. Die Ausrichtung (Zentrierung) der Flächenfolge und die Strahlenbegrenzung . . . . .	512
D. Die Sehschärfe . . . . .	513
E. Die optische Einstellung des Auges, die Refraktion . . . . .	519
1. Allgemeines . . . . .	519
2. Die Akkommodation . . . . .	522
3. Zur Bestimmung der Refraktion . . . . .	525
4. Der Astigmatismus . . . . .	528
F. Der Strahlenverlauf im Auge und seine Abweichung von der homozen- trischen Brechung . . . . .	532
1. Die monochromatischen Abweichungen im weiteren Sinn . . . . .	532
2. Die Beugungserscheinungen . . . . .	541
3. Falsches Licht auf der Netzhaut . . . . .	542
4. Die Farbenabweichung (chromatische Aberration) . . . . .	543
5. Die Strahlungsvermittlung . . . . .	545
III. Die Verwirklichung eines optischen Empfangsgerätes im Menschauge . . . . .	545
A. Allgemeines . . . . .	545
1. Der Auffangschirm des Auges, die Netzhaut . . . . .	546
Die Lage der Macula lutea . . . . .	547
2. Die Perspektive des direkten und des indirekten Sehens . . . . .	548
B. Das Vorkommen der verschiedenen Refraktionen des Menschauges . . . . .	549
C. Der Bau und die Leistungen des Auges . . . . .	557
D. Die Entstehung der Refraktionen . . . . .	559
E. Die Ungleichsichtigkeit (Anisometropie) . . . . .	564
F. Refraktionsänderungen durch Krankheiten und Verletzungen . . . . .	565
IV. Die Übersichtigkeit (Hyperopie) . . . . .	569
Die physikalisch-optischen Grundlagen für die übersichtige Ein- stellung des Auges S. 569.	
A. Die Wachstumshyperopie . . . . .	570
1. Das Vorkommen der Wachstumshyperopie . . . . .	570
2. Der klinische Befund und der Bau des hypermetropischen Auges . . . . .	571
3. Die Begleiterscheinungen und Folgezustände in stark hyperopischen Augen . . . . .	573
4. Das Sehen und die Sehstörungen der Hyperopen . . . . .	574
5. Die Behandlung der Hyperopie . . . . .	578
B. Die Hyperopie auf krankhafter Grundlage . . . . .	581
V. Die Kurzsichtigkeit (Myopie) . . . . .	583
Die physikalisch-optischen Grundlagen für die kurzsichtige Einstellung des Auges . . . . .	583
A. Die häufigsten Formen der Kurzsichtigkeit (Myopie) . . . . .	584
1. Das Vorkommen der Kurzsichtigkeit . . . . .	584
2. Der Bau des kurzsichtigen Augapfels . . . . .	588
Der Befund am lebenden Auge . . . . .	588
Der anatomische Befund . . . . .	601

	Seite
3. Die Auffassungen vom Wesen und von der Entstehung der Kurzsichtigkeit . . . . .	614
a) Die Arten der Myopie . . . . .	614
b) Die Theorien der Myopieentstehung . . . . .	616
4. Die Begleiterscheinungen und Folgezustände in stark kurzsichtigen Augen . . . . .	625
5. Das Sehen der Kurzsichtigen . . . . .	627
6. Die Behandlung der Kurzsichtigkeit . . . . .	629
a) Mechanische und operative Maßnahmen . . . . .	629
b) Die Verbesserung der optischen Einstellung des Auges durch Brillengläser . . . . .	634
c) Maßnahmen zur Bekämpfung der Kurzsichtigkeit als eines Krankheitsvorganges . . . . .	636
d) Die Prognose der Myopie . . . . .	641
e) Die Ergebnisse der Hygiene . . . . .	641
B. Andere Formen der Kurzsichtigkeit . . . . .	643
VI. Der Astigmatismus des Auges . . . . .	645
A. Genotypisch bestimmter Astigmatismus . . . . .	645
1. Die Begriffsbestimmung . . . . .	645
2. Bezeichnungen . . . . .	648
3. Die Ermittlung des Astigmatismus . . . . .	649
4. Der Sitz des Astigmatismus im Auge . . . . .	649
5. Asymmetrie und Dezentration . . . . .	652
6. Die Häufigkeit des Astigmatismus . . . . .	653
7. Die Höhe des Astigmatismus . . . . .	653
8. Die Hauptschnittslage beim astigmatischen Auge . . . . .	654
9. Der Einfluß des Geschlechts . . . . .	656
10. Das Verhältnis zwischen beiden Augen . . . . .	656
11. Die Entstehung des Astigmatismus . . . . .	657
12. Leistungsstörungen beim Astigmatismus . . . . .	660
B. Durch Verletzung oder Krankheit erworbener Astigmatismus . . . . .	665
C. Die Behandlung des Astigmatismus . . . . .	669
VII. Die Akkommodation des Auges und ihre Störungen . . . . .	677
A. Die Akkommodation beim gesunden Menschen . . . . .	677
1. Beobachtungstatsachen . . . . .	677
a) Die Ergebnisse der Leistungsprüfung . . . . .	677
b) Die optischen Mittel zur Naheinstellung des Auges . . . . .	682
c) Die im akkommodierenden Auge nachgewiesenen Bewegungen . . . . .	683
2. Die Deutung der Beobachtungen . . . . .	691
a) Der extrakapsuläre Akkommodationsmechanismus . . . . .	691
b) Der intrakapsuläre Akkommodationsmechanismus . . . . .	694
3. Die Nervenversorgung . . . . .	695
B. Die Störungen der Akkommodation . . . . .	696
1. Die übermäßige Tätigkeit der Akkommodation . . . . .	696
2. Die Minderung der Akkommodationsbreite . . . . .	699
a) Die Sehstörungen bei ungenügender Akkommodation . . . . .	699
b) Die Ursache der Akkommodationschwäche und -lähmung . . . . .	700
c) Die Behandlung der Akkommodationschwäche und -lähmung . . . . .	703
Literatur . . . . .	707
<b>Brillenlehre.</b> Von Professor Dr. H. ERGGELET-Jena. (Mit 80 Abbildungen.) . . . . .	745
A. Die Geschichte der Brille . . . . .	745
B. Allgemeines zu dem üblichen Brillenglas in endlichem Abstand . . . . .	747
C. Das ausgerichtete (zentrierte) Brillenglas vor dem Einzelauge . . . . .	751
I. Die Wirkung anastigmatischer Linsen . . . . .	751
1. Die achsensymmetrischen Brillengläser . . . . .	751
a) Der Fall dünner Strahlenbündel in der Richtung der Glasachse. (Der Augapfel steht hinter dem Brillenglas still.) . . . . .	751
Die axiale Refraktion und der Korrektionswert S. 752. — Das Brillenglas und die Größe des Netzhautbildes S. 758. — Die verschiedenen Linsenformen und das Auge S. 767. — Der Einfluß des Brillenglases auf den äußeren Akkommodationserfolg S. 773.	

	Seite
b) Der Fall dünner Bündel von endlicher Achsenneigung der Hauptstrahlen. (Das blickende Auge dreht sich hinter dem Brillenglas.) . . . . .	777
Der Einfluß auf die Perspektive S. 777. — Der Astigmatismus schiefer Bündel S. 781. — Die Blickfeldfehler S. 784. — Die Verzeichnung punktuell abbildender Brillengläser S. 785. — Besondere Formen punktuell abbildender Brillengläser S. 785.	
2. Die zweifach symmetrischen Gläser ohne astigmatische Wirkung . . . . .	787
II. Die Wirkung astigmatischer Linsen . . . . .	788
1. Der Fall dünner Strahlenbündel in der Richtung der Glasachse. (Der Augapfel steht hinter dem astigmatischen Brillenglas still.) . . . . .	788
2. Der Fall dünner Bündel von endlicher Achsenneigung der Hauptstrahlen. (Das blickende Auge dreht sich hinter dem astigmatischen Brillenglas.) . . . . .	794
III. Die Farbenfehler der Brillengläser . . . . .	801
IV. Der Einfluß des Brillenglases auf die Richtung der schiefen Hauptstrahlen . . . . .	801
1. Die Folgen der Neigungsänderung einfarbiger Hauptstrahlen . . . . .	801
a) Die Änderung der Größe des Blickfeldes . . . . .	802
b) Die Änderung der Perspektive beim Sehen durch ein Brillenglas . . . . .	804
c) Das Gesichts- bzw. Blickfeld des Brillenträgers . . . . .	806
d) Die Verzeichnung der Brillengläser . . . . .	808
2. Die Neigungsverschiedenheit farbiger Hauptstrahlen . . . . .	810
3. Die Verzerrung gegen den Rand des Blickfeldes bei astigmatischen Linsen . . . . .	811
4. Nebenbilder durch Spiegelung . . . . .	811
V. Prismatisch wirkende Brillengläser (Schiellbrillen im engeren Sinne) . . . . .	812
VI. Probier- und Zielbrillen . . . . .	815
VII. Zweistärkenbrillen und Vorhänger . . . . .	816
1. Die Zweistärkenbrillen (Doppelfocusbrillen) . . . . .	816
2. Die Vorhänger . . . . .	820
D. Die Brille für ein Augenpaar . . . . .	821
I. Die Wirkung einer gewöhnlichen Fernbrille . . . . .	821
II. Die Wirkung der Nahbrille . . . . .	822
E. Das Haft- oder Kontaktglas. (Die enge Verbindung eines Brillenglases mit dem Auge ohne gegenseitige Verschiebung.) . . . . .	824
Unter welchen Bedingungen sind Haftgläser zu gebrauchen . . . . .	828
F. Besondere Brillenformen . . . . .	831
I. Die Taucherbrillen . . . . .	831
II. LOHNSTEIN'S Wasserammer (Hydrodiaskop) . . . . .	832
III. Brillen zur Vergrößerung des Gesichtsfeldes (Rückblickbrillen) . . . . .	832
IV. Lochbrillen . . . . .	832
Zur Glaswahl . . . . .	832
Literatur . . . . .	833
<b>Klinische Untersuchungsmethoden. Von Professor Dr. A. BRÜCKNER-Basel.</b> (Mit 90 Abbildungen.) . . . . .	835
Einleitung . . . . .	835
Allgemeines zur Untersuchung im reflektierten Licht . . . . .	836
A. Die objektiven Untersuchungsmethoden . . . . .	839
I. Die Untersuchung der äußeren Teile des Auges . . . . .	839
1. Die Inspektion . . . . .	839
2. Die Untersuchung des Bindehautsackes . . . . .	839
3. Die seitliche oder fokale Beleuchtung . . . . .	840
4. Methodik der Untersuchung mit Hilfe der seitlichen Beleuchtung . . . . .	843
II. Die Lagebestimmung des Auges . . . . .	850
1. Exophthalmometrie . . . . .	850
Anhang: Piézometrie. . . . .	852
2. Die Bestimmung des seitlichen Augenabstandes . . . . .	853
III. Die Untersuchung der Pupille . . . . .	857
1. Die Pupillometrie . . . . .	857
2. Die Prüfung der Pupillenbewegungen (Kinesimetrie) . . . . .	858

	Seite
IV. Ophthalmoskopie . . . . .	862
1. Die Untersuchung mittels des Augenspiegels im durchfallenden Lichte . . . . .	863
2. Die Ophthalmoskopie im engeren Sinne . . . . .	864
a) Die Farbe des Augenhintergrundes beim Ophthalmoskopieren . . . . .	864
b) Das Augenspiegelbild . . . . .	865
3. Die Lokalisation im Augenhintergrunde . . . . .	870
4. Die Messung im Augenhintergrunde . . . . .	872
5. Die Lichtquelle bei der Ophthalmoskopie . . . . .	873
6. Besondere Anwendungsweisen der Ophthalmoskopie . . . . .	875
7. Die reflexfreie Ophthalmoskopie . . . . .	875
8. Die Photographie des Augenhintergrundes . . . . .	877
9. Die Untersuchung des Kammerwinkels (Gonioskopie) . . . . .	878
V. Die Diaphanoskopie (die Durchleuchtung mit sichtbaren Strahlen) . . . . .	883
1. Die Grundlagen der Diaphanoskopie . . . . .	883
2. Die praktische Anwendung der Diaphanoskopie . . . . .	884
a) Instrumente zur Durchleuchtung . . . . .	884
b) Die technische Durchführung der Diaphanoskopie . . . . .	885
3. Die Beurteilung des Befundes bei der Diaphanoskopie . . . . .	885
VI. Die Untersuchung mit Röntgenstrahlen . . . . .	887
1. Die Röntgendurchleuchtung . . . . .	888
2. Die Röntgenphotographie . . . . .	888
VII. Der Nachweis von Eisensplittern im Auge (Sideroskopie) . . . . .	898
VIII. Die Messung des intraokularen Druckes (Tonometrie) . . . . .	900
1. Allgemeines zur Methodik . . . . .	900
2. Die spezielle Methodik der Tonometrie . . . . .	901
a) Indirekte Methoden . . . . .	901
b) Digitale Tonometrie . . . . .	901
c) Die instrumentelle Tonometrie. . . . .	903
Spiralfedertonometer S. 903. — Applanationstonometer S. 903.	
Das Tonometer von MAKLAKOFF S. 904. — Impressionstonometer	
S. 904. — Stativtonometer S. 907. — Ballistische Methoden	
S. 907.	
d) Die praktische Anwendung des Tonometers von SCHIÖTZ. . . . .	907
IX. Die Dynamometrie . . . . .	915
1. Das Prinzip der Dynamometrie . . . . .	915
2. Apparate zur Dynamometrie . . . . .	916
3. Allgemeine Bedeutung der Dynamometrie . . . . .	918
B. Die Untersuchung der Leistungen des Auges (die subjektiven Untersuchungs-	
methoden) . . . . .	920
I. Die Untersuchung der Sehschärfe . . . . .	921
1. Faktoren, die von Einfluß auf die Sehschärfe sind . . . . .	921
2. Die klinische Prüfung der Sehschärfe . . . . .	922
Die quantitative Bestimmung der Sehschärfe . . . . .	923
3. Der Raum für die Sehprüfung . . . . .	927
4. Die Beleuchtung der Sehprobentafeln . . . . .	927
5. Die praktische Ausführung der Sehprüfung . . . . .	928
II. Die Untersuchung des Gesichtsfeldes (Untersuchung der Funktionen der	
exzentrischen Netzhaut) . . . . .	931
1. Die Untersuchung der exzentrischen Sehschärfe . . . . .	932
2. Die Untersuchung des exzentrischen Licht- und Farbensinnes . . . . .	932
a) Die peripheren Gesichtsfeldgrenzen . . . . .	932
b) Physiologische Skotome . . . . .	935
c) Pathologische Gesichtsfeldausfälle . . . . .	936
3. Die Verfahren der Gesichtsfeldprüfung . . . . .	936
a) Die freie Bestimmung der Gesichtsfeldaußengrenzen . . . . .	936
b) Die Untersuchung am Kampimeter . . . . .	937
c) Das Bogenperimeter . . . . .	937
d) Die praktische Ausführung der Perimetrie . . . . .	937
e) Die Untersuchung auf Skotome . . . . .	940
f) Die Prüfung der Richtungslokalisierung . . . . .	943

	Seite
III. Die Untersuchung der sensiblen Funktionen . . . . .	946
IV. Entoptische Methoden . . . . .	949
V. Die Untersuchung auf Simulation und Aggravation . . . . .	950
1. Untersuchungsmethoden zur Ermittlung der Sehschärfe bei Simulation . . . . .	951
2. Simulation von Augenmuskelstörungen . . . . .	952
Anhang: Die Berufseignung . . . . .	953
1. Die Eignung im individuellen Interesse des Berufstätigen . . . . .	953
2. Die Berufseignung im öffentlichen Interesse. . . . .	954
C. Die Untersuchung der Refraktion. . . . .	957
1. Die Bestimmung der optischen Konstanten . . . . .	957
a) Die Ophthalmometrie (Keratometrie) . . . . .	957
b) Die Messung der Abstände der brechenden Flächen . . . . .	960
2. Die subjektiven Verfahren zur Bestimmung der Refraktion . . . . .	960
a) Die Verwendung der Strahlenfigur und ähnlicher Proben . . . . .	960
b) Die Verwendung der Chromasie des Auges . . . . .	962
c) Die Verwendung des SCHEINERSchen Versuchs . . . . .	963
d) Die subjektive Refraktionsbestimmung mit Hilfe von Brillengläsern . . . . .	966
3. Die objektiven Methoden der Refraktionsbestimmung . . . . .	970
a) Die Untersuchungsverfahren auf Grund der Schärfe des Netzhautbildes oder eines Objektbildes auf der Netzhaut des Patientenauges . . . . .	970
Die Refraktionsbestimmung im aufrechten Bilde . . . . .	970
Die Refraktionsbestimmung im umgekehrten Bilde . . . . .	973
b) Die Schattenprobe oder Skiaskopie . . . . .	976
4. Die Lähmung der Akkommodation bei der Refraktionsbestimmung . . . . .	979
D. Die Untersuchung der Akkommodation . . . . .	982
Die Literatur bei den einzelnen Kapiteln.	
<b>Die Bakterienflora des Auges. Von Professor Dr. M. ZUR NEDDEN-Düsseldorf.</b>	
(Mit 56 Abbildungen.) . . . . .	984
Allgemeiner Teil . . . . .	984
I. Allgemeines über Infektionen des Auges . . . . .	984
Bakteriengehalt der normalen Bindehaut . . . . .	984
Zustandekommen der Infektion . . . . .	985
Virulenz der Bakterien . . . . .	985
Disposition, Immunität, Symbiose . . . . .	985
Lidschlag und Tränenflüssigkeit . . . . .	986
Klima und Rasse . . . . .	987
Epidemien und Metastasen . . . . .	987
Verhalten der Bakterien im Auge. Schutzstoffe . . . . .	988
II. Technik der bakteriologischen Augenuntersuchung . . . . .	989
A. Entnahme von Material . . . . .	989
B. Färbemethoden . . . . .	990
1. Färbung der Deckglaspräparate . . . . .	990
2. Färbung von Bakterien in Schnittpräparaten . . . . .	992
3. Besondere Färbemethoden . . . . .	993
a) Kapselfärbung . . . . .	993
b) Sporenfärbung . . . . .	993
c) Geißelfärbung . . . . .	994
d) Körnchenfärbung für keulenförmige Bacillen . . . . .	994
C. Kulturen . . . . .	995
D. Serodiagnostik . . . . .	997
E. Tierimpfungen . . . . .	997
Spezieller Teil . . . . .	998
Einteilung der Mikroorganismen . . . . .	998
I. Bakterien . . . . .	1000
A. Bacillen . . . . .	1000
1. Keulenförmige Bacillen (Corynebakterien) . . . . .	1000
2. Bacillen der Influenzagruppe . . . . .	1003
3. Diplobacillen . . . . .	1006
4. ZUR NEDDENs Bacillus . . . . .	1009

	Seite
5. Bacterium coli . . . . .	1010
6. FRIEDLÄNDERS Pneumoniebacillus . . . . .	1011
7. HERBERTS intraepithelialer Bacillus . . . . .	1012
8. Bacillen der Subtilisgruppe . . . . .	1012
9. Bacillus perfringens . . . . .	1014
10. Bacillus pyocyaneus . . . . .	1015
11. Bacillus proteus vulgaris . . . . .	1016
12. Tuberkelbacillus . . . . .	1016
a) Ausstrichpräparat . . . . .	1016
b) Im Schnittpräparat . . . . .	1017
13. Leprabacillus . . . . .	1019
14. Milzbrandbacillus (Bacillus anthracis) . . . . .	1019
15. Tetanusbacillus . . . . .	1020
16. Rotzbacillus (Bacillus mallei) . . . . .	1021
17. Streptobacillus . . . . .	1022
B. Kokken . . . . .	1022
1. Staphylococcus . . . . .	1022
2. Kettenbildende Kokken . . . . .	1024
3. Gramnegative Diplokokken . . . . .	1028
C. Sarcine . . . . .	1030
II. Sproß- oder Hefepilze . . . . .	1030
III. Schimmel- oder Fadenpilze . . . . .	1031
IV. Streptothricheen . . . . .	1033
V. Spirochäten . . . . .	1034
VI. Unbekannte Krankheitserreger . . . . .	1036
<b>Namenverzeichnis . . . . .</b>	<b>1039</b>
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>1059</b>

# Physiologie der Ernährung und der Zirkulation des Auges<sup>1</sup>.

Von

OTTO WEISS-Königsberg i. Pr.

Mit 11 Abbildungen.

## I. Physiologie der Ernährung des Auges.

Die Unversehrtheit des Augapfels ist von zwei Faktoren vollkommen abhängig: von der ungestörten Versorgung durch den Gefäßapparat und von dem anatomischen und funktionellen Zusammenhange mit dem Nervensystem. Vorwiegend der erste Einfluß ist im folgenden zu behandeln.

### A. Die Ernährung der gefäßhaltigen Teile des Bulbus.

Die Blutgefäße des Augapfels kann man in drei Systeme einteilen: Das Netzhautsystem, das System der Ciliargefäße und das Bindehautgefäßsystem. Von den Netzhautgefäßen werden die inneren Schichten der Netzhaut versorgt, die Ciliargefäße ernähren die Aderhaut und durch ihre Vermittlung das Pigmentepithel der Netzhaut und die Schicht des Sehepithels, ferner den Ciliarkörper mit der Iris, die Sclera nebst Hornhautrand und den angrenzenden Teil der Scleralbindehaut; die Bindehautgefäße endlich, welche von den Lidgefäßen abstammen, versorgen die Conjunctiva bulbi. Man vergleiche Abb. 1.

#### 1. Die Ernährung des Sehnerven.

Der Opticus wird in der Orbita teils von der Arteria ophthalmica, teils von der Arteria centralis retinae versorgt; der intrasclerale Teil, die Lamina cribrosa und die Papille erhalten Blut sowohl aus der Zentralarterie als auch aus den Ciliararterien. An dieser Stelle anastomosieren die Zentralgefäße mit den Gefäßen der Chorioidea und der Sclera. Dies ist die einzige Verbindung zwischen dem Netzhautgefäßsystem und den übrigen Gefäßen des Bulbus. Den Ausgangspunkt jener Kommunikation bildet ein ringförmiges Gefäß, der ZINNSCHE Gefäßkranz (Circulus arteriosus nervi optici), welches aus den kurzen Ciliararterien entsteht und den Nervus opticus umgibt. Von hier aus lassen sich Verbindungen mit den Gefäßen der Aderhaut und mit den Gefäßen des Sehnerven nachweisen (s. auch P. EISLER, Bd. 1 des Handbuches, S. 151). Diese

<sup>1</sup> Bei der großen Bedeutung der Physiologie der Ernährung und Zirkulation des Auges für die Klinik hat R. THEIL noch ein besonderes Kapitel über die Physiologie und Pathologie des Augendruckes dem Abschnitte „Glaukom“ in Bd. 4 des Handbuches, S. 666, vorausgeschickt. So wird ein Teil des vorstehenden Beitrags dem Leser in doppelter Bearbeitung (vom Standpunkte des Physiologen und des Klinikers) geboten. Die Herausgeber.

beteiligen sich an der Blutversorgung der Papilla nervi optici; sie können dabei in Ausnahmefällen ophthalmoskopisch sichtbar sein und werden in diesem Falle als cilioretinale Gefäße bezeichnet (s. HENNING ROENNE, Bd. 5 des Handbuchs, S. 621). Distal von den Kommunikationen der Netzhaut- und Ciliar-gefäße am Eintritt des Opticus bestehen keine Verbindungen beider Gefäßsysteme mehr.

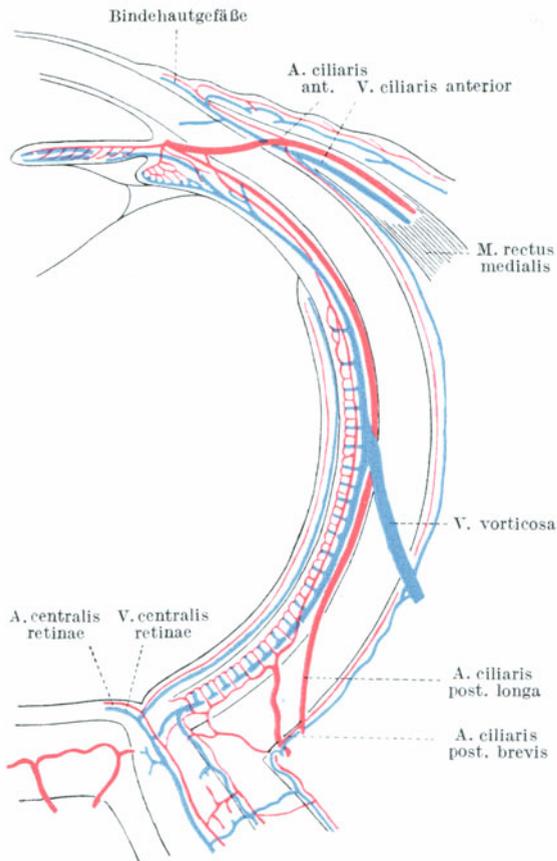


Abb. 1. Zirkulations- und Ernährungsverhältnisse des Auges.  
(Nach TH. LEBER.)

Über den Stoffwechsel des Nervus opticus liegen kaum Untersuchungen vor; sein Studium bildet einen Teil der Physiologie der weißen Substanz des Zentralnervensystems.

## 2. Die Ernährung der Netzhaut.

Die Netzhaut bezieht ihr Nährmaterial aus zwei vollkommen getrennten Gefäßgebieten, den Netzhautgefäßen (Arteria centralis retinae) und den Gefäßen der Chorioidea (Arteriae ciliares breves et longae). Die Netzhautgefäße versorgen die inneren Netzhautschichten bis zur äußeren Faserschicht, die Chorioideagefäße ernähren das Sinnesepithel.

*Kreislaufstörungen* in einem der beiden Gefäßsysteme haben die schwersten Folgen für den Sehapparat. Wenn die Zirkulation in der Zentralarterie aufhört, so sterben die Netzhautelemente mit Ausnahme des Sehepithels ab, die Folge ist Erblindung.

Wenn die Zirkulation nur in einem der Äste der Netzhautarterie unterbrochen wird, so erblindet der von diesem Aste versorgte Netzhautteil. Die Zentralarterie und ihre Äste sind also Endarterien im Sinne COHNHEIMS.

Man kann die Wirkung der Unterbrechung der Zirkulation leicht am eigenen Auge beobachten. Wenn man auf den Bulbus so stark drückt, daß der Augendruck höher als der Gefäßdruck wird, so hört der Kreislauf und damit das Sehen auf. Dauert die Unterbrechung nicht zu lange, so stellt sich mit dem Kreislauf auch das Sehvermögen wieder her. Bei längerer Blutleere stirbt die Netzhaut ab (s. F. SCHLECK, Bd. 5 des Handbuchs, S. 406).

Am häufigsten tritt dies ein als Folge einer Embolie der Zentralarterie (s. Bd. 5 dieses Handbuchs, S. 410). Danach trübt sich die Netzhaut. Der Sitz der Trübung liegt nicht im Sehepithel, denn die Macula bleibt ungetrübt, während der Rand der Fovea und der Rand der Papille am stärksten trübe werden. Vermutlich hat die Trübung ihre Ursache in Gerinnungen im Inneren der Ganglienzellen und Nervenfasern. Die Trübung verschwindet

mit dem Zugrundegehen der nervösen Elemente, an deren Stelle Flüssigkeitsvakuolen treten. Stützsubstanz und Sinnesepithel bleiben unverändert.

Über die Bedeutung eines Verschlusses der Chorioideagefäße liegen am Menschen nur wenig Beobachtungen vor. Aus den Folgen der Embolie der Arteria centralis retinae erhellt, daß die Ernährung des Sinnesepithels von der Chorioidea besorgt wird. Das geht auch aus der Tatsache hervor, daß die Blutversorgung der Chorioidea an den Stellen am vollkommensten ist, an denen das Sehepithel die höchsten Leistungen vollführt. Im Gebiete der Macula lutea zeigt das Netz der Capillaren die engsten Maschen. Von hier nimmt die Weite der Maschen bis zur Netzhautperipherie kontinuierlich zu.

Durchschneidungen der Ciliararterien hat WAGENMANN (a) an Kaninchen vorgenommen. Die Folge war eine Trübung aller Netzhautschichten mit Ausnahme der markhaltigen Nervenfasern. Der Augendruck ist stark herabgesetzt. Ähnliche Folgen hat die Unterbindung der vier Wirbelvenen (KOSTER).

Quantitative Untersuchungen über den *Stoffwechsel der Netzhaut* des Hundes sind erst in neuerer Zeit von KANEKO ausgeführt worden. Er hat die Durchblutungsgröße und den Sauerstoffverbrauch im Aderhautgefäßsystem gemessen. Die Blutentnahme geschah aus einer Vena vorticososa. Durch Multiplikation der hier gemessenen Blutmenge mit 4 ermittelte er annähernd den Gesamtwert für das Auge. Bei Vergleichung mit dem Carotisblute fand er, daß bei diffuser Beleuchtung des Auges das Blut bei der Passage durch das Auge im Durchschnitt 4,79 Volumprocente Sauerstoff abgibt. Bei einer Belichtung des Auges durch eine Hundertkerzenlampe aus 20 cm Entfernung betrug die Sauerstoffabgabe 23,94 Volumprocente, bei einer Entfernung der gleichen Lichtquelle von 40 cm 15,97 Volumprocente. Die Größe der Durchblutung des ganzen Auges betrug in Milligramm pro Minute bei Tageslicht 6,23, bei starker Beleuchtung 21; hieraus ergibt sich für Tageslicht eine Durchblutungsgröße von 0,12 cmm pro Minute und 100 g Organgewicht. Der Sauerstoffverbrauch eines Auges beträgt pro Minute bei diffusem Licht 0,275 ccm, bei starker Beleuchtung 4,75 ccm; der Verbrauch erhöht sich hier also auf das Siebzehnfache.

Eine Frage, die für die Ophthalmo-Pathologie von großer Bedeutung ist, nämlich *wie lange die Blutzufuhr zur Netzhaut ohne Schaden für das Auge unterbrochen werden kann*, hat GUIST untersucht. Versuchstier war die Ratte, deren Retina holangisch ist gleich der des Menschen. Der Bulbus wurde luxiert, die Unterbrechung der Blutzufuhr wurde durch Abschnürung des Augapfels mittels Gummifäden bewirkt. Es ergab sich, daß Unterbrechungen des Kreislaufes bis zu einer Dauer von 15 Minuten keine dauernden Schädigungen hervorriefen. Hielt die Anämie länger als eine halbe Stunde an, so stellte sich die Netzhautfunktion nicht wieder her. Unterbrechungen von einer Stunde und mehr führten zu völliger Netzhautnekrose. Die Netzhaut hat sich daher wesentlich resistenter gegen Zirkulationsunterbrechungen gezeigt als die Hirnrinde. Man vergleiche hierzu auch die neueren Untersuchungen von WEGNER.

### 3. Die Ernährung der Chorioidea, des Corpus ciliare und der Iris.

Die Chorioideaelemente werden durch die Ciliargefäße ernährt, im übrigen ist die Chorioidea zur Ernährung der Netzhaut bestimmt.

Die Ernährung von Corpus ciliare und Iris ist, soweit Besonderheiten vorliegen, im Beitrag GILBERT (Bd. 5 dieses Handbuches) abgehandelt. Die Versorgung mit Blut geschieht durch die Ciliargefäße.

#### 4. Die Ernährung der Sclera und Conjunctiva.

Die Ernährung der Sclera geschieht durch Äste der Ciliargefäße. Über Wasser und Aschegehalt s. unten.

Die Ernährung der Conjunctiva besorgen die Lidgefäße, nur der Hornhautrand wird von den Ciliargefäßen gemeinsam mit den Bindehautgefäßen versorgt.

### B. Die Ernährung der gefäßlosen Teile des Bulbus.

#### 1. Die Ernährung der Hornhaut.

##### a) Die chemische Zusammensetzung der Hornhaut.

Die *Hornhautgrundsubstanz* besteht nach MICHEL und WAGNER aus 72,75% Wasser, 0,66% Asche; der Rest ist organische Substanz. Nach COLLIN ist der Wassergehalt 81,53% im Gegensatz zur Sclera, deren Wassergehalt nur 66,03% beträgt. Das Verhältnis der Aschenbestandteile beider Gewebe Cornea: Sclera ist nach demselben Autor 4 : 7. v. MOROCHOWETZ und C. TH. MÖRNER haben zeigen können, daß unter den organischen Stoffen der Cornea ein Mucoïd und Kollagen vorhanden sind, die in einem Mengenverhältnis von 18,8 : 81,2 stehen. An Eiweiß findet man nach LEBER Albumin und Globulin im Preßsaft der Cornea, ferner etwas Zucker sowie ein diastatisches Ferment (LÉPINE). Die Antikörper des Blutes hat RÖMER in Spuren gefunden. Die Asche enthält Eisen, Chlor, viel Phosphorsäure.

Der Hauptbestandteil des *Hornhautepithels* ist Paraglobulin; daneben kommt ein Eiweißstoff vor, der dem Myosin verwandt ist. Auch Albumin findet sich. Die Zusammensetzung ist: 75,52% Wasser, 24,48% feste Bestandteile, darunter 1,15% Asche (HIS, MICHEL und WAGNER).

BURGER und SCHLOMKA finden an der Rindercornea im Laufe des Lebens eine Vermehrung ihres Trockenrückstandes. Dabei nimmt der Stickstoffgehalt relativ zu, aber langsamer als der Gesamttrockenrückstand. Umgekehrt zeigt der Cholesteringehalt eine größere Zunahme, als man nach der Vermehrung des Trockenrückstandes erwarten sollte. Merkwürdigerweise gleicht die Hornhaut junger Rinder von 1 bis 4 Jahren in ihrer Zusammensetzung der Cornea von Tieren, die über 9 Jahre alt sind.

Das spezifische Gewicht der ganzen Hornhaut hat FELEHLIN bei Rindern und Schweinen gleich 1,054 und 1,051 ermittelt.

Die *Membrana Descemeti* besteht aus Substanzen, die MÖRNER als Membranine bezeichnet. Sie gleicht in ihrer Zusammensetzung der Linsenkapsel.

##### b) Die Ernährung der Hornhaut.

Da die Hornhaut lediglich eine statische Funktion hat und dazu noch vollkommen gefäßlos ist, so kann man in ihr keine lebhaften Stoffwechselforgänge erwarten. Exakte Kenntnisse über das Geschehen in der Hornhaut besitzen wir nicht; weder ist etwas bekannt über das Nährmaterial noch über die Stoffwechselendprodukte. Auf einen Gaswechsel in der Hornhaut weisen Beobachtungen von BULLOT (b) und LOR hin. Diese Autoren haben gefunden, daß die Durchsichtigkeit des Endothels der Membrana Descemeti am ausgeschnittenen Auge von der Gegenwart von Sauerstoff abhängig ist. Das Endothel trübte sich, wenn die Augen in eine Atmosphäre von Wasserstoff gebracht oder in die Bauchhöhle transplantiert worden waren. Auch bei herabgesetztem Partialdrucke des Sauer-

stoffes trübte sich das Endothel, blieb aber klar an den Stellen, an denen das Hornhautepithel abgeschabt worden war. Ebenso blieb das Endothel durchsichtig, wenn die Hornhaut vor der Transplantation in die Bauchhöhle ihres Epithels beraubt wurde. Auch in feuchter atmosphärischer Luft blieb die Cornea klar. Die Autoren schließen aus diesen Versuchen, daß die Integrität des Hornhautendothels an die Gegenwart von Sauerstoff gebunden ist (s. auch die Darstellung des Wasserhaushaltes und der Permeabilität der Cornea von F. SCHIECK, Bd. 4, S. 204).

Die Versorgung der Hornhaut mit Nährmaterial, das aus den Gefäßen des oberflächlichen „Randschlingennetzes“ stammt, spielt keine wesentliche Rolle. Schon RANVIER konnte zeigen, daß die Zerstörung dieser Randgefäße ohne Einfluß auf die Hornhaut ist. Dagegen lehren klinische Erfahrungen, daß die Randgefäße der Hornhaut für ihre Ernährung von Bedeutung sind. In dem RANVIERSCHEN Versuche sind nur die oberflächlichen Gefäße getroffen worden, während die tiefen Randgefäße der Sclera intakt blieben. Vermutlich stammt das Nährmaterial für die Hornhaut im wesentlichen aus den Gewebssäften des Limbus corneae, wohin es aus den Gefäßen gelangt, oder aus dem Humor aqueus oder der Feuchtigkeit des Konjunktivalsackes (s. auch die Darstellung von F. SCHIECK, Erkrankungen der Cornea, Bd. 4, S. 201).

Auf welchen Wegen die Nährstoffe in die Hornhaut gelangen und sich in ihr ausbreiten, wird man solange nur vermuten können, als man den Nährstofftransport nicht direkt beobachten kann. Wenn man von der Voraussetzung ausgeht, daß die zelligen Elemente der Hornhaut einen selbständigen Stoffwechsel haben, so würde sich die Aufgabe darauf beschränken, nach den Ernährungswegen für die Hornhautkörper, das Endothel und das Epithel der Hornhaut zu suchen. In welcher Art die Integrität der Hornhautfibrillen erhalten wird, ist eine sekundäre Frage; einen eigenen aktiven Stoffwechsel ihnen zuzuschreiben, liegt kein Grund vor.

Die *Hornhautkörperchen* (Abb. 19 bei P. EISLER, Bd. 1, S. 46 des Handbuches) liegen nach VON RECKLINGHAUSEN (a, b) in einem System capillarer Räume, welches die ganze Hornhaut durchzieht, den „Saftkanälchen“ der Cornea. In diese Räume gelangen Injektionsflüssigkeiten nach Einstich in die Hornhaut leicht hinein, z. B. Ölfarbe (VON RECKLINGHAUSEN), Terpentinöl [LEBER (a)], Asphaltlack (GUTMANN), Wasserstoffsperoxyd (MAGNUS-STÜBEL). Von den Saftkanälchen aus dringt die Injektionsmasse in die Interzellularräume der Epithelzellen ein, ja, sie kann von den Epithelzellen aufgenommen werden. Ob unter normalen Verhältnissen in diesen Räumen sich Flüssigkeit befindet, ob diese Flüssigkeit etwa in Strömung ist oder den Sitz von Diffusionsströmen bildet, entzieht sich der Beobachtung. Bedenken gegen diese Auffassung hat LEBER (a) geäußert.

Mit Hilfe der Wasserstoffsperoxyd-Methode von MAGNUS (s. oben) hat ADA STÜBEL in der Cornea durch Injektion von dem episcleralen bzw. konjunktivalen Gewebe aus in den meisten Fällen zwei Kanalsysteme gesetzmäßig und typisch füllen können (s. Abb. 127 in Bd. 4, S. 201 dieses Handbuches). Das eine entspricht den BOWMANSCHEM Röhren, das zweite den RECKLINGHAUSENSCHEN Saftlücken. Diese Räume kommunizieren mit den Lymphgefäßen des Cornealimbus. Ein Mechanismus, der eine Lymphströmung in diesen Räumen bewirken könnte, ist von STÜBEL nicht gefunden worden. Vorsicht in der Beurteilung in dieser Hinsicht ist also geboten.

In großer Zahl liegen Versuche vor, mittels diffusibler Substanzen den Weg zu erforschen, auf dem das Nährmaterial sich in der Hornhaut bewegt. Man weiß lange, daß die Cornea gewisse in den Konjunktivalsack gebrachte

Substanzen zu resorbieren und an das Kammerwasser abzugeben vermag (DE RUITER). A. VON GRAEFE hat dann gefunden, daß der Übergang von Stoffen aus dem Konjunktivalsack in das Kammerwasser wesentlich schneller erfolgt, wenn das Hornhautepithel zerstört ist. Zahlreiche Autoren haben diese Befunde bestätigt. Von Substanzen, deren Übergang in die Vorderkammer untersucht wurde, nenne ich nur Atropinsulfat, Kalabarrowenextrakt, Strychninnitrat, Natriumsalicylat, Calciumhydrat, Kaliumjodid, Kaliumferriocyanid, Fluorescein.

Nach ANTONIBON ist die Durchlässigkeit der Hornhaut für Salzsäure, Natronlauge, Jod-Jodkaliumlösung und Chlornatriumlösung größer als bei der Conjunctiva, und zwar im Verhältnis 1 : 0,9 für die Conjunctiva bulbi und 1 : 0,7 für die Conjunctiva palpebrae.

Der Weg, den diese Stoffe von der Hornhautoberfläche in das Kammerwasser nehmen, geht, solange die Zellen leben, durch die Intercellularsubstanzen des Epithels, des Hornhautgewebes (Fibrillen) und des Endothels [J. ARNOLD (a, b), KRÜKOW und LEBER, PARDO]. Gewisse Stoffe werden auch von den Hornhautzellen aufgenommen, z. B. Stärke [KNIES (b)] und Indigocarmin [ARNOLD (c)]. In diesem Falle sieht man die Substanz in den Zellen gespeichert, d. h. in größerer Konzentration als in der Intercellularsubstanz. Auch Pferdeserum dringt in die Hornhaut ein (Präcipitinreaktion).

Aus dem Gesagten geht hervor, daß die Zellen den Stoffen gegenüber eine große Selbständigkeit besitzen, sie nehmen gewisse Stoffe auf, anderen verschließen sie sich. Über den Transport des Nährmaterials geben die Versuche keinen sicheren Aufschluß. Es bleibt unentschieden, ob dieses in der Grundsubstanz oder in injektionsfähigen Räumen oder in beiden sich ausbreitet.

### e) Bedingungen für die Durchsichtigkeit der Hornhaut.

Daß das Hornhautendothel zu seiner Durchsichtigkeit der Versorgung mit Sauerstoff bedarf, ist oben bereits auseinandergesetzt worden. Für die Hornhautsubstanz ist die Durchsichtigkeit durch ihre Deckschichten gewährleistet. Jede Kontinuitätsunterbrechung des Epithels oder Endothels hat eine Trübung der Hornhaut im Bereiche des Defektes zur Folge (LAQUEUR). Diese Erscheinung zeigt sich sowohl an dem ausgeschnittenen Organ als auch an dem lebenden Auge. So kann man mit einem Häkchen in die Vorderkammer eingehend das Endothel zerstören und darnach im Bereiche des Defektes Quellung und Trübung der Hornhaut erzeugen (LEBER). Die Wasseraufnahme durch die Grundsubstanz der Hornhaut ist sehr beträchtlich, sie geht bis zum vierfachen Gewicht der Hornhaut [CHEVREUIL, COCCIUS, MEYR, DONDERS, HIS, LEBER (c) u. v. a.]. Die Quellung vollzieht sich sogar in einer 10%igen Kochsalzlösung (SCHWEIGGER-SEYDEL).

Durch Applikation von Salzen des Calciums und der Schwermetalle bildet sich ebenfalls eine Trübung der Cornea aus. Sie entsteht durch Reaktion dieser Salze mit dem Natriumcarbonat der Grundsubstanzen, indem sich unlösliche Carbonate bilden. Außerdem entstehen Calciumverbindungen mit dem Mucoïd. Nach F. P. FISCHER beruhen dagegen alle diese Trübungen auf Proteinfällungen, auch die Trübung der Cornea beim Glaukom will FISCHER auf eine Fällung von Protein durch Säurebildung zurückführen (s. auch Bd. 4, S. 204).

Zu den Bedingungen für die Durchsichtigkeit der Cornea gehört auch, daß ihre Spannung eine gewisse Höhe nicht überschreitet. Bei Druck auf den Bulbus wird die Hornhaut trübe (VON FLEISCHL), bei nachlassendem Druck wird das Gewebe wieder normal durchsichtig.

## 2. Die Ernährung der Linse.

### a) Chemische Zusammensetzung der Linse.

Die sorgfältigsten Untersuchungen über die chemische Zusammensetzung der Linse stammen von MÖRNER. Er fand, daß 48% des Linseneiweißes aus Albumoid bestehen, das in reinem Wasser und Kochsalzlösung unlöslich ist. Der Gesamteiweißgehalt der Linse beträgt etwa 35%. Das lösliche Eiweiß besteht zu 1% aus Albumoid und zwei Globulinen  $\alpha$ -Krystallin und  $\beta$ -Krystallin, die 37 bzw. 62% des Gesamteiweißes ausmachen. Die Albumoidkonzentration und die des  $\beta$ -Krystallins nehmen nach dem Innern der Linse hin zu, die des  $\alpha$ -Krystallins ab.

Nach Entfernung des  $\alpha$ -Krystallins aus der löslichen Linseneiweißfraktion haben BURKY und WOODS aus der  $\beta$ -Krystallinlösung einen albuminatartigen Eiweißkörper isoliert, den sie  $\gamma$ -Krystallin nennen. Die isoelektrischen Punkte für die Linseneiweißkörper sind für  $\alpha$ -Krystallin bei  $p_H = 4,8$ ,  $\beta$ -Krystallin bei  $p_H = 6,0$ , für  $\gamma$ -Krystallin hat sich kein isoelektrischer Punkt finden lassen. Für die ganze Linsenmasse liegen die isoelektrischen Punkte nach SCALINCI für den Linsenkern bei einem Wasserstoffexponenten  $p_H = 4,5$ , für die Rinde bei  $p_H = 3,5$  bis 4,0. Analoge Werte hat BUGLIA gefunden. Für die Gesamtlinse beobachtete GULOTTA  $p_H = 4,0$ .

In neueren Untersuchungen hat JESS (a, b) die Eiweißstoffe der Linse eingehend analysiert. Er will die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Krystalline den Albuminen zurechnen, weil sie wasserlöslich sind und kein Glykokoll enthalten. Das Albumoid bildet nach ihm einen Übergang zu den Globulinen. Mit zunehmendem Alter nimmt der Gehalt an wasserlöslichem Eiweiß ab, der an wasserunlöslichem zu. Bei Kälbern ist das Verhältnis 20 : 80, bei alten Rindern 60 : 40 (JESS, BURGER und SCHLOMKA). Über den Prozentgehalt der Eiweißkörper an Aminosäuren gibt die folgende Tabelle Aufschluß:

	$\alpha$ -Krystallin	$\beta$ -Krystallin	Albumoid
Glykokoll . . . . .	0	0	0
Alanin . . . . .	3,6	2,6	0,8
Valin . . . . .	0,9	2,1	0,2
Leucin . . . . .	5,7	2,8	5,3
Asparaginsäure . . . . .	1,2	0,4	0,5
Glutaminsäure . . . . .	3,6	2,7	4,6
Tyrosin . . . . .	3,5	3,7	3,6
Prolin . . . . .	1,8	1,4	1,9
Phenylalanin . . . . .	5,5	4,1	4,6
Serin . . . . .	+	+	+
Tryptophan . . . . .	+	+	+
Cystin und Cystein . . . . .	2,3	4,9	3,1
Ammoniak . . . . .	7,1	11,4	6,0
Histidin . . . . .	3,6	} 15,0	} 17,0
Arginin . . . . .	7,8		
Lysin . . . . .	3,8		
Melanin . . . . .	1,1	0,1	0,6

Der Tryptophangehalt, der 3 bis 6% des Linseneiweißes ausmacht, zeigt nach LIEBEN und KRONFELD bei Bestrahlung der intakten Linse mit Quarz- oder Tageslicht in einer Flüssigkeit, der Rose Bengale zugesetzt ist, keine Veränderung, auch nicht bei entkapselten oder in 0,1 Normal-Natronlauge oder 10% Rhodankaliumlösung gequollenen Linsen. Dagegen schwindet der Tryptophangehalt um 38,6% bis 65,5% bei Bestrahlung in  $\frac{1}{2}$ % Linseneiweißlösungen,

nicht aber in 2<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Lösungen. Da der Eiweißgehalt der normalen Linse 35<sup>0</sup>/<sub>0</sub> ist, nehmen die Autoren an, daß die hohe Konzentration des Eiweißes gegen Tryptophanschwund im Lichte schütze.

Die Linseneiweißstoffe der verschiedenen Wirbeltiere bis zu den Amphibien herab sind miteinander verwandt (UHLENHUTH), dagegen werden sie im Laufe des Lebens körperfremd [KRUSIUS (a, b)] (s. F. SCHIECK, Immunitätsverhältnisse des Auges, Bd. 7 des Handbuches).

Nach CAHN ist die Zusammensetzung der Trockensubstanz der normalen Linse und der Starlinse folgende:

	Normal	Star I	Star II
Eiweiß . . . . .	94,71	81,48	85,87
Cholesterin . . . . .	0,62	6,22	4,55
Lecithin . . . . .	0,63	4,52	0,803
Fett . . . . .	0,79	—	1,19
Alkoholextrakt . . . . .	0,71	0,83	1,45
Wasserextrakt . . . . .	1,52	3,94	2,76
Lösliche Salze . . . . .	1,36	1,81	2,41
Unlösliche Salze . . . . .	0,46	1,14	1,45

Von allen Geweben des Auges ist nach MICHAEL und VANCEA (b) die Linse am reichsten an Glutathion. SHOJI hat in Übereinstimmung hiermit in der Linse den höchsten Cysteingehalt gefunden. Auch REISS, JESS (d) und GOLDSCHMIDT haben aus Rinderlinsen eine Substanz extrahiert, welche eine positive Nitroprussidnatriumreaktion gibt und als Glutathion angesprochen wird. Daneben findet sich Cystin in fester Bindung an Eiweiß, welches dieselbe Reaktion gibt. Linseneiweiß vermag Methylenblau mittels eines wasserunlöslichen thermostabilen Reduktionssystems nur dann zu reduzieren, wenn es glutathionhaltig ist. Das System ist bei einem Wasserstoffexponenten von 8,3 bis 7,5 nicht erschöpfbar, bei einem Wasserstoffexponenten von 7 bis 6 findet Verschiebung des Systems nach der oxydierten Form und Zerstörung des Cystins statt. Entsprechend findet GOLDSCHMIDT verschiedene Arten von Katarakten, solche, die primäres und sekundäres Reduktionsvermögen besitzen, solche, die nur das sekundäre besitzen, und solche, bei denen beide fehlen. In Übereinstimmung hiermit stehen Befunde von COHEN, KAMNER und KILLIAN, die an kataraktösen Linsen von Menschen und Rindern in 26 von 64 Fällen die Nitroprussidreaktion vermißten.

Auffallend ist der höhere Lecithingehalt der Starlinsen. In normalen Rinderlinsen haben SALIT und MATTILL 0,135<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, bei Kälbern 0,145<sup>0</sup>/<sub>0</sub> reduzierende Substanz, 0,044<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Cholesterin, 0,111<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Lecithin gefunden. In normalen Menschenlinsen betrug der Cholesteringehalt 0,18<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, in kataraktösen 0,19 bis 0,89<sup>0</sup>/<sub>0</sub>; der Lecithingehalt kataraktöser Linsen ist nach denselben Autoren 0,48 bis 1,80<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. Über Differenzen des Wassergehaltes der Linse in verschiedenen Lebensaltern lauten die Angaben sehr verschieden.

Ebenfalls nach SALIT und MATTILL sinkt der Wassergehalt in den ersten zwei Lebensjahren. Auch Wasserstoffionenkonzentration und Kohlensäurespannung sollen mit zunehmendem Alter abnehmen.

Die Linse enthält 0,5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Salze (GROSS); nach LOHMEYER beträgt der Aschegehalt der Kälberlinse nur 0,35<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, also erheblich weniger als der des Kammerwassers. In der Aschenlösung fand LAPTSCHINSKY alkalische Reaktion, Phosphorsäure, Salzsäure, Schwefelsäure, Kalium und Natrium. SALIT und

MATILL haben in normalen Rinderlinsen 0,341% NaCl gefunden, Calcium haben sie nicht feststellen können. Dagegen wiesen die Linsen Kataraktöser 0,003 bis 0,104% Calcium auf. BURDOW-COOPER hat in Starlinsen beim Menschen weniger Kalium gefunden als in normalen Tierlinsen.

Die Quellungswärme der Linsensubstanz hat VAN DER HOEVE untersucht. Er findet für die Trockensubstanz, die noch 9,9% Wasser enthält, pro Gramm bei Quellung in Wasser 13,3, in Glaskörper 13,20, in Kammerwasser 13,085 Grammc calorien. Enthält die Trockensubstanz 16,9% Wasser, so sind die Zahlen bezüglich 9,925; 9,91; 9,63 Grammc calorien.

Das spezifische Gewicht der Linse ist nach FELEHLIN bei Rindern 1,117, bei Schweinen 1,110.

Die aktuelle Reaktion der Linsensubstanz entspricht nach SCALINCI einem Wasserstoffexponenten  $pH = 7,38$ .

### b) Ernährungsvorgänge an der Linse.

Welche Substanzen die Linse zu ihrer Ernährung gebraucht und welche sie als Resultat etwa vorhandener Stoffwechselprozesse in den Linsengeweben abgibt, ist noch kaum bekannt. Dabei sollte man denken, daß gerade dieses Organ, das selber vollkommen durchsichtig und rings von klarer Flüssigkeit umgeben ist, der Untersuchung besonders günstige Bedingungen bietet. Sicher ist, daß alles Material, welches die Linse erreicht oder verläßt, seinen Weg durch das Kammerwasser oder den Glaskörper nehmen muß.

Bemerkenswert ist, daß das *Wachstum* der Linse erst spät abgeschlossen ist. Nach PRISTLEY SMITH und VON JAEGER verdoppelt sich das Linsengewicht von der Geburt bis zum zwanzigsten Jahre und weiter nimmt es vom zwanzigsten bis zum achtzigsten Lebensjahre noch um rund ein Drittel zu. Genauere Auskunft gibt die folgende Tabelle nach VON JAEGER:

Alter	Linsengewicht (gr)
6—14 Tage	0,084
14—60 „	0,095
100 „	0,122
16—28 Jahre	0,163
31—40 „	0,176
42—47 „	0,216
52—54 „	0,214
62—63 „	0,223
72 „	0,279

Nur über den *Gaswechsel* der Linse besitzen wir einige Kenntnisse. Der Sauerstoffverbrauch unverletzter Kaninchenlinsen beträgt nach SCHMERL bei 37,5° 4 cmm in der Stunde, nach Zerstörung der Kapsel 7—8 cmm. 5 Stunden nach Fütterung mit Naphthalin betrug der Sauerstoffverbrauch unversehrter Linsen 7—20 cmm in der Stunde. Wesentlich höhere Werte haben andere Autoren gefunden: MASHIMO 60 cmm bei 30°, KRONFELD-BOTHMANN 4—8 cmm bei 37°, bei Schweinen 15—30 cmm bei 37°.

Das Oxydationsvermögen der Linse hat AHLGREN mittels der Methylenblaumethode von THUNBERG untersucht. Ihr Prinzip beruht auf einer Messung der Zeit, in welcher eine bestimmte Menge Gewebe eine abgemessene Menge Methylenblau reduziert. Er macht wahrscheinlich, daß die Oxydo-Reduktionsvorgänge in der Linse fermentativer Natur sind. Dafür sprechen die Bedeutung

des  $p_H$  und der Temperatur; ferner der Umstand, daß die Prozesse durch Extraktion des Linsengewebes gehemmt, durch Extraktzusatz wieder gesteigert werden konnten. Es hat sich ergeben, daß die Linsenrinde ein höheres Oxydationsvermögen besitzt als der Linsenkern. Weiter ergab sich, daß Zusatz von Äpfel-, Fumar-, Milchsäure zu Linsengewebe die Oxydo-Reduktionsprozesse beschleunigt, während Bernsteinsäure keinen Einfluß erkennen läßt. Hieraus wird auf einen Mangel an Succinodehydrase des Linsengewebes geschlossen. Dieses Ergebnis ist von um so größerer Bedeutung, als alle bisher untersuchten Gewebe eine Succinodehydrase nicht vermissen lassen. Hier läge also eine Differenz gegenüber dem Stoffwechsel der übrigen Gewebe.

Den Spaltungsstoffwechsel der Linse hat KRONFELD an überlebenden Schweine- und Kaninchenlinsen untersucht. 1 g Linsensubstanz verbrauchte pro Stunde 0,18 mg Traubenzucker. Bei Ausschaltung der Oxydationsatmung spaltet 1 g Linsengewebe 0,5 mg Glukose in einer Stunde zu Milchsäure.

### c) Übergang gelöster Stoffe in die Linse.

Unter den Autoren herrscht Einstimmigkeit darüber, daß die *isolierte Linsenkapsel* eine ganze Reihe krystalloider Stoffe hindurch diffundieren läßt, anderen dagegen den Durchtritt verwehrt. So dringen leicht hindurch Natriumchlorid, Ferrichlorid, Kaliumferrocyanid, ferner zahlreiche Farbstoffe, unter ihnen das Fluorescein. Undurchlässig ist sie dagegen für Ferriferrocyanid und für Lackmusfarbstoffe. Von Kolloiden sah MEISSNER Eiweiß hindurchtreten. Goldsol wird dagegen nach ZSIGMONDY nicht durchgelassen. Die Durchgängigkeit der Linsenkapsel ist bei erhaltenem Epithel wesentlich geringer. So sah MEISSNER (a) die Vereinigung von Ferrichlorid und Kaliumferrocyanid erst eintreten, nachdem das Kapselepithel zerstört worden war. Fluorescein passiert dagegen nach ULRICH'S Versuchen auch die epithelhaltige Kapsel. Nach FRIEDENWALD dringen positiv geladene Kolloide leichter durch die Kapsel als negativ geladene. Für Wasser ist die Linsenkapsel ebenfalls durchgängig; so quillt nach DEUTSCHMANN'S Versuchen die Linse in hypotonischen Salzlösungen (weniger als 1%) und schrumpft in hypertotonischen (mehr als 2%). Genauere Angaben machen MANCA und OVIO. Diese Autoren haben gefunden, daß beim Rinde und beim Frosche sich der osmotische Druck einer Kochsalzlösung, die für die Linse indifferent ist, zu dem osmotischen Drucke des Blutserums verhält wie 133 : 100. Das würde also bedeuten, daß die erwähnte Lösung sich zum Humor in osmotischer Beziehung wie 133 : 113 verhält. Nun quillt die Linse in normalem Kammerwasser nicht (SALFFNER), während dies nach MANCA und OVIO in einer dem Kammerwasser isotonischen Kochsalzlösung der Fall ist. Mithin müssen noch andere Ursachen für die Quellung vorhanden sein als osmotische. Daß die Linsenkapsel sich nicht wie eine tote Membran verhält, dafür spricht auch die Tatsache, daß sie für Kaliumionen leichter durchgängig ist als für Natrium- und Lithiumionen. Es ist auch an die Möglichkeit zu denken, daß gewisse Ionen die Permeabilität der Linse ändern.

Filtration durch die Linsenkapsel hat MEISSNER (b) nicht beobachten können.

Durch Iontophorese hat STEINDORFF versucht, aus einer zwei- bzw. vierprozentigen Jodjodkaliumlösung Jod in das Augeninnere zu bringen. Die Anode wird auf die enthaarte Rückenhaut eines Kaninchens aufgesetzt, die Kathode auf den Bulbus. Mit einer Stromstärke von zwei Milliampère gelang es nicht, Jod in die Linse zu überführen.

**d) Verhalten der ganzen Linse gegen fremde Substanzen.**

BENCE-JONES fand in Versuchen an Meerschweinchen, daß in den Magen der Tiere eingeführtes Lithiumchlorid nach einer halben Stunde in der Linse nachweisbar war, während es in den übrigen Geweben, sogar auch im Knorpel, schon nach 15 Minuten gefunden wurde. Analoge Beobachtungen machte derselbe Autor bei Menschen nach Darreichung von Lithiumcarbonat teils an kataraktösen, teils an normalen Linsen. Für eine Reihe anderer Stoffe gilt dasselbe: Rubidium-, Caesium- und Thalliumchlorid (BENCE-JONES), Kaliumferrocyanid (ULRICH), Jodkalium (DEUTSCHMANN und OVIO), Fluorescein (SCHÖLER und UTHOFF). Die Ausscheidung der Substanzen aus der Linse erfolgt ungemein langsam. BENCE-JONES fand bei seinen Meerschweinchen noch nach 33 Tagen Spuren von Lithium in dem Organ, und SCHÖLER und UTHOFF sahen die Fluoresceinfärbung monatelang bestehen, ehe sie sich verlor. Es zeigt sich, daß die Verbreitung der Substanzen zunächst zwischen den Fasern erfolgt, erst später dringen die Stoffe in die Zellen ein [KNIES, WEISS, ULRICH, ARNOLD und LEBER (b)]. Das Verhalten der Linse gegenüber gasförmigen Stoffen ist bis jetzt nicht untersucht worden.

**e) Bedingungen für die Durchsichtigkeit der Linse.**

Hauptbedingung für die Durchsichtigkeit der Linse scheint die *Integrität ihrer Kapsel* zu sein. Nach jeder Verletzung der Kapsel quillt die Linse unter Trübung. Das geschieht auch im lebenden Auge. Die Ursache für die Trübung liegt in der Quellung der Linsenfasern, die aus der Kapselwunde hervordrängen.

Auch nach Massage der Vorderfläche der Linse zeigt sich eine Linsentrübung. Größere Verletzungen der Kapsel sind dabei leicht zu vermeiden, doch hat LEBER Veränderungen im Kapselepithel nachweisen können.

Änderungen der *chemischen Beschaffenheit der umgebenden Flüssigkeiten*, insbesondere Erhöhung ihrer osmotischen Spannung können ebenfalls zu Linsentrübungen führen. Durch Einverleibung einer ganzen Reihe von Stoffen ist eine solche Trübung erzeugt worden: Salze des Natriums, Kaliums, Ammoniums, Magnesiums, Calciums, durch Kaliumferrocyanid, Trauben-, Rohr- und Milchsucker. MANCA und OVIO konnten an isolierten Linsen zeigen, daß die Chlorverbindungen des Natriums, Lithiums und Calciums die trübende Wirkung in isosmotischen Minimalkonzentrationen erzeugten. Nach SCALINCI verändert sich die Linse in einer Kochsalzlösung von 1,15—1,35% nicht.

Nach KUNDE sollen die Trübungen ihren Grund in einer *Abgabe von Wasser* durch Osmose aus der Linse haben. In der Tat haben HEUBEL und DEUTSCHMANN Gewichtsabnahme der Linse beobachtet, wenn sie sich durch Versenken in hypertonsche Flüssigkeiten trübte.

Gegen die Wasserabgabe als alleinige Ursache sprechen Versuche von MITCHELL und MICHEL, die bei Trocknung der Linse in Luft keine Trübung entstehen sahen. Auch GUTTMANN hat nach Einlegung der Linse in Glycerin keine Trübung gesehen, ebensowenig LANGENDORFF, der Fröschen Glycerin injizierte. In seinen Versuchen ging der Wasserverlust des Auges so weit, daß die vordere Kammer vollständig trocken wurde; die Hornhaut legte sich der Linse an. Trotzdem blieb diese klar.

KÖHNHORN und DEUTSCHMANN (a, b) dagegen beobachteten eine Trübung der Linse, wenn sie Frösche im Exsiccator vollständig austrockneten. Die Frage nach den Ursachen der beschriebenen Trübungen bedarf der Aufklärung.

*Nach dem Tode* trübt sich die Linse bald, wenn das Auge nicht gegen Verdunstung geschützt wird. Nach EWALDS Beobachtung kann man diese

Trübung durch Erschütterung des Kopfes oder durch Druck auf die Linse aufheben.

Auf eine ganze Reihe *anderer Ursachen* für die Trübung der Linse kann hier nur kurz verwiesen werden. So wirken Abkühlung, Erschütterung, Bestrahlung mit kurzwelligem Licht, das nach v. HESS (b) Zell- und Kerzerfall im Kapselepithel erzeugt, elektrische Entladungen (Blitzkatarakt) trübend. Manche Formen der Katarakt entstehen nach C. v. HESS (a) infolge von Schädigung des Epithels. Einverleibung von Giften kann gleichfalls Star erzeugen. So trübt sich die Kaninchenlinse nach Darreichung von  $\alpha$ - und  $\beta$ -Naphthol; beim Menschen erfolgt diese Wirkung nicht (AXENFELD). (Man vgl. hierzu Kapitel JESS in Bd. 5 dieses Handbuches, S. 266—271). Nach SALA rührt die Naphthalinkatarakt von Schädigungen des Ciliarkörpers her: Hyperämie, Quellung des Pigmentepithels und des kubischen Epithels, Abhebung des letzteren in Blasen.

Von der Voraussetzung ausgehend, daß der Naphthalinstar des Kaninchens der menschlichen Alterskatarakt von allen experimentell erzeugten Linsentrübungen am ähnlichsten sei, und an die Beobachtung anknüpfend, daß der Cholesteringehalt des Menschenblutes beim Altersstar vergrößert ist, haben MICHAEL und VANCEA (a) den Cholesteringehalt des Blutes vom Kaninchen vor, während und nach der Naphthalinvergiftung (täglich 1 g in Glycerin) untersucht. Sie finden eine Vermehrung bis aufs Dreifache. Der Anstieg erfolgt schon vor der Linsentrübung und überdauert die Fütterung lange Zeit, besteht vielfach noch in der Rückbildungsphase der Katarakt. Die Autoren wollen die Erscheinung auf eine Störung der Nebennierentätigkeit zurückführen.

Schaf- und Rinderlinsen zeigen bei  $-1^{\circ}$  eine zentrale Trübung, die beim Ansteigen der Temperatur verschwindet. Hundelinsen bleiben auch bei mehrstündigem Aufenthalt bei  $-4^{\circ}$  klar. In hypertonen Ringerlösungen (NaCl 2,7%, CaCl<sub>2</sub> 0,062%, KCl 0,126%, NaHCO<sub>3</sub> 0,09%) zeigten Schaf- und Rinderlinsen nach 24 Stunden bei Zimmertemperatur diffuse Totaltrübung bei dichterem zentraler Trübung. Diese Trübungen wurden in hypotonischer Ringerlösung (NaCl 0,3%, CaCl<sub>2</sub> 0,08%, KCl 0,014%, NaHCO<sub>3</sub> 0,005%) aufgehoben. Hundelinsen ebenso behandelt blieben klar. Erst bei  $+1^{\circ}$  trübten sie sich zentral, wurden aber beim Erwärmen wieder klar.

Bei  $p_H = 4,2$  ist die Trübung der Rinderlinse bei Abkühlung am stärksten (isoelektrischer Punkt der Rinderlinse nach GULOTTA bei  $p_H = 4$ ). Auch nach LÖWENSTEIN und HAUROWITZ erzeugen hypertone Salzlösungen sowie Abkühlung bei Linsen ausgewachsener Rinder ausgebreitete Trübungen, bei jüngeren perinucleare, bei ganz jungen nucleare. Als Substrat dieser reversiblen Trübungen nehmen die Autoren die unlöslichen Krystalline an. Die Säurekatarakt ( $p_H = 5,6$ ) soll auf Ausfällung des  $\alpha$ -Krystallins beruhen. Eine schützende Wirkung der Linsenkapsel gegen die genannten Einwirkungen ließ sich nicht zeigen. Auch BUGLIA will die postmortale und die Kältetrübung der zentralen Teile der Krystallinse auf eine Änderung der aktuellen Reaktion der zentralen Linsensubstanz zurückgeführt wissen. Messungen mit Hilfe von Indicatoren haben ergeben, daß die Wasserstoffionenkonzentration bei der Abkühlung der Linse zunimmt, aber nur an den zentralen sich trübenden Teilen. Eine analoge Zunahme findet BUGLIA im Kern postmortal getrübler Linsen. Die Zunahme bei der Kältetrübung verschwindet bei der Erwärmung wieder, die Linse wird wieder klar, die aktuelle Reaktion wieder alkalisch.

Der sog. „Glasbläserstar“ soll nach neueren Untersuchungen (VOGT) durch ultrarote Strahlen erzeugt werden, entgegen der Angabe von SCHANZ und STOCKHAUSEN, nach denen die ultravioletten Strahlen ihn erzeugen (s. auch

CRAMER: Verletzungen und Berufskrankheiten des Auges, Bd. 4 dieses Handbuchs, S. 550).

Die Hypothese der Kataraktbildung als *Folge einer Eiweiweißhydrolyse* in der Linse prüften LABBÉ und LAVAGNA. Sie untersuchten an normalen und an Kataraktlinsen vom Rinde 1. den Wassergehalt, 2. den Totalstickstoffgehalt, 3. den Stickstoffgehalt des löslichen Eiweißes, 4. den totalen durch Formaldehyd titrierbaren Stickstoff, 5. den durch Formol titrierbaren Aminosäurestickstoff. Es hat sich ergeben:

Chemische Bestandteile normaler und Starlinsen.

	Normale Linsen	Starlinsen
Wassergehalt . . . . .	65,23%	71,50%
N-total . . . . .	15,54%	10,62%
N-lösliches Eiweiß . . . . .	4,36%	1,37%
Total Formol-N . . . . .	2,49%	2,60%
Aminosäure-N . . . . .	0,34%	1,34%

Das Resultat ist also in Starlinsen eine Zunahme des Wassergehaltes, Abnahme des löslichen Eiweißes und Zunahme der Aminosäuren.

## Anhang. Der Einfluß von Nerven auf die Ernährung des Auges.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß Sehnerv und Netzhaut zu ihrem Leben des gegenseitigen Zusammenhanges bedürfen. Die Folgen seiner Unterbrechung zu schildern, ist nicht Aufgabe an dieser Stelle (s. Band 5 dieses Handbuchs, S. 749).

Die Untersuchungen über den Einfluß des Trigemini auf die Ernährung des Auges gehören der Geschichte an. Man findet sie in den eingangs angeführten Zusammenfassungen und in den Handbüchern der Physiologie abgehandelt; Einzelheiten sind im Kapitel der Keratitis neuroparalytica (s. Bd. 4 des Handbuchs, S. 352) nachzulesen.

Auch die gegenseitige Beeinflussung der Organe des wachsenden Auges ist nicht an dieser Stelle zu besprechen.

## II. Physiologie der Blutzirkulation des Auges.

Die Zirkulation im Bulbus spielt sich im Innern eines Behälters ab, der mit Flüssigkeit erfüllt ist, die unter Druck steht. Auf den Wandungen der Blutgefäße lastet mithin von innen der Blutdruck, von außen der Augendruck, Beim Studium der Blutbewegung werden beide Faktoren zu berücksichtigen sein, weil beide die Zirkulation in den Augengefäßen beeinflussen.

Wenn eine Blutbewegung in diesen Gefäßen stattfinden soll, so muß unbedingt der Blutdruck höher sein als der Augendruck; denn da die Wand der Augengefäße keine Starrheit gegen Druck von außen besitzt, so muß das Blutgefäß, auf dessen Außenwand ein höherer Druck lastet als auf der Innenwand, notwendigerweise kollabieren. Daher ist *die erste Bedingung für einen kontinuierlichen Kreislauf in den Augengefäßen, daß in allen Teilen des Gefäßsystemes der Blutdruck höher als der Augendruck ist*. Natürlich gilt dieser Satz nur für Gefäße mit Wänden ohne Starrheit. In der Tat haben Messungen des Druckes an den Wirbelvenen und an den Abflußgebieten des Canalis Schlemmii die Richtigkeit dieses Satzes bewiesen (s. S. 53).

## 1. Die Zirkulation in der Netzhaut.

Wie man mit dem Augenspiegel an gesunden Menschen leicht nachweisen kann, sind unter normalen Bedingungen die Netzhautgefäße stets mit Blut gefüllt. Das zeigt also, daß der Blutdruck im ganzen Netzhautgefäßsystem dauernd höher ist als der Augendruck.

**Arterien.** Wenn man den Augendruck vermehrt, z. B. durch Druck auf den Bulbus, so kann man bei geeigneter Druckabstufung leicht einen Zustand erzeugen, bei dem der Augendruck den diastolischen Blutdruck übertrifft, den systolischen aber noch nicht erreicht. Dabei zeigt sich rhythmische Füllung der Arterien im Tempo des Herzschlages. Unter natürlichen Bedingungen hat man das bei herannahendem Tode beobachtet, wenn die Herzkraft zu erlahmen beginnt (VON SCHULTÉN, VON GRAEFE). Auch bei Ohnmachtsanfällen (WORDSWORTH) und bei glaukomatösen Drucksteigerungen hat man häufig dieses Phänomen festgestellt. Wird der Druck auf den Bulbus so stark gemacht, daß der Augendruck auch während der Systole den Blutdruck übertrifft, so bleiben die Arterien dauernd leer.

Aus solchen Beobachtungen kann man den *Blutdruck* in den Netzhautarterien ermitteln. SCHÖLER hat in Bestimmungen mit Hilfe des Augenspiegels gefunden, daß die Arterien bei einem Augendrucke von 75 mm Hg leer werden, während dies nach VON SCHULTÉN erst bei einem Augendrucke von 90—120 mm Hg geschieht. Der Druck ist im Liegen und Sitzen gleich (SALVATI).

Darnach hat PRIESTLEY-SMITH den systolischen Druck in den Retinaarterien beim Menschen gleich 90—100 mm Hg geschätzt. TH. HENDERSON bestimmte den diastolischen Druck gleich 40—50 mm Hg (15—25 mm über der Höhe des normalen Augendruckes), indem er den Bulbus von außen komprimierte, den Kompressionsdruck mittels eines Tonometers maß und gleichzeitig beobachtete, bei welchem Drucke die Arterien des Augenhintergrundes zu pulsieren begannen. Mit analoger Methodik hat BAILLIART (a, b) gearbeitet. Er findet dabei einen systolischen Druck von 65—70 mm, einen diastolischen von 30—35 mm Hg. Die Untersuchungen BAILLIARTS sind in einer Monographie zusammengefaßt, welche eine Reihe von Literaturnachweisen enthält. Mit BAILLIARTS Methode hat VELTER den diastolischen Druck gleich 35, den systolischen gleich 65 mm gefunden; DUVERGER und BARRÉ sind ebenfalls mittels der Methode BAILLIARTS auf 50—60 mm für den diastolischen, 80—100 mm für den systolischen Druck gekommen. (Man vergleiche hierzu auch die Kapitel „Untersuchungsmethoden“, in diesem Bande des Handbuchs, „Erkrankungen der Netzhaut“, Bd. 5, S. 403 und „Physiologie und Pathologie des Augendruckes“, Bd. 4, S. 677.)

LEPLAT hat an Hunden, MAGITOT und BAILLIART (a, b) haben an Katzen mittels der Methode der Steigerung des Augendruckes beobachtet. Ihre Resultate sind: beim Hunde systolisch 80—90, diastolisch 50—65, bei der Katze systolisch 100, diastolisch 45 mm Hg. Mit gleicher Methode hat SAMOJLOFF einen systolischen Druck von 80—85 mm Hg, einen diastolischen von 35 mm Hg an den Netzhautarterien gefunden. Der einzige, dem es gelungen ist, in die Netzhautarterie direkt eine Kanüle einzuführen und mittels Einlaufes blau gefärbter Flüssigkeit in das zentrale Arterienende den Injektionsdruck festzustellen, welcher zur Überwindung des Blutdruckes in diesem Gefäße nötig ist, ist DUKE-ELDER (a). Seine Versuche, an Katzen angestellt, ergaben diastolische Drucke zwischen 59 und 69 mm Hg, systolisch zwischen 83 und 94 mm Hg. An dem nämlichen Tier hat er den Druck in der Arteria ophthalmica gemessen und diastolische Werte von 53—85 mm Hg, systolische von 106—129 mm Hg gefunden.

Mit Hilfe direkter Manometrie hat O. WEISS den Druck in den Augenarterien gemessen. Das Auge wurde mit einem empfindlichen elastischen Manometer in Verbindung gesetzt und der Druck im Auge solange gesteigert, bis die Pulsationen des Manometers aufhörten. Beim Kaninchen geschah das bei einem Augendrucke von 80—110 mm Hg. Dieser Druck ist gleich dem systolischen Blutdrucke in den Augengefäßen. Nunmehr wurde der Augendruck langsam herabgesetzt und die Druckhöhe bestimmt, bei der die Pulsationen des Manometers ein Maximum zeigten. Dieser Druck ist der diastolische Druck in den Netzhautarterien. WEISS hat ihn, ebenfalls am Kaninchen, gleich 50 bis 70 mm Hg gefunden.

Mit einem optischen Manometer ergab sich in Untersuchungen von LULLIES und GULKOWITSCH am Kaninchen ein diastolischer Druck von 50—70 mm Hg, ein systolischer von 80—100; DUKE ELDER (a, b, c) fand mit zwei verschiedenen Methoden 78,5 (64) mm Hg für den diastolischen, 115 (88,5) mm Hg für den systolischen Druck.

Die Abhängigkeit des Druckes in der Zentralarterie vom Alter hat BLIEDUNG untersucht. Seine Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt:

Alter in Jahren	Blutdruck in mm Hg			
	Arteria brachialis		Arteria centralis retinae	
	systolisch	diastolisch	systolisch	diastolisch
9—15 . . . . .	114	63	96	64
16—20 . . . . .	128	69	101	71
21—25 . . . . .	125	75	101	70
26—35 . . . . .	126	69	107	68
36—45 . . . . .	131	73	106	70
46—55 . . . . .	138	78	112	74
>55 . . . . .	150	84	117	75

Die richtige Erklärung für das rhythmische Einströmen des Blutes in die Netzhautarterie hat A. VON GRAEFE (b) gegeben. Die *Pulsationserscheinung* wird auch als „Druckpuls“ der Zentralarterie bezeichnet, um eine Unterscheidung von dem „echten Arterienpuls“ zu markieren. Hierunter hat man den Arterienpuls der Arteria centralis retinae unter normalen Bedingungen zu verstehen. Kaum an einem anderen Organ sind die Bedingungen für Pulserscheinungen an so kleinen Gefäßen so günstig wie im Innern des Auges. Die Gefäßwand wird durch die Gegenwirkung des Augendruckes wesentlich entspannt, sie hat an Druck nur die Differenz zwischen Blutdruck und Augendruck zu tragen. Der systolische Druckzuwachs wirkt hier also auf eine Gefäßwand, die schwächer gespannt ist als in den übrigen Organen. Die Bedingungen für die systolische Ausdehnung der Gefäßwand sind hier also günstiger. Allerdings hat man zu berücksichtigen, daß die Masse der intraokularen Flüssigkeit als Dämpfer auf die Gefäßwand wirkt.

Der Netzhautarterienpuls ist zuerst von DONDERS gesehen worden. Später von zahlreichen Autoren. Besonders häufig wird er beobachtet, wenn die pulsatorischen Blutdruckschwankungen vergrößert sind, z. B. bei Insuffizienz der Aortenklappen, bei BASEDOWscher Krankheit [BECKER (a, b, c)].

**Venen.** Auch an den Venen kann man häufig *Pulsationen* beobachten. Hier zeigt sich der Puls in einem An- und Abschwellen der Vene im Rhythmus des Herzschlages. Die Erscheinung läßt sich nur an den Venen im Bereiche der Papilla nervi optici beobachten, der übrige Teil der Netzhautvenen zeigt sie nicht.

Die Venenpulsationen sind durch VAN TRIGHT und COCCIUS (a, b) entdeckt worden, man findet sie am häufigsten bei Kindern. Über ihre Ursache ist sehr viel diskutiert worden. Man hat alle Möglichkeiten zur Erklärung dieses Pulses herangezogen. COCCIUS nimmt an, daß die Füllung der Arterien den Augendruck steigert und daß hierdurch das Venenblut ausgepreßt werde. DONDERS fügte dem erklärend hinzu, daß die Verengung nur im Bereiche der Papille erfolgt, rühre daher, daß hier der intravasculäre Druck am geringsten sei, die Kompression also den geringsten Widerstand finde. Zugleich nahm DONDERS an, daß infolge der systolischen Drucksteigerung die Papille sich nach hinten ausbuchte und hierdurch eine Knickung der Venen am Papillarrande erfolge. Hierfür ist später JACOBI besonders eingetreten. Diese Vorstellung ist auf ihre Richtigkeit von einer Reihe von Autoren geprüft worden. Wenn sie nämlich zutrifft, müßte man eine systolische Stauung des Venenblutes in der Retina erwarten. Diese ist von BECKER (a, b, c) und SCHÖN wirklich gesehen worden, während BERTHOLD und HELFREICH sie nicht wahrnehmen konnten. JACOBI und EPLER haben sie bald beobachtet, bald vermißt.

Den Netzhautvenenpuls wollen VON JAEGER und SCHÖN durch mechanische Wirkung der pulsierenden Zentralarterie auf den Venenstamm erklären. Nach HELFREICH sind die Blutdruckschwankungen in den Hirnsinus die Ursache des Venenpulses. HOLZ leitet ihn vom sog. negativen Jugularvenenpuls her, während TÜRK annimmt, daß die arterielle Pulswelle sich durch die Capillaren auf die Venen fortpflanze.

Man sieht, daß die Erklärungen von COCCIUS, VON JAEGER und SCHÖN, HELFREICH, TÜRK den Venenpuls auf arterielle Ursachen zurückführen wollen, während HOLZ ihn auf mechanische Gründe bezieht, die im Venensystem liegen.

Für die erste Möglichkeit spricht die Beobachtung von VON GRAEFE und DONDERS, die gesehen haben, daß beim Druck auf das Auge die Füllung der Arterien und die Entleerung der Venen gleichzeitig erfolgt. Sicher bewiesen ist die arterielle Ursache des Netzhautvenenpulses durch LICHTHEIM. Er konnte zeigen, daß in einem Falle von Dissoziation des Vorhofs- und Ventrikelrhythmus der Venenpuls dem Rhythmus der Ventrikelsystole folgte. Zu gleichen Vorstellungen gelangt auch KÜMMELL.

Außer beim Menschen ist der Netzhautvenenpuls auch beim Schaf, Schwein, Hund und bei der Katze beobachtet, beim Kaninchen ist er bisher nicht festgestellt worden.

In den Netzhautvenen ist der *Blutdruck* bisher nicht gemessen worden. Er ist auch hier höher als der Augendruck.

In den Capillaren hat man bei Tieren mit stark vergrößerndem dioptrischen Apparate die Blutbewegung direkt beobachtet. So kann man bei Fröschen, Fischen, Schlangen, die Bewegung der Blutkörperchen sehen. Auf entoptischem Wege hat K. VIERORDT sie in den Capillaren der Retina zuerst wahrgenommen und die Strömungsgeschwindigkeit daraus bestimmt. Er fand sie gleich 0,61 bis 0,52 mm Sek.

Unter subjektiver Beobachtung des Capillarstromes der Netzhautgefäße bei gleichzeitiger Kompression des Bulbus haben DIETER und FISCHER feststellen können, daß die Strömung bei einem Drucke von 51,5 bzw. 50 mm Hg verschwindet. Diese Druckhöhe setzen sie gleich dem *Druck* in den Netzhautcapillaren.

## 2. Die Zirkulation in der Aderhaut.

Unsere Kenntnisse über die Zirkulation in der Aderhaut sind gering. Es gelten hier dieselben Bedingungen für die Erhaltung des Kreislaufes, wie sie in

der Einleitung (S. 13) entwickelt worden sind. In der Tat haben MAGITOT und BAILLIART sowie LEPLAT den Druck in der Irisarterie gleich dem der Retinaarterie gefunden.

Einer näheren Betrachtung bedürfen nur die *Venen* der Aderhaut. Sie durchbrechen schließlich als *Venae vorticosae* die Sclera und führen ihr Blut der *Vena ophthalmica* zu. Vor dem Durchtritt durch die Sclera sind sie weit — man spricht von sinusartiger Erweiterung —, während die Passage durch die Sclera das Strombett erheblich verengert. Dadurch wird bewirkt, daß der Blutdruck in dem weiten Teile relativ hoch bleibt.

An den *Venae vorticosae* hat O. WEISS den Blutdruck im Inneren des Bulbus manometrisch gemessen. Der Druck erreicht hier am Kaninchenaug 33—63 mm Hg. BAURMANN ermittelt den intraokularen Venendruck bei einem Augendruck von 20 mm Hg gleich 30 mm Hg, bei einem Augendruck von 25 mm Hg = 35 mm Hg. Diese Werte stimmen gut mit den von LULLIES schon früher beobachteten Größen des intraokularen Venendruckes von 29—31 mm Hg überein und ebenso mit den eben erwähnten Messungen von O. WEISS. Auch die Beobachtungen von SAMOJLOFF und von DUKE-ELDER harmonieren hiermit. Der Erstgenannte hat mit der Kompressionsmethode an einer optico-ciliaren Katzenvene 23—28 mm Hg gemessen, der zweite an den intrascleralen Venen des Hundes einen Druck, der 1—2 mm Hg unter dem Augendruck lag. Außerhalb des Bulbus hat SEIDEL den Druck in den Wirbelvenen des Kaninchens gleich 10—15 mm Hg gefunden, in den episcleralen Venen betrug der Druck 7—11 mm Hg; dieselbe Höhe hatte er an den vorderen Ciliarvenen. Beim Menschen waren in diesen Gefäßen Druckhöhen von 10—14 mm Hg nachweisbar.

Auch an den Aderhautarterien und -venen hat man bei Druck auf das Auge *Pulsationen* beobachtet (LAQUEUR, ULRICH, THORNER). Venenpuls auf Druck hin zu erzeugen gelingt an der Aderhaut weit weniger leicht als an der Netzhaut. Vermutlich sind die engen Abflüsse dieser Venen der Erzeugung von Volumschwankungen in ihrem intraokularen Abschnitte nicht günstig.

An den *Arterien der Iris* hat WEBER spontane Pulsationen des *Circulus arteriosus major* bei Hunden festgestellt. Rhythmische Kaliberschwankungen der Irisarterien sah WEGNER am Kaninchen. Sie traten in Abständen von  $\frac{1}{7}$  bis  $\frac{1}{3}$  Minute auf. Nach SCHÖLER nimmt der Blutgehalt der Iris bei Katzen bei Pupillenerweiterung ab; das zeigte sich an einem Anschwellen des *Circulus arteriosus major*.

Zweifelhaft ist, ob die Schwankungen der *Pupillenweite*, welche HENSEN und VÖLKERS im Rhythmus der Atmung und des Herzschlages beobachtet haben, auf Änderungen des Blutgehaltes oder auf nervöse Beeinflussung der Gefäßmuskeln oder der glatten Irismuskeln zurückzuführen sind. Die Schwankungen bestehen in einer Erweiterung der Pupille bei der Ausatmung. Die Änderung der Pupillenweite kann bis zu  $\frac{1}{2}$  mm betragen. HENSEN und VÖLKERS wollen die Erscheinung auf eine Entleerung der Irisvenen bei der Inspiration zurückgeführt wissen.

Die Änderungen der Pupillenweite, welche im Rhythmus der Herzaktion erfolgen, bestehen in einer schnellen, der Systole synchronen Verengung der Pupille mit nachfolgender langsamer Erweiterung. Durch künstliche Injektionen kann man analoge Veränderungen der Pupillenweite nicht regelmäßig erzeugen. (Man vergleiche hierzu auch das Kapitel „Pupillen“ in Bd. 6, S. 108 dieses Handbuches.)

Ganz vereinzelt steht die Angabe von COCCIUS, nach dem die Ciliarfortsätze bei der Akkommodation anschwellen.

### 3. Die Zirkulation in den übrigen Teilen des Auges.

Die Kreislaufverhältnisse der Sclera sind, soweit sie besonderes Interesse beanspruchen, auf S. 17 dargestellt. In den übrigen Teilen der Orbita zeigen die Kreislauferscheinungen nichts Bemerkenswertes.

Von besonderer Vollkommenheit scheint der Abfluß des Venenblutes aus dem Auge zu sein. Wie KRAUSS zeigen konnte, fließt das Blut je nach der Kopfhaltung durch die Vena facialis anterior nach vorn oder durch den Sinus cavernosus nach hinten ab. So erklärt es sich vielleicht auch, daß Stauung im Kopfgefäßgebiet ohne Einfluß auf den Augendruck bleibt (WESSELY). Neuere Untersuchungen kommen hier allerdings zu einem andern Resultat (s. Kapitel THIEL, Augendruck, Bd. 4 dieses Handbuches, S. 684).

### 4. Die Innervation der Gefäße des Bulbus oculi.

Die Gefäßnerven des Auges entspringen im Rückenmark, gelangen von hier bei Hund und Katze auf der Bahn des 1.—4. Brustnerven, vor allem im 2. und 3., beim Kaninchen mit dem 2.—8., nach DASTRE und MORAT 3.—5. Brustnerven in den Grenzstrang. Von hier durch den Grenzstrang und die Ansa Vieussenii ziehen sie in den Halssympathicus der gleichen Seite (WEGNER, LEBER, VON SCHULTÉN, SCHÖLER, RIEGER und FORSTER, MORAT und DOYON (a, b), ELINSON, KAHN, MAGITOT und BAILLIART).

Einige Autoren geben an, daß die weitere Bahn im Trigeminus verlaufe. Nach BERNARD, VON GRAEFE und SCHIFF (a, b) trifft dies nicht zu; nach MORAT und DOYON ziehen in das Auge auf dieser Bahn nur für die hinteren Augenabschnitte vasoconstrictorische Nerven, besonders für die Netzhaut. ELINSON findet, daß diese Nerven über das Ganglion cervicale superius in die Schädelhöhle gelangen, sich am Sinus cavernosus in drei Zweige teilen, deren erster über das GASSERSche Ganglion durch die Radix longa in das Ciliarganglion eintritt. Der zweite verläuft zum Oculomotorius, von hier durch die Radix brevis zum Ciliarganglion, der dritte durch die Radix sympathica ebendahin. Vom Ciliarganglion gelangen die Vasomotoren durch den Opticus zur Retina.

Die gefäßerweiternden Nerven des Auges verlaufen im Trigeminus (VON SCHULTÉN, VULPIAN, MORAT und DOYON); sie entstammen zum Teil dem Gehirn.

#### a) Die Innervation der Gefäße der Retina.

Einstimmigkeit herrscht darüber, daß beim Kaninchen durch Sympathicusreizung eine Verengung der Netzhautgefäße eintritt. Nach intracranieller Trigeminotomie fällt dieser Reizeffekt weg (MORAT und DOYON). Eine tonische Innervation der Retinagefäße läßt sich nicht immer nachweisen, ist aber beobachtet.

Zahlreiche Widersprüche bestehen über das Verhalten der Retinavasomotoren beim Hunde. So sahen PONCET und DOYON bei Reizung des Vagosympathicus Erweiterung, JEGOROW dagegen Verengung der Retinagefäße. Die Vasodilatoren verlaufen nach MORAT und DOYON durch den Ramus cervico-gasserianus zum GASSERSchen Ganglion; von hier in den ersten Ast des Trigeminus, zum Ciliarganglion und von dort zur Retina. Ein Teil der Vasodilatoren gelangt nach DOYON (a, b) aus der Medulla oblongata direkt in den Trigeminus.

Über tonische Beeinflussung der Retinagefäße des Hundes widersprechen sich die Angaben: Keine Wirkung nach DONAULT; Gefäßerweiterung nach JEGOROW, PONCET und DOYON; Verengung nach PONCET und DOYON.

Auch an Katzen lauten die Ergebnisse widersprechend. Nach DOYON wirkt Reizung des Vasosympathicus gefäßerweiternd, nach SCHÖLER verengernd,

ebenso nach MAGITOT und BAILLIART. Nach KAHN werden die Venen weit durch passive Stauung, die Arterien zeigen keine Veränderung. Resektion des Sympathicus am Halse wirkt gleich der Ausrottung des oberen Halsganglions nach NEUSCHÜLER und SCHÖLER gefäßerweiternd, ebenso nach MAGITOT und BAILLIART, nach KAHN ist die Sympathicusdurchschneidung ohne Wirkung.

Bei der Katze liegen die Zentren der Vasodilatoren nach A. VON HIPPEL und GRÜNHAGEN in der Medulla oblongata, nach RIEGER und FORSTER im Brustmark im Bereiche des 4.—6. Brustwirbels. Vasoconstriction sah ADAMÜCK nach Reizung des Halsmarkes im Bereiche des 6.—7. Halswirbels. In der Gegend des 4.—5. Halswirbels oder tiefer unten beobachteten MORAT und DOYON bald Erweiterung, bald Verengerung der Netzhautgefäße.

Bei Affen hat KAHN keinerlei Nerveneinfluß auf die Retinagefäße festgestellt.

Am Menschen sah SCHMIDT-RIMPLER nach Ausrottung des oberen Halsganglions stärkere Rötung der Papille auf der operierten Seite. Dasselbe fanden JONESCO und FLORESCO. Der Trigeminus ist ohne Einfluß auf die Netzhautgefäße.

#### b) Die Innervation der Gefäße der Uvea.

Bei Kaninchen, Katzen und Hunden wirkt Sympathicusreizung verengernd auf die Ciliargefäße und ihre Äste, Resektion gefäßerweiternd. Nur SCHIFF fand den Sympathicus ohne Einfluß. Die Folgen einer Resektion oder der Ausrottung des Ganglion cervicale superius bilden sich nach einiger Zeit zurück. LANGENDORFF nimmt an, daß sich infolge des Innervationsausfalles eine Kontraktur der Gefäßmuskeln ausbilde.

Das Vorhandensein gefäßerweiternder Nerven wurde behauptet, aber nicht sicher ergründet. Die Lage der vasomotorischen Zentren ist nicht näher bekannt.

#### c) Die Innervation der Gefäße der Conjunctiva.

Der Sympathicus wirkt auf die Konjunktivalgefäße wie auf die Aderhautgefäße. Die Folgen der Sympathicusresektion bilden sich nach einigen Stunden zurück, die der Ausrottung des oberen Halsganglions erst nach Tagen oder Wochen. Beim Menschen haben JONESCO und FLORESCO noch nach 6½ Jahren Gefäßerweiterung als Folge der Ausrottung gesehen. Nach HERTEL bleibt bei jungen Kaninchen die Gefäßerweiterung aus.

Die Vasomotoren für die Conjunctiva können nur zum Teil im Trigeminus verlaufen; denn auch nach seiner Resektion ist die Reizung des Sympathicus noch wirksam. Doch scheint auch der Trigeminus gefäßverengernde Fasern zu führen, insofern seine Durchschneidung eine kurz dauernde Hyperämie der Bindehaut zur Folge hat. Nach SCHIFF stellt sich nach der Operation eine 2—3 Wochen dauernde Gefäßerweiterung ein, nach dieser Zeit zeigt sich diese nur noch periodisch. Letzteres Verhalten konnte noch nach 6 Monaten konstatiert werden. Nach Beobachtungen von F. KRAUSE und LEXER an Menschen, denen das GASSERSche Ganglion exstirpiert war, ist die Conjunctiva 18 Tage nach der Operation normal. Vor dieser Zeit konnte sie nicht beobachtet werden.

Auch gefäßerweiternde Nerven für die Conjunctiva konnten im Trigeminus durch seine Reizung zentral vom Ganglion Gasseri nachgewiesen werden, während die Reizung des Ramus ophthalmicus dieses Nerven ohne Wirkung war (VULPIAN).

Über die Lage der Niveauzentra für die Vasomotoren fehlen genaue Angaben. Halbschnitte des Kopfmakes haben denselben Erfolg wie Durchschneidung des Trigeminus.

### III. Die lymphatische Zirkulation des Auges.

#### A. Chemie der Augenflüssigkeiten.

Die Augenflüssigkeiten entstehen im zweiten bis dritten Fetalmonat aus der Neuroglia, deren Zellen sich auflösen (MAGITOT).

##### 1. Humor aqueus.

**Menge.** Der Inhalt der vorderen und hinteren Augenkammer, Humor aqueus, Kammerwasser genannt, ist eine farblose, geruchlose, klare Flüssigkeit. Seine Menge beträgt beim Menschen 0,15—0,45 ccm, beim Kaninchen im Mittel etwa 0,3 ccm (0,20—0,35), beim Hund 0,43—0,85 ccm, Schwein 0,335—0,45 ccm, Katze 0,67—1,03 ccm, Hammel 0,8—1,45 ccm, Rind 1,61—3,1 ccm, Pferd 2,4 ccm. MESTREZAT und MAGITOT (zitiert nach HAMBURGER) haben folgende Werte gefunden: Kaninchen 0,3 ccm, Katze 0,34—0,35 ccm, Schwein 0,17—0,20 ccm, Hund (5 kg) 0,4—0,5 ccm, Hammel 0,4—0,7 ccm, Kalb 0,8—0,85 ccm, Rind mehr als 1 ccm, Pferd 3,15 ccm.

Die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Augenflüssigkeiten sind deshalb von besonderem Interesse, weil sie vielfach für die Diskussion der Frage nach der Herkunft und dem Schicksal dieser Flüssigkeiten von Bedeutung gewesen sind. Wir müssen deshalb auf die Physik und Chemie des Humor aqueus und vitreus etwas näher eingehen.

Die Angaben über das *spezifische Gewicht* des normalen Kammerwassers sind für den Menschen sehr verschieden. Das hat seinen Grund einmal darin, daß es selten möglich ist, normalen lebenden Augen Kammerwasser zu entnehmen — die Daten stammen für den Humor lebender Augen also immer von krankhaft veränderten Bulbis —, zweitens hat sich gezeigt, daß nach dem Tode das spezifische Gewicht des Humor aqueus beträchtlich zunimmt. Folgende Daten werden angegeben:

##### Spezifisches Gewicht des Humor aqueus.

1. Frischer Humor aqueus		
Tierart		Autor
Mensch (senile Katarakt) . . . . .	1,0036	KLETZINSKY
„ . . . . .	1,0050	CHENEVIX
„ (Fremdkörper der Cornea) . . . . .	1,0120	URIBE
„ . . . . .	1,0075	„
„ (Frisches Auge) . . . . .	1,0036	VILLASSENOR
Hund . . . . .	1,0086	GOLOWIN
Katze . . . . .	1,0088	„
Kaninchen . . . . .	1,0087	„
Rind . . . . .	1,0082	WAGNER

2. Humor aqueus aus Leichenaugen (Mensch)		
		Feste Stoffe in %
Frisch . . . . .	1,0036	0,82
4 Stunden nach dem Tode . . . . .	1,0034	0,86
10 (12) „ „ „ „ . . . . .	1,0041	1,19
24 „ „ „ „ . . . . .		1,25
36 „ „ „ „ . . . . .	1,0050	1,39
48 „ „ „ „ . . . . .	1,0060	1,63
Rind . . . . .		1,170—1,290
Kalb . . . . .		1,313

Bei weitem der größte Teil der *festen Stoffe* des Humor ist anorganischer Natur; man hat im Humor von Anionen nachweisen können: Chlor-, Carbonat-, Sulfat-, Phosphationen; von Kationen: Natrium-, Kalium-, Calcium- und Magnesiumionen. An Menge prävalieren bei weitem Chlor- und Natriumionen, welche bei einem Gehalte des Humor von 1% anorganischer Stoffe 0,78%, also mehr als  $\frac{3}{4}$  aller anorganischen Stoffe ausmachen (s. die unten folgende Tabelle).

Nach ASCHER (a), welcher den Chloridgehalt des Humor mittels der Mikromethode von BANG bestimmte, enthält normales Kammerwasser 0,7% Natriumchlorid. Kammerwasser aus entzündeten Augen soll weniger, aus glaukomatösen mehr Kochsalz als das normale aufweisen. Nach demselben Autor soll jede Vermehrung des Eiweißgehaltes im Humor aqueus mit einer Verminderung des Kochsalzgehaltes Hand in Hand gehen. RADOS (a) hat dagegen den Kochsalzgehalt des Humor unabhängig vom Eiweißgehalt gefunden. Nach ihm beträgt er beim:

Hund, Kaninchen . . . . .	0,586%
Mensch . . . . .	0,879%
Pferd . . . . .	0,586—0,7618%
Rind . . . . .	0,703%

Nach ASCHER nimmt der Kochsalzgehalt nach dem Tode zu.

#### Zusammensetzung der anorganischen Bestandteile des Humor.

Natriumchlorid . . . . .	78,11%
Natriumcarbonat . . . . .	8,72%
Kaliumchlorid . . . . .	2,92%
Kaliumsulfat . . . . .	5,99%
Natriumphosphat . . . . .	1,99%
Calciumphosphat . . . . .	0,62%
Magnesiumphosphat . . . . .	0,40%

Eine Analyse der Trockensubstanz von einem Liter Kammerwasser vom Pferde geben MAGITOT und MESTREZAT:

Dichte (15° C) . . . . .	1,0074	Zucker (als Glukose) . . . . .	0,94
Δ	0,562	Alkalische Asche . . . . .	1,40
Trockensubstanz . . . . .	10,78	Organ. Säuren (als C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	0,60
Organische Stoffe . . . . .	2,34	Chlor (als NaCl) . . . . .	7,11
Anorganische Stoffe . . . . .	8,44	Bicarbonate (CO <sub>3</sub> NaH) . . . . .	1,65
Albumine . . . . .	0,16	Phosphate (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) . . . . .	0,073
Fibrinogen, Albumosen . . . . .	0	Sulfate (SO <sub>3</sub> ) . . . . .	0,031
Nuclealbumin, Mucin . . . . .	0	Nitrate (N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) . . . . .	0,0037
Harnstoff . . . . .	0,46	Nitrite . . . . .	0
Ammoniak . . . . .	0,003	CaO . . . . .	0,105
Gesamt-N . . . . .	0,101	MgO . . . . .	0,030

Von *organischen Stoffen* enthält der Humor Eiweißkörper; sie finden sich in geringer Menge. DEUTSCHMANN (c), DOGIEL, NICATI haben bei Tieren nur Spuren von Eiweiß gefunden; im Mittel 0,02%. Hiermit stimmen WESSELYS Beobachtungen am Kaninchen gut überein. Zu demselben Resultat sind auch MESTREZAT und MAGITOT (a) gekommen. Diese Autoren bestimmen den Eiweißgehalt bis auf 0,002—0,003%. Als Fällungsmittel bedienen sie sich der Trichlor-essigsäure. Die Humorfällung vergleichen sie auf völlig schwarzem Hintergrunde mit der Fällung in einer Eiweißlösung von bekannter Konzentration. Sie bedürfen zu ihrer Methode nur 1/80 ccm Humor, der mit einem kleinen Tropfen

Trichloressigsäure versetzt wird und finden im Humor einen Eiweißgehalt von 0,01—0,03%. Nach RADOS (a) sind die Eiweißbefunde im normalen Humor aqueus auf Unvollkommenheit der Methoden zurückzuführen. Er verwendet zur Eiweißfällung 90%—Alkohol und ermittelt im normalen Humor kein Eiweiß. Die Unvollkommenheit der Methode von RADOS hat WESSELY (m) dargetan. Weitere Eiweißbestimmungen liegen vor von GILBERT (0,005—0,017%), GALA (0,01—0,06%), DIETER (0,019—0,034%), FRANCESCHETTI und WIELAND (0,01 bis 0,03%).

DUKE-ELDER ist es gelungen zu zeigen, daß das Eiweiß des Humor aqueus aus Globulin und Albumin besteht und daß das Verhältnis dieser Eiweißstoffe dasselbe ist wie im Blutserum (für Rinder Globulin : Albumin = 1:1, für Kaninchen 1:4). Nach CAVAZZANI enthält das Kammerwasser des Rindes Spuren von Mucin.

Der Totalschwefelgehalt des Humor aqueus von Rinderaugen ist nach COHEN, KAMNER und KILLIAN 0,00374%, wovon 64% nicht aus Eiweiß stammt. Von dieser Portion ist etwas über die Hälfte Sulfatschwefel.

Nach dem Tode nimmt der Eiweißgehalt des Humor zu. Beim Rinde fand DEUTSCHMANN (c) fünf Stunden nach dem Tode 0,031% Eiweiß, 24 Stunden nach dem Tode 0,21% Eiweiß. CAHN konnte feststellen, daß im Leichenaugen der Gesamteiweißgehalt 0,082% betrug, hiervon kamen auf Albumin 0,037%, auf Globulin 0,047%.

Das frische Kammerwasser enthält *reduzierende Substanzen*, welche als Traubenzucker (CL. BERNARD, CHABBAS, JESSNER, ASK) seit langem angesprochen sind. Den sicheren Beweis für ihre Zuckernatur hat PAUTZ durch die Darstellung des Osazons geliefert. Die Menge der Glukose wird verschieden angegeben zwischen 0,045—0,050%, bei Diabetes bis zu 0,060%. Im Auge nimmt der Glukosegehalt des Humor nach dem Tode bis zum Verschwinden ab, im Leben geschieht dies bei Kaninchen beim Hungern nach 36—48 Stunden (JESSNER), im ausgelassenen Humor ändert sich dagegen der Zuckergehalt nicht.

Endlich finden sich von organischen Substanzen im Humor *Paramilchsäure* (GRÜNHAGEN) und Harnstoff (MILLON, WÖHLER, PAUTZ). Aminosäuren hat RADOS mittels der Ninhydrinreaktion nachgewiesen.

Das Konzentrationsverhältnis der reduzierenden Körper, der Milchsäure und der stickstoffhaltigen Stoffwechselprodukte im Blute und im Kammerwasser ist noch nicht genügend aufgeklärt.

Von *Enzymen* hat LEBER ein diastatisches Ferment in der vorderen Augenkammer feststellen können; der Gehalt an eiweißspaltenden Fermenten ist umstritten. Eingehende Untersuchungen über den Fermentgehalt des Kammerwassers hat LO CASCIO angestellt. Er hat eine Oxydase und Katalase, ein reduzierendes Ferment, das Methylenblau zu seiner Leukobase reduziert, eine Amylase, eine Lipase und eine Protease ermittelt.

Von Gasen enthält der Humor freie Kohlensäure und freien Sauerstoff; die Gasspannung hat DE HAAN für den Sauerstoff gleich 20—30 mm Hg festgestellt (mittels des KROGHschen Tonometers). Unter Berücksichtigung des Umstandes, daß pro Stunde und ccm Humor aqueus die Zehrung des Sauerstoffes in der vorderen Augenkammer 4 cmm beträgt, errechnet DE HAAN die wahre Sauerstofftension des Humor gleich 40 mm Hg, ein Wert, welcher der Sauerstofftension des Venenblutes gleicht.

Eine eingehende Untersuchung des *Kohlensäuregehaltes des Kammerwassers* hat KRONFELD vorgenommen. Zunächst wurde durch Evakuieren des Kammerwassers — gegen Kohlensäureverlust bei der Entnahme waren Vorkehrungen getroffen — die freie Kohlensäure, danach (durch Milchsäurezusatz) die Gesamt-

kohlensäure gemessen. Es ergab sich, daß der Kohlensäuregehalt des Kammerwassers erheblich höher (10–30%) ist als der des venösen Blutes.

Die Wasserstoffionenkonzentration im Humor aqueus gibt FOA für das Pferd gleich einer  $10^{-6}$  Normal-Natronlauge, für den Hund gleich der einer  $10^{-8}$  Normal-natronlauge an. Später ist sie von HERTEL und NORDENSON mittels der Methode der Indicatoren untersucht worden. NORDENSON fand mittels FELTON's Methode  $p_H$  bei Rindsföten im Mittel gleich 7,72, bei erwachsenen Rindern gleich 7,64. HERTEL verwendete die Methode von MICHAELIS. Er fand  $p_H = 7,32$ –7,53. Bei Drucksteigerung im Auge änderte sich diese Zahl nicht. Im diabetischen Koma zeigte sich aber bei hypotonischen Augen die Wasserstoffionenkonzentration erhöht. Im Kaninchenauge hat C. HAMBURGER  $p_H = 7,3$ –7,4 gefunden.

Nach Untersuchungen von SCALINCI (c) ist die Wasserstoffionenkonzentration entsprechend  $p_H = 7,47$  im Kammerwasser und  $p_H = 7,75$  im Glaskörper. Hieraus schließt er, daß die Faktoren, welche die Zusammensetzung der beiden Augenflüssigkeiten bestimmen, nicht in allen Stücken die gleichen sein können.

MAWAS findet den negativen Wasserstoffexponenten nahezu gleich dem des Blutes  $p_H = 7,3$  bei  $37^\circ$  C. Gesamtkohlensäure und Alkalireserven sind im Kammerwasser höher als im Blute; die entsprechenden Werte sind im Kammerwasser 73% und 70%, im Blute 60% und 45%. Bei glaukomatösen Augen findet er  $p_H = 7,1$  bei  $37^\circ$ . Dagegen ermittelte JASINSKI in der Wasserstoffionenkonzentration des Kammerwassers und des Blutserums keinen Unterschied zwischen Glaukomkranken und Normalen.

Eine relative Acidose des Kammerwassers beim Glaukom gegenüber dem Blutserum finden MAWAS und VINCENT. Sie führen ihre Messungen colorimetrisch und elektrometrisch aus. Zur Vermeidung von Kohlensäureverlusten fangen sie das Kammerwasser unter Vaselineöl auf. Sie ermittelten bei 18–20° beim Kaninchenkammerwasser  $p_H = 7,55$ , beim Menschen  $p_H = 7,50$ –7,60. In 22 Glaukomfällen betrug der Wert  $p_H = 6,8$ –7,4. Gesamtkohlensäurebestimmung nach VAN SLYKE ergab 73%; denselben Wert fanden die Autoren für die gebundene Kohlensäure.

Die Wasserstoffionenkonzentration des Kammerwassers wird nach BAURMANN (d) bestimmt durch seinen Gehalt an freier Kohlensäure und Natriumbicarbonat, sowie durch den Gehalt an Mononatriumphosphat und Dinatriumphosphat. Sie läßt sich rechnerisch auf  $10^{-7,25}$  bewerten. Experimentelle Bestimmungen ergeben für das menschliche Kammerwasser Werte zwischen 7,20 und 7,35, im Mittel 7,268. Das zugehörige Blut zeigte  $p_H = 7,31$ . Bei Iridocyclitis, Katarakt und Glaukom zeigte weder das Kammerwasser noch das Blut Abweichungen von den normalen Werten. BAURMANN erklärt die Befunde anderer Autoren, nach denen die Reaktion des Kammerwassers nach der alkalischen Seite verschoben sein soll, für bedingt durch Kohlensäureverlust bei der Entnahme. Der Humor des Kaninchens zeigte nach BAURMANN  $p_H = 7,48$ ; er ist also alkalischer als der menschliche.

Die Angaben über eine Alkalose des Blutes bei Glaukomkranken kann SCHMELZER nicht bestätigen. Er findet an 39 Glaukomkranken im Mittel  $p_H = 7,403$  und an 41 Normalen  $p_H = 7,405$ .

Die osmotische Spannung des Humor aqueus hat KUNST beim Rinde mit Hilfe der kryoskopischen Methode gleich der einer Kochsalzlösung von 0,959%, mit Hilfe der Blutkörpermethode gleich der einer Kochsalzlösung von 0,995% festgestellt. MANCA und DEGANELLO fanden ebenfalls beim Rinde mit der HAMBURGER'schen Blutkörpermethode im Mittel einen osmotischen Druck, der äquivalent dem einer 0,981% Kochsalzlösung ist. Gleich J. H. HAMBURGER ermittelten diese beiden Autoren den osmotischen Druck des Humor

im Verhältnis 11:10 höher als den des Blutserums. Mit derselben Methode hat NUEL beim Rinde, Pferde, Schaf, Schwein, Kaninchen und Menschen Kammerwasser sowohl als auch Glaskörperflüssigkeit in elf Versuchen isotonisch, in zwanzig hypotonisch, und in vier hypertonisch gegenüber dem Blute gefunden. RÖMER und RISSLING haben ebenfalls in analogen Versuchen keinen handgreiflichen Unterschied in der osmotischen Spannung beider Flüssigkeiten beobachten können. SCALINCI hat für den Humor aqueus des Hundes eine Gefrierpunktserniedrigung von  $\Delta = 0,63$  festgestellt, ein Wert, der höher ist als der gleiche für die Hundelymphe. HERTEL fand am Kaninchen  $\Delta = 0,621$  bis  $0,654$ ; durch Injektion von Kochsalzlösung unter die Conjunctiva konnte  $\Delta$  erhöht werden. Bei Injektion einer Kochsalzlösung von  $2\frac{1}{2}\%$  ergab sich dem gleichen Autor  $\Delta = 0,651$ — $0,691$ , von  $5\%$   $\Delta = 0,693$ — $0,701$ ; von  $10\%$   $\Delta = 0,746$ — $0,770$ ; von  $20\%$   $\Delta = 0,810$ — $0,886$ . Entsprechende Veränderungen zeigte die Leitfähigkeit. Für normales Kammerwasser waren  $\lambda = 128,73$  bis  $134,12$ ; nach Injektion  $2\frac{1}{2}\%$  Kochsalzlösung  $\lambda = 135,87$ — $147,51$ ; nach  $5\%$   $\lambda = 148,86$ — $149,66$ . HERTEL nimmt an, daß die Veränderungen auf einem Übergang von Kochsalz ins Kammerwasser beruhen.

Bei den meisten Versuchen ist die Bedeutung des Einflusses der Kohlensäure auf die osmotische Spannung nicht berücksichtigt worden. DIETER hat ihm Rechnung getragen, indem er für seine Versuche Venenblut verwandte, daß unter Luftabschluß aufgefangen worden war. Er fand bei Kaninchen für Kammerwasser  $\Delta = 0,5819$ , für Venenblut  $\Delta = 0,5827$ , beim aphakischen Menschen entsprechend  $\Delta = 0,567$  und  $\Delta = 0,568$ .

Die Frage nach dem Verhältnis der osmotischen Spannung des Humor und des Blutplasmas ist wichtig, weil sie für die Erklärung der Entstehung des Humor herangezogen worden ist. BOTTAZZI und STURCHIO haben die osmotische Spannung und Leitfähigkeit des Humor aqueus größer gefunden  $\Delta = 0,588$ — $0,616$  als die des Blutserums  $\Delta = 0,573$ — $0,595$ . Sie ermittelten auch beide Faktoren für den Humor aqueus höher als für den Glaskörper. Zu demselben Resultat ist SCALINCI gekommen, welcher die Leitfähigkeit des Humor gleich  $173 \cdot 10^{-4}$  feststellte. Dagegen hat RISSLING keine gesetzmäßigen Unterschiede in der osmotischen Spannung des Humor aqueus und des Blutserums feststellen können. Bald war sie in beiden Flüssigkeiten gleich, bald in der einen größer, bald kleiner als in der anderen. HERTEL (b) fand die Leitfähigkeit des Humor aqueus gleich der des enteweißten Blutserums. Auch VAN DER HOEVE hat keine gesetzmäßigen Beziehungen zwischen der Leitfähigkeit des Humor aqueus und der des Blutserums ermitteln können.

Die beiden letztgenannten Autoren haben der herabsetzenden Wirkung der Eiweißstoffe auf die Leitfähigkeit des Serums Rechnung getragen. Ebenso ist COLLEVATI verfahren. Noch umfassender sind derartige Versuche, wenn sie mit Dialyse des Kammerwassers gegen Blut verbunden werden. In dieser Weise sind VAN DER HOEVE und DUKE-ELDER verfahren. Jener hat gefunden, daß der osmotische Druck des Kammerwassers in zwei Versuchen zwischen dem des arteriellen und venösen Blutes lag und einmal gegen beide Blutarten in geringem Grade hypertonisch war. Dieser beobachtete bei der Dialyse gegen Arterienblut eine geringe Abnahme, bei der gegen Venenblut eine Zunahme der osmotischen Spannung des Kammerwassers. Aus allen diesen Versuchen ergibt sich das Resultat, daß die osmotische Spannung des Kammerwassers von der mittleren Blutspannung nicht wesentlich abweicht.

Die Viscosität des Humor aqueus hat SCALINCI beim Hunde untersucht. Er ermittelte  $t = 1$  Min. 51,4 Sek. für Wasser,  $t = 1$  Min. 46,4 Sek. für Serum.  $t = 2$  Min. 56,2 Sek. (Hierüber siehe auch MASTROBUONO, LOEWENSTEIN.)

Die **Oberflächenspannung** des Kammerwassers hat VAN CREVELD mit der des Zitratplasmas am Kaninchen verglichen. Die Humorspannung betrug stets einige Dyn pro qcm mehr als die des Blutplasmas; also war sie wesentlich geringer als die des Wassers. Auch die Oberflächenspannung des Regenerates ist geringer als die des Plasmas.

**Antikörper.** Nach RÖMER finden sich im normalen Kammerwasser keine Hämolsine und Bakteriolsine, selbst nicht bei sehr hoch immunisierten Tieren, wohl aber Präcipitine. Agglutinine haben zahlreiche Autoren nachweisen können, ebenso hämolytische Amboceptoren. Bei Steigerung des Eiweißgehaltes infolge von Reizung des Auges, z. B. auf subkonjunktivale Injektionen von Kochsalz, gehen sie ins Kammerwasser über, sie finden sich daher auch im Humorregenerat (s. auch H. DOLD und F. SCHIECK, Immunität und Auge, Bd. 7 dieses Handbuchs, sowie HALLAUER und FRANCESCHETTI).

Das **Vorkommen von Leukocyten** ist von SCHWALBE behauptet worden, wird aber von NICATI und LEBER bestritten. Zur Morphologie des Kammerwassers sei auf die Arbeiten von BRÜCKNER und WOLF verwiesen.

#### Das Regenerat des Humor aqueus.

Wenn die vordere Kammer künstlich, z. B. durch Punktion ihres Inhaltes beraubt wird, so füllt sie sich bald mit neuem Kammerwasser. Der neugebildete Humor unterscheidet sich von dem normalen sehr wesentlich, er hat die Eigenschaften des Blutplasmas. Nach Entleerung aus der vorderen Kammer gerinnt er spontan, beim Stehen kann es zu mehrfachen Nachgerinnungen kommen.

Nach HAGEN und LOEWENSTEIN soll das Regenerat beim Menschen kein Eiweiß enthalten. Dem hat WESSELY zuerst widersprochen. Nach ihm erklären sich die negativen Befunde der genannten Autoren dadurch, daß sie mittels des PULFRICHschen Refraktometers untersucht haben, dessen Empfindlichkeit für die Aufgabe nicht ausreicht. Auch MESTREZAT und MAGITOT (b) finden im chemischen Verhalten des Regenerates beim Menschen und bei Tieren keinen grundsätzlichen Unterschied. Zahlenmäßige Angaben über den Gehalt des Regenerates an Eiweiß geben die beiden genannten Autoren neuerdings; nach ihnen enthält das Regenerat beim Menschen:

25 Minuten nach der Punktion . . . . .	0,050%	Eiweiß
30    "    "    "    "    "    "    "    " . . . . .	0,080%	"
40—45   "    "    "    "    "    "    "    " . . . . .	0,183%	"
60    "    "    "    "    "    "    "    " . . . . .	0,115%	"
180   "    "    "    "    "    "    "    " . . . . .	0,025%	"

FRANCESCHETTI und WIELAND haben ebenfalls den Eiweißgehalt des Regenerates beim Menschen erhöht gefunden. Bei Tieren kann der Eiweißgehalt bis zu 4,5% betragen. Die zeitlichen Verhältnisse der Eiweißabsonderung und der Wiederaufsaugung erläutert die umstehende Kurve (Abb. 2). Über die Beteiligung des Glaskörpers an der Bildung des Regenerates s. S. 34.

Die Änderung der chemischen Zusammensetzung des Humor aqueus findet ihren Ausdruck auch im *spezifischen Gewichte*, das GOLOWIN beim Kaninchen 45 Minuten nach der Entleerung gleich 1,016 gegen 1,008 beim normalen Tiere, beim Hunde zwei Stunden nach der Entleerung gleich 1,0167 gegen 1,009 beim normalen Tiere fand.

Die Unterschiede an der Zusammensetzung des Humor aqueus ergeben sich aus der folgenden Übersicht:

	Trockensubstanz	Asche
Normaler Humor . . . . .	1,93%	1,37%
30 Minuten nach Punction . . .	6,32%	—
40 Minuten nach Punction . . .	5,15%	—
45 Minuten nach Trigemintomie	4,00%	3,20%
75 Minuten nach Trigemintomie	7,39%	3,94%

Das Verhalten des Humor nach Trigemintomie oder nach Resektion des Kopfmarkes oberhalb des Calamus scriptorius gleicht dem des Regenerates. Somit dürfte die Annahme berechtigt sein, daß alle Eingriffe, welche eine Hyperämie der Augengefäße erzeugen, das Kammerwasser eiweißreich machen. Hierher gehören in erster Linie Punction der Vorderkammer, Sympathicotomie, subkonjunktivale Injektion von hypertonen Kochsalzlösungen, Ätzungen mit Höllenstein, Applikation von Wärme [ADAMÜCK (a, c), JESSNER, SCHÖLER und UTHOFF, WESSELY, LÖWENSTEIN und KUBIK].

Von H. K. MÜLLER und PFLIMLIN wird angegeben, daß Resektion des Sympathicus oder seines oberen Halsganglions nur dann eiweißvermehrend

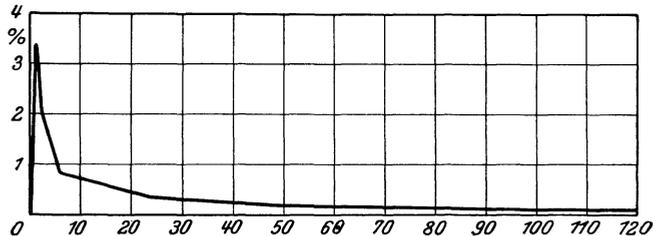


Abb. 2. Eiweißgehalt des Kammerwasserregenerates in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Entnahme. Die Ordinaten bedeuten den Eiweißgehalt in Prozenten, die Abszissen die Zeit nach der Punction in Minuten. (Nach FRANCESCETTI und WIELAND.)

wirke, wenn sie mit einer Äthernarkose kombiniert war. Von körperfremden Stoffen wirken vermehrend auf den Eiweißgehalt des Kammerwassers die Diuretica Theophyllin, Novasurol, Salyrgan (FRANCESCETTI und WIELAND), ferner Pilocarpin und Eserin (SEIDEL, WESSELY, YUDKIN, ADLER und LANDIS; für Pilocarpin von ADLER und LANDIS sowie von ALAJMO bestritten), endlich Dionin (LÖWENSTEIN und KUBIK, SAMKOVSKIJ).

## 2. Humor vitreus.

Die Bezeichnung Glaskörperflüssigkeit ist nicht korrekt, da der Glaskörper ein Gewebe ist. Man muß deshalb darauf gefaßt sein, daß seine chemische Zusammensetzung von Ort zu Ort verschieden ist, und in der Tat hat WESSELY zeigen können, daß der Eiweißgehalt der zentralen Teile des Glaskörpers geringer ist als im übrigen Glaskörper.

Sonst finden sich im Glaskörper dieselben Stoffe wie im Kammerwasser, wenn auch in anderer Konzentration, wie die folgende Zusammenstellung nach CAHN zeigt:

	Glaskörper	Kammerwasser
Natriumchlorid . . . . .	74,43	78,11
Natriumcarbonat . . . . .	12,67	8,72
Kaliumchlorid . . . . .	5,57	2,92
Kaliumsulfat . . . . .	3,74	5,99
Natriumphosphat . . . . .	1,82	1,99
Calciumphosphat . . . . .	0,44	0,62
Magnesiumphosphat . . . . .	0,22	0,40

*Mikroanalysen der Glaskörperflüssigkeit* haben COHEN, KILLIAN und METZGER mitgeteilt. Sie erhalten folgende Werte (Gehalt von 100 ccm Glaskörperfiltrat in Milligramm):

	Ochsen	Schweine	Pferde
Spez. Gewicht . . . . .	1004	—	1003
Trockensubstanz in % . . . . .	1,11	1,11	1,01— 1,12
Gesamtstickstoff . . . . .	21,5	19,9	17,8 —35,7
Nichteiß-N . . . . .	15,7	13,6	14,2 —32,3
Eiweiß-N . . . . .	6,9	6,3	3,4 — 3,6
Gesamteiweiß . . . . .	39,3	39,3	21,2 —22,5
Harnstoff-N . . . . .	9,9	8,8	8,0 —20,0
Aminosäure-N . . . . .	1,8	2,8	2,1 — 3,0
Harnsäure . . . . .	2,8	0,45	1,0 — 2,0
Kreatinin . . . . .	1,1	—	—
Kreatin . . . . .	1,6	—	—
Zucker (als Glukose) . . . . .	39,0	30,0	71,0
Chloride (als NaCl) . . . . .	678,0	705,0	656,0
Gesamt-S . . . . .	4,0	4,5	2,0
Gesamt-P . . . . .	2,0	3,4	—
Natrium . . . . .	301,0	318,0	311,0
Calcium . . . . .	7,9	7,9	8,5
Kalium . . . . .	27,9	35,4	24,5
Gesamtätherextrakt . . . . .	10,0	—	—
Milchsäure . . . . .	14,8	17,5	17,0

Abweichend hiervon findet LEBERMANN im Glaskörper 285—253 mg Natrium, 120 mg Kalium in 100 ccm filtrierter Glaskörperflüssigkeit.

Mikroanalysen beider Augenflüssigkeiten auf die *Kationen*: Natrium, Kalium und Calcium hat LEBERMANN ausgeführt. Das wesentliche Ergebnis ist, daß diese Kationen im Blutserum in wesentlich größerer Menge enthalten sind als in den Augenflüssigkeiten. Der Kationengehalt des Kammerwasserregenerates ist höher als der des ursprünglichen Humor, aber immer noch geringer als der des Serums.

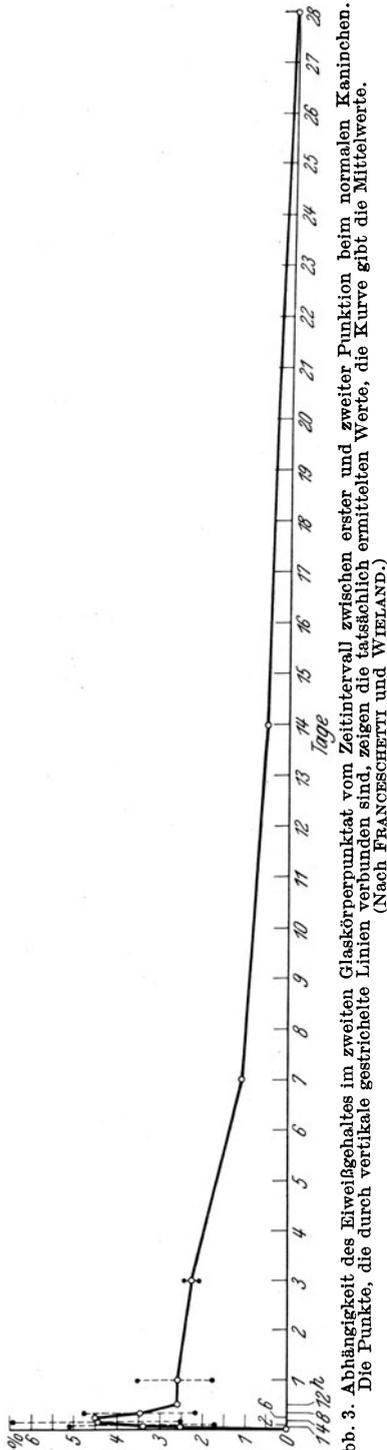
Von Stoffen, welche das Kammerwasser nicht enthält, sind zu nennen: erstens Kollagen (BOÉ, MÖRNER), welches aus dem fibrillären Gerüste des Glaskörpers stammt, zweitens Mucoid (VIRCHOW).

Der *Brechungsindex* des Kammerwassers und des Glaskörpers sind nicht merklich verschieden:

Kammerwasser	Glaskörper	
1,3365	1,3382	HELMHOLTZ
1,3373	1,3367	FLEISCHER
1,3370	1,3360	HIRSCHBERG
1,3377 bis	1,3370 bis	} KUNST.
1,3380	1,3371	

Auch im übrigen physikalischen Verhalten gleichen sich die beiden Flüssigkeiten im wesentlichen. Von BOTTAZZI und STURCHIO wird allerdings angegeben, daß die *Leitfähigkeit* des Glaskörpers geringer sei als die des Kammerwassers. Dabei soll das Filtrat des Glaskörpers besser leiten als das Organ in toto. Darnach bestünde also der Glaskörper aus zwei verschiedenen leitenden Substanzen, was nach seinem anatomischen Bau wohl verständlich ist.

Man vergleiche noch die Zusammenstellungen von STEINDORFF, Handbuch der Biochemie, Bd. 2, II. Teil, S. 341 (1909); ferner K. W. ASCHER, Graefes Arch. 107 (1922).



WESSELY und ABELSDORFF fanden bei jungen Eulen den Glaskörper nahezu eiweißfrei, das Kammerwasser aber reich an Eiweiß.

Im Glaskörperfiltrat finden COHEN, KAMNER und KILLIAN 0,00405% Schwefel, hiervon entstammen 54% nicht aus Eiweißstoffen. Von diesem Nichteiweißschwefel ist 74% Sulfatschwefel. An Aminosäuren findet man im Glaskörper nach IKEDA l-Leucin, d-Alanin, l-Prolin, r-Prolin, l-Phenylalanin, d-Valin, d-Isoleucin, ferner Hypoxanthin, aber keine Diaminosäuren und Pentosen.

Im Menschenauge hat C. HAMBURGER Glaskörper und Kammerwasser miteinander verglichen und festgestellt, daß der Traubenzuckergehalt im Glaskörper höher ist als im Kammerwasser: 0,178% gegen 0,125%. Interferometrische Bestimmungen am Kaninchenauge haben ergeben, daß der Glaskörper eine Flüssigkeit von höherer Konzentration ist als der Humor aqueus.

Eine vergleichende Untersuchung des Kammerwassers, Glaskörpers und des Bluteserums von Rindern und Pferden auf Trockensubstanz, Kalium und Calcium hat TRON ausgeführt. Es hat sich ergeben, daß der Gehalt an Trockensubstanz beim Glaskörper und Kammerwasser nahezu gleich ist, ebenso an Kalium und Calcium. Das Bluteserum ist an den beiden letzteren Substanzen bedeutend reicher als die Augenflüssigkeiten. Die absoluten Werte ergeben sich aus der folgenden Tabelle:

	Kammerwasser %	Glaskörperflüssigkeit %	Bluteserum %
Trockensubstanz	1,12	1,14	—
Kalium . . . . .	0,0190	0,0191	0,0285
Calcium . . . . .	0,0062	0,0069	0,0103
			} Rind
Trockensubstanz	1,10	1,07	—
Kalium . . . . .	0,0201	0,0196	0,0269
Calcium . . . . .	0,0074	0,0082	0,0113
			} Pferd

Der Calciumgehalt wurde mit einer modifizierten WAARDSchen Methode, der Kaliumgehalt nach KRAMER-TISDALL bestimmt.

Die Wasserstoffionenkonzentration hat HAMBURGER nach der Indicatorenmethode von MICHAELIS beim Kaninchen in beiden Augenflüssigkeiten gleich gefunden:  $p_H = 7,2-7,4$ . GATA ermittelte beim Menschen  $p_H = 7,40$  bis  $7,52$ , an glaukomatösen Augen  $7,39-7,64$ .

Der isoelektrische Punkt ist nach BAURMANN und DUKE-ELDER bei  $p_H = 4,4-4,5$ , nach ABÉ bei  $p_H = 3,8$ .

Nach Untersuchungen von JESS unterscheidet sich beim Rinde die Glaskörperflüssigkeit, deren Gewinnung besondere Kautelen erfordert, in ihrer Zusammensetzung nicht wesentlich vom Kammerwasser. Der Calciumgehalt ist nahezu gleich dem des Blutes. Auffallend ist der viel geringere Gehalt an Cholesterin (0,0048%). Die Gesamtlipide machen 0,2, das Gesamteiweiß 0,018% aus.

BRÜCKNER hat nach Glaskörperpunktion am Kaninchenauge dieselben Veränderungen am Ciliarkörper beobachtet wie nach Punction der Vorderkammer. Auch hier finden sich blasige Abhebungen des Ciliarkörperepithels und Ausscheidung eiweißhaltiger Flüssigkeit in den Glaskörper. Bemerkenswert ist, daß von seiten der Retina analoge Erscheinungen zu beobachten sind.

Man vergleiche in dieser Frage auch die Untersuchungen von IRMA GUGGENHEIM und FRANCESCHETTI, die nach Punction des Glaskörpers beim Kaninchen eine Steigerung des Eiweißgehaltes im Regenerat mit dem ABBÉschen Refraktometer nachgewiesen haben. Ausführliche Untersuchungen sind mit Hilfe der Nephelometrie von FRANCESCHETTI und WIELAND am Kaninchenglaskörper angestellt worden. Während im ersten Punktat sich ein durchschnittlicher Eiweißgehalt von 0,012% ergab, war im zweiten eine erhebliche Steigerung bis auf über 6% nachzuweisen. Die Rückkehr zu normalen Werten vollzieht sich viel langsamer als beim Kammerwasser. Sie braucht etwa 4 Wochen. Die Abhängigkeit des Eiweißgehaltes im zweiten Glaskörperpunktat in Abhängigkeit vom Zeitintervall zwischen erster und zweiter Punction ist aus der Abb. 3 zu ersehen.

## B. Die physiologische Erneuerung des Humor aqueus.

In der Augenheilkunde ist seit langer Zeit die Meinung vorherrschend, die Augenflüssigkeiten unterlägen einem ständigen Wechsel, der darin besteht, daß die vorhandene Flüssigkeit im Kammerwinkel abfließt und durch nachrückende neue vom Ciliarkörper oder der Vorderfläche der Iris aus ersetzt wird.

Man hat versucht, diese Strömung sichtbar zu machen. So hat LEBER fein verteiltes Blattgold in die vordere Augenkammer gebracht. Er sah keine gesetzmäßigen Bewegungen, die auf eine Fortführung des Goldes durch einen Flüssigkeitsstrom von bestimmter Richtung deuteten. Ebensovienig zeigte sich eine derartige Bewegung an Cholesterinpartikeln, welche LEBER einmal in der vorderen Augenkammer beobachtet hat. Auch Farbstoffwolken im Humor aqueus gewähren keinen Einblick in Strömungen von dem zu erwartenden Charakter. Mit besonderer Genauigkeit ist das Studium derartiger Strömungen möglich mit Hilfe der GULLSTRANDSchen Spaltlampe unter fokaler Beleuchtung, wenn im Kammerwasser kleine Partikel sich befinden, was besonders an Augen nach Staroperation häufig ist. BERG hat derartige Beobachtungen gemacht, aber keine Bewegung in dem oben angeführten Sinne sehen können; weder strömten Partikel zum Kammerwinkel hin, noch zeigte sich eine Strömung aus der hinteren in die vordere Kammer. Man müßte auch erwarten, daß der Pupillarrand der Iris der Linse nicht anliegt, wenn hier dauernd Flüssigkeit durchtritt; bei periodischem Durchtritt müßte man periodische Lüftung des Pupillarrandes erwarten. Nichts derartiges ist jemals gesehen worden (vgl. S. 61).

Ein direkter Beweis für eine Strömung wäre auch dann erbracht, wenn man zwischen verschiedenen Punkten des flüssigen Augeninhaltes Potentialdifferenzen nachweisen könnte; denn zwischen Punkten verschiedenen hydrostatischen Druckes muß ein Ausgleich der Drucke durch Strömung stattfinden. Zwischen

vorderem und hinterem Bulbusabschnitt hat C. HESS keine Druckdifferenz gefunden. WEISS hat diesen Versuch von HESS durch vergleichende Manometrie des Glaskörpers und der vorderen Augenkammer bestätigt. Auch in den verschiedenen Abschnitten der vorderen Augenkammer, insbesondere zwischen Hornhautscheitel und Kammerwinkel hat WEISS keine Druckdifferenzen gefunden. Nach WEISS ist diese Differenz auch dann nicht nachweisbar, wenn man versucht, zu den beiden Punkten mittels zweier Kanülen eine Nebenleitung anzubringen und in dieser einen Stromzweig fließen zu lassen.

Trotz dieser negativen Befunde ist für die Ophthalmologie die Frage nach der Herkunft und dem Schicksal der Augenflüssigkeiten, vor allem des Humor aqueus, nicht zur Ruhe gekommen. Das ist wohl berechtigt; denn gewisse Formen des Glaukoms könnte man durch eine Vermehrung der Produktion von Humor bei unverändertem Abfluß oder durch Verminderung des Abflusses bei unverändertem Zuflusse erklären. So ist es begreiflich, daß man nach Quellen und Abflußstätten des Kammerwassers eifrig gesucht hat. Die Literatur der letzten fünfzig Jahre gibt Zeugnis davon.

Zur vorläufigen Orientierung mögen folgende historischen Angaben dienen. Die Anschauungen der älteren Autoren genügen zu einer klaren Vorstellung über einen Wechsel der Augenflüssigkeiten nicht. Erst LEBER (1873) hat eine präzise formulierte Theorie gegeben. Sie sagt, daß im Ciliarkörper durch Filtration aus den Blutgefäßen der Humor aqueus gebildet wird, daß er von hier sich durch die Pupille in die vordere Kammer bewegt, um im sogenannten Kammerwinkel durch das Ligamentum pectinatum iridis in den Sinus venosus Schlemmii abzufließen. Die treibende Kraft ist nach LEBER der Druck; der Blutdruck bewirkt die Filtration durch den Ciliarkörper ins Auge, der intraokulare Druck die Filtration aus dem Auge in den SCHLEMMschen Kanal.

EHRlich (1882) und vor allem HAMBURGER (1898) haben die Vorderfläche der Iris anstatt des Ciliarkörpers als Bildungsort des Kammerwassers hingestellt; jener folgte aus dem Auftreten der nach ihm benannten EHRlich'schen Linie (s. S. 63), daß zwei Flüssigkeitsströmungen vom Außenrande der Iris her über der Hornhautmitte gegeneinander prallten. HAMBURGER verneint die Bildung des Kammerwassers durch den Ciliarkörper, weil Farbstoffe in der hinteren Augenkammer lange Zeit verweilen können, ohne durch die Pupille in die vordere Augenkammer überzugehen. Die treibenden Kräfte für die Kammerwasserbewegung ließen beide Autoren zunächst unangetastet.

Dagegen hat BOUCHERON (1889) die Produktion des Humor aqueus auf einen Sekretionsprozeß zurückgeführt. Er betrachtet das Corpus ciliare als eine Drüse.

O. WEISS (a—d) (1904, 1906, 1911, 1923) endlich leugnet alle diese Anschauungen und nimmt an, daß eine kontinuierliche, durch hydrostatische Kräfte getriebene Strömung des Humor aqueus nicht existiert, daß die Erneuerung der Augenflüssigkeiten vielmehr durch molekulare Kräfte erfolge.

Im folgenden werden alle Argumente diskutiert werden, welche die Autoren für und gegen die soeben skizzierten Anschauungen beigebracht haben.

## 1. Gründe für eine Strömung der Augenflüssigkeiten.

Man weiß seit langer Zeit, daß aus offenen Hornhautwunden die Augenflüssigkeit dauernd abtropft: das Auge läuft aus. Die erste Messung der ablaufenden Flüssigkeitsmenge hat HOVIUS gemacht. Er findet beim Hunde 130 cmm/Min., LEPLAT 7—20 cmm/Min. gefunden. Dem Problem näher getreten sind zuerst ADAMÜCK, JESSNER, vor allem LEBER (a—e) und seine Schule.

ADAMÜCK und JESSNER konnten zeigen, daß der Ausfluß aus dem lebenden Auge, z. B. durch eine Kanüle, geringer wird, wenn er gegen einen Druck erfolgt; die ausfließende Menge nimmt proportional dem Steigen des Gegendruckes ab, sie hat ein Maximum beim freien Abfluß, also dem Gegendruck Null; der Abfluß hört völlig auf, wenn der Gegendruck die Höhe des normalen Augendruckes erreicht hat. Man kann also kurz sagen: aus dem eröffneten Auge fließt Humor ab gegen jeden Druck, der geringer als der Augendruck ist; die abfließende Menge nimmt proportional der Druckabnahme zu.

Weiter haben die genannten Autoren gezeigt, daß die Flüssigkeit in das Auge einläuft, wenn der Außendruck höher wird als der normale Augendruck. Auch hierbei ist die einlaufende Flüssigkeitsmenge proportional dem Druckzuwachs.

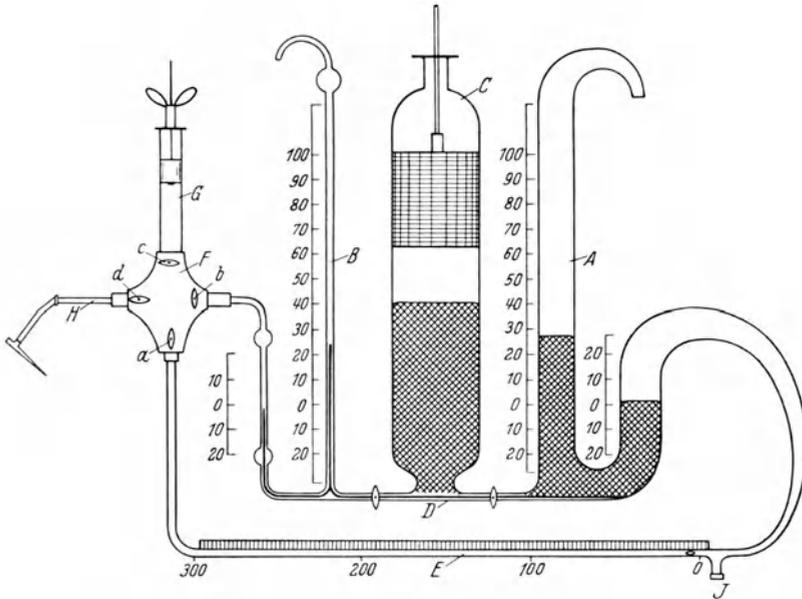


Abb. 4. Filtrationsmanometer nach LEBER. Das Manometer B dient zur Messung des Augendruckes. Das Manometer A, welches gleich B von dem Quecksilberbehälter C gespeist werden kann, treibt die Injektionsflüssigkeit ins Auge mittels des Rohres E (1 mm Querschnitt). Indicator der Flüssigkeitsströmung ist ein Luftbläschen (bei 0). Diese Röhre steht in Verbindung mit der Injektionskanüle bei H, ebenso mit dem Manometer B sowie mit der Spritze G. Alle Verbindungen können durch die Hähne bei a, b, c, d gesperrt werden.

Das Gesetz der Flüssigkeitsbewegung lautet also: *Die bewegte Flüssigkeitsmenge ist proportional der Druckdifferenz zwischen dem Augennern und der Kanüle, die Richtung der Bewegung ist durch das Vorzeichen dieser Druckdifferenz gegeben.*

Aus diesen Resultaten könnte sich, wie LEBER bemerkt, der Schluß ergeben, „daß eine Sekretion beim normalen Auge überhaupt nicht stattfindet“; denn bei normalem Augendruck fließt ja aus der Kanüle weder etwas heraus noch etwas in das Auge hinein. Diesen Schluß weist LEBER mit Recht zurück, weil die Möglichkeit bestehe, daß auch bei unverändertem Augendruck Bildung und Abfluß von Kammerwasser vor sich geht.

Um diese Frage zu entscheiden, hat LEBER Versuche an frischen toten Augen angestellt. Den Versuchen lag folgender Gedankengang zugrunde: Da mit dem Tode der Blutkreislauf aufhört, so sind die Bedingungen für den Austritt von Kammerwasser durch Filtration aus den Blutgefäßen nicht mehr

erfüllt, eine etwa vorhandene Bildung von Kammerwasser hört also mit dem Tode auf. Dagegen bleiben nach LEBER die Bedingungen für den Abfluß von Humor unverändert. Somit untersucht LEBER die Größe der Flüssigkeitsmenge, welche bei verschiedenen Drucken in das Auge einfließt, indem er voraussetzt, daß die einfließende Menge das Auge auf dem Wege der Filtration im Kammerwinkel wieder verläßt. Die Flüssigkeitsmenge, welche in das tote Auge bei einem Injektionsdrucke von der Höhe des Augendruckes einläuft, setzt LEBER gleich der im Leben durch den Ciliarkörper gebildeten Humormenge.

Alle diese Messungen sind von LEBER und seiner Schule mittels des auf S. 31 abgebildeten Instrumentes ausgeführt worden, dessen Prinzip ein Manometer darstellt, das unter beliebig veränderbarem Drucke Flüssigkeit zu bewegen vermag. Die Bewegung der Flüssigkeit erfolgt durch eine Capillare hindurch, in welcher die Flüssigkeitssäule durch eine Luftblase unterbrochen ist (PRIESTLEY-SMITH). Die Verschiebung der Luftblase dient zur Erkennung der Bewegung und zur Messung der bewegten Flüssigkeitsmenge.

Die Flüssigkeitsmenge, welche in das tote Auge bei normalem Augendrucke in einer Minute einfließt, setzt, wie gesagt, LEBER gleich der im Leben abgeordneten und abfließenden Kammerwassermenge. In seiner Schule sind dabei folgende Werte pro Minute gefunden worden.

Versuchstier	Humormenge in cmm pro Minute	Autor
Mensch . . . . .	5	LEBER u. BENTZEN
	5,5	NIESNAMOFF
Kaninchen . . . . .	6	BENTZEN
Kaninchen . . . . .	7	NIESNAMOFF
Schwein . . . . .	11	„
Hund . . . . .	18	„
Katze . . . . .	24	„
Hammel . . . . .	28	„
Rind . . . . .	62	„

Hieraus würden sich nachstehende Werte für die Dauer einer Neufüllung der völlig entleerten Augenkammer ergeben:

Versuchstier	Zeit der Neufüllung in Minuten	Kammerinhalt in cmm
Mensch . . . . .	48	240
Kaninchen . . . . .	43	300
Katze . . . . .	29	800

Im Sinne der LEBERSchen Anschauung wird auch folgender Versuch verwertet, welcher von LEPLAT ausgeführt worden ist. Um den Abfluß des Humor aqueus aufzuheben, füllte LEPLAT die vordere Kammer eines lebenden Kaninchens mit flüssigem Paraffin. Der Glaskörper war mit einem Manometer in Verbindung, welches unmittelbar nach der Paraffininfusion normalen Augendruck anzeigte. Das Manometer begann nun zu steigen; dabei traten in der Minute etwa 4 cmm Flüssigkeit in das Manometer ein, wenn der Druck auf der Höhe des Augendruckes gehalten wurde. LEPLAT nimmt an, daß dieses die normalerweise abgesonderte Humormenge sei. Nach seinem Befunde würde sich also der Inhalt der vorderen Augenkammer in 75 Minuten erneuern.

Es liegt der Gedanke nahe, die Zeit der einmaligen Erneuerung des Kammerwassers aus der Zeit zu bestimmen, welche ein fremder Stoff braucht, um aus dem Kammerwasser zu verschwinden.

WESSELY hat einen derartigen Versuch durchgeführt, indem er den Rückgang des Eiweißgehaltes des Humor nach subkonjunktivaler Kochsalzinjektion beobachtete. Er kommt zu dem Resultat, daß die Erneuerung des Kammerinhaltes nach Verlauf von zwei Stunden vollzogen ist. SEIDEL hat in einem analogen Versuche eine Zeitdauer von 14 Stunden für die Neufüllung der Augenkammern der Katze ermittelt. Die Berechnungen geschehen unter der Voraussetzung, daß die Augenkammern durch das nachrückende eiweißfreie Ciliarkörpersekret sozusagen ausgespült werden. Die Resultate sind, wie man sieht, sehr verschieden ausgefallen. Man hat weiter zu fragen, ob wirklich Druckkräfte das Eiweiß durch das Ligamentum pectinatum in den SCHLEMMschen Kanal treiben, da doch nach SEIDEL (h) das Filter im Kammerwinkel als Analogon eines 3% Kollodiumfilters für Eiweiß undurchgängig sein müßte.

Gegen alle derartigen Schlußfolgerungen hat O. WEISS die ersten Einwände erhoben, indem er darauf aufmerksam machte, daß erstens und vor allem in den Versuchen der LEBERSchen Schule fälschlich angenommen wird, der Druck im SCHLEMMschen Kanal sei auch im lebenden Auge gleich Null, während er doch hier notwendigerweise einen positiven Wert haben muß. Je höher dieser Wert ist, um so geringer wird die treibende Kraft, also auch die einlaufende Flüssigkeitsmenge. LEBER hat zwar erwidert, durch den Einlauf stelle sich im Kanal ein positiver Druck her und so glichen die Druckverhältnisse denen im lebenden Auge.

Dazu ist aber folgendes zu bemerken: Die Herstellung eines positiven Druckes im Kanal als Folge des Einlaufes in die vordere Augenkammer ist gewiß möglich. Dieser Druck stellt dann aber einen Teil der Triebkraft dar, welche die einlaufende Flüssigkeit bewegt; beim lebenden Auge ist dieser Druck dagegen ein Teil der Triebkraft des Herzens, die der Triebkraft der Injektionsflüssigkeit gerade entgegenwirkt.

Weiter hat PFLÜGER darauf aufmerksam gemacht, daß schon durch vorübergehende Unterbrechung des Kreislaufes die Durchlässigkeit der Capillarwände zunimmt. Hieraus ergibt sich, daß es nicht ohne weiteres zulässig ist, Beobachtungen am toten Auge auf das lebende zu übertragen.

Eine andere Fehlerquelle bei den Filtrationsversuchen LEBERS hat URIBE Y TRONCOSO (b) gefunden, indem er dartun konnte, daß der Einlauf ins Auge keineswegs gleich der Flüssigkeitsmenge zu setzen ist, welche das Auge durch Filtration verläßt. Vielmehr hat sich gezeigt, was auch LEBER und PILZECKER bestätigt haben, daß drei Viertel und mehr von der einfließenden Flüssigkeit im Auge zurückgehalten werden. Durch diese Erkenntnis wird es nötig, die oben angegebenen Zahlen sehr wesentlich zu korrigieren. In der Tat werden diese Daten um so kleiner, je mehr die Versuchstechnik vervollkommenet und variiert wird.

So hat WESSELY für die Wiederfüllung der vorderen Augenkammer beim Kaninchen eine Zeit von 2 Stunden, SEIDEL bei der Katze sogar von 14 Stunden gefunden. Besonders der letzte Wert zeigt, wie sehr man zu ändern gezwungen ist; denn die Füllung der Vorderkammer der Katze dauert nach SEIDEL die 28fache Zeit wie nach LEBER und NIESNAMOFF. Neuerdings haben TETSUO und KOMURA etwa den dritten Teil dieses Wertes gefunden.

Wenn eine Sekretion von Humor in der von SEIDEL angegebenen Menge stattfände, die, wie betont, schon gegenüber den Werten seiner Vorgänger wesentlich reduziert ist, so müßte man erwarten, daß der Füllungszustand des Bulbus

bald wieder normal wird. Das ist aber durchaus nicht immer der Fall. Während es in Tierversuchen meist zu Drucksteigerungen kommt (HAGEN, KOHN und LOEWENSTEIN), die lange anhalten können, hat RÖMER am Menschaugen eine viele Tage dauernde Hypotonie festgestellt. Analoge Beobachtungen machte ASCHER, der die Spannung erst nach 3 Wochen wieder normal werden sah.

## 2. Über die Herkunft des Humor aqueus.

### a) Das Corpus ciliare als Quelle des Regenerates.

Ursprünglich hat man allgemein angenommen, daß der Humor allein von den Ciliarfortsätzen geliefert werde; am längsten ist diese Meinung von der LEBERSCHEN Schule vertreten worden. Für die Humorbildung im Ciliarkörper werden eine Reihe von Argumenten angeführt. Das erste und wesentlichste liegt in der Tatsache, daß nach dem Ablassen des Kammerwassers sich ein Regenerat bildet, welches bei vielen Tieren vom Ciliarkörper abgesondert wird. Über die chemische Natur dieses Regenerates ist S. 25 berichtet worden; es unterscheidet sich vom normalen Humor durch seinen hohen Eiweißgehalt, der bis zu 4,5% ausmachen kann, und weiter dadurch, daß es spontan gerinnt. Man hat versucht, diese Unterschiede gegen das normale Kammerwasser durch die Hyperämie der Gefäße des Ciliarkörpers zu erklären. Durch die starke Ausdehnung der Gefäßwände soll die Permeabilität erhöht und auf diese Weise der Übertritt des Eiweißes ermöglicht werden. In der Tat hat WESSELY zeigen können, daß bei Hintanhaltung der Hyperämie durch Adrenalinwirkung die Vermehrung des Eiweißgehaltes im Regenerat ausbleibt. Infolge der Entleerung des Humor aqueus findet man das Ciliarkörperepithel vielfach blasig abgehoben (GREEFF, vgl. auch WESSELY, RADOS). Diese hochgradigen Veränderungen des Ciliarkörpers bleiben nach BAUER aus, wenn das Kammerwasser nicht plötzlich entleert wird, sondern langsam absickert. Die Regeneration des Kammerwassers aus dem hinteren Augenabschnitt kann man unmittelbar sichtbar machen, wenn man nach intravenöser Injektion von Fluorescein bei einem Kaninchen die vordere Kammer durch Punktion entleert. Es ergießt sich dann leuchtend grüne Flüssigkeit durch die Pupille.

In der neueren Zeit haben sich Stimmen erhoben, welche das Regenerat beim Menschen vom Glaskörper und nicht vom Ciliarkörper ableiten. HAGEN und LOEWENSTEIN haben im Menschaugen das Regenerat des Kammerwassers frei von Eiweiß gefunden. Sie kommen zu dem Schlusse, daß es vom Glaskörper herrühre. WESSELY hat gegenüber diesen Autoren gezeigt, daß eine Eiweißvermehrung im Regenerat auch am Menschaugen statthat. Die völlig negativen Befunde von HAGEN und LOEWENSTEIN erklärt WESSELY dadurch, daß die beiden Autoren eine nicht hinreichend empfindliche Methodik verwendet haben (Refraktometer). Nach WESSELY soll sich der Glaskörper um so mehr an der Bildung des Regenerates beteiligen, je kleiner im Verhältnis zum übrigen Auge die Vorderkammer ist. Er will dies auf das „stärkere Druckübergewicht“ im Glaskörper nach Entleerung bei kleiner Vorderkammer als bei großer Vorderkammer zurückgeführt wissen. Da der Druck nach Entleerung in der vorderen Kammer Null ist, dürfte das Druckgefälle von der Größe der Vorderkammer nicht abhängen. Es müssen also andere Faktoren den Einfluß des Glaskörpers auf das Regenerat bestimmen.

Alles in allem ist zu bemerken, daß die Frage noch nicht entschieden ist, ob nicht doch der wesentliche Anteil des Regenerates vom Glaskörper geliefert wird. Die älteren Versuche legen diese Annahme durchaus nahe. So hat DEUTSCHMANN (a) beobachtet, daß die Vorderkammer sich am Leichenaugen

nach Entleerung schnell wieder füllt, ja, sogar nach einer zweiten Punktion. Ferner hat LEPLAT gezeigt, daß nach subcutaner Jodkaliuminjektion und gleichzeitiger Entleerung der Vorderkammer der Jodkaliumgehalt des Kammerwasserregenerates langsamer ansteigt als am intakten Auge, weil die jodkaliumfreie Glaskörperflüssigkeit das Regenerat verdünnt. Endlich sei an den Versuch von OVIO erinnert, der gefunden hat, daß nach Injektion von Strychnin in die Vorderkammer der erste Krampf 10—15 Minuten nach der Injektion eintritt, nach Injektion in den Glaskörper aber erst nach 45 Minuten. Der Krampf nach Einspritzung in den Glaskörper setzt aber bereits nach 15 Minuten ein, wenn die Vorderkammer entleert wird. Diese Befunde sprechen für eine Beteiligung des Glaskörpers am Vorderkammerregenerat.

Auch quantitative Messungen des Eiweißgehaltes der vorderen und hinteren Augenkammerflüssigkeit haben die Frage nicht völlig klären können. In der Norm zeigen beide Abschnitte gleichen Eiweißgehalt. Das Regenerat ist nach SEIDEL zunächst in der Hinterkammer eiweißreicher, während die vordere schließlich eiweißreicher bleibt als die hintere. Das könnte im Sinne eines Zuflusses von der Hinterkammer in die vordere gedeutet werden. Entgegengesetzt verhält sich der Fluoresceingehalt der beiden Kammern nach intravenöser Fluoresceinjektion [HAMBURGER, FISCHER, SEIDEL (e)]. Hieraus könnte man den entgegengesetzten Schluß ziehen.

Fassen wir die Resultate kurz zusammen, so ist sicher, daß bei einer Reihe von Tieren das Regenerat zum Teil vom Corpus ciliare abstammt. Für andere spielt wahrscheinlich auch der Glaskörper eine wesentliche Rolle bei der Wiederfüllung der vorderen Augenkammer. Quantitative Untersuchungen haben hierüber Aufschluß zu geben. Besonders im Vogelauge soll nach WESSELY der Glaskörper an der Wiederfüllung der Vorderkammer beteiligt sein.

#### b) Das Corpus ciliare als Quelle des normalen Humor aqueus.

Die Herkunft des Regenerates legt die Vermutung nahe, daß auch der normale Humor dauernd im Ciliarkörper gebildet werde. Hierfür werden eine Reihe von Argumenten angeführt:

1. Bei Verwachsungen des Pupillarrandes der Iris mit der Linsenkapsel findet man die Iris häufig nach vorn gewölbt.

2. Wenn man die hintere Augenkammer durch Vermittlung der Pupillaröffnung mit einem Manometer verbindet, welches auf die Höhe des intraokularen Druckes eingestellt ist, so beginnt dieses Manometer zu steigen (LEBER).

3. Nach Ausrottung des Ciliarkörpers samt der Iris versiegen die Augenflüssigkeiten vollkommen (LEBER, DEUTSCHMANN).

4. Der Versuch von LEPLAT (s. S. 32).

5. Bei totalem Mangel der Iris sind die Augenkammern wie in der Norm mit Flüssigkeit gefüllt.

Zu diesen Argumenten ist folgendes zu bemerken:

Ad 1. Der Zustand der totalen Verwachsung des Pupillarrandes der Iris kann lange Zeit bestehen, ohne daß eine Zunahme des Augendruckes erfolgt. Man müßte aber erwarten, daß der Druck durch die kontinuierliche Absonderung steigt, wenn man nicht annehmen will, daß der Humor außer in der vorderen Kammer noch ausreichende Abflußstätten im hinteren Augenabschnitt habe. Auch die Tatsache macht das Argument unsicher, daß die Irisverwachsung ein krankhafter Vorgang ist. Es liegt also durchaus im Bereiche der Möglichkeit, daß die Iris durch eine Exsudation in die hintere Augenkammer gedehnt worden ist oder daß Störungen im dynamischen Gleichgewicht ihrer Muskeln die Irisform ändern.

Vor allem ist hier auch zu erwähnen, daß totale Verwachsungen des Pupillarandes der Iris beobachtet worden sind, ohne daß der Augendruck erhöht gewesen wäre oder die Iris sich nach vorn gewölbt hätte (STOCK, ULBRICH). Hier ist auch an die Möglichkeit eines „Versagens“ des Ciliarkörpers zu denken. Alles in allem können also diese Beobachtungen für die Frage nicht entscheidend sein.

Ad 2. Bei der Einklemmung eines Manometers in die Pupille bei bloßgelegter Iris weichen die Verhältnisse zu sehr von normalen ab, als daß eine Argumentierung auf Grund dieses Versuches möglich wäre; denn erstens wirkt allein die Abtragung der Hornhaut und die Bloßlegung der Iris als Reiz, zweitens wird die Iris zwischen zwei Platten eingeklemmt, drittens wird sie durch die Einstellung des Manometers auf Augendruckhöhe sehr erheblich gedehnt. Infolge solcher Reize können sehr wohl Zirkulationsstörungen entstehen, welche zu exsudativen Ausscheidungen in die hintere Kammer führen und dadurch den Druck steigern. In besonderen Versuchen hat MAGITOT das nachgewiesen.

Ad 3. Die völlige Ausrottung des Ciliarkörpers nebst der Iris hat eine Phthisis bulbi zur Folge; auf eine Bildung von Humor im Ciliarkörper kann man hieraus nicht schließen, höchstens könnte man folgern, daß die Bildung des Regenerates nach dieser Operation nicht mehr möglich ist. Ferner bleibt bei diesem Versuche noch die Möglichkeit der Bildung des Humor durch die Vorderfläche der Iris bestehen (s. unten). Nur wenn man diese Möglichkeit für ausgeschlossen hält, kann man ihn als Argument heranziehen.

Ad 4. Auch in dem Versuche von LEPLAT werden die physiologischen Verhältnisse durch die Paraffinjektion derart geändert, daß die Drucksteigerung sehr wohl die Folge entzündlicher Hyperämie sein könnte.

Ad 5. Integrität der Augenkammern bei totalem Irisangel wäre höchstens ein Beweis für die Entbehrlichkeit der Iris.

Als weiteres Argument für eine kontinuierliche Produktion von Humor aqueus durch die Ciliarfortsätze wird vielfach eine Beobachtung von ULBRICH angeführt. Da sie einen besonders schlagenden Beweis für die Absonderungstätigkeit des Ciliarkörpers darstellen soll, muß sie genau besprochen werden.

ULBRICH beobachtete bei einem Patienten im innern untern Quadranten eine längsovale Lücke in der Iris, welche durch eine schleierartige, sehr dünne, kontinuierliche Membran verschlossen war. Er beschreibt den Zustand folgendermaßen: „Diese wölbt sich zeitweilig in Gestalt einer eiförmigen Blase vor, um in einiger Zeit faltenförmig in das Niveau der Lückenränder zurückzusinken. Häufig zieht sie sich dann umgekehrt unter vollständiger Ausspannung in die hintere Kammer zurück, so daß sie von vorn beobachtet, eine eiförmige Konkavität bildet“.

„Die Ein- und Vorstülpungen geschehen scheinbar regellos, zuweilen in langsamem, manchmal in rasch stoßweise ablaufendem Tempo, wie die beifolgenden bei der Beobachtung gemachten Aufzeichnungen zeigen“. Die Membran war

eingestülpt	ausgestülpt
10 Sek.	9 Sek.
1 Sek.	70 Sek.
28 Sek.	32 Sek.
1 Sek.	28 Sek.
1 Sek.	1 Sek.
24 Sek.	15 Sek.
20 Sek.	

Außer diesen spontanen Bewegungen beschreibt ULBRICH noch: Bewegungen beim Akkomodationsakt, schlotternde Bewegungen der Membran bei zuckenden Bewegungen des Bulbus, Bewegungen der Membran bei Druck auf das Auge. Einstülpung bei Druck auf die Hornhaut, Ausstülpung, aber langsamere, beim Nachlassen des Druckes. Langsame Ausstülpung bei Druck auf den Aequator bulbi. Bewegungen beim Lidschlag.

Alle diese Bewegungen lassen sich durch Massenverschiebungen im Bulbusinneren leicht erklären.

Für die „regellosen“ spontanen Bewegungen des Ein- und Ausgestülptwerdens ist die Erklärung schwieriger. Sie sollen nach ULBRICH ihre Ursache in einer Strömung ganz anderer Natur haben, die durch Absonderung von Flüssigkeit im Ciliarkörper und durch Abfließen von Flüssigkeit im Kammerwinkel erzeugt ist.

Ein Blick auf die obigen Daten zeigt, wie willkürlich eine solche Schlußfolgerung ist; denn, da die Membran ohne nachweisbare Ursachen bald aus-, bald eingestülpt ist, könnte man mit demselben Recht auf eine Strömung in umgekehrter Richtung schließen. Beide Schlüsse sind nicht berechtigt.

Einen neuen Gesichtspunkt für das Verständnis dieser Vorgänge gibt FRIEDENTHAL, indem er darauf hinweist, daß die Bewegungen der Membran von Bewegungen der Iris abhängig gewesen sein könnten. Mit großer Wahrscheinlichkeit erklären sich hierdurch die Beobachtungen URBANEKS an einem analogen Falle, in welchem die Membran in der Lücke von dem hinteren Pigmentepithel gebildet wurde. Hier befand sich die Membran in denselben Unruheschwankungen wie die Pupille.

Im Sinne einer kontinuierlichen Strömung wird vielfach auch die Beobachtung von SCHÖLER und UHTHOFF gedeutet, die nach Sympathicotomie am Fluoresceinkaninchen Farbstoff durch die Pupille in die Vorderkammer übertreten sahen. Dieselbe Deutung geben die folgenden Autoren ihren Beobachtungen. Nach NAKAMURA, MUKAI und KOSAKI wird bei Kaninchen, denen eine subkonjunktivale Injektion von 10%iger Kochsalzlösung und zuvor eine subcutane Fluoresceineinspritzung gemacht worden ist, Fluorescein enthaltende Flüssigkeit vom oberen Pupillenrande her in die Vorderkammer herabfließend ergossen. Die Autoren nehmen an, daß diesem Erguß eine Absonderung von Kammerwasser im Ciliarkörper zugrunde liege. Der Versuch beweist nur, daß von der Hinterkammer her spezifisch schwereres Kammerwasser herabfällt. Für eine Neubildung von Kammerwasser beweist der Befund nichts, sonst hätte man Zuströmen von allen Seiten zu erwarten.

Alle die beschriebenen Erscheinungen haben miteinander gemeinsam, daß man sie leicht erklären kann als Folgen einer kontinuierlichen Erzeugung von Humor aqueus durch den Ciliarkörper. Diese Strömung aber aus den Erscheinungen beweisen zu wollen, ist nicht ohne weiteres berechtigt; denn ihre Ursachen können, wie auseinandergesetzt, andere sein.

### c) Argumente gegen eine Humorbildung im Ciliarkörper.

Mit den Anschauungen über eine kontinuierliche Bildung von Humor aqueus im Ciliarkörper ist der HAMBURGERSche Versuch unvereinbar. HAMBURGER hat mittels einer feinen Spritze in die hintere Augenkammer ein Tröpfchen Fluoresceinlösung eingebracht. Darnach sah er bis zu einer halben Stunde vergehen, ehe das Fluorescein durch die Pupille in die vordere Augenkammer übertrat. Mit Recht betont HAMBURGER, daß dieser Befund mit den Vorstellungen der LEBERSchen Schule nicht vereinbar sei; denn bei einer Erneuerungsdauer des Kammerinhaltes im Verlaufe von 43 Minuten müßte nach 30 Minuten bereits reichlich Fluorescein in der Vorderkammer vorhanden sein. Der Versuch HAMBURGERS ist leicht zu bestätigen. LEBER, WEISS, REINSTEIN und WESSELY haben ihn mit demselben Resultate wie HAMBURGER wiederholt. In analoger Weise kann auch eine Beobachtung WINSELMANNS verwertet werden, der einen Bluterguß in die hintere Kammer erst bei Erweiterung der Pupille in die vordere übergehen sah.

WESSELY hat gegen diesen Versuch folgende Einwände gemacht: 1. verbleibe das Fluorescein durchaus nicht regelmäßig bis zu 30 Minuten hinter der

Pupille, sondern erscheine häufig schon nach 1—5 Minuten in der Pupille; 2. sei es in den Fällen längeren Verweilens durchaus nicht sicher, daß der Farbstoff wirklich frei in der Hinterkammer war, denn er konnte ein gleiches Verhalten auch beobachten, wenn am Auge eine subkonjunktivale Kochsalzinjektion vorgenommen worden war, also „sicher gleichzeitig eiweißhaltiges Sekret durch die Pupille strömte“. Weiter weist WESSELY darauf hin, daß bei Eserinwirkung der Pupillenverschluß nicht fest sein könne, da hier Linsen- und Irisschlottern einträte. Endlich findet er in HAMBURGERS Versuch stets Eiweiß im Kammerwasser, das nur vom Ciliarkörper stammen, also nur durch die Pupille in die Vorderkammer gelangt sein könne.

Die Frage ist von so großer prinzipieller Bedeutung, daß die Argumente WESSELYS genau geprüft werden müssen.

Der HAMBURGERSche Versuch ist angestellt worden, um die Angaben der LEBERSchen Schule, nach denen der Inhalt der Augenkammern beim Kaninchen sich in 43 Minuten erneuert, zu kontrollieren. Wenn man den Inhalt der Hinterkammer gleich  $\frac{1}{7}$  des Vorderkammerinhaltes setzt, so müßte nach 7 Minuten die ganze Hinterkammer neugefüllt sein, der Farbstoff also nach viel kürzerer Zeit als 7 Minuten in die Vorderkammer eintreten. Dieser Eintritt erfolgt aber in zahlreichen Versuchen erst viel später. Gerade diese Versuche sind aber beweisend.

Daß der Farbstoff nicht in die Hinterkammer gelangt sei, trifft gewiß für manchen Versuch zu. Die angegebene Zeit von 30 Minuten vergeht aber auch, wenn der Farbstoff sicher in der Hinterkammer liegt. So sah ihn WEISS durch die Iris eines albinotischen Tieres hindurchschimmern. In anderen Versuchen konnte an gefrorenen Augen festgestellt werden, daß der Farbstoff 30 Minuten nach seiner Injektion noch in der Hinterkammer sich befand.

Der hypothetische feste Pupillenverschluß ist für die Frage ganz ohne Bedeutung; denn in der Hinterkammer stagnierende Flüssigkeit würde auch bei lockerem Pupillenabschluß nur äußerst langsam in die Vorderkammer gelangen, falls die Diffusion die alleinige treibende Kraft wäre.

FRIEDENTHAL bemerkt aber mit Recht, daß an die Diffusion als treibende Kraft nicht zu denken sei, weil z. B. trotz des großen Unterschiedes in der Diffusionsgeschwindigkeit zwischen Fluorescein und chinesischer Tusche die Geschwindigkeit ihrer Ausbreitung im Auge von gleicher Größenordnung ist. Nach LEBER geht Tusche frühestens nach 11 Minuten, spätestens nach einer halben Stunde aus der Hinterkammer in die vordere über. NUEL und BENOIT sahen Tusche aus dem Glaskörper nach einer halben Stunde in die Vorderkammer gelangen. Fluorescein gebraucht eine Minute bis rund eine halbe Stunde; derselbe Stoff tritt also nach ganz verschiedenen Zeiten über, der Ort des Übertrittes wechselt. Über die Kräfte, welche die Bewegung der eingespritzten Farbstoffe bewirken können, äußert sich FRIEDENTHAL ausführlich. Einen zeitlich und örtlich so unregelmäßigen Transport auf eine regelmäßige Strömung zu beziehen, scheint ihm nicht angängig. Von äußeren Kräften kommen in Frage der Injektionsdruck, der Wechsel der Pupillenweite und die Schwerkraft, diese, wenn oben eingespritzt wurde. Ferner wirken Bewegungen der Augen verschiebend auf die Augenflüssigkeiten (auch solche im Gefolge der Bewegungen des Körpers oder des Kopfes). Sie erzeugen Strömungen, weil die Flüssigkeit relativ gegen die Bewegung der festen Massen des Auges zurückbleibt. Lokale Wirbel entstehen durch Bewegungen der Iris und des Ciliarkörpers (Akkommodation). Über die Verschiebungen der Bulbusflüssigkeit durch die Volumschwankungen der Gefäße des Augeninneren s. S. 66.

Endlich sind Strömungen infolge ungleicher Temperierung der verschiedenen Teile des Bulbusinneren denkbar. Auch durch die injizierten Massen können

solche Bedingungen für eine Strömung geschaffen werden. In den bisherigen Versuchen ist dieser Umstand gar nicht beachtet worden. Von wesentlichem Einfluß vermag der Umstand zu sein, daß im Bulbusinneren zwischen vorderen und hinteren Teilen eine Temperaturdifferenz von 6—7° besteht.

Vor allem kann auch die Irisbewegung, wie sie der Erweiterung der Pupille zugrunde liegt, den Farbstoffübertritt bewirken. So sah WINSELMANN Blut aus der Hinterkammer in die vordere durch Anwendung von Eumydrin gelangen.

Was endlich die Folgerung WESSELYS anlangt, daß der Eiweißgehalt der Vorderkammer nach dem HAMBURGERschen Versuche, besonders, wenn er mit subkonjunktivaler Kochsalzinjektion verbunden ist, als Beweis dafür zu gelten habe, daß Flüssigkeit aus dem Ciliarkörper in die Vorderkammer eingetreten sei, so ist zu bemerken, daß vorerst bewiesen werden müßte, daß das Eiweiß wirklich aus dem Ciliarkörper stammt. Es könnte doch auch auf anderem Wege in die Vorderkammer gelangt sein, z. B. aus der Vorderfläche der Iris.

#### d) Die Iris als Quelle des Humor aqueus.

Nachdem, wie oben S. 37 angeführt, HAMBURGER gezeigt hatte, daß Farbstoff in der hinteren Augenkammer lange Zeit verweilen kann, ohne durch die Pupille auszutreten, lag es nahe, auch an die Iris als Quelle des Kammerwassers zu denken, wenn man nicht die Annahme einer Absonderung von Humor ganz fallen lassen wollte. Die Bildung der EHRlichSchen Linie (s. Anhang II, S. 63) legte den Gedanken an eine Kammerwasserbildung durch die Iris besonders nahe. So hat sich denn HAMBURGER der EHRlichSchen Auffassung zunächst angeschlossen, daß normalerweise die Kammerwasserbildung an der Oberfläche der Iris stattfindet. Dagegen hat man geltend gemacht, daß bei angeborenem völligem Mangel der Iris die Augenkammern wie in der Norm mit Humor gefüllt sind. Dasselbe zeigt sich bei erworbenem Mangel der Iris, wie es infolge von Verletzungen beobachtet worden ist.

Weiter leitet man aus der Tatsache, daß infolge von aseptischen Hornhautperforationen mit totaler Entleerung des Humor die Iris sich der Cornea vollkommen anlegt, ein analoges Argument ab. Man sagt, dieser Zustand dürfte nur vorübergehend sein, wenn die Iris absondert; er ist aber zuweilen dauernd (BEER, LEBER).

Als wesentlichstes Moment führt LEBER die Beobachtung an, daß die bloßgelegte Iris keine Absonderung erkennen lasse. Um dies zu prüfen, hat LEBER die Hornhaut abgetragen, in die Pupille ein gestieltes Knöpfchen eingeführt, die Iris mit Eserinlösung befeuchtet und, nachdem sie sich um den Stiel zusammengezogen hatte, ihre Oberfläche beobachtet. Da sie vollkommen trocken blieb, nahm LEBER an, daß hier eine Kammerwasserbildung nicht statthat.

Später ist dann die LEBERSche Schule zu anderen Resultaten gelangt, wie aus dem Folgenden sich ergeben wird.

SEIDEL (a) hat zur Untersuchung der sezernierenden Funktion der Iris gemeinsam mit LEBER folgenden Versuch angestellt: An einem eserinisierten Katzenauge wird mittels Abtragung der Hornhaut die Iris bloßgelegt, die Pupille durch eine Klemme abgeschlossen, so daß kein Inhalt aus der hinteren Augenkammer auf die Vorderfläche der Iris gelangen kann. Über die Iris wird eine feuchte kleine Kammer gestülpt, welche sowohl die Verdunstung von Flüssigkeit, die etwa auf der Iris sich ansammelt, verhindern, als auch den Übertritt von Flüssigkeit aus dem Konjunktivalsack hintanhaltend soll. In anderen Versuchen beschränkt SEIDEL die feuchte Kammer auf Teile der Iris, in wieder anderen führt er durch eine Hornhautperforation ein Trichterchen ein, wie sie für die Otoskopie gebraucht werden. Dieses wird gegen die Iris angedrückt,

darnach beobachtet, ob sich Flüssigkeit auf dem Grunde des Trichters ansammelt. In allen Versuchen ist die Flüssigkeitsmenge gering, welche die Irisvorderfläche liefert. SEIDEL bestimmt sie gleich  $\frac{1}{20}$  cmm in der Minute; er betont, das sei  $\frac{1}{3}$  der Menge, welche der Ciliarkörper liefert. Das „Sekret“ ist stark eiweißhaltig,  $3-5\frac{1}{2}\%$ , es neigt zur Gerinnung, hat also ganz andere Eigenschaften als normales Kammerwasser. HAMBURGER (g) äußert Bedenken gegen diese Versuche, indem ihm die Alterationen des Auges, welche zur Schaffung eines Zuganges zur Iris nötig waren, zu eingreifend erscheinen, um normales Funktionieren der Iris gewährleisten zu können. In einer späteren Untersuchung hat SEIDEL dann die Annahme gemacht, daß der Flüssigkeitsaustritt eine Folge von „Entzündung durch Bloßlegung“ der Iris sei; er kommt zu dem Schlusse, „daß bisher eine Anteilnahme der Iris an der physiologischen Kammerwasserbildung durchaus unbewiesen und unwahrscheinlich ist“.

Da auch HAMBURGER die Anschauung von der Humorproduktion durch die Iris fallen gelassen hat, so existiert also ein Gegensatz unter den Autoren zur Zeit nicht mehr; wir können daher annehmen, daß man die Iris als Quelle des Kammerwassers aufgegeben habe.

Nach Entleerung der Vorderkammer zeigt die Iris ein ganz ähnliches Verhalten wie der Ciliarkörper. Auch an der Vorderfläche der Iris bilden sich beim Kaninchen bläschenförmige Abhebungen der deckenden Endothelschicht (SCHIECK), welche vollkommen analog den von GREEFF beschriebenen Blasen des Ciliarkörpers sind. SCHIECK erblickt in den Abhebungen den Ausdruck eines Ödems, welches durch die Störung des Druckgleichgewichtes zwischen Iris und Ciliarkörper einerseits und dem Augennieren andererseits erzeugt wird.

## e) Die Natur des Absonderungsvorganges des Humor aqueus.

### 1. Der Ciliarkörper als Filter.

Die quantitativen Untersuchungen über den Abfluß der Augenflüssigkeiten haben zu dem Resultat geführt, daß die aus dem Auge fließende Menge proportional der Abnahme des Druckes zunimmt, welcher gegen den Abfluß wirkt. Ferner hat sich ergeben, daß der Eiweißgehalt des Humor mit der Druckabnahme stetig ansteigt. Aus diesen Gründen erklärt LEBER die Kammerwasserbildung für einen Filtrationsvorgang, „bei welchem außer der Druckdifferenz nur die Beschaffenheit des Filters, aber keine noch unerklärten Wirkungen von Drüsenzellen eine Rolle spielen. Mit dieser Ansicht stimmt auch die Zusammensetzung der intraokularen Flüssigkeiten überein, welche, soviel bekannt, lediglich Bestandteile enthalten, die auch im Blute vorkommen, nur zum Teil in viel geringerer Konzentration, was sich ungezwungen auf die Wirkung des Filters beziehen läßt. Auch der Füllungszustand der Gefäße oder die Wirkung der Nerven üben auf die Absonderung nur solche Einflüsse aus, welche sich durch Änderung der Filtrationsbedingungen erklären lassen. Spezifische Sekretionsnerven, welche die Flüssigkeitsabsonderung direkt beherrschen, sind beim Auge nicht bekannt und dürften schwerlich vorhanden sein“.

WESSELY faßt die Absonderung der Augenflüssigkeiten als einen Transsudationsvorgang sui generis auf, „indem normalerweise dem inneren Auge gewisse Bestandteile des Blutserums, die Eiweiß- und mit ihnen die Antikörper, ja sogar fremde krystallinische Substanzen weitgehend ferngehalten werden. Hierin liegt ein wesentlicher Unterschied gegenüber der Lymphproduktion, und es ist deshalb auch nicht zweckmäßig, die Binnenräume des Auges einfach als seine Lymphräume zu bezeichnen, wie das noch vielfach geschieht. Aber auch die Grenze gegenüber echten Sekretionsvorgängen muß scharf gezogen werden. Möglich, sogar wahrscheinlich, daß besondere vitale Eigenschaften der Ciliarepithelien

bzw. der betreffenden Capillarendothelien bei der Zusammensetzung der Augenflüssigkeiten im Spiele sind. Aber zu einer echten Sekretion gehört, daß sie in hohem Maße vom Blutdruck unabhängig ist, und daß irgendwelche besonderen Substanzen ausgeschieden werden, die dem Blutserum fremd oder in ihm in viel geringerer Menge vorhanden sind, und beides trifft bei den Augenflüssigkeiten nicht zu. Gerade in der ausgesprochenen Abhängigkeit vom Blutdruck charakterisiert sich ja, wie gezeigt wurde, die intraokulare Flüssigkeitsproduktion als der Typus eines Transsudationsprozesses und seine Besonderheit anderen analogen Vorgängen gegenüber liegt nur in der außerordentlichen Labilität der Zusammensetzung, insbesondere hinsichtlich des Eiweißgehaltes“.

## 2. Der Ciliarkörper als Drüse.

Nach den meisten Beobachtern ist der Gehalt des Kammerwassers an Chlorionen höher als im Blutplasma. Es ist das mit der Annahme der Entstehung des Humor aqueus durch Filtration des Blutplasmas nicht zu vereinbaren; so sind die Anhänger der Theorie von dem kontinuierlichen Wechsel des Humor zu der Annahme gedrängt, die Neubildung erfolge durch einen Sekretionsvorgang oder mit anderen Worten, durch unbekannte molekulare Prozesse.

Aus diesem Grunde hat man nach Kriterien gesucht, aus denen eine Drüsennatur des Ciliarkörpers abgeleitet werden könne. HENDERSON und LANE-CLAYPON haben keine Sekretgranula, keine Reduktion der Protoplasmamasse der Zellen des Ciliarkörpers nachweisen können, wenn sie durch Entleerung der vorderen Augenkammer ihn zur Abscheidung des Humorregenerates veranlaßten. Denselben vollkommen negativen Befund beschreibt CARLINI, der weder an Zellen des Ciliarkörpers, die in isotonischem Serum untersucht wurden, noch an fixierten Präparaten (Methoden von MAWAS, ALTMANN, GALEOTTI, HEIDENHAINS Eisenhämatoxylinfärbung), noch an vital mit Methylenblau, Neutralrot oder Brillant-Kresylblau gefärbten Präparaten Veränderungen feststellen konnte.

Dagegen gibt MAWAS an, Granulierung der Zellen beobachtet zu haben, wogegen MAGITOT weder Sekretgranula noch Sekretvakuolen gefunden hat. Vielmehr bestätigt er den Befund von HENDERSON und LANE-CLAYPON, welche am Ciliarkörper ein völlig homogenes Epithel gefunden haben. SEIDEL (f) (s. o. MAWAS, KNAPE) wiederum bildet Präparate ab mit Eigentümlichkeiten, die er als Mitochondrien und Sekretvakuolen bezeichnet, und erblickt in diesem Befunde einen Beweis für die Drüsennatur des Ciliarkörpers. Beim Kaninchen geht nach SEIDEL das Drüsenepithel auch auf die Hinterfläche der Iris über. Aus dem Einfluß gewisser Gifte auf Ciliarkörper und Kammerwasser und aus dem Befunde freier Nervenendigungen zwischen den Zellen des Ciliarepithels leitet SEIDEL die Vorstellung ab, daß die Sekretion des Humor aqueus unter der Herrschaft des Nervensystemes erfolge. Muscarin, Eserin, Pilocarpin machen den Humor eiweißreicher (Kaninchen, Katzen), zugleich erzeugen sie eine ophthalmoskopisch nachweisbare Hyperämie der Ciliargefäße. Atropin vermehrt den Eiweißgehalt nicht, wirkt aber auch hyperämisierend (SEIDEL). Am Pilocarpinauge hat SEIDEL in den Epithelien des Ciliarkörpers alle Anzeichen vermehrter Sekretion gefunden: Abnahme der Färbbarkeit der Kerne, Vermehrung der Vakuolen, Abnahme der Mitochondrien, besonders an den vakuolenhaltigen Zellen. Das Atropinauge ist anscheinend nicht untersucht worden.

Auch den Abfluß aus Augenfisteln und seine Beeinflussung durch Eserin und Atropin hat man zum Beweise der Drüsennatur des Ciliarkörpers heranziehen wollen. Die hierfür gewählte Methodik ist nicht derart, daß auf ihr

irgendwelche Schlüsse aufgebaut werden könnten. Die Beobachtungen geschahen teils ohne messende Hilfsmittel, teils ließ man die Fistelflüssigkeit durch Fließpapier aufsaugen und wog die vollgesogenen Papierstücke. Kontrollen zur Bestimmung einer Beteiligung des Konjunktivalsekretes fehlen in den Versuchen.

Gegen die Deutung dieser Befunde wendet sich HAMBURGER (1). Er betont, daß der Befund der Mitochondrien keineswegs ein Kriterium für die sekretorische Natur einer Zelle sei; denn man findet sie beim Aufbau der Spermien, in glatten Muskelzellen, im Nervensystem, in den Stäbchenaußengliedern der Netzhaut, ferner in Epithelien bei Frosch und Mensch (auch im Flimmerepithel) und anderen nicht sezernierenden Zellen.

Auch auf Reize, die nicht vom autonomen Nervensystem stammen, reagiert nach SEIDEL (g) der Ciliarkörper, so auf Herabsetzung des Druckes z. B. durch Punktion, subkonjunktivale Injektion einer 2 $\frac{1}{2}$ —5 $\frac{0}{10}$  Kochsalzlösung (WESSELY), intravenöse Injektion einer 10 $\frac{0}{10}$  Kochsalzlösung (LOEWENSTEIN und KUBIK). Diese Reize werden durch Atropinisierung des Ciliarkörpers nicht unwirksam gemacht, vielmehr ist der Eiweißgehalt des Kammerwassers bei gleichzeitiger Anwendung dieser Reize und gleichzeitiger Atropinisierung vermehrt. Auch dieser Befund dient SEIDEL als Stütze für seine Annahme von der nervösen Ursache der Kammerwassersekretion, allerdings nicht ohne eine neue Hypothese: Die Sekretion werde durch Atropin gehemmt, aber die „bei jedem Absonderungsvorgange mitwirkende, auf Filtration beruhende, physikalische Komponente“ soll infolge der Hyperämie, wie sie die oben genannten Reize erzeugen, gegen die physiologische so in den Vordergrund treten, daß der Einfluß des Atropins völlig unmerkbar werde.

Nach diesen Ausführungen würde also SEIDEL zufolge die Humorbildung im intakten Auge ein Sekretionsprozeß, im atropinisierten Auge jedenfalls vorwiegend ein Filtrationsprozeß sein.

Entgegen allen diesen Angaben betont CARLINI, daß beim Kaninchen die morphologischen Veränderungen in den Zellen des Ciliarkörpers nach Punktion der Vorderkammer nicht der Ausdruck einer vermehrten Zelltätigkeit, sondern der einer schnellen Desorganisation des Protoplasmas seien: Vakuolisierung, welche zur Auflösung der Zellenelemente führt. Diese Veränderungen zeigen sich schließlich auch an der Hinterfläche der Iris. Die ganze Verwertung der Tatsachen ist, wie man sieht, recht widerspruchsvoll.

Aus der Beobachtung, daß nach Zerstörung des Ciliarepithels durch Natriumfluorid ein Humor gebildet wird, dessen osmotische Spannung der des Serums gleich ist, schließt SCALINCI (a—c) auf einen Sekretionsprozeß im Corpus ciliare.

Zur Stütze für seine Anschauungen über die sekretorische Funktion des Corpus ciliare führt SEIDEL (g, h) noch galvanische Erscheinungen an. Er hat vom Ciliarkörper Ströme ableiten können, die durch Pilocarpin verstärkt, durch Atropin geschwächt werden.

Zu diesen Versuchen ist folgendes zu bemerken: Erstens ist der Nachweis eines elektrischen Stromes durchaus kein Kriterium für die sekretorische Natur einer Zelle, vielmehr nur der Ausdruck einer Unstetigkeit in ihrem Getriebe. So erzeugt jede Verletzung oder ein ihr gleichzusetzender Vorgang wie z. B. der Verhornungsprozeß einen Strom, ebenso jeder Tätigkeitsvorgang in der Zelle. Zweitens sind SEIDELs Beobachtungen mit einer unzulänglichen Methodik gewonnen; er hat Stromstärken gemessen, während er Potentiale hätte messen müssen. Die Stromstärke wird durch unvermeidbare Veränderungen des Widerstandes beeinflusst, das Potential aber nicht. Diese Bemerkung gilt besonders für die Vergleiche der Stromstärken des normalen mit dem vergifteten Auge. Verschieden inniges Anliegen der Elektroden oder anderweitige Einflüsse auf den Widerstand können hier zu Irrtümern führen.

Aber abgesehen von diesen Unzulänglichkeiten muß betont werden, daß für einen Sekretionsprozeß das Eintreten eines Sekretionsstromes charakteristisch ist. Beweise für einen Sekretionsprozeß wären am Ciliarkörper also nur dadurch zu erbringen, daß er zur Sekretion veranlaßt, einen Sekretionsstrom zeigt. Diese Fragestellung ist in den Untersuchungen SEIDELs, die übrigens nichts Neues bringen, nicht behandelt. Die galvanischen Beobachtungen sind also für die vorliegende Frage ohne Bedeutung. Man vergleiche hierzu auch BAURMANNs Modellversuche.

Sehen wir aber von diesem Argumente völlig ab, so würde die erhöhte osmotische Spannung des Humor gegenüber dem Serum kein ausreichender Grund sein, um eine Entstehung des Humor durch Sekretion zu postulieren. Es könnte, wie WEISS (b) ausführt, sehr wohl möglich sein, daß durch Resorption des Kochsalzes der salzreichen Tränen der Humor salzreicher wird als das Blutserum. Der Versuch SEIDELs dagegen, den erhöhten Kochsalzgehalt durch Diffusion aus den Blutgefäßen in die Vorderkammer zu erklären, sei aus physikalischen Gründen unhaltbar. Daß in der Tat Kochsalz aus der Umgebung des Bulbus ins Kammerwasser gelangen kann, zeigen die oben angeführten Versuche HERTELs (s. S. 24).

### 3. Der Abfluß des Humor aqueus.

Auch über den Ort des Abflusses der Augenflüssigkeiten herrscht eine lebhaftige Kontroverse. Während einige Autoren den SCHLEMMschen Kanal als alleinige Abflußstätte ansehen, wollen andere auch die Irisvorderfläche am Abfluß beteiligen, wieder andere alle gefäßführenden Teile des Auges mit dieser Funktion betrauen.

#### a) Der SCHLEMMsche Kanal als Abflußstätte.

Auf den SCHLEMMschen Kanal als Abflußstätte des Humor aqueus ist die Aufmerksamkeit der Forscher zuerst durch einen Versuch von SCHWALBE gelenkt worden, der zeigen konnte, daß man die vorderen Ciliarvenen von der vorderen Augenkammer aus mit Farbstoffen füllen kann. Dieser Befund ist alsbald von LEBER bestätigt worden, der dazu fand, daß zuweilen auch nach einiger Zeit die Venae vorticosae von der vorderen Augenkammer injiziert werden. Weiter konnte LEBER feststellen, daß der SCHLEMMsche Kanal nicht in freier Verbindung mit der vorderen Augenkammer steht; vielmehr zeigt sich, daß er von einem vollkommen geschlossenen Endothelüberzug von der Augenkammer getrennt ist. LEBER kommt deshalb zu dem Schlusse, daß der Übergang der Injektionsflüssigkeiten in das Auge durch Filtration erfolge. Wie LEBER und BENTZEN zeigen konnten, gehen auch feine Emulsionen von Farbstoffen, z. B. von chinesischer Tusche in den Kanal über, und zwar durch die Kittlinien der Endothelzellen hindurch, während die Zellfläche keine Anzeichen von Farbstoffdurchtritt aufweist. Ferner hat PAGENSTECHEr dartun können, daß der Flüssigkeitsübertritt in den SCHLEMMschen Kanal leichter bei verengter Pupille (Physostigmin) als bei erweiterter (Atropin) erfolgt. Das würde also in LEBERs Sinne bedeuten, daß bei entfaltetem Maschenwerk des FONTANAschen Raumes die Filtration in den Kanal leichter erfolgt als bei nichtentfaltetem.

Noch zwei Versuche sind hier zu erwähnen, aus denen auf einen Abfluß des Humor aqueus durch den SCHLEMMschen Kanal geschlossen worden ist. URIBE y TRONCOSO (b) hat die Conjunctiva um den Cornealrand eingeschnitten und bis zum Äquator vom Bulbus losgelöst. Das Kaninchen wird dann so gelagert, daß der vordere Augenpol den tiefsten Punkt des Bulbus bildet. Über letzteren wird eine Glaskappe gesetzt, die am Rande dicht schließt und mit Öl gefüllt ist.

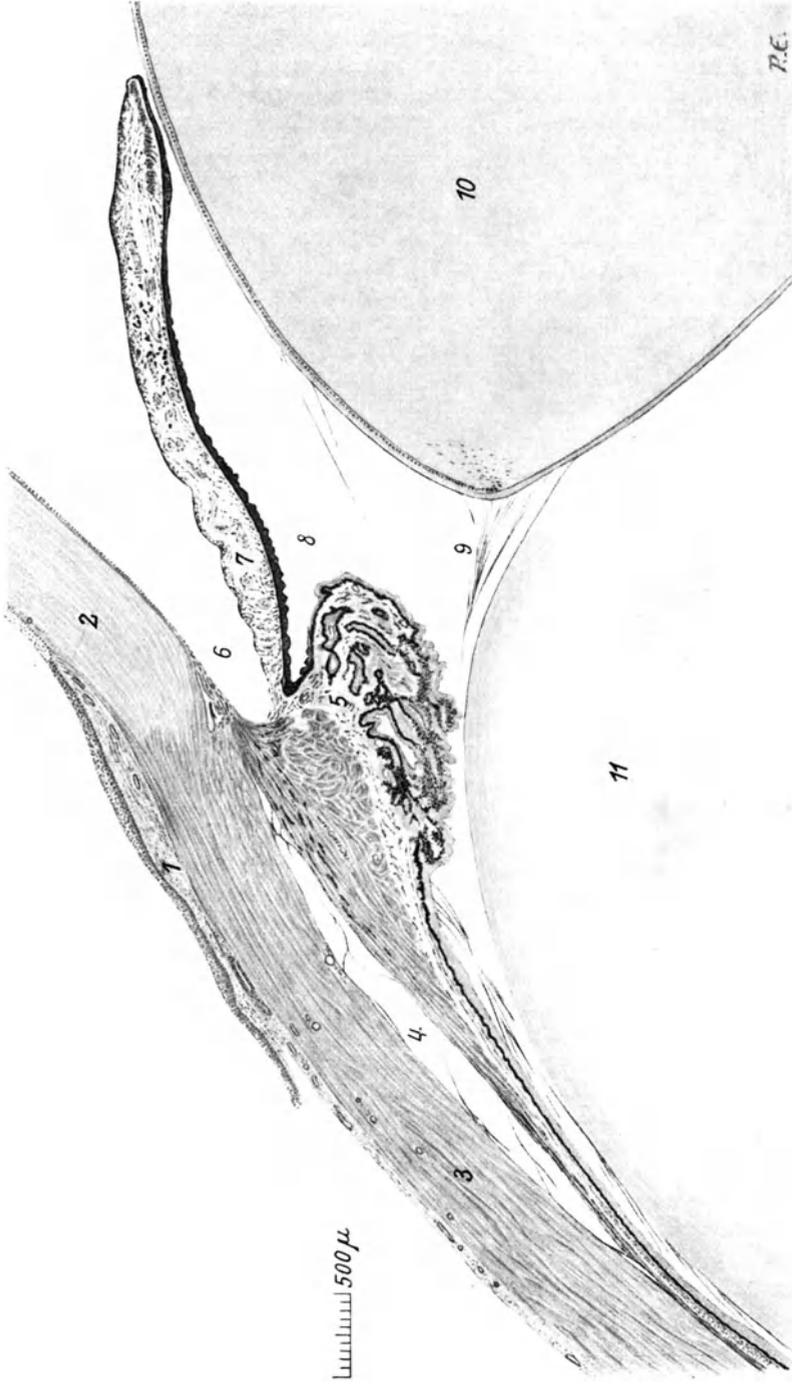


Abb. 5. Meridionalschnitt durch den vorderen Abschnitt des Augapfels eines Hingerichteten. (Präparat von Prof. STRYKE.) 1 Conjunctiva bulbi; 2 Cornea; 3 Sclera; 4 Sphincter pupillae durch Schrumpfung der Nachbarschaft erweitert; 5 Corpus ciliare mit Processus ciliaris und M. ciliaris; 6 vordere Kammer (Winkel); 7 Iris; 8 vordere Kammer; 9 Zonula ciliaris; 10 Linse; 11 Glaskörper. (Nach EISELEK.)

In dieses Öl tropft nunmehr eine Flüssigkeit ab, die mit Blutkörperchen vermischt ist. Diese werden abzentrifugiert, eine ihnen äquivalente Menge Blutplasma von der Flüssigkeit in Abzug gebracht, der Rest wird als Humor aqueus betrachtet, der durch die vorderen Ciliargefäße und durch die perforierenden Gefäße des SCHLEMMschen Kanales nach außen fließt.

O. WEISS (b) hat diesen Versuch als ungeeignet zum Nachweise der Filtration von Humor aqueus bezeichnet; denn es fehlt die Feststellung, daß die Restflüssigkeit wirklich Humor und nicht Lymphe war. Diesen Versuch kann man mit demselben Resultat an jeder beliebigen Körperstelle ausführen. URIBE Y TRONCOSO (c) ist er in der Tat am Hoden geglückt, der noch dazu ein besonders ungeeignetes Organ für diesen Versuch darstellt.

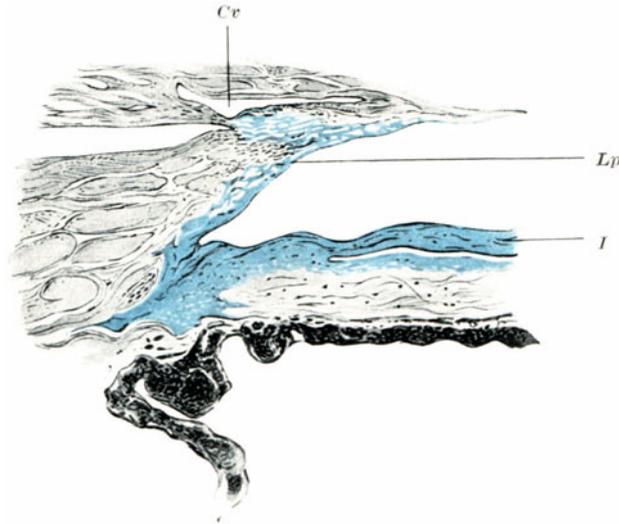


Abb. 6. Injektion von Berlinerblau in die Vorderkammer eines Menschen, 2 Stunden nach dem Tode. (Nach TH. LEBER.) *Lp* Ligam. pectinatum; *I* Iris; *Ce* Circulus venosus Schlemmii. Der Farbstoff ist tief in die Iris eingedrungen, in Ausdehnung ihrer ganzen Front; die Wand des SCHLEMMschen Kanals hingegen erreicht er nur an einer einzigen Stelle.

LAUBER hat gefunden, daß das Blut der vorderen Ciliarvenen weniger rote Blutkörperchen enthält als das übrige Blut und schließt aus diesem Befunde auf eine Verdünnung dieses Blutes durch abfließenden Humor. Dieser Beobachtung ist deshalb zunächst noch keine Bedeutung beizumessen, weil es Schwierigkeiten hat, aus den genannten Gefäßen Blut zu entnehmen, das nicht mit Gewebslymphe und mit dem Inhalte des Konjunktivalsackes vermischt ist. Da LAUBER diese Fehlerquelle nicht beachtet hat, verliert sein Befund an Beweiskraft.

Die Stütze der Anschauung, daß im Kammerwinkel eine Filtration in den Kanal stattfindet, werden noch weitere Versuche und Beobachtungen angeführt, bei denen die Grenzfläche zwischen Kanal und Vorderkammer (FONTANAScher Raum) verkleinert war. So beobachtete PRIESTLEY-SMITH einen wesentlich verringerten Abfluß von Flüssigkeit aus dem Auge, wenn er die Injektion vom Glaskörper her vornahm. Hierbei legen sich im Kammerwinkel Iris und Hornhaut aneinander, so daß der Balkenraum verschwindet. Infolge von Verwachsungen im Bereiche des Kammerwinkels, wie KNIES, WEBER, WAGENMANN (b) und viele andere beobachtet haben, wurde sog. Sekundärglaukom gefunden, d. i. eine Steigerung des intraokularen Druckes mit allen seinen deletären Folgen.

HEISRATH und BENTZEN haben diese Veränderung experimentell erzeugt; infolge der Verwachsung entwickelte sich Sekundärglaukom, die Filtration aus der vorderen Kammer war bei diesen Augen bedeutend herabgesetzt. In dieselbe Kategorie von Versuchen gehört auch ein Experiment von WESSELY (h). Er diszierte an jungen Kaninchen die Linse im Pupillargebiet. Danach quellen getrübe Linsenmassen in die vordere Augenkammer und werden hier resorbiert. Das Auge bleibt darauf im Wachstum zurück. Wenn die Linse infolge der Diszission auch in ihren Randteilen quillt, „so preßte sie die Iris an die Hornhaut in der Kammerbucht an“, es komme zur Drucksteigerung und Vergrößerung des Auges, als deren „einzige Ursache“ WESSELY „makroskopisch und mikroskopisch die Kammerwinkelverlegung nachweisen“ kann. HAMBURGER gibt an, daß hierbei die Iris mit klebriger Linsenmasse überzogen sei. Außerdem wird die Iris gegen die Hornhaut angedrückt.

Daß durch mechanische Reizung der Iris der Augendruck vermehrt werden kann, hat MAGITOT (o) experimentell bewiesen.

Noch auf andere Weise hat man eine Verlegung des Kammerwinkels mit nachfolgendem Sekundärglaukom erzeugen können. ERDMANN hat durch Injektion von feinverteiltem Ferrihydroxyd in die Vorderkammer des Kaninchenauges die Endothelien des FONTANASchen Raumes zur Proliferation gebracht und damit die Permeabilität des Kammerwinkels verringert. Außer dieser Veränderung zeigt sich Atrophie der Iris, Sklerosierung des Ciliarkörpers. Analoges hat HAMBURGER als Folge der Einbringung von Nigrosin in die Vorderkammer beobachtet. SEIDEL will infolge von Pyrrholblau- (Isamin-) Einspritzung in die vordere Kammer Sekundärglaukom beobachtet haben, dessen anatomische Grundlage lediglich in einer Verstopfung des Kammerwinkels bestehen sollte. HAMBURGER hat den Versuch SEIDELs genau nach dessen Angaben wiederholt. Dabei fand er die Vorderkammer von Exsudat erfüllt, die Iris in großer Ausdehnung mit der Linsenkapsel verwachsen, die Iriswurzel stark verdickt und infiltriert.

Alle Autoren, denen die Erzeugung eines Sekundärglaukoms gelungen ist, schreiben die Steigerung des Augendruckes der Behinderung des Abflusses aus der vorderen Augenkammer zu mit Ausnahme HAMBURGERs, der die Veränderungen des Auges infolge der geschilderten Eingriffe für zu umfangreich hält, um aus ihnen einen derartigen Schluß ziehen zu können. Vor allem ist für die Deutung dieser Versuche die Beobachtung MAGITOTS von Wichtigkeit, daß Reizung der Iris Drucksteigerung erzeugt. In allen oben beschriebenen Fällen handelt es sich nämlich um Irisreizungen.

Nicht unerwähnt möge endlich hier bleiben, daß bei manchen Tieren der SCHLEMMsche Kanal vollständig fehlt. So ist es bei Fischen, vielfach auch beim Pferde.

#### b) Die Iris als Abflußstätte.

Wie LEBER und BENTZEN beobachtet haben, treten Farbstoffemulsionen, wie Berlinerblau und chinesische Tusche, wenn man sie unter mäßigem Drucke in die vordere Augenkammer injiziert, nicht nur in den FONTANASchen Balkenraum und von hier in den SCHLEMMschen Kanal, sondern auch in das Gewebe der Iris von der Vorderfläche her diffus ein, ja vom Kammerwinkel her gelangen sie in das Gewebe des Ciliarkörpers. Auch am lebenden Auge kann man beobachten, daß die Farbstoffkörnchen in die Iris eintreten. Das haben zuerst NUEL und BENOIT gesehen und nach ihnen ASAYAMA. Die erstgenannten Autoren injizierten die Farbstoffsuspension in den Glaskörper und warteten danach 2—6 Stunden bis zur Enucleation des Bulbus. Ihre Untersuchungen dehnten sich auch auf Menschaugen aus, die zur Enucleation

bestimmt waren. Die anatomische Untersuchung wurde zu einer Zeit vorgenommen, in der Leukocyten am Transport der Tusche noch nicht beteiligt waren. ASAYAMA hat die Emulsion in die vordere Augenkammer injiziert,

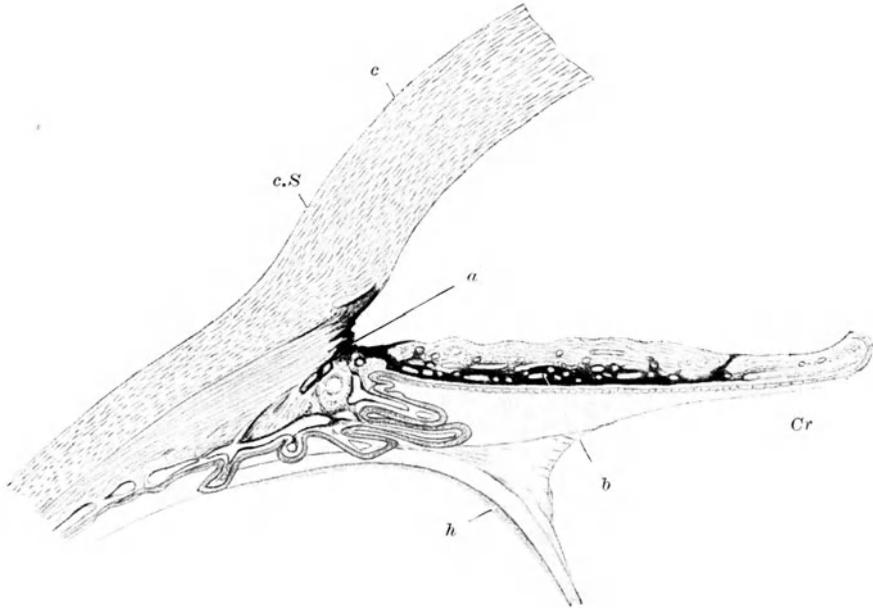


Abb. 7. Auge eines 5jährigen Kindes, zwei Stunden nach Injektion eines Tropfens chinesischer Tusche in den Glaskörper. *c* Hornhaut; *c.S* SCHLEMMscher Kanal; *Cr* Krystallinse; *h* Membrana hyaloidea; *a* Eindringen der Tusche in der Peripherie; *b* im Gefäßbereich der Iris. Wenig Tusche am SCHLEMMschen Kanal.

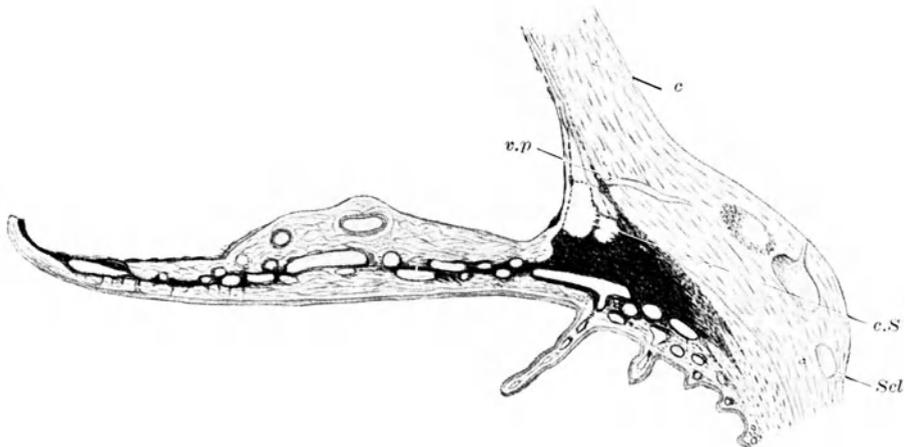


Abb. 8. Auge eines Hundes nach Injektion chinesischer Tusche in den Glaskörper. *c* Hornhaut; *c.S* SCHEMMscher Kanal; *Scl* Sclera; *v.p* perforierender Venenast. Hauptansammlung der Tusche in Iris und Ciliarkörper.

wobei er sorgfältig jeden Verlust von Kammerwasser vermied. Das ist von Wichtigkeit, weil sonst die Tuschekörner in Fibringerinnsel eingehüllt und dadurch bewegungsunfähig werden.

Es ist wichtig, zu beobachten, in welcher Weise die Farbstoffkörner in die Iris gelangen. Zum Teil geschieht dies aus den Maschen des FONTANASchen Raumes, zum Teil von der vorderen Fläche aus. Im zweiten Falle dringen die Farbkörner vorwiegend in die sog. Iriskrypten, in geringerer Menge aber von der ganzen vorderen Fläche aus ein. Beim Huhn kommt nur diese Art des Eindringens vor. Von den Krypten, aber auch von der übrigen Fläche aus, wird das ganze Irisgewebe mit Tusche diffus infiltriert. Besonders reichlich finden sich die Farbstoffkörner in der Umgebung der Gefäße. Im Inneren der Irisvenen am Menschenauge hat NUEL in den Capillaren der vorderen Irisfläche und in den kleinen Venen der mittleren Schicht beim Kaninchen hat ASAYAMA Tuschkörner gefunden.

Die Beobachtungen von NUEL und BENOIT sind auch von TOBLER bestätigt worden, der festgestellt hat, daß eine Tuscheemulsion, die in den Glaskörper injiziert wird, sich in das Corpus ciliare, die Chorioidea, die Iris und das Ligamentum pectinatum iridis verbreitet.

### e) Andere Abflußstätten des Humor aqueus.

In den oben angeführten Versuchen von NUEL und BENOIT, die von ASAYAMA und von TOBLER bestätigt worden sind, hat sich gezeigt, daß die Körner nach Injektion von chinesischer Tusche in den Glaskörper nicht nur im Ligamentum pectinatum iridis und in der Vorderfläche der Iris nachweisbar sind, sondern auch im Ciliarkörper, hier am wenigsten in den Ciliarfortsätzen, in der Aderhaut, im Sehnerven, mit anderen Worten an allen gefäßführenden Teilen des Auges. Die Verhältnisse liegen nicht bei allen Tierarten gleich; so ist beim Menschen der Übergang der Tusche in den SCHLEMMschen Kanal, die perforierenden Venen und die Ciliarkörpervenien bevorzugt. Ein Teil tritt durch Stomata der Iris im peripupillaren Gebiete und am Kammerwinkel ein und verbreitet sich von hier durch die ganze Iris in den Interstitien des Irisgewebes, von wo die Tuschkörner in die Capillaren und vor allem in die Venen der Iris gelangen.

Es kann hier nicht unerwähnt bleiben, daß nach den Beobachtungen von PRINKE die Tuschepartikel in den Ciliarkörper nur durch Leukocyten transportiert werden, in den SCHLEMMschen Kanal aber frei. NUEL und BENOIT beobachteten auch in den Ciliarkörper Transport ohne Leukocyten.

Nach diesen Beobachtungen müßte man — wenn man die Bewegung der Tuschkörner als ein Kriterium für die Existenz einer Flüssigkeitsströmung ansehen will —, den Schluß ziehen, daß der Humor aqueus durch alle gefäßführenden Augenteile abfließt.

In demselben Sinne sind auch Beobachtungen von O. WEISS (a) zu deuten. Er durchspülte den Kopf eines Kaninchens von den Carotiden aus mittels RINGERScher Lösung. Es zeigte sich, daß bei jedem Gefäßdruck sich ein Augendruck von bestimmter Höhe einstellte. Wurde nun gleichzeitig in die vordere Kammer eine LEBERSche Kanüle gebracht, so konnte man, wie am lebenden Auge, bei jedem Überdruck Flüssigkeit ins Auge eintreiben. Bei jedem Unterdruck trat Flüssigkeit aus dem Auge aus. Das geschah aber nicht nur am intakten Auge, sondern auch wenn nach Abschluß der Pupille der hintere Augenabschnitt mit dem Manometer verbunden war. Es liegt also die Möglichkeit des Flüssigkeitseintrittes und -austrittes an allen gefäßführenden Augenabschnitten vor.

Die Lehre von getrennten Bildungs- und Abflußorten des Humor aqueus läßt sich nach diesen Beobachtungen nicht mehr aufrecht erhalten. Schon von vornherein hat es wenig Wahrscheinlichkeit für sich, daß im hinteren Augenabschnitt die Bedingungen für eine Filtration aus den Blutgefäßen ins Auge bestehen, im vorderen Augenabschnitt dagegen für eine Filtration in umgekehrter

Richtung. Durch die oben geschilderten Versuche wird gezeigt, daß in der Tat das ganze Auge sich nicht anders verhält als der hintere Augenabschnitt.

#### d) Abfluß des Humor durch Lymphgefäße.

Bis vor kurzer Zeit war man ganz allgemein der Meinung, daß Lymphgefäße im Inneren des Auges nicht vorkommen und daß auch die Augenkammern keine abführenden Lymphwege besitzen. Doch mehren sich die Stimmen, welche auch dem Auginneren Lymphgefäße zuweisen wollen. Besonders hat LÉBOUCQ diese Meinung in einer umfangreichen Abhandlung vertreten. Auch E. FUCHS, SCHIECK, KOEPPE, MELLER und HAMBURGER (1) äußern sich in demselben Sinne. Neuerdings haben GEORG MAGNUS und ADA STÜBEL mittels Wasserstoffsperoxyd Wege dargestellt, die sie als Lymphgefäße ansprechen. Die weitere Entwicklung der Frage wird lehren, wieweit die Deutung der Befunde zutrifft. Vorsicht in ihrer Beurteilung ist um so mehr geboten, als SEIDEL (1) sie nicht bestätigen konnte.

Einen Abfluß der Augenflüssigkeiten etwa durch Lymphgefäße der Iris infolge hydrostatischer Kräfte anzunehmen, hat dieselben mechanischen Schwierigkeiten wie die Annahme des Abflusses in die Blutgefäße durch solche Kräfte. Auch für die Lymphgefäße des Auginneren müßte gelten, daß eine Strömung in ihnen nur denkbar ist, wenn ihr Innendruck höher als der Außendruck ist. Zunächst hier mehr zu sagen, wäre nicht angebracht. Die Entwicklung der Frage ist abzuwarten.

#### e) Die treibenden Kräfte für den Abfluß des Humor aqueus.

Von allen Autoren, welche eine kontinuierliche Strömung des Humor aqueus annehmen, wird als treibende Kraft der *intraokulare* Druck angesehen, der die Augenflüssigkeit in die Blutgefäße übertreten läßt.

Solange der SCHLEMMsche Kanal als alleiniger Abflußort angesehen wurde, hatte diese Auffassung zunächst keine Schwierigkeiten, und in der Tat hat sich die Lehre unter dieser Voraussetzung entwickelt. Später hat man dann den Filtrationsprozeß auch für den Abfluß in Gebieten zur Erklärung herangezogen, an die man zunächst als Abflußstätte des Humor gar nicht gedacht hatte. Diese historische Entwicklung muß man sich vor Augen halten, wenn man das Seltsame mancher Annahmen verstehen will.

Klar spricht LEBER seine Anschauungen vom Abfluß des Humor aus: „Der Übertritt der Flüssigkeit in das Venensystem erfolgt nicht, wie von manchen Autoren angenommen wurde, durch offene Verbindungen, sondern, wie unten nachgewiesen wird, auf dem Wege der Filtration. Dieser Vorgang ist auch die Ursache, daß beim toten Auge, auch nach dem anfänglichen Abfalle des Augendruckes, welcher die Folge der aufgehobenen Blutzirkulation ist, und trotz Schutz vor Verdunstung, der Druck noch stetig weiter sinkt, indem das Kammerwasser in die leer gewordenen Gefäße hinüberfiltriert und nach außen abfließt. Dasselbe, was am lebensfrischen toten Auge erfolgt, muß auch während des Lebens vor sich gehen; derselbe Druck wird auch hier eine entsprechende Menge Flüssigkeit aus der vorderen Kammer in die Anfänge der Venen hinübertreiben.“

Zur Stütze dieser Anschauung dienen die S. 31 aufgeführten Tatsachen: Erstens der Umstand, daß bei jedem Druck, der höher als der intraokulare ist, Flüssigkeit in das Auge einfließt, zweitens die Tatsache, daß in das tote Auge bei jedem positiven Druck Flüssigkeit eintritt, welche in den SCHLEMMschen Kanal gelangt und von hier durch die vorderen Ciliarvenen abfließt. Da die einfließenden Flüssigkeitsmengen der Druckhöhe proportional sind, so

liegt die Annahme in der Tat nahe, daß hydrostatischer Druck die treibende Kraft sei.

Wenn wir die Gesamtvorstellung LEBERS ins Auge fassen, daß das Kammerwasser durch Filtration aus den Gefäßen des Ciliarkörpers in das Augennere gelange und ebenso durch Filtration das Auge im Kammerwinkel verlasse, so muß man sagen, daß diese Theorie in eine überaus präzise und klare Formel gebracht worden ist.

Weniger scharf formuliert sind die Anschauungen einiger Autoren aus der LEBERSchen Schule. So sagt WESSELY: „Augenblicklich genügt uns die Tatsache, daß überhaupt bei Überdruck einlaufende Flüssigkeit das Auge wieder verläßt, und bei außen erzeugtem Unterdruck Flüssigkeit aus dem Auge ins Manometer strömt. Ob es sich dabei um einen reinen Filtrationsprozeß handelt oder nicht, ist von untergeordneter Bedeutung. Wir glauben ja alle nicht, daß Vorgänge im lebenden Organismus mit dem identisch seien, was wir im physikalischen Experiment Filtration nennen. Stets kommt der lebenden Zellwand eine eigene Bedeutung zu, und da ja auch im Organismus Flüssigkeit nie gegen Luft, sondern immer wieder gegen Flüssigkeit filtriert, gesellen sich hier zu den hydromechanischen stets molekulare Kräfte; mit anderen Worten: im lebenden Körper ist Filtration mit Osmose zu einem untrennbaren Ganzen verschmolzen. Für uns kommt es nur darauf an, daß bei den strittigen Vorgängen überhaupt Druck-, also hydromechanische Kräfte eine Rolle spielen. Das hat sich am Auge mit einer Sicherheit erweisen lassen wie bei keiner anderen Flüssigkeitsproduktion oder -abfuhr im Körper. Freilich nur für etwas von der Norm abweichende Verhältnisse, bei geringster Druckerhöhung oder -minderung. Sind wir aber darum genötigt oder auch nur berechtigt, die normalen Vorgänge, weil sie sich unserer Beobachtung entziehen, von diesen direkt nachweisbaren, unter nur wenig abweichenden Bedingungen auftretenden prinzipiell zu scheiden? Ich glaube Nein.“

Am eingehendsten hat in der neueren Zeit SEIDEL (d) sich mit dem Abflusse des Humor aqueus unter dem Antriebe hydrostatischen Druckes beschäftigt. Dieser Autor kommt zu dem Resultat, daß „molekular-dispers“ gelöste Farbstoffe wie Indigocarmin, Pikrinsäure, Fluorescein „unter allen Umständen“ bei einem Injektionsdrucke von der Höhe des normalen Augendruckes beim lebenden Tiere in den SCHLEMMschen Kanal übertreten; bei toten Augen genügen bereits geringere Drucke. Dagegen verhalten sich „kolloide“ Farbstoffe nicht durchweg so. Das „feinkörnige“ Lithiumcarmin tritt leicht über, das „grobkörnig“ gelöste Isaminblau aber nicht; ebenso verhalten sich Kongorot, Alkaliblau, Nachtblau. Diese Farbstoffe gelangen erst bei einem Druck in den SCHLEMMschen Kanal, welcher erheblich über dem normalen Augendrucke liegt. Ferner hat SEIDEL festgestellt, daß alle Farbstoffe, die in ihren Lösungen durch ein Kollodiumfilter gehen, das mit 3%iger Kollodiumlösung hergestellt ist, auch in den SCHLEMMschen Kanal eindringen, während alle Farbstoffe, welche ein solches Filter nicht durchläßt, auch im Kammerwinkel zurückgehalten werden.

Weiter hat SEIDEL die Diffusion der genannten Farbstoffe und einiger anderer in Gelatinegallerte untersucht und festgestellt, daß die Diffusionsfähigkeit und das Übergangsvermögen in den SCHLEMMschen Kanal identisch sind. Aus diesem Verhalten zieht SEIDEL den Schluß, daß der Übergang beim Abfluß der Augenflüssigkeit aus der Vorderkammer durch den SCHLEMMschen Kanal nach den episcleralen Venen in der Hauptsache physikalischer Natur sei.

#### 4. Kritik der Filtrationstheorie. Tatsachen, die mit ihr nicht vereinbar sind.

In der Lehre von dem Wechsel der Augenflüssigkeiten sind zwei willkürliche Voraussetzungen gemacht worden, wie O. WEISS (a) zuerst ausgeführt hat. Einmal hat man aus der Tatsache, daß bei jedem Druck, welcher dem Augendruck überlegen ist, Flüssigkeit ins Auge einläuft, und daß bei jedem Druck, welcher dem Augendruck unterlegen ist, Flüssigkeit aus dem Auge austritt, den Schluß gezogen, daß im intakten Auge ein dauernder Zufluß von Flüssigkeit und ein

äquivalenter dauernder Abfluß stattfindet. Die zweite Voraussetzung besteht darin, daß man die Beobachtungen des Einlaufens am lebensfrischen toten Auge ohne weiteres auf das lebende Auge übertragen hat. So kam man zu der Vorstellung, daß einem Abfließen des Humor doch ein äquivalenter Zufluß entsprechen müsse; denn sonst würde ja der Augendruck sinken müssen.

Die erste Voraussetzung wird auch heute von den Anhängern der Lehre LEBERS noch aufrechterhalten. Ich zitiere die folgenden Sätze WESSELYS (b):

„Sind die mechanischen Bedingungen für einen sog. Filtrationsvorgang überhaupt einmal vorhanden, so müssen sie auch beim normalen intraokularen Druckgefälle funktionieren. Die Experimente der Erhöhung und Erniedrigung des intraokularen Druckes verstärken diese Erscheinungen, aber sie schaffen sie nicht erst. Wie so häufig in der Physiologie müssen wir die Bedingungen ein wenig nach der einen oder anderen Seite

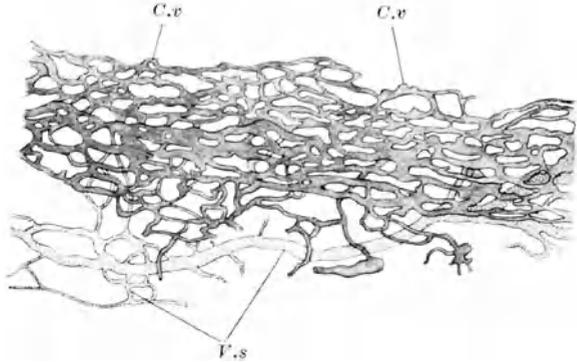


Abb. 9. Circulus oder Plexus ciliaris venosus vom Kalbe. C.v Circulus venosus aus einem breiten Netze zirkulär verlaufender Venen bestehend; V.s sclerale und episclerale Venen, die mit dem Circulus venosus stellenweise zusammenhängen. (Nach TH. LEBER: Handbuch der gesamten Augenheilkunde, von GRAEFE-SÆMISCH, 2. Aufl., Bd. 2.)

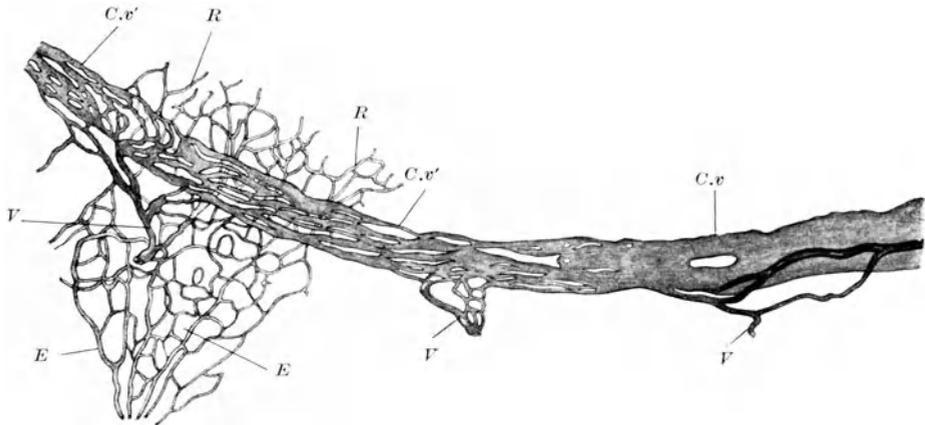


Abb. 10. Circulus venosus Schlemmii von einem durch die A. ophthalmica injizierten menschlichen Auge. Flächenpräparat. Sclera mit Terpentinöl und Firmis aufgehellt. C.v Circulus venosus, an dieser Stelle hauptsächlich aus einer breiten Vene gebildet; C.v' Zerfall dieser Vene in mehr oder minder zahlreiche netzförmig verbundene Zweige, V Venen des Ciliarmuskels, die sich mit dem Circulus venosus verbinden und auch mit dem episcleralen Venennetz zusammenhängen. R Übergang des episcleralen Venennetzes E in das (unvollständig injizierte) Randschlingennetz der Hornhaut. (Nach TH. LEBER: Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 2. Aufl., Bd. 2.)

von der Norm abweichen lassen, um die Vorgänge der Beobachtung zugänglich zu machen. Aber es wäre verfehlt, die uns nicht sichtbaren ideal normalen Vorgänge darum aus der Reihe jener herausnehmen zu wollen.“

Gefühlsmäßig mag die oben angeführte Beobachtung am Auge zu derartigen Vorstellungen verlocken, einer strengen Kritik kann sie m. E. nicht standhalten. Man muß sich darüber klar sein, daß man von Flüssigkeitsbewegungen im Auge

bei normalem Augendruck nichts weiß, da man mit keinem Mittel solche nachweisen kann (s. S. 29); sie trotzdem für bestehend zu halten, hat dieselbe Berechtigung, wie sie zu leugnen. Ausdrücklich möchte ich bemerken, daß die unten (S. 63) angeführte TÜRKSCHE Strömung außer dem Rahmen dieser Betrachtung steht.

Nun zur zweiten Voraussetzung der Filtrationstheorie. LEBER hat, wie bereits erwähnt, angenommen, daß die Einlaufsverhältnisse am lebenden und toten Auge identisch seien; den Druck im SCHLEMMschen Kanal des lebenden Auges nimmt er also gleich Null an. Das ist ohne weiteres nicht zulässig; denn in

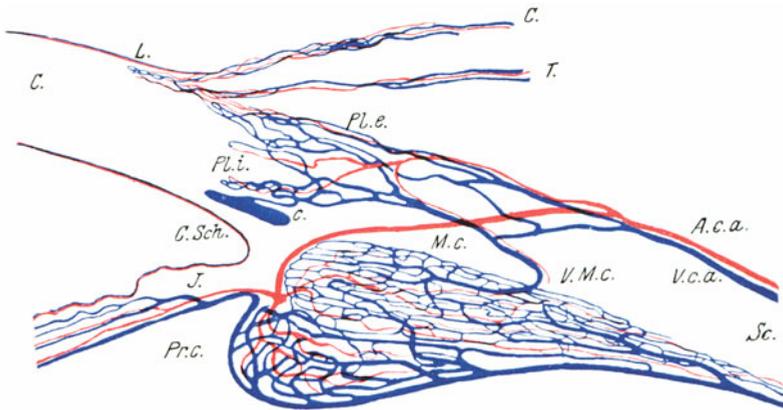


Abb. 11. Schematische Darstellung der Gefäße in der Kammerbucht und an der Sclerocornealgrenze beim Menschen. (Nach MAGGIORE.) *C. Sch.* Sinus venosus sclerae; *Pl. i.* Plexus intrascleralis; *Pl. e.* Plexus episcleralis; *C.* Plexus conjunctivalis; *T.* Plexus der TRONSONSchen Kapsel; *V. M. c.* Vene des *M. ciliaris*; *A. c. a.* A. ciliaris anterior; *V. c. a.* Vena ciliaris ant.; *c.* verbindendes Venenästchen zwischen Sinus venosus und Plexus intrascleralis (Kollektor); *C.* Cornea; *L.* Limbus; *Sc.* Sclera; *T.* Iris; *Pr. c.* Proc. ciliaris.

venösen Gefäßen von dem Kaliber des SCHLEMMschen Kanales pflügt der Druck noch beträchtlich zu sein.

Wenn also nicht besondere Einrichtungen existieren, welche dem Kanal eine Sonderstellung geben, muß man a priori vermuten, daß der Druck im Kanal positiv ist. Solche besonderen Einrichtungen hat man angenommen. Nach BIRNBACHER und CZERMAK soll der Kanal seitlich an die vorderen Ciliarvenen angeschaltet sein; hierdurch werde eine Saugung gewährleistet, daher sei der Druck im Kanal besonders niedrig, die Bedingungen für einen Abfluß aus der vorderen Kammer in den Kanal also besonders günstig. Diesem Standpunkt haben sich WESSELY und SEIDEL angeschlossen, während WEISS ihn ablehnt. Eine seitliche Anschaltung des Kanales an die vorderen Ciliarvenen genügt nicht zur Herstellung einer Saugung, dazu muß der Winkel, unter welchem die Abflüsse des Kanales in die Ciliarvenen münden, ein stumpfer sein. Ein Blick auf die Abbildungen 9 bis 11 zeigt, daß davon keine Rede ist. Unter allen möglichen Winkeln verbinden sich plexusartig die Ciliarvenen mit dem Kanal oder der Vielheit von Gefäßen, welche dem Kanal entsprechen. Man hat daher anzunehmen, daß der Druck in diesen Gefäßen gleich dem Druck im SCHLEMMschen Kanal ist. Dazu kommt, daß in einer starken Erweiterung der Strombahn, wie wir sie hier vor uns haben, der Druckabfall besonders gering ist, da diese die Strömungsgeschwindigkeit stark verringert. Die Frage würde mit einem Schläge entschieden sein, wenn es gelänge, den Druck im Kanal zu messen. Da aus dem Ciliarkörper ein Teil der venösen Abflüsse zu den Wirbel-

venen, ein Teil zum Kanal geht, so kann man annehmen, daß der Druck im Kanal gleich dem in den Wirbelvenen, ja, eher etwas höher ist, weil die Verbindungen zu den Wirbelvenen länger sind als die zum Kanal. WEISS (c) hat deshalb den Druck in den Wirbelvenen des Kaninchenauges gemessen und ihn stets höher gefunden als den Augendruck, der gleichzeitig bestimmt wurde. Hierüber gibt die folgende Tabelle Aufschluß:

Druck im Auge	Druck in den Wirbelvenen	Verhältnis des Augendruckes zum Venendruck
30 mm Hg	39 mm Hg	10:13
25 " "	33 " "	10:13
33 " "	46 " "	10:14
33 " "	63 " "	10:19

Da nun, wie LULLIES im WEISSschen Laboratorium gezeigt hat, im Kaninchenaug keine direkten Anastomosen des Kanales mit den Wirbelvenen bestehen, so war es erwünscht, die Druckmessungen an Augen zu machen, bei denen der Ort der Messung in direkter Verbindung mit dem Kanale steht. Hundeaugen erwiesen sich hierfür als geeignet. In demselben Laboratorium hat LULLIES in den Abflüssen des SCHLEMMschen Kanales den Blutdruck und gleichzeitig den Augendruck gemessen. Die Resultate gibt die folgende Tabelle:

Versuchsnummer	Augendruck	Venendruck		Augendruck	Venendruck
		untere Grenze	obere Grenze		
	mm Ringerlösung			mm Quecksilber	
1	275	480	530	20	36—39
2	300	450	450	22	33
3	395	425	425	29	31
4	310	290	310	23	22—23
5	300	280	320	22	21—24

Wie man sieht, war der Druck in den Abflüssen des SCHLEMMschen Kanales 4mal höher, 2mal innerhalb der Fehlergrenzen gleich dem zugehörigen Augendrucke. Wenn man dazu berücksichtigt, daß vom SCHLEMMschen Kanale zum Ort der Messung überdies ein gewisses Druckgefälle vorauszusetzen ist, so muß man auf Grund der gefundenen Werte zu dem Schlusse kommen, daß der hydrostatische Druck im SCHLEMMschen Kanal für gewöhnlich höher ist, als der Augendruck.

Diese Resultate haben zunächst nur für das Hundeaug Gültigkeit. Daß ihre Verallgemeinerung zulässig, ja, notwendig ist, lehrt die vergleichend anatomische Betrachtung. Aus ihr geht hervor, daß das Blut der Venen des Kammerwinkels innerhalb der Wirbeltierreihe bald nach vorn zu den vorderen Ciliarvenen, bald nach hinten zur Chorioidea, bald durch beide Gefäßgebiete seinen Abfluß nimmt. Druckmessungen SEIDELS (s. S. 17) an den vorderen Ciliarvenen, den episcleralen Venen und den Wirbelvenen außerhalb des Bulbus haben, wie zu erwarten, geringere Druckwerte als die oben mitgeteilten ergeben. Diese Versuche sind für die vorliegende Frage nicht verwertbar; denn entscheidend kann nur das Verhältnis des Augendruckes zum Drucke im Kanal oder in den Venen des Bulbusinnern sein.

Schließlich liegt es nahe, die angeführten Druckwerte mit denjenigen zu vergleichen, welche andere Forscher aus Versuchen mit Injektionen von Farbstoffen in die vordere Kammer für den hydrostatischen Druck im SCHLEMMschen Kanal erschließen zu können glaubten. HAMBURGER erhielt Werte von 30—40 mm Hg, LEBER einen Druck von nur wenig größerer Höhe als den Augendruck, SEIDEL (h) einen Druck von der Höhe des Augendruckes oder einen geringeren. Alle drei Autoren injizierten in die vordere Kammer eines lebenden Kaninchens Indigocarminlösung und stellten den Druck fest, bei dem eben eine Färbung der pericornealen Gefäße sichtbar wurde. Diesen Druck sprachen sie als den Druck im SCHLEMMschen Kanal an.

Die Resultate LEBERS und HAMBURGERS stimmen in ihren Druckwerten mit den von LULLIES direkt gemessenen gut überein. Wenn man davon absieht, daß SEIDELS Befunde mit denen der übrigen Autoren nicht übereinstimmen und auch von LULLIES nicht bestätigt werden konnten, so gestatten derartige Versuche doch nicht, auf ein hydrostatisches Druckgefälle von der Vorderkammer in den Kanal zu schließen. Dies lehrt folgender Versuch, den LULLIES angestellt hat:

„Man fülle einen kleinen, aus 3 $\frac{0}{10}$ igem Kollodium hergestellten, mit Steigerrohr versehenen Osmoseschlauch bis zur Höhe von etwa 200 mm mit destilliertem Wasser und tauche ihn in eine 1 $\frac{0}{10}$ ige Lösung von Indigocarmin. Nach wenigen Minuten ist die Lösung im Osmometer, besonders stark in der Nähe der Membran, tiefblau, während die Flüssigkeit im Steigerrohr um mehrere Millimeter gefallen ist. Der Farbstoff wanderte gegen die durch ein Druckgefälle von 200 mm Wasser erzeugte Strömung. Nun entspricht nach SEIDEL die die Vorderkammer von den Venen trennende Membran in ihrer Porengröße etwa einem 3 $\frac{0}{10}$ igen Kollodiumfilter; das angezogene Beispiel dürfte also den wirklichen Verhältnissen gar nicht einmal sehr fern liegen. Beschießt man das Osmometer nicht mit Aqua destillata, sondern mit Blutserum, so wandelt sich das Fallen im Steigerrohr in ein Steigen um, der Farbstoff braucht jetzt also nicht einmal mehr gegen den Strom zu wandern, das hydrostatische Druckgefälle ist überkompensiert. Die Nutzenanwendung auf das Auge ergibt sich von selbst.“

Aus den angeführten Beobachtungen geht hervor, daß eine Erneuerung der Augenflüssigkeiten durch hydrostatische Druckkräfte nicht möglich ist. Festgestellt ist lediglich, daß das Auge Störungen im Verhältnis des intraokularen Druckes und des Blutgefäßdruckes auszugleichen vermag. Darin stimmt es mit jedem anderen Organe überein; denn alle Gewebe beantworten Änderungen des Unterschiedes zwischen Blutdruck und Gewebedruck mit einem Flüssigkeitstransport aus den Geweben in die Gefäße oder in umgekehrter Richtung. Daß diese Flüssigkeitsbewegung durch Filtration stattfindet, ist nach den zahllosen Untersuchungen über die Bildung der Gewebeflüssigkeit nicht anzunehmen, vielmehr spielen hier molekulare Kräfte eine Rolle. Besonders muß noch einmal betont werden, daß mit keiner Methode eine Druckdifferenz zwischen verschiedenen Punkten des Augeninneren hat nachgewiesen werden können. Man muß also bei der Annahme einer Strömung vom Ciliarkörper zum Kammerwinkel oder von der Irisvorderfläche zum Kammerwinkel eine unmeßbare Druckdifferenz voraussetzen. „Man hat hier“, wie FRIEDENTHAL bemerkt, „die Wahl, von dem unbestrittenen Ergebnis der Messungen auszugehen, oder von dem geretteten Rest der widerlegten Hypothese.“ Die Annahme eines unmeßbaren Überdruckes in der hinteren Kammer ist nach ihm eine Hauptquelle der Widersprüche.

Nunmehr kommen wir zu einem neuen Kapitel, in dem die Wirkung molekularer Kräfte beim Wechsel der Augenflüssigkeiten abgehandelt werden soll.

## 5. Erneuerung der Augenflüssigkeiten durch molekulare Kräfte.

Schon 1885 hat DONDERS darauf hingewiesen, daß das Verhältnis zwischen dem Seitendruck der Blutgefäße und dem Drucke im Glaskörper bestimmt wird durch das osmotische Gleichgewicht zwischen dem Glaskörper und der Ernährungsflüssigkeit der Netzhaut einerseits, dem Blute andererseits. Hier sind zum ersten Male die Bedingungen für einen Stoffaustausch durch molekulare Kräfte entwickelt.

**Quellung.** M. A. FISCHER (a, b) hat experimentell gezeigt, daß frisch ausgelöste Augen von Rindern, Schafen und Schweinen in saueren und alkalischen Lösungen quellen, indem sie Wasser absorbieren. Selbst bei stark verdünnten Säurelösungen kann die Menge des absorbierten Wassers so groß sein, daß ein Ochsenauge darin birst. Gegenwart verschiedener Salze in bestimmten Konzentrationen verhindert die Quellung oder verursacht Verschwinden der bereits vorhandenen. FISCHER führt diese Erscheinungen auf eine Veränderung des Zustandes der Kolloide des Bulbus zurück. Seine Angaben sind von KNAPE und HAPPE bestätigt worden. Diese Beobachtungen liefern uns einen Fingerzeig, auf welche Weise Wassertransport in mehrphasischen Systemen bewirkt werden kann.

Die wesentliche Ursache der Drucksteigerung in den FISCHERSchen Versuchen liegt in einer Quellung der Hüllen des Augapfels. Man kann die Erscheinung auch am lebenden Auge durch subkonjunktivale Injektion von Säurelösungen hervorrufen. Wieweit im pathologischen Stoffwechsel des Auges etwa entstehende Säuren analoge Wirkungen ausüben können, ist noch ungeklärt. (Literatur s. bei RUBEN.)

Die Frage, ob eine Quellung des Glaskörpers infolge von Erhöhung der Wasserstoffionenkonzentration möglich sei, hat BAURMANN verneint. Er hat festgestellt, daß der Glaskörper des Rindes sich nahe dem Quellungsmaximum befindet. Bei Verschiebungen der Reaktion nach der sauren Seite könnte eine freilich geringe Quellung erst bei Überschreitung des isoelektrischen Punktes eintreten; das wäre bei einer Wasserstoffionenkonzentration von  $p_H = 4,4$  der Fall, kommt also in vivo nicht in Frage. (Dagegen ist die Möglichkeit einer Glaskörperquellung infolge Verminderung der Wasserstoffionenkonzentration ernsthaft zu erwägen. Nach BAURMANN hat die Quellung des Glaskörpers bei  $p_H = 9,0$  ein Maximum.) Von MEESMANN sowie von REDSLOB und REISS ist die Meinung vertreten, daß durch Änderung der aktuellen Reaktion des Bulbusinnern (Glaskörper und Linse) eine Drucksteigerung erfolgen könne. Entsprechend hat MEESMANN im Blut Glaukomkranker eine Herabsetzung der Wasserstoffionenkonzentration beobachtet. Freilich sind diese Beobachtungen nicht bestätigt worden. Man vergleiche hierzu das Kapitel Glaukom in Bd. 4 dieses Handbuchs, S. 774.

Weiter hat dann HERTEL gezeigt, daß durch Änderungen der molekularen Zusammensetzung des Blutes der Wassergehalt des Auges erheblich beeinflußt werden kann. Durch Erhöhung dieser Konzentration mittels Einspritzung von Chlornatrium, Natriumsulfat, Natriumphosphat, Natriumbicarbonat, Natriumacetat, Natriumbutyrat, Zucker, Harnstoff konnte HERTEL dem Bulbusinneren soviel Wasser entziehen, daß der Augendruck Null wurde. Durch Verdünnung der molekularen Konzentration des Blutes mittels physiologischer Kochsalzlösung ließ sich die Hypotonie in kurzer Zeit wieder ausgleichen.

In ähnlichem Sinne wirken Calciumsalze auf den Augendruck. Wie KLEIBER gezeigt hat, sinkt der Augendruck beträchtlich nach Injektion von Lösungen in die vordere Kammer, in den Glaskörper, und auch nach subkonjunktivaler Injektion. Als Ursache dieser wochenlang anhaltenden Senkung des Augendruckes

sieht KLEIBER eine Entquellung der Kolloide des Bulbus an. Ein analoges Resultat hatte RÖMER nach Einführung von metallischem Magnesium. HEINE beobachtete Erweichung des Bulbus nach intravenöser oder intestinaler Darreichung verschiedener Salze. Herabsetzung des Augendruckes bei Infektionskrankheiten (Typhus, Grippe, Angina, Sepsis, Phthisis) beobachteten U. FRIEDEMANN und C. HAMBURGER, ohne dabei Anomalien am Auge oder Veränderungen des Blutdruckes festzustellen. Vor HERTEL hatte EHRMANN bereits die Herabsetzung des Augendruckes nach Einverleibung buttersaurer Salze gefunden. KOCHMANN und RÖMER haben dann zeigen können, daß das Blutserum von Menschen, die an diabetischem Koma mit starker Hypotonie des Auges litten, nach intravenöser Injektion den Druck im Kaninchenauge herabsetzt, ohne daß der allgemeine Blutdruck beeinflußt würde. Der Druckanstieg im Kaninchenauge, wie man ihn nach subkonjunktivaler Kochsalzinjektion in der Hyperämie der Augengefäße beobachtet, ließ sich durch Komaserum hintanhaltend.

**Osmotischer Druck.** Endlich haben HERTEL und CITRON nachgewiesen, daß bei glaukomatösen Augendrucksteigerungen die osmotische Spannung des Blutes häufig erniedrigt ist. Sie bedienten sich bei ihren Versuchen der kryoskopischen und der Blutkörpermethode von H. J. HAMBURGER. Es hat sich ergeben, daß der Durchschnittswert der osmotischen Spannung des normalen Blutes 6200 mm Hg, des Blutes aller Glaukomkranken 5690 mm Hg betrug. Dabei hatten nur 16% aller Glaukomfälle eine osmotische Blutspannung von mehr als 6000 mm Hg, während das Blut der Kontrollfälle in 63% eine osmotische Spannung von mehr als 6000 mm Hg zeigte. Bei den Glaukomfällen betrug die osmotische Spannung des Blutes in 45% aller Fälle weniger als 5600 mm Hg, ein Wert, den die Kontrollaugen in keinem Falle erreichten. Der geringste Wert bei Glaukomkranken betrug 5160 mm Hg, lag also um 1040 mm Hg unter dem normalen. In demselben Sinne sprechen Beobachtungen von K. W. ASCHER, der gefunden hat, daß bei Glaukomkranken die Senkungsgeschwindigkeit der roten Blutkörperchen vermehrt ist, und zwar in um so höherem Grade, je intensiver die Erkrankung ist.

Daß die Änderung der osmotischen Spannung des Blutes außer den beschriebenen Wirkungen auch noch vasomotorischen Effekt hat, der auf den Augendruck wirkt, hat HAUPT ermittelt.

In den aufgeführten Beobachtungen wird gezeigt, daß das Verhältnis der molekularen Zusammensetzung des Blutes und der Augenflüssigkeiten ein wichtiger Faktor für den Flüssigkeitsgehalt des Auges ist.

Auch Anhänger der Filtrationstheorie beginnen molekularen Kräften ihre Aufmerksamkeit zu widmen. So entwickelt SEIDEL (k) eine Vorstellung von dem Abflusse des Humor, bei der hydrostatische und osmotische Kräfte zusammenwirkend angenommen werden, in dem Sinne, wie DONDERS es zuerst dargestellt hat. Im wesentlichen bildet die Betrachtung eine Wiederholung der STARLINGschen Anschauungen über die Bildung und das Schicksal der Lymphe.

Die Zahlen, welche SEIDEL seiner Betrachtung zugrunde legt, sind so gewählt, daß für den SCHLEMMschen Kanal ein Druckübergewicht hydrostatischer Natur von seiten der Vorderkammer übrig bleibt, für die Irisvenen dagegen von seiten der Irisvenen. Somit könnte der Abfluß des Kammerwassers nur in den Kammerwinkel erfolgen, die Filtrationstheorie bestände also zu Recht? Die Betrachtungen gehen quantitativ so sehr ins einzelne, daß genau berechnet wird, der Abfluß des Kammerwassers erfolge zu  $\frac{5}{6}$  durch hydrostatische zu  $\frac{1}{6}$  durch osmotische Kräfte, aber nur im Kammerwinkel.

Wenn man die experimentellen Grundlagen dieser Berechnung betrachtet, wird man zu dem Resultat kommen, daß sie noch auf recht schwachen Füßen steht.

SEIDEL schätzt den Druck im SCHLEMMschen Kanal beim Kaninchen auf 15 mm Hg, den Augendruck auf 25 mm Hg, das Überwiegen des osmotischen Zuges des Blutplasmas im Kanal über den des Humor aqueus in der Vorderkammer auf 20 mm Hg. Resultieren soll somit als treibende Abflußkraft ein Mehrdruck von 30 mm Hg in der Vorderkammer gegen den Kanal. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß der Druck im Kanal in SEIDELs Betrachtungen durch Schätzung festgelegt wird, deren Grundlage in Druckmessungen der *extrabulbären* Venen liegt, also willkürlich ist. Nun gibt es ja direkte Messungen von LULLIES, aus denen hervorgeht, daß bei Hunden der Druck im Kanal höher oder gleich dem Augendruck ist. Wenn man dies in die SEIDELschen Betrachtungen einführt, so bleiben nur osmotische Kräfte für den Humortransport übrig. Aber auch dieser Schluß wäre verfrüht; denn die Angaben über die Größe der osmotischen Kraft des Kammerwassers sind kontrovers, und über die Größe der osmotischen Spannung des Kanalplasmas gibt es überhaupt keine Messungen.

Daß etwa eine Druckkraft von 30 mm Hg, wie SEIDEL sie annimmt, das Kammerwasser in den Kanal treibe, scheint nach allen Angaben über die Größe der „filtrierenden“ Menge als Funktion des Druckes ausgeschlossen. Nach LEBERS Filtrationsversuchen bedarf es bei 25 mm Hg Injektionsdruck rund einer Stunde Zeit, um den Vorderkammerinhalt zu erneuern. Wenn also der Überdruck in der Vorderkammer 30 mm Hg wäre, so müßte ihr Inhalt in noch kürzerer Zeit erneuert werden. Nach den jüngsten Befunden SEIDELs (d) bedarf es dazu aber einer Zeit von 14 Stunden. Man sieht also, daß die Dinge so einfach nicht liegen, wie es das SEIDELsche Schema angibt. Immerhin ist es bemerkenswert, daß auch von dieser Seite das starre Festhalten am Filtrationschema aufgegeben wird.

**Capillardruck und osmotischer Druck.** Im eben skizzierten Sinne, lediglich durch osmotische Kräfte bedingt, will DIETER den Augendruck als Resultante aus verschiedenen Faktoren erklären. Seine Messungen haben ergeben, daß die Höhe des Capillardruckes in der Retina 51,5 mm Hg, der osmotische Druck der Blutplasmakolloide 31,7 mm Hg und der Augendruck 19,8 mm Hg beträgt. Der Augendruck ist also gleich der Differenz von Capillargefäßdruck und osmotischem Druck des Blutplasmas. Genau genommen ist folgende Gleichung zu erwarten: Capillargefäßdruck minus kolloid-osmotischem Blutplasmadruck minus krystalloid-osmotischem Blutplasmadruck gleich Augendruck minus kolloid-osmotischem Kammerwasserdruck minus krystalloid-osmotischem Kammerwasserdruck. Da die beiden krystalloid-osmotischen Drucke gleich sind und der kolloid-osmotische Druck des Kammerwassers gleich Null gesetzt werden kann, so gilt obige Gleichung.

Weiter kommt DIETER zu dem Resultat, daß im Flüssigkeits- und Stoffwechsel des Auges allein hydrostatische und osmotische Kräfte unmittelbar wirksam seien. Ihre gegenseitigen Beziehungen können nach ihm nur dort festgestellt werden, wo sie direkt aufeinander einwirken und wo der Stoffaustausch zwischen Blut und Augeninnerem stattfindet, das ist im *Capillargebiet*. Da die Capillarwände für Krystalloide nach beiden Richtungen durchgängig sind, nicht aber für Kolloide, so bestehen zwischen Capillarblut und Augenflüssigkeit ständig hydrostatische und osmotische Druckgefälle, deren Resultante der Augendruck im Sinne der obigen Gleichungen ist. Wenn sich einer der beiden Faktoren ändert, der osmotische oder der hydrostatische, so wird das Gleichgewicht gestört, der Augendruck ändert sich. DIETER zeigt, daß Vermehrung der Krystalloide im Blutplasma den Augendruck ebenso herabsetzt wie Vermehrung der Blutkolloide, die er durch Injektion von Gummi-arabicum-Lösungen erzeugt. In analoger Weise hat jede Vermehrung des Blutdruckes in den

Capillaren eine Erhöhung des Augendruckes zur Folge. So findet er bei allen glaukomatösen Drucksteigerungen, welche er untersucht hat, eine Erhöhung des Capillardruckes über die Norm; einen Einfluß der Wasserstoffionenkonzentration des Blutplasmas auf den Augendruck kann er nicht nachweisen.

Die DIETERSche Vorstellung ist mit geringen Varianten auch von BAURMANN, MAGITOT, DUKE-ELDER angenommen worden. Widersprochen wird ihr von SERR (a, b) und SEIDEL, welche die Blutdruckmessungen der genannten Autoren beanstanden.

**Donnangleichgewicht.** Von größtem Interesse ist in diesem Zusammenhange die Frage nach dem Vergleich der ionalen Zusammensetzung des Kammerwassers mit der des Blutserums. Hierüber liegt eine ganze Reihe von Versuchen vor, über welche die folgende Tabelle Aufschluß gibt. In ihr ist der Elektrolytgehalt des Serums auf eiweißfreie Flüssigkeit zu beziehen.

Tierart	Flüssigkeit	Na %	K %	Ca %	Mg %	Cl %	P %	S %	Autor
Mensch	Serum	—	—	—	—	—	—	—	ASCHER
	Humor	—	—	—	—	0,392	—	—	
Kaninchen	Blut art.	0,503	0,024	0,011	—	0,434	—	—	LEBERMANN
	Blut ven.	0,503	0,025	0,012	—	—	—	—	
	Humor	0,321	0,018	0,009	—	—	—	—	
Kaninchen	Serum	—	—	0,012	—	—	—	—	COHEN, KILLIAN u. KAMMER
	Humor	—	—	0,008	—	—	—	—	
Kaninchen	Serum-ultrafiltrat	—	—	—	—	—	—	0,011	HEUBNER u. MEYER-BISCH
	Humor	—	—	—	—	—	—	0,006	
Hund	Serum	0,351	—	—	—	0,404	—	—	GAEDERTZ u. WITTGENSTEIN
	Humor	0,315	—	—	—	0,404	—	—	
Hund	Serum	—	—	—	—	0,311	—	—	YUDKIN
	Humor	—	—	—	—	0,384	—	—	
Rind	Serum	0,364	0,031	0,011	0,00160	0,403	0,0050	0,0029	TRON
	Humor	0,342	0,019	0,006	0,00105	0,441	0,0028	0,0014	
Rind	Serum	0,349	0,024	0,015	—	—	0,00360	—	BAURMANN
	Humor	0,338	0,018	0,008	—	—	0,00164	—	
Pferd	Serum	—	0,0296	0,0124	—	—	—	—	TRON
	Humor	—	0,0203	0,0075	—	—	—	—	
Pferd	Serum	0,3585	0,0215	0,0103	0,0030	0,392	—	—	DUKE-ELDER
	Humor	0,2795	0,0190	0,0063	0,0026	0,438	—	—	

Diese Werte zeigen, daß das Kammerwasser im allgemeinen relativ reicher an Anionen ist als an Kationen, und damit ergibt sich die Frage, ob die Verteilung der Ionen zwischen Serum und Kammerwasser etwa durch ein Donnangleichgewicht erklärt werden kann (LEHMANN und MEESMANN), indem die negativ geladenen Serumeiweißkörper das Ionengleichgewicht herstellen. Die Berechtigung dieser Erwägung ergibt sich auch aus der folgenden Übersicht. Hierin ist die Betrachtung auf Natrium- und Chlorionen beschränkt, von denen man annimmt, daß sie in diffusibler Form in beiden Flüssigkeiten enthalten sind. Es ergibt sich als Verteilungsfaktor Serumnatrium : Humornatrium und Humorchlor : Serumchlor aus der folgenden Tabelle:

Verteilungsfaktor		Autor
Na-Serum: Na-Humor	Cl-Humor: Cl-Serum	
1,23	1,20	LEHMANN u. MEESMANN TRON DUKE-ELDER GAEDERTZ u. WITTGENSTEIN BAURMANN
1,06	1,096	
1,27	1,12	
1,11	1,00	
1,03	—	

Besonders verlockend ist diese Annahme angesichts der Tatsache, daß im Regenerat des Humor mit der Änderung des Eiweißgehaltes zugleich eine Änderung des Gehaltes an diffusiblen Elektrolyten eintritt, bestehend in einer Abnahme des Chlorionengehaltes mit steigendem Eiweißgehalt. Es enthält:

Prozentgehalt von Eiweiß und Chlor im Kammerwasser

Tier		Normaler Humor	Regenerat	Entzündlicher Humor
Mensch . . .	Cl	0,423	—	0,367—0,417
	Eiweiß	—	—	0,550—1,300
Hund . . .	Cl	0,376—0,413	0,350—0,440	—
Katze . . .	Eiweiß	0,020—0,060	0,150—0,600	—
Kaninchen . .	Cl	0,361—0,399	0,319—0,372	—
	Eiweiß	0,030—0,070	0,800—1,250	—

Zugleich tritt eine Zunahme der Kationen H, Na, K, Ca ein. Am Kaninchen nehmen zu: der Gehalt für Natrium von 0,275% auf 0,312%, für Kalium von 0,0175% auf 0,02%, für Calcium von 0,008% auf 0,010% (LEBERMANN), für H-Ionen von 1,7—1,9 auf 2,09—2,8·10<sup>-8</sup> (MEESMANN); am Hunde Zunahme für Kalium von 0,0136—0,0189 auf 0,0169—0,0203%, für Calcium von 0,0066 bis 0,0087 auf 0,0096—0,0122% (TRON); beim Menschen für H-Ionen von 4,42—5,82·10<sup>-8</sup> auf 4,52—5,89. Auch KUBIK hat am Kaninchen und am Menschen analoge Beobachtungen gemacht.

Trotz dieser Befunde scheint die Frage nach dem Bestehen eines Donnan-gleichgewichtes zur Zeit noch nicht spruchreif zu sein; denn einmal weichen die Analysenresultate für das normale Kammerwasser doch sehr voneinander ab, andererseits ist man nicht sicher, ob die von der Analyse erfaßten Stoffe wirklich in ionisiertem Zustande in den Flüssigkeiten enthalten sind. Das ist z. B. für einen Teil des Calciums nach heutiger Auffassung nicht der Fall. Auch für das Verhalten des Regenerates wird man im Urteil zurückhaltend sein müssen; denn wenn auch qualitativ die Veränderung der Elektrolytkonzentration aus dem Ausgleich zwischen Plasma und Kammerwasser gedeutet werden kann, so fehlt es doch an genügender Kenntnis der quantitativen Beziehungen besonders des Regenerates zum Blutplasma. Vorsicht ist auch deshalb geboten, weil im Regenerat des Menschen trotz seines geringen Eiweißgehaltes die relative Verminderung der Chlorionen eintritt.

Dagegen scheint es ziemlich sicher zu sein, daß Blutplasma und Kammerwasser im Dialysiergleichgewicht stehen, wie es Versuche von TRON und BAURMANN gezeigt haben.

Gut stimmt auch hiermit überein, daß die Kohlensäurespannung des Kammerwassers zwischen der des arteriellen und venösen Blutes zu liegen scheint. Sie beträgt bei Pferden, Katzen und Kaninchen etwa 40—50 mm Hg (KRONFELD).

## 6. Nerveneinfluß auf Bildung und Abfluß des Humor aqueus.

Beeinflussungen der Bildung und des Abflusses des Humor aqueus durch Nerven ist nicht nachgewiesen worden. Unter normalem Augendruck zeigt sich an einem Augenmanometer weder bei Reizung des Trigeminus noch des Sympathicus eine Änderung des Manometerstandes (ADAMÜK). LEBER bemerkt allerdings mit Recht, daß eine Vermehrung der Absonderung von Humor durch Vermehrung des Abflusses kompensiert sein könne.

Bei herabgesetztem Augendruck bewirkt Sympathicusreizung vorübergehend einen vermehrten Ausfluß von Humor aus dem Auge, danach Verminderung. Resektion des Sympathicus vermehrt den Ausfluß. Diese Erscheinungen lassen sich durch die Gefäßwirkungen — Verengerung bei Reizung, Erweiterung bei Resektion — befriedigend erklären. Die Bahn der Reize verläuft im Trigeminus.

Eine Beobachtung von GRÜNHAGEN und JESSNER, nach denen der Humor bei einseitiger Resektion des Trigeminus oder Halbschnitt des Kopfnerven oberhalb des Calamus scriptorius eine Vermehrung des Eiweißgehaltes sowie die Fibringeneratoren aufweist, und zwar auch auf der nicht operierten Seite, hat sich nicht bestätigt (WESSELY).

## C. Humor vitreus.

Wie für das Kammerwasser von zahlreichen Autoren eine beständige Neubildung und ein beständiger äquivalenter Abfluß angenommen wird, so auch für den Glaskörper. Auch hier soll die Neubildung von den Ciliarfortsätzen ausgehen, der Abfluß durch den Canalis hyaloideus und weiter durch die perivasculären Räume der Zentralgefäße der Retina erfolgen. Das hat man aus dem Weg geschlossen, den Tuschkörner im Glaskörper nehmen (DEUTSCHMANN, ULRICH, GIFFORD). LEBER sah die Tusche schon 5 Minuten nach der Injektion im perivasculären Raume erscheinen. PRIESTLEY SMITH, ULRICH, NIESNAMOFF u. a. schätzen die Abflußmenge gleich 0,2 cmm/Min. Das würde auf eine sehr langsame Strömung hinweisen und den schnellen Übergang der Tusche nicht erwarten lassen.

Dazu kommt, daß BEHR keinen Tuschetransport in die perivasculären Räume des Sehnerven beobachten konnte. Wenn man ferner dazu nimmt, daß in den Versuchen von NUEL und BENOIT die Tuscheartikel sich aus dem Glaskörper zu allen gefäßführenden Teilen des Auges bewegen, so wird man die Annahme einer Strömung von ausgesprochener Richtung bedenklich finden.

In neuerer Zeit ist besonders von STRAUB und BRÜCKNER darauf hingewiesen worden, daß der Pars plana des Ciliarkörpers möglicherweise eine große Bedeutung für den Stoffwechsel des Glaskörpers zukomme. Die Autoren schließen dies daraus, daß hier die Fasern des Glaskörpers inserieren und daß von hier aus bei Entzündungen schon frühzeitig Zellen abgegeben werden; ferner daraus, daß bei chronischen Entzündungen die Organisation des Glaskörpers von hier aus beginnt.

## D. Die übrigen Lymphgefäße des Auges.

Der Nervus opticus zeigt Lymphräume, die dem Subarachnoidalraum und dem Subduralraum entsprechen, und perivasculäre Lymphräume um die Zentralgefäße.

Im Scheidenraume des Sehnerven beschreibt LEVINSOHN zwei Arten von Strömungen, eine vom Hirn in diesen Raum und eine zweite in umgekehrter

Richtung, aus dem Auge zum Hirn. Dies will er durch Zinnoberinjektionen in den Subarachnoidalraum und andererseits durch die Folgen der Sehnervenunterbindung beweisen.

Die Scheidenräume stehen in Verbindung mit den entsprechenden Räumen im Hirn und andererseits mit den Lymphspalten der Orbita; einschließlich der zwischen TENONscher Kapsel und Bulbus gelegenen. Der perivasculäre Raum kommuniziert nach SCHWALBE mit dem Glaskörper.

Die Lymphgefäße der Retina (HIS) liegen um die Venen und Capillaren. Nach BEHR strömt die Netzhautlymphe durch die Lamina cribrosa in den Sehnervenstamm. Hier vermischt sie sich mit der Sehnervenlymphe und fließt mit dieser in den subpialen Raum. Die perivasculären Lymphräume des Opticus sollen sich erst im Schädel mit dem subpialen Raume verbinden (Einstichinjektionen).

Ob die Chorioidea Lymphgefäße besitzt, ist zweifelhaft. Man muß sie hier nicht notwendigerweise erwarten; denn die Aderhaut hat als einzige Funktion die Ernährung der Retina; für sich selber braucht sie keinen lymphatischen Apparat. Nach einigen Autoren existiert ein Lymphraum zwischen Aderhaut und Sklera.

Dieser Raum wird häufig bei Injektion der perivasculären Räume der Wirbelvenen injiziert. Über Flüssigkeitsbewegungen in diesem Raume ist nichts Sicheres bekannt (s. Cyclodialyse).

Über die Lymphräume der Iris s. S. 48.

Die Conjunctiva hat ein oberflächliches und ein tiefes Netz von Lymphgefäßen, welche miteinander kommunizieren.

Hier ist nicht der Ort auf die Fragen nach den Lymphgefäßen einzugehen. Es ist das nur da geschehen, wo physiologische Beobachtungen vorliegen.

## Anhang I. Der „physiologische Pupillenabschluß“.

Nachdem C. HAMBURGER gezeigt hatte (s. S. 37), daß Farbstoff lange Zeit in der hinteren Kammer verweilen kann, ohne durch die Pupille in die vordere Kammer einzutreten, kam er zu der Vorstellung, daß die Iris normalerweise Vorder- und Hinterkammer voneinander trenne. Dieses Verhalten nannte er den „physiologischen Pupillenabschluß“.

Vielfach sind durch diese Bezeichnung falsche Vorstellungen erweckt worden. Manche Autoren glauben, daß der Pupillenabschluß mit beträchtlicher Energie durch Druck des Irisrandes gegen die Linse geschehe. Davon kann natürlich keine Rede sein. Jeder, der einmal den Pupillarrand der Iris aufzuheben versucht hat, weiß, wie ungemein gering der Widerstand ist. Der Druck der Iris gegen die Linse hängt vor allem von der Größe der Muskelkräfte ab, welche in der Iris wirksam sind, und von der Elastizität dieser Membran. Welche Komponente dieser Kräfte als Druck gegen die Linse wirkt, wird unter anderem von dem jeweiligen Winkel abhängen, welchen die berührende Fläche der Iris mit den entsprechenden Abschnitten der Linsenfläche bildet. Da es sich bei der Linse um einen Teil einer Kugeloberfläche handelt, so ist klar, daß eine elementare Betrachtung das Problem nicht lösen könnte, falls der vorausgesetzte Winkel existieren sollte. Eine mathematische Behandlung hat auch deshalb wenig Interesse, weil nahezu alle Konstanten, die man in die Rechnung einzusetzen hätte, unbekannt sind.

Daß es nur ganz geringer Drucke bedarf, um aus der hinteren Augenkammer durch die Pupille Flüssigkeit in die vordere zu treiben, hat jüngst KAHN an Katzen und Kaninchen gezeigt. Es bedurfte eines Überdruckes von nur

2,2 mm Hg beim Kaninchen und von 3,7 mm Hg bei der Katze, um  $3\frac{1}{2}$  Tropfen Flüssigkeit in der Minute aus der Hinterkammer in die Vorderkammer zu treiben. Wie SEIDEL mit Recht hervorhebt, hat man zu erwarten, daß auch geringere Drucke Flüssigkeit, freilich in geringeren Mengen, durch die Pupille bewegen können. In der Tat läßt sich leicht zeigen, daß zwei Manometer, deren eines mit der Vorder-, deren anderes mit der Hinterkammer kommuniziert, unter normalen Bedingungen genau den gleichen Druck anzeigen, und daß sie ferner sich nach und nach auf gleichen Druck einstellen, wenn der Druck im Hinterkammermanometer größer als im Vorderkammermanometer gemacht wird.

Neuerdings hat G. FRIEDENTHAL eine Reihe schwerwiegender Argumente gegen den Pupillenabschluß vorgebracht. Er betonte, daß beim Menschen die Iris in dauernder Bewegung ist; dabei scheint der Pigmentsaum spielend leicht auf der Linsenkapsel zu schleifen und doch ihr dauernd genau anzuliegen. Das spricht nicht dafür, daß der Pupillarrand der Iris mit merklicher Kraft gegen die Linsenkapsel angedrückt wird. Weiter hat FRIEDENTHAL darauf hingewiesen, daß der Umfang der Pupille ausgezackt ist. Diese Auszackung ist vermutlich der Ausdruck radiärer Faltung der Hinterfläche der Iris. Die Falten kann man von vorn her nicht direkt beobachten, es ist aber von FUCHS am Menschenauge ein besonderes radiäres Faltenssystem hinter dem Sphincter, die „fein gefaltete Pupillarzone“, beschrieben worden. Diese Zone ist gewöhnlich etwas breiter als der Sphincter, in dessen Bereich allein die Iris der Linse anliegt. Bei enger Pupille bilden sich radiäre tiefe Furchen zwischen steilen leistenartigen Erhebungen. Es scheint daher, daß mittels dieser Kanäle eine dauernde Verbindung der beiden Augenkammern statthat. Die Frage ist von Bedeutung und bedarf einer genauen Untersuchung.

Ein Transport von Flüssigkeit durch die engeren Räume zwischen Iris und Linse ist gewiß möglich. Das zeigen auch die Beobachtungen von SCHÖLER und UHTHOFF, welche nach Sympathicotomie und nach subcutaner Fluoresceinjektion Farbstoff durch die Pupille in die Vorderkammer übertreten sahen. Zu dem gleichen Resultat führen auch Beobachtungen von NAKAMURA, MUKAI und KOSAKI, die nach subkonjunktivaler Kochsalzinjektion dasselbe gesehen haben. Ja, auch für feste Partikel wie Tuschkörner, ist die Pupille durchgängig; das geht aus den Versuchen von HAMBURGER und LEBER hervor, in denen Tusche, die in die Hinterkammer eingespritzt wurde, in die Vorderkammer übergang.

Infolge von Diffusionsvorgängen durch den capillaren Raum zwischen Iris und Linse können die Stoffe nicht aus der hinteren Augenkammer in die vordere gelangen, dazu geschieht der Übertritt zu schnell. Daß ein kontinuierlicher Strömungsvorgang nicht vorliegt, dafür spricht der Umstand, daß der Übergang in den einzelnen Versuchen nach sehr verschieden langer Zeit erfolgt. Für Blutkörperchen scheint die Passage verhindert zu sein; wenigstens könnte man nach einer Beobachtung WINSELMANNs, der Blut erst bei Erweiterung der Pupille aus der hinteren in die vordere Kammer übergehen sah, dies vermuten.

Zum Beweise des Abschlusses wird vielfach auch eine Beobachtung von HEINE herangezogen. Dieser Autor sah eine aplastische Iris „napfkuchenartig“ in die Vorderkammer vorgewölbt, nur der Pupillenrand der Iris lag der Linse an. Hieraus auf einen festen Abschluß der Pupille zu schließen, scheint mir nicht zulässig zu sein. Es läßt sich natürlich nicht sicher sagen, welche Kräfte die Iris nach vorn ausbuckeln. Man könnte an die beständigen Stöße denken, welche bei jedem Pulsschlag gegen die Hinterfläche der Iris wirken, denn alle Blutgefäße des Augapfelinneren befinden sich hinter der Iris. Mit jedem Puls schwillt also der Raum hinter der Iris schnell an und langsam wieder ab. Es wäre denkbar, daß die schnelle Phase der Bewegung in dem angegebenen Sinne wirkt. Dieses wird vielleicht durch eine Verminderung des Dilatatoronus

in dem aplastischen Organe begünstigt, auf deren Möglichkeit FRIEDENTHAL aufmerksam macht. Dafür spricht das Verschwinden der Vorbuckelung nach Cocainisierung des Auges.

Auch der Neutralrotversuch von HAMBURGER (d) zeigt nur, daß eine Flüssigkeitsbewegung durch die Pupille nicht stattfindet; denn wenn dies der Fall wäre, so würde der Farbstoff vermutlich nicht im ganzen Bereiche der Pupille in die Linse eindringen, sondern von den Randpartien durch Spülung ferngehalten werden. Daß er sich durch Diffusion in dem capillaren Raume zwischen Iris und Linse nur sehr langsam verbreitet, ist natürlich.

Fassen wir das Gesagte kurz zusammen: Wenn man von physiologischem Pupillenabschluß spricht, so ist damit nur gemeint, daß unter normalen Bedingungen durch die Pupille keine Flüssigkeit strömt. Der Grund hierfür liegt aber nicht in einem besonderen Verschlusmechanismus in der Pupille, sondern darin, daß die Bedingungen für eine Strömung fehlen. Die Bezeichnung „physiologischer Pupillenabschluß“ ist also überflüssig. Es wäre besser sie fallen zu lassen; denn durch sie ist vielfach die Diskussion von HAMBURGERs wesentlichen Befunden auf dieses, für die Frage nach der Flüssigkeitsströmung im Auge ganz gleichgültige Problem, abgewichen (HAMBURGER, SEIDEL, WAGENMANN, LOEWENSTEIN, URBANEK). Ein fester Abschluß der Pupille besteht nur bei den Cephalopoden, bei denen die „Vorderkammer“ direkt mit dem umgebenden Seewasser kommuniziert und das Ciliarsystem in fester Verbindung mit der Linse einen Teil der Augenhöhlen bildet (VON HESS).

## Anhang II. Die EHRlichSche Linie.

Vielfach hat man zum Studium der Absonderungsorte der Augenflüssigkeiten die Ausscheidung von Farbstoffen ins Auge benutzt, welche in die Blutbahn injiziert worden waren. Alle diese Versuche können über Flüssigkeitsströme am intakten Auge nichts aussagen, weil ein Diffusionsgefälle für den Farbstoff vom Blute ins Auge besteht. Andererseits zeigt sich, daß die Farbstoffe vielfach von Zellen zurückgehalten werden, welche einen Strom von Sekret ergeben. Farbstoffe sind also als Kriterien für Flüssigkeitsströmungen nicht zu verwerten. Aus diesem Grunde übergehe ich hier die große Literatur. Die älteren Arbeiten sind in den angeführten Zusammenfassungen aufgeführt, die neuere Literatur findet man bei SEIDEL, Graefes Archiv 95, S. 1—72. Kürzlich ist eine Zusammenstellung und kritische Diskussion erschienen von BAURMANN im Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie Bd. XII/2. S. 1368—1376.

An einer Erscheinung kann hier aber nicht vorübergegangen werden, es ist die nach Fluoresceininjektion ins Blut beobachtete EHRlichSche Linie. Sie ist vorwiegend an Kaninchen, aber auch an anderen Tieren, beobachtet worden. Bei Kaninchen tritt sie nach subcutaner Injektion einer kleinen Menge Fluorescein auf als eine vertikale, grüne, diffus begrenzte Linie in der Mitte der vorderen Kammer, dicht hinter der Hornhaut. Die Erscheinung verschwindet, sobald das Kammerwasser maximal gefärbt ist. Beim Verschwinden des Fluoresceins aus der Vorderkammer tritt eine negative EHRlichSche Linie (TÜRk, WEEKERS) auf, d. h. eine ungefärbte oder weniger stark gefärbte Linie an derselben Stelle.

Sie ist zunächst als der Ausdruck einer Sekretionsströmung im Auge betrachtet worden. Nach EHRlich sollte sie auf einer Wirbelbildung durch den Zusammenprall zweier horizontal verlaufender, entgegengesetzter Flüssigkeitsströme beruhen. Von anderer Seite ist die Linie als der Ausdruck eines von den oberen Teilen der Iris herabfallenden spezifisch schwereren fluoresceinhaltigen Kammerwassers gedeutet worden. TÜRk hat indessen gezeigt, daß diese

Erklärung nicht zutreffen kann; denn die Linie steht bei jeder Stellung des Bulbus vertikal, kann also ihren Ursprung nicht bestimmten Punkten der Iris verdanken; ferner spricht das Auftreten der negativen EHRlichSchen Linie dagegen. TÜRK sieht die Ursache für die Linie in einer Ungleichheit der Temperatur der Vorderkammerwandungen. Die Erwärmung an der Hinterwand der vorderen Augenkammer muß ein Steigen, die an der Vorderwand erfolgende Abkühlung, ein Sinken der berührenden Flüssigkeit zur Folge haben. Die Bildung der Linie konnte TÜRK vollkommen an einem Modell nachahmen, indem er ein Uhrglas mit Wasser füllte und mit einem anderen planen Glase deckte. Das Planglas wurde vertikal gestellt, vom Rande Fluorescein in die Kammer gebracht und nunmehr das Planglas erwärmt. Es zeigte sich am Modell eine EHRlichSche Linie.

Direkt beobachtet worden ist der Strömungsvorgang in der vorderen Augenkammer, welcher die EHRlichSche Linie erzeugt, durch ERGGELET und BERG. Mit Hilfe der GULLSTRANDSchen Lampe kann man an Augen, welche feine Partikel in der Vorderkammer enthalten, die folgenden Vorgänge sehen: In der hintersten Schicht der Vorderkammer unmittelbar vor der Pupille ist eine aufsteigende Bewegung zu beobachten von einer Geschwindigkeit von  $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{4}$  mm/Sek. Etwas schwieriger ist ein absteigender Strom in den vorderen, der Hornhaut zunächst liegenden Schichten des Kammerwassers zu erkennen. Der Humor aqueus ist also in einer ständigen Zirkulation in den hinteren Teilen der Kammer aufwärts, in den vorderen abwärts strömend. Als Ursache der Strömung weist auch BERG die Temperaturdifferenz zwischen Hornhaut und Iris nach. Diese beträgt nach SILEX fast  $10^{\circ}$ .

Somit ist die Entstehung der EHRlichSchen Linie vollkommen befriedigend erklärt. Sie hat mit Strömungen des Humor, die etwa durch Sekretion entstehen, nichts zu tun.

## IV. Der intraokulare Druck<sup>1</sup>.

Im Inneren des Augapfels herrscht ein Druck, welcher die Bulbuswände in einem Zustande elastischer Spannung erhält. Hiervon kann man sich leicht beim Betasten des Bulbus überzeugen. Nach Eröffnung des Augapfels sinkt dieser Druck auf Null herab, die Wände des Bulbus werden schlaff. Man nennt diesen Druck den Augendruck oder den intraokularen Druck.

Es ist klar, daß der Augendruck von zwei Faktoren abhängt: vom Füllungszustand des Bulbus und von der Elastizität der Bulbuswand. Die zweite Größe können wir bei einem gegebenen Bulbus als konstant ansehen; der Füllungszustand des Bulbus ist bedingt einmal durch einen konstanten Faktor, die Menge Glaskörper und Humor aqueus, welche die Bulbuskapsel erfüllen, und zweitens durch einen variablen Blutgehalt der intraokularen Gefäße. Der letztere wechselt mit Herzschlag und Atembewegungen. Es ist daher klar, daß der Augendruck keine konstante Größe sein kann, sondern im Rhythmus des Pulses und der Atmung schwankt.

### 1. Methodik der Messung.

Die Messung des Augendruckes geschieht mit Hilfe von Manometern besonderer Art. Es muß während des Versuches dafür Sorge getragen werden, daß keine Augenflüssigkeit verloren geht, da die Resultate hierdurch erheblich beeinflußt werden. Man erreicht diesen Zweck mittels des Mikromanometers von E. HERING

<sup>1</sup> Man vergleiche hiezu auch die Darstellung in Bd. 4 dieses Handbuches S. 666.

(ADAMÜK). Dieses Instrument besteht aus einer Capillare, die am Ende geschlossen ist; unten wird sie mit RINGERScher Lösung, oben mit Luft gefüllt. Der Druck wird an den Schwankungen des Luftvolumens mittels eines Mikroskopes abgelesen. Zur Verbindung mit dem Auge dient eine Einstichkanüle. Man kann dazu die Kanüle jeder PRAVAZschen Spritze benutzen, wenn man das Ende verschließt und eine seitliche Öffnung anbringt, welche nach dem Einstich durch die Cornea in die vordere Augenkammer zu liegen kommt.

Vorzüglich geeignet zur Messung des Augendruckes ist das Filtrationsmanometer von LEBER (Abb. 4, S. 31). Die Beschreibung des Instrumentes findet sich auf S. 31.

Wenn man den Druck an verschiedenen Punkten des Augeninneren messen will, so kann man sich eines Instrumentes bedienen, wie es C. HAMBURGER für die vergleichende Manometrie des Glaskörpers und der Vorderkammer benutzt hat. Es besteht aus einer Röhre, an deren Enden zwei Einstichkanülen sich befinden. Die Röhre enthält Petroleum, dessen Grenze sich gegen das Wasser scharf markiert. An der Verschiebung dieser Grenze vermag man Druckdifferenzen zwischen den beiden Einstichorten zu erkennen. Einen analogen Apparat verwendete auch O. WEISS, bei seinen S. 30 beschriebenen Versuchen. Hier diente ein Luftbläschen als Indicator für etwa auftretende Verschiebungen der Manometerflüssigkeit.

In der Augenheilkunde benützt man zur Messung des Augendruckes sogenannte Tonometer, Instrumente, welche bei unversehrttem Bulbus den Innendruck messen sollen. Die Bestimmungen mit derartigen Instrumenten ergeben keine absoluten Werte des Augendruckes. Auf ihre Konstruktionsprinzipien kann hier nicht eingegangen werden. Es sei auf das Kapitel „Untersuchungsmethoden“ in diesem Bande verwiesen.

## 2. Instrumente zur Registrierung des Augendruckes.

Ein gutes Prinzip, den Augendruck zu messen, ist bei dem Manometer von v. SCHULTÉN angewendet worden. Das Manometer steht mit einem Quecksilberreservoir in Verbindung, aus dem das Quecksilber jeden Augenblick in die Manometerschenkel bis zu jeder beliebigen Höhe getrieben werden kann. Mit diesem Instrument hat BELLARMINOFF die ersten Augendruckkurven aufgenommen. KAHN bediente sich eines Quecksilbermanometers mit Schwimmer, HENDERSON und STARLING des Pistonrekorders, WESSELY (c) eines Instrumentes, das dem FRICKSchen Manometer nachgebildet ist.

## 3. Höhe des Augendruckes.

Die Höhe des Augendruckes beträgt bei Menschen und Tieren zwischen 25 und 30 mm Hg. Genaue Werte lassen sich nicht angeben, weil der Druck von Individuum zu Individuum sehr schwankt. Als häufigsten Wert für den Menschen gibt LANGENHAN 21 mm an, seine Werte schwanken zwischen 18 und 27,5 mm Hg. Die untere Grenze für den normalen Menschen beträgt nach GJESSING 11 mm Hg, nach WEGNER 13 mm Hg. Besonders niedrige Werte sind bei Infektionskrankheiten beobachtet (U. FRIEDEMANN, C. HAMBURGER). Bei im übrigen normalen Augen und bei normalem Blutdruck lagen alle Werte unter 20 mm Hg, der niedrigste bei einem Typhuskranken zeigte nur 6 mm Hg Augendruck. Bei Entzündungen des Auges ist der Augendruck häufig geringer als normal, vielfach aber auch höher. Die starke Herabsetzung im Coma diabeticum ist oben S. 56 bereits erwähnt worden. Auch an Leichenaugen hat FERNBACH 15—20 Minuten nach dem Tode den Augendruck meist noch positiv gefunden. Die Werte betragen  $1\frac{1}{2}$ —5 mm Hg.

#### 4. Gleichheit des Druckes im ganzen Bulbus.

Es ist gleichgültig, ob man bei Messungen des Augendruckes die Bestimmung in der vorderen Kammer oder im Glaskörper ausführt; denn der Augendruck ist im ganzen Bulbus gleich. Dafür sprechen die gleichzeitigen Messungen im Glaskörper und in der Vorderkammer, wie sie KOSTER mit einem Manometer angestellt hat, das alternierend mit dem Glaskörper und der Vorderkammer verbunden werden konnte. Auch C. HAMBURGER hat mit seinem Instrument (s. S. 65) dieselben Resultate gewonnen. Man vergleiche auch hiermit die Ergebnisse, die O. WEISS bei dem Suchen nach einer Druckdifferenz zwischen vorderer und hinterer Augenkammer festgestellt hat (S. 30). Auch hier zeigte sich kein Unterschied zwischen den beiden Augenabschnitten. Ebenso bleibt bei der Akkommodation die Gleichheit des Druckes in Vorder- und Hinterkammer bestehen [C. VON HESS (a)].

#### 5. Abhängigkeit des Augendruckes vom Blutdrucke und von Druckwirkungen auf das Auge.

Zwischen Augendruck und Blutdruck bestehen keine absoluten Beziehungen; dagegen sind allen Blutdruckschwankungen Schwankungen des Augendruckes parallel.

#### 6. Pulsatorische und respiratorische Schwankungen des Augendruckes.

Das Auge stellt einen natürlichen Plethysmographen dar. Man muß daher erwarten, daß die respiratorischen und pulsatorischen Schwankungen des Druckes in den Gefäßen des Augeninnern sich in Schwankungen des Augendruckes dokumentieren. Die älteren Autoren haben solche Druckschwankungen nicht regelmäßig beobachtet (WEBER, A. v. HIPPEL und GRÜNHAGEN, BELLARMINOFF). Der Grund hierfür liegt in der Methodik. Mit hinreichend empfindlichen Instrumenten [WESSELY (c)] ist man in der Lage, an jedem Auge diese Schwankungen nachzuweisen.

Die Beziehungen zwischen Augendruck und Blutdruck sind von zahlreichen Forschern untersucht worden. HENDERSON und STARLING verwendeten Hunde und Katzen. Beim Kaninchen hat WESSELY (c) das Plethysmogramm des Bulbus graphisch aufgezeichnet. Es ergab sich völliger Parallelismus beider Phänomene. Dasselbe haben auch MAZZI sowie KOCHMANN und RÖMER gefunden. Wie zu erwarten ist, stehen die Änderungen des Blutdruckes und des Augendruckes nicht im gleichen Verhältnis zu den Ausgangswerten; denn die Wand der Blutgefäße des Bulbusinneren trägt durch ihre Elastizität einen Teil des Blutdruckes, so daß die Augendruckänderungen geringer als die Blutdruckänderungen ausfallen. Das ließ sich in der Tat zeigen. Es ist auch zu erwarten, daß die Änderungen des Augendruckes um so größer sind bei sich änderndem Blutdruck, je niedriger der Blutdruck ist; denn eine Blutgefäßwand von geringer Spannung wird gleichen Druckzuwachs mit einer stärkeren Dehnung beantworten, als eine stark gespannte Gefäßwand. Die Augendruckänderung ist um so größer, je größer die Volumänderung der Blutgefäße des Auges ist. Auch diese Erwartung hat sich erfüllt.

Stauungen im Venengebiet können infolge der Behinderung des Blutabflusses aus dem Auge ebenfalls zu Augendruckerhöhungen führen (ERNST SCHULZE). Der Blutdruck in den großen Gefäßen dagegen kann kein Maß für den Blutdruck in den Augengefäßen sein; denn Steigerungen des Blutdruckes in der Aorta

sind vielfach mit Sinken des Blutdruckes in den Gebieten der kleinen Gefäße verbunden. So ist es z. B. nach Injektion von Adrenalin.

*Allgemein kann man sagen, daß alle Vorgänge den Augendruck steigern, welche die Füllung der Bulbuskapsel vermehren, während jede Verringerung des Bulbusinhaltes den Augendruck herabsetzt, jede Vermehrung der Spannung der Bulbuswand den Augendruck erhöht, jede Verminderung ihn erniedrigt.* (Man vergleiche SCHIÖTZ.)

Nach diesen Gesichtspunkten erklären sich alle Beobachtungen über die Änderungen des Augendruckes, so die Wirkung der Augenbewegungen (LEDERER), der Massage (P. KNAPP). Auch die Augendruckschwankungen nach Punction der vorderen Kammer kann man aus den Gefäßreaktionen erklären (MAGITOT, BONNEFON), ebenso die Wirkung zahlreicher fremder Stoffe.

Auf die oben gegebene Regel lassen sich auch die Erscheinungen am Augendruck nach Adrenalineinspritzung zurückführen. Sie können sehr kompliziert sein. KAHN erklärt sie durch die gleichzeitige Wirkung zweier Faktoren, der vasoconstrictorischen des Adrenalins und der contractorischen auf die glatten Orbitalmuskeln. Das erste Moment verringert die Füllung des Bulbus mit Blut, wirkt also augendrucksenkend; das zweite komprimiert den Bulbus und die abführenden Venen, wirkt also augendrucksteigernd. Die einschlägigen Beobachtungen findet man bei KAHN, HENDERSON und STARLING, WESSELY (c), RUBERT, LEPLAT u. a. Daneben kommt auch noch Vasodilatation als Folge der Adrenalininjektion an den intraokularen Gefäßen vor, vermutlich als Folge der Blutdrucksteigerung. Hierdurch komplizieren sich die Verhältnisse noch mehr.

Bei Reizungen des Auges entsteht häufig eine Erhöhung des Augendruckes. Man vergleiche die Ausführungen über die Folgen der Kammerpunktion, der Irisreizung auf S. 46. Es scheint, daß als Reiz auch das bloße Einstechen einer Kanüle genügt, um den Augendruck vorübergehend zu erhöhen (GRANDIS und MORET). Auch hier dürften vasomotorische Wirkungen zugrunde liegen.

## 7. Einfluß der Augenflüssigkeiten auf den Augendruck.

Die Anhänger der Lehre LEBERS von den getrennten Bildungs- und Abflußstätten der Augenflüssigkeiten sind genötigt, sich mit dem Einfluß ihres Zu- und Abflusses auf den Augendruck auseinanderzusetzen. So werden in der Tat die S. 46 erwähnten Versuche BENTZENS, ERDMANNs und SEIDELs im Sinne einer Vermehrung des Bulbusinhaltes infolge von Behinderung des Kammerwasserabflusses bei unvermindertem Zufluß gedeutet. Allerdings wiesen diese Augen zum Teil entzündliche Reaktionen außer der Verlegung des Kammerwinkels auf. In gleichem Sinne wird vielfach auch WESSELYs Versuch (h) gewertet, welcher den Kammerwinkel durch den Druck des gequollenen Linsenrandes verlegte und dabei eine Steigerung des Augendruckes gefunden hat.

Die Bedeutung dieser Beobachtungen tritt aber zurück angesichts der Verlockung, welche die Deutung klinischer Befunde bietet. Häufig ist bei Verlegung des Kammerwinkels durch entzündliche Prozesse eine Augendrucksteigerung beobachtet worden. Sie als Folge einer Behinderung des Kammerwasserabflusses zu deuten, liegt außerordentlich nahe. Auf das Für und Wider einzugehen, ist hier nicht der Ort, es sei auf das Kapitel über Glaukom im Band 4 dieses Handbuchs verwiesen. Nicht unerwähnt bleibe aber, daß die Drucksteigerung, welche bei totaler Verwachsung des Pupillarrandes der Iris mit der Linse unter Vorwölbung der Iris und damit Verlegung des Kammerwinkels gewöhnlich beobachtet wird, auch fehlen kann. Man vergleiche die Beobachtungen von STOCK S. 36.

Auch von seiten der Anhänger der Bildung des Kammerwassers im Ciliarkörper sind Beobachtungen angeführt worden, die auf eine Drucksteigerung infolge vermehrter Bildung hinweisen. Es sind hier die Versuche von SEIDEL (g), SERR und SCHMELZER anzuführen, welche die Wirkung von sekretorischen Stoffen wie Pilocarpin, Eserin, Muscarin oder sekretionshemmenden wie Atropin mit ihrer Wirkung auf den Augendruck in Einklang zu bringen suchen. Sie bemühen sich, den vielfach antagonistischen Einfluß auf die „Ciliarkörperdrüse“, auf die Blutgefäße und auf die Irisbewegung (Verlegung oder Entfaltung des Kammerwinkels und entsprechende Beeinflussung des Kammerwasserabflusses) gegeneinander abzuwägen.

Die Argumente von BOTTAZZI und STURCHIO sowie von SCALINCI (a, b), nach denen der Ciliarkörper ein gegen das Blut hypertonisches Sekret liefere und damit die osmotischen Bedingungen für einen Wassertransport in den Bulbus gegeben seien, kann heute nicht mehr als Beweis dienen, seitdem die Hypertonie der Augenflüssigkeit gegen das Blut mindestens zweifelhaft geworden ist (s. S. 56f.).

### 8. Nerveneinfluß auf den Augendruck.

Über den Einfluß von Nerven auf den Augendruck lauten die Angaben der Autoren überaus verschieden. Man hat zu berücksichtigen, daß zwei Faktoren durch Nerven beeinflusst werden können: der Füllungszustand des Bulbus und der Druck seitens seiner Umgebung.

Der erste ist gegeben durch die Augenflüssigkeiten und den Inhalt der Blutgefäße. Beide Faktoren beeinflussen den Augendruck. Änderung der Gefäßfüllung ist als Folge von Reizung der Gefäßnerven eine häufige Erscheinung, so auch am Auge als Folge der Reizung des Sympathicus und des Trigeminus, der Gefäßnerven führt. Für die Anhänger der Theorie von dem Zu- und Abfluß der Augenflüssigkeiten kommt auch Änderung in deren Menge durch nervöse Einflüsse in Frage.

Der zweite Faktor, der durch Nerveneinfluß beherrscht wird, ist der Druck der Umgebung des Bulbus. Unter dem Antriebe des Sympathicus stehen die glatten Muskeln der Orbita und der Lider.

Die genannten Faktoren können in Intensität und Phase zusammenwirken; kein Wunder also, daß ein wechselndes Bild entsteht. Alle Einzelbeobachtungen anzuführen, würde den Rahmen dieses Kapitels überschreiten. Die neueren Autoren haben im allgemeinen bei Reizung des Sympathicus Sinken des Druckes (Vasoconstriction), nach Resektion vorübergehendes Steigen beobachtet. Die Pulsschwankungen des Augendruckes bleiben darnach infolge des verminderten Gefäßtonus dauernd vergrößert.

Näheres siehe im Kapitel Physiologie und Pathologie des Augendruckes vom klinischen Standpunkt (Bd. 4, S. 666 dieses Handbuchs).

### Literatur.

#### *Zusammenfassende Darstellungen*

des ganzen Gebietes oder einzelner Teile finden sich in den hier unten angeführten Quellen. Im Texte ist auf diese nicht mehr besonders verwiesen worden.

LEBER, TH.: Die Zirkulations- und Ernährungsverhältnisse des Auges. Graefe-Saemisch' Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 2. Aufl., 1. Teil, Kapitel XI, S. 534. Leipzig 1903.

WEISS, O.: Die Ernährung und die Zirkulation des Auges. Handbuch der Physiologie des Menschen. Herausgeg. von W. NAGEL. Braunschweig 1904. Bd. 3, S. 438—468.

WESSELY, K.: Der Flüssigkeits- und Stoffwechsel des Auges mit besonderer Berücksichtigung seiner Beziehungen zu allgemein-physiologischen und biologischen Fragen. Erg. Physiol 4, 565—683 (1905).

STEINDORFF, K.: Chemie des Augapfels. Handbuch der Biochemie des Menschen und der Tiere. Herausgeg. von C. OPPENHEIMER, Bd. 2, 2. Hälfte, S. 338—368. 1909.

FRIEDEMANN, U.: Parenterale Resorption. V. Resorption im Auge. Handbuch der Biochemie des Menschen und der Tiere, Bd. 3, 2. Hälfte, S. 273—290. 1909.

FISCHER, F. P.: Ernährung und Stoffwechsel der Gewebe des Auges. Erg. Physiol. **31**, 507—591 (1931).

BAURMANN, M.: Der Wasserhaushalt des Auges. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12, 2, S. 1319—1391, 1616. 1931.

*Physiologie der Ernährung des Auges.*

AHLGREN, G.: On the oxidation mechanism of the crystalline lens. Acta ophthalm. (Københ.) **5**, 1 (1927). — ANDREAE, J.: Die Verletzungen des Sehorgans mit Kalk und ähnlichen Substanzen. Leipzig: Wilh. Engelmann 1899. — ANTONIBON, A.: Ricerche quantitative sull'assortimento della cornea. Ann. Ottalm. **37**, 58—65, 134 (1929). — ARNOLD, J.: (a) Über die Kittsubstanz der Endothelien. Virchows Arch. **64**, 203 (1874); **66**, 77 (1875). (b) Zur Kenntnis der Saftbahnen des Bindegewebes. Virchows Arch. **68**, 465 (1875). (c) Über das Verhalten des Indigocarmins in den lebenden Geweben. Zbl. med. Wiss. **1875**, Nr 51, 865. — AXENFELD, TH.: Ist die Naphthalinabwehr der Läuseplage und sind Naphthalindämpfe für das Sehorgan bedenklich? Klin. Mbl. Augenheilk. **54**, 517 (1915).

BENCE-JONES: On the rate of passage of crystalloids into and out of the vascular and non vascular textures of the body. Proc. roy. Soc. **14**, 220 (1865). — BERGAMI, G.: Azione delle basse temperature sulla lenta cristallina. Atti Accad. naz. Lincei, VI. s. **6**, 117 (1927). — BOÉ, F.: Recherches expérimentales pour servir à l'étude de la cataracte traumatique. Arch. d'Ophthalm. **6**, 308 (1886). — BUGLIA, G.: Sur la réaction chimique actuelle du cristallin en conditions de transparence normale et dans l'opacité post-mortelle ou par le froid. Arch. ital. de Biol. (Pisa) **76**, 1 (1926). — BULLOT, G.: (a) On the swelling of organic tissues. Researches on the Cornea. Amer. J. Physiol. **12**, 297 (1904). (b) Sur la physiologie de l'épithélium cornéen. Perméabilité complète à l'oxygène. Arch. Physiol. et Path. gén. **1904**, 993. — BULLOT, G. et L. LOR: De l'influence exercée par l'épithélium de la cornée sur l'endothélium et le tissu cornéen de l'œil transplanté. Bull. Acad. Méd. Belg., IV. s. **13**, No 5, 421. — BURDEN-COOPER, J.: A report on the spectroscopic examination of the mineral constitution of the human cataractous lens and that of the healthy animal lenses. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **48**, 340 (1928). — BURGER, M. u. G. SCHLOMKA: Beiträge zur Physiologie des Alterns der Gewebe. III. Mitteilung. Untersuchungen an der Rinderhornhaut. Z. exper. Med. **61**, 465 (1928). — BURKY, E. L. and A. C. WOODS: Lens protein — the isolation of a third (gamma) kristallin. Arch. of Ophthalm. **57**, 464 (1928).

COHEN, M., KAMNER, M. and J. A. KILLIAN: Sulphur partition of ocular humors and presence of glutathione in lenses of the eye. Proc. Soc. exper. Biol. Med. **25**, 677 (1928). — COLLIN, R.: Propriété différentielle des fibres collagènes de la cornée et de la sclérotique. C. r. Soc. Biol. Paris **99**, 833 (1928).

DEUTSCHMANN, R.: (a) Untersuchungen zur Pathogenese der Katarakt. Graefes Arch. **23 III**, 112 (1877). (b) Entsteht die diabetische Katarakt beim Menschen infolge von Wasserentziehung der Linse seitens zuckerhaltiger Augenflüssigkeit. Arch. f. Physiol. **22**, 41 (1880).

EWALD, J. R.: Über eine Trübung der Krystalllinse, welche durch Erschütterung wieder aufgehoben wird. Pflügers Arch. **72**, 1 (1898).

FLEHHLIN, M.: Versuche zur Ermittlung des spezifischen Gewichtes der verschiedenen Augenmedien mittels einer neuen Methode. Graefes Arch. **117**, 325 (1926). — FISCHER, F. P.: Über den Gasaustausch der Hornhaut mit der Luft. Z. Augenheilk. **102**, 146 (1930). — FLEISCHL, VON: Die Verteilung der Sehnervenfasern über die Zapfen der menschlichen Netzhaut. Wien. Akad. **87 III**, 246 (1883). — FRIEDENWALD: Experimentelle Untersuchungen über die Permeabilität der Linsenkapsel. 13. internat. Ophthalm. kongr. Amsterdam 1929. Zit. nach F. P. FISCHER.

GOLDSCHMIDT: Die Autooxydation der normalen und pathologischen Linse. Graefes Arch. **113**, 160 (1924). — GRAEFE, A. v.: Resorption des Atropins durch die Hornhaut. Graefes Arch. **1** (1) 462 (1854). — GROSS, O.: Beiträge zur Linsenchemie. Arch. Augenheilk. **57**, 107 (1907); **58**, 40 (1907). — GUILLERY: (a) Über die Kalktrübung der Hornhaut und ein Verfahren zu ihrer Aufhellung. Arch. Augenheilk. **44**, 310 (1901). (b) Anatomische und mikrochemische Untersuchungen über Kalk- und Bleitrübungen der Hornhaut. Arch. Augenheilk. **56**, 221 (1907). — GULOTTA: Il punto isoelettrico delle proteine della lente cristallina. Arch. di Sci. biol. **8**, 48 (1928). — GUTMANN, G.: Über die Lymphbahnen der Cornea. Arch. mikrosk. Anat. **32**, 593 (1888). — GUTMANN: Experimentelle Untersuchungen über die Wirkungen der Kali- und Natronsalze. Berl. klin. Wschr. **1865**, 344.

HESS, C.: (a) Über die Naphthalinveränderungen im Kaninchenauge und über die Massagekatarakt. 19. Sitzgsber. ophthalm. Ges. Heidelberg 1887, **54**. (b) Versuche über die Einwirkung ultravioletten Lichtes auf die Linse. Arch. Augenheilk. **57**, 185 (1907). —

HEUBEL, E.: Über die Wirkung wasseranziehender Stoffe, insbesondere auf die Krystalllinse. Pflügers Arch. **20**, 114 (1879). — HIS, W.: Beiträge zur normalen und pathologischen Histologie der Cornea. Diss. Basel 1856. — HÖEG, N.: (a) Über die ringförmige Trübung der Linsenvorderfläche nach Contusio bulbi (Vossius). Klin. Mbl. Augenheilk. **47 I**, 593 (1909). (b) Ein Fall von sehr flüchtiger Trübung in der Gegend der vorderen Linsenfläche nach Kontusion des Augapfels. Klin. Mbl. Augenheilk. **47 I**, 607 (1909). — HOEVE, J. VAN DER: Osmotischer Druck und elektrische Leitfähigkeit von intraokularen Flüssigkeiten und Blutserum von Tieren. Onderzoekingen Physiol. Labor. Utrecht V. Reihe **13**, 59 (1912).

JESS, A.: (a) Die moderne Eiweißchemie im Dienste der Starforschung. 1. Teil. Graefes Arch. **105**, 428 (1921). (b) Die moderne Eiweißchemie im Dienste der Starforschung. 2. Teil. Graefes Arch. **109**, 463 (1922). (c) Der Gehalt der Linsenproteine an Histidin, Arginin und Lysin. Hoppe-Seylers Z. **122**, 160 (1922). (d) Die Monoamincsäuren der Linsenproteine. Hoppe-Seylers Z. **110**, 266 (1920).

KANEKO: Über Sauerstoffverbrauch und Durchblutungsgröße des Auges. Pflügers Arch. **209**, 122 (1925). — KNAPP, P.: Über Heilung von Linsenverletzungen beim Fisch. Z. Augenheilk. **3**, 510 (1900). — KNIES: (a) Die Resorption von Blut in der vorderen Augenkammer. Virchows Arch. **62**, 537 (1874). (b) Die Lehre von den Flüssigkeitsströmungen im lebenden Auge und in den Geweben überhaupt. Arch. f. path. Anat. **65**, 401 (1875). — KÖHNHORN: De cataracta. Diss. Greifswald 1858. — KÖNIGSTEIN, L. u. HOLOBUT: Bemerkungen zur Resorption und Diffusion von eiweißhaltigen Flüssigkeiten durch Bindehaut und Hornhaut. Arch. Augenheilk. **65**, 477 (1910). — KRANZ: Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß relativ kurzwelliger ultraroter Strahlen auf das Auge mit besonderer Berücksichtigung der Cysteinreaktion der Linse. Klin. Mbl. Augenheilk. **74**, 56 (1925). — KRONFELD, P.: Zur Frage der Linsenatmung. Ber. 46. Verlg. dtsch. ophthalm. Ges. Heidelberg **1927**, 230, 243. — KRÜKOW u. LEBER, TH.: Studien über den Flüssigkeitswechsel im Auge. VI. Beiträge zur Kenntnis der Resorptionsverhältnisse der Hornhaut. Graefes Arch. **20 II**, 205 (1874). — KRUSIUS, F.: (a) Überempfindlichkeitsstudien zur biologischen Wirkungsmöglichkeit des Linseneiweißes nach Staroperationen, sowie Mitteilungen über die organ- und artspezifische Wirkung des Linseneiweißes und seine Beziehungen zu andern natürlich denaturierten Eiweißen des Ektodermes. Ber. 36. Verslg. ophthalm. Ges. Heidelberg **1910**, 89. (b) Beiträge zur biologischen Stellung des Linseneiweißes und der ektodermalen Horngebilde. Arch. Augenheilk. **67**, Erg.-H. **47** (1910). — KUNDE: Über Wasserentziehung und Bildung vorübergehender Katarakte. Z. Zool. **8**, 466 (1857).

LABBÉ, H. et F. LAVAGNA: Sur la constitution chimique du cristallin normal et pathologique. C. r. Acad. Sci. Paris **180**, 1186 (1925). — LANGENDORFF: Eine Glycerinwirkung. Anhang. Arch. f. Physiol. **1891**, 484. — LAPTSCHINSKY, M.: Ein Beitrag zur Chemie des Linsengewebes. Arch. f. Physiol. **13**, 631 (1876). — LAQUEUR: Über die Durchgängigkeit der Hornhaut für Flüssigkeiten. Zbl. med. Wiss. **1872**, 577. — LEBER, TH.: (a) Über die Lymphwege der Hornhaut. Klin. Mbl. Augenheilk. **4**, 17 (1866). (b) Zur Kenntnis der Imprägnationsmethoden der Hornhaut und ähnlicher Gewebe. Graefes Arch. **14 III**, 300 (1868). (c) Studien über den Flüssigkeitswechsel im Auge. Graefes Arch. **19 II**, 87 (1873) — LIEBEN, F. u. P. KRONFELD: Über die Wirkung der Belichtung der Eiweißkörper auf die Augenlinse. Biochem. Z. **197**, 136 (1928). — LÖWENSTEIN, A. u. F. HAUROWITZ: Experimentelle Untersuchungen über das Verhalten der Rinderlinse bei Veränderung des umgebenden Mediums. Graefes Arch. **122**, 654 (1929).

MAGNUS, G. u. A. STÜBEL: Zur Kenntnis der Lymphgefäße des Auges. Versl. dtsch. ophthalm. Ges. Jena **1922**, 43. — MANCA et DEGANELLO: La force osmotique de l'humeur aqueuse déduite de son pouvoir de conserver les globules rouges. Arch. ital. de Biol. (Pisa) **30**, 172 (1898). — MANCA et OVIO: Recherches sur la cataracte expérimentale spécialement au point de vue des propriétés diosmotiques de la lentille cristalline. Arch. ital. de Biol. (Pisa) **29**, 23 (1898). — MEISSNER, G.: (a) Ernährung. Ber. Fortschr. Physiol. **1868**, 269. (b) Bemerkung in einem Referat. Z. ration. Med. **3**, Ref. **35**, 269 (1868). — MICHAEL, D. et P. VANCEA: (a) Hypercholestérinaemie et cataracte naphthalinique. C. r. Soc. Biol. Paris **94**, 291 (1926). (b) Sur la teneur en glutathion réduit des tissus oculaires normaux. C. r. Soc. Biol. Paris **99**, 891, 892 (1928). — MICHEL, J. v.: Über den Einfluß der Kälte auf die brechenden Medien des Auges. Festschrift für ADOLF FICK, 1899. S. 71. — MITCHELL, S. W.: On the production of cataract in frogs by the administration of sugar. Amer. J. med. Sci. **39**, 106 (1860). — MÖRNER: Untersuchungen über die Proteinstoffen in den lichtbrechenden Medien des Auges. Z. physiol. Chem. **13**, 244 (1893). — MOROCHOWETZ, L.: Zur Histochemie des Bindegewebes. Verh. naturh.-med. Ver. Heidelberg **1**, 5 (1877).

ZUR NEDDEN, M.: (a) Über Schädigung der Hornhaut durch Einwirkung von Kalk, sowie von löslichen Blei-, Silber-, Kupfer-, Zink-, Alaun- und Quecksilberpräparaten, nebst therapeutischen Angaben auf Grund von experimentellen, klinischen und chemischen Untersuchungen. Graefes Arch. **63**, 319 (1906). (b) Über die Ätiologie und Therapie der Kalk- und Bleitribungen der Hornhaut. Arch. Augenheilk. **57**, 39 (1907).

OVIO, M. J.: Sur la nutrition du cristallin. Annales d'Ocul. **124**, 97 (1900).

PAGENSTECHEK: Die Entstehung der Hornhauttrübungen durch Einwirkung von Kalkhydratlösung. Beitr. path. Anat. 7, Suppl. Festschrift für Geh. Rat Prof. Dr. J. ARNOLD; Ber. 32. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1905, 222. — PARDO: Über die Filtration der Augenflüssigkeiten. Klin. Mbl. Augenheilk. 46 I, 195 (1908). — PRIESTLEY SMITH: On the growth of the crystalline lens. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. 3, 79 (1883).

RANVIER: Recherches expérimentales sur la signification physiologique du plexus nerveux terminal de la cornée. C. r. Acad. Sci. Paris 88, 1087 (1879). — RECKLINGHAUSEN, VON: (a) Die Lymphgefäße und ihre Beziehung zum Bindegewebe 1862. (b) Über die Saftkanälchen der Hornhaut. Anat. Anz. 3, 612 (1888). — RÖMER, P.: Immunitätsvorgänge im lebenden Auge. Ber. 31. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1903, 47. — ROSENTHAL, O.: Über die nach Kalkinsulten auftretenden Hornhauttrübungen. Z. Augenheilk. 7, 126 (1902). — DE RUITER: Dissertatio de art. bellad. in iride. Traj. ad Rhen. 1853.

SALA, P.: Über Veränderungen an den Ciliarepithelien bei Naphthalinvergiftung. Klin. Mbl. Augenheilk. 41 I, 1 (1903). — SALT, P. W. and H. A. MATTLI: Biochemical studies of the ocular humors and the lens with special reference to cataract. Amer. J. Physiol. 90, 503 (1929). — SCALINCI: Recherches physico-chimiques sur la lentille cristalline. Arch. ital. de Biol. (Pisa) 49, 353 (1908). — SCALINCI, N.: (a) La reazione chimica della lente cristallina e la teoria acidosa della cataracta corticale. Arch. di Sci. biol. 8, 465 (1926). (b) Il punto isoelettrico della proteina della lente cristallina. Boll. Soc. Biol. sper. 4, 359 (1929). — SCHANZ, F. u. K. STOCKHAUSEN: Zur Ätiologie des Glasmacherstars. Graefes Arch. 73, 553 (1910). — SCHIRMER, O.: Experimentelle Studie über die FÖRSTERsche Maturation der Katarakt. Graefes Arch. 34 I, 131 (1888). — SCHLÖSSER: Experimentelle Studien über traumatische Katarakt. 1887. — SCHMERL, E.: Zum Gaswechsel der Linse. Nach Versuchen an der überlebenden Kaninchenlinse I. II. Graefes Arch. 119, 130 (1927); 122, 488 (1929). — SCHWEIGGER-SEYDEL: Über die Hornhaut des Auges. Ber. sächs. Ges. Wiss., Math.-physik. Kl. 22, 305 (1869). — SHOJI, Y.: Cystéine de cristalline. Annales d'Ocul. 164, 344 (1927). — STEINDORFF, K.: Experimentelles zur Iontophorese. Zugleich ein Beitrag zur medikamentösen Behandlung von Linsentrübungen. Graefes Arch. 120, 175 (1928). — STÜBEL, ADA: Über die Lymphgefäße des Auges. Graefes Arch. 110, 109 (1922).

TASSMANN, I. S.: The proteins of the lens and their chemical changes in the pathogenesis of senile cataract. Arch. of Ophthalm. 57, 361 (1928). (Zusammenfassende Darstellung.)

UHLENHUTH: Festschrift für R. KOCH. Jena 1903. — ULRICH, R.: (a) Zur Ernährung der Hornhaut. Arch. Augenheilk. 36, 46 (1897). (b) Über die Ernährung des Auges. Graefes Arch. 26 III, 35 (1880).

VOGT, A.: Schädigungen des Auges durch kurzwellige ultrarote Strahlen, denen äußeres Rot beigemischt ist. Verh. schweiz. naturforsch. Ges. 100. Jahresvers. 1919; Schweiz. med. Wschr. 1920, 597.

WAGENMANN, A.: (a) Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß der Zirkulation in den Netzhaut- und Aderhautgefäßen auf die Ernährung des Auges, insbesondere der Retina, und über die Folgen der Sehnervendurchschneidung. Graefes Arch. 36 IV, 1 (1890). (b) Beitrag zur Kenntnis der pathologischen Anatomie der Embolie der Zentralarterie. Graefes Arch. 40 III, 221 (1894). — WEISS, L.: Zur Flüssigkeitsströmung im Auge. Verh. naturh.-med. Vereins Heidelberg 1877 II, 7.

ZSIGMONDY: Über wässrige Lösungen metallischen Goldes. Ann. Chem. 301, 29 (1900).

#### *Physiologie der Blutzirkulation des Auges.*

ADAMÜK, E.: De l'étiologie du glaucome. Annales d'Ocul. 68, 5, 8 (1867). — ANGELUCCI: Sur les altérations trophiques de l'œil consécutives à l'exstirpation du ganglion cervical supérieur du sympathique chez les mammifères. Arch. ital. de Biol. (Pisa) 20, 67 (1894).

BAILLIART, P.: (a) La circulation rétinienne à l'état normal et pathologique. Paris 1923. (b) La pression artérielle rétinienne. Annales d'Ocul. 165, 321 (1928). (Besprechung der Methoden der Druckmessung in den Retinaarterien.) — BAURMANN, M.: Über die Entstehung und klinische Bedeutung des Netzhautvenenpulses. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg 1925, 53. — BECKER: Arterienpuls bei Aorteninsuffizienz. 2. Sitzg ophthalm. Ges., 5. Sept. 1871. Klin. Mbl. Augenheilk. 9, 380 (1871). — BECKER, O.: (a) Der spontane Netzhautarterienpuls bei Morbus Basedowii. Klin. Mbl. Augenheilk. 18, 1 (1880). (b) Über die sichtbaren Erscheinungen der Blutbewegung in der menschlichen Netzhaut. Graefes Arch. 18 I, 206 (1872). (c) Über spontanen Arterienpuls in der Netzhaut, ein bisher nicht beachtetes Symptom des Morbus Basedowii. Wien. med. Wschr. 1873, 565, 589. — BEER, TH.: (a) Die Akkommodation des Fischauges. Pflügers Arch. 58, 523 (1894). (b) Die Akkommodation des Auges bei den Reptilien. Pflügers Arch. 69, 507 (1898). — BERNARD, CL.: Extrait des recherches sur les nerfs trophiques et vasodilatateurs. C. r. Soc. Biol. Paris 1873, 150. Gaz. méd. 1874, No 13. — BERTHOLD, E.: Ein Fall von Haemorrhagia retinae als Vorbote einer tödlich verlaufenden Apoplexie. Klin. Mbl. Augenheilk. 8, 115

(1870). — BLIEDUNG, C.: Die Beziehungen zwischen allgemeinem Blutdruck, Blutdruck in den intraokularen Gefäßen und Augendruck. Arch. Augenheilk. **94**, 198 (1924). — BÜHLER, A.: Beobachtungen der Blutbewegung im Auge. Pflügers Arch. **165**, 145 (1916). — BÜTTNER: Über die nach Durchschneidung des Trigeminus auftretenden Ernährungsstörungen des Auges. Z. ration. Med. 3. Reihe, **15**, 254 (1862).

COCCIUS: (a) Über die Anwendung des Augenspiegels. Leipzig 1853. (b) Der Mechanismus der Akkommodation 1868. — CUGNET, F.: Circulation du sang observée a l'ophtalmoscope dans l'oeil des grenouilles. Annales d'Ocul. **55**, 128 (1866). — CZERNY: Ophthalmoskopische Untersuchung der Gefäße der Membrana hyaloidea beim Frosch. Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. III, **56**, 2. Okt. 1867.

DIETER, W.: Über den Zusammenhang zwischen osmotischem Druck, Blutdruck, insbesondere Capillardruck und Augendruck nach neuen experimentellen und klinischen Untersuchungen. Arch. Augenheilk. **96**, 179 (1925). — DMITROWSKY: Über den Einfluß des Halsstammes des N. sympathicus auf den Blutkreislauf in der Netzhaut und Aderhaut. Petersburg. med. Z. **7**, 251 (1863). — DOYON, M.: (a) Recherches sur les nerfs vaso-moteurs de la rétine. Arch. de Physiol., V. s. **2**, 774 (1890). (b) Recherches sur les nerfs vaso-moteurs de la rétine et en particulier sur le nerf trijumeau. Arch. de Physiol., V. s. **3**, 154 (1891). — DRUVAULT: Recherches sur la pathogénie de l'amaurose quinique. Travail du Laboratoire d'Ophthalmol. de l'Hôtel-Dieu. Paris: G. Steinheil 1900. — DUKE-ELDER, W. Sr.: (a) The arterial pressure in the eye. J. of Physiol. **62**, 1 (1926/27). (b) The venous pressure of the eye and its relation to the intraocular pressure. J. of Physiol. **61**, 409 (1926). Ref. Ber. Physiol. **38**, 567. (c) The pressure equilibrium of the eye. J. of Physiol. **64**, 78 (1927). Ref. Ber. Physiol. **44**, 693. — DUVERGER, C. et J. A. BARRÉ: Troubles des mouvements associés des yeux chez les diabétiques, les parkinsoniens, dans l'encéphalite épidémique et chez les labyrinthiques. Essai pathogénique. Rev. de Neur. **28**, 439 (1921); Arch. d'Ophthalm. **39**, 180 (1922).

GRAEFE, A. VON: (a) Nachträgliche Bemerkungen über die modifizierte Linearextraktion. Graefes Arch. **12 I**, 207 (1866). (b) Notiz über die Pulsphänomene auf der Netzhaut. Graefes Arch. **1 I**, 382 (1854). (c) Neuroparalytische Hornhautaffektion. Graefes Arch. **1 I**, 306 (1854). — GRÜNHAGEN: Nachschrift zu der Arbeit von ROGERS. Z. ration. Med. 3. Reihe, **29**, 33 (1867).

HAMER: Over de anti-mydrat. werking von Calabar-bean. Nederl. Tijdschr. Geneesk. **1863**. 4. jaarl. Verslg v. het Nederl. Gasth. v. Ooglijd. — HELFREICH: Zur Lehre vom Venenpuls der Retina und der intraokularen Zirkulation. Graefes Arch. **23 III**, 1 (1882). — HENDERSON, TH.: Glaucoma. Clinical proof of the venous level of the intraocular pressure and a method of estimating the arterial diastolic pressure in the eye and its clinical significance. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **34**, 309 (1914). — HENSEN, V. u. C. VÖLKERS: Experimentaluntersuchung über den Mechanismus der Akkommodation. Kiel 1868. — HIPPEL, E. VON: Zur Ätiologie der Keratitis neuroparalytica. Graefes Arch. **35 III**, 217 (1889). — HOLZ, B.: Über Venenpuls im Auge. Berl. klin. Wschr. **1889**, Nr 50.

JACOBI, JOS.: Studien über die Zirkulation im Auge. Graefes Arch. **22 I**, 111 (1876). — JEGOROW, J.: Über den Einfluß der langen Ciliarnerven auf die Erweiterung der Pupille. Arch. f. Physiol. **1886**, 149. — JONESCO und FLORESCO: Phénomènes observés après la resection du nerf sympathique cervical chez l'homme. J. Physiol. et Path. gén. **4**, 845 (1902).

KAHN, R. H.: Über Beeinflussung der Gefäßweite in der Netzhaut. Zbl. Physiol. **18**, 153 (1904). — KLEIN, S. u. W. SVETLIN: Untersuchungen über den Einfluß des Sympathicus auf die Zirkulation des Augengrundes. Psychiatr. Studien von Prof. LEIDESDORF, 1877, 87 u. Wiener Presse **1877**, Nr 4. — KRAUSE, F.: Die Physiologie des Trigeminus nach Untersuchungen an Menschen, bei denen das Ganglion Gasseri entfernt worden ist. Münch. med. Wschr. **42**, 577 (1895). — KÜMMELL, R.: Über den physiologischen Netzhautvenenpuls. Arch. Augenheilk. **95**, 195 (1925). — KULJPER, A. H.: Onderzoekingen betrekkelijk de kunstmatige verwijding van den oogappel. Nederl. Gasthuis voor Ooglijders **1**, 1 (1860).

LABORDE: Lésions oculaires après la section de la branche ophtalm. de la cinquième paire. Bull. Acad. Méd. **20**, 447 (1880). — LANGENDORFF, O.: Über die Beziehungen des oberen sympathischen Halsganglions zum Auge und zu den Blutgefäßen des Kopfes. Klin. Mbl. Augenheilk. **38**, 129 (1900). — LAQUEUR: Über Atropin und Physostigmin und ihre Wirkung auf den intraokularen Druck. Graefes Arch. **23 III**, 149 (1877). — LEXER: Zur Operation des Ganglion Gasseri nach Erfahrungen an 15 Fällen. Arch. klin. Chir. **65**, 843 (1901). — LEPLAT, G.: La pression artérielle dans les vaisseaux de l'iris et ses modifications sous l'influence des collyres. Annales d'Ocul. **157**, 693 (1920). — LICHTHEIM: Über einen Fall von ADAMS-STOKESScher Krankheit mit Dissoziation von Vorhof- und Kammerrhythmen. Dtsch. Arch. klin. Med. **85**, 360 (1905). — LULLIES, H. u. L. GULKOWITSCH: Beiträge zur Lehre vom Flüssigkeitswechsel des Auges. Schr. Königsberg. gelehrt. Ges., Naturwiss. Kl. **1**, H. 2 (1924).

MAGITOT, M. et BAILLIART: (a) La pression comparée dans les vaisseaux de l'iris et de la rétine. Recherches sur l'action des vaso-moteurs oculaires. Annales d'Ocul. **158**, 81

(1921). (b) Recherches sur l'action des vaso-moteurs oculaires. Pression comparée dans les vaisseaux de l'iris et de la rétine. J. Physiol. et Path. gén. **19**, No 4, 532 (1921). — MORAT, J. P. et M. DOYON: (a) Le grand sympathique, nerf de l'accommodation pour la vision des objets éloignés. C. r. Acad. Sci. Paris. 1327. Arch. de Physiol. **3**, 507 (1892). (b) Les vaso-moteurs de l'oeil. Arch. Physiol. norm. et path. IV. s. **5**, 60 (1892).

PONCET: Erweiterung des Netzhautgefäße durch Reizung vasodilatatorischer Fasern. Bull. Soc. Biol. Paris 1881, 2. April. — PRIESTLEY-SMITH: The blood-pressure in the eye and its relation to the chamber-pressure. Brit. J. Ophthalm. **1**, 4, 657 (1917).

QUINCKE: Beobachtungen über Capillar- und Venenpuls. Berl. klin. Wschr. 1868, Nr 34.

RAYNAUD: Nouvelles recherches sur la nature et le traitement de l'asphyxie locale des extrémités. Arch. gén. Med., VI. s. **23** (1874). — RIEGER u. von FORSTER: Auge und Rückenmark. Graefes Arch. **27** (3), 109 (1881).

SALKOWSKI: Über das BUDGESCHE Ziliospinalzentrum. Z. ration. Med., 3. Reihe, **29**, 167 (1867). — SALVATI: La pression artérielle rétinienne en position assise et couchée. Annales d'Ocul. **159**, 69 (1922). — SAMOJLOFF, A. J.: Sur la tension dans des veines choroidiennes. Annales d'Ocul. **163**, 689 (1926). — SCHIFF, M.: (a) Untersuchung physiologischer Nervensysteme, S. 80. Frankfurt 1855. (b) Ges. Beitr. **1**, 438. — SCHÖLER: (a) Experimenteller Beitrag zur Kenntnis der Irisbewegung. Diss. Dorpat 1869. (b) Experimentelle Studien über Flüssigkeitsausscheidung aus dem Auge. Graefes Arch. **25**, IV, 63 (1879). — SCHOEN, W.: Der Venenpuls der Netzhaut. Klin. Mbl. Augenheilk. **19**, 345 (1881). — SCHULTÉN, W. v.: Experimentelle Untersuchungen über die Irisabschlußverhältnisse des Auges usw. Graefes Arch. **30**, (3) **1**, **30** (4), 61 (1884). — SINITZIN: Zur Frage über den Einfluß des Nerv. sympathicus auf das Gesichtorgan. Vorläufige Mitteilung. Zbl. med. Wiss. **1871**, 161.

THORNER, W.: Ein Fall von pulsierender Chorioidealvene. Arch. Augenheilk. **45**, 36 (1902). — VAN TRIGHT: Der Augenspiegel und seine Anwendung 1853. — TÜRK, S.: Untersuchungen über die Entstehung des physiologischen Netzhautvenenpulses. Graefes Arch. **48**, 513 (1899).

ULRICH: Über die Ernährung des Auges. Graefes Arch. **26 III**, 35 (1880).

VELTER, E.: Quelques mensurations de la tension artérielle rétinienne. Arch. d'Ophthalm. **37**, 88 (1920). — VIERORDT, K.: Die Wahrnehmung des Blutlaufes in der Netzhaut des eigenen Auges. Arch. physiol. Heilk. **1856**, 255f. — VULPIAN: Recherches prouvant que le nerf trijumeau contient des fibres vasodilatatrices dès son origine. C. r. Acad. Sci. Paris **101**, 981 (1886). — VULPIAN: Leçons sur l'appar. vasom. Tome 1, p. 91—98. Paris 1875.

WEGNER, W.: Die Funktion der menschlichen Netzhaut bei experimenteller Ischaemia retinae. Arch. Augenheilk. **98**, 514 (1928). — WEISS, O.: Der intraokulare Flüssigkeitswechsel. Z. Augenheilk. **25**, 1 (1911). — WORDSWORTH, J. C.: Note of a case in which pulsation was observed in the central retinal artery of a healthy eye, during a temporary faintness. Ophthalm. Hosp. Rep. **4**, 111 (1863/65).

#### *Die lymphatische Zirkulation des Auges.*

ABADIE, CH.: Nature et traitement du glaucome. Arch. d'Ophthalm. **19**, 94 (1899). — ADAMÜK: (a) Neue Versuche über den Einfluß des Sympathicus und Trigeminus auf Druck und Filtration im Auge. Wien. Akad. Sitzgsber. **59**, 2. Febr. 1869. (b) Manometrische Bestimmungen des intraokularen Druckes. Zbl. med. Wiss. **1866**, Nr 36. (c) Zur Lehre vom Einfluß des Sympathicus auf den inneren Augendruck. Zbl. med. Wiss. **1867**, Nr 28. — ADLER, F. H. and E. M. LANDIS: Studies on the protein content of aqueous humor. The effect of miotics and mydriatics. Arch. of Ophthalm. **54**, 265 (1925). — ALAJMO, B.: Influenza di alcuni farmaci sull' indice di refrazione, sul tasso albuminurico dell' umore aqueo et sulla tensione oculare (Contributo sperimentale). Arch. Ottalm. **29**, 509 (1923). ASAYAMA, J.: Über die Resorption des Kammerwassers von der vorderen Fläche der Iris. Graefes Arch. **51**, 98 (1900). — ASCHER, K. W.: (a) Zur Chemie des menschlichen Kammerwassers. Graefes Arch. **107**, 247 (1922). (b) Beziehungen zwischen der Beschaffenheit des Blutes und Kammerwassers und dem Augendruck. Med. Klin. **18**, 1366 (1922).

BAURMANN, M.: (a) Untersuchungen über die Eigenschaften des Glaskörpers des Tierauges und Bemerkungen über die Beziehungen zwischen Blutserum und intraokularer Flüssigkeit. Graefes Arch. **114**, 276 (1924). (b) Streitfragen aus dem Gebiet des intraokularen Flüssigkeitswechsels. Graefes Arch. **116**, 96 (1925). (c) Vergleichende Blutdruckmessungen an den Gefäßen des Auges. Graefes Arch. **118**, 118 (1927). (d) Über neue Messungen der H-Ionenkonzentration im menschlichen Kammerwasser. Graefes Arch. **118**, 369 (1927). (e) Weitere Ergebnisse der intracraniellen Druckmessung mit Hilfe des Netzhautvenenpulses. Beobachtung. Ber. 46. Zusammenk. dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1928**, 96. — BEHR, B.: Ansicht der staphylomatösen Metamorphosen des Auges und der künstlichen Pupillenbildung. Wien 1805/06. — BEHR, C.: Besteht beim Menschen ein Abfluß aus dem Glaskörper in den Sehnerven? Graefes Arch. **83**, 519 (1912). — BELLARMINOFF, L.: (a) Anwendung der graphischen Methode bei Untersuchung des intraokularen Druckes. Pflügers Arch. **39**, 449 (1885). (b) Verbesserter Apparat zur graphischen Untersuchung

des intraokularen Druckes und der Pupillenbewegung. Ber. 19. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1887, 185. — BENTZEN, CHR. F.: Über experimentelles Glaukom beim Kaninchen und über die Bedeutung des Kammerwinkels für den intraokularen Druck. Graefes Arch. 41, 42 (1895). — BENTZEN, CHR. u. TH. LEBER: Über die Filtration aus der vorderen Kammer bei normalen und glaukomatösen Augen. Graefes Arch. 41, 208 (1895). — BERG, F.: Über sichtbare Strömungen in der vorderen Augenkammer. Klin. Mbl. Augenheilk. 55, 61 (1915). BERNARD, CL.: Leçons sur les propriétés physiol. et les altér. pathol. des liquides de l'organisme. II. Sér. 409. 1859. — BERZELIUS: Lehrbuch der Chemie, 1832. S. 442. — BOÉ: Sur la composition du corps vitré. Bull. Soc. Ophthalm. Paris 4, 282 (1886). — BONNEFON: (a) Recherches expérimentales sur la physiologie de l'ophtalmotonus. C. r. Soc. Biol. Paris 87, 203 (1922). (b) La tension oculaire après ponction de la chambre antérieure. Suite à la note de Magitot. C. r. Soc. Biol. Paris 87, 533 (1922). Ref. Zbl. Ophthalm. 8, 352. — BOTTAZZI u. STURCHIO: Sur l'origine de la pression oculaire. Arch. di Biol. 45, 198 (1906); Ann. Ottalm. 13, 5 (1906). — BRÜCKNER, A.: (a) Cytologische Studien am menschlichen Auge. Graefes Arch. 100, 179 (1919). (b) Zur Regeneration der Glaskörperflüssigkeit. Ber. 48. Zusammenk. dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg 1930, 284.

CAHN, A.: Zur physiologischen und pathologischen Chemie des Auges. Z. physiol. Chem. 5, 214 (1881). — CARLINI, V.: Die Veränderungen des Iris- und Ciliarepithels nach Funktion der Vorderkammer. Beitrag zum Studium des Produktionsmechanismus des Humor aqueus. Graefes Arch. 77, 96 (1910). — CAVAZZANI: Über die Anwesenheit einer mucinartigen Substanz im Humor aqueus des Ochsens. Zbl. Physiol. 19, 849 (1905). — CHABBAS, J.: Über die Sekretion des Humor aqueus in bezug auf die Frage nach den Ursachen der Lymphbildung. Arch. f. Physiol. 16, 143 (1877). — COHEN, M., KILLIAN, J. A. and M. KAMNER: Comparative chemical studies of the ocular fluids of cerebrospinal fluid and of the blood. Arch. of Ophthalm. 57, 59 (1928); Trans. amer. ophthalm. Soc. 25, 284 (1927). — COHEN, M., KILLIAN, J. A. and N. METZGER: The chemical composition of the vitreous humor of animal eyes. Proc. Soc. exper. Biol. a. Med. 22, 445 (1925). — COLLEVATI, U.: Sulle costanti fisico-chimiche dei liquidi oculari. Boll. Soc. med. chir. Pavia 42, 243 (1928). — CREVELD, S. VAN: La tension superficielle de l'humeur aqueuse de l'oeil. Arch. néerl. Physiol. 9, 60 (1924).

DEUTSCHMANN, R.: (a) Zur Regeneration des Humor aqueus, nach Entleerung desselben aus der vorderen Augenkammer. Graefes Arch. 25, (1) 99 (1879). (b) Über die Quellen des Humor aqueus im Auge. Graefes Arch. 26, (3) 117 (1880). (c) Zur physiologischen Chemie der Augenflüssigkeiten. Graefes Arch. 27, (2) 295 (1881). (d) Ophthalmia migratoria. Hamburg und Leipzig 1889. — DIETER, W.: Über die Oberflächenspannung des Kammerwassers und ihre Beziehungen zum Eiweißgehalt desselben. Arch. f. Augenheilk. 96, 8 (1925). — DOGIEL, JOH.: Zur Kenntnis der Eiweißreaktionen und von dem Verhalten des Albumins der lichtbrechenden Medien des Auges. Pflügers Arch. 19, 335 (1879). — DONDERS, F. C.: Über die sichtbaren Erscheinungen der Blutbewegung im Auge. Graefes Arch. 1, (2) 75 (1854). — DUKE-ELDER, W. S.: (a) Osmotic pressure of aqueous humor. J. of Physiol. 62, 315 (1926/27). (b) The nature of the intraocular fluids. London 1927.

EHRlich, P.: Über provozierte Fluoreszenzerscheinungen im Auge. Dtsch. med. Wschr. 1882, Nr 2. — ERDMANN, P.: Über experimentelles Glaukom nebst Untersuchungen am glaukomatösen Tierauge. Graefes Arch. 66, 325 (1907). — ERGGELET, H.: Klinische Befunde bei fokaler Beleuchtung mit der GULLSTRANDSchen NERNST-Spaltlampe. Klin. Mbl. Augenheilk. 53, 449 (1914).

FISCHER, F. P.: Untersuchungen über Quellungsvorgänge und über Permeabilitätsverhältnisse der Hornhaut. Arch. Augenheilk. 98, 41 (1918). — FISCHER, M. A.: (a) Über Augenquellung und das Wesen des Glaukoms. Pflügers Arch. 125, 396 (1908). (b) Über Augenquellung und das Wesen des Glaukoms. II. Mitt. Pflügers Arch. 127, 1 (1909). — FLEISCHER, S.: Neue Bestimmungen der Brechungsexponenten der durchsichtigen flüssigen Medien des Auges. Inaug.-Diss. Jena 1872. — FRANCESCHETTI, A.: Über Refraktometrie und Eiweißbestimmung der intraokularen Flüssigkeiten. Ber. 46. Zusammenk. dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg 1927, 377. — FRANCESCHETTI, A. u. C. HALLAUER: Der Übertritt von Antikörpern in die intraokularen Flüssigkeiten und den Liquor cerebrospinalis und seine Beeinflussung durch Theophyllin. Arch. Augenheilk. 100/101, 59 (1929). — FRANCESCHETTI, A. u. H. WIELAND: (a) Quantitative Bestimmung des Eiweißgehaltes der intraokularen Flüssigkeiten mit dem Nephelometer. Arch. Augenheilk. 99, 1 (1928). (b) Über den Einfluß der Diuretica auf den Eiweißgehalt der intraokularen Flüssigkeiten. Arch. Augenheilk. 99, 367 (1928). — FRIEDENTHAL, G.: Bemerkungen zum intraokularen Flüssigkeitswechsel. Z. Augenheilk. 52, 15 (1924).

GAEDERTZ, A. u. A. WITTGENSTEIN: Über den Kationengehalt des Kammerwassers im lebenden Warmblüterauge. Experimentelle Untersuchungen. Graefes Arch. 118, 738 (1927); 119, 395, 403—422, 755, 771 (1927/28). — GALA, A.: Observations on the hydrogen-ion-concentration in the vitreous body of the eye with reference to glaucoma. Brit. J. Ophthalm. 9, 516 (1925). — GILBERT, W.: Über Kammerwasseruntersuchung.

Arch. Augenheilk. **94**, 101, 175 (1924). — GJESSING, H. G. A.: Über Tonometrie. Graefes Arch. **105**, 221 (1921). — GOLOWIN, S. S.: Untersuchungen über das spezifische Gewicht des Kammerwassers. Graefes Arch. **49**, 27 (1900). — GRANDIS, V. et T. A. MORET: Sur la pression hydraulique de l'humeur aqueuse. Arch. ital. de Biol. (Pisa) **37**, 25 (1902). — GIFFORD, H.: Über die Lymphströme des Auges. Arch. Augenheilk. **16**, 421 (1886). — GRASER, E.: Manometrische Untersuchungen über den intraokularen Druck und deren Beeinflussung durch Atropin und Eserin. Inaug.-Diss. Erlangen. Arch. f. exper. Path. **27**, 329. — GRÜNHAGEN, A.: Zur Chemie des Humor aqueus. Pflügers Arch. **43**, 377 (1888). — GRÜNHAGEN, A. u. JESSNER: Über Fibrinproduktion nach Nervenreizung. Zbl. prakt. Augenheilk. **4**, 181 (1880); Pflügers Arch. **23**, 14 (1880). — GUGGENHEIM, IRMA u. A. FRANCESCHETTI: Refraktometrische Untersuchungen des Glaskörpers von Kaninchen und Mensch (unter physiologischen und pathologischen Bedingungen). Arch. Augenheilk. **98**, 448 (1928).

DE HAAN, J.: La tension et la consommation d'oxygène dans l'humeur aqueuse. Arch. néerl. Physiol. **7**, 245 (1922). — HAGEN, S.: Experimentelle Untersuchungen über die Absonderung der intraokularen Flüssigkeit im menschlichen Auge. Klin. Mbl. Augenheilk. **65**, 643 (1920). — HALLAUER, C. u. A. FRANCESCHETTI: Der Übertritt von Antikörpern ins Kammerwasser und seine Abhängigkeit von der Lösungsform. Arch. Augenheilk. **100/101**, 81 (1929). — HAMBURGER, C.: (a) Beitrag zur Manometrie des Auges. Zbl. prakt. Augenheilk. **22**, 257 (1898). (b) Weitere Beobachtungen über den physiologischen Pupillenabschluß. Dtsch. med. Wschr. **22**, 355 (1899). (c) Über die Quellen des Kammerwassers. Klin. Mbl. Augenheilk. **38**, 801 (1900). (d) Zu der Frage, woher das Kammerwasser stammt. Ber. 30. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1902**, 246. (e) Über den Abfluß aus dem Auge. Ber. 37. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1911**, 208. (f) Beiträge zur Ernährung des Auges. Ber. 39. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1913**, 119. (g) Über die Ernährung des Auges. Leipzig 1914. (h) Die neueren Arbeiten über die Ernährung des Auges. Klin. Mbl. Augenheilk. **64**, 737 (1920); **65**, 29 (1920). (i) Einiges Kritische und Experimentelle zur Ernährung des Auges. Klin. Mbl. Augenheilk. **66**, 403 (1921). (k) Tonometrische Beiträge zur Ernährung des Auges bei allgemeinen und bei örtlichen Erkrankungen. Klin. Mbl. Augenheilk. **67**, 634 (1921). (l) Zu den neueren Arbeiten über die Ernährung des Auges. Klin. Mbl. Augenheilk. **69**, 393 (1922). — HAPPE: Über die angebliche druckerabsetzende Wirkung subkonjunktivaler Salzlösungen (Seignettesalz, Natrium citricum) beim Glaukom. Arch. vgl. Ophthalm. **1**, 317 (1910). — HAUPT, W.: Experimenteller Beitrag zum Verhalten des Augendruckes bei intravenösen Kochsalzinfusionen, hypertotonischer und hypotonischer Konzentration. Arch. Augenheilk. **78**, 359 (1915). — HEISRATH, F.: Zur Frage nach den Ursachen des Glaukoms. Zbl. med. Wiss. **1879**, 769. — HEINE: Demonstration zum Flüssigkeitswechsel im Auge. 39. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1913**, 398. — HELMHOLTZ, H. VON: Handbuch der physiologischen Optik, 3. Aufl. 1909/10. — HENDERSON and LANE-CLAYTON: Study of the ciliary epithelium after puncture of the anterior chamber. Ophthalm. Rep. **17**, 97 (1908). — HENDERSON, F. E. and E. H. STARLING: The influence of changes in the intraocular circulation on the intraocular pressure. J. of Physiol. **31**, 305 (1904). — HERTEL, E.: (a) Über die Folgen der Exstirpation des Ganglion cervicale supremum bei jungen Tieren. Graefes Arch. **49**, 430 (1900). (b) Untersuchungen über die elektrische Leitfähigkeit des Auges. Graefes Arch. **69**, 126 (1909). (c) Über Wirkungen und Leistungen subkonjunktivaler Kochsalzinjektionen. Klin. Mbl. Augenheilk. **48**, Beil.-H., 46 (1910). (d) Über die Verminderung des Augendruckes beim Coma diabeticum. Münch. med. Wschr. **1913**, 1191. (e) Über Veränderung des Augendruckes durch osmotische Vorgänge. Klin. Mbl. Augenheilk. **51** II, 351 (1913). (f) Experimentelle Untersuchungen über die Abhängigkeit des Augendruckes von der Blutbeschaffenheit. Graefes Arch. **88**, 197 (1914). — HERTEL, E. u. H. CITRON: Über den osmotischen Druck des Blutes bei Glaukomkranken. Graefes Arch. **104**, 149 (1921). — HESS, C.: (a) Arbeiten aus dem Gebiete der Akkommodationslehre. Graefes Arch. **43**, 477 (1897). (b) Die Akkommodation der Cephalopoden. Arch. Augenheilk. **64**, Erg.-H., 125 (1909). — HIPPEL, A. v. u. A. GRÜNHAGEN: Über den Einfluß der Nerven auf die Höhe des intraokularen Druckes. Graefes Arch. **14** (3), 219 (1868); **15** (1), 265 (1869); **16**, 27 (1870). — HIRSCHBERG, J.: Über das Brechungsverhältnis der flüssigen Medien des menschlichen Auges. Arch. Augen- u. Ohrenheilk. **4**, 45 (1874). — HIS, W.: Abbildungen über das Gefäßsystem der menschlichen Netzhaut. Arch. Anat. u. Physiol. **1880**, 224. — HÖLTZKE, H.: Experimentelle Untersuchungen über den Druck in der Augenkammer. Graefes Arch. **29** I, 1 (1883). — HOEVE, J., VAN DER: Osmotischer Druck und elektrische Leitfähigkeit von intraokularen Flüssigkeiten und Blutserum von Tieren. Graefes Arch. **82**, 58, 69—74 (1912). Onderzoek. Physiol. Labor. Utrecht, 5. Reeks, **13**, 76 (1912). — HOVIUS: De circulari humorum motu in oculo. Traj. ad Rhen, 1702.

IKEDA, T.: Über die chemische Zusammensetzung des Glaskörpers des Rindsauges, insbesondere über die Extraktstoffe desselben. J. of orient. Med. **2**, 135 (1924). Ref. Ber. Physiol. **31**, 925 (1925).

JÄGER, E. v.: Über die Einstellung der dioptrischen Apparate. 1861. — JASIŃSKI, M.: Vergleichende Untersuchung mittels elektrometrischen Verfahrens der Wasserstoffionenkonzentration im Blut und Kammerwasser bei Glaukomkranken und Gesunden. *Klin. oczna* (poln.) **5**, 97 (1927). Ref. *Ber. Physiol.* **44**, 815. — JESSNER, S.: Der Humor aqueus in seinen Beziehungen zu Blutdruck und Nervenreizung. *Arch. f. Physiol.* **23**, 14 (1880). — JONESCO et FLORESCO: Phénomènes observés après la résection du nerf sympathique cervical chez l'homme. *J. Physiol. et Path. gén.* **4**, 845 (1902).

KAHN, R. H.: (a) Über die Beeinflussung des Augendruckes durch Extrakte chromaffinen Gewebes (Adrenalin). *Zbl. Physiol.* **20**, 33 (1906). (b) Über den physiologischen Pupillarabschluß. *Graefes Arch.* **95**, 73 (1918). (c) Zu E. SEIDELS Bemerkungen über den physiologischen Pupillenabschluß. *Graefes Arch.* **101**, 111 (1920). — KAHN, R. H. u. A. LÖWENSTEIN: Über die Druckschwankungen im Säugerauge nach teilweiser Entleerung der Vorderkammer bei langdauernder manometrischer Messung. *Graefes Arch.* **109**, 433. — KLEIBER, G.: Über die Wirkung örtlich angewandter Kalksalzlösungen auf den Augendruck. *Arch. Augenheilk.* **91**, 288 (1922). — KNAPE, E. V.: (a) Kritik der Hypothese MARTIN A. FISCHER über das Wesen des Glaukoms. *Skand. Arch. Physiol.* **23**, 162 (1910). (b) Über den Einfluß des Atropins und des Eserins auf den Stoffwechsel in der vorderen Augenkammer. *Skand. Arch. Physiol.* **24**, 259 (1911). — KNAPP, P.: Über den Einfluß der Massage auf die Tension normaler und glaukomatöser Augen. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **50** I, 691 (1912). — KNIES, M.: Über das Glaukom. *Graefes Arch.* **22** III, 163 (1876); **23** I, 62 (1877). — KOCHMANN, M. u. P. RÖMER: Experimentelle Beiträge zum pathologischen Flüssigkeitswechsel des Auges. *Graefes Arch.* **88**, 528 (1914). — KOSTER, GZN. W.: Beiträge zur Lehre vom Glaukom. *Graefes Arch.* **41** (2), 30 (1895). — KRONFELD, P.: Der Kohlen säuregehalt des Kammerwassers. *Graefes Arch.* **118**, 606 (1927). — KUBIK, J.: Experimentelle und klinische Untersuchungen über die Wasserstoffionenkonzentration des Kammerwassers. *Arch. Augenheilk.* **98**, 483 (1923). — KUNST, J. J.: Beiträge zur Kenntnis der Farbenzerstreuung und des osmotischen Drucks einiger brechenden Medien des Auges. *Inaug.-Diss.* Freiburg 1895.

LAGRANGE et PACHON: Des effets à longue échéance de la résection expérimentale du ganglion cervicale supérieur sur la tension oculaire. *C. r. Soc. Biol. Paris* **1900**, 990. — LANGENHAN, F.: Beiträge zur Ophthalmotonometrie. *Z. Augenheilk.* **23**, 201 (1910). — LAUBER, H.: Beiträge zur Anatomie des vorderen Augenabschnitts der Wirbeltiere. *Anat. H.* **18** (1901). — LEBER, TH.: (a) Studien über den Flüssigkeitswechsel im Auge. *Graefes Arch.* **19** (2), 87 (1873). (b) Beitrag zur Kenntnis der Farbenzerstreuung und des osmotischen Druckes einiger brechenden Medien des Auges. *Diss.* Freiburg 1895. (c) Der Circulus venosus Schlemmii steht nicht in offener Verbindung mit der vorderen Augenkammer. *Graefes Arch.* **41** (1), 235 (1895). (d) Über die Ernährungsverhältnisse des Auges. *Ber. über die Verhandl. des IX. internat. Ophth.-Kongresses in Utrecht 1899.* Ref. *Z. Augenheilk.* **2**, Beil.-H., 30 (1899). (e) Encore quelques mots à propos de la mensuration de la filtration de l'oeil. *Annales d'Ocul.* **134**, 217 (1905). — LEBER, TH. u. A. PILZECKER: Neue Untersuchungen über den Flüssigkeitswechsel des Auges. *Graefes Arch.* **64**, 1 (1906). — LEBERMANN, F.: Ein Beitrag zur Mikrochemie der Augenflüssigkeiten. *Arch. Augenheilk.* **96**, 355 (1925). — LÉBOUCQ, G.: Etude sur les voies lymphatiques de l'oeil et de l'orbite. *Archives de Biol.* **29**, 1 (1913). — LEDERER, R.: Der Binnendruck des experimentell und willkürlich bewegten Auges. *Arch. Augenheilk.* **72**, 1 (1912). — LEHMANN, G. u. A. MEESMANN: Über das Bestehen eines Donngleichgewichtes zwischen Blut und Kammerwasser bzw. Liquor cerebrospinalis. *Pflügers Arch.* **205**, 210 (1924). — LEPLAT, L.: (a) De la régénération de l'humeur aqueuse après la paracentèse cornéenne. *Annales d'Ocul.* **97**, 75 (1887). (b) Nouvelles recherches sur la circulation du liquide intra-oculaire. *Annales d'Ocul.* **101**, 123 (1888). — LEPLAT, M. G.: De l'influence de l'adrénaline sur la tension oculaire et sur la tension sanguine générale et rétinienne chez l'homme. *Annales d'Ocul.* **158**, 414 (1921). — LEVINSOHN, G.: Experimenteller Beitrag zur Pathogenese der Stauungspapille. *Graefes Arch.* **64**, 511 (1906). — LÖWENSTEIN, A.: (a) Über Veränderungen der Irisform bei Glaskörperansaugung. *Arch. vgl. Ophthalm.* **3**, 211 (1912). (b) Die Viscosität der Augenflüssigkeiten unter normalen und pathologischen Verhältnissen. *Arch. Augenheilk.* **70**, 26 (1911). (c) Untersuchungen über den Stoffwechsel des menschlichen Auges. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **65**, 654 (1920). — LÖWENSTEIN, A. u. J. KUBIK: Refraktometrische Untersuchungen des Kammerwassers. Ein Beitrag zur Biologie des Auges. *Graefes Arch.* **89**, 197 (1915). — LOHMEYER: Beiträge zur Histologie und Ätiologie der erworbenen Linsenstare. *Z. ration. Med.*, N. F. **5**, 56 (1854). — LULLIES, H.: Der Druck in den Venen des Scleralrandes. *Pflügers Arch.* **199**, 471 (1923).

MAGITOT: (a) L'humeur aqueuse et son origine. *Annales d'Ocul.* **154**, 65, 211 (1916/17). (b) La tension oculaire après ponction de la chambre antérieure. *C. r. Soc. Biol. Paris* **86**, 844 (1922). (c) Hypertension oculaire par irritation expérimentale de l'iris. *C. r. Soc. Biol.* **86**, 582 (1922). (d) Sur les sources multiples de l'humeur aqueuse. *Annales d'Ocul.* **165**, 481 (1928). *Bull. Soc. franç. Ophtalm.* **41**, 17—27, 50—56 (1928). (Übersicht.) —

MAGNUS, G. u. A. STÜBEL: Zur Kenntnis der Lymphgefäße des Auges. Ber. 43. Verslgs dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg 1922, 36. — MAUCAND DEGANELLE, MASTROBUONO: Sur la viscosité de l'humeur aqueuse. Arch. ital. de Biol. 51, 48 (1909). — MAWAS, J.: (a) Recherches sur l'origine et la signification histologique des fibres de la zonule de Zinn. C. r. Soc. Biol. Paris 64, 1029; C. r. Assoc. Anat. 10. Réunion. Marseille 1908, 73. (b) Note sur la sécrétion de l'humeur aqueuse normale et sur l'humeur aqueuse produite après ponction de la chambre antérieure. C. r. Soc. Biol. Paris 69, 499 (1910). (c) Action de la pilocarpine sur la sécrétion de l'humeur aqueuse. C. r. Soc. Biol. Paris 69, 521 (1910). — (d) Concentration ionique des liquides intraoculaires. Vortr. 12. internat. physiol. Kongr. Stockholm 1926, 110. — MAWAS, J. et M. VINCENT: La concentration ionique des liquides intraoculaires à l'état normal et dans le glaucome. Bull. Soc. franç. Ophthalm. 39, 171 (1926). — MAZZEL, A.: Rapporti tra la tensione oculare e le pressioni arteriosa, venosa, endotoracica. Arch. Ottalm. 27, 83 (1920). — MEESMANN, A.: Über die Abhängigkeit des intraokularen Druckes von der Wasserstoffionenkonzentration des Kammerwassers; Arch. Augenheilk. 94, 115 (1924). — MESTREZAT, W. et A. MAGITOT: (a) L'humeur aqueuse normale. C. r. Soc. Biol. Paris 84, 185 (1921). (b) Sur la nature de l'humeur aqueuse de seconde formation chez l'homme. C. r. Soc. Biol. Paris 86, 657 (1922); Bull. Soc. Chim. biol. Paris 4, 279 (1922). (c) Nature de l'humeur aqueuse de seconde formation chez l'homme et l'animal. Annales d'Ocul. 159, 401 (1922). — MICHEL, u. H. WAGNER: Physiologisch-chemische Untersuchungen des Auges. Graefes Arch. 32 II, 155 (1886). — MÖRNER: Untersuchung der Proteinsubstanzen in den lichtbrechenden Medien des Auges. III. Z. physiol. Chem. 18, 244 (1893). — MÜLLER, H. K. u. R. PFLIMLIN: Über den Einfluß des Sympathicus auf den Eiweißgehalt des Kammerwassers. Arch. Augenheilk. 100/101, 91 (1929).

NAKAMURA, B., H. MUKAI u. S. KOSAKI: Beiträge zur Kenntnis der Ernährung des Auges. Klin. Mbl. Augenheilk. 69, 642 (1922). — NEUSCHÜLER, A.: Simpatico e tensione oculare. Ann. Ottalm. 28, 314 (1899). — NICATI, W.: La glande de l'humeur aqueuse. Arch. d'Ophthalm. 10, 481 (1890); 11, 24, 152 (1891). — NIESNAMOFF, E.: Über die quantitativen Verhältnisse der Filtration und Sekretion des Kammerwassers. Graefes Arch. 42, (4) 1 (1896). — NUEL, J. P.: De la concentration moléculaire des liquides intraoculaires à l'état normal et à l'état pathologique. Arch. d'Ophthalm. 25, 732 (1905). — NUEL, J. P. et F. BENOIT: Des voies d'élimination des liquides intra-oculaires hors de la chambre antérieure et au fond de l'oeil (nerf optique etc.). Arch. d'Ophthalm. 20, 161 (1900).

OLLENDORFF, A.: Über die Rolle der Mikroorganismen bei der Entstehung der neuro-paralytischen Keratitis. Graefes Arch. 49, 455 (1900). — OVIO, G.: Considerazioni sulla nutrizione del vitreo. Atti II. Congr. med. internat. 6, 85 (1895).

PAGENSFECHER, H.: Diskussionsbemerkung. Ber. 11. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1878, 92. — PANAS: Leçons sur les kératites, précédées d'une étude sur la circulation, l'innervation et la nutrition de l'oeil, et des divers moyens de traitement employés contre les ophtalmies en général, redigées par L. Buzot, 184. Paris: A. Delahaye 1876. — PARSONS, J. H.: The vasomotor nerves of the eye. J. of Physiol. 29, 12 (1903). — PAUTZ, W.: Beiträge zum Chemismus des Glaskörpers und des Humor aqueus. Z. Biol. 30, Nr 1, 212; Inaug.-Diss. Marburg 1894. — PFLÜGER, E.: Zur Lehre von der Bildung des Kammerwassers und seinen quantitativen Verhältnissen. Graefes Arch. 64, 445 (1906). — PRINKE, TH.: Über Tuscheinjektionen am Augapfel. Klin. Mbl. Augenheilk. 41, Beil.-H. 365 (1903). — PRIESTLEY SMITH: On the escape of fluid from the aqueous and vitreous chambers under different pressures. Ophthalm. Rev. 7, 193 (1888).

RADOS, A.: (a) Untersuchungen über die chemische Zusammensetzung des Kammerwassers des Menschen und der Tiere. Graefes Arch. 109, 342 (1922). (b) Über Ernährung des Auges. Verh. außerordentl. Tagg ophthalm. Ges. Wien, 4., 5. u. 6. Aug. 1921, 268, (1922). — REDSLOB, E. et P. REISS: Sur les variations expérimentales du tonus oculaire en relation avec les propriétés physico-chimiques du corps vitré. C. r. Soc. Biol. Paris 99, 1586 (1928). — RISSLING, P.: Die physiologischen Schwankungen des osmotischen Druckes im normalen Tierserum mit besonderer Berücksichtigung der osmotischen Druckverhältnisse der intraokularen Flüssigkeiten. Arch. Augenheilk. 59, 239 (1908). — RÖMNER, P.: (a) Arbeiten aus dem Gebiet der sympathischen Ophthalmie. II. Experimentelle Untersuchungen zur Frage der Reizübertragung und Disposition bei sympathischer Ophthalmie. Graefes Arch. 56, 439 (1903). (b) Die Pathogenese der Cataracta senilis vom Standpunkt der Serumforschung. I. Der Altersstar als Cytotoxinwirkung und das Gesetz der Cytotoxinretention durch die sekretorischen Apparate des Auges. Graefes Arch. 60, 175 (1905). (c) Arbeiten aus dem Gebiet der sympathischen Ophthalmie. Arch. Augenheilk. 54, 207 (1906). (d) Die Pathogenese der Cataracta senilis vom Standpunkt der Serumforschung. III. Die physiologischen Schwankungen des osmotischen Druckes der intraokularen Flüssigkeit in ihren Beziehungen zum osmotischen Druck des Bluteserums. Arch. Augenheilk. 56, Erg.-H., 150 (1907). (e) Vollendung der Serumtherapie des Ulcus serpens. Verh. ophthalm. Ges. Heidelberg 1907, 28. (f) Experimentelles über

Hypotonie. Ber. 42. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg 1920, 55. — RUBEN, L.: Beiträge zur Lehre vom Augendruck und vom Glaukom. Graefes Arch. 86, 258 (1913). — RUBERT, J.: Über den Einfluß des Adrenalins auf den intraokularen Druck. Z. Augenheilk. 21, 97 (1909).

SAMKOVSKY, J.: Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung subkonjunktivaler Dionininjektionen auf das normale Auge. Arch. Ophthalm. (russ.) 3, 488 (1927); Ref. Zbl. Ophthalm. 19, 214 — SCALINCI, N.: (a) Recherches sur les qualités physicochimiques de l'humeur aqueuse. Arch. ital. de Biol. (Pisa) 50, 123 (1908). (b) Untersuchungen über die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Humor aqueus. Arch. Augenheilk. 57, 214 (1907). (c) Ricerche sulla reazione dei liquidi oculari. Arch. di Sci. biol. 6, 341 (1924). — SCHIECK, F.: Die Beziehungen der Irisvorderfläche zum Kammerwasser. Ber. 43. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Jena 1922, 39. — SCHIÖTZ, H.: Tonometrie. Arch. Augenheilk. 62, 317 (1908); 68, 77 (1910). — SCHMELZER, H.: Experimentelle Blutalkalosis und Augendruck. Graefes Arch. 118, 1, 195 (1927). — SCHMIDT-RIMPLER: Diskussion zum Vortrag von K. GRUNERT: Die Behandlung des Glaukoms durch Sympathicusresektion. Ber. 28. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1900, 29. — SCHÖLER u. UHTHOFF: Das Fluorescein in seiner Bedeutung für den Flüssigkeitswechsel des Auges. Jahresber. über die Wirksamkeit der Augenklinik von Prof. Dr. H. SCHÖLER im Jahre 1881. Berlin. — SCHULTÉN, M. W. VON: Experimentelle Untersuchungen über die Zirkulationsverhältnisse des Auges und über den Zusammenhang zwischen den Zirkulationsverhältnissen des Auges und des Gehirns. Graefes Arch. 30 III, 1 (1884). — SCHULZE, E.: Über den Einfluß der Bierschen Halsstauung auf den intraokularen Druck. Z. Augenheilk. 17, 222 (1907). — SCHWALBE, G.: (a) Untersuchungen über die Lymphbahnen des Auges und ihre Begrenzungen. Arch. mikrosk. Anat. 6, 1, 261 (1870). (b) Über Lymphbahnen der Netzhaut und des Glaskörpers. Ber. sächs. Akad., 1. Juli 1872. — SEIDEL, E.: (a) Über die Beteiligung der Iris bei der Kammerwasserabsonderung nach gemeinschaftlich mit TH. LEBER angestellten Versuchen. Ber. 40. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1916, 431. (b) Zur Physiologie des intraokularen Flüssigkeitswechsels. Ber. 41. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1918, 44. (c) Über den physiologischen Pupillenabschluß. Graefes Arch. 95, 210 (1918). (d) Experimentelle Untersuchungen über die Quelle und den Verlauf der intraokularen Saftströmung. Graefes Arch. 95, 1 (1918). (e) Weitere experimentelle Untersuchungen über die Quelle und den Verlauf der intraokularen Saftströmung. I. Teil Über den „physiologischen“ Pupillenabschluß und die vitale Ciliarkörperfärbung. Graefes Arch. 101, 383 (1920). (f) Weitere experimentelle Untersuchungen über die Quelle und den Verlauf der intraokularen Saftströmung. 2. Mitt. Die Protoplasmastruktur der Ciliarepithelien als Kennzeichen ihrer physiologischen Funktion. Graefes Arch. 102, 189 (1920). (g) Weitere experimentelle Untersuchungen über die Quelle und den Verlauf der intraokularen Saftströmung. 3. Mitt. Über den Vorgang der physiologischen Kammerwasserabsonderung und seine pharmakologische Beeinflussung. Graefes Arch. 102, 366 (1920). (h) Weitere experimentelle Untersuchungen über die Quelle und den Verlauf der intraokularen Saftströmung. 9. Mitt. Über den Abfluß des Kammerwassers aus der vorderen Augenkammer. Graefes Arch. 104, 357 (1921). (i) Weitere experimentelle Untersuchungen über die Quelle und den Verlauf der intraokularen Saftströmung. 19. Mitt. Über die von MAGNUS und STRÜBEL angeblich nachgewiesenen Lymphgefäße im Bereich der Irisvorderfläche und des Kammerwinkels. Graefes Arch. 111, 196 (1923). (k) Neuere Anschauungen über den intraokularen Flüssigkeitswechsel und die Entstehung des Augendruckes. Klin. Mbl. Augenheilk. 80, 721 (1928). — SERR, H.: (a) Über den Blutdruck in den intraokularen Gefäßen. Graefes Arch. 119, 6 (1927). (b) Kritisches und Experimentelles zur Theorie des Augendruckes und seine Beziehung zum intraokularen Blutdruck. Graefes Arch. 121, 781 (1929). — SILEX, P.: Zur Temperaturtopographie des Auges und über warme und kalte Umschläge. Arch. Augenheilk. 26, 141 (1893). — SOCOR: Contribution à l'étude de la tension intraoculaire. Journ. de Physiol. et Path. gén. 7, 234 (1905). — STEIN, E.: Eine neue Methode zur Messung des Augendruckes. Arch. Augenheilk. 87, 197 (1921). — STOCK, W.: (a) Ein klinischer Beitrag zur Frage der Sekretion des Kammerwassers nach Punktion der Vorderkammer. Klin. Mbl. Augenheilk. 43 I, 86 (1905). (b) Bemerkung zum Verhalten des Kammerwassers bei zirkulärem Pupillarabschluß. Klin. Mbl. Augenheilk. 47 II, 602 (1909). — STRAUB, M.: Über Hyalitis und Cyclitis. Graefes Arch. 86, 1 (1913). — STÜBEL, ADA: Über die Lymphgefäße des Auges. Graefes Arch. 110, 109 (1922).

TITSUO, AHE u. KOMURA: Experimente über den Kammerwasserwechsel, besonders über den Einfluß des Lidschlages auf denselben. Graefes Arch. 121, 304 (1928). — TOBLER, TH.: Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung der hinteren Sclerotomie. Arch. Augenheilk. 38, 93 (1898). — TRON, E.: Chemische Untersuchungen über die Natur der intraokularen Flüssigkeiten. Graefes Arch. 117, 677 (1926); 118, 713 (1927); 119, 659 (1928). — TÜRK, S.: Untersuchungen über eine Strömung in der vorderen Augenkammer. Graefes Arch. 64, 481 (1906).

ULBRICH, H.: Bemerkungen zu der Arbeit von Dr. G. WINSELMANN: „Ein klinischer Beitrag zur Frage der ständigen freien Kommunikation zwischen vorderer und hinterer Augenkammer“. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **47 II**, 600 (1909). — ULBRICH: (a) Über die Abflüsse des Glaskörpers. *Wien. klin. Wschr.* **1896**, Nr 53. (b) Neue Untersuchungen über die Lymphströmung im Auge. *Arch. Augenheilk.* **20**, 270 (1889). — URBANEK, J.: Ein klinischer Beitrag zur Kenntnis der intraokularen Druckschwankungen. *Verhandl. d. außerordentl. Tagg ophthalm. Ges. Wien*, 4., 5. u. 6. Aug. **1921**, 133 (1922). — URIBE Y TRONCOSO, M.: (a) Pathogénie du glaucome. *Annales d'Ocul.* **126**, 401 (1901). (b) Recherches expérimentales sur la filtration de liquides salins et albumineux à travers la chambre antérieure, et son rôle dans la genèse du glaucome. *Annales d'Ocul.* **133**, 5 (1905). (c) La filtration dans l'oeil vivant et la nature véritable du canal de Schlemm. *Annales d'Ocul.* **142**, 237 (1909). (d) Neue Untersuchungen über die Saftströmung im lebenden Auge und in anderen Organen und ihre Messung. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **53**, 1 (1914).

VIRCHOW: Notiz über den Glaskörper. *Virchows Arch.* **4**, 468 (1852).

WAGENMANN, A.: (a) Experimentelle Untersuchungen zur Frage der Keratoplastik. *Graefes Arch.* **34**, (1) 211 (1888). (b) Aussprache zu den Vorträgen IV.-VII. Ber. 42. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1920**, 64. — WALLENBERG, A.: Zur Physiologie der spinalen Trigeminiwurzel. *Neur. Zbl.* **15**, 873 (1896). — WEBER: Diskussion zum Vortrag ADAMÜK: Noch einige Bemerkungen über den Intraokulardruck. *Sitzgsber.* **3**, 19. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **6**, 395 (1868). — WEBER, A.: Die Ursache des Glaukoms. *Graefes Arch.* **23** (1), 1 (1877). — WEBER, C.: Nonnullae disquisitiones, quae ad facultatem oculi rebus longinquis et propinquis accommodans spectant. *Diss. Marburg* 1850. — WEEKERS, L.: Contribution à l'origine de l'humeur aqueuse. *Arch. internat. Physiol.* **18**, 200 (1921). — WEGNER: Experimentelle Beiträge zur Lehre vom Glaukom. *Graefes Arch.* **12**, 1 (1866). — WEGNER, J.: Ein weiterer Beitrag zur Tonometrie sowie Bestimmung des intraokularen Druckes am normalen Auge mit dem Tonometer von SCHIÖTZ in bezug auf die verschiedenen Lebensalter. *Arch. Augenheilk.* **68**, 290 (1910). — WEISS, O.: (a) Die Lehre von der intraokularen Flüssigkeitsströmung ist nicht begründet. *Arch. f. Physiol.* **115**, 602 (1906). (b) Der intraokulare Flüssigkeitswechsel. *Z. Augenheilk.* **25**, 1 (1911). (c) Der Druck in den Wirbelvenen des Auges. *Z. Augenheilk.* **43**, 141 (1920). (d) Der Flüssigkeitswechsel des Auges. *Pflügers Arch. Physiol.* **199**, 462 (1923). — WESSELY, K.: (a) Experimentelle Untersuchungen über Reizübertragung von einem Auge zum andern. *Graefes Arch.* **50**, 123 (1900). (b) Der Flüssigkeits- und Stoffwechsel des Auges mit besonderer Berücksichtigung seiner Beziehungen zu allgemein physiologischen und biologischen Fragen. *Erg. Physiol.* **4**, 565 (1905). (c) Über ein neues Verfahren der graphischen Registrierung des Augendruckes und einige mit ihm erhaltene Resultate. Ber. 33. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1906**, 361. (d) Demonstration eines Apparates zur graphischen Registrierung des Augendruckes, sowie Demonstration von Augendruckkurven. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **45**, I, 228 (1907). (e) Wirkung der intravenösen Adrenalininjektionen auf den Augendruck. *Arch. Augenheilk.* **60**, 38 (1908). (f) Experimentelle Untersuchungen über den Augendruck, sowie über qualitative und quantitative Beeinflussung des intraokularen Flüssigkeitswechsels. *Arch. Augenheilk.* **60**, 97 (1908). (g) Über die Wiederherstellung der normalen Blutversorgung des Auges nach Carotisunterbindung. *Münch. med. Wschr.* **1909**, 688. *Sitzgsber. physik.-med. Ges. Würzburg* **1908**, 79. (h) Über Versuche am wachsenden Auge. *Münch. med. Wschr.* **56**, 2249 (1909). (i) Über den intraokularen Flüssigkeitswechsel. *Z. Augenheilk.* **25**, 315 (1911). (k) Über den Einfluß der Augenbewegungen auf den Augendruck. *Arch. Augenheilk.* **81**, 102 (1916). (l) Bemerkungen zu einigen Streitfragen aus der Lehre vom intraokularen Flüssigkeitswechsel. *Arch. Augenheilk.* **88**, 217 (1921). — (m) Die Methodik der Kammerwasseruntersuchung und der Kammerwasserersatz bei Mensch und Versuchstier nach gemeinsam mit Dr. C. FASSIN angestellten Untersuchungen. *Arch. Augenheilk.* **93**, 184 (1923). — WINSELMANN, G.: Ein klinischer Beitrag zur Frage der ständig freien Kommunikation zwischen vorderer und hinterer Augenkammer. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **47 II**, 203 (1909). — WITGENSTEIN, A. u. A. GAEDERTZ: Über den Milchsäuregehalt des Kammerwassers. *Experimentelle Untersuchungen. I. Mitteilung. Biochem. Z.* **176**, 1 (1926). — WOLF, H.: Zur Morphologie des Kammerwassers. *Arch. Augenheilk.* **90**, 29 (1921).

YUDKIN, A. M.: The formation of the aqueous humor. Its relation to intraocular and vascular pressures. *Arch. of Ophthalm.* **1**, 435 (1929). (Zusammenfassendes Referat.) — YUDKIN, A. M., A. C. KRAUSE, H. H. GOLDSTEIN and M. B. BERMAN: A chemical study of the normal aqueous humor. *Proc. Soc. exper. Biol. a. Med.* **24**, 451 (1927).

# Die morphologischen Veränderungen der Netzhaut durch Lichtwirkung.

Von

KARL VOM HOFE-Köln.

Mit 3 Abbildungen.

## I. Die Veränderungen an den Zapfen.

Die morphologischen Veränderungen an der Netzhaut unter dem Einfluß des Lichts spielen sich sowohl im lichtperzipierenden als auch im erregungsleitenden Apparat ab.

**Kontraktion der Zapfen.** Am auffallendsten zeigt sich die Lichtwirkung an den Zapfen, speziell am *Zapfeninnenglied*. Dieses verkürzt und verdickt sich ähnlich wie der Muskel, wie VAN GENDEREN STORT zuerst fand. Nach ENGELMANN wird dieser Teil daher als Myoid bezeichnet.

Die Kontraktionsvorgänge an den Zapfen äußern sich im einzelnen folgendermaßen. Bei Fröschen, die im Dunkeln gehalten werden, sind die Zapfen so weit ausgestreckt, daß sie ein großes Stück in die Stäbchenschicht gegen das Pigmentepithel hin ragen. Nach einer Belichtung dagegen sitzen sie infolge der Verkürzung ihrer Innenglieder nahe der Membrana limitans externa. Die Ellipsoide der Zapfen erscheinen außerdem nach der Belichtung schmäler und kürzer als bei Dunkelfröschen, eine Formveränderung, die rein passiv entsteht, insofern als beim gestreckten Zapfen das rundliche Ellipsoid durch den Druck der Stäbchen plattgedrückt wird. Nach ANGELUCCI (d) allerdings sind Außenglieder und Ellipsoide der Zapfen aktiv an der Kontraktion beteiligt. Jedoch hat sich später auch CHIARINI (a) auf Grund eigener Beobachtungen für eine rein passive Formveränderung der Ellipsoide ausgesprochen. (Abb. 1a, b).

Die Kontraktionsvorgänge an den Zapfen werden bei den verschiedensten Tierarten beobachtet. Schon VAN GENDEREN STORT sah sie bei der Taube und beim Schwein; doch ist ihre Stärke verschieden, bei der Taube z. B. wesentlich geringer als beim Frosch. Er hat sie auch für das menschliche Auge auf Grund seiner Beobachtung eines DunkelAuges angenommen, bei dem er eine Myoidlänge von  $6,9 \mu$  fand. Demgegenüber ist jedoch darauf hinzuweisen, daß die menschlichen Zapfen nach GREEFF von der Fovea gegen die Ora serrata hin ganz verschiedene Länge haben, so daß sich, wie GARTEN ausführt, eine Entscheidung nur beim Vergleich genau einander entsprechender Stellen des Hell- und DunkelAuges fällen ließe.

Um die Frage einigermaßen zu klären, stellte GARTEN Beobachtungen am Affenauge an, das dem menschlichen Auge immerhin am ähnlichsten ist. Dabei fanden sich aber zwischen Hell- und Dunkelauge nur minimale Unterschiede, und GARTEN nimmt an, daß diesen Bewegungsvorgängen keine besondere Bedeutung mehr beizumessen sei. CHIARINI (a) lehnt eine Zapfenkontraktion auf Grund seiner negativen Ergebnisse am Hundeauge für das Säugetier überhaupt ab, geht damit aber wohl zu weit.

Besonderer Beachtung bedarf die Frage, welche Beziehungen zwischen der Zapfenkontraktion und der zahlenmäßigen Verteilung von Stäbchen und Zapfen bestehen. Nach ENGELMANN ist an der stäbchenfreien Netzhaut der Ringelnatter die Formveränderung

der Zapfen sehr gering. Dasselbe scheint bei *Testudo graeca*, deren Netzhaut nach ANGE-  
LUCCI und BOLL stäbchenfrei ist, der Fall zu sein. Bei Eidechsen, die keine Stäbchen besitzen,  
ist sie ganz unbedeutend (CHIARINI). Auch bei dem von GARTEN untersuchten Chamäleon-  
auge ist sie minimal. Neuerdings hat DETWILER eine in China lebende Eidechsenart, *Eremias*  
*argus*, die lediglich Zapfen besitzt, untersucht und dabei ebenfalls nur schwache Bewegungsvorgänge  
festgestellt. Anders liegen die Verhältnisse bei den stäbchenreichen Netzhäuten.  
So zeigen Fische, deren Netzhäute sehr feine und zahlreiche Stäbchen besitzen, die umfang-  
reichsten Kontraktionen, was durch VAN GENDEREN STORT schon festgestellt wurde, mit  
Ausnahme vom Aal, bei dem nach GARTEN die Zapfen unter allen Umständen dicht über  
der *Membrana limitans externa* stehen. Auch bei den Amphibien ist die Kontraktion sehr  
ausgesprochen, ebenso bei den Vögeln. GARTEN beobachtete dies z. B. an der stäbchen-

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß  
von vereinzelt Ausnahmen abgesehen,  
*bei allen Tierarten Kontraktionen der Zapfen  
nach Lichteinwirkung zu beobachten sind.*  
Der Umfang der Kontraktion ist verschie-  
den. Bei reinen Zapfenaugen ist sie sehr  
gering oder fehlt unter Umständen ganz.

Die zeitlichen Verhältnisse des Kon-  
traktionsvorganges sind zuerst von ENGEL-  
MANN studiert worden. Nach ihm sind bei  
Dunkelfröschen schon mehrere Minuten  
nach der Einwirkung hellen Tageslichtes  
die Zapfen maximal kontrahiert. Bei  
direkter Besonnung erfolgt der Vorgang  
noch rascher.

Die nach der Verdunkelung eintretende  
*Streckung der Zapfen* verläuft langsamer.

ANGELUCCI (d) gibt 5 Minuten für die Dauer des Kontraktionsvorganges nach Einwir-  
kung von Kerzenlicht an. Nach PERGENS tritt bei *Leuciscus* die erste merkliche Zapfenkon-  
traktion schon nach einer Minute Belichtung ein, und nach 5 Minuten ist gegenüber einer  
dauernd belichteten Netzhaut kein Unterschied mehr zu erkennen. Umgekehrt ist nach  
Verdunkelung die Verlängerung der Zapfen schon nach einer Minute erkennbar. Nach  
5 Minuten ist sie sehr stark und nach 20 Minuten höchstgradig. PERGENS benutzte zur  
Belichtung Sonnenlicht und sehr helles Tageslicht, nachdem die Fische vorher 48 Stunden  
im Dunkeln gehalten worden waren. Die Fischköpfe wurden uneröffnet in Salpetersäure  
geworfen und darin 24 Stunden bei der angegebenen Beleuchtung aufbewahrt. WEISS  
hat unter GARTEN an Weißfischen festgestellt, daß unter diesen Bedingungen auch nach  
der Köpfung noch Bewegungsvorgänge in der Netzhaut auftreten können. In diesem Punkte  
sind jedoch die Ergebnisse der verschiedenen Autoren nicht einheitlich. AREY fand bei  
Dunkelfischen nach dem Abschneiden des Kopfes vor der Fixierung keinen Einfluß der  
Belichtung mehr. Jedoch machte der Zwergwels eine Ausnahme. Die Versuche, bei Hell-  
fischen Dunkelstellung nach der Dekapitation zu erzielen, fielen bei *allen* untersuchten  
Fischen negativ aus. Auch WUNDER (a) fand bei den von ihm untersuchten Fischen (Gründ-  
ling, Stichling und Schleie) unter den erwähnten Bedingungen keine Veränderung. Als  
notwendig zur Ausbildung der Hellstellung wurden von ihm für den Stichling 5 Minuten,  
für den Gründling 20 Minuten Lichteinwirkung ermittelt. Die Widersprüche in den Ergeb-  
nissen der Autoren erklären sich wohl zum Teil aus dem individuell verschiedenen Ver-  
halten des Gewebes hinsichtlich des Überlebens.

Über den Einfluß von Stärke und Dauer der Belichtung hat jüngst WUNDER (b)  
quantitative Untersuchungen angestellt. Andeutungsweise gehen schon ANGE-  
LUCCI und PERGENS auf diese Frage ein, ebenso hat WEISS unter GARTEN einen  
kurzen Beitrag geliefert. WUNDER fand bei Versuchen mit Gründlingen, daß  
sich hier die Zapfen schon bei der sehr schwachen Beleuchtung von 1/180 Hefner-  
kerze kontrahieren. Bei noch schwächeren Intensitäten taten es nur die Zapfen

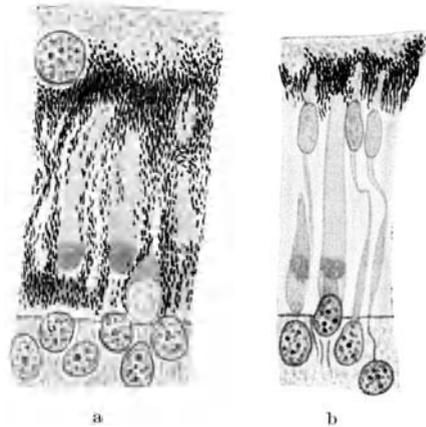


Abb. 1. Frosch. Netzhaut. (Salpetersäure-  
MÜLLER-Fixierung). Vergr. etwa 625fach.  
(Nach S. GARTEN.) a Hellstellung von  
Pigment und Zapfen; b Dunkelstellung.

der unteren Netzhautgegend, deren Empfindlichkeit größer sein soll. Die Zapfen dieser Tiere reagieren also nur noch unter Bedingungen, bei denen der Mensch nicht mehr imstande ist, Farben zu erkennen, mit anderen Worten, unter der Bedingung des Dämmerungssehens. Das hat auch GARTEN schon mitgeteilt.

**Einfluß von Lichtern verschiedener Wellenlänge.** Es interessiert weiterhin die Frage nach dem Einfluß farbiger Lichter. PERGENS experimentierte mit roten, gelben, grünen und blauen Lichtern von ungefähr gleicher Intensität. Zapfenkontraktion trat in jedem Falle ein. Bei niedrigen Intensitäten war sie im Rot am stärksten, im Blau am schwächsten. HERZOG sah ebenfalls Zapfenkontraktion durch rotes, grünes und blauviolett Licht, jedoch fand er gerade das letzte wirksamer als Rot, also das Gegenteil wie PERGENS. Der Widerspruch erklärt sich, abgesehen von der Verschiedenartigkeit der Versuchsobjekte und der Methodik, aus den verschiedenen langen Expositionszeiten. HERTEL stellte die Grenzen im Spektrum fest, bis zu denen eine Beeinflussung der Zapfen möglich ist. An der isolierten Frosch- und Fischnetzhaut ist am kurzwelligen Ende des Spektrums bis zu  $266\text{ m}\mu$  eine Kontraktion nachweisbar. Bei der in situ belassenen Netzhaut ist eine direkte Erregung nur bis zu  $396\text{ m}\mu$  festzustellen, weil kürzerwelliges Licht durch die Medien zu stark absorbiert wird. Am langwelligen Ende sind die Strahlen bis  $800\text{ m}\mu$  wirksam. Bei Strahlen von  $835\text{ m}\mu$  ist die Wirkung schon zweifelhaft; solche von  $850\text{ m}\mu$  sind unwirksam. Hieraus ergibt sich, daß für die Zapfenkontraktion die Wellenlänge des Lichtes praktisch keine Rolle spielt.

Hinsichtlich der Wirkung der Röntgenstrahlen fand GUGLIANETTI keine Veränderungen an den Zapfen, ebensowenig wie an den Stäbchen und der Stellung des Pigments.

**Einfluß des Adaptationszustandes.** Sowohl für die Versuche mit verschiedenfarbigen Lichtern als auch zur Feststellung des Schwellenreizes ist, abgesehen von der individuell verschiedenen Reaktionsfähigkeit der Arten, der Adaptationszustand wichtig.

WUNDER (b) ging bei seinen Untersuchungen von zweistündiger Dunkeladaptation aus und ließ dann Licht von bekannter Helligkeit einwirken. Dabei zeigte sich eine außerordentlich hohe Empfindlichkeit der Zapfen. So vollzieht sich der Übergang zur Kontraktion beim Hecht z. B. bei  $1/10$ , beim Gründling bei  $1/250$  Hefnerkerze. Die Unterschiede bei den einzelnen Arten sind sehr groß. v. FRISCH hatte vorher bei denselben Fischen und mit derselben Versuchsanordnung viel höhere Schwellenwerte für die Zapfenkontraktion gefunden. Der Grund für diesen Widerspruch ist darin zu suchen, daß er mit helladaptierten Tieren arbeitete. Ebenso sind die verschiedenen Resultate zu erklären, die AREY im Gegensatz zu GARTEN ermittelte, dessen Ergebnisse von WUNDER vollauf bestätigt werden. v. FRISCH und WUNDER fanden nun aber auch beim Gründling außerordentlich verschiedene Werte zu verschiedenen Jahreszeiten, weil nämlich in den einzelnen Jahreszeiten verschieden intensives Licht auf die Netzhaut einwirkt. „Im Winter, zur Zeit der geringen Lichtintensität, sind die Zapfen empfindlicher, im Sommer ist ihre Empfindlichkeit nach der intensiveren Bestrahlung geringer“.

**Wirkung nichtadäquater Reize.** Außer den adäquaten Lichtreizen beeinflussen auch andere Reize die Zapfen der Netzhaut. Nach ENGELMANN ist die Reaktion der Zapfen vom Zentralnervensystem abhängig. Wird beim Frosch nur ein Auge belichtet, so kontrahieren sich auch die Zapfen des anderen. Dies tritt nicht ein nach vorheriger Zerstörung des Gehirns. Vielmehr bleibt dann die Lichtwirkung auf die belichtete Seite beschränkt. Lichtstellung der Zapfen wird beim Frosch auch durch Bestrahlung des Rückens hervorgerufen, ebenso durch langsames Absterben der Tiere. ANGELUCCI (c) erzielte bei Fröschen durch alle möglichen Reize Lichtstellung, z. B. durch Druck auf ein Auge, Kneifen, Stechen usw. Die grundlegenden Beobachtungen ENGELMANNs sind in der Folgezeit mehrfach bestätigt worden, so von PERGENS an Fischen. NAHMACHER erzeugte durch Reizung des Opticus oder der freigelegten Netzhaut der einen Seite mit einem Kochsalzkristall

beim Frosch Zapfenkontraktion am anderen Auge. BIRCH-HIRSCHFELD (d) wies bei der Taube die Zapfenkontraktion auch im nicht belichteten Auge nach, jedoch war sie am direkt belichteten ausgeprägter.

Als Weg des Reizes müssen wir für alle diese Fälle den Opticus ansehen.

HERZOG fand auch bei 24 Stunden lang aufgebundenen Dunkelfröschen Hellstellung der Zapfen; ENGELMANN das gleiche nach Strychninvergiftung und Faradisierung des ausgeschnittenen Auges. Letzteres sah auch ANGELUCCI (c). GRADENIGO beobachtete, daß Wärme einen ähnlichen Einfluß hat wie das Licht, was HERZOG bestätigte. Nach ihm ruft auch Abkühlung auf 0° dieselben Erscheinungen hervor. AREY fand dies beim Frosch. Bei Fischen fand er nur niedrige Temperaturen wirksam. FUJITA kann sich auf Grund eigener Untersuchungen über Kältewirkung HERZOG nicht anschließen. Subkutane Adrenalininjektion bewirkt nach FUJITA Hellstellung der Zapfen. Bei Fischen sah WUNDER (a) Temperaturen von 7—18° C ohne Einfluß, ebenso solche von 20—24°. Dagegen war bei 3—5° C im Dunkeln deutliche Zapfenkontraktion zu sehen.

HERZOG nimmt einen tonischen Einfluß des Zentralnervensystems auf die Zapfenstellung an. Beim Frosch sind nach Zerstörung von Gehirn und Rückenmark die Zapfen übermäßig gestreckt. Diese Beobachtung konnte DITTLER nicht bestätigen. Auch GARTEN kam bei Nachprüfung der HERZOGSchen Versuche nicht zu diesem Ergebnis, sah jedoch nach Durchschneidung des Opticus eine starke Zapfenstreckung, was andererseits HAMBURGER vorher nur bei einzelnen Versuchen, in der Mehrzahl jedoch nicht gefunden hatte.

**Angriffspunkt des Reizes.** Im Hinblick auf die verschiedenartigen Ursachen, die eine Zapfenkontraktion auslösen können, erhebt sich die Frage nach dem Angriffspunkt des Reizes. ENGELMANN nimmt eine direkte Reizung des Zapfennengliedes als Voraussetzung für die Kontraktion an. DITTLER kommt auf Grund von Versuchen an isolierten Netzhäuten von Dunkelfröschen zu einer anderen Anschauung. Wurde von den in Ringerlösung aufbewahrten Netzhäuten nur ein abgegrenzter Streifen belichtet, so gelang es nie, die Zapfenkontraktion nur an dieser Stelle zu erhalten. Wurde dagegen von einer Netzhaut nur der äußere Zipfel, der außerhalb der Flüssigkeit lag, belichtet, so trat an dieser Stelle Zapfenkontraktion ein, die gegen das andere Ende allmählich in Zapfenstreckung überging. Außerdem beobachtete DITTLER, daß bei Netzhäuten, die in wenig Flüssigkeit lagen, die Zapfenkontraktion nach Belichtung leichter eintrat als bei denen in mehr Flüssigkeit. Auflegen einer frischen Dunkelnetzhaut auf eine belichtete verursachte in der Dunkelnetzhaut Zapfenkontraktion. Dasselbe geschah beim bloßen Einlegen einer Dunkelnetzhaut in RINGERLÖSUNG, in der vorher eine andere Netzhaut belichtet worden war. Auf Grund dieser Beobachtung kommt DITTLER zu der Annahme, daß, wenigstens an isolierten Netzhäuten, *chemische Stoffe die Zapfenkontraktion vermitteln. Gebildet werden diese Stoffe durch das Licht.*

## II. Die Veränderungen an den Stäbchen.

Nach KÜHNE quellen die Stäbchen der Froschnetzhaut nach ausreichender kräftiger Belichtung; Dunkelheit bewirkt darauf wieder eine Verkleinerung des queren Durchmessers der Stäbchen. ANGELUCCI (c) berichtet auch über eine Zusammenziehung der Stäbcheninnenglieder. Doch ist diese Angabe vielfach bestritten worden, wie überhaupt bei den Stäbchen die Verhältnisse keineswegs geklärt sind. Daher soll hier nur das Wichtigste hervorgehoben werden.

CHIARINI gibt an, daß bei keiner der fünf Klassen der Vertebraten eine Stäbchenkontraktion mit Sicherheit nachzuweisen sei. Zweifellos kommen aber bei einigen Tieren Stäbchenkontraktionen vor. So beschreibt VAN GENDEREN STORT bei Triton ein Wandern der Stäbchenkerne nach Belichtung. Im Dunkelauge ragen sie zum Teil über die Membrana limitans externa hervor. Nach Belichtung liegen sie sämtlich in der äußeren Körnerschicht. VAN GENDEREN STORT nimmt an, daß diese Verlagerung durch eine Kontraktion des Teils zwischen Stäbchenkern und Zwischenkörnerschicht zustande komme; ähnliches beobachtete ANGELUCCI beim Salamander, GARTEN ebenfalls beim Triton.

Diese Erscheinungen dürfen nicht verallgemeinert werden, weil sie bei vielen Tierarten sicher fehlen. So tritt bei der Taube, wie VAN GENDEREN STORT feststellte, durch Belichtung eine Streckung der Stäbchen ein, d. h. sie reagieren gerade entgegengesetzt wie die Zapfen. Das hat GARTEN bestätigt. Aus der Abb. 2 geht hervor, daß an gleichen Netzhautstellen im Dunkelauge die Stäbchenaußenglieder der Limitans näher stehen als im Hellauge, und zwar beträgt die Streckung der Stäbchen quantitativ ungefähr ebensoviel wie die Kontraktion der Zapfen,  $9 \mu$  gegen  $8,3 \mu$ . Nach GARTEN zeigt sich die Veränderung ganz besonders schön an der Hühnernetzhaut. Bei der Eule dagegen, wo die Stäbchen den Hauptteil der Sehzellen ausmachen, fehlt sie. VAN GENDEREN STORT sah sie auch bei der Krähe, so daß die Annahme GARTENS berechtigt erscheint, daß die Streckung der Stäbchen bei den Tagvögeln allgemein vorhanden ist.

Eine Verlängerung des Stäbcheninnengliedes durch Belichtung findet sich auch bei den Fischen. Das ist schon durch VAN GENDEREN STORT richtig erschlossen, von EXNER und JANUSCHKE und unabhängig von ihnen durch GARTEN direkt beobachtet worden (Abb. 2a u. b).

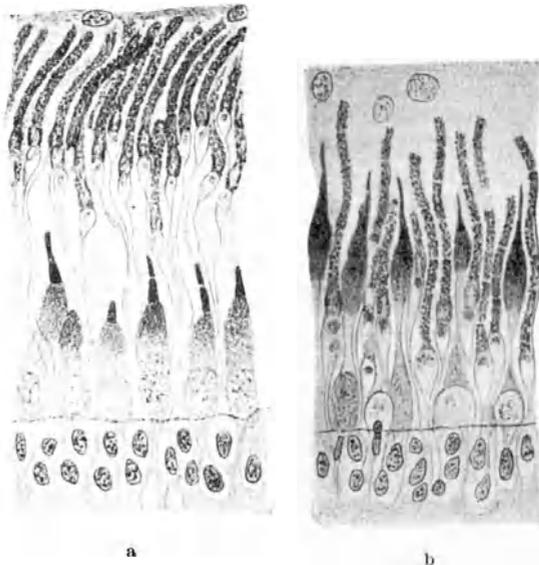


Abb. 2. Netzhaut vom Weißfisch. Fixierung: ZENKERSCHE Lösung. Vergr. 900fach. (Nach S. GARTEN.)  
a Hellstellung der Stäbchen; b Dunkelstellung.

Wahrscheinlich haben wir es auch bei der Stäbchenstreckung, ebenso wie bei der Zapfenkontraktion, mit einem aktiven Vorgang zu tun. An und für sich könnte die Streckung ja auch rein passiv durch die entgegengesetzte Bewegung der Zapfen zustande kommen. Dagegen aber spricht, worauf GARTEN hinweist, daß sie auch an der Netzhaut des Aals, wo die Zapfen auf der Limitans festsitzen, nachweisbar ist. Die Reaktion der Stäbchen tritt auch auf nicht adäquate Reize ein. Darauf braucht hier nicht näher eingegangen zu werden, weil die Verhältnisse ähnlich liegen wie bei den Zapfen (GRADENIGO, ANGIUCCI, PERGENS).

### III. Die Reaktion des Pigmentepithels.

**Pigmentwanderung.** Die Reaktion des Pigmentepithels ist die handgreiflichste: Im Hellauge löst sich die Netzhaut schwerer ab als im Dunkelauge, was zuerst v. CZERNY beschrieben hat. Auch die Pigmentwanderung ist schon von ihm beobachtet worden; beides allerdings nur nach starker Blendung der Versuchstiere. BOLL und KÜHNE entdeckten, daß auch bei physiologischer Lichteinwirkung in der Froschnetzhaut eine Pigmentwanderung eintritt. Nach längerem Lichtabschluß liegt das Pigment in den außerhalb der Stäbchen und Zapfen befindlichen Zellkörpern; bei Belichtung dagegen wandert es zwischen die Stäbchen, deren Außenglieder es in dichter Schicht umgibt.

Die Pigmentwanderung findet sich bei den *Wirbellosen* als einziges Zeichen der Lichtwirkung. Wir sehen sie weiter bei den *Cephalopoden*. Genauere Beobachtungen verdanken wir RAWITZ. Die langen schmalen Stäbchen der Cephalopoden, welche die innerste Schicht der Netzhaut bilden, liegen bei Dunkelheit in ihrer ganzen Länge frei, und das Pigment findet sich skleralwärts an ihrem Sockel. Im Hellen dagegen sind sie vollkommen bis an ihr dem Licht entgegengerichtetes Ende mit Pigment umgeben. Es kann sich hier so stark anhäufen, daß das Eindringen des Lichts in die Stäbchen unmöglich wird. Weitere Beobachtungen am Cephalopodenaugelieferte v. HESS (a). Die Pigmentwanderung ließ sich schon

makroskopisch an der Färbung der Netzhaut erkennen. Bei vielen Tieren fand sich etwa in der Mitte der Netzhaut ein durch seine Färbung hervortretender Streifen, mit feineren und längeren Stäbchen ausgestattet als die übrigen Teile, der Streifen des deutlichen Sehens. Das Pigment, im Dunkeln skleralwärts gelegen, wanderte nach Lichteinwirkung bis zur Glaskörperseite vor, wo es sich knopfartig anhäufte und unter Umständen mit der Hyaloidea in innige Berührung kam. Im Streifen des deutlichen Sehens zog sich das Pigment bei Verdunkelung rascher zurück, während es umgekehrt bei Lichtwirkung langsamer vorwanderte. Übrigens konnte v. HESS (b) auch an der lebenden *Libelle* die Pigmentwanderung mit der Lupe aus der Braunfärbung des Augenhintergrundes nach Belichtung erschließen.

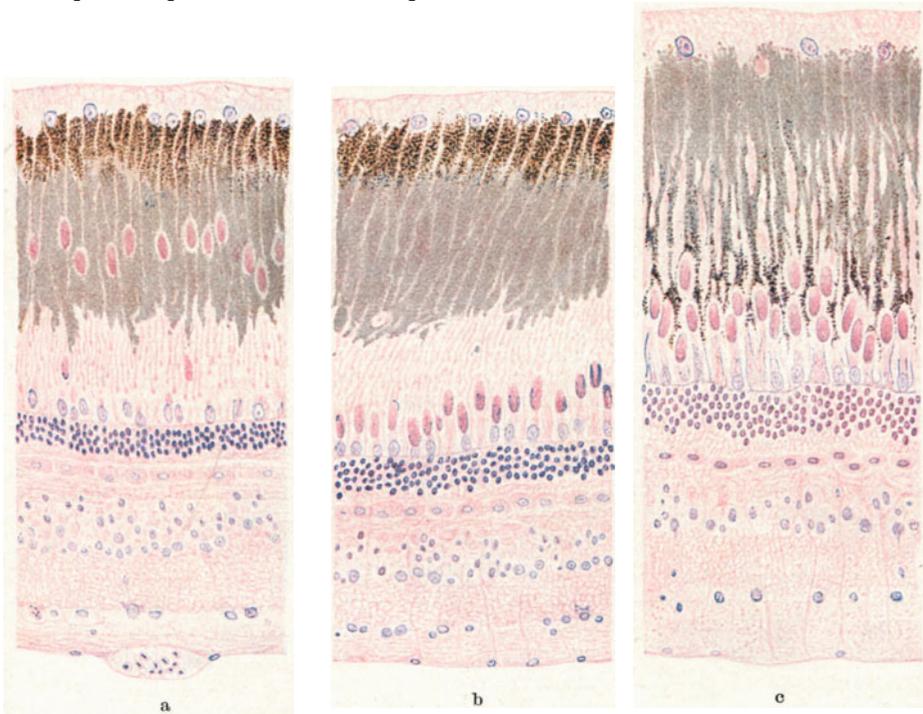


Abb. 3. Netzhaut vom Bley (*Abramis brama*). (Nach S. GARTEN.) a Lage des Pigments bei Dunkelheit; b Lage des Pigments bei Dämmerung; c Lage des Pigments bei Licht.

Bei den *Arthropoden* hat EXNER grundlegende Untersuchungen ausgeführt. Danach breitet sich das zwischen den Kristallkegeln des den Arthropoden eigenen Facettenauges gelegene Pigment im Licht über die Kristallkegel hinaus retinalwärts aus und blendet dadurch für das Supersitionsbild die seitlichen Strahlen ab. Bei Krebsen wandert das Netzhautpigment cornealwärts vor, während gleichzeitig das Iripigment die umgekehrte Bewegung eingeht. Auf diese Weise unterstützen sich die beiden Pigmente und machen aus dem Supersitionsbild das lichtschwächere Appositionsbild. Daneben wird durch die Pigmentwanderung das Tapetum, das die Wirkung schwachen Lichtes durch Reflexion unterstützt, ausgeschaltet.

Durch die Pigmentwanderung hört bei *Nachtschmetterlingen* das Augenleuchten nach einiger Zeit auf, wie LEYDIG schon beschrieben hat. Auch KÜHNE stellte fest, daß das Augenleuchten des Totenkopfes von der vorausgehenden Beleuchtung abhängig ist. EXNER fand, daß bei der Schneekranzule das Augenleuchten nach etwa 25 Minuten verschwindet.

Die Pigmentwanderung bei *Wirbeltieren* wurde von mehreren Autoren untersucht. Die Verhältnisse beim Frosch sind am Anfang dieses Kapitels bereits besprochen worden (S. 84). Sehr deutlich ist die Pigmentwanderung bei Fischen (VAN GENDEREN STORT, PERGENS, EXNER und JANUSCHKE, v. HESS). In neuerer Zeit hat sie WUNDER (a) bei verschiedenen Knochenfischen beobachtet.

Über die Frage, ob die Pigmentwanderung auch in *stäbchenlosen Netzhäuten* zustande kommt, sind die Ansichten geteilt.

BOLL und ANGELUCCI lassen sie unentschieden. CHIARINI hat die Wanderung bei der stäbchenlosen Eidechse festgestellt. GARTEN erhielt in gleichem Falle und bei der Schildkröte ein negatives Resultat, ebenso beim Chamaleon, das ein reines Zapfenauge besitzt. Im Gegensatz dazu will DERWILER sie bei Schildkröte und Eidechse gesehen haben. ABELSDORFFS Untersuchungen am Krokodil fielen negativ aus. Er arbeitete an jungen Tieren, und TRENDELENBURG wirft die Frage auf, ob hierin nicht der Grund für das negative Ergebnis liegt, da er bei ganz jungen, eben dem Larvenstadium entworfenen Fröschen stets vollständige Hellstellung des Pigments fand. Dieser entspricht aber auch die von ABELSDORFF gefundene unveränderliche Pigmentstellung am Krokodil.

Was die Vögel anbelangt, so hat VAN GENDEREN STORT die Pigmentwanderung bei der Taube nachgewiesen, und zwar in zapfenhaltigen und zapfenfreien Teilen der Netzhaut. Jedoch war sie in der nur zapfenhaltigen Fovea geringer. KRAUSE hält ihr Vorhandensein in diesem Teil der Netzhaut überhaupt für zweifelhaft; ähnlicher Ansicht ist auch ANGELUCCI. Außer bei der Taube ist die Pigmentwanderung noch beim Huhn und bei der Eule sicher nachgewiesen worden.

Ganz zweifelhaft sind die Verhältnisse bei den *Säugetieren*. Die Beobachtungen erstrecken sich hier größtenteils auf das mehr oder weniger feste Haften des Pigmentepithels an der Netzhaut, das aber an und für sich nach den Untersuchungen EWALDS und KÜHNES sehr wechselnd ist.

ANGELUCCI (a) fand beim albinotischen Kaninchen, daß nach Härtung der Augen in Osmiumsäure und Abziehen des Pigmentepithels dieses am Hellauge an der Unterfläche die hängengebliebenen Außenglieder in Gestalt dunkler Punkte aufweist. Am Dunkelaug ist dies, wie BOLL zeigte, nicht der Fall, und man sieht nur die gleichmäßigen Zellplatten. GARTEN konnte beim Affen trotz sehr rascher Fixierung keine eindeutige Pigmentwanderung finden. „Die Differenz im Pigmentepithel ist im günstigsten Falle gerade wahrnehmbar“. Ebenso wenig hat er bei anderen Säugetieren (Ochse, Kaninchen und Ratte) eine Veränderung im Pigmentepithel durch Licht feststellen können. Beim Affen fand sich entsprechend der mitgeteilten KÜHNESchen Beobachtung am Hellauge ein festeres und ausgedehnteres Haften des Pigmentepithels an der Netzhaut, während es im Dunkelaug nur in der Gegend der Fovea festhängt.

**Anatomische Grundlage der Pigmentwanderung.** Allgemein betrachtet, scheint es sich bei der Verschiebung des Pigments in der Hauptsache um eine Ortsveränderung innerhalb der Zellen zu handeln. Zum besseren Verständnis muß kurz auf die Anatomie eingegangen werden. Nach KÜHNE ist der skleralwärts gelegene Teil der Epithelzelle, die Kuppe, frei vom Pigment; der entgegengesetzte, die Basis, enthält Pigmentnadeln und amorphe Fuscinkörnchen. Aus der Basis entspringen zahlreiche feine Fortsätze, die nach ANGELUCCI (a) bis zur Limitans externa reichen. Die Zellkuppe birgt bei manchen Tieren Fetttropfchen und Myeloidkörner in sich, unter Umständen auch Öltröpfchen. Zwischen Kuppe und Basis liegen ein oder mehrere Körner. Bei ein und derselben Netzhaut ist das Pigment nicht überall gleich entwickelt. Die Zellen haben in den verschiedenen Teilen wechselnde Größe. In den Netzhäuten mit einer Fovea zeigt das Pigment an dieser Stelle charakteristische Veränderungen. Nach KÜHNE sind die Zellen in der menschlichen Fovea kleiner. GREEFF beschreibt sie als sehr schmal und sehr hoch, dunkler gefärbt und in innerer Verbindung mit den Sehzellen. Daraus ergibt sich eine schwerere Ablösbarkeit an dieser Stelle. Beim Frosch findet bei der Pigmentverschiebung anscheinend eine Auswahl zwischen den amorphen Körnchen und den Nadeln statt. Nach VAN GENDEREN STORT bewegen sich hauptsächlich die Nadeln, die Körner bleiben zurück. WUNDER (b) fand bei vielen Fischarten neben einem körnigen, wenig beweglichen ein stäbchenförmiges, bewegliches Pigment. Bei Tagfischen wurde vielfach fast ausschließlich stäbchenförmiges Pigment vorgefunden, während bei Dämmerungstieren das körnige überwo oder allein vorhanden war. — Im Dunkelaug erstreckt sich das Pigment nur um  $\frac{1}{3}$  oder  $\frac{1}{4}$  der Stäbchenlänge zwischen die Außenglieder. Nach der Belichtung häuft es sich

beim Frosch in geringer Entfernung von der *Limitans externa* an und breitet sich in der Hauptsache um die Zapfenellipsoide aus (VAN GENDEREN STORT, CHIARINI, HERZOG).

Die außer der Ortsveränderung des Pigments stattfindenden **Veränderungen an der Epithelzelle** sind nebensächlich und vielfach nicht sichergestellt. Daher mag eine kurze Andeutung genügen.

PERGENS beschreibt beim Weißfisch eine Kernwanderung in der Zelle, ANGELUCCI (c) dasselbe beim Frosch. Nach BOLL sind die Öltropfen der Pigmentzellen des Dunkel-frosches intensiv goldgelb gefärbt, während nach Belichtung auch blaßgelbe und farblose Tropfen beobachtet werden. ANGELUCCI und KÜHNE haben diese Angabe bestätigt. KÜHNE beschreibt außer der Abblassung noch einen Zerfall der Ölkugeln. Ähnliches sah GARTEN am Hellauge des Waldkauzes. Wie er ausführlich beschreibt, erfährt das Fuscin hier schon *intra vitam* eine Ausbleichung durch Licht. Die Beobachtungen KÜHNES machen es wahrscheinlich, daß diese Ausbleichung sich an dem Fuscin auswirkt, das *hinter* den Stäbchen liegt, weil von dem ins Auge tretenden Licht nur Spuren *zwischen* die Stäbchen und Zapfen gelangen. Dafür sprechen ähnliche Beobachtungen von PERGENS und CHIARINI. Dieser vermutet auch eine Regeneration des ausgebleichten Pigments in dem skleralen Teil der Epithelzelle. Ob dieser Verbrauch von Pigment durch eine Abgabe von Stoff zustande kommt — nach KÜHNE ist das Pigmentepithel an der Entstehung des Sehpurpurs beteiligt — oder ob es sich um eine direkte Lichtwirkung handelt, darüber bestehen nur hypothetische Anschauungen.

Mit der Verlagerung des Pigments geht auch eine Formveränderung der Epithelzelle einher. Nach ANGELUCCI verkürzt sie sich in der Stäbchenachse.

Über den **zeitlichen Verlauf der Pigmentwanderung** machte zuerst CHIARINI Mitteilungen. Bei Sonnenlicht tritt sie am Weißfisch nach einer Minute ein und dauert Stunden. Bei Verdunkelung beginnt die Rückwanderung erst nach 4—5 Minuten und ist innerhalb einer Stunde vollendet. Ähnliches beobachtete PERGENS.

Bezüglich der **Reizschwelle** fand GARTEN am Bley, daß bei einer Beleuchtung, bei der man noch keine Farben erkennt, das Pigment sich noch in Dunkelstellung befindet, während die Zapfenkontraktion schon beginnt. Bei einer Lichtstärke, bei der man eben Farben wahrnimmt, ist die Pigmentwanderung zwar sichtbar, aber noch nicht maximal. Derartige Unterschiede zwischen Pigment und Zapfen werden mehrfach beschrieben (ANGELUCCI, PERGENS, ENGELMANN, HERZOG). WUNDER berichtet, daß bei Herabsetzung der Beleuchtungsintensität das Pigment seine Reaktion eher einstellt als die Zapfen. SMITH hat bei dunkeladaptierten Fröschen Licht von 10, 25 und 50 Watt-Lampen — entsprechend 8, 9 und 35 Fußkerzen-Belichtung — einwirken lassen. Die Pigmentwanderung war schon bei der niedrigsten Lichtstärke festzustellen. Sie nahm zu mit dem Produkt von Intensität und Zeit.

**Reaktionen auf nicht adäquate Reize.** Ebenso wie bei den Zapfen gibt es auch am Pigmentepithel Reaktionen auf nicht adäquate Reize. Im großen und ganzen lassen sich die bei den Zapfen beschriebenen Einwirkungen auch auf das Pigmentepithel anwenden. Daher sollen hier nur die für dieses charakteristischen Reaktionen genannt werden.

v. HESS (a) beobachtete, daß Naphthalin im Pigmentepithel umschriebene Herde erzeugt, die einzelne Zellen mit Buckeln und Fortsätzen enthalten, und dann einen Zerfall des Pigments herbeiführt. Santonin ruft forcierte Hellstellung hervor und verzögert den Eintritt der Rückwanderung, wie SIVÉN und WENDT feststellten. Dementsprechend gab FILEHNE schon vorher ein sehr festes Haften des Pigmentepithels nach Santoninvergiftung und gleichzeitig eine dürrtligere Sehpurpurregeneration an. Außerdem werden auch Einflüsse der Jahreszeit in bezug auf die Reaktion des Pigmentepithels angeführt (HAMBURGER, SIVÉN, WENDT, DITTLER). BATSCHWAROWA gibt an, daß Einträufelung von Suparenin in den Bindehautsack Hellstellung bewirke. GILSON beobachtete nach Injektion von Adrenalin eine Ausdehnung der Pigmentfortsätze bei Dunkelfröschen. Ähnliche Resultate hat übrigens schon vorher WEISS erhalten, wie GARTEN in einer Fußnote (S. 87) mitteilt.

**Pigmentwanderung in Augen mit Tapetum.** Besonderer Beschreibung bedarf noch die Pigmentbewegung in solchen Augen, die ein Tapetum retinale besitzen.

Für die Beobachtung günstig sind besonders Fische mit Guanineinlagerungen in der Pigmentzelle. Diese finden sich oft nur in der oberen Hälfte des Bulbus (vgl. H. MÜLLER). KÜHNE und SEWALL fanden bei ihren Untersuchungen über die Pigmentwanderung am Bley, daß nach einer Belichtung nur das im oberen Teil des Bulbus befindliche Guanin liegen bleibt, während das Pigment sich an ihm vorbeibewegt. Im unteren guaninfreien Teile fehlte die Pigmentwanderung. Dasselbe sah ABELSDORFF beim Krokodil. Jedoch konnte er auch im oberen guaninhaltigen Teil keine Pigmentwanderung beobachten (vgl. oben S. 86). Demgegenüber fanden EXNER und JANUSCHKE am Bley, daß in einem dem Sonnenlicht 20—40 Minuten ausgesetzten Auge das Guanin sich weit nach vorn ausdehnt. Die mit Guanin gefüllten Fortsätze der Zellen reichen bis in die Höhe der Zapfenellipsoide, wo sich dann auch neben dem Guanin das Pigment befindet. Nach 1—1½ stündiger Verdunkelung schien die Tapetummasse aus der Umgebung des Kerns nach vorn zu rücken, so daß also zwei entgegengesetzte Bewegungen im Protoplasma abliefen: Das Pigment wandert im Dunkeln zurück, das Guanin schiebt sich vor. Jedoch waren diese Beobachtungen nicht eindeutig. WUNDERS Resultate am Dunkelauge des Zanders sprechen übrigens für eine Rückwärtsbewegung des Guanins. Eine vollkommene Klärung dieser Verhältnisse ist also bisher nicht zustande gekommen.

**Pigmentepithel und Sehpurpur.** Wie oben (S. 87) schon kurz angedeutet, schrieb KÜHNE dem Pigmentepithel die *Regeneration des Sehpurpurs* zu. PARINAUD hat dem gegenüber geltend gemacht, daß auch die stäbchenfreien Netzhäute eine Pigmentwanderung erkennen lassen, während nach GARTEN ihre Größe innerhalb der Fehlergrenzen liegt. Er ist vielmehr der Ansicht, daß auf Grund der anatomischen und physiologischen Verhältnisse des Pigmentepithels beim Säugetier dem Basalteil der Zellen nicht nur die Bildung des Sehpurpurs, sondern auch aller übrigen für die Funktion der Stäbchen und Zapfen nötigen Stoffe obliegt, und daß der Pigmentwanderung eine andere Bedeutung zukommt (s. auch diesen Band S. 107f.).

Ein Fundamentalfehler liegt nach GARTENS Meinung darin, die Pigmentwanderung mit der Hell- und Dunkeladaptation des Menschen in Beziehung zu bringen, weil einmal die Menge des Pigments im menschlichen Pigmentepithel sehr gering ist und außerdem nach den Erfahrungen am Säugetier eine Pigmentwanderung kaum in Betracht kommt. Wahrscheinlich handelt es sich hier um Vorgänge, die, obgleich bei niederen Tieren wichtig, bei höheren ihre Bedeutung verloren haben.

#### IV. Die Bedeutung der Bewegungsvorgänge in der Netzhaut.

Die Ansicht, daß die Pigmentkörner, die im Licht die Stäbchen- bzw. Zapfenaußenglieder umgeben, einen seitlichen Lichtaustritt aus den Sehelementen verhindern, kann nach GARTEN bei den Säugetieren nicht zutreffen, weil diese anscheinend ohne eine Pigmentwanderung auskommen. HELMHOLTZ hat für das menschliche Auge wahrscheinlich gemacht, daß die Totalreflexion in den Außengliedern einen Strahlenaustritt verhindert. GARTEN wies nach, daß auch bei niederen Tieren mit großem Öffnungswinkel der Strahlenkegel ein Austritt von Licht aus den Stäbchen nicht anzunehmen ist und besondere Schutzvorrichtungen überflüssig sind. Dagegen kann aus den Zapfen eine größere Menge Licht seitlich in die benachbarten Zellen übertreten, wenn die Zapfen breit sind und wie bei den Fischen ein stark lichtbrechendes Ellipsoid haben, oder wenn bei schlanken Zapfen die Strahlen durch Öltropfen an der Grenze des Außengliedes stark gebrochen werden. GARTENS Anschauung geht dahin, daß das Pigment die seitliche Lichtausbreitung in der Außengliederschicht

verhindere. Weiterhin seien die Zapfen durch sehr geringe Lichtintensität nicht mehr reizbar und räumten dann den Stäbchen das Feld. Damit bringt GARTEN die Duplicitätstheorie in Anwendung und nähert sich den schon von EXNER, JANUSCHKE und HERZOG geäußerten Gedankengängen.

## V. Die Veränderungen in der Gehirnschicht der Netzhaut.

G. MANN beobachtete an Hundenetzhäuten nach 12stündiger Belichtung eine Abnahme der Färbbarkeit der Kerne in den inneren Körnern. Das chromatische Material der Ganglienzellen verminderte sich, während ihr Kern und Volumen vergrößert erschienen, was BIRCH-HIRSCHFELD später bestätigt hat.

BACH konnte am Kaninchen nach Helladaptation mit künstlicher Lichtquelle an den inneren Körnern und den Ganglienzellen keine eindeutigen Unterschiede zwischen Hell- und Dunkelnetzhäuten feststellen. Positive Resultate erzielte BIRCH-HIRSCHFELD (a) an Kaninchen und Hunden nach maximaler Helladaptation im Sonnenlicht. Die Kerne der inneren Körner waren im Hellauge länglich-oval, im Dunkelauge rundlicher. Die NISSLSchen Körper der Ganglienzellen waren im Dunkelauge scharf begrenzt, ihre Grenzen im Hellauge dagegen schwerer festzustellen, und das Protoplasma färbte sich oft diffus blau mit. Hervorzuheben ist, daß diese fast immer zu konstatierenden Unterschiede sich nicht an jeder einzelnen Zelle zeigen, sondern der Gesamteindruck entscheidet. Viel auffälliger wurden die Veränderungen bei Blendung mit elektrischem Licht: Völliger Schwund der Nisslkörper, Schrumpfung von Zelle und Kern, Vakuolenbildung. Unabhängig von MANN und BIRCH-HIRSCHFELD fand CHIARINI bei Reptilien, Vögeln und Säugetieren Veränderungen an den Ganglienzellen, die sich bei Lazerta als Differenz in der Färbung der Nisslkörper, bei *Corvus cornix* in einer Verarmung an Nisslkörpern und beim Hunde in einer leichten Chromatolyse der Nisslkörper zeigten. Bei Fischen fand er keine Veränderungen, wie auch SCHÜPBACH hier negative Resultate erhielt. BIRCH-HIRSCHFELD (d) wies auch an der Taube eine Verarmung an Nisslkörpern und ein Undeutlichwerden ihrer Grenzen nach. Aber auch hier konnten die Resultate nur durch den Gesamteindruck beim Vergleich von Hell- und Dunkelnetzhäuten in einem Gesichtsfeld erhalten werden. Im Gegensatz zu den Bewegungsvorgängen im Neuroepithel werden also die Veränderungen der Gehirnschicht gerade bei Vögeln und Säugetieren deutlich, was auch GARTEN aus eigenen Beobachtungen bestätigt.

Viel intensiver als unter physiologischen Bedingungen zeigen sich die Veränderungen der Gehirnschicht unter der Einwirkung von *Röntgen-, Radium- und Ultraviolettbestrahlung*. Damit berühren wir aber schon das Gebiet der Pathologie (s. Kapitel Physikalische Therapie in Bd. 7 dieses Handbuches).

Wie schon oben angedeutet, lassen sich nach BIRCH-HIRSCHFELD (b) die experimentell durch ultraviolette Strahlen erzeugten Veränderungen als ein weiteres Stadium der bei der Helladaptation stattfindenden Chromatinverminderung der Nervenzellen auffassen. Der Unterschied liegt darin, daß nach der Ultraviolettbestrahlung Vakuolen auftreten. Die Veränderungen bilden sich im Laufe einiger Tage zurück. Es folgt ihnen ein besonders chromatinreiches Stadium (Pyknomorphie der Nervenzellen).

An der Taube fanden BIRCH-HIRSCHFELD und INOUE nach genügend langer Bestrahlung eine völlige Ausbleichung des Chromatins der Ganglienzellen und der inneren Körner.

Nach Röntgen- und Radiumeinwirkung kommt es zur Vakuolenbildung und Auflösung der NISSLSchen Körper, Schrumpfung des Kerns und Zerfall der ganzen Zelle. Besonders auffallend ist die frühzeitige Beteiligung des Kerns; die NISSLSchen Körper können unter Umständen in schon hochgradig veränderten Zellen noch relativ gut erhalten sein.

Die hier als Röntgen- und Radiumwirkung beschriebenen Veränderungen sind denen ähnlich, die nach intensiver Ultraviolettbestrahlung auftreten.

Diesen experimentell erhobenen Befunden reihen sich die in Fällen von Röntgen-schädigung beim Menschen beobachteten an. So fand BIRCH-HIRSCHFELD (e) in

einem Falle an den Ganglienzellen die gleichen Veränderungen wie beim Kaninchen. Außerdem stellte er zystenartige Räume, vornehmlich in den inneren Körnern fest, und zwar entsprechend der Maculagegend. FLASCHENTRÄGER beschreibt Vakuolenbildung in der Ganglienzellschicht, Auflösung und Schwund des Chromatins, unregelmäßige Anordnung der inneren Körner. Die Stäbchen und Zapfen waren teils normal, teils fand sich an ihrer Stelle ein unregelmäßiges Netz. Das Pigmentepithel war in Haufen angeordnet, fehlte oder bildete nur einen schmalen Saum. Grundsätzlich lassen sich also wohl die experimentellen Beobachtungen auf den Menschen übertragen, ein Schluß, zu dem auch SABBADINI auf Grund eigener Beobachtungen kommt.

## VI. Die Änderungen der Färbbarkeit der Netzhaut.

Hell- und Dunkelnetzhäute verhalten sich verschieden gegenüber histologischen Färbemethoden. Die wichtigsten Tatsachen sind bereits oben (S. 89) beschrieben worden. Wir können uns daher hier mit kurzen Hinweisen begnügen, zumal die Resultate der Autoren nicht einheitlich und die der verschiedenen Färbbarkeit zugrunde liegenden chemischen Vorgänge bisher nicht geklärt sind.

BIENBACHER fand in Versuchen, die er an Fischen, Fröschen und Salamandern anstellte, daß sich die Dunkelnetzhaut mit sauren Farbstoffen kräftiger färbt als die Hellnetzhaut. Auch Farbtondifferenzen wurden beobachtet (Färbung nach BIONDI-HEIDENHAIN; GARTEN): Die Zapfen des Hellauges erschienen grün, die des Dunkelauges gelb, was allerdings PERGENS nicht bestätigt. Nach Färbung mit Thionin oder Methylenblau sah PERLET eine Anhäufung von basophiler Substanz im Sehepithel der Taube. Sie lag im Hellauge zwischen den Außen- und Innengliedern der Stäbchen und Zapfen, im Dunkelauge dagegen in dem der Membrana limitans externa benachbarten Teil der Innenglieder. Die deutlichsten Veränderungen zeigen sich an den äußeren Körnern. Sie erscheinen in der Hellnetzhaut kleiner und länglich oval. Es handelt sich hier in der Hauptsache um eine Verarmung an Chromatin-Substanz bzw. deren andere Verteilung (CZERNY, ANGELUCCI, PERGENS u. a.). GARTEN hat diese Veränderung auch am Affen festgestellt.

Auf den Einfluß intensiver Lichteinwirkung usw. ist oben (S. 89) näher eingegangen worden.

### Literatur

#### *Zusammenfassende Darstellungen.*

DITTLER, R.: Die objektiven Veränderungen der Netzhaut bei Belichtung. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12, S. 266. 1929.

GARTEN, S.: Die Veränderungen der Netzhaut durch Licht. GRAEFE-SAEMISCHS Handbuch der gesamten Ophthalmologie, 2. Aufl., Bd. 3, Kap. 12, Anhang S. 1. 1907/1908.

NAGEL, W.: Die Wirkung des Lichtes auf die Netzhaut. Handbuch der Physiologie des Menschen, Bd. 3, S. 91. 1905.

TRENDELENBURG, W.: Die objektiv feststellbaren Lichtwirkungen an der Netzhaut. Erg. Physiol. 11, 1 (1911).

#### *Morphologische Veränderungen der Netzhaut durch Lichtwirkung.*

ABELSDORFF, G.: Physiologische Beobachtungen am Auge des Krokodils. Arch. f. Physiol. 1898, 154. — ANGELUCCI, A.: (a) Histologische Untersuchungen über das retinale Pigmentepithel der Wirbeltiere. Arch. f. Physiol. 1878, 353. (b) Una nuova teoria sulla visione. Acad. med. Roma, Sed. 14. Luglio 1884. (c) Untersuchung über die Sehtätigkeit der Netzhaut und des Gehirns. MOLESCHOTT'S Untersuchungen zur Naturlehre, Bd. 14. 1894.

(d) Physiologie générale de l'oeil. Encyclopédie française d'ophtalmologie, Tome 2, p. 106. 1905. — AREY, L. B.: The function of the efferent fibers of the optic nerve of fishes. J. comp. Neur. Philad. **26**, 121 (1916).

BACH, L.: I. Die Nervenzellenstruktur der Netzhaut in normalen und pathologischen Zuständen. II. Die menschliche Netzhaut nach Untersuchungen mit GOLGI-CAJALScher Methode. Graefes Arch. **41**, Abtlg. III, 62 (1895). — BATSCHWAROWA, S.: Untersuchungen über die Beeinflussung der Pigmentwanderung in der Froschnetzhaut durch lokale Anwendung von Adrenalin und Zeozon. Graefes Arch. **116**, 622 (1926). — BIRCH-HIRSCHFELD, A.: (a) Beitrag zur Kenntnis der Netzhautganglienzellen unter physiologischen und pathologischen Verhältnissen. Graefes Arch. **50**, Abtlg. I 166 (1900). (b) Die Wirkung der ultravioletten Strahlen auf das Auge. Graefes Arch. **58**, 469 (1904). (c) Die Wirkung der Röntgen- und Radiumstrahlen auf das Auge. Graefes Arch. **59**, 229 (1904). (d) Der Einfluß der Helladaptation auf die Struktur der Nervenzellen der Netzhaut nach Untersuchung an der Taube. Graefes Arch. **63**, 85 (1906). — BIRCH-HIRSCHFELD, A. u. INOUE, N.: Weitere Versuche über die Wirkung des ultravioletten Lichtes auf die Netzhaut. Pflügers Arch. **136**, 595 (1910). — BIRNBACHER, L.: Über eine Farbenreaktion der belichteten und unbelichteten Netzhaut. Graefes Arch. **40**, Abtlg. V, 1 (1894). — BOLL, Fr.: Thesen und Hypothesen zur Licht- und Farbenempfindung. Arch. f. Physiol. 1881, 1.

CHIARINI, P.: (a) Cambiamenti morfologici che si verificano nella retina dei vertebrati per azione della luce e della oscurità. Bull. Accad. med. Roma **30**, H. 3/4, 75 (1904); Arch. di Biol. **42**, 303 (1904). (b) Changements morphologiques qui se produisent dans la rétine des vertébrés par l'action de la lumière et de l'obscurité. 2. Partie. La rétine des reptiles, des oiseaux et des mammifères. Arch. de Biol. **45**, 337 (1906). — CZERNY, v.: Über Blendung der Netzhaut durch Sonnenlicht. Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. **56**, 409 (1867).

DETWILER, S. R.: Studies of the retina. Photomechanical responses in the retina of *Eremias argus*. J. of exper. Zool. **37**, 89 (1923). — DITTLER, R.: Über die Zapfenkontraktion an der isolierten Froschnetzhaut. Pflügers Arch. **117**, 295 (1907).

ENGELMANN, Th. W.: Über Bewegungen der Zapfen und Pigmentzellen der Netzhaut unter dem Einflusse des Lichtes und des Nervensystems. Pflügers Arch. **35**, 498 (1885). — EWALD u. W. KÜHNE: Untersuchungen über den Sehpurpur. III. Veränderungen des Sehpurpurs und der Retina im Leben. IV. Zur Chemie des Sehpurpurs. Unters. physiol. Inst. Heidelberg **1**, 370 (1878). — EXNER, S.: Durch Licht bestimmte Verschiebung des Pigmentes am Insektenauge. Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. **58**, 143 (1889). — EXNER, S. u. JANUSCHKE: Die Stäbchenwanderung im Auge von *Abramis brama* bei Lichtveränderungen. Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. **115** (1906).

FILEHNE, W.: Über die Einwirkung des Santonins und des Amylnitrits auf den Sehakt. Pflügers Arch. **80**, 96 (1900). — FLASCHENTRÄGER, H.: Beitrag zur Radium- und Röntgensschädigung des menschlichen Auges. Klin. Mbl. Augenheilk. **72**, 645 (1924). — FRISCH, K. v.: Sinnesphysiologie der Wassertiere. Verh. dtsch. zool. Ges. **29**, 21 (1924). — FUJITA, H.: Pigmentbewegung und Zapfenkontraktion im Dunkelauge des Frosches bei Einwirkung verschiedener Reize. Arch. vergl. Ophthalm. **2**, 164 (1911).

GENDEREN STORT, A. G. H. VAN: Über Form- und Ortsveränderungen der Netzhaut unter dem Einfluß von Licht und Dunkel. Graefes Arch. **33**, Abtlg. III, 229 (1887). — GILSON jr. A. S.: The diverse effects of adrenalin upon the migration of the scale pigment in the fish *Fundulus heteroclitus* Linn. Proc. nat. Acad. Sci. (U.S.A.) **8**, 130 (1922). — GRADENIGO, P.: Eine neue Theorie über den Sehakt. Allg. Wien. med. Z. **29/30**, 131 (1885). — GREEFF, R.: Die mikroskopische Anatomie des Sehnerven und der Netzhaut. GRAEFES-SÄEMISCHS Handbuch der gesamten Ophthalmologie, 2. Aufl., Bd. 1, 2. Abt., Kap. V, S. 91 f. u. 113 f. 1931. — GUGLIANETTI, L.: Intorno all'azione dei raggi Roentgen sulla retina. Arch. Ottalm. **16**, 507 (1909).

HAMBURGER, D. J.: Feestbundel a. F. C. Donders. Amsterdam, S. 285 (1888). Durchschneidung des Nervus opticus bei Fröschen in bezug auf die Bewegung von Pigment und Zapfen in der Netzhaut unter dem Einfluß von Licht und Dunkel (holländisch). Ref. Nagels Jber. **19**, 74 (1890). — HERTEL, E.: Weitere Mitteilung über die Erregbarkeit der Netzhaut durch Lichtstrahlen. Ber. 37. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1911**, 250. — HERZOG, H.: Experimentelle Untersuchungen zur Physiologie der Bewegungsvorgänge in der Netzhaut. Arch. f. Physiol. **1905**, 413. — HESS, C. v.: (a) Zur Physiologie und Pathologie des Pigmentepithels. Ber. 30. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1902**, 352. (b) Mikroskopische Beobachtung der phototropen Pigmentwanderung im lebenden Libellenocell. Z. Biol. **73**, 277 (1921).

KRAUSE, W.: Die Retina. Internat. Mschr. Anat. u. Physiol. **11**, 1 (1894). — KÜHNE, W.: Über den Sehpurpur. Unters. physiol. Inst. Heidelberg **1**, 15 (1877). — KÜHNE, W. u. H. SEWALL: Zur Physiologie des Sehepithels, insbesondere der Fische. Unters. physiol. Inst. Heidelberg **3**, 221 (1880).

MANN, G.: Histological changes induced in sympathetic, motor and sensory nerve cells by functional activity. *J. Anat. a. Physiol.* **29**, 100 (1895). — MÜLLER, H.: Hinterlassene Schriften zur Anatomie und Physiologie des Auges. Herausgeg. von O. BECKER, S. 144. Leipzig 1872.

NAHMACHER, W.: Über den Einfluß reflektorischer und zentraler Opticusreizung auf die Stellung der Zapfen in der Froschnetzhaut. *Pflügers Arch.* **53**, 375 (1893).

PARINAUD: La vision. *Étude physiologique*, p. 30. Paris 1898. — PERGENS, Ed.: Action de la lumière sur la rétine und *Ann. de la soc. r. des scienc. méd. et nat. Bruxelles V.* 1896 u. *Travaux de laboratoire de l'institut SOLVAY*, Tome 1, p. 1. 1896/97. — PERLET, G.: Der Einfluß des Lichtes auf die Netzhautelemente der Taube. *Z. Biol.* **52**, 365 (1909).

RAWITZ, B.: Zur Physiologie der Cephalopodenretina. *Arch. f. Physiol.* **1891**, 367.

SABBADINI, D.: Lesioni da raggi X nell'occhio umano. *Arch. di Radiol.* **2**, 795 (1926). — SCHÜPBACH, P.: Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Ganglienzellen im Zentralnervensystem der Taube. *Z. Biol.* **29**, 439 (1906). — SIVÉN, O. u. G. v. WENDT: Über die physiologische Bedeutung des Sehpurpurs. Ein Beitrag zur Physiologie des Gelb-Violettsehens. *Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.)* **14**, 196 (1903). — SMITH, D. C.: The relation of light intensity to retinal pigment migration in the frog. *J. comp. Neur.* **42**, 457 (1927). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **18**, 405.

WUNDER, W.: (a) Physiologische und vergleichend-anatomische Untersuchungen an der Knochenfischnetzhaut. *Z. vergl. Physiol.* **3**, 1 (1925). (b) Die Bedeutung des Adaptationszustandes für das Verhalten der Sehelemente und des Pigmentes in der Netzhaut von Knochenfischen. *Z. vergl. Physiol.* **3**, 595 (1926).

# Der Sehpurpur.

Von

R. DITTLER-Marburg.

Mit 5 Abbildungen.

Es ist eine für die Analyse der Vorgänge bei der Erregungsauslösung im Auge bedeutsame Tatsache, daß sich in der Netzhaut ein Farbstoff findet, der sich unter der Einwirkung des Lichtes rasch verändert und verschwindet, während er sich bei Lichtabschluß zu großer Menge ansammelt: der *Sehpurpur* oder das *Sehrot*. Die bei seiner Entdeckung zunächst gehegte Erwartung, es könne sich in ihm um eine jener „Sehsinnsstanzen“ oder „Komponenten“ handeln, wie sie die physiologische Farbentheorie fordert, hat sich in dieser Form nicht erfüllt. Nichtsdestoweniger blieb das Interesse der Forscher dem eigenartigen Farbstoff zugewandt, und es liegen die mannigfachsten Versuche vor, ihm seine Rolle im verwickelten Geschehen des Sehaktes zuzuweisen. Eine volle Einigung in dieser Hinsicht ist auch heute noch nicht erzielt. Aufgabe der folgenden Darstellung soll es sein, ein knapp umrissenes Bild von dem zu geben, was an Kenntnissen von den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Sehpurpurs, von seinem Vorkommen sowie von seinem Entstehen und Vergehen in einer großen Zahl von Untersuchungen zusammengetragen wurde, und (ohne den Gegenstand zu erschöpfen) die für theoretische Entwicklungen heute gültige Basis zu kennzeichnen.

**Vorkommen und Nachweis des Sehpurpurs.** Als *Entdecker* des Sehpurpurs wird allgemein F. BOLL genannt; der Farbstoff als solcher war zwar schon vor ihm von H. MÜLLER und LEYDIG in der Amphibiennetzhaut, von KROHN und HENSEN bei den Cephalopoden beobachtet worden, doch hat BOLL (a) 1876 als Erster seine Vergänglichkeit im Licht erkannt. Auf BOLL geht auch die erste Angabe darüber zurück, daß sich der Sehpurpur ausschließlich in den Außengliedern der Stäbchen findet, während die Zapfen frei davon sind (oder ihn in einer so hochgradigen Verdünnung enthalten, daß er sich dem direkten Nachweis entzieht; s. u. S. 105 u. 107).

Soweit stäbchenhaltige Netzhäute in Frage kommen, ist der Sehpurpur in der Folge, in allerdings bedeutender Verschiedenheit der Konzentration, bei allen Wirbeltierklassen, von *Petromyzon fluviatilis* aufwärts bis zum Menschen, aufgefunden worden. Am reichlichsten ist er im allgemeinen in den Netzhäuten der Fische und Amphibien vorhanden. So läßt ihn die Froschnetzhaut nach Dunkelaufenthalt des Tieres bei der durch die Länge der Stäbchenaußenglieder bedingten großen Schichtdicke immer sehr deutlich erkennen, und ähnliches gilt von den Netzhäuten anderer Vertreter dieser Tierklassen. Die Reptiliennetzhaut ist zumeist ärmer an Purpur, doch scheint er auch hier nur in reinen Zapfennetzhäuten, wie bei der Eidechse, Schildkröte, Ringelnatter (KÖTTGEN und ABELSDORFF [a], FRANÇOIS und PIÉRON) ganz zu fehlen. Beim Gecko und Alligator ist er, entsprechend dem Stäbchengehalte der Netzhäute, jedenfalls sicher nachgewiesen (KRAUSE, ABELSDORFF [a, b]). Bei den Vögeln zeigen namentlich die stäbchenreichen Netzhäute der Nachttiere (wie der Eulen) reiche Purpurmengen — eine Ausnahme macht aber z. B. die Nachtschwalbe (KÜHNE [a, b]) —, und auch bei zahlreichen Tagvögeln wie beim Bussard, Falken u. a. wurde Purpur gefunden. In den stäbchenarmen Netzhäuten des Huhns und der Taube ist

der Purpurnachweis sehr erschwert und meist nicht durch einfache Beobachtung der Netzhautfärbung zu erbringen, weil die den zahlreichen Zapfen eingelagerten farbigen Ölkugeln das Bild trüben und kleine Purpurmengen unmerklich machen können. Hier wurde indirekt verfahren, so von v. HESS (c, d) mit inkonstantem Ergebnis durch Beseitigung der farbigen Ölkugeln mittels Benzols, von VAN GENDEREN STORT mit regelmäßigem Erfolg durch Behandeln der Netzhäute mit 3,5%iger Salpetersäure, die den Sehpurpur in einen (noch lichtempfindlichen) gelblichen Farbstoff überführt und am Hackpräparat für Hell- und Dunkelnetzhäute der Taube charakteristische Färbungsunterschiede der Stäbchenaußenglieder ergab. Bei der Ente, deren Auge nach KRAUSE zahlreiche Stäbchen enthält, gelang TRENDELENBURG (b) der Sehpurpurnachweis schon durch einfache Betrachtung der nach Alaunhärtung aus dem Augenbecher isolierten Netzhaut. Bei den Säugetieren ist der Sehpurpur in allen stäbchenführenden Netzhäuten sicher nachgewiesen, vor allem auch bei den Primaten und beim Menschen (FUCHS und WELPNER, KÜHNE [a, b], SCHMIDT-RIMPLER). In Übereinstimmung mit den Befunden an anderen Netzhäuten gehen die Angaben der Autoren (KÜHNE, DONDERS, NETFLESHIP) für die *menschliche Netzhaut* dahin, daß *nur die stäbchenhaltigen Bezirke Purpur besitzen*, während die *Macula lutea*, in der die Stäbchen fehlen, ihn vermissen läßt.

Bei Prüfung des Purpurgehaltes durch einfache Beobachtung der aus dem dunkelgehaltenen Auge isolierten Netzhaut fand KÜHNE (b) daß die Rotfärbung im Randbezirke des gelben Fleckes beginnt und mit der Zunahme der Stäbchenzahl nach der Peripherie hin zunimmt, wobei freilich zu berücksichtigen ist, daß die Färbungsintensität außer durch die *Zahl* der Stäbchen auch durch die *Länge* ihrer Außenglieder mitbedingt sein kann. Dieser Gesichtspunkt wird durch die Erfahrungen von WEISS an den als Schleisten bezeichneten, besonders intensiv gefärbten Stellen der Kaninchen- und anderer Netzhäute nahegelegt, in deren Bereich die Messungen eine etwa doppelte Länge der Stäbchenaußenglieder ergaben. Ob auch die vereinzelt am Rande des gelben Fleckes stehenden Stäbchen der menschlichen Netzhaut noch die Purpurfarbe zeigen, ist der Untersuchung schwer zugänglich, aber wahrscheinlich. Unsicher bleibt vorerst die Angabe KÜHNES, daß eine 3—4 mm breite Randzone der Netzhaut entlang der Ora serrata des Sehpurpurs ermangele. Hier wird zunächst zu entscheiden sein, ob die in dieser Zone stehenden Netzhautelemente als voll ausgebildete Stäbchen zu bewerten sind, was von GREEFF allerdings bejaht wird.

In Fällen, in denen eine Entscheidung auf anderem Wege nicht möglich war, wurde für den generellen Nachweis des Sehpurpurs die auf KÜHNE (b, c, d) zurückgehende wichtige Feststellung seiner *Löslichkeit* in Lösungen gallensaurer Alkalien methodisch nutzbar gemacht. Auf diesem Wege konnte für das kleine Auge der Fledermaus der Sehpurpurgehalt von TRENDELENBURG (c) sicher erwiesen werden.

*Mit Hilfe des Augenspiegels* ist der Sehpurpur im Auge nur in besonders günstigen Fällen festzustellen, noch seltener seine Veränderung zu verfolgen. Mit Sicherheit ist er am lebenden Tier ophthalmoskopisch im allgemeinen nur dann zu erkennen, wenn die Reflexion von Licht aus den äußeren Augenhäuten durch ein die Stäbchen umhüllendes undurchsichtiges weißes Tapetum unmöglich gemacht ist. Liegt ein solches nicht vor, so bleibt nur der für das Kaninchenauge von HELFREICH sowie von DIETEL und PLENK mit gutem Erfolg verwendete Kunstgriff, das Tier zu entbluten und seine Gefäße vor der Spiegelung ausgiebig mit indifferenten Salzlösungen zu durchspülen. Auf diese Weise gelang es GARTEN (a), sogar die Purpurbleichung bis ins einzelne zu verfolgen (s. S. 99).

*Entoptisch* dagegen ist die Anhäufung des Sehpurpurs, wenigstens unter günstigen Beobachtungsbedingungen, auch im volldurchbluteten Auge sehr wohl zu bemerken. Dies beweist die Beobachtung von TAIT, BOLL (c), EWALD, daß des Morgens beim ersten Blick nach der weißen Zimmerdecke um das Projektionsbild des gelben Fleckes deutlich ein rosenroter Hof gesehen werden kann.

**Arten des Sehpurpurs.** Bei der weiten Verbreitung, die der Sehpurpur in der Tierreihe besitzt, liegt die Frage nahe, ob der bei den Tieren verschiedener Art festgestellte lichtempfindliche rote Farbstoff wirklich überall derselbe ist.

Diese *Frage nach der Identität* der verschiedenen Sehpurpurvorkommen ist schon frühzeitig aufgeworfen und, besonders im Hinblick auf den in der Cephalopodennetzhaut sowie im Facettenauge der Insekten enthaltenen roten Farbstoff, der nach den Angaben von KROHN und von KRUKENBERG gegen Licht außerordentlich widerstandsfähig sein sollte, zunächst bestimmt verneint worden. Für den Farbstoff der Cephalopodennetzhaut sind

die Befunde der genannten Autoren von v. HESS (a, b) später als irrtümlich erwiesen worden. Kam durch diese Richtigstellung auch eines der Hauptargumente gegen die Identitätslehre in Wegfall, so sind doch die übereinstimmenden Beobachtungen nicht zu übersehen, die dahin gehen, daß die Netzhäute der Fische sowie der Eule und des Hasen (für den Menschen liegen, aber offenbar fälschlicherweise, ebenfalls einige dahingehende Angaben vor) bei hoher Konzentration des Purpurs deutlich rötlich-violett aussehen, die Netzhäute der Amphibien sowie der übrigen bis jetzt untersuchten Vögel und der Säugetiere unter den gleichen Umständen dagegen eher schwach gelblichrot erscheinen, einen eigentlichen Purpurton also vermissen lassen (s. u. S. 97f.). Hierin scheint ein Hinweis auf gewisse Verschiedenheiten im Aufbau des Purpurmoleküls gegeben zu sein. An eine exakte chemische Abgrenzung verschiedener Purpurarten gegeneinander ist zur Zeit noch nicht zu denken.

**Physikalische und chemische Eigenschaften des Sehpurpurs.** Unter den allgemeinen physikalischen und chemischen Eigenschaften des Sehpurpurs interessiert vor allem sein Verhalten den verschiedenen Lösungsmitteln gegenüber. Die Ermittlung der *Löslichkeit* eines Farbstoffes liegt nicht nur auf dem Wege zur Erforschung seiner chemischen Natur (Reindarstellung in Kristallform), sondern sie ist in gewissem Maße auch die Voraussetzung für die Untersuchung seiner optischen Eigenschaften. Die wichtige Pionierarbeit zu diesen Fragen ist für den Sehpurpur von KÜHNE und seinen Mitarbeitern geleistet worden (a, d). Das einzige Mittel, in dem der Sehpurpur gelöst werden kann, ohne daß seine chemische Natur und seine optischen Eigenschaften verändert erscheinen, ist die Galle, und zwar das gallensaure Alkali, insbesondere das glykocholsaure Natrium. Die Herauslösung des Sehpurpurs aus der Netzhaut durch Natriumglykocholatlösung ist mit einer Zerstörung der Stäbchenaußenglieder verbunden. Einen Fingerzeig, in welchem Zustande sich der Purpur in der Lösung befindet, gibt die Feststellung, daß er nicht aus ihr herausdialysiert, sondern, während das Lösungsmittel verschwindet, als krümelige purpurne Maße zurückbleibt. KÜHNE nimmt hiernach an, daß er sich entweder selbst in kolloidalem Zustande befinde oder an ein Kolloid adsorbiert sei. Im gleichen Sinne ist die Möglichkeit gewertet worden, ihn durch Einlegen der Netzhaut in 10%ige Kochsalzlösung gallenlöslich zu erhalten. KÜHNE geht so weit, auf Grund dieser Feststellungen einen myosinartigen Körper als Vehikel des Sehpurpurs anzunehmen, doch bleibt abzuwarten, ob sich diese Folgerung bestätigt.

Im übrigen liegen über die *allgemeinen Eigenschaften* des Sehpurpurs folgende Befunde vor: bei einer Temperatur von 76° C wird der Sehpurpur in ganz kurzer Zeit vollkommen entfärbt; bei Temperaturen zwischen 65 und 70° erfolgt seine Zersetzung langsamer und verläuft über ein *gelbes Zwischenprodukt*; unter 51° bleibt der Farbstoff unverändert. Eine Reihe chemischer Agenzien bleicht den Sehpurpur ohne Zutritt von Licht. Hierher gehören die meisten Säuren und ätzenden Alkalien, Alkohol, Äther, Chloroform, Terpentinöl, Chlor, Jod, Brom. Dagegen erwiesen sich als wirkungslos: kohlenensaures Alkali, Ammoniak, Kochsalz in beliebiger Konzentration, Schwefelwasserstoff, Schwefelkohlenstoff, Eisen- und Zinksulfat, Fette, Balsame, Benzol, Harnstoff sowie die Santonsäure und ihre Salze. Nach KÜHNEs Angaben widersteht der Sehpurpur auch der Trypsinverdauung und der Wirkung der Fäulnis. Da er durch starke Oxydations- und Reduktionsmittel wie Wasserstoffsuperoxyd und Ozon ebenfalls nicht verändert wird (durch Osmiumtetroxyd und Kaliumpermanganat wird er nach DRESER allerdings angegriffen), so halten KÜHNE und EWALD den natürlichen Bleichungsvorgang weder für einen Oxydations- noch für einen Reduktionsprozeß. Sie denken eher an eine Wasserentziehung unter Denaturierung. Es muß der weiteren Forschung überlassen bleiben, zu entscheiden, inwieweit diese Auffassung zutrifft. Das Studium der wichtigen Beziehungen des Sehpurpurs zum Lichte bleibt von der Entscheidung dieser Frage, fürs erste wenigstens, unberührt.

Die außerordentliche *Lichtempfindlichkeit* des Sehpurpurs kann schon mit einfachsten Mitteln, z. B. durch bloße Beobachtung der pigmentfrei herausgenommenen Dunkelnetzhaut des Frosches am Lichte, festgestellt werden. Bereits eine Bestrahlung von wenigen Sekunden mit mittlerem Tageslicht genügt, um eine beträchtliche Abblassung der Purpurfarbe hervorzubringen. Im direkten Sonnenlicht tritt die Ausbleichung dem Anscheine nach momentan ein. Bei Temperaturen weit unter Null verläuft nach einer Beobachtung GARTENS (a)

der Bleichungsvorgang auch bei greller Belichtung extrem verlangsamt, so daß unter diesen Umständen von einer Lichtbeständigkeit des Purpurs gesprochen werden kann. Für die Beurteilung der Bleichungsgeschwindigkeit ist allgemein zu beachten, daß mit der Bleichung eine Regeneration des Sehpurpurs Hand in Hand gehen kann, über die unten ausführlicher zu sprechen sein wird. Der Umstand, daß an Netzhäuten, die im Zusammenhang mit dem retinalen Pigmentepithel der Lichtwirkung ausgesetzt werden, immer beträchtlich längere Bleichungszeiten festzustellen sind als an der isolierten Netzhaut, weist auf eine wesentliche Beteiligung der Pigmentepithelzellen an der Purpurregeneration hin, die in diesem Falle die Bleichung weitgehend überlagert und maskiert. Bei lokaler Belichtung der Netzhaut bleibt die Bleichungswirkung streng auf die belichteten Bezirke beschränkt.

Es ist also möglich, *Sehpurpur-Optogramme* zu erzeugen, was für die Bewertung der Purpurbleichung im Vorgange der Erregungsauslösung im Auge



Abb. 1. Sehpurpur - Optogramm.  
(Nach S. GARTEN: v. Graefe-Saemisch's Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 2. Aufl. Bd. 3, 1.)

theoretisch bedeutsam ist. GARTEN (b) hat gezeigt, daß sich solche Optogramme durch Behandeln der Netzhaut mit Platinchlorid, das den Sehpurpur nach den Befunden STERN'S in ein praktisch lichtbeständiges, intensiv orangefarbenes Produkt überführt für einige Zeit haltbar machen lassen. Er hat auch photographische Aufnahmen derart fixierter Sehpurpuroptogramme geliefert. In Abb. 1 ist die in etwa  $3\frac{1}{2}$ facher Vergrößerung aufgenommene Photographie einer Froschnetzhaut wiedergegeben, auf der in situ für einige Minuten das Bild eines aus 5 Streifen bestehenden leuchtenden Objektes (Fensterfigur) entworfen worden war. Die Netzhaut wurde nach Isolierung aus dem Auge auf einem kleinen Porzellanknopf ausgebreitet und mit Platinchloridlösung gehärtet; sie zeigt nun

das lichtbeständige Optogramm. Die Faltung am zweiten Streifen von rechts entspricht der Gegend der Sehnerveneintrittsstelle.

Die genaue *physikalische* Charakterisierung des Sehpurpurs als eines farbigen Pigmentes setzt seine *spektroskopische Untersuchung voraus*. Eine solche ist mit jeder nur wünschenswerten Exaktheit möglich geworden, seitdem KÜHNE in den gallensauren Salzlösungen ein, wie es scheint, indifferentes Lösungsmittel für den Sehpurpur gefunden hatte. Auf KÜHNE (a, b) gehen auch die ersten Untersuchungen dieser Art am Sehpurpur zurück. Weiterhin liegen auf breiter Basis durchgeführte spektrophotometrische Messungen an Purpurlösungen von KÖNIG, von KÖTTGEN und ABELSDORFF (a) sowie von TRENDELENBURG (a, b), ferner von GARTEN (a, b) vor, der seine Methodik auf die Spektrophotographie erweiterte und mit diesen Mitteln auch Absorptionsbestimmungen an der frischen Dunkelnetzhaut selbst vornahm.

Für die Zubereitung von Sehpurpurlösungen für spektrophotometrische Zwecke sind verschiedene *Verfahren* ausgearbeitet worden, die auf die Erzielung größter Ausbeute bei möglicher Reinheit der Lösungen von störenden Beimengungen abgestellt sind. KÜHNE und nach ihm TRENDELENBURG empfehlen, um beim Säugetier eine reinliche Trennung der Netzhaut von Pigmentepithel und Chorioidea zu erzielen, eine vorherige Härtung des Auges mit Alaun. Die isolierten Netzhäute werden von anhaftenden Verunreinigungen in einer  $10\%$ igen Kochsalzlösung befreit und sodann der Extraktion mit Natriumglykocholatlösung unterworfen. Korpuskuläre Beimengungen (Fusinkörnchen u. dgl.) sind aus den Purpurlösungen durch gründliche Zentrifugierung leicht und sicher zu entfernen, sehr schwer dagegen *gelöste* farbige Stoffe, für deren Beseitigung KÜHNE (b) besondere Reinigungsverfahren ausgebildet hat. Für die Herstellung einwandfreier Purpurlösungen von Froschnetzhäuten gibt HECHT (e) neuerdings folgende quantitative Anweisung:

möglichst pigmentfrei isolierte Netzhäute von 30 gut dunkel gehaltenen Warmfröschen werden zunächst, in physiologischer Kochsalzlösung aufgeschwemmt, 30 Minuten lang zentrifugiert. Nach Entfernung der Kochsalzlösung werden 5—20 ccm einer 3—4%igen Lösung von gallensauren Salzen zugesetzt, eine halbe Stunde oder länger extrahiert; dann wird abermals zentrifugiert. Die überstehende Flüssigkeit ist dann eine klare Sehpurpurlösung, die sich auf Eis 1 Woche und länger unzersetzt hält und unverdünnt oder nach Zusatz von Wasser oder Gallensalzlösung zu quantitativen Absorptionsbestimmungen und Bleichungsversuchen benutzbar ist. Alle Manipulationen sind im Dunkelzimmer bei schwacher Rubin-glaslampe (10 Watt) auszuführen, der Sehpurpur aber auch diesem Lichte nur möglichst wenig auszusetzen. Wegen der mangelhaften Reinheit der käuflichen gallensauren Salze empfiehlt HECHT, nur eigens hergestellte, ganz reine Präparate zu verwenden, die in Wasser eine farblose Lösung geben.

Gegenüber dem zuvor allgemein gebrauchten Natriumglykocholat als Lösungsmittel empfiehlt SUGITA (b) neuerdings die wässrige Lösung von *cholsaurem* Natrium, die absolut klare Sehpurpurlösungen liefert und im Gegensatz zu der Lösung der eigentlichen Gallensäuren im sichtbaren Spektrum selbst keinerlei Lichtabsorption bedingt.

Die *Bestimmung des Absorptionskoeffizienten* der Sehpurpurlösungen für die einzelnen spektralen Lichte wird spektrophotometrisch in der üblichen Weise so vorgenommen, daß eine Probe der Lösung in den Strahlengang der einen Seite des Spektrophotometers gebracht wird, dessen beide Vergleichfelder bei Beleuchtung mit demselben monochromatischen Lichte durch entsprechende Spalteinstellungen zuvor auf gleiche Helligkeit gebracht waren. Aus der, nach dem Vorsetzen des Tröghens zur Herstellung der neuen Helligkeitsgleichung notwendig werdenden, Spaltänderung ist die von der Lösung absorbierte Lichtmenge unmittelbar zu berechnen. Trägt man den Ort der Strahlung im Spektrum als Abscisse, die absorbierte Lichtmenge als Ordinate in ein Koordinatensystem ein, so erhält man Kurven, die die Absorptionsverhältnisse anschaulich versinnlichen. Ein photographisches Verfahren zur Abschätzung der Absorption farbiger Lösungen mit besonderer Berücksichtigung des Sehpurpurs wurde kürzlich von LYTHGOE ausgearbeitet. Außerdem vergleiche man das schon zuvor von GARTEN (a) geübte Verfahren.

Die theoretische Bewertung der Messungsergebnisse hat in Rücksicht darauf mit besonderer Kritik zu geschehen, daß die Lösungen neben dem Purpur vielfach auch andere gefärbte Substanzen enthalten. Soweit diese selbst nicht lichtempfindlich sind und nicht erst während der Untersuchung als Bleichungsprodukt aus dem Purpur entstehen, kann der Grad ihrer Mitwirkung an der Absorption auf Grund besonderer Messungen bestimmt und nachträglich eliminiert werden. Treffen diese Voraussetzungen nicht zu, sondern handelt es sich (wie beim Sehgelb) um einen bei der Belichtung neu entstehenden Farbstoff, so muß durch geeignete Vorbehandlung (protrahierten Dunkelaufenthalt) der Versuchstiere, durch tunlichste Beschränkung der Belichtungsdauer bei den Messungen sowie durch häufigen Austausch der Lösungen gegen Ersatzlösungen gleicher Herkunft und Zusammensetzung, ihr Gehalt an Bleichungsprodukten nach Möglichkeit beschränkt werden. Übrigens werden sich die durch Bleichungsprodukte bedingten Messungsabweichungen zumeist auf mehr oder weniger engbegrenzte Spektralbezirke erstrecken (beim Sehgelb z. B. im wesentlichen auf die Wellenlänge von 445  $m\mu$  abwärts), für die die Absorptionsangaben dann unbestimmt zu halten sind. Möglichst knapp bemessene Expositionszeiten sind bei der Untersuchung bleichbarer Substanzen natürlich auch wegen des Konzentrationsverlustes, der bei Belichtung eintritt, geboten.

Die über die Verhältnisse der Lichtabsorption im Sehpurpur von KÜHNE auf Grund rein spektroskopischer *Beobachtung* der Lösungen gemachten Angaben gehen dahin, daß man bei den in der Tierreihe vorkommenden Purpurarten nach ihrer Lichtabsorption (wie schon das makroskopische Aussehen des Farbstoffes in der Netzhaut erkennen läßt, s. S. 95) *zwei Typen* unterscheiden kann, eine Feststellung, die mit verfeinerter Methodik in der Folge dann von KÖNIG und von KÖTTGEN und ABELSDORFF (a, b) sowie von GARTEN (a) bestätigt und weiter ausgebaut wurde. Der eine dieser beiden Purpurtypen hat sein Absorptionsmaximum im Gelbgrün, etwa bei 540  $m\mu$ , also deutlich näher dem langwelligen Ende des Spektrums als der andere, dessen Absorptionsmaximum im Blaugrün, etwa bei 500  $m\mu$  liegt. Entsprechend reicht die Absorption der zweiten Purpurart erheblich weiter in den kurzwelligen Teil des Spektrums hinein als die des ersten. Zur weiteren Kennzeichnung der beiden Typen kann die Beobachtung von VAN GENDEREN STORT angeführt werden, daß der Sehpurpur des zweiten Typus durch 3,5%ige Salpetersäure die (bereits erwähnte) Umwandlung in einen noch lichtempfindlichen gelben Farbstoff

erfährt, während der Sehpurpur des ersten Typus bei gleicher Behandlung für die einfache Betrachtung seinen Farbton nicht merklich ändert. Der erste Typus ist in der Wirbeltierreihe bis jetzt allein bei den Fischen gefunden worden (über mögliche Ausnahmen s. o. S. 95), alle übrigen Wirbeltiere besitzen übereinstimmend den zweiten Typus des Sehpurpurs. Nach KÖNIGS Messungen ist

Tabelle 1.

Wellenlängen $m\mu$	Mensch	Säugetiere	Vögel	Amphibien	Fische
700	—	0,0082	—	0,0046	0,0019
680	—	0,0036	0,0009	—	0,0077
660	—	0,0022	—	—	0,0155
640	—	0,0098	0,0248	0,0027	0,0466
620	—	0,0146	0,0355	0,0059	0,1107
600	0,0223	0,0362	0,0361	0,0275	0,2308
580	0,0876	0,0610	0,0819	0,0672	0,3591
560	0,1292	0,1922	0,2027	0,2022	0,4699
540	0,3378	0,3393	0,3496	0,3511	0,5043
520	0,4365	0,4694	0,4706	0,4766	0,4635
500	0,5285	0,5097	0,5037	0,5047	0,3647
480	0,4558	0,4419	0,4495	0,4424	0,1724
460	0,3451	0,2656	0,2796	0,2718	0,0237
440	0,1807	0,0916	0,1158	0,0984	0,0009
420	—	0,0100	0,0006	—	—

auch der menschliche Sehpurpur dem zweiten Typus zuzurechnen. Beifolgende Tabelle 1 zeigt die Absorptionskoeffizienten des Sehpurpurs verschiedener Tierklassen für Licht verschiedener Wellenlänge nach den auf breiter Basis durchgeführten Messungen von KÖTTGEN und ABELSDORFF. In kurvenmäßiger

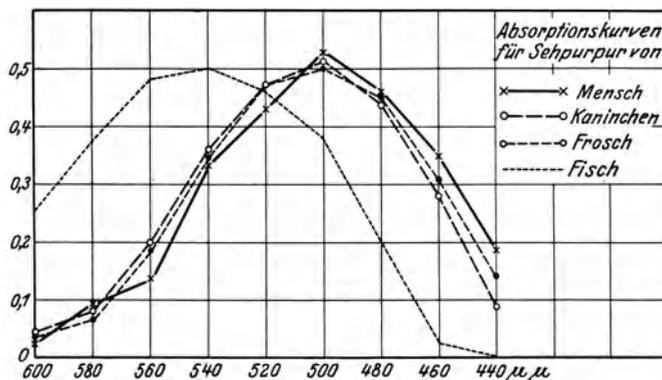


Abb. 2. Absorptionskurven für Sehpurpur von Mensch, Kaninchen, Frosch und Fisch. Nach den Messungen von KÖNIG, KÖTTGEN und ABELSDORFF gezeichnet. (Nach TRENDLENBURG [d], S. 12.)

Darstellung sind aus Abb. 2 die Absorptionsverhältnisse für den Sehpurpur bestimmter Vertreter der in der Tabelle berücksichtigten Tierklassen wiedergegeben.

**Sehgelb.** Durch diese Feststellungen ist der Sehpurpur als Farbstoff physikalisch charakterisiert. Über die *qualitativen* Veränderungen, die er bei seiner Bleichung unter Lichtwirkung von dieser Basis aus in physikalischer Hinsicht durchläuft, bestehen zwischen den Angaben der älteren Autoren wesentliche

Widersprüche, die sich vor allem auf die Frage eines gelben Zwischenproduktes, des sog. *Sehgelbes*, bei der Purpurbleichung beziehen. Während KÜHNE und EWALD auf Grund zahlreicher Beobachtungen die primäre Bildung eines gelben Bleichungsproduktes behaupten, das dann erst bei weiterer Belichtung langsam farblos werde und in *Schweiß* übergehe, leugnen KÖTTGEN und ABELSDORFF die Entstehung eines gelben Farbstoffes aus dem Sehpurpur. KÜHNES Beweisführung gründete sich auf den spektroskopischen Nachweis einer Absorptionzunahme im Blau während der Sehpurpurbleichung. Nach den Beobachtungen von KÖTTGEN und ABELSDORFF dagegen sollte die prozentuale Verteilung der Absorption im sichtbaren Spektrum während der Purpurbleichung unverändert und entsprechend auch der Farbton der Lösung bei abnehmender Sättigung qualitativ der gleiche bleiben. Zu der leicht zu erhebenden alten Feststellung, daß die am diffusen Tageslicht ausbleichende isolierte Dunkelnetzhaut, z. B. des Frosches, beim Verschwinden der Rotfärbung in der Regel zunächst ausgesprochen gelb wird, steht dies nicht unbedingt im Widerspruch, da der gelbe Farbstoff von vornherein in der Netzhaut vorhanden, aber vom Sehpurpur verdeckt sein konnte. Gegenüber den KÜHNESchen Angaben behielten die Befunde von KÖTTGEN und ABELSDORFF zunächst das größere Gewicht, da sie sich auf spektrophotometrische Messungen (am Sehpurpur des Affen, des Kaninchens, der Schleirole, des Frosches und des Bley) stützen, während KÜHNE den Bleichungsvorgang lediglich spektroskopisch beobachtet, aber nicht messend verfolgt hatte. Auch schienen die von TRENDELENBURG (b) vorgelegten Messungen der Purpurabsorption während der Bleichung ebenfalls für eine reine Konzentrationsabnahme des Farbstoffes ohne das Auftreten anderer Färbungen zu sprechen.

Trotzdem entschied die spätere Forschung im Sinne der KÜHNESchen Auffassung. GARTEN (a), der das Problem in einer an KÜHNES Gedankengang anknüpfenden Weise erneut aufgriff, konnte durch spektrophotographische Verfolgung der Purpurbleichung eine eindeutige objektive Klärung schaffen. Er zeigte an sehpurpurhaltigen Netzhäuten, die er auf weißem Grunde nebeneinander ausbreitete und im Lichte eines darauf entworfenen Bogenlichtspektrums mit panchromatischen Platten photographierte, daß im Bereiche des kurzwelligen Lichtes bis zu etwa  $440 \mu$  aufwärts sich während der Ausbleichung des Purpurs deutlich eine Zunahme der Schwärzung der hier liegenden Netzhaut äußert. Der diese Absorption bedingende Farbstoff kann in der purpurhaltigen Netzhaut also nicht schon fertig gebildet enthalten und nur durch den leuchtenden Sehpurpur verdeckt sein, sondern — und dies ist aus der entsprechenden Abnahme der Absorption an den anfänglichen Hauptabsorptionsstellen im Bereiche der mittleren Wellenlängen zu entnehmen — er muß als Bleichungsprodukt aus dem Sehpurpur erst entstehen. Derselbe sichere Nachweis der Sehgelbbildung gelang GARTEN auf photographischem Wege auch an gallensauren Purpurlösungen. Die umstehende Abb. 3 zeigt das Ergebnis eines dieser Versuche, durch die der Beweis für die Richtigkeit der von KÜHNE inaugurierten Auffassung als geschlossen zu erachten ist.

Inzwischen sind GARTENS Befunde von HECHT (e) auch bei Verwendung völlig farbloser Glykocholatlösungen als Lösungsmittel sicher bestätigt worden. Auf spektrophotometrischem Wege fand GARTEN ganz entsprechende Absorptionsänderungen am bleichenden Sehpurpur des Bley, der Eule und des Kaninchens, und es gelang ihm sogar, die Entstehung des Sehgelbs durch Beobachtung mit dem Spiegel im Auge des lebenden Tieres beim Frosch und (wegen des Guanintapetums besonders überzeugend) beim Bley zu verfolgen. Wie GARTEN betont, muß hierbei der Kunstgriff angewendet werden, die Belichtung des zuvor gut dunkel gehaltenen Auges sehr stark zu wählen, damit die Bleichung steil verläuft und zu nennenswerter Purpurregeneration (s. S. 107 f.) keine Zeit bleibt. Die Mißerfolge KÖTTGENS und ABELSDORFFS nach dieser Richtung sind vielleicht hieraus zu verstehen. Bei langsam verlaufender Bleichung konnte auch GARTEN das Auftreten von Sehgelb nicht bemerken.

Inwieweit die beschriebenen Befunde auch auf den *Menschen* übertragen werden dürfen, ist schwer zu sagen. Ein ziemlich bestimmter Hinweis darauf, daß auch beim Menschen das Sehgelb zum mindesten vorkommt, ist aus den Ergebnissen der Absorptionmessungen KÖNIGS an menschlichem Sehpurpur, sowie aus der von TRENDELENBURG (b) hiervon gegebenen graphischen Darstellung zu entnehmen.

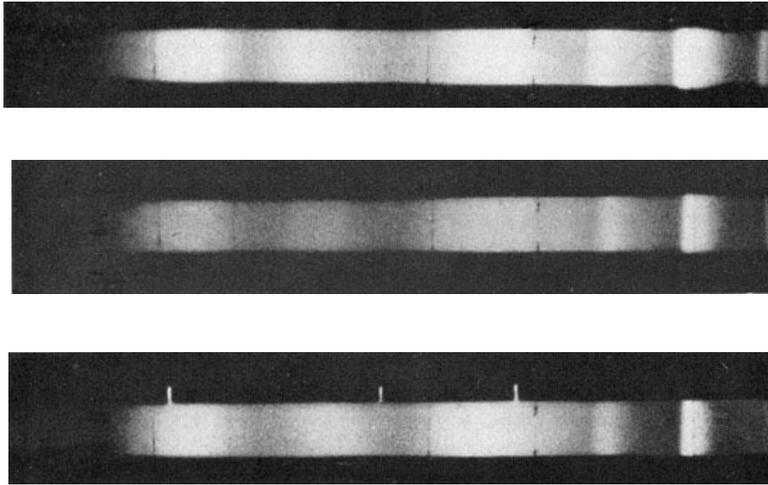


Abb. 3. Von oben nach unten: Absorptionsspektrum einer 4%igen Natriumglykocholatlösung, sodann des ungebleichten, endlich des gebleichten Sehpurpurs in eben diesem Lösungsmittel. [Nach GARTEN (a), Tafel XII, Fig. 12.]

Spezielle Erhebungen über die *zeitlichen Verhältnisse* der Sehpurpurbleichung und theoretische Entwicklungen über den *chemischen* Charakter des Prozesses sind neuerdings von HECHT (a) gemacht worden. Auf Grund von Bleichungsversuchen an nicht reversiblen Sehpurpurlösungen kommt er zu der Auffassung, daß die Konzentrationsabnahme des Purpurs nach der Kurve einer

Tabelle 2. Verlauf der Sehpurpurbleichung durch Licht.

Zeit in Minuten	Beobachtete Konzentration	$K = \frac{1}{t} \log \frac{a}{a-x}$	Berechnete Konzentration
0	100	—	—
6	65	0,031	66
12	42	0,031	44
18	25	0,033	29
24	20	0,029	19
30	15	0,027	13
36	10	0,028	8
46	0	—	—
		Mittel: 0,030	

monomolekularen Reaktion unter Bildung zweier Zersetzungsprodukte entsprechend der Formel  $S = P + A$  verlaufe. Diese Reaktion setzt nach seinen Messungen ohne nachweisbare Latenz der Lichtwirkung ein und kommt bei Unterbrechung der Belichtung ohne Nachwirkung zum Stillstand. Ein Versuchsbeispiel ist in Tabelle 2 gegeben. Der Temperaturkoeffizient dieser Reaktion ( $Q_{10}$ ) wurde in Untersuchungen im Temperaturbereich von 5—38° C interessanterweise gleich 1,0 gefunden. Dieses Ergebnis besagt, daß der zeitliche

Verlauf der Purpurbleichung unter sonst gleichen Bedingungen bei den verschiedenen Temperaturen bis hinauf zur Warmblütertemperatur auf derselben Exponentialkurve liegt. In Tabelle 3, die diese Verhältnisse illustriert, sind aus äußeren Gründen nur je die 3 in derselben Reihe untereinander stehenden Werte unmittelbar vergleichbar. Zu der Annahme einer monomolekularen Spaltung der Purpurmoleküle gelangte auch LASAREFF (c) in Leitfähigkeitsmessungen am bleichenden Sehpurpur. Er fand, daß das elektrische Leitvermögen des in glykocholsaurem Natrium gelösten Sehpurpurs unter dem Einflusse der Belichtung wächst, und zwar in der Progression einer monomolekularen Reaktion, während es bei der Regeneration wieder geringer wird. LASAREFF (a, b) schließt auf einen Zerfall der Purpurmoleküle in Ionen, unter deren Wirkung er die Erregungsauslösung in der Netzhaut zustandekommend denkt.

An dieser Stelle seien auch die potentiometrischen Untersuchungen NAKASHIMAS erwähnt, die zur Feststellung führten, daß das in thermostatischer Dunkelkammer zwischen einer Sehpurpurlösung und einer gesättigten Calomelektrode bestehende Potential bei

Tabelle 3. Temperatureinfluß auf die Sehpurpurbleichung.

Temperatur in Celsius	$K = \frac{1}{t} \log \frac{a}{a-x}$	
	Reihe 1	Reihe 2
5,2	0,039	0,031
20,0	0,035	0,031
36,1	0,036	0,033

Belichtung einen Anstieg um 10—12 Millivolt pro Netzhaut und 1 ccm Extraktionsflüssigkeit erfährt. Bei Verdunklung wurde ein allmähliches (nicht vollständiges) Absinken des Potentials zum Ausgangswerte hin beobachtet, bei erneuter Belichtung ein Wiederanstieg bis zur vorigen „Oxydationslage“. Ob dieser Lichteffect auf eine Oxydation im weiteren Sinne (ohne Verbrauch von molekularem Sauerstoff) oder auf eine lichtelektrische Erscheinung zu beziehen ist, bleibt unentschieden.

Was das weitere *Schicksal des Sehgelbes* betrifft, so kommt neben seiner Rolle bei der Sehpurpurregeneration (s. S. 107 f.) hier zunächst die Frage seiner eigenen Vergänglichkeit im Lichte in Betracht. Das Sehgelb ist ebenso wie der Sehpurpur ein lichtempfindlicher Farbstoff, doch wird es, wie schon KÜHNE (b) fand, vom Licht sehr viel langsamer angegriffen als dieser. Zum Beleg seien die zahlenmäßigen Angaben GARTENS (b) angeführt, die dahin gehen, daß die auf weißer Unterlage ausgebreitete Froschnetzhaut in hellem diffusem Tageslicht schon in 5 Sek. ihre Rötlichkeit bis auf geringste Spuren verliert und nach 15 Sek. rein gelb gefärbt erscheint, daß dagegen selbst nach 30 Minuten weiterer Belichtung noch ein Hauch ungesättigter Gelblichkeit bemerkbar zu sein pflegt. Das Sehgelb bedarf demnach selbst bei kräftiger Belichtung unverhältnismäßig langer Zeiten zu seiner Ausbleichung und scheint nur in extremen Fällen restlos aus der Netzhaut zu verschwinden. Hierzu stimmt auch die Feststellung äußerster Widerstandsfähigkeit gegen Belichtung, die HOLM am Sehgelb der Netzhaut der gescheckten Ratte gemacht hat, wenn es ohne Berührung mit Bestandteilen des Pigmentepithels zur Untersuchung kam.

Die über die *Fluoreszenzänderung* der Netzhaut vorliegenden Befunde können das über die Entstehung und das Vergehen des Sehgelbes Gesagte in wertvoller Weise ergänzen. Fluoreszenzbeobachtungen während der Purpurbleichung wurden an der Netzhaut selbst von KÜHNE (b), an Purpurlösungen von NAGEL und HIMSTEDT angestellt und stimmen dahin überein, daß der

Sehpurpur im ultravioletten Lichte schwach bläulich-weiß fluoresziert, daß diese Fluoreszenz bei seiner Ausbleichung verloren geht und erst bei weiterer starker Belichtung in anderer Form, als kräftig grün-weiße Fluoreszenz, wieder erscheint. Diese Befunde gestatten die Deutung, daß mit dem Sehpurpur eine deutlich fluoreszierende Substanz verschwindet und sich im Sehgelb eine nicht-fluoreszierende bildet, die erst bei ihrem Zerfall wieder zum Auftreten fluoreszierender Stoffe führt. Die schwache Eigenfluoreszenz der Lösung gallensaurer Salze überlagert diese Erscheinungen bis zu einem gewissen Grade, doch bleibt nach den Feststellungen von NAGEL und HIMSTEDT ihre Verfolgung in allen wesentlichen Punkten möglich.

Ob der Gang der Purpurbleichung in *qualitativer* Hinsicht eine Abhängigkeit von der Wellenlänge des bleichenden Lichtes besitzt und je nach dessen Art zu qualitativ unterscheidbaren Endprodukten führt, ist noch nicht in eindeutiger Weise entschieden. Nach den allgemeinen Gesetzen der Pigmentbleichung durch monochromatische Lichter (WIENER) war, zumal da eine farbige Zwischenstufe durchlaufen wird, eine *verschiedene* Art der Purpurbleichung wohl zu erwarten. Dem entspricht auch die von BOLL (b) mitgeteilte Beobachtung, daß rotes Licht den Sehpurpur gegen Bräunlich, blaues gegen Rosa hin verfärbt, sowie der Befund KÜHNES (b), daß der Purpur in gelbgrünem Licht zu Gelb, in blauem oder violetterem Licht zu mattem Rosa ausbleicht; doch blieben diese Angaben nicht unwidersprochen. Im Gegensatz dazu vertritt vor allem NAGEL auf Grund gemeinsamer Versuche mit PIPER die Meinung, daß die vom bleichenden Purpur durchlaufene Farbenskala von der Wellenlänge des wirkenden Lichtes *durchaus unabhängig* sei. Der Versuch GARTENS, diesen Widerspruch in den Beobachtungsergebnissen schlechthin aus einer verschieden starken Mitwirkung der Purpurregeneration zu erklären, befriedigt nicht voll, schon weil er nicht die Möglichkeit einer Entscheidung darüber gibt, wie die Vorgänge bei Ausschluß von Regenerationsprozessen zu denken sind. Auch erscheint die Vermutung, daß sich die Purpurregeneration bei der relativ langsamen Bleichung im Blau und Violett verhältnismäßig stärker geltend mache als bei der rascheren Bleichung im Gelbgrün, deshalb nicht in jeder Beziehung glücklich, weil die starke Absorption des kurzwelligen Lichtes im Sehgelb eine nennenswerte Purpurregeneration in diesem Lichte nicht gerade wahrscheinlich macht. GARTEN geht hierbei allerdings von der Voraussetzung aus, daß das Sehgelb *nicht unmittelbar* lichtempfindlich sei (die Erfahrungen von HOLM am Sehgelb der Ratte weisen in eine ähnliche Richtung) und daß die Entstehung farbloser Produkte vom Sehgelb aus nur auf dem Umwege über regenerierten Sehpurpur möglich sei.

**Sehpurpur und Netzhauterregung.** Für die Beurteilung der Rolle, die dem Sehpurpur bei der Auslösung der Netzhauterregung zukommt, fordern die Verhältnisse der *quantitativen* Abhängigkeit seiner Bleichung von der Qualität des bleichenden Lichtes besonderes Interesse. Zu dieser Frage ist auf Grund der vorliegenden allgemeinen Erfahrungen über die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen der absorbierten Lichtmenge und der photochemischen Wirksamkeit einer Strahlung schon aus den Angaben über das Absorptionsspektrum des frischen ungebleichten Sehpurpurs (s. S. 98) das Grundsätzliche zu entnehmen. Ein kurzer Hinweis auf die Sensibilisierung der photographischen Platte durch farbige Pigmente sowie auf die erfolgreichen Versuche der Übertragung dieser Erfahrungen auf biologische Objekte (v. TAPPEINER, HERTEL a, b, c) kann zur Erläuterung des hier herrschenden Prinzipes genügen. Hiernach leuchtet ein, daß Hand in Hand mit der Stärke der Energieabsorption sowohl die *Geschwindigkeit* der Purpurbleichung in den verschiedenen Gebieten des Spektrums als auch die Stärke der physiologischen Reizwirkung überall da, wo der Sehpurpur die vermittelnde Rolle spielt, abgestuft zu finden sein wird. Für die Bewertung

des Sehpurpurs als eines sensibilisierenden Farbstoffes ist noch besonders zu beachten, daß er insofern einen Sensibilisator eigener Art darstellt, als er im Lichte zerstört wird und das für die Auslösung der Stäbchen-erregung notwendige Reizmaterial, wie es scheint, selbst liefert.

Der Erste, der es auf dieser Grundlage in Vorahnung der auch biologisch gültigen Gesetzmäßigkeiten versuchte, die Brücke zwischen den im Purpur absorbierten Lichtmengen und dem Reizwerte der Lichter für das dunkeladaptierte Auge des Trichromaten (bzw. das Auge des Totalfarbenblinden) zu schlagen, war KÖNIG. Das in Abb. 4 kurvenmäßig dargestellte Ergebnis seiner Messungen lehrt, daß, den gehegten Erwartungen entsprechend, absorbierte Lichtmenge

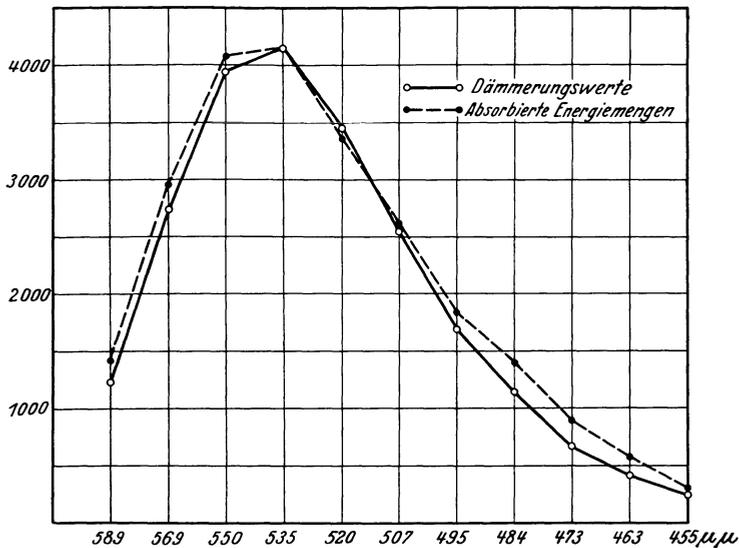


Abb. 4. Zusammenstellung der durch Kaninchensehpurpur absorbierten Energiemengen mit den Dämmerungswerten (beides für Gaslicht), auf gleiche maximale Höhe berechnet. (Aus TRENDELENBURG [d], S. 14.)

und „Dämmerungswert“ der spektralen Lichter in der Tat *übereinstimmen*. Dies ist eine Feststellung von grundsätzlicher Wichtigkeit. Die sich anschließenden Untersuchungen von H. J. HAMBURGER und TRENDELENBURG setzten sich zum Ziel, der Beweisführung KÖNIGS auch das noch fehlende Zwischenglied einzufügen, indem sie auf die unmittelbare experimentelle Bestimmung der *Geschwindigkeit* der Purpurbleichung in den verschiedenen Spektralbezirken und ihre Beziehung zum Dämmerungswert der Lichter ausgingen.

H. J. HAMBURGER, der frische Dunkelnetzhäute im Dispersionsspektrum eines SUGGSchen Brenners anordnete und mittels einer Farbentafel die ersten merklichen Änderungen ihrer Färbung verfolgte, gelangte zur Aufstellung folgender Bleichungszeiten:

für D . . . . .	20 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Stunden
„ E bis b . . . . .	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> „
„ b bis <sup>1</sup> / <sub>2</sub> F . . . . .	10 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> „
„ F . . . . .	14 „

Für den als reziproken Wert der Bleichungszeit definierten „Bleichungswert“ der genannten Wellenlängen ergeben sich, bezogen auf den gleich 1 gesetzten Bleichungswert des Natriumlichtes (589 mμ), hieraus nach W. TRENDELENBURG (b) folgende Größen:

für D . . . . . 1,0  
 „ E bis b . . . . . 2,73  
 „ b bis  $\frac{1}{2}$  F . . . . . 1,95  
 „ F . . . . . 1,46

Mit wesentlich verfeinerter Methode, allerdings unter Verzicht auf eine Untersuchung des Netzhautsehpurpurs selber, führte W. TRENDELENBURG (a, b) seine Messungen durch. Er ging so vor, daß er von je zwei Proben derselben Sehpurpurlösung die eine immer dem Lichte der Wellenlänge 589 m $\mu$ , die andere dem Lichte einer anderen (kürzeren) Wellenlänge aussetzte und nach bestimmter Zeit die Absorptionsverminderungen spektrophotometrisch verglich.

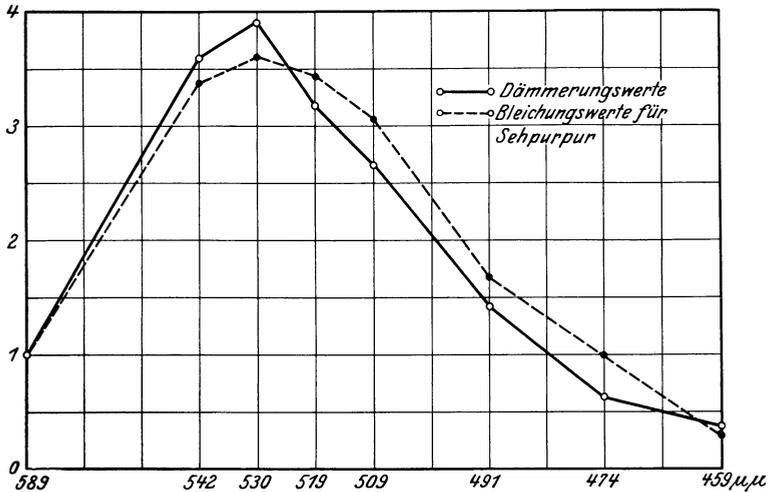


Abb. 5. Dämmerungswerte des Dispersionsspektrums des Nernstlichtes für das menschliche Auge und Bleichungswerte desselben Lichtes für Sehpurpur. (Aus TRENDELENBURG [d], S. 17.)

Der reziproke Wert der so ermittelten Bleichungszeiten (d. h. der Zeiten, die in den verschiedenen homogenen Lichtern zu gleichstarker Absorptionsverminderung führten) lieferte ihm die relativen Bleichungsgeschwindigkeiten oder Bleichungswerte (s. o.). Parallel laufend wurde die Bestimmung der Dämmerungswerte derselben Lichter für das normale dunkeladaptierte Auge vorgenommen. Diese Untersuchungen erbrachten den unmittelbaren Beweis für die Proportionalität zwischen den Dämmerungswerten und den Bleichungswerten der homogenen Lichter. Die gewonnenen Werte finden sich in Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4.

Wellenlänge (m $\mu$ ) . . . .	589	542	530	519	509	491	484	459
Bleichungswerte . . . . .	1	3,40	3,62	3,45	3,09	1,69	0,975	0,299
Dämmerungswerte . . . . .	1	3,62	3,91	3,18	2,57	1,42	0,621	0,346

Abb. 5 veranschaulicht das Ergebnis in kurvenmäßiger Darstellung. Der Vergleich dieser Kurven mit jenen der Abb. 4 erweist für den Sehpurpur die Gültigkeit des schon erwähnten Gesetzes, daß das Licht bei der Absorption im Sehpurpur bleichend wie auch erregungsauslösend mit einer Stärke wirkt, die der absorbierten Energiemenge proportional ist.

Für eine Reihe anderer schnellbleichender organischer Farbstoffe (Cyanin, Lepidincyanin, Pinacyanol, Pinaverdol, Chinaldincyanin, Pinachrom) hat

LASAREFF (a) dieselbe gesetzmäßige Beziehung festgestellt. In allen diesen Fällen geht, ebenso wie beim Sehpurpur, zwar nur ein Teil der absorbierten Energie in die chemische Umsetzung ein, während der Rest als Wärme erscheint (LASAREFF), doch ist das Verhältnis dieser beiden Energiebeträge zu einander für alle Wellenlängen konstant. Von der Entstehung eines andersfarbigen Bleichungsproduktes bleiben die TRENDELENBURGSchen Messungen unberührt, da sie nach der kurzwelligen Seite nicht über die Wellenlänge  $459\text{ m}\mu$  hinausreichen, so daß die Absorption des sich bildenden Sehgelbes noch keine Rolle spielt (s. S. 99 f.). Warum freilich, wie schon KÖNIG beobachtete und auch von TRENDELENBURG bemerkt wurde, der Absorptionswert im Spektralbereich von 600 bis  $550\text{ m}\mu$  bei teilweiser Bleichung des Sehpurpurs *zunimmt*, bleibt auf Grund der bisher vorliegenden Untersuchungen unerklärt.

In diesem Zusammenhang ist es von Interesse, daß RENQVIST, wie vor ihm auch schon KÖNIG, den Versuch machte, die Lichtabsorption im Sehpurpur als mechanische Resonanzerscheinung zu fassen und die Form derjenigen Kurve festzustellen, die, aus der Mitschwingung mechanischer Resonatoren verstanden, sich den vorliegenden Kurven der Energie-Helligkeitswerte am besten anschmiegte. RENQVIST zog hierzu die Absorptionstheorie von PLANCK heran und bestimmte an der Hand der Kurven von KÖTTGEN und ABELSDORFF sowie von TRENDELENBURG für vorliegenden Fall die Eigenwellenlänge der Resonatoren auf 506 bzw.  $510\text{ m}\mu$ , das logarithmische Dekrement der Schwingungen auf 0,4741 bzw. 0,4660, die Anzahl der Resonatoren in der Volumeneinheit auf  $1,06 \times 10^8$  bzw.  $1,35 \times 10^8$ . Berechnete er die in den Resonatoren des Sehpurpurs absorbierte Lichtenergie, so gelangte er zu einer verhältnismäßig guten Übereinstimmung mit der für die spektrale Verteilung der Dämmerungswerte anderwärts ermittelten Kurven. Auch die PLANCKsche Theorie führt demnach zu dem Ergebnis, daß die physiologische Reizwirkung der Lichter den in der Zeiteinheit im Sehpurpur absorbierten Energiemengen parallel läuft.

Die volle Übereinstimmung der Kurven der Bleichungs- und der Dämmerungswerte ist neuerdings von HECHT und WILLIAMS angefochten worden. Es wird geltend gemacht, daß sie bei Benutzung eines Normalspektrums mit gleichmäßiger Energieverteilung zwar die gleiche Form, aber eine nicht voll sich deckende Lage im sichtbaren Spektrum besäßen. Während das Maximum der Bleichungskurve von den genannten Autoren bei  $500\text{ m}\mu$  angenommen wird, fanden sie das Maximum der Kurve der Dämmerungswerte bei  $511\text{ m}\mu$ , also näher der (ebenfalls identisch geformten) Kurve der Helligkeitswerte der spektralen Lichter im Tagessehen. HECHT und WILLIAMS sind geneigt, die in den drei Kurven zum Ausdruck kommende Strahlenwirkung auf eine Absorption in *ein* und *derselben Substanz*, nämlich im Sehpurpur, zu beziehen, den sie hier nach, wenngleich in äußerster Verdünnung, auch in der Netzhautmitte vermuten. Zur Erklärung der verschiedenen Lagen der Kurven im Spektrum nehmen sie außer den Konzentrationsunterschieden optische Milieuvorschiedenheiten in Netzhautzentrum und Netzhautperipherie an im Sinne der KUNDTschen Regel, nach der sich die Absorptionswirkung eines farbigen Pigmentes um so mehr nach den langwelligen Lichtern hin verschiebt, je höher der Brechungs-exponent des Lösungsmittels ist. In dieser Beziehung wären zwischen Stäbchen und Zapfen also charakteristische Unterschiede zu fordern, die auch berechnet wurden (man vergl. hierzu auch WEIGERT [a, b]). Auch die Möglichkeit des Vorkommens lokal verschiedener Purpurmodifikationen zwischen den oben (S. 97 f.) genannten beiden Grenztypen wird in Erwägung gezogen.

**Die theoretischen Folgerungen**, die sich aus den erwähnten experimentellen Ergebnissen für die Bewertung der vermittelnden Rolle des Sehpurpurs bei der Auslösung der Netzhauterregung ergeben, können an dieser Stelle nur gestreift werden; ihre ausführlichere Würdigung hat im Rahmen der Darstellung der funktionellen Leistung des Sehorganes und der zu ihrer Erklärung entwickelten Vorstellungen von seiner inneren Organisation zu geschehen (s. Kapitel Theorien des Licht- und Farbensinns in diesem Bande).

Wie aus dem Gesagten hervorgeht, fügen sich die Befunde den Folgerungen der *Duplizitätstheorie* (v. KRIES [b], v. TSCHERMAK) in den wesentlichen Punkten ein, und es liegt nahe, die Besonderheiten der Funktionsweise des Auges unter den Bedingungen des Dämmerungssehens mit der sensibilisierenden Wirkung des sich anhäufenden Sehpurpurs in Zusammenhang zu bringen. Da der Sehpurpur in seinem Vorkommen wesentlich an die Netzhautstäbchen gebunden ist, so würde auf dieser Grundlage nicht nur das im Dämmerungssehen isolierte Ansprechen der Stäbchen verständlich, sondern falls die neuen Angaben über das Fehlen des PURKINJESCHEN Phänomens in den stäbchenfreien Mittelbezirken der Netzhaut (ABELSDORFF, DIETER und KOHLRAUSCH, DIETER) sich bestätigen, auch der Tatbestand dieses Phänomens. Es kommt hinzu, daß die Erregbarkeitssteigerung des dunkel gehaltenen menschlichen Auges (PRPER) mit der bei Tieren beobachteten Regeneration des Sehpurpurs (s. S. 107 f.) im Großen und Ganzen zeitlich parallel geht. Da diese beiden Zeitwerte nur in ziemlich grober Annäherung bestimmt werden können, so ist auf diese Übereinstimmung allerdings kein allzugroßer Wert zu legen. Es ist aber immerhin beachtenswert, daß es sich in beiden Fällen um Vorgänge von einem, wenigstens der Größenordnung nach, übereinstimmenden Verlauf handelt. Es fehlt nicht an Versuchen, den Adaptationsverlauf von diesem Gesichtspunkte aus zahlenmäßig zu erfassen, und HECHT (b) gibt neuerdings an, daß die Dunkeladaptation der Netzhautperipherie der Isotherme einer bimolekularen Reaktion folge. Inwieweit dies mit dem Vorgange der Purpurregeneration in Beziehung gesetzt werden darf, bleibt vor der Hand allerdings fraglich; für den Adaptationsverlauf der Fovea centralis ist HECHT (d) zu entsprechenden Feststellungen gelangt.

Die Annahme, daß der Sehpurpur ausschließlich der Sensibilisierung des Stäbchenapparates im dunkeladaptierten Auge diene und die hier gegebenen Erregbarkeitsverhältnisse schaffe, hat sich keineswegs allgemein durchgesetzt, sondern es wurde mehrfach versucht, seine Bedeutung als „Empfangsstoff“ der Netzhaut *weiter* zu fassen. Schon HERING hat zum Ausdruck gebracht, daß für die Rolle, die der Sehpurpur spielt, sein *Umsatz* im Auge möglicherweise mehr ins Gewicht falle als die Menge, zu der er sich unter Umständen in der Netzhaut anhäuft, und daß er demnach vielleicht gerade beim Tagessehen von besonderer Bedeutung sei. Eine Stütze schien diese Vermutung in einer Beobachtung BAUERS zu finden, wonach die beim Übergang von Dunkel zu Hell zunächst ausbleichende Froschnetzhaut sich während der weiteren Belichtung im lebenden Tiere allmählich wieder rötlich färbt, eine Erscheinung, die nur aus einer unter dem Einflusse der Bleichung angefachten gesteigerten Purpurneubildung verständlich wäre. Auch von GARTEN (a) liegen Beobachtungen vor, die im Sinne einer solchen Korrelation zwischen Purpurbleichung und -neubildung sprechen. Auf der anderen Seite freilich wird von einer Reihe von Autoren gerade eine Hemmung der Purpurbildung bei Tätigkeit der Zapfen im Tagessehen behauptet („rhodogenetische Hemmung“, v. LIEBERMANN, G. E. MÜLLER), wie auch umgekehrt Stäbchenregung die Zapfenerregbarkeit beeinträchtigt (GRANT und Mitarbeiter). WEIGERT ist auf Grund seiner photochemischen Studien über die Farbenanpassung bleichbarer Farbensysteme ebenfalls geneigt, dem Sehpurpur eine viel allgemeinere Bedeutung für den Sehakt beizumessen, als dies im Rahmen der Duplizitätstheorie geschieht, und ihm insbesondere auch bei der Auslösung *bunter* Farbenempfindungen eine entscheidende Rolle zuzuerteilen. Ein abschließendes Urteil über die Tragweite seiner noch spekulativen Gedankengänge und Analogisierungen ist heute noch nicht möglich, doch scheinen sie verheißungsvolle Ansätze zu einer fruchtbaren neuartigen Behandlung des Gegenstandes darzustellen.

Auch HECHT und WILLIAMS (man vergl. auch HECHT [e]) rechnen, wie schon erwähnt wurde, mit dem Vorkommen ganz geringer Sehpurpurkonzentrationen in der stäbchenfreien *Netzhautmitte* und mit einer Beteiligung des Sehpurpurs an der Funktion dieser Netzhautstelle, an der beim Affen nach einer Angabe von EDRIDGE-GREEN und DEVEREUX-MARSHALL der Sehpurpur sinnenfällig nachweisbar ist. In die gleiche Richtung endlich weist eine ältere, von EDRIDGE-GREEN wieder aufgenommene und weiterentwickelte Theorie, nach der die Zapfen als die eigentlichen Aufnahmeapparate der Netzhaut von den als Sensibilisatoren wirkenden Stäbchen durch einen Zustrom von Sehpurpur empfindlich gemacht bzw. erregt werden sollen. Auch nach ihr wird selbst für die stäbchenfreie Netzhautmitte eine solche Sensibilisierung aus der Umgebung angenommen und dem Sehpurpur so eine zentrale Stellung im Erregungsgeschehen der Netzhaut zugewiesen. Eine eingehende Kritik dieser Anschauungen hat PARSON gegeben.

**Regeneration des Sehpurpurs.** Unsere Kenntnisse von den Bedingungen und dem Verlauf der Sehpurpurregeneration sind noch nicht als abschließend zu betrachten. Was an Erfahrungen auf diesem Gebiete heute vorliegt, geht wieder größtenteils auf KÜHNE (a) zurück; durch spätere Untersucher (GARTEN [a], ABELSDORFF [a, b]) sind nur wenige wichtige Einzelfeststellungen hinzugefügt worden. Die zeitlichen Verhältnisse ihres Ablaufes charakterisieren die Regeneration des Sehpurpurs als einen verhältnismäßig trägen Prozeß, worauf schon die Möglichkeit hinwies, sie mit der Dunkeladaptation des Auges in Beziehung zu setzen (s. S. 106). Die Zeiten, die für die volle Purpurregeneration nach vorangegangener Ausbleichung beobachtet sind, belaufen sich beim Fisch auf 40 Minuten (KÜHNE, ABELSDORFF), beim Krokodil auf eine Stunde (ABELSDORFF), beim Frosch liegen sie noch höher (GARTEN). Angaben über die Temperatur, die hier sicher wesentlich mitspricht (GATTI), sind in den wenigsten Fällen gemacht worden. Die ersten sicheren Zeichen beginnender Regeneration (schwächste Rotfärbung der Netzhaut) nach vollständiger Ausbleichung wurden beim lebenden Fisch von KÜHNE (b) nach etwa 15 Minuten gesehen, nach 20 Minuten Dunkelaufenthalt war die Netzhautfärbung deutlich, nach 40 Minuten die Purpurregeneration sicher beendet. Beim Kaninchen, das bei künstlich erweiterten Pupillen greller Sonnenbelichtung ausgesetzt worden war, fand AYRES schon nach 5 Minuten Dunkelaufenthalt die ersten Spuren von Sehpurpur; die volle Regeneration war nach 35—40 Minuten erreicht.

Es liegt auf der Hand, daß insbesondere die Beurteilung, wann die Purpurregeneration als abgeschlossen zu betrachten sei, kaum mit großer Bestimmtheit möglich ist. Wie übrigens das bei langdauerndem Dunkelaufenthalt, beim „Abschluß“ der Sehpurpurregeneration, sich zweifellos allmählich herstellende *Gleichgewicht* aufzufassen ist, ob Sehpurpur hierbei auch ohne Lichtwirkung zerfällt oder ob die Neubildung von Purpur gegenüber seiner in der Netzhaut herrschenden Konzentration schließlich völlig sistiert, ist eine noch offene Frage.

Die *Bedingungen* der Sehpurpurregeneration sind in der Tierreihe einigermaßen verschieden gefunden worden. Während die Purpurneubildung beim Warmblüter (und nach KÜHNE auch bei einigen Fischen) an das Erhaltensein der Zirkulation gebunden ist, sieht man sie bei den Poikilothermen im allgemeinen auch im isolierten Bulbus noch eintreten. In beiden Fällen kommt eine wesentliche Rolle hierbei den *Zellen des retinalen Pigmentepithels* zu (EWALD und KÜHNE [b]), die auch beim albinotischen Tiere zu dieser Leistung befähigt sind; ihr Gehalt an Fuscinnadeln ist für die Purpurregeneration also nicht maßgebend. Daß auch beim Säugetier die Pigmentepithelschicht die Neubildung des Sehpurpurs beherrscht (man vgl. hierzu auch die Angaben HOLMS über die

Regeneration des Sehgelbes), geht aus der Feststellung von ANDOGSKY hervor, der zufolge nach künstlicher Netzhautablösung im sonst intakten Kaninchenauge in den abgelösten Netzhautbezirken die Purpurregeneration *vollständig ausbleibt* (s. a. bei RENQVIST). An der frisch isolierten Froschnetzhaut kommt nach vollständiger Ausbleichung eine Regeneration noch zustande, wenn die Netzhaut in ihren pigmentepithelhaltigen Augenbecher zurückgelegt und einige Stunden im Dunkeln gehalten wird. Ob die auch in der (scheinbar) ganz pigmentepithelfrei isolierten Frosch- oder Fischnetzhaut selbst, sowie in Sehpurpurlösungen häufig nachweisbare schwache Regeneration auf die Mitwirkung unmerklicher (pigmentfreier) Epithelreste zu beziehen ist oder ob sich, wie GARTEN meint, neue Sehpurpurmoleküle, *ohne Mitwirkung von Epithelbestandteilen*, auch aus den bei der Bleichung entstandenen Sehgelbmolekülen im reversiblen Vorgange bilden können, ist noch nicht sicher zu entscheiden.

Hinsichtlich der *Natur der Prozesse, die der Sehpurpurneubildung („Rhodogenese“)* zugrunde liegen, unterscheidet KÜHNE (b) eine „Neogenese“ und eine „Anagenese“ und nimmt an, daß bei jener die Neubildung aus ganz frischem Material, bei dieser unter Mitverwendung der noch in den Stäbchen liegenden Purpurzerfallsprodukte, insbesondere des Sehgelbes, erfolge. Bei neogenetischer Regeneration wird nach KÜHNES Ansicht eine *gelbe* Phase *nicht* durchlaufen. Die Aufgabe des Pigmentepithels in beiden Fällen wird wohl allgemein in der *Sekretion* bestimmter Stoffe gesehen, die an die Stäbchen abgegeben werden und dort bei der Purpurneubildung mitwirken. Die Wirksamkeit eines solchen Sekretstoffes („Rhodophyllin“) fordert KÜHNE auch für den erwähnten Fall der „Autoregeneration“, die vorliegt, wenn in der (scheinbar) pigmentepithelfreien isolierten Netzhaut oder Purpurlösung Regenerationsprozesse ablaufen (s. o.). Näheres über die sekretorische Leistung des Pigmentepithels und über die Natur der sezernierten Stoffe ist nicht bekannt. Man hat an die Abgabe einer *Purpurvorstufe* seitens der Pigmentzellen gedacht, die in den Stäbchen weiterverarbeitet würde; auch die Möglichkeit eines Fermentprozesses ist in Betracht gezogen worden. Die relative Trägheit des Regenerationsvorganges kann als Hinweis darauf betrachtet werden, daß die Purpurneubildung an den Ablauf einer längeren Kette von Einzelreaktionen mit relativ geringer Reaktionsgeschwindigkeit geknüpft ist. Der Gedanke an eine sekretorische Tätigkeit des retinalen Pigmentepithels wird durch die Tatsache, daß das Pilocarpin die Purpurregeneration in der Netzhaut beschleunigt, gestützt, doch ist der Nachweis einer gegensinnigen Wirkung des Atropins bis jetzt nicht gelungen (KÜHNE). Eine Hemmung der Sehpurpurbildung wird dagegen durch das Cocain (OVIO) und das Santonin (SIVÉN und v. WENDT, siehe aber auch bei KNIES) bedingt.

Zur Frage des Einflusses von *Vitaminen* auf die Sehpurpurregeneration liegt eine Mitteilung von YOSHUE vor, dahingehend, daß avitaminös gefütterte Hunde und Ratten, die starke Allgemeinerscheinungen, aber keine xerotischen Bindehautveränderungen zeigten (nur die Hornhaut wies leichte Erosionen auf), nach ausgiebiger Belichtung ihren Sehpurpur sehr wohl zu regenerieren im Stande seien. Ob ihre Regenerationsfähigkeit sich etwa graduell von der normaler Tiere unterschied, wurde nicht untersucht. Dem steht für den Fall der A-Avitaminose die Angabe SUGITAS (a) gegenüber, daß sie bei Ratten zu einer Hemeralopie führe. Eine Hemeralopie kann nach den Befunden SUGITAS (a, b), zum mindesten sehr häufig, experimentell auch erzeugt werden durch Injektion von Galle, glyko- und taurocholsaurem Natrium, cholsaurem Natrium, während Taurin, Glykokoll und Bilirubin sich in dieser Hinsicht als wirkungslos erwiesen. Die Grundlage dieser Funktionsstörung wird in einer meist sehr ausgesprochenen Cholesteatose in der retinalen Pigmentepithelschicht mit Störung der

Sehpurpurbildung gesehen (s. auch MAJIMA). GLÜH fand im Gegensatz hierzu nach künstlich erzeugtem Ikterus (Unterbindung des Ductus choledochus) die Färbung der Netzhaut an Hand der GARTENSCHEN Farbenskala durchaus normal und auch die Verhältnisse der Sehpurpurregeneration gegenüber der Norm unverändert.

Zur Frage der Hemeralopie als funktioneller Störung des Auges, die an dieser Stelle nicht zu näherer Diskussion steht, sei z. B. auf die Ausführungen von v. KRIES (a), v. HESS (a), PARINAUD, MESSMER, KÖLLNER, ROELOFS und ZEEMANN verwiesen.

## Literatur.

### *Sehpurpur.*

ABELSDORFF, G.: (a) Die ophthalmoskopische Erkennbarkeit des Sehpurpurs. Z. Psychol. u. Physiol. Sinnesorg., **14**, 77 (1896). (b) Physiologische Beobachtungen am Auge der Krokodile. Arch. f. Physiol. **1898**, 155. (c) Zur Erforschung des Helligkeits- und Farbensinnes bei Menschen und Tieren. Arch. f. Physiol. **1900**, 561. — ABELSDORFF, G., W. DIETER und A. KOHLBAUSCH: Weitere Untersuchungen über den Dunkeladaptationsverlauf bei verschiedenen Fabensystemen und bei Adaptationsstörungen. Pflügers Arch. **196**, 121 (1922). — ANDOGSKY, N.: Über das Verhalten des Sehpurpurs bei Netzhautablösung. Graefes Arch. **44**, 404 (1897). — AYRES, W. C. u. W. KÜHNE: Über die Regeneration des Sehpurpurs beim Säugetier. Unters. physiol. Inst. Heidelberg **2**, 215 (1879).

BAUER, V.: Über das Verhalten des Sehpurpurs beim Tagesehen. Pflügers Arch. **141**, 479 (1911). — BOLL, F.: (a) Zur Anatomie und Physiologie der Retina. Sitzber. Akad. Wiss. Berlin **1876**, 783. (b) Zur Anatomie und Physiologie der Retina. Arch. f. Physiol. **1877**, 1. (c) Thesen und Hypothesen zur Licht- und Farbenempfindung. Arch. f. Physiol. **1881**, 1.

DIETEL u. PLENK: Untersuchungen über die Wahrnehmbarkeit des Sehpurpurs mit dem Ophthalmoskop. Med. Zbl. **1877**, 273. — DIETER, W.: Über das PURKINJESISCHE Phänomen im stäbchenfreien Bezirk der Netzhaut. Graefes Arch. **113**, 141 (1924). — DRESER, H.: Zur Chemie der Netzhautstäbchen. Z. Biol. **22**, 23 (1886).

EDRIDGE-GREEN, F. W.: Colour blindness and colour perception. 2. ed., London 1909. Vgl. auch Lancet **177**, 986 (1909); Proc. roy. Soc. Lond. (B) **82**, 458 (1910). **84**, 116 (1911); **204**, 256 (1923); Ophthalm. Rev. **1914**, 269; J. of Physiol. **42**, 428 (1911). — EDRIDGE-GREEN, F. W. and DEVEREUX-MARSHALL (zit. nach v. TSCHERMAK, A., Theorie des Farbsehens, Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie Bd. 12 (1), S. 550. 1929): Trans. ophthalm. Soc. Lond. **22**, 300 (1902). — EWALD, A.: Über die entoptische Wahrnehmung der Macula lutea und des Sehpurpurs. Unters. physiol. Inst. Heidelberg **2**, 282 (1879). — EWALD, A. u. W. KÜHNE: Untersuchungen über den Sehpurpur. III. Veränderungen des Sehpurpurs in der Netzhaut im Leben. Unters. physiol. Inst. Heidelberg **1**, 370 (1878).

FRANÇOIS, M. u. H. PIÉRON: Le pourpre rétinien est-il l'unique substance photochimique commune aux cones et aux bâtonnets de la rétine? C. r. Soc. Biol. Paris **91**, No 32, 1073 (1924). — FUCHS, E. u. WELPNER: Zur Farbe der Netzhaut. Wien. med. Wschr. **1877**, Nr 10, 221.

GARTEN, S.: (a) Über die Veränderungen des Sehpurpurs durch Licht. Graefes Arch. **63**, 112 (1906). (b) Die Veränderungen der Netzhaut durch Licht. GRAEFES-SAEMISCH' Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 2. Aufl. 3. Bd., 1. Teil, Kap. 12 (Anhang). 1907. — GATTI, A.: Über die Regeneration der Sehpurpurs. Zbl. f. Physiol. **11**, 461 (1897); Arch. di Fisiol. **28**, 47 (1897). — GENDEREN STORT, VAN, H. A. G.: Über Form und Ortsänderung der Netzhautelemente unter dem Einfluß von Licht und Dunkel. Graefes Arch. **33** (3), 229 (1887). — GLÜH, B.: Experimentelle Untersuchungen über Sehpurpurbildung bei Ikterus am Kaninchen. Z. Augenheilk. **64**, 69 (1928). — GRANIT, R.: Über eine Hemmung der Zapfenfunktion durch Stäbchenregeneration beim Bewegungsnachbild. Z. Sinnesphysiol. **58**, 95 (1927). — GREFF, R.: Mikroskopische Anatomie des Sehnerven und der Netzhaut. GRAEFES-SAEMISCH' Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 2. Aufl., 1. Teil, Bd. 1, Kap. 5, S. 122. 1907.

HAMBURGER, H. J.: Staafjesrood in monochromatisch licht. Onderzoekingen d. Utrechtsche Hoogeschool, 3. Reeks, Bd. 11, S. 1. 1889. — HECHT, S.: (a) Photochemistry of visual purple. I. The kinetics of the decomposition of visual purple by light. J. gen. Physiol. **3**, 1 (1920). (b) Human retinal adaptation. Proc. nat. Acad. Sci. (U. S. A.) **6**, 112 (1920). (c) Photochemistry of visual purple. II. The effect of temperature of the bleaching of visual purple by light. J. gen. Physiol. **3**, 285 (1921). (d) The nature of foveal dark adaptation. J. gen. Physiol. **4**, 113 (1921). (e) Zur Photochemie des Sehens. Naturwiss. **13**, 66 (1925). —

HECHT, S. and R. E. WILLIAMS: The visibility of monochromatic radiation and the absorption spectrum of visual purple. *J. gen. Physiol.* **5**, 1 (1922). — HELFREICH, A.: Ophthalmologische Mitteilung über den Purpur der Retina. *Med. Zbl.* **1877**, 113. — HENSEN, V.: Über das Auge der Cephalopoden. *Z. wiss. Zool.* Bd. **15**, 155 (1865). — HERING, E.: Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn. GRAEFE-SÄEMISCH, Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 2. Aufl., 1. Teil, Bd. 3, Kap. 12. 1908. — HERTZEL, E.: (a) Über physiologische Wirkung von Strahlen verschiedener Wellenlänge. Vergleichend physiologische Untersuchungen II. *Z. allg. Physiol.* **5**, 95 (1905). (b) Einiges über die Bedeutung des Pigmentes für die physiologische Wirkung der Lichtstrahlen. *Z. allg. Physiol.* **6**, 44 (1906). (c) Über den Gehalt verschiedener Spektralbezirke an physiologisch wirksamer Energie. *Z. physik. u. diät. Ther.* **10**, (1906/07). — HESS, C. v.: (a) Über das Vorkommen von Sehpurpur bei Cephalopoden. *Zbl. Physiol.* **16**, 91 (1902). (b) Beiträge zur Physiologie und Anatomie des Cephalopodenauges. *Pflügers Arch.* **109**, 393 (1905). (c) Über Dunkeladaptation und Sehpurpur bei Hühnern und Tauben. *Arch. Augenheilk.* **57**, 298 (1907). (d) Untersuchungen über Lichtsinn und Farbensinn der Tagvögel. *Arch. Augenheilk.* **57**, 317 (1907). (e) Untersuchungen über das Sehen und über die Pupillenreaktion von Tag- und Nachtvögeln. *Arch. Augenheilk.* **59**, 143 (1908); **69**, 205 (1911); **87**, 81 (1920). — HOLM, E.: Sur la décoloration du pourpre visuel. *C. r. Soc. Biol.* **87**, No 25, 465 (1922).

KNIES, M.: Über die Farbensinnstörung durch Santonin usw. *Arch. Augenheilk.* **37**, 252 (1898). — KÖLLNER, H.: Die Störungen des Farbensinnes. Berlin 1912. Siehe insbesondere S. 239, 245. — KÖNIG, A.: Über den menschlichen Sehpurpur und seine Bedeutung für das Sehen. *Sitzgsber. Akad. Wiss. Berlin* **1894**, 577. — KÖTTGEN, E. u. G. ABELSDORFF: (a) Die Arten des Sehpurpurs in der Wirbeltierreihe. *Sitzgsber. Akad. Wiss. Berlin* **38** (1895, Juli). (b) Absorption und Zersetzung des Sehpurpurs bei den Wirbeltieren. *Z. Psychol. u. Physiol. Sinnesorg.* **12**, 161 (1896). — KRAUSE, W.: Die Retina. *Internat. Mschr. Anat. u. Physiol.* **10**, 12 (1893). — KRIES, J. v.: (a) Über die Funktionsteilung im Sehorgan und die Theorie der Nachtblindheit. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **49**, 241 (1911); **70**, 577 (1923). (b) Zur Theorie des Tages- und Dämmerungsehens. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie Bd. 12 (1), S. 679. 1929. — KROHN: Nachträgliche Beobachtung über den Bau des Auges der Cephalopoden. *Nov. act. akad. Caesar. Leopoldino-Carolinae* **19**, 1 (1842). — KRUKENBERG, K. FR. W.: Über die Stäbchenfarbe der Cephalopoden. *Unters. physiol. Inst. Heidelberg* **2**, 58 (1879). — KÜHNE, W.: (a) Über das Vorkommen des Sehpurpurs. *Zbl. med. Wiss.* **1877**, 257. (b) Reihe der Arbeiten über den Sehpurpur in den Untersuchungen a. d. physiol. Inst. Heidelberg, 1878—1882. (c) Chemische Vorgänge in der Netzhaut. HERMANN'S Handbuch der Physiologie, Bd. 3 (1), S. 235. 1879. (d) Zur Darstellung des Sehpurpurs. *Z. Biol.* **32**, 21 (1895).

LASAREFF, P.: (a) Über das Ausbleichen von Farbstoffen im sichtbaren Spektrum. *Ann. Physik. N. F.* **24**, 661 (1907); **37**, 812 (1912). (b) Theorie der Lichtreizung der Netzhaut beim Dunkelsehen. *Pflügers Arch.* **154**, 459 (1913); **199**, 290 (1923). (c) Sur le changement de la conductibilité électrique du pourpre visuel au cours de l'éclairage. *C. r. Acad. Sci. Paris* **181**, Nr 15, 476 (1925). — LEYDIG: Lehrbuch der Histologie, S. 238. Frankfurt 1857. — LYTTHGØE, R. J. and K. TANSLEY: A photographic method for the estimation of coloured solutions with special reference to visual purple. *J. of Physiol.* **68**, 45 (1929).

MAJIMA, K.: Studien über die Struktur der Sehzellen und der Pigmentepithelzellen der Froschnetzhaut. *Graefes Arch.* **115**, 286 (1925). — MESSMER, H.: Über die Dunkeladaptation bei Hemeralopie. *Z. Sinnesphysiol.* **42**, 83 (1908). — MÜLLER, G. E.: Darstellung und Erklärung der verschiedenen Typen der Farbenblindheit nebst Erörterung der Funktion des Stäbchenapparates sowie des Farbensinnes der Bienen und der Fische. Göttingen 1924. — MÜLLER, H.: Zur Histologie der Netzhaut, 1851. MÜLLER'S hinterlassene Schriften I.

NAGEL, W. A.: Die Wirkungen des Lichtes auf die Netzhaut. NAGEL'S Handbuch der Physiologie des Menschen, Bd. 3, S. 99. 1905. — NAGEL, W. A. v. F. HIMSTEDT: Versuche über die Reizwirkung verschiedener Strahlenarten auf Menschen- und Tieraugen. *Festschr. d. Univ. Freiburg z. Reg.-Jub. d. Großh. Friedrich v. Baden*, 1902, S. 257. — NAKASHIMA, M.: Über das Oxydations-Reduktionspotential der Netzhaut. *Ber. dtsch. ophthalm. Ges.* **1929**, 369. — NETTLESHP, W.: Observations of visual purple etc. *J. of Physiol.* **2**, 38 (1879).

OVIO, G.: Di una speciale azione della Cocain sulla funzione visiva. *Ann. Ottalm.* **24**, 23 (1895).

PARINAUD, H.: La Vision. Paris 1898. Siehe auch *C. r.* **93**, 286 (1881). — PARSONS, J. H.: Colour vision, 2. ed., p. 304. Cambridge 1924. Siehe auch *Brit. J. of Ophthalm.* **4**, 322, 359, 403 (1920). — PIPER, H.: Über Dunkeladaptation. *Z. Psychol. u. Physiol. Sinnesorg.* **31**, 161 (1903). — PLANCK, M.: (a) Zur elektromagnetischen Theorie der Dispersion in isotropen Nichtleitern. *Sitzgsber. Akad. Wiss. Berlin* **1902**, S. 470. (b) Zur elektromagnetischen Theorie der selektiven Absorption in isotropen Nichtleitern. *Sitzgsber. Akad. Wiss. Berlin* **1903**, S. 480.

RENQVIST, V.: Ein Versuch, die PLANCK'Sche Resonatorentheorie der Lichtabsorption auf die Absorption des Sehpurpurs anzuwenden. *Skand. Arch. Physiol.* **40**, 226 (1920). —

ROELOFS, C. O. u. W. P. C. ZEEMANN: Die Sehschärfe im Halbdunkel, zugleich ein Beitrag zur Kenntnis der Nachtblindheit. Graefes Arch. **99**, 174 (1919).

SCHMIDT-RIMPLER, H.: Sehrot bei einem Amaurotischen usw. Med. Zbl. **1877**, 401. — SIVÉN, V. O.: Studien über die Stäbchen und Zapfen als Vermittler von Farbenempfindungen. Skand. Arch. Physiol. **17**, 306 (1905). — SIVÉN, V. O. und G. v. WENDT: Über die physiologische Bedeutung des Sehpurpurs. Skand. Arch. Physiol. **14**, 146 (1903). — STERN, R.: Über Sehpurpurfixation. Graefes Arch. **61**, 561 (1905). — SUGITA, Y.: (a) Studien über die physiologische und pathologische Verteilung der lipoiden Substanzen im Auge, speziell in der Netzhaut. Graefes Arch. **115**, 260 (1925). (b) Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung der Galle und ihrer Bestandteile auf das Auge, speziell auf den Lichtsinn und den Sehpurpur, nebst Bemerkungen über meine Sehpurpurlösungsmethode. Graefes Arch. **116**, 353 (1926).

TAIT, Note on a singular property of the retina. Proc. roy. Soc. Edinburgh **7**, 605 (1871—72). — TAPPEINER, H. v.: Die photodynamische Erscheinung (Sensibilisierung durch fluoreszierende Stoffe). Erg. Physiol. **8**, 698 (1909). — TRENDELENBURG, W.: (a) Über die Bleichung des Sehpurpurs mit spektralem Licht in ihrer Abhängigkeit von der Wellenlänge. Zbl. Physiol. **17**, 720 (1904). (b) Quantitative Untersuchungen über die Bleichung des Sehpurpurs in monochromatischem Licht. Z. Psychol. u. Physiol. Sinnesorg. **37**, 1 (1904). (c) Über das Vorkommen von Sehpurpur im Fledermausauge nebst Bemerkungen über den Zusammenhang zwischen Sehpurpur und Netzhautstäbchen. Arch. f. Physiol. **1904**, Suppl., 228. (d) Die objektiv feststellbaren Lichtwirkungen an der Netzhaut. Erg. Physiol. **11**, 1 (1911). — TSCHERMAK, A. v.: Theorie des Farbensehens. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12 (1), 550. 1929.

WEIGERT, FR.: (a) Ein photochemisches Modell der Retina. Pflügers Arch. **190**, 177 (1921); siehe auch Z. Elektrochem. **27**, 481 (1921). (b) Zur physikalischen Chemie des Farbensehens. Z. physik. Chem. **100**, 537 (1922). (c) Photochemisches zur Theorie des Farbensehens. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12 (1), 536 (1929). — WEISS, R.: Wie ist die vermehrte Purpurfärbung in der Sehleiste der Kaninchen-netzhaut zu erklären? Graefes Arch. **66**, 263 (1907). — WIENER, O.: Farbenphotographie durch Körperfarben und mechanische Anpassung in der Natur. Ann. Physik, **55**, 225 (1895).

YOSHIOE, S.: Über das Verhalten des Sehpurpurs bei avitaminösen Tieren. Arch. Augenheilk. **95**, 140 (1924).

# Die chemischen Vorgänge in der Netzhaut.

Von

R. DITTLER-Marburg.

Die ersten Untersuchungen über chemische Vorgänge in der Netzhaut, die durchgeführt wurden, zielten auf die Feststellung der chemischen Reaktion der Netzhaut und den Nachweis ihrer Änderung unter der Wirkung des Lichtes ab.

Aus dem vorliegenden Schrifttum läßt sich etwa folgendes Bild von der historischen Entwicklung dieser Frage entwerfen. Als Erster hat sich wohl KÜHNE (a, b) mit der chemischen Reaktion der Netzhaut beschäftigt. Er fand, daß die Netzhaut *alkalisch* reagiere; die Feststellung einer *Änderung* dieses Zustandes bei Belichtung ist ihm unter Verwendung von Lakmus als Indikator *nicht* gelungen, weder an isolierten Netzhäuten im ganzen, noch an einem durch Zerquetschung in Achatschälchen hergestellten Netzhautbrei, den er dem Lichte aussetzte. Auch die etwa gleichzeitigen Untersuchungen CHODINS, der Netzhäute von Hell- und Dunkeltieren frischpräpariert auf lackmusgetränkten Gipsplättchen prüfte, blieben hinsichtlich einer Reaktionsverschiedenheit ohne sicheren Erfolg. Ebenso fand CAHN an frischen Netzhäuten von Schlachttieren in der Regel alkalische Reaktion, obgleich die Augen der Tiere sicher ganz verschieden vorbelichtet zur Untersuchung kamen. Diesen Befunden, die eine Reaktionsänderung der Netzhaut bei ihrer Tätigkeit vermissen lassen, stehen die Angaben ANGELUCCIS gegenüber, der die chemische Reaktion der belichteten Netzhaut, im Gegensatz zur alkalischen der Dunkelnetzhaut, *sauer* fand und die Lehre von der Säuerung der Netzhaut unter Lichtwirkung zuerst mit Bestimmtheit aussprach. LODATO (a) bestätigte diese Befunde insofern, als er unter Verwendung des säureempfindlicheren Phenolphthaleins titrimetrisch zeigen konnte, daß die Dunkelnetzhaut regelmäßig weniger Alkali bis zur Rotfärbung des Indikators brauchte als die belichtete. Da der Umschlagspunkt des Phenolphthaleins etwa bei einem  $p_H = 8,5$  liegt, so ist LODATOS Beweisführung für das Zustandekommen einer effektiv sauren Reaktion allerdings nicht schlüssig, doch enthält sie, was hier das wesentliche ist, den sicheren Beweis für ein Freiwerden saurer Valenzen in der tätigen Netzhaut. Für die (in diesem Sinne verstandene) Säuerung der Netzhaut erwies sich ihm kurzweiliges Licht als am wirksamsten; andere Angaben (MAJIMA) lauten auf gelbes oder grünes. Nach MAJIMA besitzt die Dunkelnetzhaut für saure Farbstoffe eine besonders hohe Affinität, während der Affinitätsunterschied zwischen der Hell- und der Dunkelnetzhaut für basische Farbstoffe ganz gering sei. OGUCHI gibt an, daß die Dunkelnetzhaut zur Zeit des Winterschlafes, wo sie ja auch zu dauernder Hellstellung der Zapfen und des Pigmentes neigt (HAMBURGER), der alkalischen Substanz ermangele, die beim Belichten sauer wird.

Außer durch Lichtwirkung wurde die Säurebildung in der Netzhaut auch durch die Einwirkung hoher Temperaturen, durch Strychninvergiftung, durch Faradisierung des Auges im Dunkeln erzielt; Cocain dagegen verhinderte bzw. verzögerte die Säurebildung [LODATO (a)]. Ferner liegt die Angabe vor (MAGGIO), daß Belichtung nur eines Auges die

Säurebildung auch im dunkelgehaltenen anderen, freilich nachhinkend und abgeschwächt, anrege. RE will durch elektrische Reizung der optischen Zentren die Säuerung der Netzhäute erzielt haben, was nach demselben Mechanismus verständlich erscheint, der bei diesem Eingriffe zur Kontraktion der Zapfen führt. Auffallenderweise konnte ROCHAT diesen Befund nicht bestätigen, doch schlugen seine Versuche, einen Reaktionsunterschied zwischen Hell- und Dunkelnetzhäuten festzustellen, überhaupt fehl.

Daß die Tätigkeit der Netzhaut im Tagesehen mit der Freistellung saurer Valenzen verbunden ist, ist inzwischen zum Besitz sicherer Erkenntnis geworden, die Schritt für Schritt zu einer speziellen Lehre vom Netzhautstoffwechsel weiter entwickelt wurde.

Die Auslösung brachten hier wohl die Untersuchungen DITTLERS (b) an der isolierten Netzhaut des Frosches, die den Nachweis einer (im Tätigkeitsstoffwechsel der Netzhaut sich bildenden) diffusiblen sauren Substanz lieferten, die in der Benetzungsflüssigkeit zu fassen ist. DITTLER bediente sich für den Säuerungsnachweis einer schwach alkalischen Phenolphthaleinlösung in Form des MOLESCHOTTschen Reagens, das auf 500,0 dest. Wassers 0,06 KOH und 0,016 Phenolphthalein enthält. Es konnte gezeigt werden, daß kleine Mengen dieser (rotgefärbten) Flüssigkeit von der Netzhaut bei Belichtung sehr rasch entfärbt werden, während dies in Berührung mit der Dunkelnetzhaut nicht der Fall ist. Allerdings bildet auch die Dunkelnetzhaut als isoliert überlebendes Organ mit der Zeit so viele saure Produkte, daß eine Entfärbung der Benetzungsflüssigkeit eintritt, doch ist die zeitliche Verschiedenheit gegenüber dem Belichtungsversuch so bedeutend, daß *an der Bildung saurer Stoffwechselprodukte unmittelbar unter der Lichtwirkung nicht gezweifelt werden kann.*

Für die entstehenden sauren Substanzen konnten von DITTLER (a) interessante Beziehungen zum retinomotorischen Geschehen in der Netzhaut aufgedeckt werden. Versuche an der isolierten, in RINGERScher Lösung überlebenden Froschnetzhaut lehrten, daß die bei der Belichtung sich bildenden Stoffe befähigt sind, an der Dunkelnetzhaut, unter sicherer Fernhaltung anderer Reize, maximale Hellstellung der Zapfen herbeizuführen. Der direkte Nachweis dieser Wirkung gelingt am überzeugendsten, wenn man eine Dunkelnetzhaut unter Lichtabschluß für einige Zeit in dieselbe Ringerlösung bringt, in der zuvor eine andere Netzhaut bis zum Eintritt der Zapfenkontraktion belichtet worden war. Auch die einfache Aufeinanderlagerung einer Dunkel- und einer belichtet gewesenen Netzhaut im Dunkeln führt zum Ziel. Da die Übertragung der Wirkung durch die Suspensionsflüssigkeit übrigens um so prompter gelingt, mit je geringeren Flüssigkeitsmengen man arbeitet, so liegt die gegebene Deutung der Zusammenhänge nahe. Die Unmöglichkeit der Erzeugung von „Zapfenoptogrammen“ bei streng lokalisierter Belichtung der Netzhaut wird von DITTLER eben mit dem Herausdiffundieren der sauren Produkte aus den Netzhautelementen und ihrer Ausbreitung in der Zwischenflüssigkeit in Beziehung gebracht. Ohne sich auf eine bestimmte Lokalisierung des Bildungsortes und der chemischen Natur der sauren Substanzen im einzelnen festzulegen, entwickelte DITTLER auf Grund seiner Befunde die Vorstellung, daß die durch strahlende Energie ausgelöste Netzhauterregung mit der Bildung von Stoffen sauren Charakters einhergehe, die dann auf die Elemente der Netzhaut selbst zurückzuwirken imstande seien und z. B. die genannten retinomotorischen Wirkungen entfalteten.

Der weitere Ausbau dieser Befunde wurde von LANGE und SIMON unternommen und betraf in erster Linie die genauere chemische Erfassung der Vorgänge, die zur Säuerung der Netzhaut führen. In dieser Hinsicht gelang der wichtige Nachweis, daß es sich *bei der von der Netzhaut gebildeten Säure um anorganische Phosphorsäure handelt*, die unter der Wirkung des Lichtes aus

organischer Bindung freigemacht wird und ihren Mengenverhältnissen nach nephelometrisch bestimmt werden konnte. Auch die Gegenwart einer in verdünnter wässriger Salzsäure löslichen organischen Substanz in der Netzhaut konnte unmittelbar festgestellt werden, einer Substanz, die bei 45° C in Natriumkarbonatlösung mit großer Geschwindigkeit anorganische Phosphorsäure abspaltet. Durch den Nachweis dieses „Acidogens“ waren für den Chemismus der tätigen Netzhaut ganz ähnliche Verhältnisse ermittelt, wie sie für den Tätigkeitsstoffwechsel des Muskels bestehen, freilich mit dem nicht unwesentlichen Unterschied, daß das bei der Netzhaut in Frage kommende Ausgangsmaterial keine der gebildeten Phosphorsäure äquivalenten Mengen Milchsäure liefert, sondern daß solche nur in Spuren zur Bildung kommt. Hierin ist die Säuremuttersubstanz in der Netzhaut von dem Lactacidogen des Muskels nach den Angaben von LANGE und SIMON charakteristisch verschieden.

Hinsichtlich der *Lokalisierung* der zur Säuerung führenden Prozesse wurden LANGE und SIMON zur Annahme einer ganz nahen Beteiligung des Sehpurpurs und seiner Bleichungsprodukte geführt. Sie stellten fest, daß die *isolierte* Netzhaut des Frosches und des Karpfens den Säuerungsprozeß nur *einmal* zeigt, während die mit dem retinalen Pigmentepithel in Verbindung belassene Netzhaut, ebenso wie sie den ausgebleichten Sehpurpur regeneriert, selbst außerhalb des Auges auch hinsichtlich des Säuerungseffektes einer Regeneration fähig ist und diesen deutlich ein zweites Mal gibt. Es ist ersichtlich, daß dieses Verhalten an die Abhängigkeit der Sehpurpurregeneration vom retinalen Pigmentepithel erinnert. Ebenso wie dort könnten die Pigmentepithelzellen *mittelbar* an der Bildung der sauren Produkte beteiligt sein. Aus sich selbst heraus liefern sie nach LANGE und SIMON auch bei langdauernder kräftigster Belichtung die in Frage stehenden Stoffe *nicht*. Den Ablauf der durch Belichtung in der Netzhaut ausgelösten Prozesse stellen die genannten Autoren sich hiernach so vor, daß zunächst eine lichtempfindliche Substanz in den Außengliedern (in erster Linie der Sehpurpur) zerfalle und daß dieser Vorgang zur Spaltung des Acidogens unter Bildung freier anorganischer Phosphorsäure führe, was wiederum eine Steigerung der Durchlässigkeit zuvor nur beschränkt permeabler Grenzschichten und den vermehrten Austritt der Phosphorsäure aus der Netzhaut zur Folge habe.

Die beschriebenen Ergebnisse werden durch den von OGUCHI, MAJIMA, sowie von SCHMITZ-MOORMANN (a) geführten Nachweis von *Glykogen* in der Netzhaut ergänzt, das, ähnlich wie im Skelettmuskel, als die Muttersubstanz des Acidogens in Betracht gezogen wird und sowohl beim Frosch wie bei der Taube gefunden wurde (die mangelnden Befunde in den Netzhäuten des Rindes und des Schweines werden aus technischen Schwierigkeiten erklärt). Entgegen der Meinung der älteren Autoren verlegt SCHMITZ-MOORMANN (b) das Netzhautglykogen *ausschließlich* in den kontraktile Teil des Zapfeninnengliedes, das *Myoid*, dem es, ebenso wie dem Muskel, als Kohlehydratreserve diene. Sonst fand er es in Spuren höchstens noch im Zapfenstiel.

Die widersprechenden früheren Angaben über das Glykogenvorkommen in der Netzhaut führt SCHMITZ-MOORMANN (b) auf unvollkommene Technik, insbesondere auf unzureichende Fixierung des Glykogens zurück. Er schlägt eine besondere Fixierungsmethode, die auf eine unmittelbare Durchspritzung des Bulbus mit absolutem Alkohol hinausläuft, und Färbung nach BEST-ROMEIS vor.

Zur Frage der *Lokalisierung des Säuerungsprozesses* in der belichteten Netzhaut nimmt SCHMITZ-MOORMANN (b) den Standpunkt ein, daß eine Säurebildung im Ablaufe der Netzhauterregung nicht in den Außengliedern, sondern lediglich in den Myoiden selbst erfolge als Begleiterscheinung ihrer Kontraktion, deren Chemismus sie zugrunde läge. Leuchtet diese Ansicht im Hinblick auf die analogen Verhältnisse beim Skelettmuskel auch durchaus ein, so wird die Möglichkeit einer Rückwirkung der Stoffwechselprodukte auf das eigene Substrat (DITTLER) hierdurch natürlich keineswegs ausgeschlossen. Für die Einleitung der Säurebildung hält SCHMITZ-MOORMANN auch mechanische Schädigungen der Netzhaut für wichtig und nimmt in dieser Beziehung an, daß die von ihrem Pigmentepithel losgelöste Netzhaut durch die mit der Isolierung

verbundene mechanische Reizung zu so starker Säurebildung angeregt werde, daß sie *deshalb* bei erneuter Belichtung einen Säuerungseffekt nicht mehr geben könne.

Den Netzhautstäbchen, die weder ein Myoid besitzen, noch eine Einlagerung von Glykogen erkennen lassen, schreibt SCHMITZ-MOORMANN eine höchstens passive Beweglichkeit zu. MAJIMA fand das Glykogen in der Netzhaut nach Adrenalininjektion vermehrt.

Über die Verteilung der *Lipide* in der Netzhaut machen OGUCHI, MAJIMA und SUGITA eingehende Angaben, ohne über den *Lipidstoffwechsel* Näheres aussagen zu können.

Eine weitere wesentliche Förderung erfuhren unsere Kenntnisse vom chemischen Geschehen in der Netzhaut durch die großangelegten messenden Untersuchungen WARBURGS und seiner Mitarbeiter über den *Spaltungs- und Oxydationsstoffwechsel* der wichtigsten Gewebsarten (einschließlich der bösartigen Tumoren), in die auch die Netzhaut einbezogen wurde. Die Versuche, deren Grundidee und Technik von WARBURG (a, b) ausführlich dargestellt ist, gehen auf eine Bestimmung der Atmungsgröße und der glykolytischen Wirkung isoliert überlebender Gewebstückchen aus und kennzeichnen den Charakter der in ihnen ablaufenden chemischen Vorgänge aus der Gegenüberstellung des Umfanges der „anaeroben“ und der „aeroben“ Glykolyse. Ebenso wie die anderen lebenden Gewebe besitzt die in glykosehaltiger Ringerlösung (oder Eigenserum) überlebende Netzhaut die Fähigkeit, den Zucker in Milchsäure zu spalten. Während nun die Netzhaut unter anaeroben Bedingungen, auf die Gewichtseinheit des Gewebes bezogen, sehr erhebliche Milchsäuremengen bildet („anaerobe Glykolyse“), werden diese bei Sauerstoffgegenwart (durch die Atmung) fast vollständig zum Verschwinden gebracht, so daß nur ganz geringe Mengen von Milchsäure nachweisbar bleiben („aerobe Glykolyse“). Dieses Ergebnis besagt, daß im Stoffwechsel der Netzhaut die Atmung mit ihrer oxydativen Wirkung, etwa im selben Maße wie dies nach den MEYERHOFSCHEN Feststellungen für den Muskel gilt, eine dominierende Stellung gegenüber den anoxybiotischen Spaltungsprozessen einnimmt, die sich im Auftreten der primären Spaltungsprodukte (Milchsäure) äußern.

Die für die Netzhaut genannten Befunde gelten in dieser Form zunächst nur für die Netzhaut von *Kaltblütern*, des Frosches (NEGELEIN, KUBOWITZ) und des Fisches (NAKASHIMA), während die Warmblüternetzhaut nach Untersuchungen an Huhn und Taube (KREBS) sowie an der Ratte (WARBURG, POSENER und NEGELEIN, siehe auch SCHMITZ-MOORMANN [b]) unter aeroben Bedingungen höchstens kleine Teile der anaerob gebildeten Milchsäure zum Verschwinden bringt. Dies sind Verhältnisse, wie sie an anderen normalen Geweben nur gefunden werden, wenn man ihre Atmung schädigt, und WARBURG ist daher geneigt, die an der isolierten Warmblüternetzhaut erhobenen Befunde aus einer solchen Schädigung zu erklären, für die sie erfahrungsgemäß außerordentlich empfindlich ist (Unterbrechung des Kreislaufes, Präparation): er betrachtet sie als ein *Kunstprodukt*. Übrigens konnte an der Frosch- (KUBOWITZ) und der Fischnetzhaut (NAKASHIMA) experimentell gezeigt werden, daß ihre Atmung bei allmählicher Steigerung der Versuchstemperatur von 35° C an aufwärts plötzlich steil abfällt, und daß die gleichzeitig mehr und mehr ansteigende aerobe Glykolyse bei 42° C auch bei diesen Netzhäuten den vollen Wert der anaeroben Glykolyse erreicht.

Der *Kohlehydratstoffwechsel* ist hiernach offenbar, wie der des Skelettmuskels, als aus einer gärungsartigen ersten und einer oxydativen zweiten Phase zusammengesetzt zu denken. Vorstehende Angaben beziehen sich auf die Beobachtungen an der dunkel gehaltenen Netzhaut, gelten also für ihren „Ruhestoffwechsel“.

Wegen einer *Ammoniakbildung* in der durch Licht erregten Netzhaut sei auf die Untersuchung von RÖSCH und TE KAMP verwiesen, die auch in dieser Hinsicht ähnliche (nicht identische) Verhältnisse ergab wie für den Skelettmuskel. Für das Froschauge ließ sich feststellen, daß die Ausbeute an Ammoniak nach 10 Minuten langer Belichtung des vom Glaskörper befreiten hinteren Augenbechers 74—582% des Dunkelwertes beträgt. Diese Wirkung ist offenbar in die Netzhaut zu verlegen; am Brei frisch isolierter Rindernetzhäute konnte sie in entsprechender Weise beobachtet werden. Man vergleiche hierzu auch die älteren Feststellungen WARBURGS über Ammoniakbildung im überlebenden Netzhautbrei. Die bisher vorliegenden Versuche geben noch keinen Anhaltspunkt dafür, welches die

Quelle des Ammoniaks sein könnte. Die Adenosinphosphorsäure, die beim Muskel hierfür in Anspruch genommen wird (G. SCHMIDT), kommt als Muttersubstanz des Netzhautammoniaks allem Anscheine nach nicht in Frage.

Über den *Fermentgehalt* der Netzhaut liegen von verschiedenen Seiten Angaben vor. Um den Oxydase-Nachweis hat sich neuerdings vor allem MAJIMA bemüht und dabei die Oxydasereaktion nach KATSUNUMA verwendet. Wenn der Versuch gelingt, so färben sich die Außenglieder der Stäbchen und Zapfen violett, die Ellipsoide dünnviolett, die Lipochrome und Öltröpfchen dickviolett, das Fuscin grünlich. Im Innengliede erscheinen blaue Oxydasekörner reichlich, insbesondere dicht am Kern. Die Pigmentepithelzellen zeigen keine Reaktion. LO CASCIO stellt fest, daß das Oxydationsvermögen der Retina von ihrem Blutgehalt unabhängig ist. Eine Tyrosinase ist nach demselben Autor in der Netzhaut nicht nachweisbar, sehr leicht dagegen eine Reduktionswirkung, von der angegeben wird, daß sie bei 100° C erlösche und sich auch unter Lichtwirkung abschwäche. Diese Befunde gehen in mancher Beziehung über das von RÖHMANN und SPITZER nach dieser Richtung früher Festgestellte hinaus. Eine *Verschiedenheit* des Oxydationsvermögens bei Hell- und Dunkelnetzhaut wurde zuerst von LODATO (b) beobachtet und seine Angabe von GUGLIANETTI (a, b), SAVARINO und JOLINEA bestätigt. Nach ihren Feststellungen geht diese Verschiedenheit den Änderungen der chemischen Gesamtreaktion der Netzhaut parallel, und zwar ist das Oxydationsvermögen der belichteten Netzhaut viel höher als das der dunkelgehaltenen. GUGLIANETTI macht die Angabe, daß vor allem das Licht aus der Gegend der Linie G stark fördernd auf das Oxydationsvermögen der Netzhaut wirke.

#### Literatur.

ANGELUCCI, A.: Physiologie générale de l'oeil. Extrait de l'encyclopéd. française d'Ophthalm., Tome 2, p. 106. 1905.

CAHN: Zur physiologischen und pathologischen Chemie des Auges. Z. physiol. Chem. 5, 214 (1881). — CHODIN: Über die chemische Reaktion der Netzhaut und des Sehnerven. Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. 75/76, 121 (1877).

DITTLER, R.: (a) Über die Zapfenkontraktion an der isolierten Froschnetzhaut. Pflügers Arch. 117, 295 (1907). (b) Die chemische Reaktion der isolierten Froschnetzhaut. Pflügers Arch. 120, 44 (1907).

GUGLIANETTI, L.: (a) Sulle modificazioni del potere ossidante della retina etc. Arch. Ottalm. 18, 361 (1911). (b) Über die Modifikation des Oxydationsvermögens der Netzhaut usw. 11. internat. ophthalm. Kongr. Arch. Augenheilk. 64, 114 (1910).

HAMBURGER, L.: Onderzoekingen der Utrechtsche Hogeschool, 3. Reeks, Bd. 9, S. 58. 1889.

JOLINEA, G.: Les modifications du pouvoir oxydent etc. Arch. Ottalm. 18, H. 1 (1911); Arch. d'Ophthalm. 31, 702 (1911).

KREBS, H. A.: Über den Stoffwechsel der Netzhaut. Biochem. Z. 189, 57 (1927). — KÜHNE, W.: (a) Zur Photochemie der Netzhaut usw. Unters. physiol. Inst. Heidelberg 1 (1878). (b) Chemische Vorgänge in der Netzhaut. HERMANN'S Handbuch der Physiologie, Bd. 3 (1), S. 235. 1879. — KUBOWITZ, F.: Über den Stoffwechsel der Froschnetzhaut bei verschiedenen Temperaturen und Bemerkung über den Meyerhofquotienten usw. Biochem. Z. 204, 475 (1929).

LANGE, H. u. M. SIMON: Die Phosphorsäureausscheidung der Netzhaut bei Belichtung. Z. physiol. Chem. 120, 1 (1922). — LO CASCIO, G.: Sui fermenti dei tessuti e dei liquidi oculari. Ann. Ottalm. 50, 219 (1922). — LODATO, G.: (a) Les changements de la rétine sous l'influence de la lumière, des couleurs et d'autres agents physiques et chimiques. Arch. Ottalm. 7, 335 (1891). (b) Ricerche sul potere ossidante dei tessuti etc., Rendiconti riassunt. 18. Congr. Assoz. ottalm. ital. 1905, 175.

MAGGIO, G.: Sulle modificazione chimiche riflesse da una retina al'altra. Arch. Ottalm. 9, 382 (1902). — MAJIMA, K.: Studien über die Struktur der Sehzellen und der Pigmentepithelzellen der Froschnetzhaut. Graefes Arch. 115, 286 (1925). — MEYERHOF, O.: Die chemischen Vorgänge im Muskel und ihr Zusammenhang mit Arbeitsleistung und Wärmebildung. Berlin 1930.

NAKASHIMA, M.: Der Stoffwechsel der Fischnetzhaut bei verschiedenen Temperaturen. *Biochem. Z.* **204**, 479 (1929). — NEGELEIN, E.: Über die glykolytische Wirkung embryonalen Gewebes. *Biochem. Z.* **165**, 122 (1925).

OGUCHI, CH.: Studien über die chemische Reaktion der Froschnetzhaut und die Pigmentwanderung am Neuroepithel derselben, nebst Bemerkungen über die Färbungsmethoden der Sehzellen. *Nippon-Gonkagakkai (jap.)* **18** (1914). Ref. bei Y. SUGITA, *Graefes Arch.* **115**, 260 und K. MAJIMA, *Graefes Arch.* **115**, 286.

RE, FR.: Sulle modificazione fisiche e chimiche della retina per l'eccitazione elettrica dell'encefalo, mesencefalo e chiasma. *Arch. Ottalm.* **12**, 154 (1904). — ROCHAT, G. F.: Über die chemische Reaktion der Netzhaut. *Graefes Arch.* **59**, 171 (1904). — RÖHMANN, F. u. W. SPITZER: Über Oxydationswirkungen tierischer Gewebe. *Ber. dtsh. chem. Ges.* **28**, 567 (1895). — RÖSCH, H. u. W. TE KAMP: Über Ammoniakbildung bei Belichtung der Netzhaut. *Z. physiol. Chem.* **175**, 158 (1928).

SAVARINO, A.: Die Änderung des Oxydationsvermögens in den Netzhäuten ohne Seh- purpur. *Arch. Ottalm.* **17**, (1910). — SCHMIDT, G.: Über fermentative Desaminierung im Muskel. 10. Tagg dtsh. physiol. Ges. Frankfurt 1927. *Ber. Physiol.* **42**, 562 (1928). — SCHMITZ-MOORMANN, P.: (a) Über den Glykogengehalt der Retina und seine Beziehungen zur Zapfenkontraktion. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **78**, 69 (1927). (b) Über den Glykogengehalt der Retina und seine Beziehungen zur Zapfenkontraktion. *Graefes Arch.* **118**, 506 (1927). — SUGITA, Y.: Studien über die physiologische und pathologische Verteilung der lipoiden Substanzen im Auge, speziell in der Netzhaut. *Graefes Arch.* **115**, 260 (1925).

TAMIYA, CH.: Über den Stoffwechsel der Netzhaut in verschiedenen Stadien ihrer Entwicklung. *Biochem. Z.* **189**, 114 (1927).

WARBURG, O.: (a) Verbesserte Methode zur Messung der Atmung und Glykolyse. *Biochem. Z.* **152**, 51 (1924). — (b) Über den Stoffwechsel der Tumoren. Berlin 1926. — WARBURG, O., K. POSENER u. E. NEGELEIN: Über den Stoffwechsel der Carcinomzelle. *Biochem. Z.* **152**, 309 (1924).

# Die elektrischen Vorgänge im Sehorgan.

Von

ARNT KOHLRAUSCH-Tübingen.

Mit 34 Abbildungen.

## Allgemeines über die Bedeutung der objektiven Netzhautprozesse.

Das Ziel der sinnesphysiologischen, wie jeder naturwissenschaftlichen Forschung ist, die einzelnen Vorgänge auf allgemeine Regeln und Gesetzmäßigkeiten zurückzuführen. Um das erreichen zu können, muß man die Vorgänge unter möglichst vielfach veränderten Bedingungen beobachten. Denn nur dadurch erkennt man, was sich an den Erscheinungen mit den Bedingungen ändert und was unveränderlich bestehen bleibt, mit anderen Worten das Regelmäßige und das Regellose.

Eine Sonderstellung der sinnes-, nerven- und hirnpysiologischen Forschung ist im Vergleich zu derjenigen der übrigen Physiologie dadurch bedingt, daß die Funktion der Sinne und des Gehirns im allgemeinen nicht unmittelbar objektiv beobachtet werden kann, wie etwa die von Muskeln, Nieren, Leber, Lungen. Die Funktion der Sinne muß erst indirekt erschlossen werden, beim Menschen vorwiegend aus subjektiven Bewußtseinserscheinungen (Empfindungen und Wahrnehmungen), beim Tier gewöhnlich auf noch weiterem Umwege aus Handlungen.

*Daraus ergibt sich, als eine für die Sinnesphysiologie charakteristische Teilaufgabe, das den Inhalt ihrer Theorien beherrschende Suchen nach den objektiven Organvorgängen, die den subjektiven Erscheinungen bzw. den Handlungen zugeordnet sind.*

Die weitergehende Frage nach dem *Zusammenhang* zwischen materiellen Vorgängen und Bewußtseinserscheinungen und nach seiner *Erklärung* liegt außerhalb des Bereichs naturwissenschaftlicher Methodik.

Infolgedessen ist es verständlich, daß den objektiven Veränderungen, die bei Lichtwirkung im Sehorgan auftreten, von jeher eine große Bedeutung für das Verständnis des Sehakts beigelegt wurde: dem Belichtungsstrom in Netzhaut und Opticus (HOLMGREN 1865), der Sehpurpurbleichung (BOLL 1876), der Pigmentwanderung (BOLL und KÜHNE, voneinander unabhängig 1877), der Zapfen- und Stäbchenkontraktion (ENGELMANN und VAN GENDEREN STORT 1884), der Säuerung (ANGELUCCI 1900). Sogleich mit ihrer Entdeckung setzt das Bestreben ein, diese nachweisbaren objektiven Prozesse zur primären Energieumwandlung in den perzipierenden Sinneszellen und zu den Gesichtsempfindungen in Beziehung zu bringen. Dürfen wir, was wohl zulässig erscheint, das gesamte Sehorgan von seinen peripheren Empfängern bis zu den Empfindern in der zugehörigen Hirnrindenregion als eine wenn auch gegliederte Einheit auffassen, so besteht in diesen objektiven Netzhaut- und Opticusprozessen tatsächlich die

bislang einzige Möglichkeit, den Axiomen vom „psycho-physischen Parallelismus“ (J. v. KRIES [d], S. 88—91) eine exakte experimentelle Grundlage zu geben.

Von der Reihe der objektiven Netzhautvorgänge sind die chemischen Änderungen, die retinomotorischen Wirkungen und das Verhalten des Sehpurpurs in den vorausgehenden Abschnitten dieses Handbuchs (R. DITTLER, S. 93 und S. 112 und K. vom HOFE, S. 180) beschrieben. Wegen der *Beziehungen des Sehpurpurs zum Sehen* verweise ich außerdem auf folgende Artikel im Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie: DITTLER: Die objektiven Veränderungen der Netzhaut bei Belichtung, Bd. 12, I, S. 266. — WEIGERT: Photochemisches zur Theorie des Farbensehens, Bd. 12, I, S. 536. — TSCHERMAK: Theorie des Farbensehens; Duplizitätstheorie, Bd. 12, I, S. 571. — KRIES, v.: Zur Theorie des Tages- und Dämmergesehen, Bd. 12, I, S. 679. — KOHLRAUSCH: Tagessehen, Dämmersehen und Adaptation, Bd. 12, II, S. 1518.

Bei den hier darzustellenden *elektrischen Erscheinungen* handelt es sich — zunächst kurz — um folgende Tatsachen. Wird mit unpolarisierbaren Elektroden von je einem Punkt der Cornea und des Fundus oculi zu einem Galvanometer abgeleitet, so findet sich eine Potentialdifferenz von einigen Millivolt (mV), die im allgemeinen eine solche Richtung hat, daß die hintere Augenhälfte — bezogen auf den äußeren Schließungskreis — negativ ist: *Bestandpotential*, *Bestandstrom*, *Dunkelstrom* oder *Ruhestrom* des Auges (DU BOIS-REYMOND). — Belichtet man dann das Auge, so resultiert eine gewöhnlich mehrphasische Verstärkung des Bestandpotentials: *Belichtungspotential*, *Belichtungsstrom*, *Aktionsstrom* oder *photoelektrischer Strom* des Auges (HOLMGREN [a]). — Zu diesen zwei hauptsächlich untersuchten Erscheinungen kommen noch die *Aktionsströme des Nervus opticus* bei Belichtung des Auges und, vielleicht als etwas Besonderes, die 1900 von WALLER (a, b) entdeckten, bisher wenig untersuchten *Flammströme* („blaze-currents“) des Auges<sup>1</sup>. — Diese elektrischen Vorgänge im Sehorgan sind an Vertretern der Mollusken, der Arthropoden und sämtlicher Wirbeltierklassen *einschließlich des Menschen* untersucht worden; sie sind am unversehrten Auge des Lebenden, am enucleierten Bulbus nebst Opticus und auch an Teilen des Auges studiert.

Es ist zunächst das experimentelle Material übersichtlich zusammenzustellen; dabei soll — soweit das möglich ist — versucht werden, die allem Anschein nach gesicherten Befunde einigermaßen gegen die mehr oder minder unsicheren abzugrenzen und Gesetzmäßigkeiten aus den gesicherten abzuleiten. Im Anschluß daran wird zu erörtern sein, welche theoretischen Vorstellungen wir uns heute von den elektromotorischen Erscheinungen des Auges und ihren Beziehungen zu den Gesichtsempfindungen und zur allgemeinen Nervenfunktion auf Grund der Tatsachen und Gesetze machen können.

Vorweg mag sogleich gesagt werden, daß die Untersuchungen der letzten Jahrzehnte nicht nur *eine Reihe wichtiger Beziehungen der Augen- und Opticusströme zu den Gesichtswahrnehmungen* klargestellt (s. S. 163) und damit eine exakte Grundlage für den psycho-physischen Parallelismus geschaffen, sondern darüber hinaus auch eine prinzipielle Ähnlichkeit der *Retina-Opticus-Ströme* mit denen der *sensiblen* und *Bewegungsnerven* ergeben haben (s. S. 155). Mit diesen Tatsachen ist u. a. jetzt die seit langem erörterte grundlegende Frage gelöst worden, auf welche Weise *eine einzelne Opticusfaser* — trotz des vermutlich geltenden Alles-oder-Nichts-Gesetzes des Nervenprozesses — *verschiedene Intensitäten und verschiedene Qualitäten leitet* (s. S. 166).

Damit hat das — ursprünglich recht spezielle, aber gut durchforschte — Teilgebiet der „elektrischen Vorgänge im Sehorgan“ eine erhebliche Bedeutung in dem weiteren Rahmen der allgemeinen Nervenphysiologie und Psycho-physiologie erlangt. So ist es begründet, wenn diese Vorgänge auch in einem

<sup>1</sup> Die Flammströme des Auges sind zusammenfassend dargestellt von A. D. WALLER (c) und S. GARTEN (b). Neuere Originalarbeiten (nach 1907) über die Flammströme des Auges sind mir nicht bekannt geworden. Das damals von WALLER und GARTEN Gesagte gilt also im wesentlichen noch heute. Ich verweise daher auf diese Abhandlungen.

Handbuch der Ophthalmologie eingehender dargestellt werden, als es in den bisherigen Handbüchern zu geschehen pflegte. Um aber dieses dem Praktiker dienende kurze Handbuch nicht über Gebühr mit theoretischem Material zu belasten, habe ich mich darauf beschränkt *nur die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten* derjenigen elektrischen Erscheinungen des Sehorgans hier zusammenzustellen, *bei denen eine Beziehung zu den Gesichtswahrnehmungen und damit eine theoretische Bedeutung für den Sehsakt heute feststeht*. Ich verweise auf die ausführliche Abhandlung im Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie (A. KOHLRAUSCH [f]). Dort sind auch die im Text angeführten Literaturstellen mit ihren genauen Seitenzahlen angegeben und darnach leicht zu finden; hier mußten diese Seitenzahlen zwecks Kürzung weggelassen werden.

## A. Das Bestandpotential.

### 1. Die Richtung und Stärke des Bestandpotentials.

**Die Richtung des Bestandpotentials.** Am *Wirbeltierauge*, gleichgültig ob es unverletzt in situ oder frisch und sorgfältig isoliert geprüft wird, ist das Bestandpotential regelmäßig so gerichtet, daß der Fundus sich *negativ* gegenüber der Cornea verhält. (Ableitungsmethode vgl. S. 119, und Abb. 1a.) Der abgeleitete Bestandstrom fließt im äußeren Schließungsbogen von der Cornea zum

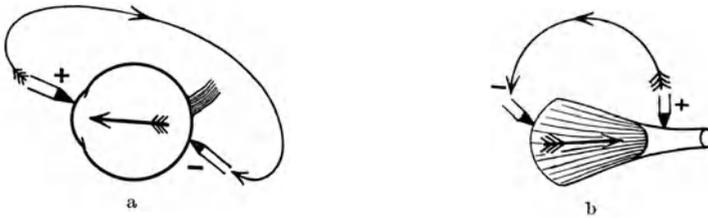


Abb. 1 a und b. *Die Bestandstrom-Richtung: a) im Wirbeltierauge; b) im Crustaceenauge.*  
(Nach v. BRÜCKE u. GARTEN.)

Fundus, im Innern des Auges von der Netzhaut zur Hornhaut (Abb. 1a); in der Netzhaut fließt er demnach von der Stäbchen-Zapfen- zur Nervenfaserschicht bzw. *vom freien Ende zur Basis der Sinneszellen*.

Entsprechend verhalten sich frisch isolierte Teile des Wirbeltierbulbus. Wie sich das Bestandpotential mit der Zeit ändert und unter verschiedenen Ableitungsbedingungen verhält, folgt in den Abschnitten A 2—4.

Bei *Wirbellosen* ist bemerkenswerterweise die Richtung des Bestandpotentials *scheinbar umgekehrt* (Abb. 1b), wie DEWAR und M'KENDRICK (b), v. BRÜCKE und GARTEN, RIEDEL, HARTLINE (b) an den Facettenaugen von Gliederfüßlern (*Limulus*, Hummer, Krebs, Heuschrecken, Hummeln, Fliegen) feststellten und BECK, PIPER (a), FRÖHLICH (b) an verschiedenen Arten von Tintenfischen.

Dieser Gegensatz zwischen Vertebraten- und Avertebratenauge (Abb. 1a u. b) besteht jedoch nur, wenn die Stromrichtung auf den Bulbus bezogen wird; er verschwindet, wie PIPER (a) zuerst für das Cephalopodenaug gezeigt hat, bei Berücksichtigung der anatomischen Lage des Sehepithels. In den Facetten- und den Cephalopodenaugen ist das Sinnesepithel mit den freien Enden dem Licht entgegen zur Cornea bzw. Linse gewandt, während die Opticusfasern nach rückwärts von den perzipierenden Netzhautelementen wegziehen. *Vertebraten- und Avertebratenauge stimmen also darin überein*, daß sich das freie Ende der Sinneszelle im Ableitungskreis negativ gegen die mit der Nervenfaser verbundene Basis verhält und *der abgeleitete Bestandstrom im Auge vom freien Ende zur Sinneszellbasis fließt*.

Für die Deutung der elektromotorischen Erscheinungen des Cephalopodenauges (S. 127) ist wesentlich, daß von den nervösen Netzhautgebilden nur die sehpurpurhaltigen Stäbchen und die Anfangsteile der Nervuli innerhalb des Bulbus liegen, während die anderen der Vertebratennetzhaut entsprechenden Ganglienzell- und Faserschichten außerhalb des Bulbus in dem Ganglion opticum gelegen sind. (Über den Bau des Tintenfischauges vgl. A. KOHLRAUSCH [f].)

Die Stärke des Bestandpotentials beträgt bei frisch präparierten Froschaugen zwischen 2 und 10 mV, selten darüber. Bei den übrigen Wirbeltieren und den Wirbellosen hat das Bestandpotential etwa die gleiche Größenordnung.

## 2. Die örtliche Potentialverteilung am Bulbus.

Die Spannung des Bestandstroms und des Belichtungsstroms (s. S. 133) hängt von der Elektrodenlage am Bulbus ab. Qualitative Beobachtungen darüber stammen von HOLMGREN (b), HERMANN, KÜHNE und STEINER (a) und FRÖHLICH (b), quantitative Messungen von DE HAAS und WESTERLUND (b, c).

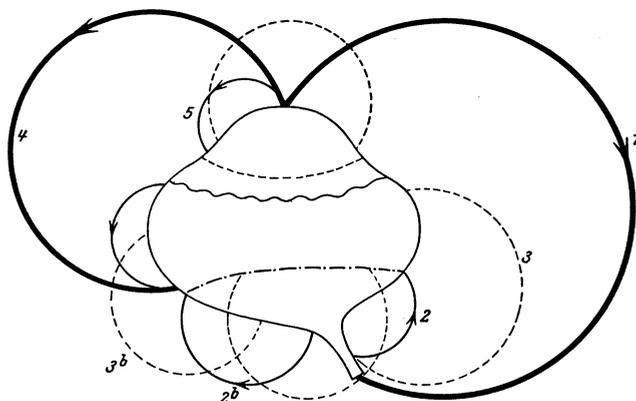


Abb. 2. Die Potentialverteilung des Bestandstroms nach HOLMGREN. Stromrichtungen im äußeren Schließungsbogen in der Pfeilrichtung; dick ausgezogene Bogen bedeuten starke, fein ausgezogene schwache elektromotorische Kraft, punktierte Bogen sind stromlos. (Aus F. HOLMGREN.)

HOLMGRENS qualitative Befunde (Abb. 2) wurden in ihren wesentlichen Zügen von den späteren Autoren bestätigt und auch die quantitativen Messungen von DE HAAS und WESTERLUND (b) führten zu den gleichen Ergebnissen (vgl. A. KOHLRAUSCH [f]). WESTERLUND zieht aus seinen Messungen den Schluß, daß die Potentialverteilung an der Oberfläche des Augapfels davon abhängt, in welcher Ausdehnung die Netzhaut als Stromquelle wirkt: der Bestandstrom habe die ganze Netzhaut, der Belichtungsstrom nur den belichteten Teil der Netzhaut zur Stromquelle.

Vorweg möchte ich bereits hier eine Tatsache kurz hervorheben, die theoretisch bedeutsam zu sein scheint, da sie, zusammen mit einigen anderen noch zu besprechenden Erscheinungen, wohl auf einen gewissen Zusammenhang zwischen Bestand- und Belichtungsstrom schließen läßt, nämlich: der Belichtungsstrom stellt regelmäßig eine Verstärkung des anfänglichen, normalen (s. S. 122) Bestandpotentials dar, hat also stets mit ihm gleiche Richtung. So sind beide Potentiale bei Crustaceen und Cephalopoden umgekehrt wie bei Wirbeltieren gerichtet; beide am isolierten Froschauge bei Ableitung Opticus-Fundus umgekehrt wie bei Ableitung Cornea-Fundus. Daß daneben Tatsachen bestehen, die auch für Unabhängigkeit beider Potentiale sprechen, zeigt der folgende Abschnitt.

### 3. Die zeitlichen Veränderungen des Bestandpotentials; „Gesetz der konstanten Spannungsänderung“.

Das Bestandpotential ändert sich mit der Zeit, wobei die Erscheinungen am exstirpierten Bulbus und an isolierten Augenteilen sich zwar graduell aber nicht prinzipiell anders verhalten, als an Augen, die unter möglichst normalen Bedingungen *in situ* untersucht werden.

An isolierten Augen und Augenteilen sinkt das Bestandpotential nach den im wesentlichen übereinstimmenden Angaben der Autoren mehr oder minder schnell ab, kann nach einiger Zeit durch Null gehen und seine Richtung umkehren.

Im Fall der Bestandstromumkehr gilt eine Tatsache, die schon von HOLMGREN (b) beobachtet und klar beschrieben und dann später von KÜHNE und STEINER (b) nach Versuchen an Augen und Netzhäuten von Vertretern der verschiedenen Wirbeltierklassen als „Gesetz der konstanten Spannungsänderung“ bezeichnet wurde: *Richtung, Verlauf und Stärke des Belichtungsstroms bleiben von einem Wechsel der Bestandstrom-Richtung unbeeinflusst.*

KÜHNE und STEINER (b) stellten bereits die oben S. 121 erwähnte merkwürdige, *nebeneinander bestehende Abhängigkeit und Unabhängigkeit von Bestand- und Belichtungspotential* fest — der wir noch verschiedentlich begegnen werden —, wenn sie beobachten, daß bei *hohem* Anfangswert des Bestandpotentials häufig auch die Belichtungsströme *stark* sind (dasselbe bei GOTCH [a]), andererseits aber das Bestandpotential während des Versuchs auf Null sinken kann, ohne daß die Belichtungsströme geringer werden.

Die Abnahme des Bestandpotentials und ihre Geschwindigkeit hat verschiedene Gründe, die auseinandergehalten werden müssen [das Tatsachenmaterial dazu s. bei KOHLRAUSCH (f)]: Die sehr schnelle Abnahme bei isolierten Warmblüternetzhäuten ist zweifellos eine Absterbeerscheinung; denn ebenso schnell verschwindet dabei die photoelektrische Erregbarkeit, d. h. der Belichtungsstrom. Nach dem Tode werden Bestand- wie Belichtungsstrom von beliebiger vorheriger Richtung aus gleich Null.

Dagegen ist das *Umschlagen des Bestandpotentials* offenbar *kein Absterbevorgang*, da der Belichtungsstrom trotzdem unverändert weiterbestehen kann. Für die Umkehr des Bestandpotentials und seine Geschwindigkeit können allem Anschein nach Versuchsbedingungen maßgebend sein, welche die photoelektrische Erregbarkeit nicht mit zu beeinflussen brauchen (Ionenwirkung? vgl. S. 123, 124).

Die Umkehr, d. h. das Negativwerden des Belichtungsstroms kann, wie wir später noch (S. 128) sehen werden, wiederum die Folge von Schädigung oder Absterben sein und in einem bestimmten Stadium vor dem Erlöschen der Erregbarkeit auftreten. Negative Belichtungsströme sind aber auch nicht unter allen Umständen eine Folge von Schädigung, denn die Belichtungsstromrichtung hängt bei Tagtieren (und vielleicht auch beim Menschen) gesetzmäßig von der Wellenlänge des Reizlichtes ab. Auf diese Beziehungen haben wir noch einzugehen (S. 147—149, 152, 162, 164, 166—168).

Die Bestandspannung braucht nicht stetig abzusinken; sie kann mit wechselnder Geschwindigkeit fallen, sie kann aber zwischendurch auch wieder ansteigen. Ein solches zeitweiliges Ansteigen tritt manchmal ohne erkennbare Veranlassung auf; gewöhnlich erfolgt es auf Reize, z. B. zwischen mehreren Belichtungen, oder auf mechanischen Reiz (leichter Druck auf den Augapfel), auch auf schwache elektrische Einzel- und frequente Reize (KÜHNE und STEINER [b], NAGEL [b], WALLER [c], DE HAAS).

In *situ* unter möglichst normalen Bedingungen untersuchte Augen zeichnen sich durch größere Konstanz des Bestandpotentials aus; doch kommt auch hier langsames Absinken und Ansteigen vor. Die verschiedenen Wirbeltierklassen verhalten sich dabei im Prinzip gleichartig (vgl. A. KOHLRAUSCH [f]). Als Beispiel

mögen einige Angaben über Tagvögel dienen: Läßt man eine bei Tageslicht am Fenster helladaptierte Taube etwa  $\frac{1}{2}$  Stunde lang im Dunkeln liegen, so sinkt das Bestandpotential während der Dunkeladaptation allmählich um etwa  $\frac{1}{3}$  seines Anfangswertes ab; wird die Taube darauf abermals für etwa 10 Minuten der Tageshelligkeit ausgesetzt, dann steigt das Bestandpotential während des Hellaufenthaltes langsam aber ausgiebig wieder an, wobei der Unterschied zwischen dem Minimum und dem Maximum 3—5 mV betragen kann; gleichlaufend damit nimmt das Belichtungspotential ab und wieder zu (A. KOHLRAUSCH [a], vgl. S. 134).

**Zusammenfassung.** Als wesentlich ist aus diesem Abschnitt zu betonen: die zeitlichen Veränderungen von Bestand- und Belichtungspotential erfolgen zum Teil *unabhängig* voneinander („Gesetz der konstanten Spannungsänderung“); zum anderen Teil sind sie *gleichlaufend*, wie etwa das *gemeinsame* Anwachsen nach verschiedenen Reizen und das Steigen bzw. Fallen bei Adaptationsänderungen.

#### 4. Gas-, Temperatur-, Ionen- und andere Wirkungen auf das Bestandpotential.

Daß die eben geschilderten zeitlichen Veränderungen zum Teil mit den jeweiligen Untersuchungsbedingungen zusammenhängen mögen, läßt sich aus Versuchen über die Wirkung von Gasen ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  und  $\text{O}_2$ ), Temperaturänderungen, Giften, mechanischen Insulten und verschiedenen Ionen entnehmen (das Tatsachenmaterial dazu s. KOHLRAUSCH [f]). Mit den Wirkungen dieser verschiedenen Eingriffe auf den *Belichtungsstrom*, speziell auf seine Kurvenform, werden wir uns später (vgl. Kap. B. 2, S. 128) noch zu beschäftigen haben.

**Wirkung von Kohlensäure, Stickstoff, Wasserstoff und Sauerstoff** (KÜHNE und STEINER [a, b], v. BRÜCKE und GARTEN, WALLER [c], FRÖHLICH [b], WESTERLUND [a], vgl. auch KOHLRAUSCH [f]). Bei Erstickung des isolierten Auges in  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  oder  $\text{H}_2$  nimmt die photoelektrische Erregbarkeit reversibel ab, ist in  $\text{CO}_2$  nach etwa 1 Minute, in  $\text{N}_2$  und  $\text{H}_2$  nach etwa 2 Stunden auf Null gesunken, nimmt in  $\text{O}_2$  schnell wieder zu und erreicht nach etwa 1 Stunde nahezu den Anfangswert. Daneben beginnt der während der Erstickung ausgesprochen negative Bestandstrom 2—3 Minuten nach Zuleitung des Sauerstoffs anzusteigen, pflegt bei länger dauernden Versuchen nach einigen Stunden wieder positiv zu werden und sich dann während des weiteren Versuchsverlaufs so zu halten.

**Wirkung von Temperaturänderungen und mechanischen Insulten.** Die normale Bestandstromrichtung des isolierten Froschauges kann durch Kälte umgekehrt werden (GOTCH [b]). Auch der Belichtungsstrom wird negativ bei Abkühlung des isolierten Froschauges bis nahezu  $0^0$  (NIKIFOROWSKY, vgl. S. 132). Beide Veränderungen sind reversibel.

Rasche starke Erwärmung (35—39°) und Abkühlung (Gefrieren in einer Kältemischung und Auftauen) setzt bei der isolierten Froschnetzhaut den Belichtungsstrom bis auf ein Minimum herab oder bringt ihn ganz zum Verschwinden (KÜHNE und STEINER [a]).

Als Wirkung leichter mechanischer Eingriffe fanden WALLER (c, d) und JOLLY am isolierten Froschauge: Ein schwacher Druck oder eine gelinde Massage läßt den zuvor abgesunkenen bzw. negativ gewordenen Bestandstrom zeitweise wieder ansteigen (s. auch S. 122) und verwandelt ferner den positiven Belichtungsstrom in einen negativen (s. S. 129, 132).

**Wirkung verschiedener Ionen.** BEUCHELT untersuchte die Wirkung der Ringerlösung und der isotonischen Lösungen von  $\text{NaCl}$ ,  $\text{LiCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{BaCl}_2$  und  $\text{MgCl}_2$  am Froschauge. Ringerlösung,  $\text{NaCl}$  und  $\text{LiCl}$  bewirken ein mehr

oder minder stark negatives Bestandpotential, lassen aber den Belichtungsstrom im Vergleich mit einem undurchspülten Auge unverändert. Bei den übrigen Lösungen von KCl und den Chloriden der drei Erdalkalien behält das Bestandpotential die normale positive Richtung, dagegen schlägt der Belichtungsstrom durch verschiedene Zwischenstufen mehr oder weniger ausgesprochen in die abnorme negative Richtung um (vgl. S. 133), am stärksten bei K und Ba, weniger bei Mg und noch weniger bei Ca.

Dieses *Negativwerden des Belichtungsstroms* ist eine Folge von *Netzhautschädigung*, von *Vergiftung* (KOHLRAUSCH [f]); und zwar sind K und Ba recht stark giftig (s. S. 132), Mg und Ca weniger, und bei Na und Li ist eine Wirkung innerhalb der von BEUCHELT gewählten Zeiträume nicht nachweisbar. Von KCl sagt BEUCHELT, es töte die Netzhaut sofort ab, wenn der Bulbus beim Herausnehmen auch nur im geringsten verletzt werde, so daß die KCl-Lösung in etwas größerer Konzentration eindringen könne; solche Augen seien nach ganz kurzer Zeit reaktionslos. Letzteres gilt auch für die Haut, wenn ihre Innenfläche mit KCl benetzt wird.

Die Schlußfolgerung von BEUCHELT, daß eine weitgehende Übereinstimmung zwischen den Ionenwirkungen auf den Augenstrom und den Hautdrüsenstrom bestehe, beruht auf einem Versehen bei BEUCHELT (Verwechslung der Richtungen des Hautstroms). Nach Korrektur dieses Versehens (KOHLRAUSCH [f]), verschwindet die scheinbare Übereinstimmung.

Im Hinblick auf die Veränderlichkeit des Bestandpotentials (S. 122) mache ich auf die Tatsache nochmals besonders aufmerksam, daß die *Bestandpotentialrichtung am Auge von der Ionenart abhängt*: K und die Erdalkalien erhalten die Richtung normal, Na, Li und Ringerlösung bewirken den Richtungsumschlag. Es liegt nahe, einen Zusammenhang zwischen dem *Absinken der Bestandspannung und der Zusammensetzung der das Auge benetzenden Lösungen* zu vermuten (vgl. S. 122).

**Zusammenfassend** läßt sich wieder die *nebeneinander bestehende Parallelität und Unabhängigkeit von Bestand- und Belichtungspotential* hervorheben: gemeinsam werden beide Potentiale abgeschwächt durch Abkühlung, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>; gemeinsam wieder gesteigert durch Erwärmung bzw. O<sub>2</sub>. Dagegen ist in der Wirkung verschiedener Ionen bisher nichts von gleichlaufender, eher etwas von entgegengesetzter Beeinflussung beider Potentiale zu erkennen.

## 5. Der Bestandstrom und das Donnanpotential.

In naher Beziehung zu den eben geschilderten Ionenwirkungen stehen Versuche, die LEHMANN und MEESMANN über ein zwischen Blut und Kammerwasser bestehendes Donnanpotential (s. FREUNDLICH) angestellt haben.

Für den von MEESMANN gefundenen Verteilungsquotienten 1,2 der Na-, Cl-, H- und OH-Ionen berechnen sie, daß zwischen Blut und Kammerwasser ein Donnanpotential von 4—12 mV herrschen müßte, bei dem das Blut, entsprechend dem negativen Eiweißion, negativ gegenüber dem Kammerwasser ist.

Zwischen Blut und Liquor cerebrospinalis liegen auf Grund von Analysen qualitativ und quantitativ ähnliche Verhältnisse vor.

LEHMANN und MEESMANN fanden gewöhnlich ein Potential von 6—10, in einigen Fällen von 12—15 mV, wobei regelmäßig das Kammerwasser positiv gegenüber dem Blut war. Daß danach zwischen Blut einerseits, Kammerwasser und Liquor andererseits ein Donnangleichgewicht mit dem zugehörigen Potential besteht, ist höchst wahrscheinlich.

Für den von den Autoren darüber hinaus gezogenen Schluß, daß das von ihnen gemessene Donnanpotential identisch mit dem Ruhe- bzw. Bestandpotential des Auges wäre, und daß das Bestandpotential nichts mit der Netzhaut zu tun hätte, kann man in ihren bisherigen Versuchen noch keinen zwingenden Beweis sehen (KOHLRAUSCH [f]).

**Zusammenfassung.** Alle bisher über das Bestandpotential bekannten Tatsachen zusammen weisen darauf hin, daß *das ziemlich komplizierte Bestandpotential des Auges sich möglicherweise aus mehreren zum Teil entgegengesetzten Einzelpotentialen zusammensetzt*, von denen eines auch das Donnanpotential zwischen Kammerwasser und Blut sein könnte. Auf diese von verschiedenen Autoren geäußerte Vorstellung komme ich später in dem Abschnitt über die Deutung des Bestandpotentials zurück (vgl. S. 159).

## B. Das Belichtungspotential.

### 1. Die Phasen und die Stärke des Belichtungspotentials.

**Die Phasen.** Bei *Belichtung* eines im Dunkeln gehaltenen Auges<sup>1</sup> und Ableitung in der üblichen Weise vom Limbus corneae und Fundus oculi, setzt eine *Verstärkung des normal gerichteten Bestandpotentials* ein (HOLMGREN [a], 1865, wiederentdeckt durch DEWAR und M'KENDRICK [a], 1873); *prinzipiell ebenso wirkt ein plötzliches Ansteigen der herrschenden Beleuchtung*. Wie sich sogleich auch mit den älteren, langsam reagierenden Instrumenten (Multiplikator, WIEDEMANN-Busssole, Thomsongalvanometer) ergab, ist diese Belichtungsschwankung des Bestandpotentials *bei Wirbeltieren regelmäßig mehrphasisch*. Dazu erbrachten KÜHNE und STEINER (b) zuerst den grundlegend wichtigen Nachweis, daß die mehrphasische Belichtungsschwankung an der hinteren Bulbushälfte oder der frisch isolierten Froschretina prinzipiell denselben Verlauf hat wie am ganzen exstirpierten Froschbulbus. Umgekehrt zeigten DEWAR und M'KENDRICK (a, b) und später KÜHNE und STEINER (a), daß der noch chorioidea- und pigmentepithelhaltige Augengrund nach Herausnahme der pigmentepithelfreien Netzhaut auch auf starkes Licht keinen Strom produziert, während die aus dem Augengrund isolierte und pigmentepithelfreie Netzhaut nach wie vor den Belichtungsstrom gibt. *Der Belichtungsstrom hat demnach zweifellos seinen Sitz in der Retina*. Möglicherweise ist er auch auf Netzhäute bzw. Photoreceptoren mit einer gewissen höheren Organisation beschränkt; wenigstens konnte HARTLINE (b) an einigen sicher lichtempfindlichen Geweben von Wirbellosen (Haut des Regenwurms, Siphon der Muschel *Mya arenaria*) auch bei intensiver Belichtung keinen Strom nachweisen.

Ein Teil der älteren Literatur über den *Verlauf* des Belichtungsstromes ist nun aber bis in den Anfang dieses Jahrhunderts hinein recht unübersichtlich insofern, als scheinbar jeder Wirbeltierart ihr besonderer noch dazu wechselnder Kurvenverlauf zugehört. Hier haben erst die neueren Untersuchungen mit schnell reagierenden Registrierinstrumenten, besonders dem Saitengalvanometer, Wandel geschaffen.

Es ist das Verdienst von v. BRÜCKE und GARTEN und von PIPER (d), in ausgedehnten vergleichenden Untersuchungen mit dem Saitengalvanometer bei Reizung mit farblosem Licht gezeigt zu haben, *daß der komplizierte Belichtungsstrom der Netzhaut im Grundprinzip in der ganzen Wirbeltierreihe den gleichen Verlauf hat*, und daß bei den verschiedenen Vertebratenklassen nur relativ geringfügige Modifikationen vorkommen. *Diese Erkenntnis bedeutet einen wesentlichen Fortschritt*. — Wodurch die stark abweichenden Stromkurven mancher Tierarten bei einigen der älteren Untersucher bedingt sind, soll im nächsten Kapitel auseinandergesetzt werden (s. S. 128).

<sup>1</sup> Allgemeinarkose ist bei lebenden Tieren nicht anwendbar, weil die Belichtungsströme verschwinden; Curare, Morphin, Cocain, Atropin stören nicht. HARTLINE (a) schaltet Bewegungen durch Decerebrieren aus.

Dieser allgemeine Wirbeltiertyp des Belichtungsstroms, das „*Elektroretinogramm*“ (ERG), ist in Abb. 3 dargestellt. Abszisse ist die Zeit, Ordinate die elektromotorische Kraft der Belichtungsschwankung. D bedeutet Dunkelheit, L Belichtung, die in diesem Fall so lange andauert, bis das Maximum des Potentialanstiegs erreicht ist; a ist das kompensierte Bestandpotential von etwa 5–10 mV. Die Stromkurve ist, wie alle in dieser Abhandlung folgenden, derart orientiert, daß sie von links nach rechts zu lesen ist und einem Anstieg der Kurve eine Zunahme des Bestandpotentials entspricht. Allgemein wird eine auf Lichtreiz erfolgende *Verstärkung* des Bestandpotentials als *positive*, eine *Verminderung* als *negative* Schwankung bezeichnet.

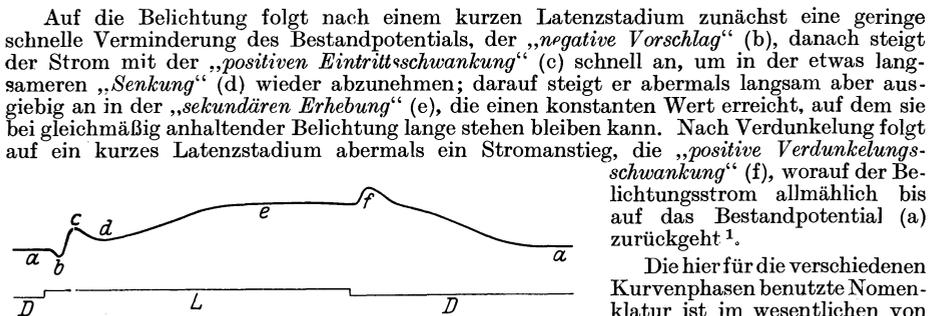


Abb. 3. Der Verlaufstyp des Belichtungsstroms bei den Wirbeltieren: D Dunkel, L Lichtreiz; aa Bestandpotential, b negativer Vorschlag, c positive Eintrittsschwankung, d Senkung, e sekundäre Erhebung, f positive Verdunkelungsschwankung.

Die hier für die verschiedenen Kurvenphasen benutzte Nomenklatur ist im wesentlichen von v. BRÜCKE und GARTEN eingeführt und soll im folgenden beibehalten werden. Sie hat wegen ihres rein beschreibenden Charakters den Vorzug, sich leicht einzuprägen, anschaulich und unabhängig von irgendwelchen Theorien zu sein. Anderweitig vorgeschlagene Bezeichnungen, die von bestimmten theoretischen Vorstellungen ausgehen, wie „Änderungsschwankung“ (für b), „Belichtungsschwankung“ (für c), „Helligkeitsschwankung“ (für e [TIRALA, ISHIHARA]) sind unanschaulich und daher keine Verbesserung. Ganz verwirrend ist „Erhellungsschwankung“ (für c), „I. Phase“ (für d), „II. Phase“ (für e) von KAHN und LÖWENSTEIN, da sie die dritte Phase des tatsächlichen Kurvenverlaufs als „I. Phase“ bezeichnen.

Der Grundtyp des eben geschilderten Stromverlaufs (Abb. 3) fällt bei Vertretern aller Wirbeltierklassen, auch beim Menschen (s. S. 151) ohne weiteres in die Augen; die für die einzelnen Wirbeltierklassen charakteristischen geringen Modifikationen bestehen darin, daß bestimmte Phasen — der negative Vorschlag, die Senkung und die positive Verdunkelungsschwankung — mehr bzw. weniger stark hervortreten.

So pflegen negativer Vorschlag (b) und positive Verdunkelungsschwankung (f) bei Fischen (v. BRÜCKE und GARTEN, DAY), Amphibien, Reptilien und Vögeln deutlich ausgeprägt, aber bei Säugetieren geringfügig und wechselnd zu sein, so daß sie bei letzteren von manchen Autoren gesehen, von anderen vermißt wurden, bzw. bei einigen Säugetierarten oder -exemplaren vorkamen, bei anderen nicht (v. BRÜCKE und GARTEN, PIPER [d], KOHLRAUSCH [a], KAHN und LÖWENSTEIN; s. ferner E. SACHS über das ERG des Menschen in dieser Abhandlung S. 150). Andererseits ist die Senkung (d) bei Vögeln und Säugetieren gewöhnlich tiefer als bei Kaltblütern.

<sup>1</sup> Auch die Untersuchung von E. L. CHAFFEE, W. T. BOVIE und HAMPSON hat bei 500facher Verstärkung (2-Röhrenverstärker) und mit besonders schnell reagierendem Saitengalvanometer genau dieselbe, oben beschriebene Form des ERG bei Zeitbelichtung ergeben, die schon ohne Verstärkung mit empfindlichem, also trägerem Saitengalvanometer bekannt war. Etwas prinzipiell Neues hat die Verstärkung an den *Netzhautströmen* bislang nicht gezeigt; ihre Vorteile sind für die Netzhautströme, daß man auch schwächere Belichtungen untersuchen und trotzdem Größe und Ablauf der schnellen Stromphasen richtig registrieren kann. Wesentlich ist der Fortschritt der Verstärker dagegen für die Untersuchung der *Opticusströme* (vgl. S. 154).

Die Kurve, das Elektretinogramm (ERG), ist also ähnlich wie das Elektrokardiogramm, nicht bei allen Wirbeltieren starr die gleiche, sondern zeigt von Tierart zu Tierart eine gewisse mäßige Variabilität, was bei biologischen Vorgängen selbstverständlich sein dürfte.

Als bedeutungsvoll muß jedoch hier sogleich hervorgehoben werden, daß der Belichtungsstromverlauf bei Wirbeltieren in gesetzmäßiger Weise von bestimmten Bedingungen abhängig ist, wie von der Temperatur, der Ionenart in den ableitenden Medien, dem Adaptationszustand des Auges, der Intensität und bei Tagtieren auch von der Wellenlänge des Reizlichtes. Davon wird in den folgenden Kapiteln die Rede sein<sup>1</sup>.

Aus der Wirbellosenreihe sind bislang *Arthropoden* (Crustaceen, Insekten) und *Mollusken* (Cephalopoden) mit dem Saitengalvanometer untersucht. Bei den Facettenaugen des Hummers stellten v. BRÜCKE und GARTEN, sowie RIEDEL als Belichtungseffekt gleichfalls eine Verstärkung des hier ja umgekehrt gerichteten Bestandpotentials (s. S. 120) fest, deren zeitlicher Kurvenverlauf eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Wirbeltiertyp hatte; im einzelnen zeigten sich jedoch erhebliche Unterschiede gegenüber den Wirbeltieren, besonders bei Adaptations- und Temperaturänderungen.

Noch wesentlicher scheint nach den Untersuchungen von BECK, PIPER (d) und FRÖHLICH (b) der Belichtungsstrom der Cephalopoden von dem allgemeinen Wirbeltiertypus abzuweichen (Abb. 3). Die Untersuchung eines frischen Auges mit der üblichen Ableitung von Linse und Äquator oder seitlichen Fundusteilen ergibt bei Belichtung zwar gleichfalls eine Verstärkung des — hier wie bei Crustaceen — inversen Bestandpotentials, aber sie verläuft meist außerordentlich einfach (Abb. 4): nach einer kurzen Belichtungslatenz steigt der Strom bis zu einem Maximum an, auf dem er bei mittlerer Reizstärke gewöhnlich während der Belichtungsdauer annähernd stehen bleibt, und fällt nach einer etwa gleich kurzen Verdunkelungslatenz wieder bis zum Bestandpotential ab; der Belichtungsanstieg pflegt steiler zu verlaufen als der Abfall nach Verdunkelung (vgl. dazu FRÖHLICH [b]).

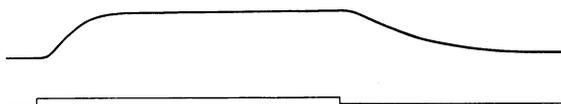


Abb. 4. Verlauf des Belichtungsstroms bei Cephalopoden: die Hebung des Reizsignals zeigt, wie in Abb. 3, die Belichtungsdauer an.

FRÖHLICH (b), der unter bestimmten Belichtungs- und Ableitungsbedingungen auch von Cephalopoden mehrsinnige Belichtungsströme erhielt, betont ausdrücklich, daß „bei Ableitung von einer frischen Retina und einer nervulifreien Stelle der Sclera immer nur einsinnige Schwankungen, wie sie BECK und PIPER beschrieben haben, zur Beobachtung kamen“ (im Original gesperrt).

Bei vergleichenden Untersuchungen der *Arthropoden* fand HARTLINE (b) verschiedene Formen des Elektretinogramms, die allerhand Übergänge zwischen den einphasischen Cephalopoden- und mehrphasischen Wirbeltierkurven darstellen.

Nach PIPER ist es von hervorragendem vergleichend-physiologischen Interesse, daß die einfache Schicht lichtperzipierender Elemente im Cephalopodenaug (vgl. vorher S. 121), als „Ausdruck einer kontinuierlichen Erregung“ auch einen einfachen Aktionsstrom liefert, bestehend aus glattem Anstieg, Konstanz und glattem Absinken; daß dagegen die zusammengesetzte Wirbeltiernetzhaut mit einem komplizierten Stromverlauf antwortet. Von diesem Vergleich geht PIPER bei seiner Analyse der Wirbeltierkurve aus (s. später S. 162).

**Stärke des Belichtungsstroms.** Sie hängt sehr wesentlich von den Ableitungs-, Adaptations- und Belichtungsbedingungen ab. DEWAR und M'KENDRICK (b) geben sie — unter

<sup>1</sup> Der von FRÖHLICH erhobene Einwand, der mehrphasische Verlauf des Belichtungsstroms stelle keine Eigentümlichkeit der Netzhaut selbst dar, sondern sei ein Kunstprodukt, hervorgerufen durch gleichzeitige Belichtung beider Ableitungsstellen, ist durch zahlreiche Tatsachen widerlegt (s. KOHLBAUSCH [f]). Wir können daher an der bisher allgemein gemachten Voraussetzung festhalten, daß der mehrphasische Belichtungsstrom der Wirbeltiere eine Eigentümlichkeit der Netzhaut selbst darstellt, daß seine Veränderungen mit Änderungen der Netzhautprozesse zusammenhängen, und daß die veränderliche Stromform ein Glied in der Kette wechselnder Vorgänge im Auge zwischen Lichteinfall und Opticus-erregung bildet.

günstigen Umständen — zu 3—10% des Bestandpotentials an. Die am exstirpierten Froschbulbus von den verschiedenen Autoren gefundenen Maximalwerte liegen zwischen 0,5 und 2,8 mV; eine tabellarische Zusammenstellung dieser Werte findet sich bei WESTERLUND (b). Dunkeladaptierte Nachtraubvögel können noch etwas stärkere, die übrigen Warmblüter pflegen schwächere Belichtungsströme (gewöhnlich unter 1 mV) zu geben als der Frosch.

Sehr starke Belichtungsströme produzieren die Cephalopoden, deren exstirpierte Bulbi auch außerordentlich lange überleben. FRÖHLICH (b) fand an frischen Augen besonders bei den ersten Belichtungen Werte von 7—8, ja 10 mV und unter den günstigsten Bedingungen bei *Eledone moschata* eine Überlebensdauer von 60—100 Stunden, während die Überlebensdauer für das Froschauge von KÜHNE und STEINER (b) zu etwa 24 Stunden angegeben wird. Das Hummeraue gibt bei intensiver Belichtung Spannungen bis zu 3 mV (RIEDEL).

Die stärksten bisher beobachteten Belichtungspotentiale, 20 mV und mehr, fand HARTLINE (b) neuerdings bei der Stubenfliege.

## 2. Die Phasenänderungen des Belichtungspotentials bei Schädigungen und unter Temperatur-, Ionen- und anderen nichtoptischen Einflüssen.

Wir haben bereits eingangs des vorigen Abschnitts (S. 125) gesehen, daß eine Reihe älterer Autoren bei vergleichenden Untersuchungen einen stark verschiedenen, zum Teil auch wechselnden Belichtungsstromverlauf für die einzelnen Tierarten gefunden hat, und zwar beim Frosch gewöhnlich positive, bei den übrigen Tieren, vor allem den Warmblütern, mehr oder weniger ausgesprochen negative Belichtungsschwankung des Bestandpotentials (HOLMGREN [b], DEWAR und M'KENDRICK, KÜHNE und STEINER [a, b], HIMSTEDT und NAGEL und auch PIPER [b] bei seinen ersten vergleichenden Untersuchungen). Eine übersichtliche Zusammenstellung der Verlaufsformen findet sich bei v. BRÜCKE und GARTEN und bei GARTEN (a). Die Mehrzahl dieser Autoren hat die einzelnen Verlaufsformen lediglich beschrieben und zum Teil schematisch abgebildet; einige haben die Verschiedenheit zwar als merkwürdig diskutiert, jedoch ohne ihr experimentell weiter nachzugehen. Die einzelnen Formen, die bei den Autoren in gewisser Ähnlichkeit wiederkehrten, galten bald als charakteristisch für die Tierart, und man erwartete bei der abweichenden Lebensweise der Tiere und den vergleichend-histologisch bekannten Besonderheiten ihrer Retinae auch Unterschiede im Aktionsstromverlauf.

Eine Ausnahme hiervon machen KÜHNE und STEINER (a, b). Sie fanden zwar gleichfalls an der isolierten Kaninchenretina im Gegensatz zum Frosch eine einphasische negative Belichtungsschwankung (s. Abb. 5) aber zugleich fiel ihnen auf, daß schon die zweite Belichtung des Kaninchenpräparates nahezu, die folgenden gänzlich unwirksam waren. Sie vermuteten daher, daß die negative Schwankung bei der ersten, noch wirksamen Belichtung bereits der Ausdruck des Absterbens des Organs sei. Das veranlaßte sie, zunächst die bequemer zugängliche Froschretina systematisch in verschiedenen Stadien der Erregbarkeit und des Absterbens zu untersuchen (Erstickung, Temperaturänderung, Vergiftung, mechanische Schädigung) und danach erst die Versuche weiter auf Fische, Amphibien und Vögel auszudehnen.

Das Resultat dieser Untersuchungen war eindeutig (s. Abb. 5): Isolierte Netzhäute oder hintere Bulbushälften gaben in ganz frischem Zustand dieselben mehrphasischen Belichtungsströme mit positivem Verlauf (d. h. Verstärkung des Bestandpotentials), wie der unverletzte Bulbus<sup>1</sup>. Es genügte aber ein

<sup>1</sup> Die Angaben von KÜHNE und STEINER, daß hintere Augenschalen erheblich stärkere Ströme geben und länger überleben als ganze isolierte Bulbi, ist neuerdings von CHAFFEE, BOVIE und HAMPSON bestätigt.

geringfügiger Anlaß (z. B. Drücken des Bulbus, Abfluß von etwas Glaskörper aus der hinteren Bulbushälfte, schwacher Zug an der Zonula oder an der Netzhaut) und sofort zeigte sich bei der nächsten Belichtung die Senkung oder der negative Vorschlag vertieft; diese Senkung wuchs dann bei jeder folgenden Belichtung weiter, so daß binnen Kurzem aus dem anfänglichen mehrphasischen

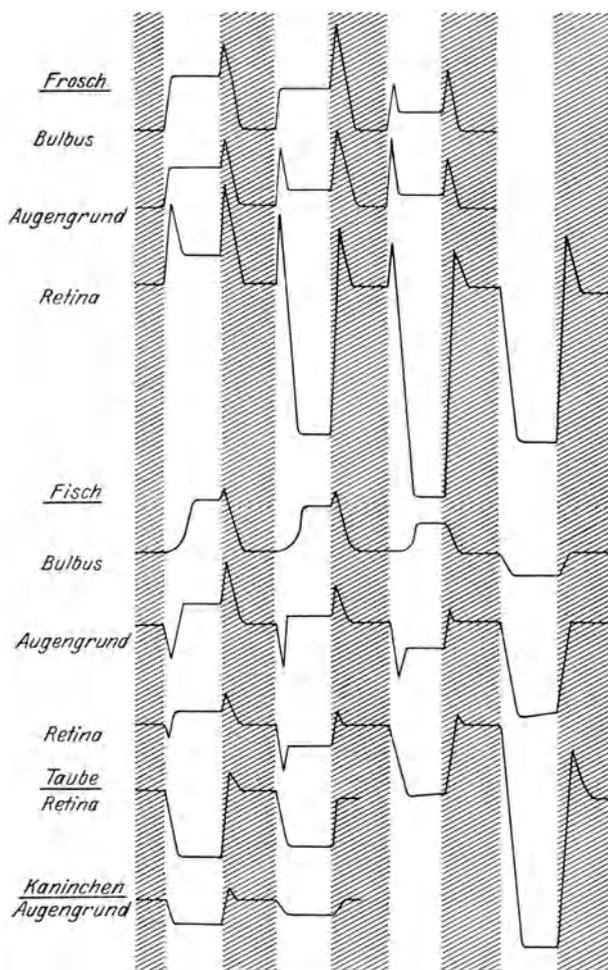


Abb. 5. Die Formänderungen des Belichtungsstroms an verschiedenen Präparaten während des Absterbens; die schraffierten Streifen bedeuten Dunkelheit; die weißen Streifen veranschaulichen vier, aus einer längeren Reihe herausgegriffene Belichtungen. Jeder Kurvenzug zeigt von links nach rechts einige typische Stadien der fortschreitenden Formänderung, die an den einzelnen Präparaten beobachtet wurden. (Aus KÜHNE u. STEINER [b].)

positiven Belichtungsstrom, durch eine Reihe von Zwischenstadien hindurch, schließlich ein glatter einphasischer negativer wurde, der den mehrphasischen häufig bedeutend an Stärke übertraf. Ähnlich wie diese mechanischen Insulte wirkten allmähliche Erstickung, vorsichtige Vergiftung, langsames Absterben. Besonders gut ließen sich bei Fröschen und Fischen die durch verschiedene Zwischenformen verbundenen Anfangs- und Endzustände verfolgen. Ich gebe einige der schematischen Zeichnungen von KÜHNE und STEINER wieder (Abb. 5),

die eine Reihe dieser Stadien veranschaulichen, und nach dem Vorstehenden ohne weiteres verständlich sind<sup>1</sup>.

KÜHNE und STEINER erklären daher die bei den verschiedenen Wirbeltierklassen beobachteten Kurvendifferenzen als Alterationserscheinung und das Hervortreten und schließliche Überwiegen des negativen Kurvenanteils als Folge der Alterationen. Diese Deutung ist ohne weiteres einleuchtend, wenn wir die von v. BRÜCKE und GARTEN nach älteren Autoren zusammengestellten Schemata daraufhin genauer ansehen (Abb. 6). Die Abbildung zeigt: je weniger widerstandsfähig das Versuchstier oder je empfindlicher das Präparat ist, um so stärker überwiegen im allgemeinen die negativen Phasen der Kurve

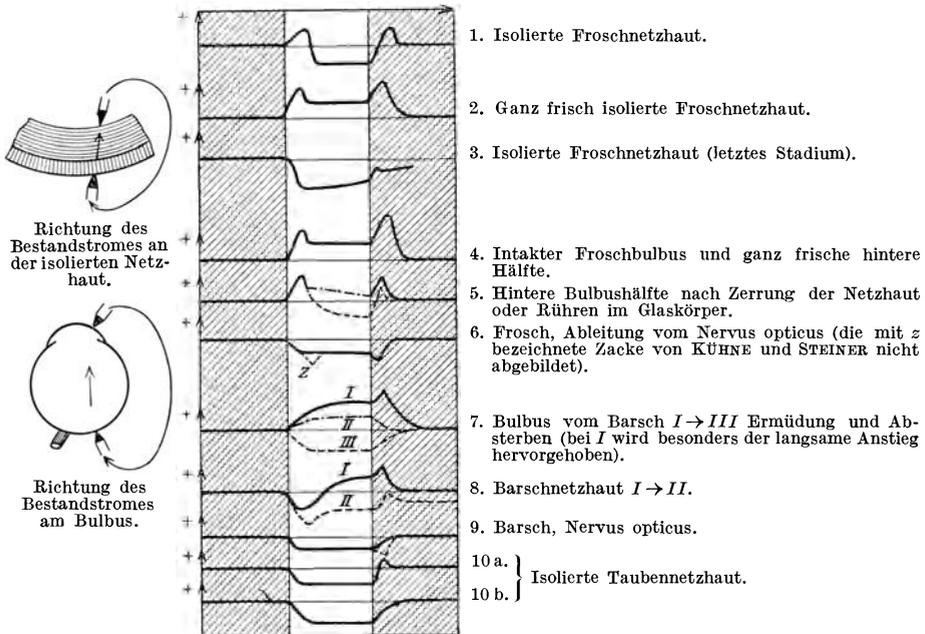


Abb. 6. Belichtungsstromverlauf verschiedener Präparate nach KÜHNE und STEINER (1881).  
(AUS v. BRÜCKE u. GARTEN.)

und um so einfacher wird die negative Stromkurve. Halten wir die Absterbeuntersuchungen von KÜHNE und STEINER (Abb. 5) mit diesen vergleichenden Untersuchungen (Abb. 6) zusammen, so ist klar, daß der trotz gleicher Belichtungsart bei verschiedenen Tieren auftretende stark abweichende Verlauf des Belichtungsstroms nicht bedingt ist durch Tierartdifferenzen in den normalen Netzhautfunktionen, sondern durch die verschiedenen große Widerstandsfähigkeit der Wirbeltierarten gegen operative Eingriffe, bzw. durch die verschiedene Überlebensfähigkeit ihrer Organe; die Kurven sind charakteristisch für das jeweilige Absterbestadium des Präparats. KÜHNE und STEINER (a) schließen bereits, „daß auch die isolierte Kaninchennetzhaut, könnten wir sie

<sup>1</sup> Selbstverständlich können diese, nach trägen Galvanometern gezeichneten Kurven der Abb. 5 nicht alle Einzelheiten in der Form wiedergeben, die uns heute durch das Saitengalvanometer bekannt ist. Aber wie ein Vergleich mit den Saitenkurven (s. Abb. 7 u. 8), vor allem auch mit einigen neueren Verstärkerkurven (s. Abb. 9) lehrt, kommen die wesentlichen Formänderungen in KÜHNES und STEINERS schematischen Zeichnungen doch schon überraschend richtig heraus.

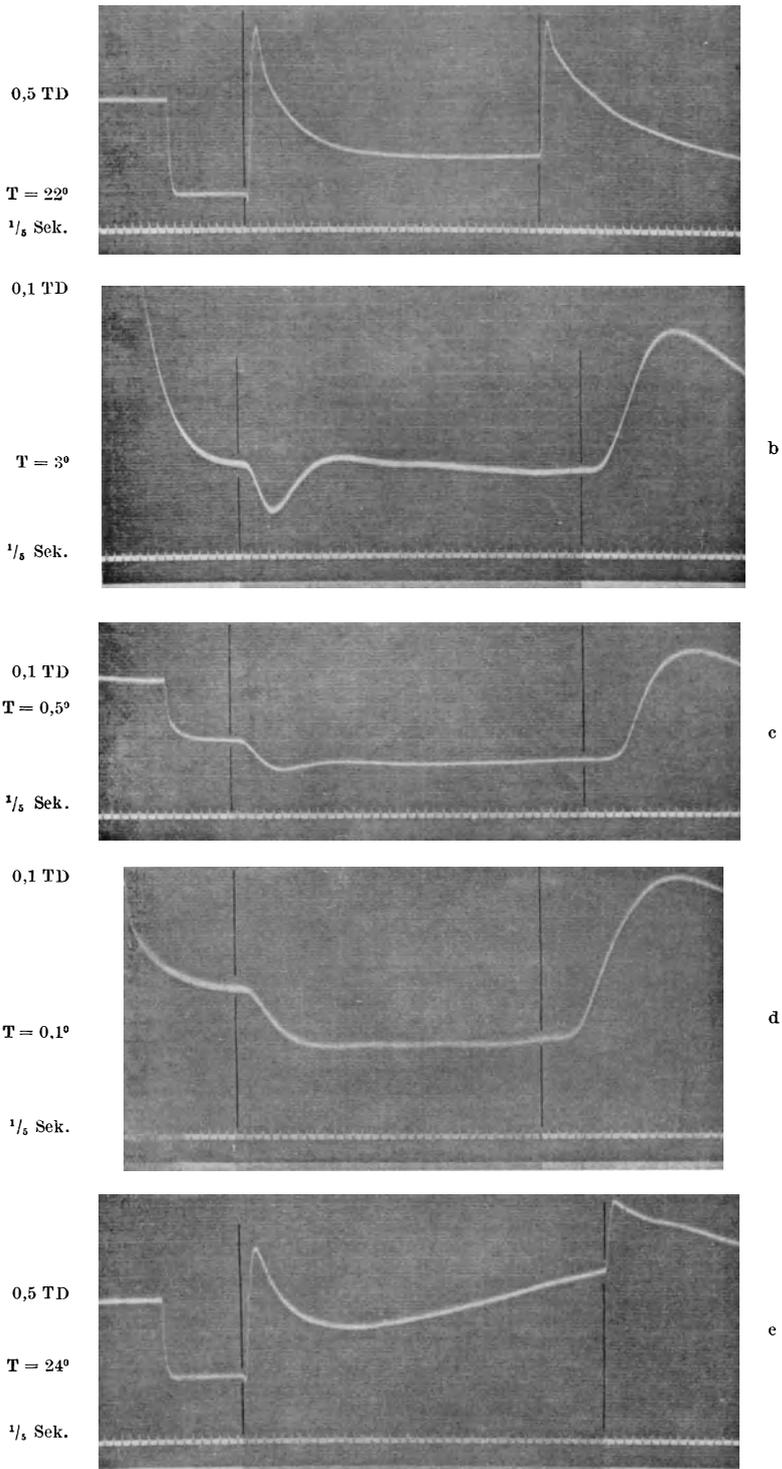


Abb. 7. Belichtungsströme eines extirpierten helladaptierten Froschauges bei fortschreitender Abkühlung: a) bei Zimmertemperatur 9 Minuten nach Enucleation; b) dasselbe Auge 34 Min. lang gekühlt bei gleichem Lichtreiz; c) desgleichen 1 Std. 22 Min. nach Beginn der Abkühlung; d) desgleichen 1 Std. 33 Min. nach Beginn der Abkühlung; e) desgleichen nach Wiedererwärmung, 16 Min. nach Erwärmung und 2 Std. 3 Min. nach Beginn des Versuchs. — Vor jeder Belichtung ist eine Eichung durch Ausschalten der beigeschriebenen Anzahl Millidaniell ( $TD$ ) vorgenommen.  
(Aus P. M. NIKIFOROWSKY.)

nur frisch genug untersuchen, dieselbe doppelsinnige Schwankung (des Belichtungsstroms; Ref.) ausführen würde, wie die des Frosches“ (vgl. dazu Abb. 5); und allgemein, „daß die Schwankung beim Frosch und den Warmblütern unter denselben Bedingungen die nämliche ist“.

Diese, Anfang der 80er Jahre gewonnene und klar ausgesprochene Erkenntnis blieb bei den *vergleichenden* Untersuchungen der nächsten 25 Jahre fast unbeachtet; erst danach wurde sie durch eine Reihe Autoren wieder zur Geltung gebracht<sup>1</sup>. Heute liegt ein vielseitiges Material an Untersuchungen vor, welche alle zu dem gleichen Ergebnis führen, wie die erstmals von KÜHNE und STEINER systematisch angestellten Versuche.

WALLER (c) und JOLLY bestätigten am *mechanisch geschädigten* Froschauge (gelinde Quetschung) den von KÜHNE und STEINER gefundenen *Übergang aus dem positiven, durch*

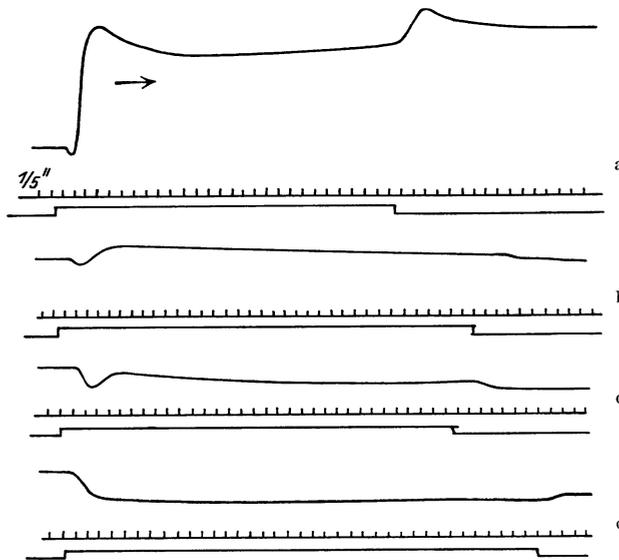


Abb. 8 a-d. Wirkung von n/10 KCl auf den Belichtungsstrom des extirpierten Froschauges (Kurven b bis d); a) Kontrollaufnahme des anderen Auges 15 Min. nach Exstirpation mit n/10 NaCl Elektroden; b) n/10 KCl-Auge nach 46 Minuten Diffusion im Dunkeln; c) desgleichen nach 76 Min.; d) desgleichen nach 111 Min. (Aus H. BEUCHELT.)

*mehrere Zwischenformen, in den negativen Stromverlauf.* v. BRÜCKE und GARTEN, sowie PIPER stellten fest, daß tatsächlich unter *gleichen und günstigen* Bedingungen — weißes Reizlicht von konstanter Intensität, möglichst intakte Augen in situ — *der mehrphasische positive Belichtungsstrom in der ganzen Wirbeltierreihe den gleichen Verlaufstypus zeigt* (vgl. S. 125). Gewisse Unterschiede in der „sekundären Erhebung“, die zunächst noch zwischen Tag- und Dämmerungstieren (Tauben und Schildkröte gegenüber Eulen) zu bestehen schienen, fand KOHLRAUSCH (a) dann abhängig vom Adaptationszustand; bei geeignetem Adaptationszustand der Tiere fallen auch diese Kurvenunterschiede weg (S. 134).

Weitere, unter GARTENS Leitung ausgeführte Untersuchungen ergaben bei *Kälte- und Ioneneinwirkung* auf den extirpierten Froschbulbus das *Negativwerden* des vorher positiven Belichtungsstroms durch verschiedene Zwischenstadien hindurch, ebenso wie bei mechanischen Insulten: Abkühlung bis gegen 0° (NIKIFOROWSKY) bewirkt Verzögerung des Stromablaufs, Steigerung des Widerstandes, Verminderung der elektromotorischen Kraft und

<sup>1</sup> Aber selbst heute scheint sie noch nicht Allgemeingut der auf diesem Gebiet experimentierenden Autoren geworden zu sein. So haben noch vor kurzem wieder CHAFFEE, BOVIE und HAMPSON die längst beantwortete Frage aufgeworfen, ob das *normale* Warmblüter-ERG trotz der Abweichungen am extirpierten Bulbus wohl mit dem des Frosches übereinstimme.

das Umschlagen des mehrphasischen positiven in einen einphasischen negativen Belichtungsstrom durch mehrere Zwischenformen (Abb. 7a—d). Alle diese Kälteveränderungen sind vollständig *reversibel* (Abb. 7a, d, e). Die Ergebnisse der Kältewirkung sind neuerdings durch CHAFFEE, BOVIE und HAMPSON bestätigt. Die gleichen Kurvenveränderungen erhielt BEUCHELT bei Einwirkung der Ionen K, Ba, Mg, Ca auf das Froschauge (Abb. 8; s. auch S. 124).

Bei *Warmblütern* liegt eine größere Anzahl von Beobachtungen an moribunden Exemplaren und exstirpierten Augen vor, welche ganz dieselben Übergänge wie bei Kaltblütern bis zu einphasischen negativen Belichtungsströmen aufweisen (s. S. 130 und die Kurvenzusammenstellungen bei v. BRÜCKE und GARTEN). Man vergleiche als Beispiel die Absterbekurven der Abb. 9 von einem exstirpierten Meerschweinchenbulbus mit denen des Fischaugengrundes von KÜHNE und STEINER (Abb. 5, S. 129) und man wird beide, abgesehen von den schematischen Ecken bei KÜHNE und STEINER, nahezu identisch finden. Prinzipielle Unterschiede bestehen also in bezug auf die Alterationsformen der Netzhautströme zwischen Kalt- und Warmblütern nicht.

Zu dieser ganzen Gruppe negativer Belichtungsströme an geschädigten oder absterbenden Präparaten gehören auch die *einphasischen negativen* Belichtungsströme von FRÖHLICH, HIRSCHBERG und MONJÉ an Frosch- und Krötenaugenschalen. Denn wie die Verfasser selbst an mehreren Stellen ihrer Arbeit besonders betonen, ist das *Absterben* des Auges eine wesentliche Bedingung für das Auftreten auch der von ihnen registrierten einphasischen negativen Ströme (Widerlegung von FRÖHLICHs Kunstprodukteinwand s. KOHLRAUSCH [f]).

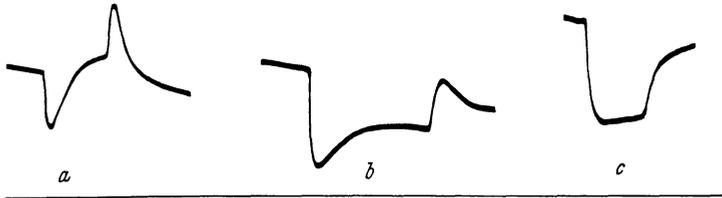


Abb. 9. *Absterbender exstirpiertes Meerschweinchenbulbus*: a) 37 Min. nach Exstirpation, Belichtung 5 Sek. lang mit 54 Meterkerzen; b) 55 Min. nach Exstirpation, 10 Sek. mit 870 Meterkerzen; c) 105 Min. nach Exstirpation, 5 Sek. mit 97 Meterkerzen. (Nach CHAFFEE, BOVIE u. HAMPSON.)

**Zusammenfassung.** Das *normale* Wirbeltierauge gibt als Elektretinogramm eine *mehrphasische*, vorwiegend positive Kurve (d. h. eine Verstärkung des Bestandpotentials), die bei sämtlichen Wirbeltierklassen den gleichen Verlaufstypus mit nur geringfügigen Arteigentümlichkeiten zeigt. Sobald aber die Netzhaut irgendwie alteriert ist (mechanische Insulte, Kälte, bestimmte Ionen, Gifte) oder abzusterben beginnt, treten die negativen Kurvenphasen mehr und mehr hervor, bis schließlich ein einphasisches, evtl. ziemlich kräftiges, negatives ERG entstehen kann; nach gewissen Einwirkungen (z. B. Kälte, Erstickung), ist diese Veränderung *reversibel*.

Die vorwiegend oder vollständig negativen Stromformen, die man früher vielfach als typisch für Warmblüter angesehen hat, sind Alterations- und Absterbeerscheinungen; ihr häufiges Vorkommen hängt mit der geringeren Widerstandsfähigkeit der Warmblüter gegen operative Eingriffe zusammen.

Ich weise schon hier darauf hin, daß bei Tagvögeln, neben der gewöhnlichen mehrphasischen, auch recht einfache positive wie negative Stromformen auslösbar sind, jedoch nicht als Alterationsfolgen, sondern in gesetzmäßiger Abhängigkeit von der Wellenlänge des Reizlichts (s. S. 148).

Auf die Bedeutung der verschiedenen einfachen Stromformen für das Verständnis der mehrphasischen wird im theoretischen Teil eingegangen werden (s. S. 162).

### 3. Die örtliche Verteilung des Belichtungspotentials am Bulbus.

Wird eine engbegrenzte Netzhautstelle beleuchtet, so läßt sich der Belichtungsstrom nicht nur unter der Bedingung ableiten, daß die Funduselektrode genau

der Stelle des Netzhautbildes anliegt, sondern eine Ableitung ist auch noch von deren Nachbarschaft möglich (DE HAAS, WESTERLUND, FRÖHLICH). Dabei nimmt das Belichtungspotential schon in der unmittelbaren Nachbarschaft des Netzhautbildes sehr stark ab, ist bei 60 Kerzen Belichtungsintensität in 25° Bildabstand minimal, bei 500 Kerzen in 50° Abstand (FRÖHLICH).

Als Erklärung für die Ableitbarkeit der Ströme aus der Umgebung des direkt belichteten Netzhautorts kommt einmal die Stromausbreitung in der Netzhaut von der stromproduzierenden Stelle aus, mit anderen Worten das Potentialgefälle in ihrer Umgebung in Frage und ferner nach FRÖHLICH auch die Unvollkommenheit der optischen Abbildung im Auge, der zufolge die nähere Umgebung des Netzhautbildes in bekannter Weise noch schwach mit belichtet wird.

#### 4. Der Einfluß des Adaptationszustandes auf das Elektretinogramm.

KÜHNE und STEINER (a) hatten bereits gesehen, daß sehpurpurhaltige Netzhäute von dunkeladaptierten Fröschen stärkere Belichtungsströme geben

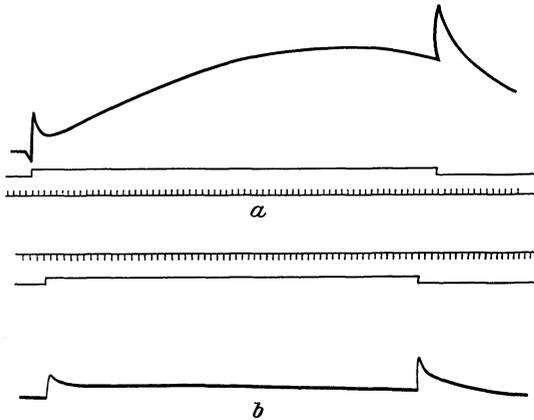


Abb. 10 a u. b. *Adaptation und sekundäre Erhebung beim Frosch.* Belichtungsstrom a) eines dunkeladaptierten, b) eines anderen, gut helladaptierten Froschbulbus; gleiche Reizintensität bei beiden Aufnahmen. Zeitmarken = Sekunden. Reizdauer bei a) 70 Sek., bei b) 60 Sek. (Aus v. BRÜCKE und GARTEN.)

als purpurfreie, im Licht ausgeleichte. Aber auch hier brachte erst die Kurvenregistrierung mit schnell reagierenden Instrumenten die weitere Aufklärung, daß die Änderung des Adaptationszustandes vorwiegend *eine bestimmte* Phase des ERG beeinflusst, und zwar die sekundäre Erhebung (v. BRÜCKE und GARTEN, KOHLRAUSCH [a]; von verschiedenen anderen Autoren bestätigt). Belichtet man das Auge eines gut dunkeladaptierten Frosches mit ausreichender Intensität, so ist eine kräftige sekundäre Erhebung in der Belichtungs-kurve vorhanden (Abb. 10a); je mehr aber der Frosch vorher helladaptiert wurde, um so

schwächer tritt die sekundäre Erhebung trotz gleichbleibender Reizintensität auf (Abb. 10b). Dasselbe gilt nach v. BRÜCKE und GARTEN für den Salamander, nach DAY für den Hecht und nach KAHN und LÖWENSTEIN für das Kaninchen.

Aber diese Befunde dürfen nicht verallgemeinert werden, denn merkwürdigerweise wird die sekundäre Erhebung bei Tagvögeln gerade im entgegengesetzten Sinn durch die Adaptation abgeändert (KOHLRAUSCH [a]): Bei Tauben und Hühnern kommt die sekundäre Erhebung nur stark zur Ausbildung, wenn das Tier gut helladaptiert ist; bei längerem Dunkelaufenthalt wird sie trotz gleicher Reizintensität kleiner und kleiner, bis sie ganz wegfällt, und nach erneuter Helladaptation tritt sie wie vorher wieder auf (Abb. 11).

Während des Dunkelaufenthaltes sinkt außerdem der Bestandstrom bei Tauben und Hühnern langsam um mehrere Millivolt ab, während des Hell-aufenthaltes steigt er allmählich wieder an (vgl. S. 123).

Bei Eulen (Steinkauz) fand KOHLRAUSCH dasselbe Verhalten wie beim Frosch: die sekundäre Erhebung ist nur bei Dunkeladaptation gut ausgebildet, nimmt

bei Helladaptation ab und steigt bei abermaliger Dunkeladaptation wieder an (Abb. 12).

Die sekundäre Erhebung ist mehrfach als Aktionsstrom der Iris Muskulatur aufgefaßt worden. Diese Erklärung ist sicher unzutreffend, wie v. BRÜCKE und GARTEN und mehrere andere Autoren nachwiesen; die sekundäre Erhebung hängt mit den Irisbewegungen keinesfalls zusammen, denn sie tritt in genau der gleichen Weise an atropinisierten Augen mit lichtstarrer Pupille auf und, was zweifellos beweisend ist, auch an hinteren Bulbusschalen

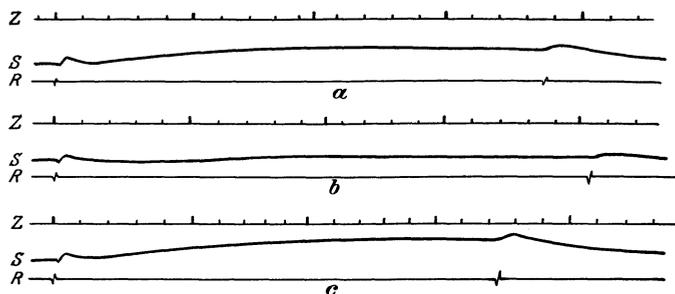


Abb. 11 a-c. *Adaptation und sekundäre Erhebung bei der Taube.* Die gleiche Reizintensität a) nach Helladaptation der Taube bei Tageslicht am Fenster, b) nach  $\frac{1}{2}$  Stunde Dunkelaufenthalt, c) wieder nach Helladaptation; Z Zeitschreibung  $\frac{1}{5}$  Sek., S Galvanometersaite, R Reizmarkierung. (Aus A. KOHLRAUSCH [a].)

nach Abtragung der ganzen vorderen Bulbushälfte einschließlich der Iris. Abb. 13 stammt z. B. von solchen hinteren Bulbusschalen.

Wie die Dämmerungstiere Hecht, Frosch, Salamander, Steinkauz und Kaninchen (sekundäre Erhebung nur nach Dunkeladaptation vorhanden), scheinen sich außerdem noch Bley und Schleie, weitere Eulenarten und Katzen zu verhalten; andererseits wie die Tagvögel Taube und Huhn (sekundäre

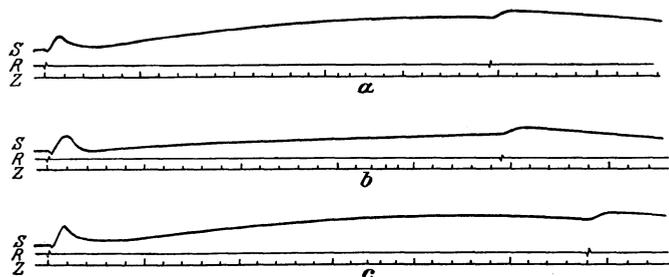


Abb. 12 a-c. *Adaptation und sekundäre Erhebung beim Steinkauz.* Die gleiche Reizintensität a) nach etwa einstündigem Dunkelaufenthalt des Tieres, b) nach 10 Minuten dauernder, jedoch nicht maximaler Helladaptation, c) nach abermaligem halbstündigen Dunkelaufenthalt; S Galvanometersaite, R Reizmarkierung, Z Zeitschreibung  $\frac{1}{5}$  Sekunde. (Aus A. KOHLRAUSCH [a].)

Erhebung nur nach Helladaptation vorhanden), noch ferner Schildkröten (*Emys europaea*), Bussarde und vielleicht auch Hunde.

Der ganz analoge Befund an den Netzhautströmen des Menschen bei vorwiegendem Tages- bzw. Dämmerungssehen (vgl. S. 150) läßt vermuten, daß es sich hierbei um die verschiedenartige und in gewisser Beziehung *gegensätzliche Reaktion des Tages- und Dämmerungsapparats im Sehorgan* handelt.

Auch die übrigen Kurvenphasen hängen vom Adaptationszustand des Auges ab, aber nicht so stark wie die sekundäre Erhebung. In dem Beleuchtungsbereich, das zum Unterdrücken der sekundären Erhebung eben genügt, pflegen die Veränderungen an den übrigen Phasen wohl vorhanden, aber noch wenig auffallend zu sein. Erst bei extremen Variationen von Adaptation und Reizintensität (im Verhältnis von  $1:1,2 \times 10^{10}$ ) fanden EINTHOVEN

und JOLLY stärkere Änderungen auch bei den übrigen Kurvenphasen: Je stärker ein Auge helladaptiert und gereizt wird, um so kräftiger treten die negativen Phasen (negativer Vorschlag und Senkung) und zugleich die positive Verdunkelungsschwankung neben der schwächer werdenden, aber nicht verschwindenden Eintrittsschwankung hervor.

Diese zuletzt erwähnten Kurvenänderungen bei stärkerer Belichtung, mit dem Hervortreten und Überwiegen der *negativen* Phasen ähneln einmal den bei Abkühlung, Giftwirkung und Absterben auftretenden und ferner den durch grünes und blaues Licht hervorgerufenen (vgl. S. 129 u. 147). Diese Änderungen der Kurve bei Wechsel der Intensität und Farbe sind jedoch nicht durch Absterbevorgänge bedingt (vgl. S. 148), sondern mit Stärke und Art der Beleuchtung reversibel. Außerdem erscheinen hierbei die negativen Phasen schon von so geringen Belichtungsintensitäten an, daß sie auch nicht auf Alterationen infolge von Blendung bezogen werden können. Im theoretischen Teil wird darauf zurückzukommen sein (s. S. 162).

Besonders bemerkenswert ist die gleichzeitige Steigerung von negativem Vorschlag und positiver Verdunkelungsschwankung; diese Tatsache weist, wie verschiedene andere darauf hin, daß beide Phasen zusammengehören (vgl. die Theorie S. 162).

### 5. Die Ablaufgeschwindigkeit des Elektretinogramms und der Gesichtsempfindungen unter verschiedenen Bedingungen.

Die Ablaufgeschwindigkeit des ERG hängt vor allem von Temperatur, Reizintensität und Tierzustand ab; Erwärmung und Reizverstärkung beschleunigen, Erschöpfung des Tieres verzögert den Ablauf der Phasen. Abgesehen von dem Auftreten der Verdunkelungsschwankung ist der Verlauf dagegen innerhalb gewisser Grenzen nur wenig abhängig von der Reizdauer; d. h. das durch den Beginn eines hinreichend starken Lichtreizes eingeleitete ERG läuft, den jeweiligen Intensitäts-, Temperatur- und Zustandsbedingungen entsprechend, gesetzmäßig ab, auch wenn der Reiz sofort wieder unterbrochen wird (Lichtblitz); die photoelektrische Reaktion kann den Reiz um ein vielfaches überdauern<sup>1</sup>.

Theoretisch bedeutungsvoll und daher häufig diskutiert ist die Frage, in welcher Beziehung Latenz und Ablauf der Netzhautströme zu den gleichen Erscheinungen bei den Gesichtsempfindungen stehen.

**Temperatur und Zustand des Versuchstieres.** Die verzögernde Wirkung der Abkühlung, sowohl auf die Latenzstadien als auf die gesamten Phasen des Stromverlaufs, steht außer Zweifel (GOTCH [a, b], NIKIFOROWSKY und andere; vgl. auch S. 132).

Besonders augenfällig wird sie beim Vergleich von Kalt- und Warmblütern; belichten wir in beiden Fällen mit der gleichen Intensität so lange, bis das Maximum der sekundären Erhebung erreicht ist, so dauert das bei Kaltblütern  $\frac{3}{4}$ —1 Minute, bei Warmblütern 2 bis 6 Sekunden. Wieweit dieser große Unterschied von etwa 10 : 1 allein auf Rechnung der Körpertemperatur kommt, ist allerdings bisher nicht festgestellt. Ganz gleich verhalten sich auch Warmblüter nicht; Nachtvögel zeigen gegenüber Tagvögeln eine deutliche Verzögerung des gesamten Stromablaufs (vgl. Tabelle 1).

<sup>1</sup> Die Angabe von S. FUCHS (a), daß der durch einen Lichtblitz erzeugte erste Anteil der Stromschwankung unvergleichlich viel rascher verlaufe als bei Dauerbelichtung, hat sich bei Nachuntersuchungen als unzutreffend herausgestellt und ist auf das von FUCHS angewandte aber bei den Augenströmen nicht brauchbare (vgl. S. 139) Rheotomverfahren zurückzuführen. Tatsächlich werden gerade die schnellen Phasen (Latenz, negativer Vorschlag, positive Eintrittsschwankung und Senkung) sehr wenig durch die Reizdauer beeinflusst; nur die sekundäre Erhebung pflegt bei einem Lichtblitz schneller zu verlaufen und kann bei kurzen schwachen Lichtblitzen auch früher beginnen.

Tabelle 1. Der zeitliche Verlauf der Netzhautströme bei verschiedenen Tieren, in Sekunden. (Nach PIPER.)

	Latenz des negativen Vorschlags	Latenz der positiven Eintrittsschwankung	Gipfel der positiven Eintrittsschwankung	Minimum der Senkung	Latenz der Verdunkelungsschwankung	Gipfel der Verdunkelungsschwankung
Frosch ...	0,045 (0,03—0,08)	0,085 (0,07—0,136)	0,3 (0,21—0,5)	—	0,05 (0,031—0,093)	0,18—0,27
Emys ....	0,033—0,036	0,07—0,09	0,16—0,19	—	0,035	0,11—0,14
Taube ....	0,01—0,014 (0,008—0,022)	0,029—0,035 (0,025—0,04)	0,07—0,08 (0,063—0,09)	0,17—0,21	0,01—0,016	0,04—0,05
Huhn ....	0,014—0,02	0,038—0,046	0,08—0,1	—	0,012—0,023	—
Bussard ..	0,01—0,017	0,033—0,04	0,075—0,1	—	0,015—0,02	0,043—0,05
Eule ....	0,014—0,02	0,039—0,048	0,12—0,2	0,4—0,6	0,03—0,05	—
Katze ....	0,015—0,02 ?	0,036—0,044	0,08—0,1	0,19—0,24	0,025—0,03	—
Kaninchen	0,017 ?	0,033—0,042	0,12—0,15	0,35—0,55	0,033—0,04	—
Affe .....	0,018—0,02 ?	0,038—0,047	0,12—0,16	—	0,024—0,034	—
Hund .....	0,015 ?	0,026—0,035	0,08—0,1	—	0,03—0,037	—
Eledone, Octopus		0,02—0,025 (0,015—0,19)	—	—	0,02—0,03	—

Erschöpfung des Versuchstieres schwächt den Strom und wirkt verzögernd auf sämtliche Phasen; das ist ganz allgemein beobachtet (vgl. z. B. BROSSA und KOHLRAUSCH).

**Reizlichtintensität (Lichtmenge).** Die Reizintensität hat einen sehr weitgehenden Einfluß auf die Ablaufgeschwindigkeit: je stärker der Reiz, um so schneller der Verlauf und um so stärker der Ausschlag aller Phasen; in der Kurve des ERG werden also die Latenzen kürzer und die einzelnen Ausschläge größer und steiler<sup>1</sup>. Diese Kurvenveränderungen sind ganz allgemein bei sämtlichen Wirbeltierklassen beobachtet, seitdem man die Netzhautströme mit dem Capillarelektrometer oder Saitengalvanometer studiert (s. z. B. v. BRÜCKE und GARTEN, BROSSA und KOHLRAUSCH).

Bei extremen Variationen ihrer Lichtintensität fanden EINTHOVEN und JOLLY folgende Äußerstwerte (in  $\sigma = \frac{1}{1000}$  Sek.) für die Latenzen am Frosch: Latenz des negativen Vorschlags 10  $\sigma$  und 140  $\sigma$  (Lichtintensitätsverhältnis  $10^{10} : 10^6$ ), Latenz der positiven Eintrittsschwankung 240  $\sigma$  und 2100  $\sigma$  (Intensitätsverhältnis  $10^4 : 1$ ) und Latenz der positiven Verdunkelungsschwankung 10  $\sigma$ , 800  $\sigma$  und 2200  $\sigma$  (Intensitätsverhältnis  $10^{10} : 10^6 : 1$ ). Aus dieser sehr weitgehenden Variationsbreite folgt, daß alle für die verschiedenen Tiere angegebenen Zeitwerte nicht als *absolute*, sondern nur als *Vergleichszahlen* gewertet werden können, die lediglich für die benutzte Reizintensität gelten. Tabelle 1 enthält die von PIPER (d) bei seinen vergleichenden Versuchen mit dem Saitengalvanometer gefundenen Zeitwerte in Sekunden, die nach dem soeben ausgesprochenen Grundsatz gleichfalls nur als relative Zahlen zum Vergleich der verschiedenen Tiere untereinander dienen können.

PIPERS Reizintensität war ziemlich hoch, das Licht einer kleinen Bogenlampe von 5 Ampère in 60—80 cm Abstand auf einer Mattscheibe.

Ich mache auf die Zeitunterschiede zwischen Tauben und Eulen besonders aufmerksam, welche die größere Trägheit bei Eulen zeigen.

Aus den von EINTHOVEN-JOLLY und PIPER ermittelten Zahlen geht hervor, daß die am Menschen bisher festgestellte Latenz der Gesichtsempfindung<sup>2</sup> (30—1000  $\sigma$ , je nach Lichtstärke) in denselben Größenordnungen liegt wie die

<sup>1</sup> Innerhalb gewisser Grenzen wirkt dabei eine Vergrößerung der belichteten Netzhautfläche oder eine Verlängerung der Belichtungszeit ebenso wie eine Steigerung der Lichtintensität; d. h. in diesen Grenzen ist die *Lichtmenge* maßgebend für Stärke und Ablauf des Netzhautstroms (s. S. 139 u. 141).

<sup>2</sup> Betreffs der sog. „Empfindungszeit“ bzw. „Fröhlichkeit“, vgl. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12 I, S. 421f., Bd. 12 II, S. 1588f. (Siehe auch in diesem Bande des Handbuchs Kapitel Lichtsinn.)

Stromlatenz. Genaueres über das Verhältnis beider Zeitwerte zueinander könnte wohl nur unter gleichen Bedingungen am Menschen ermittelt werden.

**Dauer- und Momentbelichtung.** Der Stromphasenbeschreibung auf S. 126 wurde eine Belichtung zugrunde gelegt, die bis zum Gipfel der sekundären

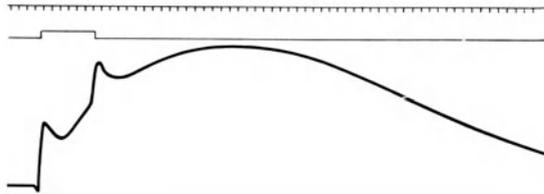


Abb. 13. Stromverlauf bei kurzer Belichtung. (Frosch; Zeit in Sekunden.) (Nach v. BRÜCKE u. GARTEN.)

Erhebung anhält, also beim Kaltblüter etwa  $\frac{3}{4}$  Minuten, beim Warmblüter etwa 5 Sekunden dauern würde. Um ein vollständiges ERG zu bekommen, ist jedoch eine solche Dauerbelichtung nicht erforderlich. Belichten wir kürzer, aber mit hinreichender Intensität, beim Kaltblüter z. B. 5—10, beim Warmblüter 2 Sek.

lang, so laufen trotzdem sämtliche Stromphasen ab, nur kehrt jetzt der Strom nach Belichtungsschluß und nach Ablauf der Verdunkelungsschwankung nicht

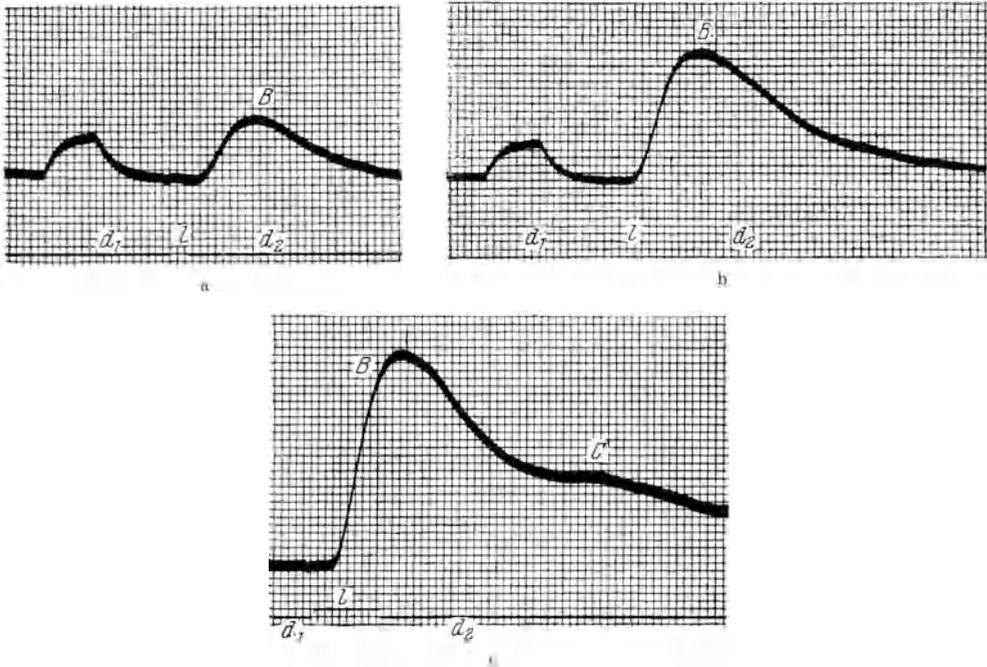


Abb. 14 a—c. Wirkung kurzer und sehr schwacher Belichtungen verschiedener Dauer auf das dunkel-adaptierte Froschauge. 1 mm Abszisse = 0,2 Sek.; 1 mm Ordinate = 0,004 Millivolt; die gleiche sehr schwache Belichtung (bei  $l$ ) bei allen drei Aufnahmen; die Belichtungsdauer ist allein variiert und beträgt bei a) 0,48 Sek., bei b) 1,12 Sek., bei c) 1,9 Sek. — Den Belichtungen bei a) und b) ist eine Eichkurve vorausgeschickt.  $B$  bedeutet die positive Eintrittsschwankung,  $C$  die sekundäre Erhebung,  $a_1$  und  $a_2$  Dunkel,  $l$  Licht. (Nach EINTHOVEN u. JOLLY.)

sofort zum Bestandpotential zurück, sondern die sekundäre Erhebung steigt trotz erfolgter Verdunkelung weiter an bis zu ihrem Gipfel und fällt danach erst allmählich ab (Abb. 13). Der Belichtungsstrom überdauert in diesem Fall den Reiz beträchtlich, und die Verdunkelungsschwankung ist einfach dem aufsteigenden Schenkel der sekundären Erhebung superponiert.

Dauert die Belichtung noch kürzere Zeit, so wird die Verdunkelungsschwankung kleiner und kleiner und kann schließlich unmerklich werden (S. 139 unten). Aber auch bei eigentlichen Momentbelichtungen von  $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{100}$  Sek. Dauer oder noch weniger können sämtliche übrigen Stromphasen einschließlich der sekundären Erhebung vorhanden sein (EINTHOVEN und JOLLY). Der Belichtungsstrom überdauert dann den Reiz um ein Vielfaches.

Bei Momentbelichtungen tritt aber eine Besonderheit auf: die für Tier- und Pflanzenwelt, für die menschlichen Gesichtsempfindungen und auch für unbelebte photochemische Reaktionen ganz allgemeingültige Gesetzmäßigkeit<sup>1</sup>, daß für die Größe des Reizerfolges die Lichtmenge bzw. Lichtenergie, d. h. das Produkt aus Lichtintensität, belichteter Fläche und Belichtungsdauer maßgebend ist (vgl. S. 141). Die reizmindernde Wirkung einer Lichtblitzverkürzung kann bei Momentbelichtungen durch eine entsprechende Steigerung der Lichtintensität kompensiert werden und umgekehrt; für die träge reagierenden Kaltblüter gilt das noch über die eigentlichen Momentbelichtungen hinaus bis zu Belichtungsdauern von mehreren Sekunden (DE HAAS).

Sehen wir von den quantitativen Beziehungen zwischen Lichtenergie und Reizerfolg zunächst noch ab (vgl. S. 141), so ist hier über die Form des ERG und seinen zeitlichen Ablauf folgendes zu sagen:

Bei Momentbelichtungen mit hinreichend geringer Lichtintensität ist der photoelektrische Effekt außerordentlich einfach; er besteht in der positiven Eintrittsschwankung, die mit der nachfolgenden Senkung wieder zum Bestandpotential zurückkehrt (Abb. 14a und b und Abb. 15a am Frosch, Abb. 15c am Kaninchen); bei der Taube und, mit etwas stärkerer Belichtung auch beim Frosch geht noch der negative Vorschlag voraus (Abb. 15b). Auf den träge reagierenden Kaltblüter wirken schwache Belichtungen von noch etwa 1 Sek. Dauer so, wie entsprechend intensivere Momentbelichtungen von  $\frac{1}{10}$  Sek. (vgl. dazu H. PIPER [d], Tafel I, Fig. 3 u. 4 [Abb. 14a—c und Abb. 15a]).

Wird die Reizlichtenergie vermehrt, durch Steigerung der Lichtintensität oder — innerhalb bestimmter Grenzen — der Belichtungsdauer bzw. der belichteten Netzhautfläche, so werden die Ausschläge höher und steiler (Abb. 14a—c), und es kommt die sekundäre Erhebung hinzu (Abb. 14c, 16, 17), so daß wir auch bei Momentbelichtungen das — abgesehen von der nicht immer sichtbaren (S. 139 oben) Verdunkelungsschwankung — vollständige Elektretinogramm beobachten, welches die Belichtung um ein Vielfaches überdauern kann<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Vgl. dazu über die menschlichen Gesichtsempfindungen: J. v. KRIES ([b] S. 381—383); über die tierischen Netzhautströme: DE HAAS; über die Lichtwirkung auf Pflanzen (Reizmengengesetz): RAWITSCHER; über das Lichtmengengesetz bei unbelebten photochemischen Reaktionen (BUNSEN-ROSCOE-Gesetz) z. B. W. NERNST, S. 763 f.

<sup>2</sup> Wegen dieses langen Überdauerns der Netzhautströme ist das von S. FUCHS (a, b) benutzte Rheotomverfahren nicht anwendbar (vgl. S. 136); die von FUCHS am Frosch damit gefundenen Zeitwerte (Latenz von  $2,4 \sigma$ , positive Schwankung von  $12,2 \sigma$  und negative Schwankung von  $12,9 \sigma$  Dauer) konnten von keinem der späteren Untersucher bestätigt werden und sind so kurz, daß die Gesamtdauer einer solchen Stromschwankung bei mittlerer Lichtintensität noch in die tatsächliche Latenzzeit fallen würde.

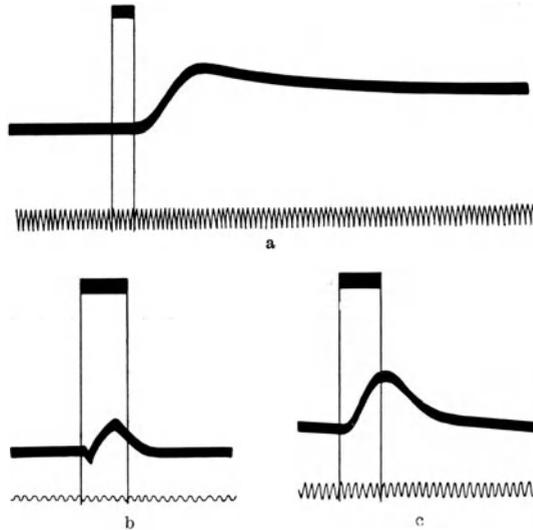


Abb. 15 a—c. Wirkung relativ schwacher Momentbelichtungen von etwa  $\frac{1}{10}$  Sek. Dauer: a) auf den Frosch, b) auf die Taube und c) auf das Kaninchen. Reizmarkierung photographisch, Zeitschreibung: Stimmgabel von 50 Schwingungen pro Sek. (Nach PIPER [c, d].)

Die Abb. 16 u. 17 zeigen, daß sich Kalt- und Warmblüter in dieser Hinsicht, bis auf die Geschwindigkeit des Stromablaufs, durchaus gleich verhalten.

Wie KOHLRAUSCH (b) fand, besteht ein *weitgehender Parallelismus zwischen dem phasischen Ablauf der Netzhautströme und dem der menschlichen periodischen*

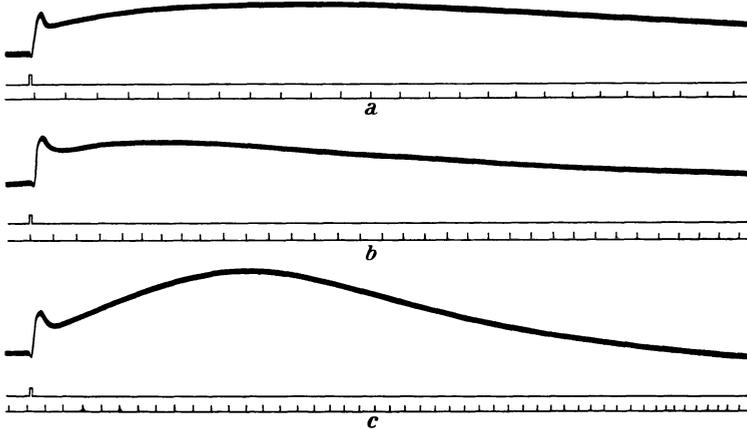


Abb. 16 a–c. Wirkung *stärkerer, verschiedenfarbiger* Momentbelichtungen ( $\frac{1}{10}$  Sek.) auf den dunkeladaptierten Frosch: a) Weißblitz, Lampenabstand 1,50 m; b) Rotblitz, Lampenabstand 0,40 m; c) Blaublitz, Lampenabstand 0,60 m. Zeitschreibung Sekunden. — Die Reizintensitäten der verschiedenfarbigen Filterlichter wurden so ausgeglichen, daß die positiven Eintrittsschwankungen annähernd gleich stark ausfielen; trotzdem haben die sekundären Erhebungen sehr verschieden große elektromotorische Kraft (spezifische Farbenwirkung). (Versuche zur Mitteilung [b] von A. KOHLRAUSCH.)

*Nachbilder, vorausgesetzt, daß beide Phänomene durch Momentbelichtungen hervorgerufen werden.*

Wenn FRÖHLICH (e) in seinem Einwand hiergegen meint, bei Reizung des Wirbeltierauges mit Lichtblitzen von  $\frac{1}{100}$  Sek. Dauer würden *keine mehrphasischen* Netzhautströme auftreten, und aus diesem Grunde sei die Parallele zwischen den Phasen der Netzhautströme und der periodischen Nachbilder nicht durchführbar, so hat er die S. 139 referierte Tatsache übersehen, daß Stärke und Phasenzahl der Netzhautströme von der im Lichtblitz einwirkenden *Lichtmenge* abhängen; eine Gesetzmäßigkeit, die bereits aus den Versuchen von DE HAAS, EINTHOVEN und JOLLY (vgl. Abb. 14) klar hervorgeht, und übrigens ebenfalls für die Nachbildphasen beim Menschen gilt.

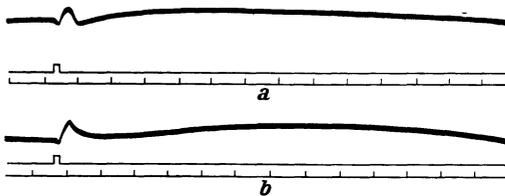


Abb. 17 a u. b. Wirkung *stärkerer, verschiedenfarbiger* Momentbelichtungen ( $\frac{1}{10}$  Sek.) auf die Taube, nach etwa 5–10 Min. Dunkelaufenthalt: a) Weißblitz, Lampenabstand 0,50 m; b) Rot-Orangeblitz, Lampenabstand 0,20 m; Zeitschreibung  $\frac{1}{10}$  Sek. Spezifisch verschiedene Farbenwirkung. (Nach Originalkurven zur Mitteilung [b] von A. KOHLRAUSCH.)

Beide Phänomene, die Netzhautströme und die periodischen Nachbilder, hängen außerdem in ihrem phasischen Ablauf noch

von der Wellenlänge des zur Momentbelichtung verwendeten Lichtes (s. Abb. 16 und 17) und vom Adaptationszustand des Auges ab, und zwar beide in der gleichen Weise. Darauf wird auf S. 147 und 148 über die spezifischen Farbenwirkungen und im theoretischen Teil noch einzugehen sein (s. S. 164).

**Intermittierende Belichtung.** Wird das Auge mit intermittierendem anstatt mit stetigem Licht gereizt, so superponieren sich über die bekannten Stromphasen noch Wellen, ohne daß der Aktionsstrom im ganzen eine andere Stärke erreicht, als bei konstanter, gleich starker Belichtung (Abb. 18). Die Stromwellenfrequenz geht der Reizfrequenz solange parallel, bis die Wechselgeschwindigkeit

zwischen Hell und Dunkel eine bestimmte Grenze, die Verschmelzungsfrequenz, erreicht, oberhalb der die Kurve des Elektretinogramms ebenso glatt verläuft, wie bei stetiger Belichtung (PIPER [d]).

Weiter fand PIPER die bedeutsame Tatsache, daß die Verschmelzungsfrequenz der Netzhautströme zahlenmäßig mit derjenigen Intermitenzfrequenz der Größenordnung nach übereinstimmt, bei welcher auch für das menschliche Auge das Flimmern der ausgelösten Empfindung aufhört; und zwar lag bei der von PIPER benutzten, ziemlich hohen Lichtintensität die Verschmelzungsfrequenz für die Stäbchennetzhaut der Eulen bei etwa 20, für die Zapfennetzhaut der Tagvögel bei etwa 40 ganzen Perioden pro Sek. Auch dieser Unterschied in der Verschmelzungsfrequenz zwischen den träge reagierenden Netzhautelementen des Dämmerungsehens und den schnellen des Tagessehens ist ja für die subjektive Empfindung des Flimmerns bekannt (vgl. J. v. KRIES [a], A. KOHLRAUSCH [f]).

Da die Verschmelzungsfrequenz für den Netzhautstrom wie für die Flimmerempfindung von den Beleuchtungsbedingungen (Lichtintensität und Adaptationszustand) abhängt, kann der *exakte* Beweis für die zahlenmäßige Übereinstimmung beider Vorgänge nur am Menschen unter bestimmt definierten

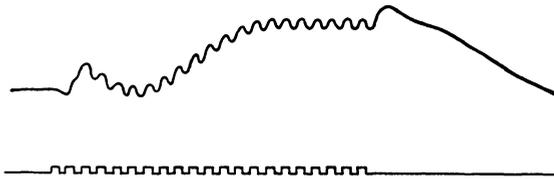


Abb. 18. Die Aktionsstromwellen bei intermittierender Belichtung mit einer Wechselzahl unterhalb der Verschmelzungsfrequenz. (Nach H. PIPER [d].)

Bedingungen erbracht werden. Das ist neuerdings durch E. SACHS geschehen (s. S. 152); er leitete die Netzhautströme des Menschen ab und fand, daß ihre Kurve bei derselben Wechselfrequenz glatt wurde, bei der die gleichzeitig von der Versuchsperson beobachtete Empfindung des Flimmerns aufhörte.

Das Ergebnis dieser Untersuchungen von PIPER und SACHS über intermittierende Belichtung ist sehr bemerkenswert. Es zeigt: 1. dem psychischen Erlebnis des Flimmerns gehen die Wellen im Aktionsstrom als physischer Vorgang parallel; 2. die Empfindung wird stetig, wenn die Stromstöße in der Netzhaut miteinander verschmolzen sind, wobei diese Verschmelzung durch das S. 139 beschriebene Überdauern jedes einzelnen Stromstoßes über den Reiz hinaus zustande kommt; 3. die physischen Vorgänge der Erregungswellen bzw. ihrer Verschmelzung spielen sich bereits in der Netzhaut, nicht erst im Zentralorgan ab (vgl. Theorie S. 163).

## 6. Quantitative Beziehungen zwischen Elektretinogramm und Gesichtsempfindungen in ihrer Abhängigkeit von der Reizintensität (Lichtmenge).

Das Lichtmengengesetz. Wie wir schon oben (S. 139) sahen, ist das von BUNSEN und ROSCOE an unbelebten photochemischen Reaktionen entdeckte, sehr allgemein auch in der Tier- und Pflanzenwelt gültige „Reizmengengesetz“ sowohl für die Netzhaut- und Opticusströme als auch für die Gesichtsempfindungen maßgebend: unter der Bedingung kurzer Belichtungen und kleiner belichteter Flächen ist bei gleichbleibendem Effekt das Produkt aus Lichtintensität, belichteter Fläche und Belichtungsdauer konstant (DE HAAS an den

Netzhautströmen vom Frosch, HARTLINE [b] an denen von Insekten, ADRIAN und MATTHEWS [a, b] an den Netzhaut- und Opticusströmen vom Aal).

**Das TALBOTSche Gesetz.** Entsprechend dem Reizmengengesetz bei einzelnen Momentanreizen gilt das TALBOTSche Gesetz bei intermittierenden Dauerbelichtungen<sup>1</sup> für die Netzhautströme wie für die Gesichtsempfindungen, wenn die Wechselzahl oberhalb der Verschmelzungsfrequenz liegt (DE HAAS).

**Die absolute Schwelle.** Die Beziehungen zwischen Lichtstärke und Netzhautstromstärke sind sehr vielfach untersucht. Zunächst ist hervorzuheben, daß von den objektiven Netzhautvorgängen die Belichtungsströme bei weitem die lichtempfindlichsten sind. Nach HIMSTEDT und NAGEL (c) „dürfte die Schwelle der Reizwirkung für das Froschauge fast zusammenfallen mit der Schwelle der Lichtempfindung beim Menschen“. Für die exakte Beantwortung dieser Frage ist jedoch eine ausreichende Galvanometerempfindlichkeit Voraussetzung, damit die gesuchte Schwelle für die Stromproduktion nicht der für ihren Nachweis gleichgesetzt wird. Diese Forderung dürfte mit dem Verstärkersystem von CHAFFEE, BOVIE und HAMPSON erfüllt sein, die damit beim Frosch tatsächlich eine absolute Schwelle für die photoelektrische Reaktion von derselben Größenordnung fanden (1 Kerze auf 1200 Fuß = 6 Millionstel Lux), wie sie für die Lichtempfindlichkeit des Menschen gilt (etwa 1—8 Millionstel Lux; s. bei H. SCHROEDER).

**Das WEBER-FECHNERSche Gesetz.** Bereits die ersten Messungen über das quantitative Verhältnis zwischen Netzhautstromstärke und Reizstärke (DEWAR und M'KENDRICK) ergaben für ein Reizintervall 1 : 100, daß die Stromstärken sicher nicht proportional den Lichtintensitäten zunehmen, sondern erheblich langsamer, ungefähr in der dem FECHNERSchen Gesetz entsprechenden logarithmischen Abhängigkeit. Dieser Befund ist oftmals bestätigt, von WALLER (c), DE HAAS, HARTLINE und CHAFFEE, BOVIE und HAMPSON<sup>2</sup> am Frosch, von FRÖHLICH (b) an Cephalopoden, von HARTLINE an Insekten.

Besonders sorgfältige und über ein sehr weites Reizintervall ( $1:10^7$ ) ausgedehnte Messungen hat als erster DE HAAS am isolierten Froschauge angestellt. Danach gilt die logarithmische Abhängigkeit *erst in einem Gebiet höherer Lichtstärken*, während von der Schwelle bis dahin die Stromstärken *noch* wesentlich langsamer ansteigen. Dieser Befund wurde von HARTLINE an Fröschen und Insekten bestätigt und die Gültigkeitsgrenzen wurden zahlenmäßig festgestellt.

Bemerkenswerterweise entspricht das nun durchaus den Messungen von KÖNIG und BRODHUN, nach denen die menschliche Unterschiedsempfindlichkeit für Helligkeiten auch erst bei höheren Lichtintensitäten dem WEBERSchen Gesetz folgt und dieses Optimum nur etwa während zweier Zehnerpotenzen hat. Sogar die Lichtintensitätsbereiche, in denen beide Gesetze für Mensch und Tier Gültigkeit haben, stimmen recht befriedigend überein: Nach HARTLINE besteht die logarithmische Abhängigkeit (FECHNERSches Gesetz) beim Frosch in dem Beleuchtungsbereich zwischen etwa 240 und 24 000 Lux, bei Insekten von etwa 200 Lux bis 85 000 Lux. Nach KÖNIG-BRODHUN ist das WEBERSche

<sup>1</sup> Über den Zusammenhang zwischen Reizmengen- und TALBOTSchem Gesetz siehe J. v. KRIES ([a] S. 230 f).

<sup>2</sup> CHAFFEE, BOVIE und HAMPSON haben mit ihrer empfindlichen Verstärkereinrichtung das Gesetz nur in dem Intervall minimaler Beleuchtungsintensitäten von der absoluten Schwelle (6 Millionstel Lux) bis zu 8000 Millionstel Lux geprüft. Sie fanden im Bereich zwischen der Schwelle und 700 Millionstel Lux die Reaktion ungefähr proportional der Quadratwurzel aus der Beleuchtungsintensität; in der nächsten Zehnerpotenz der Beleuchtung soll dann die logarithmische Abhängigkeit gelten. Bei Ausdehnung der Versuche auf sehr viel höhere Intensitäten würde sich vermutlich ergeben haben, daß dieser Befund der Gültigkeit durch ein zu kurzes Kurvenstück vorgetäuscht war und *alle* Messungen in einem Beleuchtungsbereich lagen, in dem das Gesetz *noch nicht* gilt.

Gesetz beim Menschen von etwa 200 bis 20 000 Lux gültig. *Beim Menschen entspricht diese Lichtintensität der für die optimale Sehschärfe erforderlichen, der sog. „klarsten Beleuchtung“ nach HELMHOLTZ; sie liegt im Bereich des guten Tageslichts von etwa 200 Lux (auf Weiß) an aufwärts bis zum allerersten Beginn der Blendung des helladaptierten Auges bei etwa 20 000 Lux.*

In diesem Beleuchtungsbereich gilt nun die nahezu logarithmische Abhängigkeit der Aktionsstromstärke von der Lichtintensität auch für die *einzelnen Belichtungsphasen* des Elektroretinogramms. BROSSA und KOHLRAUSCH konnten das FECHNERSche Gesetz bei ihren Versuchen über die Abhängigkeit der Stromform von der Reizstärke (s. S. 137) sowohl für die positive Eintrittsschwankung wie für die sekundäre Erhebung feststellen.

Mit den vorstehend angeführten Tatsachen über das FECHNERSche Gesetz soll nun nicht etwa ein Urteil darüber abgegeben werden, ob die quantitative Beziehung zwischen Reiz und Netzhautstrom einer logarithmischen oder einer Exponential- oder vielleicht einer noch anderen Funktion besser entspricht (A. PÜTTER, H. WALTER).

Als wesentlich ist jedoch hervorzuheben, daß die bekannte — für die Sinnesempfindungen, die Muskelkontraktion, die Reizvorgänge bei Pflanzen geltende — Gesetzmäßigkeit nach FECHNER, die man vielleicht am besten mit PAULI heute allgemeiner als „Relativitätssatz“ bezeichnet, auch bei dem objektiven Vorgang der Augenströme nachweisbar ist. *Vor allem wichtig ist, daß diese „Relativität“ bereits in der Netzhaut auftritt und nicht erst, wie man früher wohl vermutet hat, im Zentralnervensystem.*

Ebenso ist bei den anderen Gesetzmäßigkeiten (Reizmengen- und TALBOT-Gesetz), abgesehen von ihrem allgemeinen Vorkommen bei trägen Systemen, besonders bemerkenswert, daß sie in der gleichen Weise an der peripheren Netzhaut und am Opticus der Tiere wie an den Wahrnehmungen des Menschen, und anscheinend auch an seinen Netzhautströmen (s. S. 150 u. 157) nachweisbar, also offenbar durch Eigenschaften der Netzhaut (vermutlich der photochemischen Prozesse) bedingt sind. Daraus kann auf eine *lineare Abhängigkeit zwischen Netzhaut und Gehirn* geschlossen werden, die auch in den besonderen Leitungseigentümlichkeiten des Opticus eine Stütze findet (vgl. S. 154). Über die Bedeutung dieser Tatsache wird im theoretischen Teil noch zu sprechen sein (vgl. S. 163).

## 7. Einfluß der Wellenlänge auf den Belichtungsstrom.

**Quantitativer Einfluß: PURKINJESches Phänomen.** Die älteren Untersucher haben bereits gesehen, daß die für den Menschen sichtbaren Strahlen auch photoelektrisch wirksam sind<sup>1</sup>, und daß die für uns helleren Lichter mittlerer Wellenlänge ebenfalls stärkere Belichtungsströme hervorrufen, als die lang- und kurzwelligen Lichter (HOLMGREN [b], DEWAR und M'KENDRICK [b], WALLER [c] am Frosch; CHATIN an Insekten, Crustaceen und Mollusken). Über diese erste orientierende Feststellung kam man jedoch nicht hinaus, solange Filte.lichter in der damals geübten primitiven Weise miteinander verglichen wurden.

In ihrer ganzen Tragweite erkannten erst HIMSTEDT und NAGEL (a) die quantitativen Beziehungen zwischen Wellenlänge und photoelektrischer Wirkung dadurch, daß sie die Augen bei verschiedenem Adaptationszustand mit bestimmt definierten Spektrallichtern untersuchten; sie fanden am Frosch (s. Abb. 19): Für

<sup>1</sup> Auch Ultraviolett-, Röntgen- und Radiumstrahlen sind infolge des in Netzhaut und Augenmedien erregten Fluoreszenzlichtes photoelektrisch wirksam (F. HIMSTEDT und W. A. Nagel [a, b]; WALLER [c]).

das Hellauge liegt der Kurvengipfel etwa bei  $590\text{ m}\mu$  (Gelb), für das Dunkelauge bei den verschiedenen Versuchen zwischen  $540$  und  $550\text{ m}\mu$ <sup>1</sup>. Dieses Ergebnis ist sehr bemerkenswert, denn es entspricht durchaus dem als „PURKINJESCHES

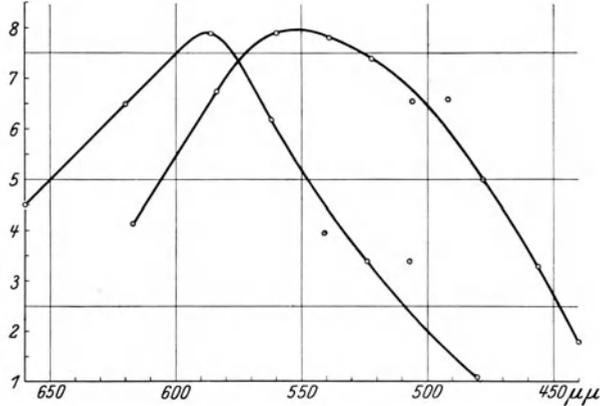


Abb. 19. Photoelektrische Reizwertverteilung für das Hellauge (Gipfel bei  $590\text{ m}\mu$ ) und das Dunkelauge (Gipfel bei  $550\text{ m}\mu$ ) des Frosches in einem Dispersionsspektrum des Gaslichtes; Drehspulengalvanometer. (Nach F. HIMSTEDT u. W. A. NAGEL [a].)

Phänomen“ bekannten Unterschied in der spektralen Helligkeitsverteilung für das Menschaugen bei Tages- und Dämmerungssehen.

Mit ähnlicher Methodik (Dispersionsspektrum des Nernstlichts, Drehspulenzw. Drehmagnetgalvanometer) untersuchte PIPER (a, b) die spektrale Reizwertverteilung bei Warmblütern, Fröschen und Cephalopoden. Er fand an

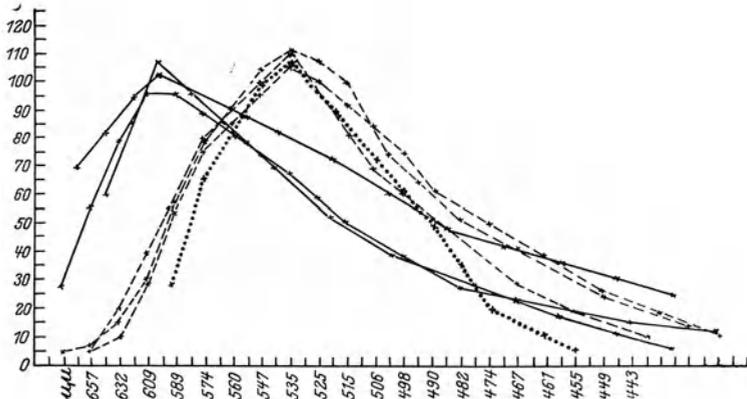


Abb. 20. Verteilung der photoelektrischen Reizwerte (Ordinaten) im Dispersionsspektrum des Nernstlichts (Abszisse). — für Tagvögel (Mäusebussard, Haushuhn, Taube), - - - für Nachtvögel (Schleiereule, Waldkauz, Sumpfohreule); . . . . Kurve der Energieabsorption im Sehpurpur (nach den Messungen von TRENDLENBURG [a] konstruiert). (Nach PIPER [b].)

ausgesprochenen Tagvögeln das Reizwertmaximum bei etwa  $600\text{ m}\mu$ , an Nachtvögeln bei  $535\text{ m}\mu$  (Abb. 20). Hunde, Katzen und Kaninchen gaben nur die

<sup>1</sup> Da es sich hier und bei den folgenden Abbildungen lediglich um den Vergleich verschiedener Augenstände mit ein und demselben Spektrum handelt, ist es natürlich gleichgültig, ob der Zeichnung das betreffende Dispersionsspektrum Abb. 20 oder ein Interferenzspektrum Abb. 19 und 21 zugrunde gelegt wird. Das, worauf es hier allein ankommt, die Verschiebung der Kurven gegeneinander und die verschiedene Lage der Gipfel, bleibt unverändert; nur die Kurvenform wird etwas modifiziert, wie die Abb. 19—21 zeigen.

Kurve des Dämmerungssehens (Gipfel bei  $535\text{ m}\mu$ ), gleichgültig, ob sie unter den Bedingungen des Tages- oder Dämmerungssehens untersucht wurden. Besonders hervorzuheben ist, daß die Kurven der Nachtvögel und Säugetiere nahe mit der spektralen Absorptionskurve des Sehpurpurs (TRENDELENBURG [a]) übereinstimmen (Abb. 20).

An Fröschen bestätigte PIPER die von HIMSTEDT und NAGEL gefundene, den Bedingungen des Tages- und Dämmerungssehens entsprechende Reizwertverschiebung (PURKINJESCHES Phänomen). Bei Cephalopoden (*Eledone moschata*) fand er die Reizwertkurve noch weiter im kurzwelligen Spektralteil liegen, mit dem Gipfel bei  $500\text{ m}\mu$  in einem Dispersionsspektrum des Nernstlichts. Für das Cephalopodenaugen ist also kurzwelliges Licht photoelektrisch besonders wirksam, was FRÖHLICH (b) bestätigte.

PIPER bringt diese überwiegende Wirkung der kurzwelligen Strahlen auf einen Meeresbewohner mit dem bläulichen Licht in größeren Meerestiefen in Beziehung und sieht darin eine Anpassung an die Umweltbedingungen. Dieser ursprünglich von ENGELMANN stammende Gedanke ist neuerdings von SCHRÖDINGER und anderen (C. v. HESS [c] und A. VOGT<sup>1</sup>) auch auf das PURKINJESCHE Phänomen, die Duplizitätstheorie und die phylogenetische Entwicklung des Tages- und Dämmerungssehens angewandt worden. Danach wäre das Tagessehen des Zapfenapparats eine Erwerbung des Luftlebens und die spektrale Verteilung der Tageshelligkeit stellte die optimale Ausnutzung der Sonnenenergie auf dem Lande dar, während die Helligkeitsverteilung des phylogenetisch älteren Dämmerungssehens der Energieverteilung des Lichtes im Meere annähernd entspräche.

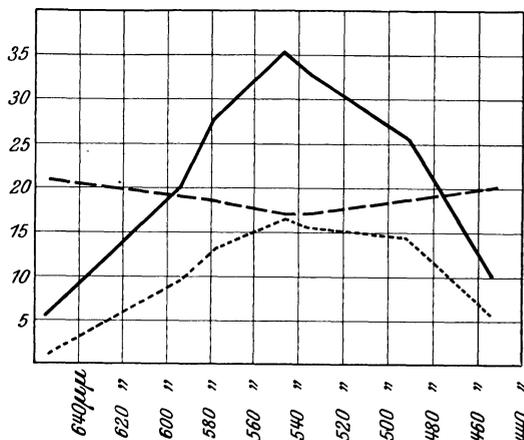


Abb. 21. Spektrale Reizwertverteilung für die Latenzen (— — —), die positiven Eintrittsschwankungen (.....) und die sekundären Erhebungen (— — —).  
(Aus A. BROSSA u. A. KOHLRAUSCH.)

Gegen die Beweiskraft der bisher genannten, mit trägen Galvanometern ausgeführten Untersuchungen über die photoelektrische Reizwertverteilung hat GARTEN (a) geltend gemacht, daß bei dem komplizierten Verlauf des Belichtungsstroms und unserer Unkenntnis über die Gleichwertigkeit der einzelnen Kurventeile die Größe des summierten Ausschlags träger Galvanometer kein einwandfreier Maßstab sei. Dieses Bedenken ist durch Versuche von BROSSA und KOHLRAUSCH und von KOHLRAUSCH (a) behoben. BROSSA und KOHLRAUSCH reizten dunkeladaptierte kurarisierte Frösche mit den homogenen Lichtern eines Nernst-Dispersionsspektrums, registrierten die Belichtungsströme mit dem Saitengalvanometer und maßen die einzelnen Kurvenphasen aus. Das Ergebnis war (Abb. 21), daß die Maxima der positiven Eintrittsschwankungen und der sekundären Erhebungen sowie die Minima der Latenzen bei der gleichen Wellenlänge liegen, und zwar unter den Bedingungen des Dämmerungssehens zwischen  $535\text{—}546\text{ m}\mu$ . Außerdem verschieben sich die beiden Gipfel der positiven Eintrittsschwankungen und der sekundären Erhebungen gemeinsam, denn in einigen Versuchen lagen sie zusammen bei  $535\text{ m}\mu$ , in anderen bei  $546\text{ m}\mu$ .

KOHLRAUSCH (a) stellte mit etwas anderer Methodik (Gleichungsverfahren am Saitengalvanometer) ebenfalls die dem PURKINJESCHEN Phänomen entsprechende Reizwert-

<sup>1</sup> Vgl. ferner dazu: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12 I, 718 f. u. 726 f.

verschiebung fest; für Tagessehen und Tagtiere hat Rot hohen und Blau geringen Reizwert, für Dämmerungssehen und Dämmerungstiere umgekehrt.

Danach dürfen wir wohl mit GARTENS (a) Worten, indem wir ihnen, im Original noch zweifelnden Sinn fallen lassen, jetzt sagen, daß die „galvanometrischen Messungen der Reizwerte verschiedener Lichter am Tierauge als wertvolle Beiträge der Beziehung der elektromotorischen Vorgänge zur Lichtempfindung gelten können.“

Hingegen sind die spektralen Wirksamkeitskurven von FRÖHLICH (b) kein Beweis für das Vorkommen des PURKINJESCHEN Phänomens bei den Tintenfischen (A. KOHLRAUSCH [f]). Die pupillokopischen Untersuchungen von C. v. HESS (b) sprechen sehr stark gegen das Vorkommen des PURKINJE-Phänomens bei Cephalopoden.

**Zusammenfassung.** Bei Vertretern verschiedener Wirbeltierklassen ist die dem PURKINJESCHEN Phänomen des Menschen entsprechende Abhängigkeit der Reizwerte verschiedener Wellenlängen von Adaptationszustand und Reizintensität *an den Netzhautströmen*, und zwar auch für die *einzelnen Stromphasen* sicher nachgewiesen; ein Beweis, daß die *das PURKINJESCHE Phänomen der Gesichtsempfindungen* bedingenden objektiven Prozesse *bereits in der Netzhaut* ihren Sitz haben.

**Qualitativer Einfluß auf die Stromform: spezifische „Farbenempfindlichkeit“.** Bereits von HOLMGREN (b), dem Entdecker des Belichtungsstroms, stammt der Gedanke, mit Hilfe der Augenströme zu untersuchen, ob die qualitativ verschiedene, subjektiv Farben erzeugende Wirkung der Strahlungen sich auch an der Netzhaut objektiv nachweisen lasse. Aber erst fast 40 Jahre später wurden die ersten Versuche in dieser Richtung angestellt.

Diese teils ergebnislosen teils zweifelhaften Untersuchungen (WALLER [c], DE HAAS, GOTCH [c], EINTHOVEN und JOLLY, KAHN und LÖWENSTEIN, SHEARD und McPEEK; vgl. dazu Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12 II, 1453—1454) lehren, daß offenbar die farbige Umstimmung sich in den Netzhautströmen nicht auszuprägen scheint, und ferner, daß hier wie auch sonst (z. B. bei Tierdressuren) ein qualitativer Wirkungsunterschied der Reize nur nachweisbar sein kann, wenn man ihre verschiedene Intensität in Rechnung zieht. Die Wirkung der differenten Reizstärke auf das Elektretinogramm (s. S. 137) muß experimentell ausgeschaltet werden.

Die *Qualität* der Lichterwirkung ließ sich infolgedessen an den Netzhautströmen erst entdecken, als die Untersuchungen nach dem bekannten Prinzip der *Farbengleichungen* durchgeführt wurden: partielle Farbenblindheit ist beim Menschen dann nachgewiesen, wenn für ihn zwei Lichter, die dem Normalen qualitativ, d. h. nach Farbe spezifisch verschieden sind, einander durch Ausgleichen der subjektiven Helligkeit völlig gleich aussehend gemacht werden können; totale Farbenblindheit besteht, wenn eine solche „Verwechslungsgleichung“ zwischen je zwei beliebigen Farben möglich ist. Entsprechend diesen Farbenblindheitsprüfungen am Menschen lautete hier die Frage: lassen sich durch Intensitätsänderung verschiedenfarbiger Lichter identische Netzhautströme erzielen, oder bleiben immer Unterschiede irgendwelcher Art bestehen?

Mit dieser Fragestellung fanden BROSSA und KOHLRAUSCH die spezifische „Farbenempfindlichkeit“ der Netzhautströme. Zunächst konnten sie mit Spektrallichtern am Frosch nachweisen, daß sich *durch Intensitätsvariiierung der verschiedenen homogenen Lichter keine „Aktionsstromgleichung“ einstellen läßt, sondern daß immer typische Formunterschiede des Elektretinogramms bestehen bleiben, die eine qualitativ verschiedene Wirkung der einzelnen Spektral-„Farben“ erkennen lassen, und zwar bereits in der Netzhaut.*

Diese typischen Formdifferenzen sind in ziemlich weiten Grenzen von der Lichtintensität unabhängig, werden vom einen zum anderen Spektrumende mit der Wellenlänge stetig größer, fallen also zwischen Rot und Violett am stärksten aus und bestehen hauptsächlich

in folgendem: mit abnehmender Wellenlänge werden die negativen Phasen (negativer Vorschlag und Senkung) immer tiefer und die sekundäre Erhebung stetig höher. Wird eine beliebige Kurvenphase für lang- und kurzwellige Lichter durch Intensitätsvariiierung gleich gemacht, so haben die übrigen Phasen verschiedene Größe und Form, so daß eine vollständige Gleichheit beim Frosch unmöglich ist.

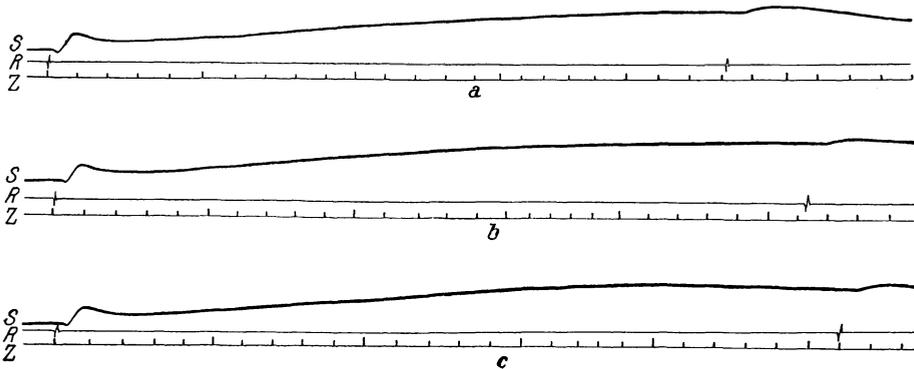


Abb. 22. Angenäherte Aktionsstromgleichung mit Lichtern verschiedener Wellenlänge beim *Steinkauz*; *Dämmerungssehen*, Reize in ihrem Intensitätsverhältnis so abgestuft, daß möglichst gleiche elektromotorische Kraft resultiert. *a* Rot, *b* Gelbgrün, *c* Blau, *S* Saite, *R* Reiz, *Z* Zeit in  $\frac{1}{5}$  Sekunde. (Aus KOHLRAUSCH u. BROSSA.)

Bei Ausdehnung der Versuche auf ausgesprochene Dämmerungs- und Tagtiere fanden KOHLRAUSCH und BROSSA, daß an dunkeladaptierten, schwach gereizten Eulen diese Farbenunterschiede der Kurven ganz minimal, vielleicht eben noch nachweisbar, an helladaptierten Tauben dagegen außerordentlich stark ausgebildet sind (Abb. 22 und 23). Bei Tauben kann von einem Ausgleich der

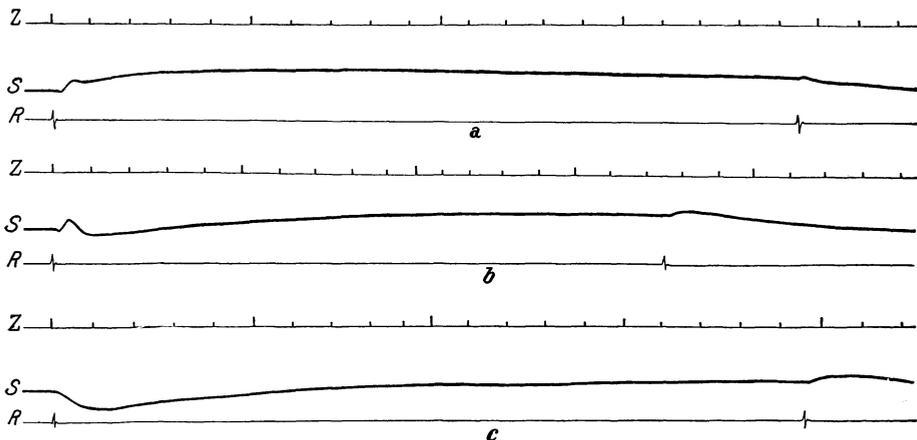


Abb. 23. Spezifische Farbenwirkung bei der *Taube*; *Tagessehen*. Alle übrigen Bedingungen und Bezeichnungen wie in Abb. 22. (Aus KOHLRAUSCH u. BROSSA.)

Wirkungen gar keine Rede mehr sein; denn die schon beim Frosch beobachteten Verstärkungen der negativen Phasen sind hier mit abnehmender Wellenlänge so bedeutend, daß sie das ganze Kurvenbild beherrschen und ihm bei Reizung mit Rot und Blau entgegengesetztes Vorzeichen geben. Die Stromrichtung wird von der Reizintensität nicht beeinflusst: schon von der unteren Nachweisbarkeitsgrenze an ist der Strom bei Rot positiv, bei Blau negativ gerichtet, und dieser Richtungsgegensatz bleibt bei beliebigen Intensitäten bestehen.

Weiter fand KOHLRAUSCH (a): Bei Katzen, Kaninchen, Hunden sind Kurvenunterschiede für verschiedene Lichter vorhanden, aber etwa wie bei Fröschen nur mäßig stark ausgesprochen; bei Hühnern sind sie hingegen sehr stark und, ähnlich wie bei Tauben, mit entgegengesetzter Stromrichtung für Rot und Blau.

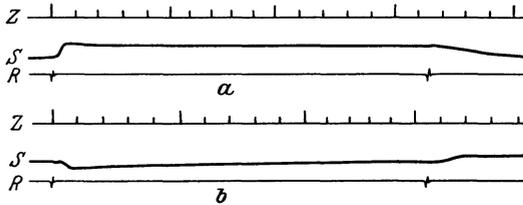


Abb. 24 a u. b. Spezifische Farbenwirkung an der Taube, vereinfachte Stromform; a Rot, b Blau. Sonstige Bedingungen wie in Abb. 22 u. 23. (Aus KOHLRAUSCH [a].)

mehrphasisch, aber bei Rot- und Blaureiz werden sie sehr einfach und nähern sich der einphasischen Stromform der Cephalopoden (vgl. Abb. 24a mit Abb. 4). Bei Rot ist der Strom positiv, bei Blau negativ gerichtet. Die hier auftretende negative Stromrichtung bei vereinfachter Form ist, trotz der äußerlichen Ähnlichkeit mit Kurven in den Abb. 5—9,

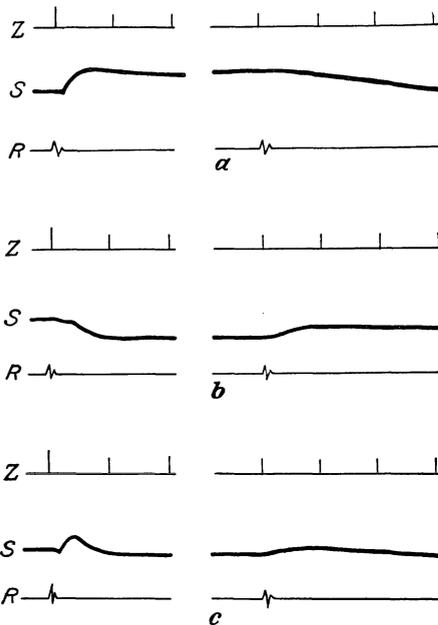


Abb. 25 a-c. Lichtmischung bei der Taube. a Rot, b Blau, c Purpurmischung daraus. Nur die Belichtungs- und Verdunkelungsschwankungen sind wiedergegeben, das horizontale Mittelstück der Kurven ist weggelassen. Z, S, R wie vorher in Abb. 22. (Aus A. KOHLRAUSCH [a].)

Tauben allein durch Änderung von Reizwellenlänge, Lichtzusammensetzung und Adaptationszustand bei sonst ganz gleichen Bedingungen, sehr einfache (angenähert einphasische) und auch die gewöhnlichen mehrphasischen Stromkurven bekommen kann, und zwar an demselben Tier im beliebigen unmittelbaren Wechsel. Der letzte Versuch zeigt, daß der Strom einer Lichtmischung sich aus den Strömen der homogenen Lichter addiert.

Die Untersuchung ein und desselben Versuchstiers (Frösche, Steinkäuze) bei verschiedenen Adaptations- und Belichtungsverhältnissen zeigte: Unter den Bedingungen des Dämmerungssehens werden die Unterschiede der Kurvenform ganz gering, unter denen des Tagessehens treten sie wesentlich stärker hervor.

Untersucht man Tauben in einem solchen Adaptationszustand, daß die sekundäre Erhebung nicht auftritt, dann bleiben die Kurven bei Grünreiz

nicht etwa durch Absterben oder Schädigung der Tiere bedingt, sondern allein durch Lichtwellenlänge und Adaptationszustand. Denn die Stromumkehr ist allein mit dem Wechsel der Wellenlänge reversibel: unmittelbar nacheinander bekommt man mit Blaureiz die negative, mit Rotreiz die positive Stromform; man braucht nur den Adaptationszustand zu ändern, um die einfachen nahezu einphasischen Kurven in die bekannten mehrphasischen mit sekundärer Erhebung und Verdunkelungsschwankung überzuführen. Die Ähnlichkeit der einfachen Stromformen bei der Taube auf Farbenreizung mit denen anderer nicht farbenempfindlicher Wirbeltiere nach Schädigungen ist sehr bemerkenswert (vgl. später S. 162).

Wird nun für eine Taube die Intensität des roten und blauen Lichts so ausprobiert, daß die entgegengerichteten Stromkurven ungefähr gleiche elektromotorische Kraft haben, und wird dann in beliebigem Wechsel mit dem Blaulicht, dem Rotlicht und der Mischung beider gereizt, so bekommt man bei der Mischung die mehrphasische Interferenzkurve aus den beiden angenähert einphasischen Kurven (Abb. 25 u. 26).

Diese letzten Versuche sind dadurch besonders bemerkenswert, daß man bei

Gegen die Beweiskraft dieser Versuche von BROSSA und KOHLRAUSCH zur Prüfung einer *qualitativen* Lichtwirkung durch Ausgleich der verschieden *intensiven*, ist von FRÖHLICH (d, e) geltend gemacht worden, es ließe sich „nicht mit Bestimmtheit entscheiden, in welchem Umfang an diesen Resultaten die Wirkung einer diaskleralen Belichtung beteiligt war“. Dieser Einwand gegen die Beweiskraft der Untersuchungen von BROSSA und KOHLRAUSCH konnte widerlegt und außerdem gezeigt werden, daß FRÖHLICH'S Kunstprodukt-hypothese vom Entstehen der mehrphasischen Ströme auch auf dem Gebiet der spezifischen Lichterwirkung mit den Tatsachen in Widerspruch steht (A. KOHLRAUSCH [f]).

**Zusammenfassung.** Die „Farbenempfindlichkeit“ der Netzhautströme, d. h. die *qualitativ* verschiedene Wirkung der Lichter verschiedener Wellenlänge, ist an der *Kurvenform* nachweisbar: je *kürzerwellig* das Reizlicht, um so stärker die *negativen* Stromphasen.

Die Bedingungen, unter denen die Kurven *deutliche* bzw. *geringe* Formunterschiede zeigen, ähneln denen für *Farbenunterscheidung* bzw. *totale Farbenblindheit* beim normalen Menschen: die Stromform ist *besonders stark* bei *Tagtieren verschieden*, fast *gar nicht* bei *dunkeladaptierten Nachttieren*.

Bei Lichtermischungen entsteht die „Misch“kurve durch Superposition der Einzelkurven.

## 8. Die Augenströme des Menschen.

Von DEWAR und M'KENDRICK, den Wiederentdeckern des Belichtungsstroms, stammen die ersten, weit in der Tierreihe ausgedehnten vergleichenden Untersuchungen, zugleich mit dem ersten kühnen Versuch, auch vom *Menschen* die Augenströme abzuleiten. DEWAR und M'KENDRICK bekamen tatsächlich, bei Ableitung von Cornea und einer Hand, Ablenkungen der Galvanometernadel auf Lichteinfall. Aber die Ausschläge waren sehr gering und die Beobachtungen äußerst schwierig infolge der Störungen durch Augenbewegungen.

Seitdem mag manchem von denen, die sich um die Erkenntnis der Beziehungen zwischen *Netzhautprozessen* und *Gesichtsempfindungen* mühen, das Ziel vorgeschwebt haben, *beides nebeneinander am Menschen zu studieren*; aber es fehlte die geeignete Technik!

Anläufe und Vorversuche sind mehr unternommen, als in der Literatur zu finden. Erst aus neuerer Zeit stammen Veröffentlichungen über weitere Erfahrungen. KAHN und LÖWENSTEIN haben nach zahlreichen mühevollen Versuchen resigniert, ohne das technische Problem gelöst zu haben. Sie bilden eine Kurve ab, die wenigstens zeigt, daß der allgemeine Verlauf des menschlichen Elektoretinogramms mit seinen typischen Phasen dem der Säugetiere entspricht. Erfolgreicher war HARTLINE (a). Er hat mehrere ganz brauchbare Kurven von zwei Versuchspersonen bei verschiedener Reizintensität und Hell- oder Dunkeladaptation mitgeteilt, die einige an Wirbeltieren bekannte Tatsachen zeigen.

Versuche von A. KOHLRAUSCH, E. SACHS und H. STEIN (Winter 1925/26; nicht veröffentlicht), die eine geeignete Technik zur Ableitung beim Menschen an sich gegenseitig ausprobierten, hat E. SACHS dann selbständig weiter fortgeführt und in unermüdlich über 5 Monate lang fortgesetzten Selbstversuchen,

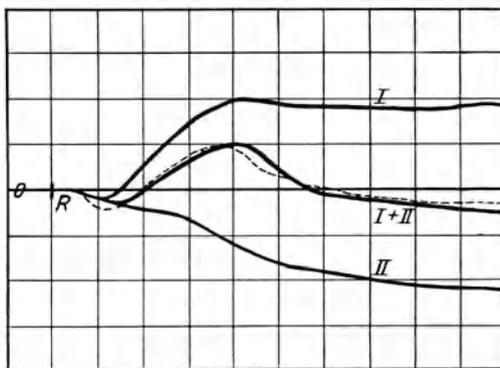


Abb. 26. Die *Mischungskurve* entspricht der *Interferenzkurve* aus den Einzelkurven (Belichtungsschwankungen der Abb. 25). O Bestandpotential, R Reizmoment der drei registrierten Kurven. I Rotbelichtung, II Blaubelichtung, I + II (ausgezogen) Purpurmischung daraus. I + II (punktiert) konstruierte Interferenzkurve aus I u. II. Die Konstruktion wurde mit den 4fach vergrößerten Originalkurven ausgeführt. (Aus A. KOHLRAUSCH [a].)

eine Reihe von Grundfragen über die Netzhautströme des Menschen einer ersten Beantwortung zugänglich machen können<sup>1</sup>.

SACHS untersuchte die Form des menschlichen Elektoretinogramms in ihrer Abhängigkeit von

1. Intensität und Wellenlänge der Reizlichter,
2. Größe und Ort der belichteten Netzhautfläche,
3. dem Adaptationszustand des Auges,
4. der Art des Farbensystems (tri- oder dichromatisch),
5. der Frequenz intermittierender Belichtung.

Der Autor bekam die im folgenden mitgeteilten Resultate in Hunderten von Kurven, die — nach 2 monatlicher Übung — schließlich in einem Zuge während der Zeit von 3 Monaten von seinem rechten Auge aufgenommen wurden, ohne daß sich irgendeine Schädigung des Auges bemerkbar gemacht hätte.

**Bestandpotential** (vgl. S. 120 u. 122). Regelmäßig „normal“ gerichtet, d. h. von der Cornea durch den äußeren Kreis zur Retina bzw. Schläfe. Elektromotorische Kraft im allgemeinen zwischen 2 und 7 mV. Im Verlauf einer Untersuchung (2 auch 3 Stunden) konnte eine *stetige* Änderung (Zu- oder Abnahme) nicht festgestellt werden. Das Bestandpotential pflegte von Aufnahme zu Aufnahme unregelmäßig in jenen Grenzen zu schwanken.

**Belichtungspotential** (vgl. S. 125). Regelmäßig „positiv“ gerichtet, d. h. eine *Verstärkung des Bestandpotentials* um maximal 0,3 mV. Die Kurve des Elektoretinogramms entspricht wie bei KAHN-LÖWENSTEIN und HARTLINE durchaus den an Tieren bekannten und besteht bei Weiß- oder Blaureiz der dunkeladaptierten Netzhautperipherie aus negativem Vorschlag, positiver Eintrittsschwankung, Senkung und sekundärer Erhebung (Abb. 27c). Die Verdunkelungsschwankung ist, wie gewöhnlich bei Säugetieren (vgl. S. 126), wechselnd und wenig deutlich, zuweilen als eine minimale positive oder negative Schwankung, zuweilen kaum als etwas Besonderes erkennbar (Abb. 27). Die Verdunkelungsschwankungen bei KAHN-LÖWENSTEIN und HARTLINE verhalten sich ähnlich.

Die Kurvenform ist unabhängig von den Ableitungsstellen. Dagegen hängt die Form des Elektoretinogramms ab von Intensität und Wellenlänge des Reizlichtes, von Größe und Lage des gereizten Netzhautbezirkes und vom Adaptationszustand des Auges, und zwar in ähnlicher Weise wie bei den Wirbeltieren, soweit diese Fragen an Tieren untersucht sind.

**Einfluß von Reizintensität und Gesichtsfeldgröße** (vgl. S. 137). Mit steigender Reizintensität werden sämtliche Phasen des menschlichen Elektoretinogramms größer und laufen schneller ab. Gesichtsfeldvergrößerung wirkt auch auf die menschlichen Netzhautströme wie Steigerung der Reizintensität.

**Einfluß von Adaptationszustand und Netzhautort** (vgl. S. 134). Das zur Reizung benutzte Rot löst im Zustand der Dunkeladaptation beim Menschen keine sekundäre Erhebung aus, wohl aber im Zustand der Helladaptation, und zwar um so stärker, je besser das Auge helladaptiert ist. Diese Tatsache gilt sowohl für zentrale als für exzentrische Netzhautreizung, und ist durch zahlreiche Versuche sichergestellt (s. Abb. 27a u. b).

Dieser Befund mit Rotreiz beim Menschen steht offenbar in Parallele zu der Tatsache, daß die sekundäre Erhebung bei Tagvögeln (Hühnern, Tauben) auch

<sup>1</sup> Die Methodik — Ableitungstechnik, Kurvenregistrierung mit dem Saitengalvanometer, Farbe, Stärke und heterochrome Photometrie der Reizlichter, Fixation des Blicks, Vorsichtsmaßnahmen — und weitere Reproduktionen von Aufnahmen des menschlichen Elektoretinogramms nebst Zahlenangaben nach Kurvenausmessungen s. bei KOHLRAUSCH (f). Betont sei, daß man auch unter günstigen Bedingungen keine *vollständig* störungsfreien Aufnahmen des menschlichen ERG erwarten kann; sie bilden die Ausnahme.

nur im Zustand der Helladaptation auftritt (vgl. S. 134). In beiden Fällen handelt es sich wohl um ähnliche Bedingungen: Die zapfenreichen Netzhäute der Tagvögel geben unter allen Umständen vorwiegend die photoelektrischen Reaktionen des Tagesapparats; bei der gemischten Netzhaut des Menschen hängt es u. a. von der Wellenlänge des Reizlichtes ab, ob mehr der Tages- oder mehr der Dämmerungsapparat erregt wird. Das von SACHS benutzte Rot (700 bis 635 m $\mu$ ) hat einen recht geringen Dämmerungswert, erregt also vorwiegend, wenn auch nicht rein den Tagesapparat des menschlichen Auges, gleichgültig ob es auf zentrale oder exzentrische Netzhautteile einwirkt.

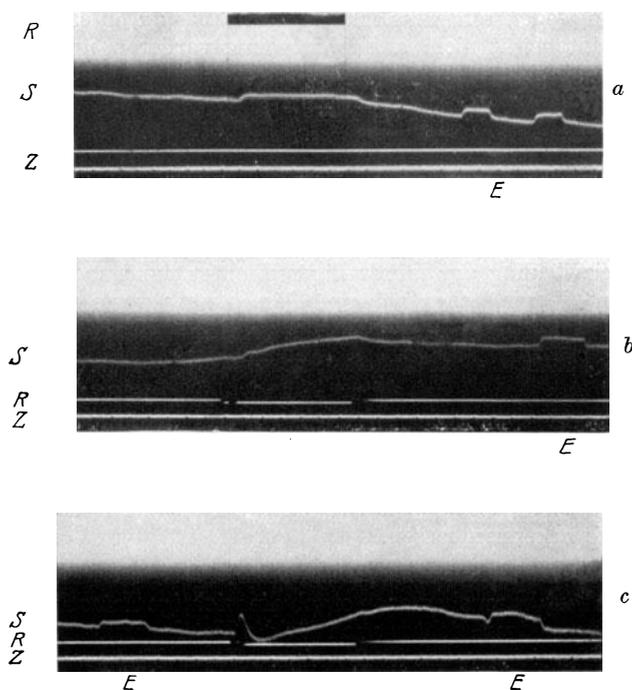


Abb. 27. *Elektroretinogramm des Menschen*: Adaptationszustand und sekundäre Erhebung bei Rotreiz und Blaureiz; spezifische Farbenwirkung? a) *Dunkeladaptation*, Rot 2 Lux, 10° Gesichtsfeld, zentral fixiert; b) *Helladaptation*, Rot 5 Lux, 10° Gesichtsfeld, 14° peripher fixiert; c) *Dunkeladaptation*, Blau 1 Lux, 10° Gesichtsfeld, zentral fixiert. — *R* photographische bzw. elektromagnetische Reizmarkierung; *S* Saite; *Z* Zeit in  $\frac{1}{6}$  Sek.; *E* Eichung mit 0,1 mV durch Saite, Elektroden und Auge. (Originalkurven von E. SACHS, auf  $\frac{1}{2}$  verkleinert.)

Diese Versuche am Menschen legen demnach im Zusammenhang mit denen an Tagtieren (s. S. 135) die Vermutung nahe, daß ganz allgemein der Tagesapparat des Sehorgans nur im Zustand der Helladaptation mit dem vollständigen Elektroretinogramm, einschließlich der sekundären Erhebung, reagiert.

Umgekehrt ist mit Blaureiz von 1 Lux, also vorwiegender Erregung des Dämmerungsapparates, die sekundäre Erhebung im Zustand der Dunkeladaptation beim Menschen vorhanden (Abb. 27c). Ob sie unter diesen Bedingungen bei Helladaptation verschwindet, hat SACHS nicht untersucht.

Aber auch aus den bisherigen Versuchen geht bereits hervor, daß beim Menschen eine gewisse gegensätzliche funktionelle Abhängigkeit des Tages- bzw. Dämmerungsapparats vom Adaptationszustand besteht, ähnlich wie bei Tag- und Nachttieren (vgl. dazu S. 135 und im theoretischen Abschnitt S. 163).

**Spezifische Farbenwirkung** (vgl. S. 146). Ein Vergleich der Kurven (Abb. 27 und 23) zeigt, daß beim Menschen ebenso wie bei den Tieren die negativen Phasen (negativer Vorschlag und Senkung) und die sekundäre Erhebung mit abnehmender Wellenlänge größer werden; ferner, daß Rot beim dunkeladaptierten Menschen eine ähnlich einfache positive, nahezu einphasische Kurve hervorruft, wie bei der dunkeladaptierten Taube (Abb. 23 und 24).

Daß in diesen sehr stark verschiedenen Kurvenformen nun auch beim Menschen die verschiedene *Qualität* der Lichtwirkung auf die Netzhaut, unabhängig von der Intensität, objektiv zum Ausdruck kommt, ist zwar recht wahrscheinlich, aber durch die Versuche von SACHS noch nicht mit voller Sicherheit bewiesen. Denn wegen reflexauslösender Blendung durch satte Farben konnte SACHS die Reizintensität nicht ausgiebig genug variieren, um im Beleuchtungsbereich des Tagessehens photoelektrisch gleichwertige Kurven von Lichtern verschiedener Wellenlänge zu registrieren.

Mit der angewandten geringen Reizintensität der farbigen Lichter von meist nur 1—2 Lux Tagesäquivalenz hängt es auch zusammen, daß der photoelektrische Reizwert der Lichter mit abnehmender Wellenlänge ansteigt. Bei Beleuchtungen von einigen Lux überwiegt nämlich bereits der Anteil des Dämmerungssehens so stark in der Gesamtfunktion des Sehens (v. KRIES [c]), daß für die Reizwirkung der kurzwelligen Lichter nicht mehr die Tageswerte, sondern die um ein vielfaches höheren Dämmerungswerte maßgebend sind.

Aber in einem Beleuchtungsbereich mit sehr stark überwiegendem Dämmerungssehen hat SACHS photoelektrisch gleichwertige Kurven registriert bei einem Tageswertverhältnis Rot : Weiß : Blau = 2 : 1 : 0,01 Lux, was ungefähr gleichen Dämmerungswerten entsprechen dürfte. Es stimmt mit den bisherigen Erfahrungen an Tieren überein (vgl. vorher S. 147), daß diese drei, beim Menschen am *Übergang zum reinen Dämmerungssehen* mit Lichtern verschiedener Wellenlänge aufgenommenen, *elektromotorisch gleichwertigen* Kurven auch kaum noch *Formunterschiede* erkennen lassen.

**Verhalten beim Dichromaten (Protanopen).** Die Untersuchung einer protanopen (rotblinden) Versuchsperson ergab die wichtige Tatsache, daß die geringe Reizwirkung langwelliger Lichter auch für die Netzhautströme gilt, daß mithin diese typische Abweichung des Farbensinnes ihren Sitz peripher in der Netzhaut hat und nicht zentral bedingt ist.

Ob der Rotgrün-Verwechslung des Protanopen eine Aktionsstromgleichung entspricht, ist wegen des großen quantitativen Wirkungsunterschiedes der angewandten Lichter aus den Versuchen von SACHS nicht zu entnehmen.

**Intermittierende Belichtung** (vgl. S. 140). Schließlich untersuchte SACHS an sich selbst die Wirkung intermittierender Lichtreizung verschiedener Frequenz. Er wählte einmal eine Frequenz, die unter den gegebenen Intensitäts- und Adaptationsbedingungen auf direkt fixiertem Gesichtsfeld von 2<sup>0</sup> Durchmesser subjektiv die Empfindung des groben Flackerns auslöste; und eine zweite, die gerade eben oberhalb der Verschmelzungsgrenze lag, so daß eine stetige Dauerempfindung resultierte. Er fand: der Empfindung des *groben Flackerns* entspricht ein *grob gezackter Netzhautstrom*, bei dem, wie in PIPERS Versuchen an Säugetieren, jede Wellenzacke einer Flackerbelichtung zugehört und eine Eintrittsschwankung mit folgender Senkung darstellt; die Zacken hatten eine elektromotorische Kraft von etwa 0,1 mV. Der *stetigen Empfindung* an der Verschmelzungsgrenze entspricht ein *stetiger Netzhautstrom*, der wie gewöhnlich aus negativem Vorschlag, Eintrittsschwankung, Senkung, sekundärer Erhebung und Verdunkelungsschwankung besteht.

Die dem psychischen Erlebnis des Flimmerns parallel gehenden physischen Vorgänge der Erregungswellen bzw. ihrer Verschmelzung spielen sich demnach bereits in der Netzhaut ab.

Auf die Bedeutung dieser Untersuchungen am Menschen wird im theoretischen Teil (s. S. 162—168) zurückzukommen sein.

## 9. Die periodischen Ströme vom Bulbus und Opticus.

### a) Die periodischen Bulbusströme.

An isolierten Tintenfischaugen fand FRÖHLICH (a, b, c) die bemerkenswerte Tatsache, daß außer dem bekannten stetig verlaufenden Belichtungsstrom noch Stromoszillationen (Abb. 28) auftreten, deren Frequenz von den Reizen und dem Erregbarkeitszustand des Auges abhängt<sup>1</sup>.

Die Frequenz des Stromrhythmus der Cephalopodenaugen hängt sehr stark von der Intensität des farbigen oder farblosen Reizlichtes und vom Zustande des Auges ab. Die geringste von FRÖHLICH registrierte Frequenz betrug 17, die höchste 100 Schwingungen pro Sekunde. Mit steigender Lichtintensität steigt die Frequenz, mit „Ermüdung“ (Versuchsdauer) nimmt sie ab; die Oszillationen verschwinden bei Erschöpfung, Erstickung und Narkose des Auges.

Die Amplitude der registrierten Wellen ist gleichfalls veränderlich; sie steigt nach FRÖHLICH'S Angaben zunächst mit der Frequenz, erreicht nach seinen Kurvenreproduktionen zu urteilen, bei etwa 30—40 Schwingungen pro Sekunde ein Maximum, um mit weiterer Frequenzsteigerung schnell abzunehmen.

Eine an FRÖHLICH'S Kurven gemäß den Prinzipien der FRANKS'Schen Kritik der Registrierinstrumente angebrachte Amplitudenkorrektur (KOHLRAUSCH [f] zeigt jedoch, daß die Stromamplitude sich anders verhält als die registrierte Kurvenamplitude, indem sie bei den höheren Frequenzen (zwischen 40 und 75 pro Sekunde) nicht wieder abnimmt. FRÖHLICH'S (b) theoretische Vorstellungen über „scheinbare Erregbarkeitssteigerung“, „absolute und relative Ermüdung“, Farben- und Helligkeitsempfindungen u. a. m. finden daher, soweit sie auf der von FRÖHLICH angenommenen weitgehenden Unabhängigkeit von Erregungsfrequenz und -amplitude beruhen, an den Netzhautströmen der Cephalopoden keine sichere experimentelle Stütze.

**Der Nachrhythmus.** Die periodischen Ströme können die Reizung längere Zeit überdauern. Je stärker in gewissen Grenzen die Reizung ganz frischer und gut erregbarer Augen, um so länger dauert der Nachrhythmus und um so größer sind seine Frequenz und Amplitude. Nach einer stärker wirksamen Reizung pflegt der Nachrhythmus sich erst nach einiger Zeit (etwa 1 Sek.) zu entwickeln. Seine Frequenz und Amplitude schwellen dann an und nach längerer Zeit, zuweilen mehreren Minuten, allmählich wieder ab. Übermäßig starke Reize bringen ihn dagegen zum Verschwinden.

Der Nachrhythmus ist stets weniger frequent als der vorhergehende Reizrhythmus; seine Frequenz pflegt zwischen 20 und 40 pro Sekunde zu liegen.

FRÖHLICH bringt die Nachrhythmen mit den Nachbildern in Beziehung.

**Lichtwellenlänge und Erregungsrhythmus.** Entsprechend ihrer verschiedenen elektromotorischen Wirksamkeit auf die *stetige* Stromschwankung — Weiß am stärksten, Blau, Grün, Rot in dieser Reihenfolge schwächer (vgl. S. 145) — erregen die Spektrallichter auch Rhythmen verschiedener Frequenz, Weiß die frequentesten, Rot die am wenigsten frequenten. Die Frage nach dem Verhalten der Oszillationsamplitude ist wieder nur nach Kurvenkorrektur zu beantworten. Danach ergibt sich für drei sehr schöne und gut ausmeßbare Kurven, die FRÖHLICH (c) als typisch in seiner Monographie mitteilt, daß zwar Grün die höchste registrierte Amplitude hat, daß aber nach der Korrektur die tatsächliche Wechselstromamplitude bei Blau am höchsten ist.

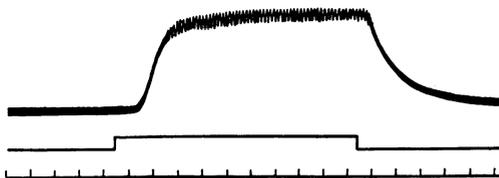


Abb. 28. Der rhythmische Belichtungsstrom der Cephalopoden, dem stetigen überlagert. Zeitschreibung  $\frac{1}{10}$  Sek. (Zeichnung nach F. W. FRÖHLICH [b].)

<sup>1</sup> Über günstige Beobachtungsbedingungen, Schutzmaßnahmen gegen fremde Periodik (elektrische und mechanische Störungen) und über diejenigen unter FRÖHLICH'S Kurven, die auf Störungen durch eine fremde Periodik verdächtig sind s. KOHLRAUSCH (f).

Für das von den bunten Farben am stärksten wirksame Blau<sup>1</sup> ist also sowohl die Gleichstromschwankung, als auch die Oszillationsfrequenz und die Oszillationsamplitude maximal. Der Übergang von schwächer zu stärker wirksamen Wellenlängen hat demnach den gleichen Erfolg wie die Intensitätssteigerung ein und desselben Lichtes.

FRÖHLICH schließt aus seinen Versuchen, daß Lichter verschiedener Wellenlänge auch qualitativ verschieden auf die Augenströme der Tintenfische wirken, bzw. daß diesen Tieren ein gewisses Farbenunterscheidungsvermögen zuzuschreiben sei. Jedoch lehrt eine genaue Betrachtung (vgl. KOHLRAUSCH [f]), der mitgeteilten Versuche, daß mit ihnen eine qualitative Lichterwirkung auf die Cephalopodenströme zum mindesten nicht sicher bewiesen ist. Sie ist vielleicht nicht ganz ausgeschlossen, scheint aber, wenn wirklich vorhanden, äußerst gering zu sein<sup>2</sup>; und ob nicht doch diese minimalen Differenzen, entsprechend FRÖHLICH'S ursprünglicher Ansicht, durch geringe Erregbarkeitsänderungen des überlebenden Auges zustande kommen, muß wohl weiteren Versuchen zu entscheiden vorbehalten bleiben.

**Entstehungsort der Augenrhythmen.** Zu dieser, vielleicht wichtigsten Frage aus dem ganzen Komplex über den Erregungsrhythmus hat FRÖHLICH (b) festgestellt, daß die Rhythmen bei den Cephalopoden aller Wahrscheinlichkeit nach in den nervösen Teilen der hinteren Bulbusschale entstehen, also nicht, wie man zunächst auch für möglich hätte halten können, in der Iris, dem Ciliarmuskel, den äußeren Bewegungsmuskeln des Auges oder etwa vorhandenen Muskeln in der Wand der hinteren Bulbusschale.

Darüber hinaus hat FRÖHLICH (b) zum Entstehungsort der stetigen Netzhautströme einen theoretisch äußerst wichtigen Nachweis beigebracht: nämlich daß das seit lange bekannte Bestand- und stetige Belichtungspotential, wenigstens bei der Cephalopoden-netzhaut, in den Stäbchenendgliedern<sup>3</sup> entsteht. Ob der Ort für die Entstehung der Belichtungsrhythmen gleichfalls in die lichtempfindlichen Netzhautelemente zu verlegen ist, kann noch nicht als ganz sicher bewiesen betrachtet werden.

Wie KOHLRAUSCH (e) aus ADRIANS gleich zu besprechenden Versuchen schließt (S. 157), ist bei Wirbeltieren der Opticusstrom ein oszillatorisches Abbild des jeweiligen mehrphasischen Netzhautstroms, der irgendwo im nervösen Leitungsweg in die oszillierende Form umgewandelt wird. Auch FRÖHLICH (b) hält bei den Cephalopoden den Gleich- und Wechselstrom bei Belichtung für zwei verschiedene Netzhautvorgänge und nimmt an, daß nur die *Oszillationen* durch den Nerven weitergeleitet werden, wenn er sie auch am Nerven nicht nachgewiesen hat. Der Ort im Leitungsweg für die Umwandlung des stetigen in den rhythmischen Strom ist für beide Tierklassen bislang nicht sicher bekannt. Nach FRÖHLICH'S Versuchen könnte er bei den Cephalopoden in den Stäbchen, vielleicht schon in den Innengliedern der Stäbchen zu vermuten sein; ADRIAN glaubt den Entstehungsort der Opticusrhythmen bei den Wirbeltieren in die Synapsenlager der Netzhautschichten verlegen zu sollen (vgl. S. 158).

### b) Die periodischen Opticusströme.

Mit trägen Galvanometern hatten die älteren Untersuchungen der Opticusströme an Fischen und Fröschen (KÜHNE und STEINER [b], ISHIHARA) ergeben: bei Belichtung des Auges und Ableitung von Oberfläche und Querschnitt des Opticus tritt zwar eine negative Schwankung des Ruhestroms auf, aber keine gewöhnliche, sondern ein stetiger, während der Belichtung anhaltender Nervenstrom mit ähnlichem Verlauf und den typischen Belichtungs- und Verdunkelungszacken wie an der Netzhaut; d. h. „im großen und ganzen das Spiegelbild der am Bulbus gewonnenen“ Kurven (s. ISHIHARA, Tafel XIII, Abb. 15).

<sup>1</sup> Wegen der starken Wirksamkeit kurzweiliger Lichter auf das Cephalopodenaugē vgl. S. 145.

<sup>2</sup> Das gleiche dürfte bezüglich des Farbenunterscheidungsvermögens aus den bisherigen Resultaten von *Dressur*versuchen an Tintenfischen hervorgehen (Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12 I, S. 470f. 1929). Über das PURKINJESCHE Phänomen bei Tintenfischen s. S. 146.

<sup>3</sup> Die Stäbchenendglieder sind bei den Tintenfischen die dem Licht zugewandten freien Innenglieder, die den vom Licht abgewandten Außengliedern der Wirbeltierstäbchen entsprechen (vgl. S. 120).

Mit äußerst empfindlich eingestelltem, also recht träge reagierendem Saiten-galvanometer bestätigte später WESTERLUND (c), daß der Opticusstrom in seinem Verlauf vollständig mit dem des Augapfels übereinstimme, nur rückwärts von der Netzhaut zum Gehirn gerichtet sei.

Im Rahmen seiner bedeutungsvollen Untersuchungen über die Aktionsströme von Sinnesnerven bei adäquater Reizung hat nun ADRIAN mit seinen Mitarbeitern (ohne die älteren Untersuchungen über die Opticusströme zu kennen) in den letzten Jahren Versuche über die Opticusströme bei vollkommenerer Technik angestellt. Mit deren Ergebnissen läßt sich die soeben erwähnte bemerkenswerte Tatsache, daß der Opticusstrom ein Spiegelbild des jeweiligen Netzhautstroms zu sein scheint, aufklären (s. S. 156) und unsere Kenntnis über den funktionellen Zusammenhang von Netzhaut und Opticus beträchtlich erweitern.

Bei allen von ADRIAN und seinen Mitarbeitern bisher untersuchten Sinnesnerven fand sich, daß die elektrischen Nervenladungen bei adäquater Reizung der Sinnesorgane in den wesentlichen Punkten übereinzustimmen scheinen.

Nun werden aber die Kurven um so verwickelter und damit ihre Analyse um so schwieriger, je mehr Fasern ein Sinnesnerv enthält, offenbar wegen der ungleichen Leitungsgeschwindigkeit und Refraktärperiode in den verschieden dicken Fasern (ERLANGER, GASSER, BISHOP). Aus sehr viel Fasern pflegen gerade der Opticus und der Acusticus zu bestehen; der von ADRIAN vorwiegend untersuchte Opticus des Aals ist noch ein verhältnismäßig günstiges Versuchsobjekt mit nur etwa 10 000 Fasern bei 1,5 cm Länge gegenüber etwa 400 000 Fasern im Opticus des Menschen und der Katze. Als Grundlage für die verwickelteren Erscheinungen im faserreichen Opticus sollen daher hier zunächst die Haupttatsachen zusammengestellt werden, die ADRIAN fand, wenn nur ein Endorgan eines dünnen Nerven (z. B. des sensiblen Nerven vom Musc. sterno-cutaneus des Frosches) mit einem plötzlich einsetzenden und dann mehrere Sekunden konstant bleibenden adäquaten Reiz erregt wird:

1. Der resultierende Nervenaktionsstrom ist stets periodisch<sup>1</sup>.
2. Die Frequenz des Rhythmus steigt mit der Reizstärke<sup>1</sup> und zwar ungefähr entsprechend dem WEBER-FECHNERSchen Gesetz.
3. Bei konstant anhaltendem Dauerreiz nimmt die Frequenz mit der Zeit ab.
4. Die einzelnen Aktionsstromstöße eines solchen Rhythmus erscheinen nach Analyse der Kurven als kurze, je nach Ableitung mono- oder diphasische Wellen, „welche sich sehr wenig, sowohl in bezug auf die Zeitverhältnisse, als auch in der Größe“ (ADRIAN) voneinander unterscheiden (vgl. S. 155, Anm.). Es scheint „wenigstens etwas Annäherndes wie eine Alles- oder Nichtsbeziehung“ (ADRIAN) zwischen dem, einem einzelnen sensorischen Endorgan applizierten Reiz und dem in der zugehörigen sensorischen Nervenfasern entstehenden Einzelimpuls zu bestehen. Mit der Reizstärke veränderlich ist möglicherweise nur die Frequenz der Einzelimpulse.
5. Auf jeden einzelnen Aktionsstromstoß folgt ein absolutes Refraktärstadium der Faser von etwa 2—3  $\sigma$  Dauer; die einzelne Nervenfasern würde also imstande sein, eine Frequenz von etwa 300 pro Sek. zu leiten. Tatsächlich pflegt die Frequenz in der einzelnen Faser ungefähr 100 pro Sek. beim Frosch, 150 bei der Katze nicht zu überschreiten, sie kann aber am Frosch bei minimalen Reizen unter 5 pro Sek. heruntergehen.

Für die Aktionsströme des Frosch- und Aalopticus gilt im wesentlichen das gleiche, besonders was den *periodischen* Verlauf und den *Anstieg der Frequenz* mit der Stärke des Lichtreizes betrifft. Auch die Einzelimpulse des Rhythmus scheinen sich nach Größe, zeitlichem Ablauf und Refraktärperiode von denen der Muskel- und Hautsinnesnerven nicht prinzipiell zu unterscheiden, wenn auch wegen der Schwierigkeit, einen Lichtreiz auf nur ein Netzhautelement zu beschränken (Aberration, Irradiation), über die Gültigkeit des Alles- oder Nichtsgesetzes noch weniger etwas Sicheres feststellbar ist. Aus dem gleichen Grunde kann die Maximalfrequenz bei starken Reizen erheblich über 100, auf 300 pro Sek. und mehr steigen, offenbar weil die Einzelimpulse in den verschiedenen Fasern nicht synchron laufen.

Folgende Tatsachen über die Augen- und Opticusströme vom Aal haben besonderes Interesse. Bei einer plötzlich einsetzenden mehrere Sekunden dauernden Augenbelichtung erfolgt im *Opticus* (ADRIAN und MATTHEWS [a]),

<sup>1</sup> Vgl. auch die ganz entsprechenden Befunde an der *einzelnen* motorischen Nerven- und Muskelfaser bei willkürlicher Kontraktion (E. D. ADRIAN und D. W. BRONK [a, b]).

nach einer Latenz von mehreren Zehntelsekunden der Beginn der Oszillationen mit einem steilen Frequenzanstieg auf 200 pro Sek. und mehr (vgl. „Eintrittsschwankung“ der *Netzhautströme* S. 126), darauf ein zunächst schneller, dann langsamer Abfall auf 40–100 pro Sek. (vgl. „Senkung“ S. 126). Dauert die Belichtung länger, so steigt die Frequenz abermals langsam an und erreicht die Höhe der Anfangsfrequenz nach etwa 10 Sek. Belichtung (vgl. „sekundäre Erhebung“ S. 126). Auf plötzliche Verdunkelung folgt nach einer etwa gleichlangen Verdunkelungslatenz ein abermaliger schneller Frequenzanstieg (vgl. „Verdunkelungsschwankung“ S. 126), danach ein allmählicher Frequenzabfall auf Null. Dem Verdunkelungsanstieg kann ein minimaler Abfall vorhergehen.

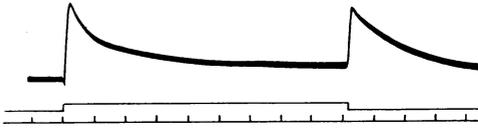


Abb. 29. *Belichtungsstrom der Froschnetzhaut.* Helladaptation, Belichtungsdauer 9 Sek. Zeit in Sekunden. (Nach P. M. NIKIFOROWSKY.)

Daraus schließt KOHLRAUSCH (e): *Dieser Frequenzablauf der Opticusoszillationen ist ein Abbild der Phasen des stetigen Netzhautstroms.*

Wenn auch ADRIAN und MATTHEWS<sup>1</sup> diesen Schluß nicht zogen, so leuchtet er trotzdem sofort ein, sobald wir direkt registrierte Kurven des Netzhautstroms neben die von ADRIAN und MATTHEWS nach Auszählen der Opticusfrequenzen konstruierten Kurven halten, wie es hier in Abb. 29 und 30 geschehen ist.

Die Abb. 29 ist eine der von NIKIFOROWSKY bei seinen Temperaturuntersuchungen am Frosch registrierten Kurven des Netzhautstroms. Weil der Frosch helladaptiert war, fehlt die sekundäre Erhebung (vgl. S. 131 und 134). Die Kurven der Abb. 30 stellen nicht etwa den Aktionsstromverlauf dar, was man zunächst wohl meinen könnte, sondern die von ADRIAN und MATTHEWS graphisch aufgetragene *Sekundenfrequenz* der Opticusoszillationen, die sie durch Auszählen ihrer direkt registrierten Kurven ermittelt haben.

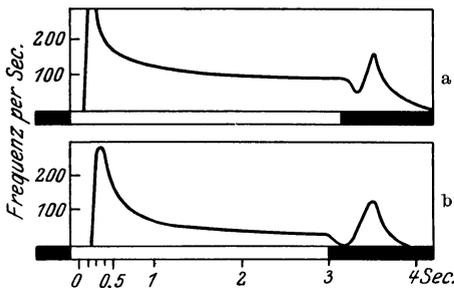


Abb. 30. *Impulsfrequenz pro Sekunde im Aal-Opticus.* Belichtungsdauer 3 Sek. Durchmesser der als Objekt dienenden Opalglasscheibe bei *a* 36 mm, bei *b* 12,8 mm; Beleuchtung auf der Opalglasscheibe in beiden Fällen 830 Meterkerzen. (Aus ADRIAN und MATTHEWS [a].)

Wenn auch ADRIAN, in Unkenntnis der älteren Versuche am Opticus (vgl. S. 154), auf deren nahe Beziehung zu den seinigen nicht hinweisen konnte, so ist trotzdem nach diesen Tatsachen sofort klar, warum träge Galvanometer den Opticusstrom als Spiegelbild des Netzhautstroms wiedergeben: ein ballistisches Galvanometer zeigt Elektrizitätsmengen an, es summiert also eine Reihe einseitig gerichteter Stromstöße; bei vollkommener Größen- und Formgleichheit der einzelnen monophasischen<sup>2</sup> Stromstöße würde sein Ausschlag unter bestimmten Bedingungen der jeweiligen Stromstoßfrequenz proportional sein und die Frequenzkurven der Abb. 30 unmittelbar aufschreiben. Diese Bedingungen dürften wenigstens angenähert für ein empfindlich gestelltes, d. h. träges Saitengalvanometer zutreffen (vgl. S. 155).

<sup>1</sup> ADRIAN und MATTHEWS beschreiben sorgfältig den Verlauf der Opticusfrequenzen und bilden die in Abb. 30 u. 32 wiedergegebenen Frequenzkurven ab. Aber sie sagen nichts über die bei Betrachtung dieser Kurven sofort auffallende Ähnlichkeit mit dem Elektrotretinogramm der Wirbeltiere. Ja, sie erklären die der Senkung und der Verdunkelungsschwankung entsprechenden Frequenzänderungen im Opticus für unerwartet, beziehen die „Verdunkelungsschwankung“ auf Irradiation und stellen besondere Versuche an, um sicher zu gehen, daß es sich bei der „Senkung“ nicht um Absterbeerscheinungen handelt. Ich erwähne dies, damit ihnen nicht eine Deutung ihrer Frequenzkurven zugeschrieben wird, mit der sie sich vielleicht gar nicht einverstanden erklären würden.

<sup>2</sup> Die einzelnen Stromstöße brauchen dafür nicht *exakt* monophasisch zu sein; es genügt, wenn die Elektrizitätsmenge der einen Phase konstant größer ist als die der anderen.

Ferner ergab sich bei ADRIAN und MATTHEWS, daß das *Lichtmengengesetz* für kurze Zeiten und kleine Netzhautflächen gilt, sowohl mit Bezug auf die Oszillationsfrequenz im Opticus als auch die Latenzen von Nerv- und Netzhautstrom (vgl. dazu S. 141).

Die Opticusentladungen bei diesen Lichtblitzen zeigen etwas ganz besonders Bemerkenswertes: Bei Lichtblitzen mit geringer Lichtmenge resultiert eine kurzdauernde Nerventladung mit raschem Frequenzanstieg bis zu einem Maximum und etwas langsamerem Abfall auf Null. Diese Entladungen haben also einen ganz anderen Verlauf als bei Dauerbelichtung mit größerer Lichtmenge. Aber

auch die Kurve dieses Frequenzablaufs bei kurzen Entladungen entspricht durchaus den Kurven der Netzhautströme unter gleichen Bedingungen (vgl. Abb. 31 mit 32). KOHLRAUSCH (e) erweitert danach seinen aus ADRIAN'S Beschreibungen und Abbildungen gezogenen Schluß (s. S. 156) dahin: *Der Frequenzablauf der Opticusentladungen ist ein Abbild des jeweiligen Elektoretinogramms, das also nach dieser Umwandlung in die oszillierende Form durch den Opticus zum Gehirn geleitet wird.*

Besonders wichtig ist Folgendes. Mit derselben Apparatur, die am Opticus regelmäßig rhythmische Ströme gab, fanden ADRIAN und MATTHEWS bei Ableitung von Cornea und Funduspol die Netzhautströme<sup>1</sup> ausnahmslos glatt und ohne Oszillationen. Wurden Nerven- und Netzhautstrom abwechselnd am gleichen Präparat unter denselben Bedingungen registriert (4 Elektroden, Umschalter), so war die Latenz des Netzhautstroms regelmäßig beträchtlich kürzer als die der entsprechenden Opticusentladung, sowohl bei Belichtung als bei Verdunkelung. Diese Latenzdifferenz ist recht konstant, beträgt bei Frosch und Aal im Mittel 0,1 Sek., ist bei Belichtung und Verdunkelung nahe gleich und außerdem unabhängig von der Lichtintensität; obgleich bei Intensitätsänderungen die absoluten Latenzlängen von Netzhaut und Nerv weitgehend variieren, bleibt ihre Differenz gleich. Es verhält sich mithin so, daß nur die Latenz des Netzhautstroms mit der Lichtintensität in der bekannten Weise variiert, und dann der Nervenstrom zwangsmäßig nach einem bestimmten Zeitintervall nachfolgt.

Dieses große Netzhautnervintervall erhöht das Vertrauen in die Zuverlässigkeit der Versuche; denn es zeigt, daß weder der Netzhautstrom durch Summation der Nervenoszillationen vorgetäuscht sein kann, noch die Nervenoszillationen durch Stromschleifen von

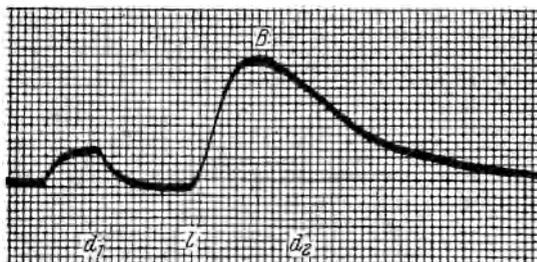


Abb. 31. Belichtungsstromstoß der Retina nach einer kurzen energiewachen Belichtung. Froschauge; der Belichtung ist eine Eichkurve vorausgeschickt. (Kurve b aus Abb. 14 auf S. 135.)

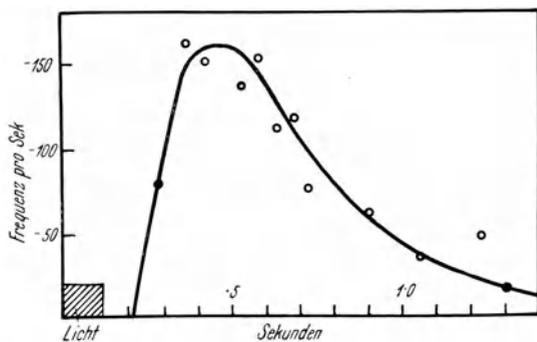


Abb. 32. Opticusentladung nach einer kurzen energiewachen Momentbelichtung; zeitlicher Verlauf der Oszillationsfrequenz. (Nach ADRIAN und MATTHEWS [a].)

<sup>1</sup> Soweit diese überhaupt von ihrer Verstärkerschaltung wiedergegeben wurden.

seiten der Netzhaut. Ferner ist seine Konstanz und Unabhängigkeit von der Lichtintensität bemerkenswert. ADRIAN und MATTHEWS vermuten danach, daß der stetige Netzhautstrom in der Stäbchenzapfenschicht entstehe und das Netzhautnervintervall in den Synapsennetzen der Retina zustande komme. Sie schließen weiter: Wenn dem so ist, müßte die Abhängigkeit der Netzhautlatenz von der Lichtmenge auf Änderungen in der Entwicklungsgeschwindigkeit der primären photochemischen Umwandlung beruhen, welche die Stäbchen und Zapfen reizt (z. B. Sehpurpurbleichung), und nicht auf Summationseffekten in den Synapsenlagern.

Da die Nervenimpulse vom Opticusstamm ableitbar sind, so ist wohl selbstverständlich, daß sie auch schon im Bulbus in der Opticusfaserschicht laufen. Warum hat FRÖHLICH sie an Cephalopoden bei Ableitung vom Bulbus als Rhythmen aufgelagert auf der stetigen Netzhautkurve erhalten, ADRIAN und MATTHEWS hingegen wohl am Opticusstamm von Aal und Frosch, aber trotz Verstärkung nicht bei Bulbusableitung?

ADRIAN und MATTHEWS erklären dies mit den ungünstigen Ableitungsbedingungen beim Wirbeltier, da bei Elektrodenlage vorn und hinten am Bulbus der Hauptteil der Opticusfaserschicht senkrecht zur Verbindungslinie der Elektroden liegt. — Bei der Struktur der Cephalopodenretina mit den, dem Licht zugewandten Stäbchen und anschließender Nervenfasern würde allerdings wohl ein größerer Teil der intraokularen Nervenfasern in die günstige Parallelrichtung zur Elektrodenverbindung fallen. Trotzdem sind die der stetigen Kurve superponierten Rhythmen auch am Wirbeltierbulbus nachweisbar; FRÖHLICH, HIRSCHBERG und MONJÉ sahen und registrierten sie zusammen mit einsinnigen Netzhautströmen und glauben, den negativen Ausfall von ADRIANs und MATTHEWSs Versuchen mit dem mehrsinnigen Verlauf der Netzhautströme in Zusammenhang bringen zu können. Beides hat aber offenbar nichts miteinander zu tun. Denn KOHLRAUSCH registrierte auf einer Reihe von typisch mehrphasischen Froschkurven superponierte Rhythmen zwischen 30 und 50 pro Sek., die besonders während der Senkung und der ersten Hälfte der sekundären Erhebung auftraten.

Es dürfte im wesentlichen eine Frage der zweckmäßigen Ableitung sein, ob man am Wirbeltierbulbus auch die Nervenrhythmen der stetigen Kurve aufgelagert erhält oder nicht.

**Zusammenfassung.** Über die Rhythmik in Netzhaut und Opticus kann zur Zeit folgendes als einigermaßen gesichert angesehen werden:

1. Im Opticus, wie in allen bisher untersuchten Sinnes- und Muskelnerven der Wirbeltiere ist der Aktionsstrom bei natürlicher Erregung stets *periodisch*.

2. Bei Ableitung vom Bulbus ist vor allem bei Cephalopoden, aber auch bei Wirbeltieren die Rhythmik aufgelagert auf die stetige Kurve des Netzhautstroms.

3. Das stetige Elektoretinogramm der Wirbeltiere (Frosch, Aal) ist aller Wahrscheinlichkeit nach *Gleichstrom* und keine Summation von Oszillationen.

4. Die *Frequenz* des Nervenrhythmus steigt mit der *Reizstärke* und zwar — ebenso wie die elektromotorische Kraft des stetigen Elektoretinogramms — ungefähr entsprechend dem WEBER-FECHNERSchen Gesetz.

5. Das *Lichtmengengesetz* gilt für Oszillationsfrequenz und Latenz der Nerventladungen ebenso wie für Latenz und elektromotorische Kraft des Netzhautstroms.

6. Bei Wirbeltieren ist der *zeitliche Frequenzablauf der Opticusoszillationen ein Abbild des jeweiligen Elektoretinogramms*, das also, nach dieser Umwandlung in die oszillierende Form, durch den Opticus zum Gehirn geleitet wird.

7. Die *Latenz* der Opticusentladung ist bei Wirbeltieren regelmäßig *beträchtlich länger* als die des Netzhautstroms.

8. Diese *Latenzdifferenz* ist recht konstant, beträgt bei Frosch und Aal im Mittel 0,1 Sek., ist bei Belichtung und Verdunkelung nahe gleich und unabhängig von der Lichtintensität; d. h. *nur die Latenz des Netzhautstroms* variiert weitgehend mit der Lichtintensität, dann folgt der Nervenstrom zwangsmäßig jedesmal nach dem *gleichen Zeitintervall*.

9. Für die Rhythmik der Cephalopodennetzhaut hat der Übergang von *schwächer zu stärker wirksamen Wellenlängen* den gleichen Erfolg wie die *Intensitätssteigerung ein und desselben Lichts*.

10. Bei Cephalopoden kann nach der Belichtung ein lange dauernder *Nachrhythmus* auftreten, der gesetzmäßige Beziehungen zu dem zugehörigen Belichtungsrhythmus hat.

11. Als Entstehungsort für den *stetigen* Netzhautstrom ist bei Cephalopoden das *Sinnesepithel*, und zwar das dem Licht zugewandte *Endglied* der Stäbchen (hier Innenglied) nachgewiesen; bei Wirbeltieren kann er wenigstens mit *großer Wahrscheinlichkeit* in die Stäbchen-Zapfenschicht verlegt werden (s. später S. 161).

12. Bei Wirbeltieren wird der Gleichstrom des Sinnesepithels irgendwo im Leitungsweg in die oszillierende Form der Nerventladungen umgewandelt, wie aus dem langen *Latenzintervall* hervorgeht. Der Umwandlungsort wird in den Synapsenlagern der Netzhaut vermutet. — Bei Cephalopoden fehlt bisher der Nachweis des stetigen Stroms als *Gleichstrom* und der Nachweis eines *Latenzintervalls*; die Rhythmen entstehen bei ihnen vielleicht auch im Stäbcheninnenglied.

Unsicher ist bisher noch:

1. Ob für den *einzelnen Stromstoß* der Nervenoszillationen das Alles- oder Nichts-Gesetz gilt (Wechsel oder Konstanz von Amplitude und Form der Einzelentladung bei Änderungen der Reizintensität?), wenn seine Gültigkeit, wenigstens bei Wirbeltieren, auch ziemlich wahrscheinlich sein dürfte.

2. Ob Licht verschiedener Wellenlänge auf die Netzhaurhythmen der Cephalopoden *qualitativ* verschieden wirkt.

3. Ob die Cephalopoden bei Dressuren Farbenunterscheidungsvermögen zeigen.

Wir sind am Ende der Zusammenstellung des Tatsachenmaterials. Ich brauche wohl nur auf den Inhalt des letzten Kapitels zu verweisen, um klar werden zu lassen, welch hervorragende Bedeutung den elektrischen Erscheinungen am Auge, im Zusammenhang mit FRÖHLICH'S und ADRIAN'S Feststellung der Rhythmik aller Sinnesnervenleitung, für die weitere allgemeine Erkenntnis der Sinnes-, Nerven- und Hirnfunktion zukommt. Bei den meisten Sinnen fehlen Tatsachen über objektive Vorgänge in den Empfängern des Sinnesepithels ganz oder sind äußerst spärlich. Aber beim Gesichtssinn liegt ein ausgedehntes, nach den verschiedensten Richtungen durchgearbeitetes Material vor sowohl über die objektiven Netzhautprozesse als auch über die subjektiven Wahrnehmungen. Da jetzt eine Reihe von Tatsachen über den Leitungsvorgang im Opticus hinzugekommen ist, so scheinen gerade beim Gesichtssinn noch am ehesten die Bedingungen gegeben zu sein, um durch Verknüpfung der drei verschiedenen Tatsachengruppen eine Vorstellung von der Zusammenarbeit der Empfänger, Vermittler und Empfinder eines Sinnesorgans gewinnen zu können.

## C. Theoretisches<sup>1</sup>.

### 1. Zur Deutung des Bestandpotentials.

Eine anerkannte, die wesentlichen Erscheinungen des Bestandpotentials befriedigend erklärende Theorie gibt es bisher nicht. Es soll daher noch einmal

<sup>1</sup> Bezüglich der physikalisch-chemischen Grundlagen für die Deutung elektrophysiologischer Erscheinungen verweise ich auf die Artikel von CREMER und von BROEMSER (a). An dieser Stelle werden nur die Augenströme, speziell in ihren Beziehungen zu den sonstigen Funktionen des Sehorgans behandelt.

kurz zusammengestellt werden, welchen Haupttatsachen eine Theorie über das Zustandekommen des Bestandpotentials im Auge gerecht werden muß.

Das sind:

1. Die *entgegengesetzte Richtung* des Bestandpotentials, welche bei Vertebraten und Avertebraten der Orientierung des Sinnesepithels entspricht (vgl. S. 120).

2. Die *Verstärkung* des Bestandpotentials durch Licht, und zwar in der jeweils normalen Richtung sowohl bei Vertebraten als auch Avertebraten (vgl. S. 122).

3. Die *örtliche Bestandpotential-Verteilung* am Bulbus (annähernd konstantes Potential im Bereich der Netzhaut, eventuell mit Beeinflussung durch den Opticus; plötzlicher Potentialsprung an der Ora serrata) (vgl. S. 121).

4. Die *unabhängige Änderung* von Bestand- und Belichtungspotential unter bestimmten Einflüssen („Gesetz der konstanten Spannungsänderung“; Ionenwirkung; mechanische Insulte) (vgl. S. 123).

5. Daneben die *gleichsinnige Änderung* beider Potentiale unter anderen Einflüssen (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>; Temperaturwirkung. Adaptationsänderungen; elektrische und Lichtreize) (vgl. S. 123).

Theoretische Vorstellungen über das Bestandpotential sind von KÜHNE und STEINER (b), WALLER (c), NAGEL (b), GARTEN (a), TIRALA, sowie LEHMANN und MEESMANN entwickelt worden; ich verweise auf BETHES Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12 II, S. 1480, 1481.

Überblicken wir die Haupttatsachen, so erscheint es wohl als die einfachste Lösung, nach dem Vorgang von KÜHNE und STEINER anzunehmen, daß sich dasjenige, was wir als „*Bestandpotential*“ außen am Bulbus finden, aus *mehreren Einzelpotentialen zusammensetzt*, die veränderliche Stärke und teils entgegengesetzte Richtung haben mögen. Über ihren Sitz können wir bisher, wenigstens zum Teil, nur Vermutungen hegen. So legen die gleichsinnige Änderung von Belichtungs- und Bestandpotential bei Adaptationsänderungen und Lichtwirkung, ferner die Richtungsabhängigkeit beider Potentiale von der Orientierung des Sinnesepithels (S. 120) es nahe, daß eines dieser Teilpotentiale am Sitz des Belichtungspotentials, im Sinnesepithel, entsteht (NAGEL, GARTEN, TIRALA). Es würde demjenigen entsprechen, das mit den Drüsensekretionsströmen (hier Sekretion lichtempfindlicher Stoffe; KÜHNE-STEINER, GARTEN) und auf subjektivem Gebiet mit dem „Wallen des Eigenlichts“ (KÜHNE-STEINER, NAGEL) in Verbindung gebracht ist.

Sehr beachtenswert sind im Zusammenhang mit der Sekretionstheorie der Netzhautströme die Untersuchungen<sup>1</sup> über starke Phosphorsäurebildung in der belichteten, schwache in der unbelichteten isolierten Netzhaut, deren Entstehung in den Außengliedern des Sehepithels vermutet und zur Produktion von lichtempfindlichen Substanzen in Beziehung gebracht wird (s. S. 113).

Ferner liegt die mehrfach gemachte Annahme nahe (KÜHNE-STEINER, TIRALA), daß das Absterben besonders empfindlicher Netzhautteile im isolierten Auge mit einer Potentialänderung verknüpft sein könne. Wie die älteren und neueren Untersuchungen (DONDEERS, s. auch in HELMHOLTZ, Handbuch 2. Aufl. S. 149, M. REICH, S. EXNER [a], W. KÜHNE, W. WEGNER) über Druckanämie des Auges gezeigt haben, sterben zwar diese empfindlichen Teile selbst beim Warmblüter nicht sehr schnell ab, sondern vertragen beim Menschen eine 22 Minuten lange völlige Blutleere ohne dauernden Schaden (WEGNER). Aber sie stellen mit Einsetzen der Anämie augenblicklich ihre Funktion ein (temporäre Erblindung des Menschen). Mit Wiederkehr des Blutstroms verschwindet diese

<sup>1</sup> Siehe BETHES Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12 I, S. 267—268. Vgl. auch über Ammoniakbildung in der belichteten Netzhaut HANS RÖSCH.

temporäre Erblindung wieder. Daß mit einem auch nur zeitweiligen Funktionsverlust eine Permeabilitätsänderung dieser Teile oder ein anderer Anlaß zur Änderung von Phasengrenzpotentialen verknüpft sei, liegt durchaus im Bereich der Möglichkeit.

Aus mehreren Gründen ist es nicht wahrscheinlich, daß die gegen Anämie empfindlichsten Netzhautteile die Opticusfasern oder die Stäbchen und Zapfen sind; man wird den Ort dieser etwa auftretenden, mit der Blutleere zusammenhängenden Potentialänderung des isolierten Auges wie bisher in den Ganglien (KÜHNE-STEINER, TIRALA) oder Synapsen der dazwischenliegenden Netzhautschichten vermuten können, wird aber gerade bei Abweichungen der Blutversorgung auch an das Donnanpotential und Durchlässigkeitsänderungen der Capillaren (LEHMANN-MEESMANN) denken müssen.

Von weiteren Teilpotentialen können wohl als nachgewiesen angesehen werden das Donnanpotential zwischen Blut und Kammerwasser (LEHMANN-MEESMANN) und, am isolierten Auge, das Längs-Querschnittspotential des durchtrennten Opticus (DU BOIS-REYMOND, HOLMGREN, KÜHNE-STEINER u. a. S. 121). Ob das die einzigen Teilpotentiale sind, und wie durch das Zusammenwirken aller die bekannten, voneinander unabhängigen Änderungen des Bestand- und Belichtungspotentials („Gesetz der konstanten Spannungsänderung“; Ionenwirkung) zustande kommen können, muß weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

## 2. Die Belichtungspotentiale und ihre Zuordnung zur Sehfunktion.

Das theoretische Interesse an den elektromotorischen Vorgängen auf Belichtung im Auge hat sich von jeher vorwiegend auf bestimmte Fragen konzentriert: 1. Die nach dem Entstehungsort der Potentiale, 2. nach der Deutung des Elektroretinogramms und 3. nach seinen Beziehungen zur Sehfunktion des Auges<sup>1</sup>. Sehen wir zunächst, ob und in welcher Richtung das neue Tatsachenmaterial hier weitere Klärung bringt.

**Entstehungsort des Belichtungspotentials.** Das stetige Belichtungspotential — das Elektroretinogramm bei Ableitung von Cornea und Fundus des Auges — entsteht zweifellos bei Wirbeltieren und Cephalopoden in der Retina (s. S. 125) und nicht etwa im Pigmentepithel, in der Chorioidea oder in vorderen Augenteilen, wie zeitweise auch diskutiert wurde. Bei Cephalopoden hat sich sein Ursprungsort noch genauer auf die dem Licht zugewandten Endglieder der Stäbchen („Innenglieder“ bei den Cephalopoden) bestimmen lassen (s. S. 154).

Liegt auch für Wirbeltiere bisher kein entsprechend eindeutiger Nachweis vor, so wird doch die Stäbchen-Zapfenschicht als Ganzes, schon nach Analogie des Cephalopodenauges, als der Sitz des Belichtungspotentials vermutet werden dürfen. Hierfür gibt es noch weitere Wahrscheinlichkeitsbeweise, unter denen insbesondere der schon von KÜHNE und STEINER (s. S. 160) angeführte von der verschiedenen Empfindlichkeit der einzelnen Netzhautstrukturen einleuchtet (s. S. 161): Wenn es richtig ist, die zeitweilige Erblindung des Menschen bei Druckanämie auf den Funktionsausfall der Ganglien- oder Synapsenlager zurückzuführen, so würde in der Tat der Belichtungsstrom eines exstirpierten, also nicht mehr durchbluteten, Warmblüterauges wohl in die Stäbchen-Zapfenschicht zu verlegen sein. Denn da der Opticusfaserstrom oszillatorisch ist, bleiben für den stetigen Strom nur die Stäbchen und Zapfen als Ursprungsort<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Ich verweise auf die beiden bisherigen größeren Zusammenfassungen von S. GARTEN (a) und von W. TRENDELENBURG (b).

<sup>2</sup> Vgl. im übrigen S. 233 ff der Abhandlung von S. GARTEN (a) und die neueren Arbeiten von C. E. KEELER, E. SUTCLIFFE und E. L. CHAFFEE.

**Zur Deutung des Elektrotretinogramms.** Das Elektrotretinogramm zeigt in der ganzen Wirbeltierreihe nahezu die gleiche mehrphasische Gestalt mit Erhebungen und Senkungen von typischem Verlauf, die sich aber unter bestimmten Bedingungen gesetzmäßig so verändert (s. S. 148), daß einfache positive Kurven (schwache kurze Belichtung bei Dunkeladaptation oder Rotreiz bei Taube, Huhn, Mensch) bzw. einfache negative resultieren (Wirkung von Kälte, bestimmten Ionen, mechanischen Insulten oder Blaureiz bei Tauben<sup>1</sup>). Vergleicht man solche ein- und mehrphasischen Kurven miteinander, so erscheint zweifellos die zuerst von KÜHNE und STEINER (a) aufgestellte, danach von verschiedenen anderen Autoren weiter ausgebaut Hypothese einleuchtend, daß das Elektrotretinogramm aus mehreren entgegengesetzten Teilpotentialen besteht, die mit leichter zeitlicher Verschiebung einsetzen und verschwinden. Von den verschiedenen Formen, in die diese Teilstromhypothese bisher gebracht ist, werden dem tatsächlichen Verlauf (A. KOHLRAUSCH [a]) des Elektrotretinogramms am besten die von EINTHOVEN und JOLLY und die von PIPER (d) gerecht.

EINTHOVEN-JOLLY zeichnen ihre Teilströme und Interferenzkurven nur für den Fall der *Moment*belichtung auf, PIPER für *Dauer-* und *Moment*belichtung; aber wahrscheinlich hat DAY recht, wenn er meint, beide Hypothesen seien im Grunde identisch.

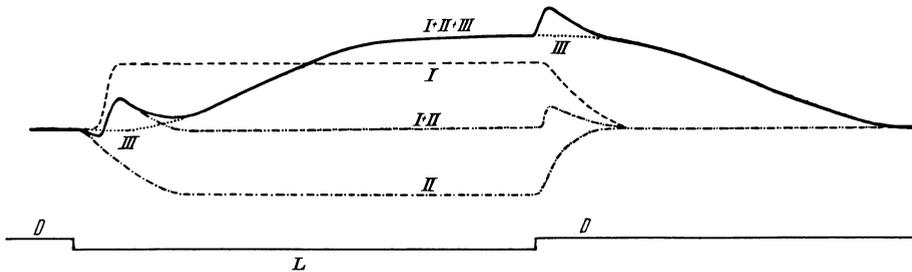


Abb. 33. PIPERS Interferenzkonstruktion des Elektrotretinogramms aus den drei Teilströmen I, II und III. (Aus TRENDLENBURG [b].)

PIPERS Interferenzkonstruktion (s. Abb. 33) soll die Aufgabe erfüllen, das Elektrotretinogramm der Wirbeltiere aus *drei* möglichst einfachen Teilströmen (I, II, III) zusammenzusetzen. Zwei davon sind positiv (I und III), also als Verstärkung des Bestandpotentials gedacht, einer negativ (II). Alle drei beginnen und enden nach PIPERS Annahme mit verschiedener Latenz und Geschwindigkeit, so daß durch ihre Interferenz die markanten Anfangs- und Endeffekte des Elektrotretinogramms zustande kommen (Abb. 33).

Wenn man überhaupt den Standpunkt einnehmen will, daß die Belichtungskurve einen Interferenzvorgang aus mehreren entgegengesetzten Potentialen darstellt, so bewährt PIPERS Konstruktion — und die mit ihr vermutlich identische von EINTHOVEN-JOLLY — sich recht gut: z. B. haben negative Stromschwankungen bei gleicher elektromotorischer Kraft des Ausschlags tatsächlich etwas kürzere Belichtungslatenz (s. Abb. 23, S. 147), flacheren Abfall und steilere Rückkehr (s. Abb. 24 u. 25), als positive. Ferner würden nach PIPER der negative Vorschlag und die Verdunkelungsschwankung zum gleichen Teilstrom gehören; daß beide eng verknüpft sein müssen, ist vielfach konstatiert.

Die Aufgabe, eine Kurve wie das Elektrotretinogramm aus Teilen zusammenzusetzen, hat in mathematischer Hinsicht selbstverständlich beliebig viele Lösungen; es kann sich also nur darum handeln, eine physiologisch wahrscheinliche zu finden, die die Tatsachen richtig wiedergibt. Welchen Standpunkt

<sup>1</sup> Wenn G. E. MÜLLER (S. 601) neuerdings sagt, es beruhe „auf einer falschen Voraussetzung, wenn man gelegentlich gemeint hat, daß die Aktionsströme bei Einwirkung grünen (blauen) Lichts die entgegengesetzte Richtung besitzen müßten, wie bei Einwirkung roten (gelben) Lichts“, so steht das mit den seit lange bekannten Tatsachen in Widerspruch.

man auch zu den bisherigen Elektretinogramm-Analysen einnehmen mag, es bleibt meines Erachtens vor allem die Tatsache bemerkenswert und zu deuten, daß man in der ganzen Wirbeltierreihe unter bestimmten Bedingungen den gleichen komplizierten Kurventypus findet, der sich durch Änderung der Bedingungen gesetzmäßig in eine einfache positive bzw. eine einfache negative Kurve abwandeln läßt (s. S. 162).

Auf der Grundlage der bisher bekannten Tatsachen kann man den heutigen Stand der Teilstromhypothese folgendermaßen zusammenfassen: Die den entgegengerichteten Teilströmen zugehörigen Netzhautvorgänge werden in den farbentüchtigen Empfängern des Tagesapparats durch farbiges Licht in verschiedenem Stärkeverhältnis ausgelöst, in den übrigen Empfängern durch alle Lichtarten in etwa dem gleichen Verhältnis; sie werden in allen Empfängern durch den Adaptationszustand mehr oder minder beeinflußt; sie werden zu verschiedenen Zeiten des ontogenetischen Entwicklungsganges ausgebildet und sind verschieden widerstandsfähig gegen Schädigungen irgendwelcher Art. Eine ausführlichere Darstellung der Teilstromhypothese findet man bei KOHL-RAUSCH (f).

**Belichtungspotentiale und Gesichtsempfindungen.** Für die Theorie sind diejenigen Tatsachen der Augenströme besonders beachtenswert, welche gesetzmäßige Beziehungen zu den Gesichtsempfindungen aufweisen. Denn die Licht- und Farbentheorien gehen von den *subjektiven* Erscheinungen der Empfindungen und Wahrnehmungen aus und suchen nach *objektiven* somatischen Prozessen im Sehorgan, die diesen zugrunde liegen könnten. Wird dabei Wert darauf gelegt, einigermaßen festen Boden unter den Füßen zu behalten, so erscheint, wenigstens dem Sinnesphysiologen, der Versuch naheliegend und selbstverständlich, an die tatsächlich gegebenen objektiven Augenprozesse anzuknüpfen. Wenn nun feststeht, daß eine ganze Reihe von Empfindungstatsachen und -gesetzen schon in der Netzhaut und im Opticus für die Aktionsströme von Tieren und Menschen gilt, so kann diesem Standpunkt eine Berechtigung auch wohl kaum abgesprochen werden.

Von solchen Beziehungen zwischen Subjektivem und Objektivem sind folgende anzuführen: Das Lichtmengengesetz (S. 141), der Relativitätssatz (WEBER-FECHNERSches Gesetz S. 142) und die Verschmelzungsfrequenz bei intermittierender Reizung (S. 140) gelten in gleicher Weise für Netzhautströme, Opticoszillationen und Gesichtsempfindungen. Die spektrale Reizwertverteilung im Dämmerungssehen (S. 144) ist für Sehpurpurbleichung, Netzhautströme und Gesichtsempfindungen identisch. Für letztere beide stimmen die absoluten Schwellenwerte (S. 142) überein, gilt das TALBOTSche Gesetz (S. 142), die Reizwertverschiebung der Protanopen (S. 152), das PURKINJESche Phänomen (S. 143) und die spezifische Farbenempfindlichkeit der Tagtiere (S. 146).

Daraus ist zu schließen, daß die objektiven Parallelprozesse dieser Empfindungstatsachen und -gesetze ihren Sitz bereits in der Netzhaut haben und zentralwärts weiter geleitet werden. Ob jedoch der Relativitätssatz nur zwischen Reiz und Netzhautprozessen gilt und nicht zwischen Netzhaut und Zentrum, ist nach den bisherigen Untersuchungen mit Sicherheit noch nicht zu sagen. Es sieht so aus, als ob die Oszillationsfrequenz im Opticus eine *lineare* Funktion der elektromotorischen Kraft der Netzhaut wäre; mit gleichzeitiger oder alternierender Ableitung von Netzhaut und Opticus wird sich vermutlich eine Entscheidung herbeiführen lassen.

Wenn zwischen Augenströmen und Gesichtsempfindungen ein so weitgehender Parallelismus besteht, dann liegt die Frage nahe, ob die eigentümliche Form des Netzhaut- und Opticusstroms nicht irgendwie im Ablauf der Gesichtsempfindungen zum Ausdruck komme. Für den Belichtungsbeginn trifft das

nun zweifellos zu; man vergleiche nur den von EXNER (b [S. 515]) aufgenommenen Verlauf des Gesichtseindrucks mit der positiven Eintrittsschwankung und Senkung der Netzhaut- und Opticusströme, und den von A. KUNKEL erhobenen und von H. PIÉRON bestätigten Befund, wonach die Rotempfindung sich am raschesten entwickelt, langsamer die Grün- und noch langsamer die Blauempfindung, mit der Anstiegsgeschwindigkeit der entsprechenden Netzhautströme im Warmblütereauge (s. S. 147).

Ferner fand KOHLRAUSCH (b [s. S. 140]), daß bei Momentbelichtungen der phasische Ablauf der Warmblüternetzhautströme auffallende Ähnlichkeit mit dem der menschlichen periodischen Gesichtsempfindungen hat, und zwar sowohl im zeitlichen Verlauf wie in der Abhängigkeit von Wellenlänge und Adaptationszustand: Trifft ein Momentanreiz geringer Energie das helladaptierte Auge, so resultiert in der Netzhaut ein kurzer steil ansteigender und etwas langsamer abklingender Stromstoß (vgl. Abb. 15c, S. 139); durch den Opticus läuft dann nach einer Latenz ein kurzer Oszillationsschwarm ab, dessen Frequenz schnell zu einem Maximum ansteigt und etwas langsamer auf Null abfällt (vgl. Abb. 31, 32). Der Stromstoß in der Netzhaut und der Oszillationsschwarm im Opticus überdauern dabei den Reiz bei Warmblütern wohl um wenige Zehntelsekunden (Abb. 15c). Unter den gleichen Bedingungen besteht die Empfindung des Menschen in der zeitlich gedehnten und den Reiz ähnlich lange überdauernden primären Gesichtsempfindung, der aber keine periodischen Nachbilder folgen.

Adaptiert sich das Auge dunkel oder steigert man die Energie der Momentbelichtung, dann wird sowohl der Aktionsstrom als auch die Gesichtsempfindung sehr viel längerdauernd und außerdem mehrphasisch mit typischem Verlauf. Der Aktionsstrom besteht dann aus: a) Latenz, b) positiver Eintrittsschwankung (eventuell mit negativem Vorschlag), c) Senkung, d) sekundärer Erhebung (vgl. Abb. 16, 17). Unter den gleichen Bedingungen ruft ein Momentanreiz mit ruhendem oder bewegtem Licht beim Menschen im Dunkelmzimmer eine langanhaltende Reihe von Gesichtsempfindungen<sup>1</sup> hervor mit den Hauptphasen: a) Latenz („Empfindungszeit“), b) primäre Gesichtsempfindung, c) sekundäres Bild („PURKINJESCHES NACHBILD“, „nachlaufendes Bild“, „ghost“), d) tertiäres Bild. Diese drei Gesichtsempfindungen sind unter bestimmten Bedingungen durch kurze Dunkelintervalle getrennt oder gehen unter anderen Umständen unmittelbar ineinander über; sie sind relativ einfach zu beobachten (man vgl. dazu die Darstellung von COMBERG in diesem Bande).

Der zeitliche Verlauf beider Phänomene ist mit der Lichtintensität und Adaptation veränderlich, und zwar so, daß mit zunehmender Helligkeit und Dunkeladaptation die einzelnen Strom- und Empfindungsphasen sowohl früher einsetzen als auch länger andauern. Im allgemeinen dauern beim Aktionsstrom der Warmblüter und den periodischen Gesichtsempfindungen des Menschen die schnellen Phasen b und c einige Zehntelsekunden, die langsame Phase d etwa 2—4 Sekunden.

Bei Reizung mit Licht verschiedener Wellenlänge besteht bis in Einzelheiten hinein eine weitgehende Parallelität (Abb. 16 u. 34); bei sehr langwelligem Rot ist die Stromsenkung flach oder ganz fehlend und die sekundäre Erhebung niedrig; parallel damit fehlt das PURKINJESCHE NACHBILD fast oder vollständig, das tertiäre Bild ist vorhanden aber lichtschwach (Abb. 34a). Je kürzerwellig das Licht, um so tiefer und steiler wird die Stromsenkung und um so kräftiger die sekundäre Erhebung; parallel damit wächst die Sichtbarkeit des PURKINJESCHEN NACHBILDES und des tertiären Bildes (Abb. 34b). Man vergleiche hierzu die Netzhautströme des Menschen bei Rot- und Blaureiz (Abb. 27).

Ich habe daraus den Schluß gezogen: der Ursprung der Empfindungsphasen liegt in objektiven phasischen, durch den Opticus weiter geleiteten Netzhautprozessen; beide Phänomene hängen in der Weise zusammen, daß

<sup>1</sup> Literatur bis 1904 bei J. v. KRIES (a), S. 220f; neuere bei F. W. FRÖHLICH (e) u. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12 I, 421f u. 464f.

die Netzhautströme die objektive, die periodischen Gesichtsempfindungen die subjektive Äußerung der durch Momentbelichtung ausgelösten Netzhautprozesse sind, welche durch den Opticus zum Zentrum geleitet werden. Die periodische Empfindung entsteht selbstverständlich erst zentral, wird aber durch periodische Netzhautvorgänge erregt. Durch die neueren Untersuchungen, aus denen hervorgeht, daß der Opticus die jeweiligen Netzhautströme als wechselnde Frequenzfolgen weiterleitet (vgl. S. 157), hat dieser Schluß noch erheblich an Wahrscheinlichkeit gewonnen. Gleichzeitige Registrierungen des Ablaufs der Netzhautströme und der periodischen Nachbilder unter gleichen Bedingungen am Menschen scheinen nach den Untersuchungen von SACHS (vgl. S. 150) nicht ausgeschlossen zu sein, stehen aber noch aus.

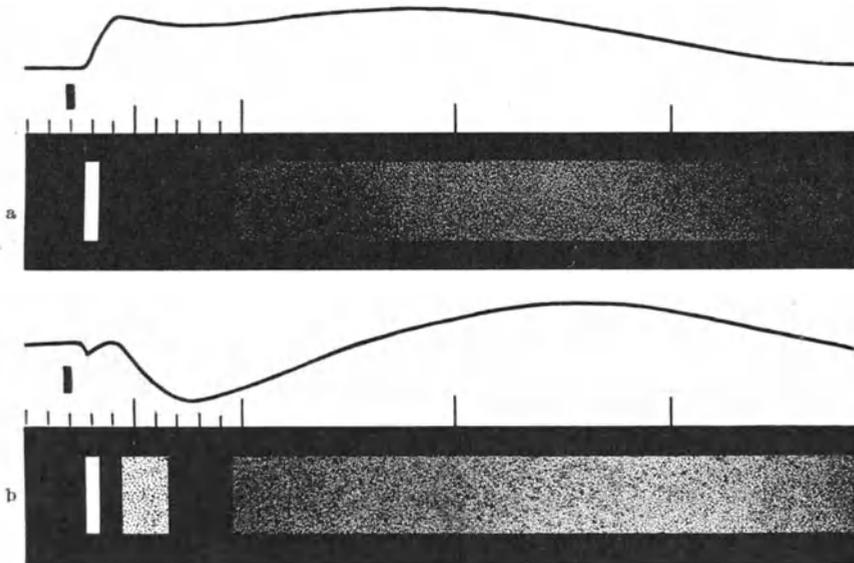


Abb. 34. Parallelismus zwischen den Netzhautströmen der Warmblüter und den periodischen Gesichtsempfindungen des Menschen: a Lichtblitz mit sehr langwelligem Rot, b mit Blau. Zusammengehöriger Netzhautstrom und Gesichtsempfindung übereinander gezeichnet und zwar mit gleichzeitigem Beginn, da die tatsächliche Zeitverschiebung nicht sicher bekannt ist. Zeit Sekunden; die erste Sekunde in Zehntel geteilt.

Die von FRÖHLICH (e), BAYER, VOGELSANG, TSCHERMAK und G. E. MÜLLER gegen meine Parallelisierung von Netzhautströmen und periodischen Nachbildern vorgebrachten Einwände sind nicht stichhaltig (KOHLRAUSCH [f]).

Überlegen wir, welche Bedeutung der *Retinastrom als Glied in der Kette zwischen Lichtreiz und Empfindung* haben könnte, so wäre etwa folgendes nach dem heutigen Stand unserer Kenntnisse zu sagen: Der Strahleneinfall löst im Bulbus in den Strahlungsempfängern eine primäre photochemische Energieumwandlung aus, welche bereits im Latenzstadium des Netzhautstroms einsetzen wird. Diese führt zu elektromotorischen Vorgängen, dem stetigen mehrphasischen Netzhautstrom der Empfänger. Nach dem konstanten Netzhautnervintervall (in den Synapsenlagern?) erregt der Netzhautstrom in den Opticusfasern rhythmische Impulsentladungen, die mit ihren Frequenzwechseln ein oszillatorisches Abbild des jeweiligen Netzhautstroms darstellen, und zum Zentrum geleitet werden. Dort könnten die Opticusrhythmen je nach Frequenzfolge spezifische objektive Vorgänge auslösen: die Parallelprozesse zu den Empfindungen.

Beim natürlichen Sehen gleiten wir gewöhnlich mit bewegtem Blick dauernd über die hellen, dunklen und verschieden gefärbten Gegenstände der Umwelt hin; damit sind also, in unregelmäßigem Wechsel einander folgend, plötzliche *Belichtungsänderungen* ein und derselben Netzhautstelle gegeben. Jede derartige Belichtungsänderung löst einen Belichtungs- oder Verdunkelungsstrom in der Netzhaut und dieser wieder die entsprechende Serie von Opticusoszillationen aus. Denn gerade bei plötzlicher Belichtung und Verdunkelung oder bei plötzlichen Belichtungsänderungen (S. 125) treten beträchtliche Netzhautströme auf, aber auch bei ganz allmählichen Belichtungsänderungen oder bei Dauerbelichtung kommen entsprechend gedehnte Schwankungen des Netzhautstroms zustande. Es steht demnach wohl kaum etwas im Wege, dem Netzhautstrom überhaupt eine Bedeutung für den Sehakt beizulegen.

### 3. Die Leitung verschiedener Intensitäten und Qualitäten in einer einzelnen Opticusfaser als Grundlage einer Licht- und Farbensinntheorie.

Der Angriffsort der Strahlenwirkung liegt peripher im Bulbus in den Strahlungsempfängern, in deren Protoplasma die Strahlung die primären physiologischen Prozesse auslöst. Diese führen zur nervösen Erregung, zur Erregungsleitung gehirnwärts durch den Opticus und letzten Endes zur Wahrnehmung verschieden heller und verschieden gefärbter Dinge.

Mit den mittleren Teilen des Gesichtsfeldes sind normale Menschen zweifellos fähig, einzelne Punkte einer Fläche (z. B. eines Mosaiks) verschieden hell und verschieden farbig zu sehen, ja auch an minimalen punktförmigen Objekten, wie Sternen oder äußerst entfernten Signallichtern, die nur auf ganz wenigen, vielleicht nur auf einem einzigen Zentralzapfen der Netzhaut abgebildet werden, Helligkeits- und Farbenunterschiede zu erkennen. Daraus ergibt sich die seit langem und viel diskutierte Frage: *Wie kann die erforderliche Mannigfaltigkeit von Erregungsstärken und Erregungsarten durch jede einzelne Nervenfasern<sup>1</sup> geleitet werden?*

Die Lösung wurde von jeher, wenn überhaupt, so auf dem Gebiet der elektromotorischen Erscheinungen erwartet, weil hier die Möglichkeit einer verschiedenartigen Tätigkeit nicht ganz ausgeschlossen ist. Aber das Problem könnte zunächst noch verwickelter erscheinen, insofern als wir heute immerhin damit rechnen müssen, daß bei Mensch und Wirbeltier die einzelne Sinnesnervenfasern nicht einmal einer dem Grade nach abstufbaren elementaren Zustandsänderung fähig ist (Konstanz der Einzelimpulse; Alles- oder Nichts-Gesetz). Wenigstens sieht es, vorsichtig ausgedrückt, so aus, als ob die Einzelimpulse jeder einzelnen Nervenfasern nicht wesentlich in ihrer Stärke abstufbar wären (S. 155).

Drei neuere Entdeckungen bringen die Lösung der Frage<sup>3</sup> auf dem Boden einer „Kernleiter-“ bzw. „Stromtheorie der Erregungsleitung“<sup>4</sup>, ohne daß

<sup>1</sup> Unter einer „einzelnen Nervenfasern“ verstehe ich das histologisch noch umstrittene „leitende Element des Nervengewebes“ (BETHES Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 9, S. 144 bis 170).

<sup>2</sup> Ich verweise auf das Problem bei H. HELMHOLTZ und seine ausführliche Behandlung bei J. v. KRIES ([d] S. 48—53, 82—88). Beide Autoren setzen voraus, daß die einzelne Nervenfasern verschiedenartiger elektromotorischer Tätigkeit fähig sein müßte, wenn sie imstande sein soll, verschiedene Qualitäten zu leiten. — Vgl. auch E. TH. v. BRÜCKE.

<sup>3</sup> F. W. FRÖHLICH hat sie noch nicht gelöst mit seiner, an Cephalopodenversuchen entwickelten Hypothese (KOHLRAUSCH [f], S. 1492; vgl. auch die Kritik von FRÖHLICHs Vorstellungen bei J. v. KRIES [d], S. 87).

<sup>4</sup> Über Kernleiter und Stromtheorie: BROEMSER: (a) S. 320—321; (b) S. 235—243. — CREMER: S. 245—248, 279—284. — v. BRÜCKE: S. 34. — PÉTERFI: S. 164—170.

weitere Hilfhypothesen gemacht werden müssen. Die Lösung gilt auch für den Fall des Alles- oder Nichts-Gesetzes, d. h. bei konstanten Einzelimpulsen in jeder Faser eines Sinnesnerven. Diese drei Experimentaltatsachen sind:

1. Die Erregung aller Sinnesnerven ist rhythmisch, die Rhythmusfrequenz steigt in jeder einzelnen Faser mit der Reizstärke (FRÖHLICH, ADRIAN; s. S. 155).

2. Die Form des stetigen Netzhautstroms variiert mit der Wellenlänge unter algebraischer Summation der Stromformen bei Lichtmischungen (KOHLRAUSCH-BROSSA; s. S. 148).

3. Der Opticusstrom ist ein oszillatorisches Abbild der jeweiligen Form des Netzhautstroms (KOHLRAUSCH nach Versuchen von ADRIAN-MATTHEWS; s. S. 157).

Die erste Tatsache, Steigen der Stromstoßfrequenz mit der Reizintensität, gibt nach S. 155 ohne weiteres folgenden Zusammenhang: *die Stärke der Netzhauterregung wird als absolute Zahl der Einzelaktionen pro Zeiteinheit durch die einzelne Opticusfaser weitergeleitet*. Das hat v. KRIES (d [S. 52, 87, 88]) bereits 1923 als Hypothese klar ausgesprochen. — Diese *quantitative* Beziehung läßt sich in folgendem Schema darstellen: Lichtintensität → Stromintensität in der Netzhaut → Frequenz der Opticusoszillationen → Stärke der Gesichtsempfindung<sup>1</sup>, wobei zwischen 1 und 2 der Relativitätssatz gilt, zwischen den folgenden möglicherweise ungefähr lineare Abhängigkeit bestehen könnte (S. 156).

Die Intensität des Netzhautstroms und die absolute Stromstoßfrequenz im Opticus wären danach objektive Parallelprozesse zur Stärke der Gesichtsempfindung, vorausgesetzt, daß wir den psychophysischen Parallelismus nicht auf die Empfänger beschränken, sondern auch auf Empfänger und Übermittler ausdehnen wollen.

Die zweite Tatsache, daß die Form des stetigen Netzhautstroms von der Wellenlänge bzw. Lichtzusammensetzung abhängt, hat mich, nachdem BROSSA und ich sie gefunden hatten, zu folgender Überlegung als Arbeitshypothese veranlaßt: Offenbar reagieren schon die Netzhautempfänger qualitativ verschieden auf die Lichtzusammensetzung; soll dem eine physiologische Bedeutung für die Farbenunterscheidung zukommen, *so müssen diese Qualitätsunterschiede durch den Opticus weitergeleitet werden*, z. B. auf Grund der „Stromtheorie der Erregungsleitung“ irgendwie die differenten *Formen* des Netzhautstroms. Die damals bekannte annähernde Gleichheit zwischen Netzhaut- und Opticusstromverlauf sprach wohl dafür und mein daraufhin erhobener Befund von der Ähnlichkeit zwischen dem Elektretinogramm bei Lichtblitzen und den Nachbildphasen wies in dieselbe Richtung. Es blieb aber der Einwand: Leitung von *stetigem* Strom durch einen Nerven? Das war mit einem Refraktärstadium unvereinbar; die Opticusfunktion hätte prinzipiell von derjenigen motorischer Nerven abweichen müssen. Verschiedentlich angestellte (nicht veröffentlichte) Versuche mit Ableitung vom Opticus zum Saitengalvanometer ohne Verstärkung führten mich zu keiner Entscheidung. Die Fragen mußten einstweilen offen bleiben, wenn auch einige Anhaltspunkte für ihre Beantwortung gegeben schienen.

Meine Analyse der von ADRIAN veröffentlichten Opticuskurven gab mir (KOHLRAUSCH [e] S. 570, 571) die Lösung: *die Formunterschiede des stetigen Netzhautstroms<sup>2</sup> werden als differente Frequenzwechsel in der einzelnen Opticusfaser*

<sup>1</sup> Daß daneben außerdem die *Zahl* der gereizten Empfänger und erregten Opticusfasern für die *Stärke* der Gesichtsempfindung in Betracht kommt, soll nicht in Abrede gestellt werden.

<sup>2</sup> Für die Theorie ist es gleichgültig, ob der „stetige Netzhautstrom“ tatsächlich aus Gleichstromschwankungen oder aus einer Summation einseitiger, hochfrequenter Stromstöße besteht. Wesentlich ist nur die Tatsache, daß die Netzhautströme nach Transformation als Opticusrhythmen wiedererscheinen.

*weitergeleitet*. Nicht die absolute Frequenz, sondern die zeitlichen Frequenzänderungen sind für die Qualität maßgebend. Bei Reizen von ähnlicher Farbe, aber verschiedener Intensität spielen sich die Frequenzwechsel in verschiedener Höhenlage der absoluten Frequenz ab. Die Netzhaut reagiert demnach auf qualitativ verschiedene Reize mit verschiedenen Erregungsformen, die in der einzelnen Nervenfaser als differente Impulsfrequenzfolgen zum Zentralteil des Gehirns weitergeleitet werden.

Das dem Schema auf S. 167 entsprechende für die *qualitativen* Beziehungen ist: Lichtzusammensetzung → Stromform in der Netzhaut → Frequenzwechsel im Opticus → Qualitäten (Farbe, Sättigung) der Gesichtsempfindung.

Netzhautstromform und zeitliche Frequenzänderung im Opticus sehe ich demnach, bei Ausdehnung des psychophysischen Parallelismus auf Empfänger und Übermittler, als periphere Parallelprozesse zu den Farbenempfindungen an<sup>1</sup>.

Nach den bisher vorliegenden Tatsachen halte ich es für möglich, daß wir in den entgegengesetzten Stromrichtungen in der Netzhaut und ihrem gegenseitigen Ausschluß einige der objektiven Prozesse vor uns haben, die auf somatischem Gebiet den bleibenden Kern der HERINGSchen Gegenfarbenlehre<sup>2</sup> bilden, ebenso wie ich in den drei Netzhautstromvariablen (Elektromotorische Kraft, Richtung, Form) und in der Qualitätenleitung durch eine Opticusfaser den der von HELMHOLTZ und v. KRIES (a) modifizierten Dreifarbenlehre YOUNGS sehen möchte.

Wenn nach dem hier dargelegten Prinzip jede Fovealfaser des Sehnerven befähigt ist zu verschiedenartigen Tätigkeitsformen, welche verschiedenen Farbenempfindungen entsprechen, so entfällt zwar die spätere spezialisierte Ausdehnung der JOH. MÜLLERSchen Lehre auf die, innerhalb des Gesichtssinns bestehenden Qualitätsunterschiede, die sogenannte „klassische Form“ der Lehre von den spezifischen Energien (J. v. KRIES [d]) des Gesichtssinns. Dagegen bleibt die ursprüngliche Form der Lehre hiervon unberührt und ist durch ADRIANS Untersuchungen in einer bestimmten, bereits von JOH. MÜLLER erwogenen Richtung wohl entschieden: bei der weitgehenden Gleichartigkeit des Leitungsvorgangs in den verschiedenen Sinnesnerven können die Modalitäten der Empfindung nur auf Unterschiede der einzelnen Zentralteile im Gehirn zurückgeführt werden.

#### Literatur.

ADRIAN, E. D.: Die Untersuchung der Sinnesorgane mit Hilfe elektrophysiologischer Methoden. *Erg. Physiol.* **26**, 501 (1928). — ADRIAN, E. D. u. D. W. BRONK: (a) The discharge of impulses in motor nerve fibres. *J. of Physiol.* **66**, 81 (1928). (b) The discharge of impulses in motor nerve fibres. *J. of Physiol.* **67**, 119 (1929). — ADRIAN, E. D. u. R. MATTHEWS: (a) The action of light on the eye. Pt. I. The discharge of impulses in the optic nerve and its relation to the electric changes in the retina. *J. of Physiol.* **63**, 378 (1927). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **19**, 538. (b) The action of light on the eye. II. The processes involved in retinal excitation. *J. of Physiol.* **64**, 279 (1927). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **19**, 834. (c) The action of light on the eye. Pt. III. The interaction of retinal neurones. *J. of Physiol.* **65**, 273 (1928). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **20**, 773.

BAYER, L.: Die periodischen Nachbilder nach kurz dauernder Belichtung mit farbigen Reizlichtern. *Z. Biol.* **85**, 299 (1926). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **18**, 135. — BECK, A.: Über die bei Belichtung der Netzhaut von *Eledone moschata* entstehenden Aktionsströme. *Pflügers Arch.* **78**, 152 (1899). — BEUCHELT, H.: Die Abhängigkeit der photoelektrischen Reaktion des Froschauges von den ableitenden Medien. *Z. Biol.* **73**, 205 (1921). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **6**, 75. — BOIS-REYMOND, E. DU: Untersuchungen über tierische Elektrizität Bd. 2 I, S. 256. 1849. — BROEMSER, PH.: (a) Erregbarkeit, Reiz- und Erregungsleitung, allgemeine Gesetze der Erregung. *BETHES Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie* Bd. 1,

<sup>1</sup> Weitere kritische Ausführungen der Theorie s. KOHLRAUSCH (f), S. 1493—1496.

<sup>2</sup> Daß außerdem im Zentralnervensystem Parallelprozesse der Gegenfarben vorhanden sein können, soll nicht bestritten werden.

S. 309. 1927. (b) Nervenleitungsgeschwindigkeit, Ermüdbarkeit und elektronische Erregbarkeitsänderungen des Norven. Theorien der Nervenleitung. *BETHES Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie* Bd. 9, S. 212. 1929. (c) Anwendung mathematischer Methoden auf dem Gebiet der physiologischen Mechanik. *ABDERHALDEN'S Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden*, Abt. V, Teil I, S. 89f. 1921. — BROSSA, A. u. A. KOHLRAUSCH: Die Aktionsströme der Netzhaut bei Reizung mit homogenen Lichtern. *Arch. f. Physiologie* 1913, 449 f. — BRÜCKE, E. TH. v.: Tatsachen und Probleme der Physiologie nervöser Systeme. *BETHES Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie* Bd. 9, S. 35. 1929. — BRÜCKE, E. TH. v. u. S. GARTEN: Zur vergleichenden Physiologie der Netzhautströme. *Pflügers Arch.* 120, 311 (1907).

CHAFFEE, BOVIE u. HAMPSON: *J. opt. Soc. Amer.* 7, 29 (1923). — CHATIN, J.: Sur la valeur comparée des impressions monochromatiques chez les invertébrés. *C. r. Acad. Sci. Paris* 90, 41 (1880). *Ref. Nagels Jber.* 1880, 55 u. 92. — CREMER, M.: Ursache der elektrischen Erscheinungen. *BETHES Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie*, Bd. 8, II, S. 999. 1928.

DAY, E. C.: Photoelectric currents in the eye of the fish. *Amer. J. Physiol.* 38, 369 (1915). — DEWAR, J. u. J. G. M'KENDRICK: (a) The physiological action of light. *J. Anat. Physiol.* 7, 275 (1873). (b) *Phil. Trans. roy. Soc. Edinburgh* 27, 141 (1874). — DITTLER, R.: Die objektiven Veränderungen der Netzhaut bei Belichtung. *BETHES Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie*, Bd. 12, I, S. 266, 1929. — DONDEES, F. C.: Über die sichtbaren Erscheinungen der Blutbewegung im Auge. *Graefes Arch.* I II, 75 (1854).

ENGELMANN, TH. W.: Farbe und Assimilation. *Bot. Z.* 1883, Nr 1/2. — ENGELMANN, TH. W. u. GRJNS: Über elektrische Vorgänge im Auge bei reflektorischer und direkter Erregung des Gesichtsnerven. *HELMHOLTZ' Festschrift* 1891, S. 197. — EINTHOVEN, W. u. W. A. JOLLY: The form and magnitude of the electrical response of the eye to stimulation by light at various intensities. *Quart. J. exper. Physiol.* 1, 373 (1908). — ERLANGER, J., H. S. GASSER u. G. H. BISHOP: (a) The compound and nature of the action current of nerve as disclosed by the cathode ray oscillograph. *Amer. J. Physiol.* 70, 624 (1924). (b) Experimental analysis of the simple action potential wave in nerve by the cathode ray oscillograph. *Amer. J. Physiol.* 78, 537 (1926). (c) The absolutely refractory phase of the alpha, beta and gamma fibers in the sciatic nerve of the frog. *Amer. J. Physiol.* 81, 473 (1927). (d) The analysis of individual waves in the phrenic electroneurogram. *Amer. J. Physiol.* 85, 569 (1928). — EXNER, S.: (a) Zur Kenntnis von der Regeneration in der Netzhaut. *Pflügers Arch.* 16, 407 (1878). (b) In *HELMHOLTZ Handbuch der Physiol. Optik*, 2. Aufl., S. 515. 1896.

FRÜNDLICH: *Capillarchemie*. S. 759. Leipzig 1922. — FRÖHLICH, F. W.: (a) Vergleichende Untersuchungen über den Licht- und Farbensinn. *Dtsch. med. Wschr.* 39 I, 1453 (1913). (b) Beiträge zur allgemeinen Physiologie der Sinnesorgane. *Z. Sinnesphysiol.* 48, 41, 400 (1914). (c) Grundzüge einer Lehre vom Licht- und Farbensinn. Ein Beitrag zur allgemeinen Physiologie der Sinne. Jena 1921. (d) Der zeitliche Verlauf der Aktionsströme am Cephalopodenaugen. *Z. Biol.* 87, 515 (1928). (e) Die Empfindungszeit. Ein Beitrag zur Lehre von der Zeit-, Raum- und Bewegungsempfindung. Jena 1929. — FRÖHLICH, F. W., ELSE HIRSCHBERG u. M. MONJÉ: Der zeitliche Verlauf der Aktionsströme vom Wirbeltierauge. *Z. Biol.* 87, 525 (1928). *Ref. Zbl. Ophthalm.* 21, 229. — FUCHS, S.: (a) Untersuchungen über die im Gefolge der Belichtung auftretenden galvanischen Vorgänge in der Netzhaut und ihren zeitlichen Verlauf. *Pflügers Arch.* 56, 445 (1894). (b) Untersuchungen über die im Gefolge der Belichtung auftretenden galvanischen Vorgänge in der Netzhaut und ihren zeitlichen Verlauf. *Pflügers Arch.* 84, 425 (1901).

GARTEN, S.: (a) Veränderungen der Netzhaut durch Licht. *GRAEFKE-SAEMISCH' Handbuch der gesamten Augenheilkunde* 2. Aufl., Bd. 3 I, S. 233. Leipzig 1907. (b) Die Produktion von Elektrizität. *WINTERSTEIN'S Handbuch der vergleichenden Physiologie* Bd. 3 II, S. 217. Jena 1910/14. — GASSER, H. S. u. J. ERLANGER: (a) A study of the action currents of nerve with the cathode ray oscillograph. *Amer. J. Physiol.* 62, 496 (1922). (b) The role played by the sizes of the constituent fibers of a nerve trunk in determining the form of its action potential wave. *Amer. J. Physiol.* 80, 522 (1927). — GOTCH, F.: (a) The time relations of the photoelectric changes in the eyeball of the frog. *J. of Physiol.* 29, 388 (1903). (b) Further observations on the photoelectric responses of the frog's eyeball. *J. of Physiol.* 30, *Proceed.*, I (1903). (c) The time-relations of the photoelectric changes produced in the eyeball of the frog by means of coloured light. *J. of Physiol.* 31, 1 (1904). — GRÆGE, F. M., EVA JAMISON, R. WILKIE u. TH. RADINSKY: Are dogs cats and raccoons color blind? *J. comp. Psychol.* 9, 379 (1929). *Ref. Zbl. Ophthalm.* 23, 246.

HAAS, H. K. DE: Lichtprikkel en Retinastroomen in hun quantitatief verband. *Inaug.-Diss. Med. Fak. Leiden* 1903. *Ref. Nagels Jber.* 1903, 73. — HARTLINE, H. K.: (a) The electrical response to illumination of the eye in intact animals, including the human subject; and in decerebrate preparations. *Amer. J. Physiol.* 73, 606 (1925). (b) A quantitative and descriptive study of the electric response to illumination of the arthropod eye. *Amer. J.*

Physiol. 83, 466 (1927/28). — HELMHOLTZ, H.: Handbuch der physiologischen Optik, I. Aufl., S. 292, Hamburg u. Leipzig 1867. — HERMANN, L.: Handbuch der Physiologie Bd. 2, I, S. 146. 1879. — HESS, C. v.: (a) Gesichtssinn. WINTERSTEINS Handbuch der vergleichenden Physiologie 4, S. 555. Jena 1910/14. (b) Messende Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie des Pupillenspieles. Graefes Arch. 90, 382 (1915). (c) Farbenlehre. Erg. d. Physiol. 20, 47 (1922). — HIMSTEDT, F. u. W. A. NAGEL: (a) Die Verteilung der Reizwerte für die Froschnetzhaut im Dispersionsspektrum des Gaslichtes, mittels der Aktionsströme untersucht. Ber. naturforsch. Ges. Freiburg i. Br. 11, 153 (1900). Ref. Nagels Jber. 1900, 90. (b) Versuche über die Reizwirkung verschiedener Strahlenarten auf Menschen- und Tieraugen. Festschr. d. Universität Freiburg zum 50jährigen Regierungsjubiläum des Großherzogs von Baden, S. 262—263. Ref. Nagels Jber. 1902, 75. (c) NAGELS Handbuch, Bd. 3. 1904. — HOFFMANN, P.: Aktionsströme des Nerven. BETHES Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 8, II, S. 741. 1928. — HOLMGREN, F.: (a) Upsala Läk. för. Förh. 1, 177 (1865). (b) Über die Retinaströme. Untersuch. physiol. Inst. Heidelberg 3, 278 (1880).

ISHIHARA, M.: Versuch einer Deutung der photoelektrischen Schwankungen am Froschauge. Pflügers Arch. 114, 588 (1906).

JOLLY, W. A.: On the electrical response of the frog's eyeball to light. Quart J. exper. Physiol. 2, 363 (1909).

KAHN, A. H. u. A. LÖWENSTEIN: Das Elektretinogramm. Graefes Arch. 114, 324 (1924). — KEELER, C. E., E. SUTCLIFFE u. E. L. CHAFFEE: (a) Normal and „rodless“ retinae of the house mouse with respect to the electromotive force generated through stimulation by light. Proc. nat. Acad. Sci. (U.S.A.) 14, 477 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. 21, 101. (b) A description of the ontogenetic development of retinal action currents in the house mouse. Proc. nat. Acad. Sci. (U.S.A.) 14, 811 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. 21, 222. — KÖGEL, G.: Die Photochemie des Sehpurpurs. Pflügers Arch. 222, 613 (1929). — KÖNIG, A. u. E. BRODHUN: Experimentelle Untersuchungen über die psychophysische Fundamentalformel in bezug auf den Gesichtssinn. Sitzgsber. Akad. Wiss. Berlin 30, 641 (1889). Ref. Nagels Jber. 1889, 48. — KOHLRAUSCH, A.: (a) Die Netzhautströme der Wirbeltiere in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes und dem Adaptationszustand des Auges. I. Arch. f. Physiol. 1918, 195. (b) Der Verlauf der Netzhautströme und der Gesichtsempfindungen nach Momentbelichtung. Pflügers Arch. 209, 607 (1925). (c) Tabulae biolog. 1, 290. Berlin 1925. (d) Tabulae biolog. 4, 520 (1927). (e) Lösung des Problems der Qualitäteneitung in der einzelnen Opticusfaser. Klin. Mbl. Augenheilk. 85, 570 (1930). (f) Elektrische Erscheinungen am Auge. BETHES Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie Bd. 12 II, 1394 (1931). — KOHLRAUSCH, A. u. A. BROSSA: Die photoelektrische Reaktion der Tag- und Nachtvogelnetzhaut auf Licht verschiedener Wellenlänge. Arch. f. Physiol. 1914, 421. — KRIES, J. v.: (a) Gesichtsempfindungen. NAGELS Handbuch der Physiologie Bd. 3, 210. (1904). (b) Über die zur Erregung des Sehorgans erforderlichen Energiemengen. Z. Sinnesphysiol. 41, 373 (1907). (c) Messende Versuche über die Funktionsteilung im Sehorgan. Z. Sinnesphysiol. 49, 313 (1916). (d) Allgemeine Sinnesphysiologie. Leipzig 1923. — KÜHN, A.: Farbenunterscheidungsvermögen der Tiere. BETHES Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie Bd. 12 I, 720 (1929). — KÜHN, W.: Beobachtungen über Druckblindheit. Unters. physiol. Inst. Heidelberg 2, 46 (1878). — KÜHN, W. u. J. STEINER: (a) Über das elektromotorische Verhalten der Netzhaut. Unters. physiol. Inst. Heidelberg 3, 327 (1880). (b) Über elektrische Vorgänge im Sehorgane. Unters. physiol. Inst. Heidelberg 4, 64 (1881). — KUNKEL, A.: Über die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Zeit. Pflügers Arch. 9, 197 (1874).

LEHMANN, G. u. A. MEESMANN: Über das Bestehen eines Donnangleichgewichtes zwischen Blut und Kammerwasser bzw. Liquor cerebrospinalis. Pflügers Arch. 205, 210 (1924).

MEESMANN, A.: Habil.schr. Berlin 1923 (nicht gedruckt). — MÜLLER, G. E.: Über die Farbenempfindungen, Erg.-Bände der Z. Psych. 1, 222; 2, 595. Leipzig 1930. — MÜLLER, JOHANNES: Handbuch der Physiologie des Menschen, Bd. 2, S. 261. 1838.

NAGEL, W.: (a) Die elektromotorischen Wirkungen der Netzhaut. NAGELS Handbuch der Physiologie des Menschen, Bd. 3, S. 101. Braunschweig 1904. (b) Einwirkung des Lichtes. Zusatz in HELMHOLTZ' Handbuch der Physiol. Optik, 3. Aufl., Bd. 2, S. 49. Hamburg u. Leipzig 1911. — NAGEL, W. u. F. HIMSTEDT: Reizwerte für die Froschnetzhaut im Dispersionsspektrum des Gaslichtes, mittels der Aktionsströme untersucht. Ber. naturforsch. Ges. Freiburg i. Br. 11, 153 (1900). — NERNST, W.: Theoretische Chemie, 5. Aufl. Stuttgart 1907. — NIKIFOROWSKY, P. M.: Über den Verlauf der photoelektrischen Reaktion des Froschauges bei Abkühlung. Z. Biol. 57, 397 (1911).

ORBELI, L.: Die Abhängigkeit der elektromotorischen Wirkungen der Froschhaut von den Eigenschaften der Ableitungsflüssigkeiten. Z. Biol. 54, 329 (1910).

PAULI: Über psychische Gesetzmäßigkeit. Jena 1920. — PÉTERFI, K.: Das leitende Element. BETHES Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 9, S. 164. 1929. — PIÉRON, H.: Lois d'établissement du chroma des impressions lumineuses. C. r.

Acad. Sci. Paris **189**, 194 (1929). Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 261. — PIPER, H.: (a) Das elektromotorische Verhalten der Retina bei *Eledone moschata*. Arch. f. Physiol. **1904**, 460. (b) Untersuchungen über das elektromotorische Verhalten der Netzhaut bei Warmblütern. Arch. Physiol. **1905**, Suppl., 133. (c) Die Aktionsströme der Vogel- und Säugernetzhaut bei Reizung durch kurzdauernde Belichtung und Verdunkelung. Arch. f. Physiol. **1910**, Suppl., 461. (d) Über die Netzhautströme. Arch. f. Physiologie **1911**, 85. — PÜTTER, A.: Studien zur Theorie der Reizvorgänge. Pflügers Arch. **171**, 201 (1918).

RAWITSCHER, F.: Über die Lichtwirkung auf Pflanzen (Reizmengengesetz). Naturwiss. **11**, 491 (1923). — REICH, M.: Über einige subjektive Erscheinungen bei gesteigertem intraokularem Druck. Klin. Mbl. Augenheilk. **12**, 238 (1874). — RENVIST, Y.: Über die photoelektrische Reaktion des Froschauges. Skand. Arch. Physiol. **45**, 95. Berlin-Leipzig 1924. — RIEDEL, A. H.: Ein Beitrag zur Kenntnis der photoelektrischen Reaktion des Hummerauges. Z. Biol. **69**, 125 (1919). — RÖSCH, H.: Weitere Untersuchungen über die Ammoniakbildung in der Netzhaut. Hoppe-Seylers Z. Chem. **186**, 237 (1930).

SACHS, E.: Die Aktionsströme des menschlichen Auges, ihre Beziehung zu Reiz und Empfindung. Berl. physiol. Ges. 9. Juli 1928. Klin. Wschr. **8**, 136 (1929). — SCHROEDER, H.: Die zahlenmäßige Beziehung zwischen den physikalischen und physiologischen Helligkeitseinheiten und die Pupillenweite bei verschiedener Helligkeit. Z. Sinnesphysiol. **57**, 214 (1926). — SCHRÖDINGER, E.: Über den Ursprung der Empfindlichkeitskurven des Auges. Naturwiss. **12**, 925 (1924). Ref. Zbl. Ophthalm. **14**, 599. — SCHWARTZ, A.: Über die Abhängigkeit der elektrischen Eigenschaften der Froschhaut von der Beschaffenheit der daran angrenzenden Medien und vom Nervensystem. Pflügers Arch. **162**, 547 (1915). — SHEARD, C. u. C. Mc PEEK: On the electrical responses of the eye to stimulation by light of various wave-lengths. Amer. J. Physiol. **48**, 45 (1919).

TIRALA, L.: Die physiologischen Vorgänge in der Netzhaut und ihre Deutung auf Grund neuer Methoden. Arch. f. Physiol. **1917**, 125. — TRENDELENBURG, W.: (a) Quantitative Untersuchungen über die Bleichung des Sehpurpurs in monochromatischem Licht. Z. Sinnesphysiol. **37**, 1 (1904). (b) Die objektiv feststellbaren Lichtwirkungen an der Netzhaut. Erg. Physiol. **11**, 21 (1911). — TSCHERMAK, A.: Licht und Farbensinn. BETHES Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. **12**, I, 477 (1929).

VOGELSANG, K.: Die Empfindungszeit und der zeitliche Verlauf der Empfindungen. Erg. Physiol. **26**, 178 (1928). — VOGT, A.: Züricher Antrittsrede vom 1. Dez. 1923, S. 14 f.

WALLER, A. D.: (a) On the retinal currents of the Frog's Eye, excited by Light and excited electrically. Philos. Trans. roy. Soc. **193**, B, 123 (1900). (b) On the „Blaze Currents“ of the Frog's Eyeball. Philos. Trans. roy. Soc. **194**, B, 183 (1901). (c) Die Kennzeichen des Lebens vom Standpunkte elektrischer Untersuchungen. Übersetzung. Berlin 1905. (d) Note on the latency of the photo-electrical response of the frog's retina before and after massage of the eyeball. Quart. J. exper. Physiol. **2**, 401 (1909). — WALTER, H.: Theoretische Betrachtungen über die Beziehungen der MITSCHERLICH'schen Produktionskurve und des WEBER-FECHNER'schen Gesetzes zum Massenwirkungsgesetz. Naturwiss. **12**, 25 (1924). — WEGNER, W.: Die Funktion der menschlichen Netzhaut bei experimenteller Ischaemia retinae. Arch. Augenheilk. **98**, 514 (1928). — WEIGERT, F.: Photochemisches zur Theorie des Farbensehens. BETHES Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie Bd. **12**, I, 536 (1929). — WEIGERT, F. u. JITARO SHIDEI: Farben-tüchtigkeit, eine neue Eigenschaft des latenten photographischen Bildes. Naturwiss. **18**, 532 (1930). — WESTERLUND, A.: (a) Studien über die photoelektrischen Fluktuationen des isolierten Froschauges unter der Einwirkung von Stickstoff und Sauerstoff. Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) **19**, 337 (1907). (b) Die Potentialverteilung an der Oberfläche eines Augenmodells. Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) **26**, 129 (1912). (c) Einige Beobachtungen über die photoelektrische Potentialverteilung an der Oberfläche eines isolierten Froschauges. Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) **27**, 260 (1912).

# Lichtsinn.

Von

W. COMBERG-Berlin.

Mit 83 Abbildungen.

## I. Allgemeines über den Lichtsinn und seine Erforschung.

Der Lichtsinn äußert sich bei allen etwas höher organisierten Tieren in der Fähigkeit, auf Lichtreize mit Hilfe besonderer lichtempfindlicher Sinnesorgane zu reagieren. Der Mensch kann seinen Lichtsinn an dem Vermögen der Helligkeitsempfindung selbst erkennen und prüfen.

Es ergibt sich, daß wir Helligkeit auch noch bei sehr geringgradigen physikalischen Einwirkungen wahrnehmen, unser Auge also eine große Empfindlichkeit besitzt. Bis zu einer bestimmten Abstufung können wir auch Helligkeitsdifferenzen mit großer Feinheit unterscheiden.

Die Fähigkeit, schwache Lichter zu erkennen, wird bei längerem Dunkel-aufenthalt durch eine besondere Anpassung des Sehorgans enorm gesteigert (Dunkeladaptation). Bei hellem Licht wird das Auge dagegen ziemlich schnell in einem der Intensität entsprechenden Grade abgestumpft und so in kurzer Zeit für die sehr viel stärkeren Reize der hellen Beleuchtung passend umgestellt (Helladaptation).

Gewöhnlich wird eine Lichtempfindung nur durch sogenannte adäquate Reize hervorgerufen, nämlich durch elektromagnetische Strahlung von bestimmter Wellenlänge, die auf die Sinnesepithelien der Netzhaut wirkt; indes können am Auge, ebenso wie an anderen Sinnesorganen, auch nicht adäquate Reize eine Sinneserregung auslösen. Diese führt am Auge aber immer nur zu einer Lichtempfindung. Das entspricht einem schon von JOHANNES MÜLLER vor mehr als 100 Jahren ausgesprochenen Gesetz, nach welchem jeder Nerv eine Erregung immer nur mit Empfindungen seines Qualitätenkreises beantworten kann.

Infolge seines zweckmäßigen Baues ist das menschliche Auge vor nicht adäquaten Reizen im allgemeinen weitgehend geschützt; indes können zu Untersuchungszwecken auch solche nicht adäquaten Reize gelegentlich mit großem Vorteil benutzt werden.

Das Sehen von Helligkeiten, auch soweit es mit dem normalen physiologischen Geschehen im Zusammenhang steht, ist der Inhalt eines durch das Sehorgan vermittelten einfachsten, im allgemeinen zwangsläufig und unmittelbar auf die Reizung folgenden *seelischen Erlebnisses*; es ist also ein psychisches Korrelat einer prinzipalen Funktion der Sehsinnessubstanz (vgl. AUBERT). Beim Sehen von Helligkeit ohne bunte Farbe liegt weder eine Differenzierung durch die Qualitäten des Farbensinnes vor, noch spricht zwangsläufig in gleichem Maße ein Urteil mit hinein, wie z. B. bei den Leistungen des Raumsehens. Man hat bei den Empfindungen des Lichtsinnes die denkbar einfachsten Verhältnisse der Sehfunktion vor sich.

Der Sehakt unter diesen einfachsten Bedingungen besteht darin, daß ein peripherer adäquater Reiz (physikalischer Lichtreiz) die Sinneszellen erregt, physiologische Vorgänge im Sehorgan auslöst, denen psychische Vorgänge (im einfachsten Falle also nur Helligkeitsempfindungen) zugeordnet sind. Aber selbst diese einfache Leistung der Sehsinnessubstanz, die eine Voraussetzung für die normale Betätigung des Lichtsinnes ist, hängt doch noch von einer größeren Zahl von Bedingungen ab. Es wird bestimmt:

1. von der Art und Quantität einer erregenden physikalischen Energie, der Lichtstrahlung,
2. von der Art der Zuleitung zu den lichtempfindlichen Sinneszellen, und der durch diese Zuleitung beeinflussten Einwirkung an den peripheren Empfängern, also im Auge an den flächenhaft angeordneten Sehepithelien,
3. von dem Erregungsvorgang in den lichtempfindlichen Sinneszellen,
4. von der Weiterleitung in den Nervenbahnen des Sehorgans,
5. von der Aufnahme in den zugehörigen Hirnzentren und
6. von der psychischen Verarbeitung der Erregungsvorgänge.

Nur die unter 1. genannte physikalische Energie ist wirklich genau meßbar und kann im Experiment in jeder wünschenswerten Form eingestellt werden. Über die psychischen Vorgänge, die am anderen Ende der vorher aufgestellten Reihe liegen, vermag man leider eine objektive Aufzeichnung überhaupt nicht zu erhalten. Man kann nur den Untersuchten seine Empfindungen (bzw. seine Wahrnehmungen) schildern und mit zeitlicher Registrierung den Moment der Beobachtung oder bei Vergleich mit anderen Empfindungen die Art der Vergleichsreize aufzeichnen. Über alle zwischen der Einwirkung des physikalischen Lichtreizes und der Empfindung (bzw. der Wahrnehmung) liegenden Vorgänge bekommen wir leider auch nur in geringem Maße objektive Anhaltspunkte. Abgesehen von der Messung einiger elektrischer Erscheinungen und der Beobachtung der Pupillenreaktion sind wir deshalb ganz und gar auf die subjektiv beeinflussten Angaben der Versuchspersonen angewiesen. Aus diesem Grunde sind unsere Kenntnisse über die meisten der in Betracht kommenden Vorgänge auch heutzutage noch im wesentlichen auf Annahmen hypothetischer Natur gestützt. Experimente, die hier Klarheit schaffen könnten, sind besonders schwierig. In klinischer Hinsicht sind wohl schon mancherlei Tatsachen bekannt, welche wenigstens ärztlich große Bedeutung besitzen. Die erheblichsten Schwierigkeiten wissenschaftlicher Untersuchungen auf dem Gebiete des Lichtsinnes liegen aber darin, daß physikalische, physiologische und psychologische Vorgänge miteinander verflochten sind, daß dabei die Sinnesphysiologie „die Bewußtseinsinhalte berücksichtigen muß, in denen sich physische Lebensäußerungen verraten“, ja daß „die Physiologie das meiste, was sie über die Vorgänge in dem Sinnesorgan und im Gehirn erschließen konnte, auf bestimmte psychische Symptome gegründet hat“ (WUNDT).

Eine gute geschichtliche Betrachtung über die Auffassung vom Zustandekommen der Empfindung ist in der physiologischen Optik von HELMHOLTZ enthalten. Die ältere Philosophie glaubte, daß sich die Bilder oder die Strahlen der leuchtenden Gegenstände als etwas Substantielles loslösen; vielfach wurde angenommen, daß eine Strahlung ähnlicher Art vom Auge ausgeht und sich an den Gegenständen mit dem äußeren Licht trifft. Letzte Nachklänge davon finden sich in bekannten Äußerungen Goethes. Lange Zeit wurde das Psychische des Sehaktes vernachlässigt, namentlich als die Fortschritte der Naturwissenschaft ermöglichten, die physiologische Optik weiter auszubauen. J. MÜLLER verdanken wir die Lehre von den spezifischen Sinnesenergien; v. HELMHOLTZ, der sich in der physiologischen Optik an NEWTON und YOUNG anschloß, brachte in vielen

Punkten seiner empirischen Orientierung schon eine weitgehende Berücksichtigung psychologischer Momente. HERING war der erste, welcher dem psychologischen Teil des Sehvorganges eine Hauptrolle zuwies.

Die hauptsächlichsten älteren Bearbeitungen des Lichtsinnestammes von AUBERT, v. HELMHOLTZ, HERING, A. FICK. Als besonders wichtige Arbeiten sind weiter die v. KRIESSchen Publikationen zu nennen. Die HERINGschen Anschauungen sind in neuerer Zeit von v. HESS und namentlich von TSCHERMAK weitergeführt worden. Bekanntere englische Bearbeitungen der Physiologie des Lichtsinnestammes stammen von EDRIDGE GREEN und PARSONS. Eine „psychologische Optik“, also eine Darstellung der Physiologie unter Voranstellung psychologischer Gesichtspunkte ist von KIRSCHMANN herausgegeben worden. Für die Messung der Helligkeiten und Farben war OSTWALDS Farbenlehre von großer Bedeutung. Für die Physiker wurden die Gesichtsempfindungen von SCHRÖDINGER in MÜLLER-POUILLETs Handbuch dargestellt. Über die Netzhautfunktionen findet man Näheres in einer Sammelarbeit von BASLER. Alte und neue Anschauungen über die Energieumwandlung in der Netzhaut behandelt ein inhaltsreiches Sammelreferat von ZOTH. Schließlich hat FRÖHLICH neuerdings in einer kurzen Darstellung die Grundzüge einer Lehre vom Licht- und Farbensinn zusammengefaßt. Ein tabellarisches Übersichtswerk erschien in den *Tabulae biologicae*, Abteilung Gesichtsempfindungen, von KOHLRAUSCH, TEUFER und SACHS bearbeitet.

#### Literatur.

##### *Allgemeines über den Lichtsinn und seine Erforschung.*

ADAMS, DOROTHY: Dark Adaptation. Reports of the Committee upon the physiology of vision, Vol. 2. London 1929. — AUBERT, H.: (a) Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865. (b) Physiologische Optik. Handbuch von GRAEFE-SAEMISCH, 1. Aufl. Leipzig 1876.

BASLER, ADOLF: Netzhautfunktionen. Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. 5, Lief. 55. 1922. — BOHNENBERGER, F.: Die Bedeutung der OSTWALDSchen Farbenlehre. Tübing. naturwiss. Abh. H. 7. 1924.

EDRIDGE GREEN, F. W.: The physiology of vision. 2. ed. London 1920.

FICK, A.: Die Lehre von der Lichtempfindung. HERMANNs Handbuch der Physiologie, Bd. 3. Leipzig 1879. — FRÖHLICH, F. H.: Grundzüge einer Lehre vom Licht- und Farbensinn. Jena 1921.

HELMHOLTZ, H. v.: Physiologische Optik, 3. Aufl., 1909—1911. — HERING, H.: (a) Lehre vom Lichtsinn. Wien 1876. (b) Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn, Handbuch der ges. Augenheilkunde von GRAEFE-SAEMISCH, 6. Aufl. Leipzig-Berlin 1905—1921. — HESS, C.: Methodik zur Untersuchung des Licht- und Farbensinns sowie des Pupillenspiels. Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. 5, Teil 6. 1921.

KIRSCHMANN, A.: Psychologische Optik. Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden Abt. 6, Lief. 225. 1927. — KOHLRAUSCH, TEUFER u. SACHS, in OPPENHEIMER u. PINKUSSEN: *Tabulae biologicae*. Abt. Gesichtsempfindungen, Bd. 1, S. 299; Bd. 4, S. 518. Berlin 1925—1927. — KRIES, J. von: (a) Die Gesichtsempfindungen und ihre Analyse. Arch. Anat. u. Physiol. Leipzig 1882. (b) Die Gesichtsempfindungen. NAGELs Handbuch der Physiologie, Bd. 3. 1905. (c) Über die Funktionsteilung im Sehorgan und die Theorie der Nachtblindheit. Klin. Mbl. Augenheilk. 49, 241 (1911). (d) Zur physiologischen Farbenlehre. Klin. Mbl. 70, 577 (1923). (e) Zur Theorie des Tages- und Dämmerungssehens. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie von BETHE-BERGMANN, Bd. 12, 1, S. 678. Berlin 1930.

MÖLLER, H. U.: Untersuchungen über das Dunkelsehen mit TSCHERNINGS photometrischen Gläsern. Acta ophthalm. (Köbenh.) 7, 1 (1929). — MÜLLER, G. E.: Über die Farbeempfindungen. Z. Psychol. u. Physiol. Sinnesorg. 17/18, Erg.-Bd. Leipzig 1930. — MÜLLER, JOH.: Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes usw. Leipzig 1826.

NAGEL: Beitrag in TIGERSTEDT's Handbuch der physiologischen Methodik, Bd. 3, 1, 1914.

OSTWALD, W.: Die Farbenlehre. Leipzig 1921.

PARSONS, J. H.: An introduction to the study of colour vision. Cambridge Univ. Press 1924.

SCHRÖDINGER, H.: Die Gesichtsempfindungen. MÜLLER-POUILLETs Lehrbuch der Physik, 2. Aufl., 1926.

TSCHERMAK, A.: (a) Die Hell-Dunkel-Adaptation und die Funktion der Stäbchen und Zapfen. *Erg. Physiol.* **1**, 695 (1902). (b) Licht- und Farbensinn. *Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie* von BETHE-BERGMANN, Bd. 12, 1, S. 296.

WUNDT, W.: *Grundzüge der physiologischen Psychologie*, 6. umgearb. Aufl. Leipzig 1908.

ZOTH: Alte und neue Anschauungen über die Energieumwandlung in der Netzhaut. *Erg. Physiol.* **22**, 345 (1923).

## II. Allgemeines über Empfindung und Wahrnehmung.

**Empfindung und Wahrnehmung.** Nach der alten Klassifizierung waren „Empfindungen“ durch Sinneserregungen oder durch innere (psychische) Empfindungsreize hervorgerufene elementare psychische Vorgänge schlechthin, d. h. solche, bei denen von etwa begleitenden Gefühlen abstrahiert werden konnte (WUNDT). HELMHOLTZ sagt bei der Besprechung der Sinnesempfindungen (2. Aufl., S. 586): „Empfindungen sind Wirkungen, welche durch äußere Ursachen in unseren Organen hervorgebracht werden“. Diese Empfindungen konnten entsprechend der Intensität des Reizes verschiedene Intensitäten und entsprechend der Art des Reizes verschiedene Qualitäten haben. Bei den *Sinnesempfindungen* sind es aber letzten Endes nach dieser Auffassung wesentlich die physikalischen Einwirkungen der Außenwelt, die in der vorher dargelegten Weise die Empfindungen hervorbringen, verändern und abstufen. Sowohl im Sinne des Physiologen HELMHOLTZ wie des in mancher Beziehung anders orientierten Psychologen WUNDT waren Empfindungen die Endvorgänge in dem wesentlich durch äußere Reize bedingten, von der Sinnessubstanz ziemlich automatisch, jedenfalls gesetzmäßig, regulierten Ablauf von Prozessen. Diesen wurden von HELMHOLTZ die Wahrnehmungen gegenübergestellt, bei denen induktive Schlüsse hineinspielen. Die „Empfindung“ war z. B. für HELMHOLTZ etwas so Elementares, daß er glaubte, daß nichts als Empfindung anerkannt werden dürfe, „was durch Momente, die nachweisbar die Erfahrung gegeben hat, im Anschauungsbilde überwunden und in sein Gegenteil verkehrt werden kann“.

Die Wahrnehmung wird auch in den modernen Darstellungen (vgl. z. B. KOFFKA, S. 1215) als ein durch Erregung der Sinnesorgane in Gang gehaltener psychischer Aufnahme-prozeß angesehen, bei welchem die höheren Zentren und die assoziative Tätigkeit eine bedeutsame Rolle spielen. Ist bezüglich der Wahrnehmung die Auffassung eines HELMHOLTZ und anderer älterer Autoren nur wenig geändert worden, so bahnt sich jedoch neuerdings bei dem Empfindungsbegriff eine starke Umwertung an. Galt früher im vorher erwähnten Sinne die einfachste psychische Reaktion, soweit sie von Gefühlen und Vorstellungen frei gehalten werden konnte, schlechthin als Empfindung, so ist diese Auffassung neuerdings doch sehr umstritten. Es wird (mit Recht) darauf hingewiesen, daß auch bei den primitivsten „Empfindungen“ eine Art bewußter und gestaltender Wahrnehmung oder unbewußter Verarbeitung des Empfindungsinhaltes niemals ganz fehlen kann. Nach KROH z. B. herrscht zwar eine allgemeine Übereinstimmung, daß Empfindungen die aus der Analyse der Wahrnehmungen entstehenden elementaren Sinneserregungen seien, und es würden deshalb Farbtöne u. dgl. in der Psychologie auch unter dem Kapitel „Empfindungen“ behandelt, aber schließlich habe doch auch die elementarste Empfindung gewisse „genau angebbare Qualitäten, Intensitäten und — zeitliche und räumliche — Extensionen“. Damit sei aber schon zugegeben, daß die so abgegrenzten Empfindungen nicht im vollen Sinne des Wortes als elementare Prozesse bezeichnet werden können. Jede bemerkte Empfindung habe eine bestimmte Lokalisation, und auch ein gegenständliches Etwas sei in Wirklichkeit eine Wahrnehmung. Man kann KROH wohl zustimmen, wenn er voraussieht,

daß eine spätere Psychologie die Empfindungen nur als einen „Hilfsbegriff“ ansehen werde, „dem wir zwar durch eine künstliche Abstraktion unseres Bewußtseins einen bestimmten Inhalt zuteilen können, dem aber in der Wirklichkeit des Erlebens, auch im Laboratoriumsversuch, nichts entspricht“.

Das Problem, ob es Empfindungen an sich gibt, oder ob jede bemerkte und registrierte Empfindung nicht in Wirklichkeit eine Wahrnehmung sei, hat eine gewisse aktuelle Bedeutung bekommen, weil bei den Untersuchungen des Lichtsinnes neuerdings von verschiedenen Autoren nach ihrer Annahme gerade die „Empfindungszeit“ gemessen worden ist, während andere Autoren das Resultat ähnlicher Untersuchungen als „Wahrnehmungszeit“ bezeichnet haben. Es muß als höchst zweifelhaft bezeichnet werden, ob man eine reine „Empfindungs“-Zeit messend erfassen kann.

**Rolle des Bewußtseins und der Aufmerksamkeit.** Da es sich bei allen Wahrnehmungen und auch bei den einfachsten „Empfindungen“ auf dem Gebiete des Lichtsinnes um psychische Vorgänge handelt, so muß bei ihrer Beobachtung immer das *Bewußtsein* eingeschaltet werden; ohne Bewußtsein können wir uns nicht Rechenschaft von den Erregungen geben, welche dem Gehirn von unseren Sinnesorganen zufließen. Mit „Bewußtsein“ ist aber (nach WUNDT) die Bildung von Vorstellungen zwangsläufig verbunden, die aus der Verknüpfung von mehreren Empfindungsinhalten hervorgehen.

Es kann verschiedene Stufen des Bewußtseins überhaupt, also auch verschiedene Intensitäts- bzw. Klarheitsgrade der Lichtempfindung bzw. -wahrnehmung geben, die von der individuellen Disposition und vor allem von der *Aufmerksamkeit* und von der Apperzeption abhängig sind.

Die Aufmerksamkeit, welche die Apperzeptionsfähigkeit beeinflusst, ist fast dauernd starken Schwankungen unterworfen; sie unterliegt einer Minderung durch ablenkende Sinnesreize, ebenso durch Ermüdung; sie kann andererseits auch stark gehoben werden durch die Einwirkung von fördernden Vorstellungen. (Über den Ablauf der direkten Sinnesvorstellungen und die Festlegung der wichtigsten Verhältnisse durch Reaktionsversuche vgl. WUNDT, *Physiol. Psychol.* Bd. 3, S. 357; sowohl psychische Einflüsse als auch toxische Einwirkungen haben dabei eine sehr große Bedeutung.) Die Aufnahme der Sinneseindrücke ist auch von einer Übung in dem in Betracht kommenden Gebiete abhängig.

Nur wenn die Sinneserregung einen gewissen optimalen Stärkegrad besitzt, kann die möglichst vollständige Anpassung der Apperzeption stattfinden. Häufig werden *mittlere* Intensitäten mit Erregungsvorgängen mittlerer Stärke die günstigsten Bedingungen abgeben. Es ließe sich (nach WUNDT) der Fall konstruieren, in dem trotz zunehmender Stärke der Empfindungselemente doch die Klarheit der Vorstellungen nachläßt.

**Reproduzierte Empfindungen, eidetische Phänome.** Das Vorhergesagte gilt alles zunächst für die direkt von äußeren Reizen abhängigen „Empfindungen“. Es ist aber für das Verständnis des ganzen bei der Aufnahme der Sinneseindrücke tätigen Mechanismus außerordentlich wichtig, sich gegenwärtig zu halten, daß es neben den durch direkte Reize bedingten „echten“ Sinnesempfindungen noch Erscheinungen gibt, welche von äußeren Eindrücken teilweise oder sogar ganz unabhängig entstehen und doch phänomenologisch in nichts von ihnen zu unterscheiden sind. Es sind dies die sogenannten *reproduzierten* Empfindungen oder Erinnerungsbilder, für welche übrigens eine individuell verschieden stark entwickelte Disposition besteht. Solche reproduzierten Erinnerungsbilder sind auch nicht immer von der Aufmerksamkeit und den übrigen Bewußtseinsinhalten abhängig, am wenigsten, falls sie als reine „Traumbilder“ erscheinen. Manche Menschen besitzen andererseits die Fähigkeit

(wie bekanntlich auch Goethe), freiwillig und nach Belieben Erinnerungsbilder hervorzurufen, die an Lebhaftigkeit den Originalen fast gleichen. Trotzdem haben diese Bilder ihr Eigenleben, haben wechselnde Formen, wechselnde Intensität. Die Psychologie weiß schon seit langer Zeit, daß die aus Erinnerungsbildern reproduzierten Vorstellungen (welche es auch für die einfachsten Sinnesempfindungen gibt), bei vielen Menschen durch ihre störende und stark wechselnde Einmischung in besonderem Maße eine Ursache für eine Inkonstanz bei allen Beobachtungen abgeben können. Ich selbst konnte bei Nachbildversuchen dieses Verhalten sehr deutlich bei mehreren Versuchspersonen feststellen.

In neuerer Zeit hat nun auch JAENSCH bei seinen Versuchen gefunden, daß fast alle Kinder sowie manche Erwachsene gar nicht in der Lage sind, das Dargebotene rein objektiv aufzufassen, wie es (nach JAENSCH) der seltenere Typus des nüchternen „desintegrierten“ invarianten Beobachters vermag. Es konnte festgestellt werden, daß besonders die Jugendlichen eine starke „Kohärenz“ ihres psychischen Geschehens mit der dinglichen Welt zeigen und ihre Eindrücke in „Anschauungsbildern“ empfangen, die von den subjektiven Vorstellungsbildern stark beeinflußt sind. Diese Jugendlichen und auch diejenigen Erwachsenen, welche in ihrem Verhalten gleiche Reaktionen aufweisen, hat JAENSCH als Angehörige eines „integrierten“ Typus gekennzeichnet und „*Eidetiker*“ genannt. Das verschiedene Verhalten beider Typen zeigt sich (nach JAENSCH) besonders auffallend bei der Beobachtung von Nachbildern.

Man kann diese Erscheinungen im Sinne der älteren Psychologie (SCHARNKE) oder im Sinne von JAENSCH auffassen. Übertragen wir die Resultate auf die Verhältnisse bei der Untersuchung des Lichtsinnes, so muß jedenfalls als gesichert gelten, daß zahlreiche Menschen wegen der Eigenart ihres psychischen Verhaltens gar nicht in der Lage sind, ihre Beobachtungen mit voller Objektivität zu machen, weil sich starke *subjektive Momente* hineinmengen. Gerade bei der Selbstbeobachtung von Sinneserregungen wird dieser Fehler besonders störend sein, weil hier (z. B. bei der Feststellung der Schwellenwerte) die Fehlerbreite an sich schon sehr groß ist.

**Helligkeits- und Farbenkonstanz.** Eines der Grundprobleme der Wahrnehmungspsychologie ist ferner die Frage, wie die bekannte *Helligkeits- und Farbenkonstanz* bedingt ist. HERING hatte die Farbenbeständigkeit der Sehdinge zum Gegenstande ausführlicher Erörterungen gemacht. Er hatte z. B. darauf hingewiesen, daß die schwarzen Buchstaben eines Papiers bei Mittagsbeleuchtung photometrisch gemessen dreimal lichtstärker sind als bei der frühen Morgenbeleuchtung das weiße Papier selbst, und trotzdem erscheinen bei der Mittagsbeleuchtung die Buchstaben schwarz und bei der Morgenbeleuchtung das Papier weiß. Was der Laie die wirkliche Farbe eines Dinges nennt, ist nach HERING eine in seinem Gedächtnis gleichsam fest gewordene Farbe desselben; HERING nennt sie deshalb „Gedächtnisfarbe“. „Alle Dinge sehen wir durch die Brille der Gedächtnisfarben“ — in der Tat zweifeln wir keinen Augenblick, daß die Dinge auch trotz wechselnder Beleuchtung eine konstante Farbe behalten, etwa wie eine substantielle käufliche Anstrichfarbe, die man einmal aufgetragen hat, die nun da ist und die man nur wegen der schlechten Beleuchtung (z. B. in der Dämmerung) oder wegen ungewöhnlicher Färbung der Lichtquelle nicht recht erkennen kann.

Mißt man als „Farben“ die physikalischen Lichtemissionen der Flächen unter den verschiedenen Beleuchtungen, so läßt sich feststellen, daß die stärksten objektiven Wechsel vorhanden sind. Trotzdem sehen wir diese Farben mit großer Konstanz. Das wesentlichste Mittel, die Farbe der Sehdinge trotz des Wechsels der Beleuchtung angenähert konstant zu erhalten, ist nach HERING in der Empfindlichkeitsänderung des Auges gegeben. Er führt folgende Faktoren an:

1. Die Wechselwirkung der somatischen Sehfeldstellen,
2. die allmähliche Änderung des Zustandes der Sehsinns substanz mit jeder sich ändernden Gesamtbeleuchtung und
3. das Pupillenspiel.

Erst weil infolge dieser physiologischen Hemmungen die Eindrücke sich weniger ändern, als dem sehr starken Wechsel der Lichtstärke entspricht, hat nach HERINGS Annahme die Psyche Gelegenheit und Anreiz, Gedächtnisfarben der Dinge zu bilden. HERING erkannte schon, daß die Erfahrung dabei eine Hauptrolle spielt. Die Gedächtnisfarben bleiben nach seiner Auffassung von dauerndem Einfluß auf die Art unseres Sehens.

Die Farbenkonstanz der Sehdinge ist neuerdings wieder durch JAENSCH untersucht worden, welcher von einer „Transformation“ spricht; er glaubte auf Grund seiner Versuche, daß die Gesamtbeleuchtung bei den Sehdingen unbewußt in Rechnung gestellt werde, ähnlich wie schon KATZ dies bei Versuchen über die Konstanz der bunten Farben gefunden hatte. Er beobachtete eine gewisse Erscheinungskonstanz für die Helligkeit umschriebener Felder, wenn diese bei Beleuchtungswechsel von einem Schatten getroffen werden und dabei mit einem nichtbeschatteten ähnlichen Felde verglichen werden konnten, und glaubte sogar, daß *Parallelgesetze* für Kontrast und Farbenkonstanz (Transformation) der Sehdinge aufzustellen seien. Eine scharf ablehnende Kritik hat dieser Versuch von G. E. MÜLLER erfahren, der nicht nur beträchtliche Versuchsfehler nachwies, sondern sogar feststellte, daß es sich nicht um Parallelgesetze, sondern um Gesetzmäßigkeiten geradezu entgegengesetzten Charakters handle.

KROH, welcher auch die Erklärung der Transformation durch den Kontrast ablehnt, stellt sich den Kontrast als peripheren, die Transformation als zentral verankerten Vorgang in verschiedenen Staffeln der Sehsubstanz vor. GRANIT möchte die wichtigste Bedeutung der Transformation nicht im Konstanthalten der Eigenfarben, sondern darin erblicken, daß durch sie eine prägnante Erfassung der Reizkonstellationen und eine Erzielung prägnanter Bilder möglich werde.

Bemerkenswert scheint mir unter den neueren Arbeiten auch ein Beitrag zur Analyse der Helligkeitskonstanz von KATONA, der eine Reihe von wichtigen psychologischen Momenten anführt, die als „Stützen“ der Konstanz anzusehen seien. Im allgemeinen gelte der Satz: Je mehr Anhaltspunkte, je mehr Stützen, um so größer ist die Konstanz. Die Stützpunkte, die im Sinne KATONAS wirken, sind in drei Gruppen einzuordnen:

1. Figurale Gliederung, Gestaltung nach der Form
  - a) gegenseitige Abhebung, klare Konturen,
  - b) Gegenständlichkeit, Figur als Gegensatz zum Grund;
2. Gestaltung nach der Farbe
  - a) Oberflächenfarben,
  - b) Gegenseitige Abhebung von Farben (Ausgeprägtheit der Farbmomente).
3. Bekanntheit.

Für möglich hält KATONA, daß es eine weitere Gruppe von Stützen in der Gliederung nach der dritten Dimension in einer Art Tiefensonderung geben könne, die allerdings im wesentlichen auf die vorerwähnten Gruppen 1 und 2 zurückzuführen sei. Schließlich wirke auch die Bewegung transformationsfördernd, wobei im wesentlichen die formelle und farbenmäßige Gliederung gehoben werde.

**Einfluß der Gestalt.** Einer besonderen Betrachtung bedarf an dieser Stelle noch die moderne *Gestaltpsychologie*, weil sie neue Perspektiven für viele Beobachtungen auf dem Gebiete des Gesichtssinnes gebracht hat. Nach KÖHLER haben wir eine natürliche Tendenz, alles in „Gestalten“, in „Zuständen und

Vorgängen“ wahrzunehmen, deren charakteristische Eigenschaften und Wirkungen aus artgleichen Eigenschaften und Wirkungen nicht zusammensetzbar sind. Auch bei der einfachsten „Empfindung“ spielt dies eine so bedeutende Rolle, daß wir gar nicht imstande sind, die einfachen Sinneserregungen des Sehorgans mit unserer Psyche schlechthin aufzunehmen, sondern ihnen notgedrungen irgendeine Gestaltung zuteil werden lassen müssen — im Sinne des KÖHLERSchen Satzes „Psychophysisches Geschehen im optischen Sektor hat die allgemeinen Eigenschaften von physischen Raumgestalten“. (Ob die eigenartigen physikalischen und anatomischen Grundlagen der KÖHLERSchen Gestalttheorie angenommen werden können, mag für unsere Überlegungen ganz dahingestellt bleiben. Bezüglich der Theorie vgl. KÖHLER, WERTHEIMER, KOFFKA, G. E. MÜLLER, FRÖHLICH, v. EHRENFELS, HERZ, VOM HOFE, LUND und zahlreiche andere Autoren, die hier nicht einzeln aufgeführt werden können<sup>1</sup>.)

Uns interessiert für die Verhältnisse des Lichtsinnes besonders, daß selbst das „Ganzfeld“ (das große in den Grenzen des ganzen Gesichtsfeldes gegebene Feld) noch eine in verschiedener Hinsicht wohl charakterisierbare Erscheinung bietet (vgl. dazu übrigens auch die Beobachtungen, die schon HELMHOLTZ und HERING gemacht haben, dann die neueren Arbeiten von ENGEL, METZGER, JABLONSKI). Nach den Untersuchungen von METZGER erscheint das Ganzfeld zunächst als Feld mit Oberflächencharakter, bei schwacher Beleuchtung als ein Nebel ohne bestimmte Entfernung. Bei zunehmender Beleuchtung schien es seinen Abstand zu vergrößern. Schon aus den älteren Untersuchungen über das Eigengrau, die auch am „Ganzfelde“ gemacht wurden, geht hervor, daß große individuelle Unterschiede in der Erscheinung festzustellen sind. Diese lassen sich jetzt mit der Gestalttheorie leichter erklären.

Ferner ist bedeutsam, daß die Gestaltlehre als wichtige gesonderte Teile des Reizkomplexes die *Figur* und den *Grund* unterscheidet. Die Figur, welche das größte Gewicht für die Aufmerksamkeit besitzt, im Wettstreit dominiert und in der Wirklichkeit unser Verhalten bestimmt, ist der Träger der „Gestalt“. Nur in speziellen Fällen kann man durch einen Willensprozeß eine Umkehr erzwingen und den Grund als Figur, die Figur als Grund betrachten.

Die Gestaltlehre kann uns im Sinne der vorher erwähnten Arbeit KATONAS eine gestalt-psychologische Erklärung der Farbenkonstanz geben. Das dem Gestalterleben zugrunde liegende psychische Geschehen spielt außerdem bei kleinen Feldern und bei den Erscheinungen an den Konturen eine besondere Rolle. Es wird alles, was diesseits und jenseits der Kontur liegt, unbewußt im Sinne der Gestaltwahrnehmung ergänzt und assimiliert; es entsteht dabei unter dem Einfluß von Helligkeitsdifferenzen ein Gegensatz zwischen den von der Grenze durchzogenen Gebietsteilen, der von den Anhängern der Gestaltpsychologie auch zur Erklärung des Kontrastes herangezogen werden kann.

**Psychophysisches.** Während im vorhergehenden Abschnitt dargestellt wurde, inwieweit verschiedenartige psychologische Einflüsse bei der Beobachtung von Sinneserregungen die Empfindung verändern können, muß jetzt noch erörtert werden, wie man sich das Abhängigkeitsverhältnis zwischen den physikalischen Reizen und den psychischen Korrelaten der dadurch ausgelösten physiologischen Prozesse vorzustellen hat, falls man bestimmte einfache quantitative Änderungen der physikalischen Einwirkungen vornimmt. Die ersten hierher gehörigen Beobachtungen, die zugleich zu wichtigen Gesetzesformulierungen führten, verdanken wir E. H. WEBER. Später hat G. TH. FECHNER sie in seiner Psychophysik weiter verarbeitet.

<sup>1</sup> Man vergleiche hierzu auch den Abschnitt von QUENSEL in Bd. 6 dieses Handbuches, S. 403 f.

FECHNER trug sich mit der Absicht, eine exakte Lehre von den Abhängigkeitsbeziehungen zwischen Körper und Seele zu schaffen. Sowohl das rein geistige seelische Geschehen, das der inneren Wahrnehmung zugrunde liegt, wie die uns näher interessierende, in einer unverkennbaren direkten Beziehung zum Materiellen stehende äußere *Wahrnehmung durch die Sinnesorgane* ist nach FECHNER auf *physiologische Prozesse der Nervensubstanz* unmittelbar zurückzuführen. Das Abhängigkeitsverhältnis zwischen Körper und Seele entspricht nach seiner Anschauung geradezu den Variablen  $x$  und  $y$  in einer Gleichung; FECHNER machte deshalb auch den Versuch, die Beziehungen mathematisch zu erfassen.

Die *sinnlichen „Empfindungen“* haben nach FECHNER eine direkte Abhängigkeit von der physiologischen Hirntätigkeit, aber nur eine mittelbare von dem äußeren Reiz, weil die Nervenleitung mit ihren besonderen Funktionen dazwischen eingeschaltet ist. Diejenigen physischen Tätigkeiten, welche *direkte* Unterlage des Psychischen sind, bezeichnet FECHNER als psycho-physische. Die reziproken Werte der Reize, die eben noch wahrgenommen werden, kennzeichnen die Feinheit unseres Empfindungsvermögens, sind also ein Ausdruck für die „*Empfindlichkeit*“. Es gehört schon bei FECHNER zur Definition des Empfindlichkeitsbegriffes, daß die Empfindlichkeit auf das doppelte wächst, wenn der halbe Reiz die gleiche Empfindung auslöst wie vorher der ganze (also z. B. auch eine eben merkliche Empfindung). Die Empfindlichkeit für minimale Reize und diejenige für Reizunterschiede sind aber zu trennen: FECHNER betonte schon, daß man in dem einen Falle die „absolute Empfindlichkeit“, in dem anderen die „Unterschiedsempfindlichkeit“ mißt.

Nach FECHNER ist die Tatsache von außerordentlicher Wichtigkeit, daß man zunächst immer nur ein Urteil über das Mehr oder Weniger der Empfindung, aber nicht die Möglichkeit eines quantitativen Vergleichs von Empfindungen hat. Die wichtige Frage der *Unterschiedsempfindlichkeit* hatte als erster bereits E. H. WEBER behandelt und dabei gefunden, daß der für eine eben merkliche Änderung der Empfindung notwendige objektive Reizzuwachs immer in gleichem Verhältnis zur Größe des vorhergehenden Reizes stehen muß, wenn eine eben merkliche Änderung der Empfindung entstehen soll. Man könnte zur Veranschaulichung auch sagen: Der Zuwachs zum vorhandenen Reiz muß prozentual immer gleich groß sein. WEBER hatte diese Verhältnisse zunächst bei der Ermittlung der Unterschiedsschwelle für Gewichtbelastungen der Haut festgestellt; FECHNER hat diesen Feststellungen den Namen „WEBERSches Gesetz“ gegeben.

Die Prüfung der absoluten Empfindlichkeit auf dem Gebiete der Lichtempfindung wird von FECHNER abgelehnt, weil er glaubt, daß das Eigenlicht die stärksten Störungen bedingen müsse. (Vielleicht hat FECHNER durch diese Ablehnung der absoluten Reizschwellenmessung dazu beigetragen, daß die in Deutschland schon von AUBERT angebahnte Adaptationsprüfung durch Messung der absoluten Schwellen in den nächsten Jahrzehnten nicht weiter ausgebaut wurde.)

Für die Prüfung des WEBERSchen Gesetzes hatte FECHNER unter anderem folgende Versuche benutzt:

1. Er nahm zwei Rauchgläser von je etwas mehr als ein Drittel Durchlässigkeit, legte sie übereinander und fand dann, daß bei Betrachten der Wolken die eben merklichen Unterschiede für ihn selbst und andere Versuchspersonen die gleichen blieben.

2. Er brachte fein abgeschattierte Tuschezeichnungen vor sein Auge, welche eben merkliche Unterschiede enthielten. Auch hier stellte er die gleiche Unterschiedsempfindlichkeit fest, auch wenn durch die Gläser nur  $\frac{1}{100}$  des Lichtes hindurchgelassen wurde.

3. Zog er MASSONSche Scheiben zu seinen Versuchen heran.

*FECHNER war aber von vornherein überzeugt, daß das WEBERSche Gesetz nur innerhalb gewisser Grenzen seine Gültigkeit besitze.*

Während E. H. WEBER zunächst nur festgestellt hatte, daß der eben merkliche Empfindungszuwachs stets eine gleiche prozentuale Reizerhöhung zur Voraussetzung habe, hat nun FECHNER dieses WEBERSche Gesetz in bedeutsamer Weise erweitert. Er stellte die Folgerung auf, daß die *Stärke der Empfindung* immer um den gleichen Betrag wächst, wenn der Reiz in einem bestimmten Verhältnis vermehrt wird. Aus der Formel  $y = c \log. x$ , in der  $y$  die Intensität des psychischen Prozesses und  $x$  die Intensität des zugehörigen physikalischen äußeren Prozesses,  $c$  eine Konstante bedeuten, läßt sich ableiten, daß die *Stärke der Empfindung* sich mit dem Logarithmus des Reizes ändere oder daß einer geometrischen Progression der physikalischen Reizzuwächse eine einfache arithmetische Progression der Empfindungszuwächse entspräche. In der von FECHNER angegebenen und von ihm als psycho-physisches Gesetz bezeichneten Formel bekäme man auf diese Weise direkt eine mathematische Formulierung über die Zunahme der Empfindungsintensitäten. *Ob das Gesetz in dieser Weise Gültigkeit hat, ist aber strittig geblieben.*

Man kann diesem Gesetz eine sehr einfache bildliche Darstellung geben, wenn man eine bei WUNDT wiedergegebene Abbildungsweise benutzt. In dieser Darstellung (vgl. Abb. 1) sind auf der Abszisse in gleichen Abständen die gleichen Empfindungszuwächse wiedergegeben, auf der Ordinate entsprechend den einzelnen Punkten dieses auf der Abszisse abgetragenen Maßstabes die zugehörigen Reizzuwächse.

Es entsteht dann eine logarithmische Linie, welche für jeden Punkt des Empfindungszuwachses den notwendigen Reizzuwachs ablesen läßt. (Die Abbildung ist überdies geeignet, von einer geometrischen Progression überhaupt eine Vorstellung zu geben, welche im physiologischen Geschehen offenbar bei vielen Prozessen für den mittleren Bereich eine gewisse Rolle spielt, so z. B. bei der Dunkeladaptation.)

Unter der Annahme, daß Erinnerungen noch die Form der Anschauungen tragen und die zugehörigen Prozesse in Parallele zu denjenigen zu setzen seien, welche zu den unmittelbaren Anschauungen führen, konnte FECHNER die äußere Psychophysik, also die Ableitung von Gesetzmäßigkeiten für die Empfindung unserer Sinnesreize, auch noch auf das Gebiet der inneren Psychophysik übertragen. Interessant ist, daß nach FECHNER eine Abhängigkeit zwischen den zwei körperlichen Tätigkeiten, wie sie einerseits durch die Reizwirkung (Erregung der Sinnesorgane), andererseits durch die rein psychophysische Tätigkeit (analoge Prozesse im Zentralorgan) repräsentiert wird, im Sinne der physikalischen und physiologischen Gesetze nicht denkbar ist. Trotzdem glaubt er allgemein an eine Abhängigkeit zwischen psychischer und physischer Tätigkeit im Sinne seiner Formeln, schiebt also den Ort, an dem die Umsetzung der geometrischen Aktionsänderung in eine arithmetische Änderung des Erfolges anzunehmen ist, bis unmittelbar an die Grenze der rein psychischen Prozesse heran.

Die FECHNERSchen Formulierungen haben die Grundlage zu brauchbaren Arbeitshypothesen geschaffen. Es ist kein Zweifel, daß sie in weiten Gebieten das Tatsächliche annähernd wiedergeben, jedenfalls bedeutend richtiger, als wenn man nur eine einfache arithmetische Beziehung in Ansatz bringen wollte. Zwar sind zahlreiche Einwände gemacht worden, und später ist allgemein betont worden, daß der Gültigkeitsbereich gewisse Grenzen nicht überschreiten kann. Jedoch auch die bedeutendsten Kritiker, z. B. v. HELMHOLTZ und G. E. MÜLLER, haben das große Verdienst FECHNERS anerkannt, das darin besteht,

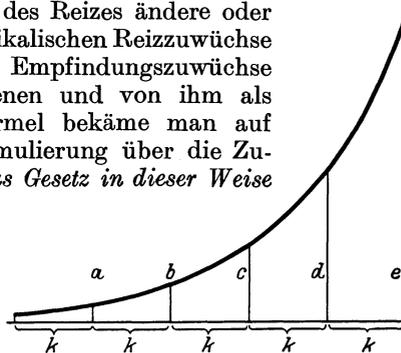


Abb. 1. Logarithmische Kurve zur Veranschaulichung der Abhängigkeit der Empfindungsstärke (Abszisse) von der Reizstärke (Ordinaten). Es verhält sich  $b/a = c/b = d/c = e/d$ . (Gezeichnet in Anlehnung an WUNDT; Physiologische Psychologie, Bd. 1, S. 619.)

den Zusammenhang zwischen physiologischem und psychologischem Geschehen zum ersten Male auf eine Formel gebracht und im Sinne bestimmter Gesetzmäßigkeiten interpretiert zu haben. FECHNER gab selbst weitere Formeln für die Abweichungen an der unteren Grenze an. HELMHOLTZ berücksichtigte bei seinen Formeln das Eigenlicht und brachte weiter eine Differentialformel für die obere Grenze, für die das FECHNERSche Gesetz gültig sein kann.

Eine eingehende experimentelle Untersuchung über die Gültigkeit des WEBERSchen Gesetzes *im Gebiete des Lichtsinnes* wurde von KÖNIG und BRODHUN vorgenommen. Sie prüften die Unterschiedsempfindlichkeit für rein weiße Spektrallichter, nachdem sie vorher eine genaue Abstufung der Intensitäten vorgenommen hatten, und glaubten festzustellen, daß im Bereich eines großen Gebietes eine Gültigkeit des WEBERSchen Gesetzes unter den Umständen des Versuches anzunehmen sei. Von HERING wurde aber darauf hingewiesen, daß die adaptive Veränderung des Auges und das Pupillenspiel bei diesen Versuchen nicht berücksichtigt wurden. Auch SCHIRMER hat mit seinen Untersuchungen eigentlich nichts anderes festgestellt, als daß die Adaptation mit der Zunahme oder der Abnahme der absoluten Schwellenwerte auch eine entsprechende relative Zu- oder Abnahme der zur Erregung notwendigen Intensitäten bedingt.

Nach WUNDT läßt das WEBERSche Gesetz — soweit es gültig ist — drei Deutungen zu, eine physiologische, eine psychophysische und eine psychologische. Die physiologische Deutung erklärt die Gültigkeit des Gesetzes mit Eigentümlichkeiten der Nerven-erregung. Da jedoch nach FICKs Versuchen die Muskelzuckung der Stärke der Stromstöße entsprechend proportional zunimmt, sei man gezwungen, die Transponierung der Vorgänge aus den Verhältnissen des geometrischen Zuwachses in den arithmetischen Zuwachs mindestens in höhere Zentren zu verlegen und etwa mit G. E. MÜLLER anzunehmen, daß die Erregungen in der grauen Substanz mit abnehmender Intensität weitergeleitet werden. Wenn man im Sinne der psychophysischen Auffassung und im Sinne FECHNERS von einer Wechselbeziehung zwischen Materiellem und Geistigem ausgeht, so muß man die eigentümliche WEBER-FECHNERSche Gesetzmäßigkeit als etwas nicht weiter Erklärbares hinnehmen, das eben die Zusammenhänge zwischen seelischen und körperlichen Funktionen kennzeichnet. Die psychologische Erklärung ist nach WUNDT schließlich weiter nichts als die Grundlage für ein besonderes Apperzeptionsgesetz, als der Spezialfall eines allgemeineren Gesetzes für die Beziehungen zwischen den Bewußtseinszuständen. Man könnte dann sagen „die *Merklichkeit* einer Empfindung wächst proportional dem Logarithmus der Empfindungsintensitäten“.

Ohne Zweifel sind in letzter Zeit Bestrebungen erfolgreich gewesen, den Gültigkeitsbereich des WEBER-FECHNERSchen Gesetzes einer rein physiologischen Erklärung zuzuführen. HECHT rechnete die alte KÖNIGSche Kurve auf konstante Pupillenweiten um und fand dann sowohl für das Stäbchensehen (von 0,0000484—0,00732 Millilambert Leuchtdichte derjenigen Flächen, welche eine Empfindung auslösen), wie für das Zapfensehen (von 0,019 bis 3853,0 Millilambert) Bereiche, in welchen das WEBER-FECHNERSche Gesetz annähernd gültig ist, wenn man die von HECHT propagierte Theorie der Stoffbildung heranzieht. Nach den Messungen von KÖNIG und BRODHUN wären dann 572 einzelne Abschnitte für die Stufen der Lichtempfindlichkeit in Ansatz zu bringen, wobei ein Drittel den Stäbchen zukommt. HECHT hat später sogar den Versuch gemacht, die Lichtempfindlichkeit der Elemente nach dem Alles- oder Nichts-Gesetz auf eine verschiedene Empfindlichkeit der entsprechend vielen Gruppen von Empfängern in der Netzhaut zu gründen. Nach BEST wäre es damit möglich, die Zunahme der Sehschärfe mit der Beleuchtung gut zu erklären. Allerdings wäre eine erstaunlich große Variationsbreite für die Zapfen in Kauf zu nehmen.

Eine neuere dem Augenarzt leicht zugängliche in mancherlei Beziehung aufschlußreiche Betrachtung über das WEBER-FECHNERSche Gesetz, welche zugleich ausgezeichnete bildliche Veranschaulichungen enthält, findet sich bei WEISS.

## Literatur.

*Allgemeines über Empfindung und Wahrnehmung.*

- BEST: Referat zu HECHT. Zbl. Ophthalm. 15, 34 (1924).
- EHRENFELS, v. CHR.: Über Gestaltqualitäten. Vjschr. wiss. Philos. 15, 263 (1890). —
- ENGEL, WILLY: Optische Untersuchungen am Ganzfeld. 1. Mitt. Die Ganzfeldanordnung. Psychol. Forschg 13, 1 (1923).
- FECHNER, G. TH.: Elemente der Psychophysik. Leipzig 1860. — FRÖHLICH: Die Empfindungszeit, S. 264f. Jena 1929.
- GRANIT, K.: Farbentransformation und Farbenkontrast. Experimentelle Beiträge zur Theorie der Transformation. Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) 48, 147 (1926). —
- GURATZSCH, W.: Das Klarheitsrelief der Gesichtsempfindungen unter dem Einfluß der willkürlichen Aufmerksamkeit. Arch. f. Psychol. 70, 257 (1929).
- HECHT, S.: The visual discrimination of intensity and the WEBER-FECHNER Law. J. of gen. Physiol. 7, 235 (1924). — HERRING: Über FECHNERS psycho-physisches Gesetz. Sitzgsber. Wien. Akad. 72, 3, 310 (1875). — HERZ, MATHILDE: Die Organisation des optischen Feldes bei der Biene. 1. Arb. Z. Physiol. 8, 693 (1929). — HOFFE, K. VOM: Über eidetische Anlage beim Erwachsenen. Med. Klin. 1926, 1361.
- JABLONSKI, W.: Optische Untersuchungen am Ganzfeld. 4. Versuche über Nachbilder. Psychol. Forschg 13, 145 (1930). — JAENSCH, E.: (a) Parallelgesetz über das Verhalten der Reizschwelle bei Kontrast und Transformation. Z. Psychol. 83, 342 (1920). (b) Über den Aufbau der Wahrnehmungswelt und ihrer Struktur im Jugendalter. Z. Psychol. 85, 37 (1920). (c) Zur Methodik experimenteller Untersuchungen von optischen Anschauungsbildern. Z. Psychol. 86, 278 (1921).
- KATONA, G.: Zur Analyse der Helligkeitskonstanz. Psychol. Forschg 12, 94 (1929). —
- KÖHLER, W.: (a) Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand. Braunschweig 1918. (b) Gestaltprobleme und Anfänge einer Gestalttheorie. Jber. Physiol. Berlin: Julius Springer 1922. — KÖNIG u. BRODHUN: Experimentelle Untersuchungen über die psychophysische Fundamentalformel in bezug auf den Gesichtssinn. Sitzgsber. Berl. Akad. 1888, 917. — KOFFKA, K.: Psychologie der optischen Wahrnehmung. Handbuch von BETHE-BERGMANN, Bd. 12, 2, S. 1215. — KROH: (a) Über Farbenkonstanz und Farbentransformation. Z. Sinnesphysiol. 52, 181, 235 (1921). (b) Brief an den Verfasser.
- LUND, F. H.: The phantom of the „Gestalt“. J. of gen. Psychol. 2, 307 (1929).
- METZGER, WOLFGANG: Optische Untersuchungen am Ganzfeld. 2. Mitt. Zur Phänomenologie des homogenen Ganzfelds. Psychol. Forschg 13, 6 (1929). (b) Optische Untersuchungen am Ganzfeld. 3. Mitt. Die Schwelle für plötzliche Helligkeitsänderungen. Psychol. Forschg 13, 30 (1929). — MÜLLER, G. E.: (a) Über JAENSCH'S Zurückführung des Simultankontrastes auf zentrale Transformation. Z. Psychol. 63, 1 (1913). (b) Komplextheorie und Gestalttheorie. Göttingen 1923.
- ÖHRVALL, H.: Die Analyse der Sinneseindrücke. Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) 41, 227 (1921).
- SCHARNKE, A.: Über Beziehungen zwischen den eidetischen Phänomenen und den Sinnes-täuschungen. Sitzgsber. Ges. Naturwiss. Marburg 62, 591 (1927). — SCHIRMER, O.: Über die Gültigkeit des WEBERSchen Gesetzes für den Lichtsinn. Graefes Arch. 36 (4), 121 (1890). —
- SIEBERT, KARL: Plastisch-anschauliche Gedächtnisbilder. Ein Beitrag zur Psychologie der Halluzinationen und der eidetischen Phänomene. Arch. f. Psychol. 72, 516 (1929).
- WEBER, E. H.: Der Tastsinn und das Gemeingefühl. WAGNER'S Handwörterbuch der Physiologie, Bd. 3 II, S. 481. Braunschweig 1846. — WEISS, E.: WEBER-FECHNERSches Gesetz und Adaptation. Ber. 46. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. 1927, 308. — WERTHEIMER, M.: Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. Psychol. Forschg 1, 47 (1921); 4, 301 (1923). —
- WUNDT, W.: Grundzüge der physiologischen Psychologie, 6. umgearb. Aufl., Bd. 3. Leipzig 1908.

## III. Phänomenologie des Lichtsinnes.

## A. Analyse der einfachen Empfindungen des Lichtsinnes: Weiß, Schwarz und die Graureihe.

Wenn wir jetzt auf die *speziellen* Verhältnisse des Lichtsinnes eingehen und betrachten, in welcher Weise die äußeren Einwirkungen und die Empfindung, also die physikalischen Gegebenheiten innerhalb des Gesichtsfeldes und die psychischen Korrelate des Sehfeldes, *in qualitativer und quantitativer Beziehung* einander zugeordnet sind, so ist zunächst ein Hinweis nötig, daß neben der einfachen, von bunter Farbe unbeeinflussten Lichtempfindung dabei auch die

Helligkeitsverhältnisse der bunten Farben beachtet werden müssen. Weil vielfache Zusammenhänge zwischen Licht- und Farbensinn bestehen, gibt häufig erst die Berücksichtigung der gegenseitigen Beziehungen ein volles Verständnis für die Erscheinungen.

TSCHERMAK, welcher den sogenannten exakten Subjektivismus vertritt, hält es für richtig, jede Darstellung über das Gebiet des Licht- und Farbensinnes mit der *Analyse der Empfindungen* zu beginnen, wobei deren Ähnlichkeit und Verschiedenheit, die Koexistenzmöglichkeit der einzelnen Empfindungen und Qualitäten, ferner die zeitlichen und räumlichen Beziehungen festzustellen und die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen auf Elementarqualitäten zurückzuführen sei. Ist in dieser Weise das System logisch aufgebaut, so wird man eine brauchbare Grundlage haben, um alle Beziehungen zwischen der Einwirkung der Lichter und den zugehörigen Empfindungen zu erörtern.

**Prinzipal-Empfindungen.** Schon AUBERT hatte einige „prinzipale“, d. h. einfache, weniger komplizierte Empfindungen des Gesichtssinnes unterschieden. Zu den prinzipalen Empfindungen müssen nach v. KRIES in erster Linie die farblosen Empfindungen Weiß und Schwarz gerechnet werden. Allerdings hat schon AUBERT betont, daß es ganz reine, von allen anderen losgelöste Empfindungen selbst bei den „prinzipalen“ Empfindungen nicht gibt.

Nach v. KRIES lassen sich die Empfindungen des Licht- und Farbensinnes in einfachster Weise als Funktion dreier Variablen mathematisch darstellen; aus diesem Grunde könnte man eine gewisse Berechtigung zu der Annahme ableiten, daß ein gleichfalls als Funktion dreier Variabler darzustellender materieller Vorgang dem Geschehen zugrunde liege; wahrscheinlich ist das aber doch nicht so. Die Verhältnisse dürften weit komplizierter sein. G. E. MÜLLER, der bei seiner Theorie des Licht- und Farbensinnes in scharfsinniger Weise versucht hat, den einzelnen Tatsachen weitgehend gerecht zu werden, kam dabei notgedrungen zu einem sehr komplizierten Aufbau.

Als einfache *Lichtempfindungen* wird man ohne weiteres alle diejenigen bezeichnen können, welche keine besondere buntfarbige Komponente erkennen lassen. In diesem Sinne ist als einfache prinzipale Empfindung die des *Weiß* anzuführen. Ihr gegenüber steht die Empfindung des tiefsten *Schwarz*, welche ohne Zweifel auch als eine besondere, ganz eigentümliche, *durch das Sehorgan veranlaßte* Empfindung anzusprechen ist. Zwischen beiden steht die Reihe, welche von dem weißähnlichen, sehr hellen Grau zu dem schwarzähnlichen tiefdunklen Grau führt. Der Lichtsinn gibt uns, wie eingangs (S. 172) erwähnt, die Fähigkeit einer gewissen Feinheit in der Beurteilung der zugrunde liegenden objektiven Verhältnisse und auch eine gewisse Feinheit in der Erkennung von Intensitätsunterschieden. Berücksichtigt man, daß das nicht durch äußere Reize erregte Sinnesorgan in einem völlig lichtlosen Raum uns nicht die Empfindung des tiefen Schwarz, sondern nur eine Grauqualität vermittelt, so ist auch für die Erkennung der geringsten Lichtintensität auf einem ganz lichtlosen Grunde eigentlich immer nur eine Leistung der Unterschiedempfindlichkeit entscheidend. Wir erkennen das Licht oder selbst das schwächste Leuchten jeder, auch der nur eben noch wahrgenommenen Flächen unter den gewöhnlichen Bedingungen immer im Gegensatz zu einer noch dunkleren Umgebung.

Für die Weiß-Schwarzreihe besteht aber, wie v. KRIES erwähnt, insofern eine Besonderheit des psychologischen Tatbestandes, als bei dieser Reihe von Weiß bis Schwarz stets die nebeneinander liegenden Stufen als etwas Ähnliches und Gleichsinniges erkannt werden, während die den Enden zugehörigen Stufen gleichwohl den Eindruck machen, daß hier die eine und dort eine andere Empfindungsart stärker hervortritt.

Jedes „Grau“ ist ferner eine gemischte Empfindung, in welcher sowohl das Weiß wie das Schwarz leicht erkannt werden kann. Hier zeigt sich deutlich eine weitere Sonderstellung der Weiß-Schwarz-Reihe zu den übrigen Gegenfarben des HERINGSCHEN Schemas, weil es für die Gegenfarben Rot und Grün bzw. Gelb und Blau überhaupt keine Mischfarbe gibt, in welcher beide Gegenfarben gleichzeitig erkannt werden können. Nach v. KRILES sind solche Eigenarten bei dem großen Reichtum der Beziehungen zwischen den Bewußtseinsinhalten aber nichts so besonders Auffälliges, daß es deshalb notwendig sei, das Verhältnis des Grau zum Weiß und Schwarz nach einem anderen Verfahren zu charakterisieren als durch die Annahme von Übergangsstufen. Mit diesen Überlegungen kann man zu einer gewissen Anerkennung des Standpunktes gelangen, welcher der HERINGSCHEN Theorie zugrunde liegt, nach welcher neben den bunten Farben die Farben der Weiß-Schwarz-Reihe als „tonfreie Farben“ Geltung haben.

**Weißempfindung.** Betrachten wir die Empfindungen der Weiß-Schwarz-Reihe näher. Alle Untersucher dieses Gebietes sind sich zwar darüber einig, daß in der Weißempfindung auf alle Fälle eine ganz elementare Äußerung des psychischen Geschehens vorliegt, daß sie durchaus eine prinzipale Empfindung im AUBERTSCHEN Sinne ist. Sucht man jedoch die Bedingungen zu studieren, unter welchen Weißempfindung auftritt, so ist festzustellen, daß auch diese einfache psychische Qualität durch ganz verschiedene physikalische Qualitätenmischungen hervorgerufen werden kann und daß sie zeitlich von den vorhergehenden, räumlich von den benachbarten Einflüssen auf das Sinnesorgan, also von dem Geschehen in der Netzhaut und den zugeordneten Nervenfasern in eigenartiger Weise abhängig ist.

Weißempfindung schlechthin haben wir sowohl bei Tageslicht als auch bei Lampenlicht unter vielfachen Bedingungen. Wir sehen rein weißes Licht an den Wolken des Himmels, reinweißen Schnee, reinweißes Papier und wir sind bei unserer Weißempfindung gar nicht allzu wählerisch, wobei natürlich die auf S. 177 erwähnte Konstanz der Farben uns wesentlich zu Hilfe kommt. Obwohl Tageslicht und Lampenlicht eine ganz verschiedene Zusammensetzung haben und fast jede künstliche Beleuchtung durchaus nicht rein weiß ist, werden wir meistens doch die Papierflächen, die uns bei Tageslicht rein weiß erschienen, unter der Beleuchtung einer Gaslampe oder einer elektrischen Lampe wieder als „rein weiß“ erkennen.

*Um so stärker bemerkbar ist die Abhängigkeit der Weißempfindung von den Verhältnissen in der Nachbarschaft und von den vorhergehenden Einwirkungen.*

Die erhebliche, unter Umständen ausschließliche Abhängigkeit von den Beleuchtungsverhältnissen in der Umgebung derjenigen Fläche, welche die Weißempfindung hervorrufen soll, läßt sich durch ein sehr einfaches Experiment anschaulich darstellen. Nimmt man einen durchlöcherten Spiegel, etwa ein geschliffenes Stück Spiegelglas, wie es im Augenspiegel gebraucht wird, und hält es über ein auf dem Fensterbrett niedergelegtes weißes Papier derart, daß die Spiegelfläche für das Auge des Beschauers einen dunklen Teil der Zimmerwand wiedergibt, so erscheint in dem Spiegelloch das darunterliegende Papier als kleine, kreisförmige, hell leuchtende, rein weiße Fläche. Dreht man den Spiegel nun so, daß er das Himmelslicht in das Auge reflektiert, so leuchtet die Spiegelfläche blendend hell rein weiß auf, aber in dem gleichen Augenblick erscheint die Öffnung in dem Spiegelloch tief dunkelschwarz. Dabei läßt es jede einfache Überlegung als selbstverständlich erscheinen, daß die Lichtstrahlung an der Stelle des Spiegelloches sich nicht verringert haben kann; das Auge erblickt dort immer noch das, vorher rein weiße, Stückchen Papier im Loch unter den gleichen Beleuchtungsverhältnissen. Man darf sogar sagen, daß die Netzhaut

an der entsprechenden Stelle durch zerstreutes Licht noch heller beleuchtet ist. Man kann also bei diesem Versuch beliebig mit kleinen Drehungen des Spiegels rein Weiß in rein Schwarz und umgekehrt rein Schwarz in rein Weiß verwandeln, und dies geschieht ausschließlich durch Veränderung der Beleuchtungsverhältnisse in der Nachbarschaft.

Auch die vorangehenden Beeinflussungen der Netzhaut, der das weiße Objekt dargeboten wird, sind von gleicher Bedeutung. Betrachte ich das weiße Papier auf dem Fensterbrett, nachdem ich dort vorher das helle Spiegelbild des Himmelslichtes mit dem vorgehaltenen Augenspiegel für 1—2 Minuten zur Einwirkung gebracht und den Spiegel fortgezogen habe, so sehe ich um die Stelle des Fixierpunktes nach kurzer Zeit auf dem Papier eine dunkelgraue gleichförmige Fläche auftauchen, die, wie wir wissen, dem Nachbilde der spiegelnden Fläche entspricht. HELMHOLTZ hat darauf hingewiesen, daß hierbei *die wesentlichste physiologische Bedingung für die Erscheinung des schwarzähnlichen Dunkels* an der Stelle der vorherigen hellen Lichtdarbietung die Ermüdung des Sehorganes sei. Unabhängig von den Theorien der Sehvorgänge können wir hier jedenfalls sagen, daß das Wichtige dabei *die zeitlich vorhergehende Beeinflussung* ist.

**Schwarzempfindung.** Im wesentlichen besteht, wie schon erwähnt, neuerdings Einigkeit darin, daß man die Schwarzempfindung gleichfalls als *principale* Empfindung des Gesichtssinnes aufzufassen habe. Trotzdem liegt bei der Schwarzempfindung etwas Besonderes, für alle Sinnesgebiete Einzigartiges, vor, weil sie niemals ein unmittelbares Ergebnis der äußeren Reizeinwirkung sein kann. Es gibt keine physikalische Qualität nach Art der physikalischen Lichter, welche unmittelbar die Empfindung dunkel oder schwarz hervorzurufen vermag.

*Schwarzempfindung ist nur etwas Gegensätzliches zu der Lichtempfindung.* Beim Schwarz zeigen sich deshalb auch die zeitlichen und räumlichen Abhängigkeiten naturgemäß stets ebenso stark, *häufig noch stärker* als bei den übrigen unmittelbar durch den Lichtreiz ausgelösten Empfindungen des Gesichtssinnes.

Schon bei den vorher für die Beobachtung der Weißempfindung beschriebenen Versuchen hatte sich ergeben, daß das Weiß durch Änderung der Umgebung *sofort* in dunkel oder schwarz übergeführt werden kann; um aber ein ganz intensives Schwarz zu sehen, empfiehlt es sich noch mehr die Kontrastwirkung zum hellen Licht *bei einem gut dunkeladaptierten Sehorgan* zu beobachten.

Geht man z. B. bei dunkler Nacht auf einem Waldwege oder auf einer von künstlichem Licht nicht beleuchteten Straße und tritt alsdann plötzlich in das Licht der ersten Straßenlaternen, hält man sich etwas längere Zeit in einem schwarzgestrichenen Dunkelzimmer auf und läßt alsdann plötzlich ein Licht aufflammen, so wird man neben der beleuchteten Stelle in dem ersten Augenblick ein außerordentlich intensives Schwarz erleben, ein Schwarz, welches an Intensität ungefähr ein Maximum darstellt und unvergleichbar dunkler ist als die Dunkelheit eines völlig unbeleuchteten Raumes.

Obwohl das intensive Schwarz sowohl in diesem wie in dem kurz vorher beschriebenen Spiegelversuch (S. 185) nur die Folge einer starken Kontrastwirkung ist, so kann man ihm bei diesen Versuchen rein erlebnismäßig die *eigene Empfindungsqualität* sicher nicht versagen.

Um ein reines Schwarz zu demonstrieren, kann man sehr gut einen kleinen innen mit Samt beschlagenen Kasten oder einen Zylinder benutzen, an welchem (nach HERING) an einem Ende eine kreisförmige Öffnung angebracht ist. Von dem gedämpften Licht, das durch die Öffnung eines solchen Dunkelkastens hereindringt, wird das meiste an den Wänden absorbiert, deshalb erscheint das Loch im Kontrast zu den Außendingen tiefschwarz.

**Graureihe.** Zwischen der intensiven Schwarzempfindung und der intensiven, von dem Eindruck bunter Farbe frei gehaltenen Hellempfindung, der Empfindung des starken reinen Weiß, wären nun in einer gleichmäßig fortschreitenden Reihe alle jene Töne einzuschalten, die HERING in seiner Weiß-Schwarz-Farbenreihe zur Darstellung bringt. Dabei ist die Weißlichkeit der dazwischen liegenden Grautöne natürlich keineswegs der objektiven Stärke des Reizes parallel. Wenn die Lichtreize in einfachem mathematischem Verhältnis abgestuft werden, entsprechen die verschiedenen zugehörigen Werte der Weiß-Schwarzsкала durchaus nicht der gleichen Progression.

Eine mehr arithmetische Zuordnung hatte HERING in seiner Darstellung über die Verhältnisse des Licht- und Farbensinnes angenommen und ein entsprechendes Schema aus der hier wiedergegebenen Abbildung (vgl. Abb. 2) zugrunde gelegt. Es erscheint wesentlich richtiger, wenn man im Sinne von TSCHERMAK besondere Einflüsse der absoluten Größe der farblosen Anteile für das Empfindungsgewicht in Ansatz bringt, die etwa einer logarithmischen Kurve einzuordnen sind.

**Eigengrau.** Besondere Erwähnung verdient die Tatsache, daß auch bei völligem Fehlen der äußeren Reize jeder aufmerksame Beobachter dauernd eine Lichtempfindung hat, die in die Graureihe einzuordnen ist: das sogenannte Eigengrau der Netzhaut. Es wird meistens dadurch erklärt, daß auch in der nicht belichteten Netzhaut der Stoffwechsel weitergeht. Nach HERING repräsentiert es diejenige Empfindung, die dem Gleichgewicht  $D = A$  (Dissimilation = Assimilation) entspricht. Es müßte dann ein mittleres Grau sein, welches genau zwischen Weiß und Schwarz liegt. Viele Personen sehen aber das Eigengrau gar nicht als gleichmäßige Fläche, sondern als wallende, stark wechselnde Lichtnebel. Auch dürfte das Eigengrau von den meisten Menschen viel dunkler empfunden werden als eine mitten zwischen Schwarz und Weiß liegende Farbe.

**Verfahren zur Darstellung von Farben der Weiß-Schwarzreihe.** Um reines Weiß, reines Schwarz und die Zwischentöne der Grauskala zur Darstellung zu bringen, kann man mit Vorteil die von HERING angegebenen einfachen Versuche benutzen.

HERING empfiehlt mit einem Locheisen in ein weißes Kartonpapier ein Loch von ganz scharfem, weder aufgeworfenen noch eingedrückten Rande zu schlagen, auf das Fensterbrett einen größeren Spiegel zu legen und das Papier so zwischen Auge und Spiegel zu halten, daß es den Rahmen des Spiegels ganz verdeckt. Alsdann sieht man das vom gespiegelten Himmelslicht erleuchtete Loch als ein Feld von reinstem Weiß auf dem mehr grauweiß erscheinenden Papier. Die Unabhängigkeit der Weißempfindung von einer mäßigen Farbenzumischung wird dabei besonders deutlich. Wie HERING angibt, erscheint selbst ein tiefblauer Himmel unter den genannten Umständen als ein Weiß von überraschend großer Reinheit.

Eine Abwandlung eines Weiß nach einem reineren Weiß bzw. nach einem Grau hin läßt sich erzielen, wenn man das gelochte Blatt horizontal an einem Stativ befestigt, welches z. B. auf einem Sessel steht, während man ein zweites, ganz gleiches, aber ungelochtes Blatt so unter das gelochte halten läßt, daß es von letzterem nicht beschattet wird. Hat das untere Blatt dabei zunächst ebenfalls eine horizontale Lage, so erscheint das Lochfeld nahezu oder ganz gleich der übrigen Fläche des gelochten Blattes. *Läßt man das untere Blatt langsam drehen, so sieht man das Weiß des Lochfeldes je nach der Richtung der Drehung entweder immer reiner weiß oder immer grauer oder schließlich sogar schwarzgrau werden.*

Um die Abhängigkeit des gesehenen Farbtones der Grauskala von dem Kontrast besonders eindringlich darzustellen, hat HERING den sogenannten Kontrastkasten angegeben,

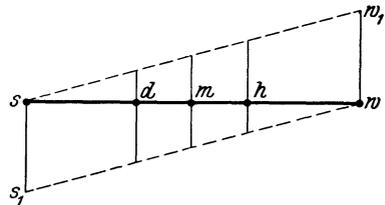


Abb. 2. HERING'S Weiß-Schwarz-Schema.  $s$   $w$  entspricht der Schwarz-Grau-Weiß-Reihe. Der jeweils gegebene Anteil an Schwarz (Weiß) ist durch die unterhalb (oberhalb) der Abszisse gelegene Strecke der Ordinate veranschaulicht. (Aus HERING: Lehre vom Lichtsinn, S. 34.)

in dem eine Papierscheibe durch eine Glühbirne schwach beleuchtet wird. Die Beobachtung erfolgt an einem kreisförmigen Loch in der Wand, das außen von einer Papierscheibe begrenzt wird. Je nach der Außenbeleuchtung sieht man dann auf das Schönste Tonänderungen an der beleuchteten, in der Blende sichtbaren Innenfläche des Kastens. Bei starker Außenbeleuchtung erscheint sie dunkel oder gar tiefschwarz, bei weniger starker Außenbeleuchtung grau; bei fehlender Außenbeleuchtung sieht man sie weißlich oder gar blendend hell (wenn das Auge dunkel adaptiert ist). Diese Wechsel erscheinen, obwohl die Scheibe im Innern des Kastens objektiv immer mit demselben Licht beleuchtet wird.

Ähnliche Wechsel von Weiß bis Schwarz können wir vielfach auch unter den Bedingungen des täglichen Lebens beobachten. Das geöffnete Fenster eines Hauses sieht von außen her oft tiefschwarz aus, auch wenn der aus der gleichen Tagesbeleuchtung in das Zimmer Hereintretende die Wände sofort als hell oder gar als weiß empfindet.

Sehr oft benutzen wir die Änderung der Beleuchtung des Umfeldes, indem wir die Hand als einen Schirm vor das Auge führen, um bei hellem Sonnenschein zugleich mit der Abwehr von blendendem Licht auch die stark verdunkelnde Wirkung des Kontrastes aufzuheben, und die Dinge dadurch genauer erkennbar zu machen.

Betrachten wir aber noch einmal die Verhältnisse bei dem vorhin erwähnten Fenster. An dem schwarzen Aussehen des von außen betrachteten Fensters ändert sich an einem hellen Tage meist auch gar nichts, wenn die künstliche Beleuchtung im Zimmer eingeschaltet wird; beobachtet man aber die Wirkung des künstlichen Lichtes bei fortschreitender Dämmerung, so wird die Fensteröffnung bei dem gleichen Licht allmählich blendend hell. Wir sehen an diesem Beispiel, daß nicht nur der unmittelbare Kontrast, sondern auch eine Anpassung (Adaptation) des Auges an die Beleuchtungsstärke Änderungen hervorrufen kann, die für die Empfindung von größter Bedeutung sind. Diese durch Anpassung des Auges an verschiedenen Lichtstärken hervorgerufene Empfindlichkeitsveränderung wird in einem späteren Abschnitt noch besonders behandelt (S. 193).

#### Literatur.

##### *Weiß, Schwarz und die Graureihe.*

- AUBERT, H.: Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865.  
 HELMHOLTZ, H. v.: Physiologische Optik, 3. Aufl., 1909—1911. — HERING, H.: (a) Zur Lehre vom Lichtsinn. 6 Mitteilungen an die Kaiserliche Akademie der Wissenschaften in Wien, 141 S. Wien 1878. (b) Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn. Handbuch von GRAEFE-SÄEMISCH, 2. Aufl. Leipzig-Berlin 1905/1921.  
 KRIES, J. v.: Die Gesichtsempfindungen. NAGELS Handbuch der Physiologie, Bd. 3. 1905.  
 MÜLLER, G. E.: a) Über die Farbenempfindungen. Z. f. Psychol. Erg.-Bd. 17/18. Leipzig 1930. (b) Darstellung und Erklärung der verschiedenen Typen der Farbenblindheit mit Erörterung der Funktion des Stäbchenapparates sowie des Farbensinnes der Bienen und der Fische. Göttingen 1924.  
 TSCHERMAK, A. v.: Der exakte Subjektivismus in der modernen Sinnesphysiologie. Pflügers Arch. 188, 1, auch separat. Berlin: Julius Springer 1921.

## B. Das Tages- und Dämmerungssehen.

### 1. Die Verhältnisse des Tagessehens.

Eine Beschreibung der tatsächlichen Verhältnisse des Sehens hat von den gewöhnlich herrschenden Bedingungen auszugehen. Diese „gewöhnlichen“ Bedingungen sind bei unserer normalen täglichen, sozusagen physiologischen, Beleuchtung gegeben, nämlich während der Einwirkung des Sonnenlichtes beim *Tagessehen*.

Da die objektiven Intensitäten bei Tageslicht und namentlich bei hellem Sonnenschein im Vergleich zu den Bedingungen des Sehens bei künstlichem Licht oder bei Dämmerung enorm gesteigert sind, so entspricht es auch

dem WEBER-FECHNERSchen Gesetz, daß subjektiv bei Tageslicht, zumal bei direkter Sonnenbeleuchtung, die stärkste Lichtempfindung vorhanden ist. Der Bereich des Tagessehens erstreckt sich über das ganze überhaupt sichtbare Spektrum (von 740—400  $m\mu$ ). Die genaue Bestimmung der Grenzen des sichtbaren Bereichs stößt auf gewisse Schwierigkeiten, weil die notwendigen Intensitäten sehr groß sind. Am kurzwelligen Ende des Spektrums ist die Ermittlung außerdem erschwert, weil die kurzwelligen Strahlen eine Fluoreszenz bedingen, die nicht zu beseitigen ist.

Dieses *Fluoreszenzlicht* kann man sehr leicht beobachten, wenn man sich in einem Raum mit einem blauen Fenster befindet oder wenn man ein blaues Glas vor die Augen hält. Man sieht dann, wie sich das ganze Gesichtsfeld mit einem zarten hellen Schleier bedeckt. Der größte Teil des Fluoreszenzlichtes stammt aus der Linse (Versuche von SCHANZ); auch die Netzhaut soll fluoreszieren. Das Fluoreszenzlicht ist natürlich bei jeder intensiven Tagesbeleuchtung in ausgesprochenem Maße vorhanden, wird aber durch den Kontrast unmerklich gemacht. Vielleicht ist die geringgradige Hebung der Sehschärfe, die bei Benutzung grünlicher oder gelbgrünlicher Gläser von den Patienten manchmal angegeben wird, neben den günstigeren Abbildungsverhältnissen des monochromatischen Lichtes zum Teil auf das Fehlen der Fluoreszenz-Erscheinungen zurückzuführen.

Außerordentliche Schwierigkeiten in der Beurteilung der Verhältnisse des Lichtsinnes beim Tagessehen entstehen dadurch, daß gerade bei der intensiven Beleuchtung eine komplizierte Zusammenarbeit von Licht- und Farbensinn stattfindet, ja daß diese Zusammenarbeit gar nicht voneinander zu trennen ist, weil wahrscheinlich während des Tagessehens Licht- und Farbenempfindungen durch die gleichen Rezeptoren, nämlich die Zapfen, vermittelt werden.

**Stimmung des Sehorganes.** Fassen wir als das spezielle Gebiet des Lichtsinnes das Sehen der farblosen Helligkeiten auf, so entsteht zunächst die Frage, welches Licht bzw. welche Lichtergemische, beim Tagessehen uns an sich den Eindruck einer *farblosen*, d. h. von bunten Eindrücken freien, Helligkeit bieten. Es erhebt sich die von TSCHERMAK näher untersuchte Frage: „Was ist neutrales Licht?“

In dem vorhergehenden Abschnitt wurde ausgeführt, daß man im Sinne HERINGS zwischen den farblosen tonfreien Farben der Weiß-Schwarz-Reihe und den bunten Farben unterscheiden muß. Wie aus anderen Beobachtungen hervorgeht, unterliegt das Sehorgan je nach der vorangegangenen Einwirkung einer besonderen Veränderung, die man als Stimmung oder Umstimmung bezeichnen kann: es wird unempfindlicher für die vorher zur Einwirkung gelangten, empfindlicher für die nicht zur Einwirkung gelangenden Lichter des Spektrums. Das Auge, welches sich in einer *neutralen* Stimmung befindet, wird bestimmte Lichtgemische ohne weiteres als rein weiß empfinden, wird Flächen, die diese Gemische von Lichtern ausstrahlen, auch längerdauernd anblicken können, ohne daß eine farbige Verstimmung eintritt. Diese Lichtgemische kann man als „*neutral*“ anerkennen.

Leider sind nun die rein weißen „neutralen“ Lichtgemische durchaus nicht einfach herzustellen. Es zeigt sich nämlich schon eine starke Abhängigkeit von der Intensität. Nur die primären urfarbenen Lichter Urröt, Urgelb, Urrün, Urblau behalten bei wachsender Stärke ihren Farbton unverändert bei; aus diesem Grunde wird auch eine Lichtermischung, welche bei relativ geringer Intensität als neutral anzusehen ist, nur dann bei steigender Intensität gleichfalls ein neutrales Licht bleiben, wenn sie eine richtige Zusammensetzung in bezug auf die Urfarben hat. Denkt man an den HERINGSchen Farbenkreis, so würde z. B. bei Einwirkung zweier Gegenfarben in einem wohl abgewogenen Verhältnis das vorher nicht verstimmte Sehorgan im Sinne der HERINGSchen Theorie einen farblosen Helligkeitseindruck vermitteln, und mit gleichmäßiger Steigerung beider Intensitäten würde die Eindruckshelligkeit wachsen, ohne Zumischung einer buntfarbigen Komponente. Ebenso würde ein Gemisch aus den 4 Urfarben bei richtiger Zusammensetzung und gleichmäßiger Steigerung der Intensitätsunterschiede keine Beimischung bunter Farben in der Wahrnehmung erscheinen lassen. Da aber die Purpurtöne bekanntlich im Tageslicht als Spektralfarben nicht enthalten sind, so ergibt sich schon aus dieser einfachen Betrachtung, daß

gerade das Tageslicht beim Wechsel der Intensität trotz proportionaler Zu- oder Abnahme der einzelnen Komponenten nicht immer rein weiß ohne bunte Zumischung, also nicht mehr ein rein neutrales Licht, bleiben kann, sondern auch farbige Verstimmungen des Sehorganes notgedrungen hervorrufen muß.

Die angenäherte Farbenbeständigkeit der Sehdinge, die schon von HERING gebührend hervorgehoben ist, wird aber bewirken, daß wir von diesen Veränderungen gewöhnlich sehr wenig merken. Weil wir allen Gegenständen zwangsläufig ihre Gedächtnisfarben zuschreiben, werden wir sie bei Tagesbeleuchtung fast stets in den „natürlichen“ Farben sehen. Wenn wir indes mit genauen Verfahren prüfen, so können wir uns leicht überzeugen, daß auch beim „weißen“ Tageslicht eine wechselnde chromatische Verstimmung vorhanden ist. TSCHERMAK schlägt vor, als „Ausgangslage“ bei Prüfungen diejenige chromatische Neutralstimmung zu nehmen, welche nach dem Aufenthalt in gewöhnlicher Zimmerbeleuchtung nach  $2\frac{1}{2}$  oder besser 5 Minuten bei Lichtabschluß der Augen erreicht wird. Man müsse die relative Steigerung der Weißerregbarkeit für die Lichter des kurzwelligen Spektralendes, die im Sinne des PURKINJESCHEN Phänomens (s. S. 200) eintritt, dabei in Kauf nehmen, könne aber dann die Farbtonverteilung als eine primäre bezeichnen.

Unter den „Kriterien primärer Urfarbigkeit“ wird von TSCHERMAK an erster Stelle die Reintonigkeit der direkten Empfindung durch geschulte Augen genannt, welche ja durch HERING, DONDEERS, v. HESS, v. KRIES, BRÜCKNER und andere anerkannt ist. Ein Beispiel für Beobachtung der Urfarben ist bei HERING (c) angegeben. Es wird z. B. durch  $575\text{ m}\mu$  Urgelb eingestellt. Fixiert man 20 Sekunden den Mittelpunkt des unter  $4^\circ$  Sehwinkel erscheinenden Kreisfeldes, setzt die Intensität allmählich herab, so bleicht das Gelb aus, wird weißlicher und tonfrei weiß, um alsdann in die Gegenfarbe umzuschlagen. Entsprechend ist auch das Verhalten bei den anderen beiden Urfarben, die direkt im Spektralapparat einzustellen sind (grün und blau). (Bei diesen Versuchen sieht man nebenbei sehr schön, daß die optische Valenz als eine Kraft aufgefaßt werden kann, auf welche das Auge mit einer genau angepaßten Gegenwirkung reagiert [HERING]). Bei den Urfarben zeigt sich die Invarianz des Farbtones bei ausschließlicher Änderung von Sättigung, Nuance und Helligkeit durch Wechsel der Lichtstärke (Intensitätsvarianz; TSCHERMAK), bei länger dauernder Einwirkung (Methode der Ermüdungsinvarianz), bei Änderung der zur Abbildung benutzten Netzhautgebiete z. B. Übergang zur peripheren farbenblinden Netzhautzone (Methode der extremen regionalen Invarianz); für Urgelb, Urgrün, Urblau auch bei Übergang zu mäßig indirekter Betrachtung (Methode der parazentralen Invarianz). Es muß sich ferner paarweise Übereinstimmung der perimetrischen Grenze bei bestimmter Lichtintensität (Gleichheit der gegenfarbigen und Gleichheit der für den Adaptationszustand gültigen Weißvalenzen; Methode der Übereinstimmung der perimetrischen Grenze), paarweise Kompensation bei Simultan- und Sukzessivkontrastbeziehung von Urrot und Urgrün, Urgelb und Urblau (Simultankontrast und Nachbildmethode) finden. (Näheres vgl. TSCHERMAK.)

Als Methoden der Neutrallichtprüfung werden von TSCHERMAK an der gleichen Stelle mehrere Verfahren empfohlen, auf die verwiesen sei. Das wichtigste ist ein Sukzessivkontrastverfahren, das sog. Schwarzstreifenverfahren, das hier kurz geschildert werden soll.

Das vorher in Neutralstimmung gebrachte Auge blickt auf ein vom Prüflicht beleuchtetes Barytpapier oder eine Mattglastafel und wird dann durch Bedienung eines photographischen Verschlusses oder durch Vorschalten einer Kreiseleiche, welche eine Herabsetzung der Helligkeit gestattet, in Bedingungen gebracht, unter dem sich der Sukzessivkontrast entwickeln kann. Bei neutralem Licht darf (vorausgesetzt, daß das Auge vorher auch neutral gestimmt war) an dem Nachbilde keine bunte Farbe bemerkbar werden. „Bei chromatisch verstimmtem Auge ist die Tönung des negativen hellen Nachbildes des dunklen Streifens gegensinnig zur Verstimmungsfarbe, jene im dunklen Nachbilde des hellen Grundes gleichsinnig“. Mit Hilfe dieses Verfahrens wird unter Anwendung von Filtern das Licht von Lampen so eingestellt, daß man ein „neutrales Licht“ bekommt. Hat man die Kombination von Lampen und Filtern einmal festgelegt, so kann man nach TSCHERMAKS Angabe mit Hilfe des Photometers Vergleiche vornehmen.

Das wichtigste Kriterium für ein neutrales Licht ist also, daß es nicht nur dem neutralen Auge farblos erscheint, sondern den verschärften Bedingungen

dieser Prüfung standhält und auch dann keine farbigen Verstimmungen erkennen läßt. Man soll die Prüfung nur bei mittleren Lichtstärken ausführen, damit durch die allgemeine chromatische Lichtwirkung keine Hemmung der farbigen Verstimmung entsteht. Prüft man mit solchem Verfahren das Tageslicht, so wird man bemerken, daß es im allgemeinen bei trübem Wetter und morgens Blaurot-Verstimmung, bei klarem Wetter und mittags Gelbrot-Verstimmung des Auges bedingt (TSCHERMAK).

Bei diesen Versuchen bestätigt sich die auch für die Verhältnisse des Lichtsinnes wichtige Feststellung, daß es paarweise einander zugeordnete Farben gibt, die als komplementäre oder besser kompensative (TSCHERMAK) zu bezeichnen sind. Diese Farben löschen sich gegenseitig aus, so daß reines Weiß bestehen bleibt. Solche Paare sind nach HELMHOLTZ: rot und grünlichblau, orange und cyanblau, gelb und indigoblau, grünlich-gelb und violett. Nach dem HERINGSCHEN Farbenkreis bestehen natürlich die vier Urfarben aus zwei komplementären Paaren. Betrachtet man die dazwischen liegenden Farben als Mischfarben aus zwei Urfarben, so läßt sich zu jeder derartigen Mischung eine komplementäre Farbmischung angeben.

Über die Prüfung der komplementären Farbgemische auf ihre Neutralfarbigkeit vergleiche man die Arbeit von TSCHERMAK und SCHUBERT. Wie SCHUBERT erwähnt, erweist sich bei solchen Prüfungen die Angabe LADD FRANKLINS als unzutreffend, daß rot und grün gemischt gelb ergäben.

Eine farbige Verstimmung verschiebt die Kardinallichter durch Zumischung dieser Farbe zu sich hin. Werden die benachbarten urfarbigen Lichter aber gemischt, so tritt ein Rest der Gegenfarbe hervor (vgl. auch TSCHERMAK).

Insgesamt ergibt sich bei derartigen Untersuchungen, daß ein wirklich neutrales Licht meist nur zufällig oder im Experiment gegeben ist und daß beim natürlichen Sehen eigentlich immer eine farbige Verstimmung herrscht.

**Empfindlichkeit des Tagessesens für die einzelnen Gebiete des Spektrums.** Betrachtet man den Lichtsinn allgemeiner als die Fähigkeit der Helligkeitsempfindung, so ist beim Tagessesen zu berücksichtigen, daß auch jedes bunte Licht neben der Farbenempfindung eine Lichtempfindung gibt, deren Intensität eine meßbare Stärke hat. Man hat die Helligkeit der einzelnen Teile des Spektrums zunächst in einfacher Weise dadurch charakterisiert, daß man die verschiedenen Gebiete nacheinander mit einem abstufbaren neutralen Licht zu einem Helligkeitsvergleich brachte. Unter Berücksichtigung der Energieverteilung kann man daraus die Empfindlichkeit des Tagessesens für die einzelnen Teile des Spektrums berechnen. Entsprechende Kurven sind z. B. bei TSCHERMAK und v. KRIES wiedergegeben. Es entsteht bei diesen Vergleichen häufig eine nicht geringe Schwierigkeit, weil die „Helligkeits“empfindung für die meisten Beobachter durch den lebhaft farbigen Eindruck der betreffenden Spektralfarbe überlagert wird, ähnlich wie der Klang eines Tones durch den Klang eines Akkordes, der bekanntlich auch mit seiner eigenen Färbung die Erkennung der einzelnen in ihm enthaltenen Töne sehr erschweren kann. Aber wie bei der Beurteilung von Tongemischen besteht auch wohl bei der Helligkeitsbeobachtung spektraler Lichter eine gewisse individuelle Verschiedenheit. Für viele Beobachter tritt dabei eine Art Unschlüssigkeit auf, weil sie anscheinend zwangsläufig einmal mehr der spezifischen Lebhaftigkeit der bunten Farbe, dann wieder mehr den reinen Helligkeitsverhältnissen ihre Aufmerksamkeit widmen und dabei mit ihrem Urteil schwanken bleiben. Je gesättigter die Farben, je größer die Sättigungsdifferenzen sind, und je weiter die Farben im Spektrum auseinanderliegen, desto geringer ist die Genauigkeit bei solchen Vergleichen.

Eine größere Sicherheit in der Beurteilung dieser Verhältnisse wird nur durch die Anwendung spezieller photometrischer Methoden erreicht.

KOHLRAUSCH, welcher die hierher gehörigen Techniken neuerdings näher untersucht hat, unterscheidet:

1. die farbauslöschenden,
2. die auf zeitlicher und räumlicher Unterscheidungsfähigkeit beruhenden Verfahren und
3. die Verfahren des direkten Vergleichs und der fovealen Schwellen.

Es zeigt sich bei der Abtragung der Werte des Spektrums für ein Vergleichslicht in Kurvenform die merkwürdige Tatsache, daß die farbauslöschenden und die auf zeitlicher und räumlicher Unterscheidungsfähigkeit beruhenden Verfahren ziemlich einheitliche und für alle Verfahren ungefähr gleiche Werte ergeben (vgl. Abb. 3), während die Verfahren des direkten Vergleichs und die

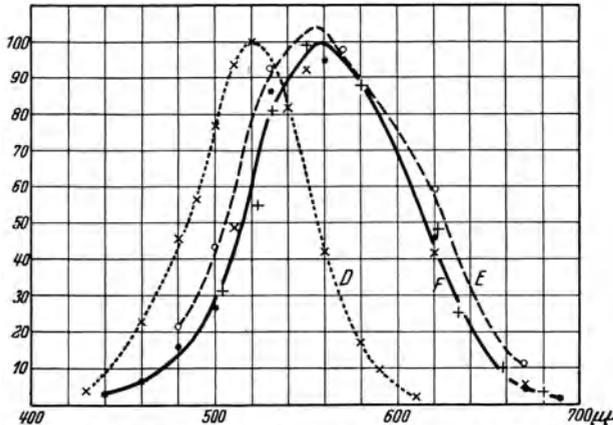


Abb. 3. Empfindlichkeitskurven nach KOHLRAUSCH.  $D \times \cdots \times$  Dämmerungswerte;  $F$  — Flimmerwerte;  $\times$  Minimalfeldhelligkeiten;  $\bullet \bullet$  Sehschärfenwerte;  $+$  Stereowerte;  $E$  — — — Eindruckshelligkeiten;  $o$  foveale Schwellen. Die Tageswertkurven aller Methoden haben willkürlich bei  $580 \mu\mu$  den mit  $+$  markierten festen Punkt 88 gemeinsam.

Bestimmungen der fovealen Schwelle deutlich abweichende Werte erkennen lassen, die im langwelligen und kurzwelligen Teil des Spektrums merklich höher sind, so daß nur im mittleren Teil des Spektrums sich die beiden Kurven ungefähr decken.

KOHLRAUSCH erklärt diesen Unterschied folgendermaßen: Bei den farbauslöschenden und auf Unterscheidungsfähigkeit beruhenden Verfahren (Peripheriewertmethode, Minimalfeldmethode, Minimalzeitmethode, ferner Sehschärfenmethode, Flimmermethode und stereophotometrische Methode) tritt nur die eigentliche *Helligkeit* der Lichter in Erscheinung.

Beim direkten Vergleich und bei Bestimmung der fovealen Schwellen kommt dagegen noch zwangsläufig der farbige Eindruck hinzu, „das mit der Sättigung zusammenhängende Leuchten“ oder die „Glut der Farben“. Gelb und Grünlichgelb, also die Stellen des Spektrums, in denen beide Kurven sich decken, seien für die meisten Menschen ziemlich stumpfe Farben, während spektrales Rot, Indigoblau und Violett selbst in geringer Intensität etwas satt Leuchtendes und Aufdringliches an sich hätten. Dieser Unterschied zwischen den photometrischen Methoden zeigt sich nach KOHLRAUSCH aber nur, wenn beim direkten Vergleich die übrigen Spektrallichter mit weiß oder mit Lichtern mittlerer Wellenlänge verglichen werden. Diese Unterscheidung steht in gewissem Sinne im Einklang mit einer schon vorher von TSCHERMAK und von v. KRIES geäußerten Ansicht, nach welcher z. B. die Peripheriewerte wegen des Fehlens der spezifischen *farbigen* Eindruckshelligkeit eine andere Kurve haben müssen als die farbigen zentralen oder parazentralen Eindrücke (vgl. TSCHERMAK); sie steht allerdings nicht im Einklang mit der alten HERINGSchen Annahme, daß Blau einem Assimilationsprozeß entspreche und einen verdunkelnden Einfluß besitze.

Während man mit den beschriebenen Methoden auf Grund der vorliegenden modernen Bearbeitungen relativ genaue Helligkeitswerte für die Spektrallichter beim Tagessehen gewonnen hat, ist eine weitere Frage noch ungelöst: nämlich die Frage, wie sich die *Helligkeit bei den Lichtmischungen* verhält. Nach der Angabe älterer Autoren (insbesondere v. BRÜCKE, KÖNIG, EXNER) sollte bei der Mischung von Spektrallichtern oder auch bei der

Zusammenstellung beliebiger aus Spektrallichtern zusammengesetzter Lichtmischungen eine ziemlich genaue Addition der Helligkeit der Komponenten resultieren. Helligkeitsbestimmungen an farbigen Papieren mit einer guten Untersuchungsmethode (nach HERING) hatten BRÜCKNER dazu geführt, auch die Frage zu untersuchen, welche Helligkeitswerte bei Mischungen aus Gelb und Blau, sowie aus Grün und Spektralrot oder Purpurrot erhalten wurden. Bei diesen Versuchen wurde festgestellt, daß die Mischung aus Gelb und Blau keine *genaue* Summierung ergab, daß vielmehr der aus den Helligkeitswerten der einzelnen Farben berechnete Helligkeitswert des Gemisches stets zu klein gegenüber dem wirklich beobachteten Helligkeitswert ausfiel. Es wurden ziemlich große Differenzen gefunden, wenn man gelbe und blaue Papiere nahm (welche übrigens fast völlig gegenfarbig waren), während bei den Versuchen mit Grün und Rot, bei welchen zur Auslöschung der bunten Farbe auf dem Kreisel etwas Blau zugeschaltet werden mußte, das Ergebnis nicht eindeutig war. Neuerdings wurde auch bei einer Mischung von Rot und Grün durch einen anderen Autor (НУССЕК) ein Zurückbleiben der Helligkeit der Farbenmischung gegenüber der Summe der Einzelhelligkeiten beobachtet.

KOHLRAUSCH, welcher die Ansicht vertritt, daß die *Eindruckshelligkeit* der Farbe durch eine spezifische Eigenwirkung sowohl für Rot wie für Blau wesentlich höher sei als die bei der Flimmermethode und bei anderen Methoden der heterochromen Photometrie in Betracht kommenden Helligkeitswerte, hat andere Resultate erhalten. Er stellte Gleichungen aus Spektrallichtern von 660 und 550  $m\mu$  mit einer Reihe dazwischen liegender Spektrallichter her, deren Flimmerwerte und deren Eindruckshelligkeiten vorher bestimmt waren. Dabei ließ sich zeigen, daß die Helligkeit der Mischung bei der Flimmermethode der Summe dem Flimmerwerte der homogenen Lichter bis auf etwa 2% genau entsprach, während beim Vergleich der Eindruckshelligkeiten sich bei den Mischungen Abweichungen bis zu 30% zeigten und zwar in dem Sinne, daß die Summe regelmäßig erheblich höher war als die Eindruckshelligkeit des gleich aussehenden homogenen Lichtes. KOHLRAUSCH zieht auch hieraus wieder die Folgerung, daß der Helligkeitsüberschuß der Eindruckshelligkeiten über die Flimmerwerte bei direktem Vergleich mit Weiß nicht additiv in die Lichtmischungen eingehe.

Das Tagessehen, welches Vorbedingung für die Entwicklung aller im Sehorgan vorhandenen Sehqualitäten ist, bleibt an verhältnismäßig hohe Lichtstärken geknüpft. Es ist bekannt, daß das Auge auch bei sehr viel geringeren Intensitäten wertvolle Dienste leistet. Wir werden in den folgenden Abschnitten uns speziell mit den Erscheinungen zu beschäftigen haben, die beim Übergang von dem Tagessehen zu dem Sehen in der Dämmerung und bei dem Dämmerungssehen selbst gefunden sind. Zunächst müssen die eigentümlichen Verhältnisse des Überganges zwischen Tagessehen und Dämmerungssehen behandelt werden.

## 2. Dunkel- und Helladaptation.

Man kann von einer „*Adaptation*“ (AUBERT) an die jeweilig herrschenden Beleuchtungsverhältnisse sprechen. Es gehört zu den ganz landläufigen Beobachtungen, daß es eine solche Anpassung in zwei Richtungen gibt. Wer aus dem Dunkel eines Kellers oder eines lichtdicht abgeschlossenen Zimmers in das helle Tageslicht tritt, ist zunächst geblendet. Wer aus dem hellen Sonnenlicht plötzlich in die inneren Gänge eines Hauses gelangt, sieht sich zunächst von tiefem Dunkel umfassen, aber nach mehreren Minuten findet er sich zurecht und bei längerem Warten kann ihm der ganze Raum völlig hell erscheinen, obgleich an den objektiven Lichtstärkeverhältnissen nicht das Geringste geändert ist.

**Dunkeladaptation.** Die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen der Dunkeladaptation wurden von AUBERT ausgeführt. Um den Gang der Anpassung des Auges zu verfolgen, ging er dazu über, leuchtende Objekte zu beobachten, deren Lichtstärke man so abschwächen kann, daß das Objekt jeweilig an der Schwelle der Sichtbarkeit liegt. Das ist ein Verfahren, welches *mutatis mutandis* auch jetzt noch hauptsächlich zur Beurteilung des Lichtsinnes gebraucht wird.

AUBERT benutzte zur Gewinnung einer variablen Lichtintensität einen Platindraht, der durch den elektrischen Strom um so intensiver zum Glühen gebracht wurde, je kürzer die zwischen den beiden Polen eingeschaltete Strecke war. Nach

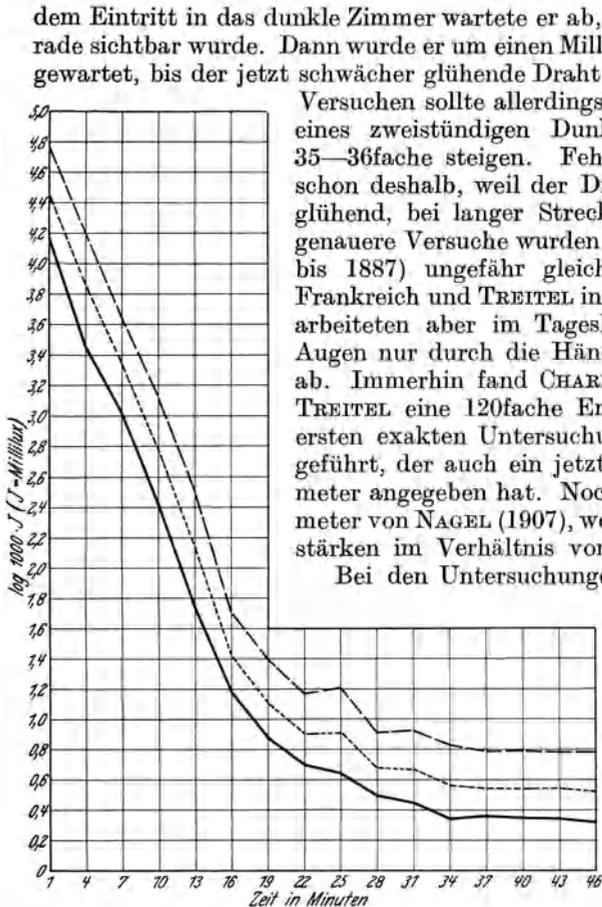


Abb. 4. „Standardkurve“ der Dunkeladaptation nach G. MATTHEY. Die ausgezogene (—) Linie entspricht den Logarithmen (Basis 10) der Mittelwerte von Schwellenwertmessungen (Verschwindungsschwelle), die (monokular) bei 55 Personen des verschiedensten Alters (11—59 Jahre) mit normalen Augen gewonnen worden sind. Versuchsbedingungen:  $\frac{1}{2}$  Stunde Dunkelauferhaltung; Homatropin-Cocain-Mydriasis; 10 Minuten Helladaptation bei etwa 3000 Lux 1 Barytweiß; für die Ablesung der Schwellen  $10^9$  große kreisförmige Leuchtfläche, deren Projektion bei Verwendung eines von NAGEL angegebenen roten Fixierpunktes  $10^9$  unterhalb der Macula zu liegen kam; 60 cm Beobachtungsdistanz; alle 3 Minuten eine monokulare Bestimmung mit dem NAGELschen Adaptometer, das mit dem WEBERSchen Photometer möglichst genau geeicht war. Die gestrichelte Linie (---) entspricht der oberen Grenze des Streubereiches; sie ist durch die Logarithmen der Summe von Mittelwert und dreifachem Betrag des mittleren Fehlers der Einzelbeobachtung gebildet. Alle über diese Grenzlinie gefundenen Schwellenwerte können mit ziemlich großer Sicherheit als pathologisch angesprochen werden. Die punktierte (·····) Linie ist durch die Logarithmen der Summe von Mittelwert und einfachem Betrag des mittleren Fehlers der Einzelbeobachtung zustande gekommen. Sie umgrenzt das Gebiet, in dem eine große Zahl aller physiologisch normalen Schwellenwerte liegen werden, nach oben.

Tempo der Schwellenwertverminderung schon außerordentlich verlangsamt, um in 30—40 Minuten einen gewissen Endzustand zu erreichen. Das Auge ist dann nahezu völlig dunkeladaptiert. Zahlreiche Messungen bei geschulten Versuchspersonen haben ergeben, daß auch noch über diese Zeit hinaus ein

dem Eintritt in das dunkle Zimmer wartete er ab, bis der kurz gepolte Draht gerade sichtbar wurde. Dann wurde er um einen Millimeter verlängert und es wurde erwartet, bis der jetzt schwächer glühende Draht zu sehen war. Nach AUBERTS Versuchen sollte allerdings die Empfindlichkeit während eines zweistündigen Dunkelaufenthaltes nur um das 35—36fache steigen. Fehlerhaft waren diese Versuche schon deshalb, weil der Draht bei kurzer Strecke weißglühend, bei langer Strecke rotglühend wurde. Etwas genauere Versuche wurden zum ersten Male später (1886 bis 1887) ungefähr gleichzeitig von CHARPENTIER in Frankreich und TREITEL in Deutschland angestellt; beide arbeiteten aber im Tageslichtzimmer und deckten die Augen nur durch die Hände oder durch einen Verband ab. Immerhin fand CHARPENTIER schon eine 200fache, TREITEL eine 120fache Empfindlichkeitszunahme. Die ersten exakten Untersuchungen wurden von PIPER ausgeführt, der auch ein jetzt noch viel benutztes Adaptometer angegeben hat. Noch verbreiteter ist das Adaptometer von NAGEL (1907), welches eine Variation der Lichtstärken im Verhältnis von 1—80 Millionen ermöglicht.

Bei den Untersuchungen mit dem NAGELschen und PIPERSchen Adaptometer, wie überhaupt bei den meisten modernen Adaptationsuntersuchungen, benutzt man die Feststellung der „absoluten“ Schwellenwerte. Geht man dabei von einer starken Helladaptation aus (etwa nach länger dauernder Fixation des hellen Tageshimmels), so beobachtet man, daß in den ersten Minuten des Dunkelaufenthaltes die Schwellen sehr rasch sinken, ungefähr in jeder Minute auf die Hälfte des vorher gemessenen Wertes. Nach 7—10 Minuten findet sich nach den Angaben einiger Autoren eine mäßige Verlangsamung, alsdann eine erneute Steigerung in der Schnelligkeit des Absinkens; nach 20 Minuten betragen die Schwellenwerte ungefähr nur noch  $\frac{1}{2000}$  bis  $\frac{1}{50000}$  des Anfangswertes. In dieser Zeit hat sich das

geringgradiges Abnehmen der Schwellenwerte (um etwa 50—100%) stattfindet und daß der definitive Endzustand erst nach etwa 10—20 Stunden erreicht sein dürfte. Wichtige neuere Arbeiten über den Adaptationsverlauf stammen u. a. von ACHMATOV, BEST, BLANCHARD, FRÖHLICH, ZEEMAN, VOM HOFE, KOHLRAUSCH, ROELOFS, H. K. MÜLLER, MÖLLER, PIPER, WESSELY, G. MATTHEY.

Durch die neuesten Untersuchungen von G. MATTHEY unter Leitung von H. K. MÜLLER über die Dunkeladaptation normaler Personen ist unter Einhaltung leicht zu reproduzierender Bedingungen eine „Standardkurve“ (Abb. 4) für klinische Untersuchungszwecke festgelegt worden. Diese Kurve entspricht den Mittelwerten aus den Befunden bei 55 normalen Personen. Da MATTHEY auch die physiologische Streuung berechnet hat, kann man auch im Zweifelsfalle genauer, als es bis jetzt möglich war, damit ermitteln, ob Adaptationskurven in den Bereich des Normalen oder Pathologischen zu rechnen sind.

Die Anwendung exakter Instrumente, das Ausgehen von möglichst starker Helladaptation, haben schließlich bezüglich des Ausmaßes der Empfindlichkeitszunahme ganz andere Ergebnisse gezeitigt als die alten AUBERTSchen Versuche; während jener nur eine etwa 30—40-fache Empfindlichkeitssteigerung gemessen hatte, kann man mit dem NAGELschen Adaptometer im Dunkelzimmer bei allen normalen Versuchspersonen eine mehrtausendfache Steigerung der Empfindlichkeit feststellen. Nimmt man eine exzessive Hellanpassung vor und schließt unmittelbar daran die erste Messung des Schwellenwertes an, so erhält man auch mit diesem Apparat einen noch weit stärkeren Abfall der Schwellenwerte und mindestens eine 20—50 000fache Steigerung der Schwellemempfindlichkeit. Meistens schreibt man die Resultate von Adaptationsversuchen in Kurvenform auf; weiteres darüber sowie über die Untersuchungstechnik vgl. S. 278.

Zahlreich sind moderne Untersuchungen über das Ausmaß und die Art des Ablaufes der Adaptation. Genannt seien hier Versuche, die von BLANCHARD in Amerika, von KOHLRAUSCH und HERTEL in Deutschland und von H. K. MÜLLER in der Schweiz vorgenommen wurden.

Die Versuche BLANCHARDS haben besondere Bedeutung für die Erfassung des Ausmaßes der Änderungsfähigkeit des Sehorganes erlangt. Es hat sich ergeben, daß sich die Empfindlichkeit des Auges vom Zustande maximaler Hellanpassung bis zur völligen Dunkelanpassung, gemessen an den Schwellenwerten des unmittelbar nach der Voradaptation zur Auslösung von ebenmerklichen Empfindungen nötigen Reizes um fast das 10-Millionenfache ändert. Diese enormen Änderungen sieht man in logarithmischer Aufzeichnung auf der Abbildung 5 als Ordinatenwerte.

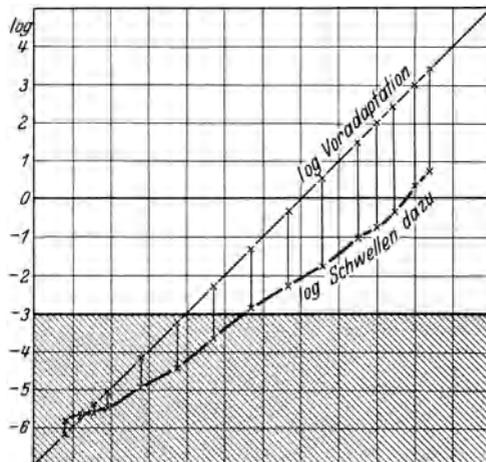


Abb. 5. Schwellenwerte des Auges nach abgestufter Voradaptation, dargestellt nach BLANCHARDS Zahlen. Die Voradaptation wurde durch ein helles Feld gewonnen, dessen Intensität in log. Millilambert auf der Ordinate abzulesen ist. Die dazu gehörigen Schwellenwerte, die unmittelbar hinterher festgestellt wurden, liegen auf der entsprechend bezeichneten Linie. Das Gebiet des Dämmerungssehens ist grau schraffiert.

Bei Versuchen MØLLERS hat sich herausgestellt, daß der empfindlichste Netzhautpunkt etwas nasenwärts vom Netzhautzentrum liegt, und zwar an der Grenze eines zentralen weniger empfindlichen Gebietes.

Über die *minimale Energie* bei der absoluten Schwelle des dunkeladaptierten Auges liegen mehrere Untersuchungen vor. Nach von KRIES wird bei den günstigsten Bedingungen (Licht von 507  $m\mu$ , maximale Dunkeladaptation, periodische Reize, Objekt von 2 Bogenminuten Durchmesser und Benutzung einer HEFNER-Lampe auf Magnesiumoxyd) eine minimale Energie von  $1,3-2,6 \times 10^{-10}$  Erg gebraucht. (Näheres vgl. v. KRIES und *Tabulae biologicae*.) Bei Tagesbeleuchtung beobachtete PERTZ einen peripheren Schwellenwert, der einer Beleuchtung von 1/2200 Lux entsprach.

Bei Adaptationsversuchen zeigt sich übrigens, daß nicht alle Menschen gleich gut geeignete Versuchspersonen sind. Vielfach kommt eine Reihe von störenden subjektiven Erscheinungen zur Beobachtung. In den ersten Minuten nach Abschluß der dem Versuch voranzuschickenden Hellanpassung zeigen sich häufig lästige Lichtnebel vor dem Auge, die als langdauernde positive Nachbilder gedeutet werden können. Auch später, nach dem Abklingen dieser ersten Erscheinungen, klagen viele Versuchspersonen zeitweise über Behinderung durch Lichtnebel, die wohl dem Eigenlicht verwandt sind (s. S. 187). Jeder, der Adaptationsversuche leiten mußte, weiß, daß man bei solchen Beobachtern den Erscheinungen ganz machtlos gegenübersteht, und daß die Bestimmung genauer Werte dadurch oft sehr erschwert oder verhindert wird. Während dann die Schwellenwerte um 100% und mehr schwanken können, ist jedoch durchschnittlich nur mit höchstens 30-40% Fehlerbreite zu rechnen (vgl. H. K. MÜLLER).

Bei den zahlreichen Untersuchungen über die Adaptation sind unter anderem *Alterseinflüsse* berücksichtigt worden; TSCHERMAK stellte fest, daß die Adaptation bei jüngeren Menschen schneller erfolge. WÖLFFLIN leugnet einen Einfluß des Alters. WALKER möchte annehmen, daß die Jugendlichen wegen ihrer Eignung für eidetische Phänomene einen stärkeren Anstieg der Adaptation zeigen. Eher muß man an einen Einfluß des bekannten Altersunterschiedes der Pupillenweiten denken. Neueste Untersuchungen von G. MATHEY möchten einen Einfluß des Alters auf die Adaptation nicht feststellen. Sie hat allerdings die Untersuchungen stets unter Homotropin-Mydriasis ausgeführt.

TSCHERMAK, PIPER und andere Autoren hatten angenommen, daß es zwei *Typen* des normalen Adaptationsverlaufes gebe. WÖLFFLIN fand für dunkelpigmentierte Individuen höhere Empfindlichkeitswerte als für schwach pigmentierte. G. MATHEY hat bei ihren Untersuchungen ebenfalls zwei Typen des Adaptationsverlaufes festgestellt, von denen der eine niedrigere Anfangswerte, aber höhere Endwerte als der andere Typus hat. Man kann den ersten Adaptationstypus als langsam, aber ausgiebig, den zweiten als schnell, aber wenig ausgiebig bezeichnen. Sichere Unterschiede bezüglich des Einflusses der Pigmentierung konnte G. MATHEY dagegen nicht an ihrem Material konstatieren.

Sehr strittig ist die Frage, ob die *binokulare Schwelle* niedriger liegt als die monokulare Schwelle. Von verschiedenen Autoren (unter anderem PIPER, LOHMANN, ROELOFS und ZEEMAN) wurde sie bejaht; auch nach meinen eigenen Erfahrungen besteht daran kein Zweifel. Unter den neueren Autoren, welche den Unterschied bestritten haben, sind BEST und MØLLER zu nennen. Über den Einfluß der Voradaptation vergleiche man die Arbeiten von LOHMANN, RABINOWITSCH und H. K. MÜLLER.

*Farbenblinde* wurden u. a. von ABELSDORFF, ACHMATOV, DIETER, KOHLRAUSCH, PIPER, TSCHERMAK und WÖLFFLIN untersucht. ABELSDORFF, DIETER und KOHLRAUSCH, die Dichromaten und Anomalen prüften, fanden keinen

Unterschied gegenüber der Adaptation des normalen Auges. Bei Totalfarbenblinden findet sich eine Nyktalopie (vgl. DIETER). WÖLFFLIN, welcher einen Fall von totaler Farbenblindheit untersucht hat, glaubt, daß das Ausmaß der Adaptation normal gewesen sei, hatte allerdings nach  $\frac{1}{2}$ stündiger Dunkeladaptation nur eine 2—3000fache Schwellenwertabnahme. Er stellte auch fest, daß die Helligkeit der einzelnen Spektralteile für die Maculagegend bei 2 total Farbenblinden durch die Adaptation nicht verändert wurde. Wenn aber für die Macula eingestellt war und durch Annäherung eine Abbildung auf paramacularem Gebiete erzielt wurde, so blieb die Gleichung nicht mehr gültig!

TAKAGI prüfte die Dunkeladaptation bei *Albinos* und machte die bemerkenswerte Feststellung, daß diese im Vergleich zum Normalen nicht verändert ist.

Wesentliche *praktische Bedeutung* besitzt die Adaptationsleistung z. B. für den Automobilfahrer, der sich bei der verschiedenen Beleuchtung der durchfahrenen Straßen schnell zurechtfinden muß. Vorschläge über die Bewertung und die Prüfung des Lichtsinnes der Autofahrer stammen unter anderem von MÖLLER, der die TSCHERNINGSche Methode (vgl. unten S. 291) gebrauchte.

Einen womöglich noch größeren Wert besitzt das Vorhandensein einer guten Adaptation für den modernen Soldaten, weil die Kampfhandlungen sich jetzt zum großen Teile während der Nacht abspielen. Von WESSELY, BEST, BIRCH-HIRSCHFELD und HÖLSCHER sind während des Krieges wichtige Adaptationsmessungen vorgenommen worden. BIRCH-HIRSCHFELD, WESSELY, COMBERG haben besondere Apparate für die Prüfung im Felde angegeben.

**Helladaptation.** Der Dunkeladaptation in der Wirkung entgegengesetzt ist die vorher bereits erwähnte Helladaptation. Aus der AUBERTSchen Definition der Adaptation als Einrichtung des Auges für verschiedene Helligkeiten ist ohne weiteres zu entnehmen, daß an zwei extreme Möglichkeiten gedacht werden muß. Jedoch ist die Existenz des Helladaptationsvorganges im gewöhnlichen Leben viel schwerer zu erkennen als die Dunkeladaptation. Das liegt vor allen Dingen daran, daß wir bei geringen Intensitäten ohne Dunkeladaptation überhaupt nichts sehen können und deshalb oft im praktischen Leben durch das Fehlen einer normalen Dunkeladaptation merklich gestört werden, während wir umgekehrt beim Übergang vom Dämmerungssehen zum Sehen unter sehr hohen Lichtintensitäten doch meist trotz des Blendungsgefühls und trotz der starken Steigerung der Helligkeitsempfindung sofort richtige Wahrnehmungen machen können. Der Grund für diese Erscheinung ist darin zu erblicken, daß die Dunkeladaptation sehr viel langsamer vor sich geht als die Helladaptation; die Zeit bis zur völligen Dunkeladaptation ist für den Chemismus der Netzhaut die Zeit, die zum Aufbau des vollen Quantums aller durch Licht zersetzten Sehstoffe notwendig ist, Helladaptationszeit dagegen die viel kürzere Spanne, die das Licht gebraucht, um den in der Dunkeladaptation angesammelten Vorrat von Sehstoffen soweit zu zerstören, bis nur eine dem stets wieder regenerierten Quantum entsprechende Zersetzung unter der Einwirkung der Beleuchtung stattfindet.

Als in der Mitte des vorigen Jahrhunderts die ersten umfassenden Untersuchungen auf dem Gebiete des Lichtsinnes vorgenommen wurden, hat die Wissenschaft das Vorhandensein eines Helladaptationsvorganges übersehen oder jedenfalls nicht näher beachtet. AUBERT hat keine Versuche über Helladaptation angestellt. Erst v. KRIES und BUTTMANN, ferner BLOOM und GARTEN, die Beobachtungen über die Unterschiede der Sehschärfe bei verschiedenen Adaptationszuständen machten, stellten fest, daß auch beim Übergang von starker Dunkeladaptation bis zur Anpassung an intensives Licht eine gewisse Zeit vergeht, bis volle Sehschärfe erreicht wird.

Ein weiteres Interesse an der Untersuchung der Helladaptation gewann man, als die Methodik der Dunkeladaptationsprüfung Fortschritte gemacht hatte und man systematisch dazu überging, die Resultate in Kurven darzustellen. Bei diesen Untersuchungen erhielt die Frage Bedeutung, von welchem Adaptationszustande man auszugehen habe, und auch die Frage, ob und in welcher Zeit man eine möglichst gute und gleichmäßige Helladaptation herstellen könne.

Die ersten genauen Untersuchungen über Helladaptation und zugleich die ersten Angaben über eine geeignete Methodik stammen von LOHMANN, der

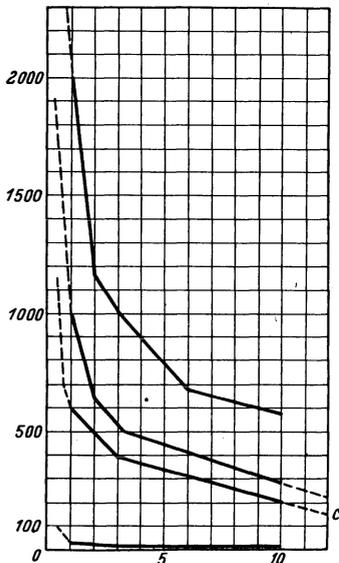


Abb. 6. Unterste Kurve: Tageshimmel. 2. Kurve: Weißer Karton bei 50 Meterkerzen-Beleuchtung. 3. Kurve: Karton bei 25 Meterkerzen. Oberste Kurve: Karton bei 5 Meterkerzen.

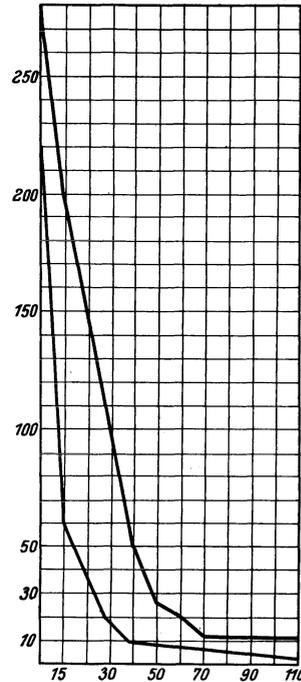


Abb. 7. Empfindlichkeitsabnahme nach der 10. Minute. Untere Kurve bei 50 Meterkerzen, obere Kurve bei 25 Meterkerzen-Beleuchtung des Kartons. Auf Abb. 7 sind die Ordinatenwerte gegenüber Abb. 6 zehnfach vergrößert, die Abszissenwerte zehnfach verkleinert.

Abb. 6 u. 7. Absinken der Empfindlichkeit nach verschieden langer Dauer der Helladaptation. Zeit in Minuten (Abszissen). Empfindlichkeit als Ordinaten in relativem Maß. (Nach LOHMANN.)

sowohl die Lichtstärken der zur Helladaptation benutzten weißen Flächen wie die Zeiten so weit variierte, daß er einen vollen Überblick über den Ablauf der Erscheinungen erhalten und seine Ergebnisse in übersichtlichen Kurven wiedergeben konnte (Abb. 6 u. 7). Es ergab sich, daß unter den gewählten Bedingungen noch ein schnelles Fortschreiten des Hellanpassungsvorganges bis zu 6 Minuten festzustellen war und daß der steilste Anstieg unmittelbar nach dem Aufgeben der Dunkeladaptation einsetzte. Schließlich konnte LOHMANN zeigen, daß auch noch bis zur 80. Minute eine weitere Hellanpassung möglich war, daß auch sehr hohen Intensitäten, falls sie überhaupt Unterschiede boten, stets zwei verschiedene Helladaptation entsprechen. *Es gibt nach LOHMANN nicht eine Helladaptation, sondern Helladaptationen, ebenso wie es auch nicht eine Dunkeladaptation, sondern Dunkeladaptationen gibt.*

Bei der Prüfung des Lichtsinnens interessiert die Helladaptation hauptsächlich wegen der wichtigen Bestrebungen, eine Methode zu besitzen, mit der man immer wieder die gleiche Helladaptation als Ausgang der Dunkeladaptation

herstellen kann. Die einzelnen Verfahren, die hierzu benutzt werden, und die Technik der praktisch brauchbaren Helladaptation soll in einem späteren Abschnitt besprochen werden (s. S. 276).

**Momentadaptation.** Außer der hier erwähnten verhältnismäßig langsam fortschreitenden Dunkel- und Helladaptation gibt es noch eine Momentadaptation (HERING), eine fast momentane Umstellung des Auges, die außerordentlich wichtig ist. Über die zugrunde liegenden physiologischen Prozesse ist wenig bekannt. Neuere wichtige Bearbeitungen dieser Frage stammen von EBBECKE.

### 3. Das Dämmerungssehen.

Um einen näheren Einblick in die einfachsten Verhältnisse der Sehfunktionen zu erhalten, welche für das Verständnis des Lichtsinnes besonders bedeutungsvoll sind, empfiehlt es sich, die Erscheinungen näher zu beobachten, die bei stärkster Empfindlichkeitssteigerung des Auges, nach längerem Dunkelaufenthalt und bei Benutzung schwacher Lichter auftreten. Dabei besteht das sog. „Dämmerungssehen“.

*Es ist dann der Fall verwirklicht, daß schwache Lichtreize aus allen Spektralgebieten, soweit sie überhaupt wahrgenommen werden, eine von bunten Farben freie oder nahezu freie Empfindung hervorrufen.* Betrachtet man unter diesen Bedingungen ein Spektrum, dessen Lichtstärkenwerte in den einzelnen Teilen genügend niedrig gehalten sind, so sieht man nur ein farbloses Band; manchen Beobachtern allerdings erscheinen die Lichter im Dämmerungssehen alle leicht bläulich.

Durch Abschwächung der Intensität in den helleren Teilen des Spektrums können wir die Sichtbarkeit der einzelnen Spektralteile so ändern, daß die vorher helleren Teile jetzt das gleiche Aussehen bekommen, wie die übrigen; kurz man kann zwischen beliebigen Teilen des Spektrums eine vollkommene Gleichung herstellen. Weil die Empfindung in allen Spektralteilen die gleiche ist, möchte man vermuten, daß auch alle Spektralgebiete unter diesen Bedingungen (allerdings quantitativ verschieden) nur einen, qualitativ gleichartigen, Erregungsvorgang auslösen. Da eine Farbenempfindung so gut wie gar nicht auftritt, haben wir also eine isolierte Funktion des Lichtsinnes sensu strictiori vor uns.

Durch Einstellung von Gleichungen in den einzelnen Spektralgebieten läßt sich an dem farblosen Spektrum besonders leicht zeigen, in welcher Weise die sog. Dämmerungswerte im Spektrum verteilt sind. Unter Benutzung der Tageslichtkurven (vgl. Abb. 3) kann man Vergleiche zwischen den Werten beim Dämmerungssehen und den Werten des helladaptierten Auges durchführen

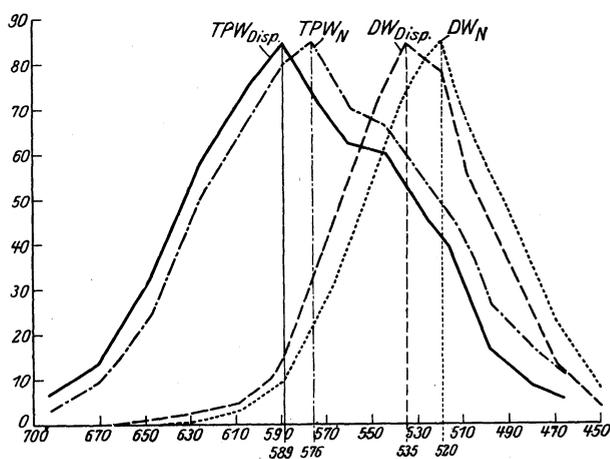


Abb. 8. Äquivalenzkurven der spektralen Helligkeitsverteilung (Dispersionsspektrum und Normalspektrum) für das stark exzentrische ( $38,5^\circ$ ), relativ totalfarbenblinde Tagessehen des Farbentüchtigen, sog. Peripheriewerte ( $TPW_{Disp}$ ,  $TPW_N$  — nach TSCHERMAK) und (zentrale) Dämmerungswerte ( $DW_{Disp}$ ,  $DW_N$  bei „Intensitätsstufe“  $S$  nach KÖNIG) bei Reduktion auf gleiche Gipfelhöhe.

(Abb. 8, Lit. v. KRIES, S. 378 u. 379). Vergleicht man die Kurven, so sieht man, daß eine völlige Verschiedenheit für die Empfindlichkeiten bei Tages- und Dämmerungssehen besteht. Es zeigt sich nach den neueren Bestimmungen, daß das Maximum der Empfindlichkeit für das Tagessehen bei einer Wellenlänge von etwa  $580\text{ m}\mu$  liegt, während das Maximum der Kurve für das Dämmerungssehen sich bei  $520\text{ m}\mu$  befindet. Die Kurve des Dämmerungssehens ist also gegenüber derjenigen des Tagessehens nach dem kurzwelligen Ende verschoben. Während beim Tagessehen diejenige Stelle des Spektrums am hellsten erscheint, welche dem reinen spektralen Gelb entspricht, ist im Dämmerungssehen das langweilige Ende des Spektrums bis ins Gelb hinein dunkler geworden, und das Maximum liegt in der Gegend des gelblichen Grün.

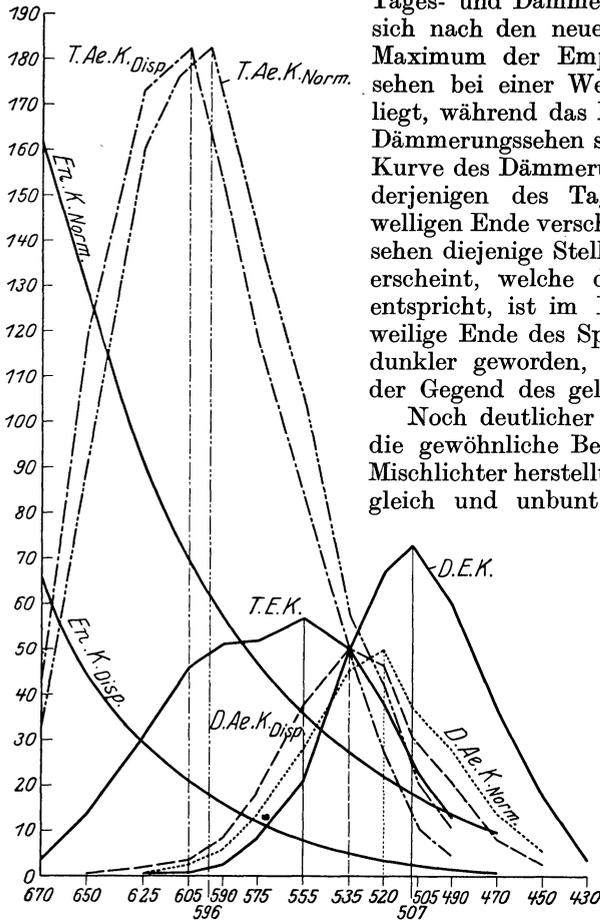


Abb. 9. Äquivalenzkurven der spektralen Helligkeitsverteilung im Dispersionsspektrum und im Normalspektrum des Triplex-Gaslichtes — ermittelt nach der direkten Methode des Halbfeldvergleiches — [unter Angabe der zugehörigen Energieverteilung (*En.K.*<sub>Disp.</sub> und *En.K.*<sub>Norm.</sub>)] *A* für das zentrale Tagessehen des Farbentüchtigen (bei der höchsten Intensitätsstufe *H*): *T.Ae.K.*<sub>Disp.</sub> und *T.Ae.K.*<sub>Norm.</sub> bei der im Dispersionsspektrum bzw. Diffractions- oder Normalspektrum bestehenden ungleichmäßigen Energieverteilung, sowie der zugehörigen spektralen Empfindlichkeitskurve (*T.E.K.*) bei gleichmäßiger Energieverteilung. *B* für das Dämmerungssehen (bei niedriger schwelennaher Intensitätsstufe). *D.Ae.K.*<sub>Disp.</sub> und *D.Ae.K.*<sub>Norm.</sub> sowie der zugehörigen Empfindlichkeitskurve (*D.E.K.*) bei gleichmäßiger Energieverteilung nach den Werten von A. KÖNIG (*En.K.*<sub>Disp.</sub>, *T.E.K.*, *D.E.K.* — unter Neuberechnung der Werte *En.N.*<sub>Norm.</sub>, *T.Ae.K.*<sub>Disp.</sub>, *T.Ae.K.*<sub>Norm.</sub>, *D.Ae.K.*<sub>Disp.</sub>, *D.Ae.K.*<sub>Norm.</sub>). (Nach A. TSCHERMAK.)

Tageshelligkeit stammen von PURKINJE. Nach ihm heißt diese auffällige Erscheinung das PURKINJESCHE Phänomen. Die Helligkeitsänderung farbloser Lichtgemische von verschiedenem Dämmerungswert kann man nach v. KRIES als eine Art achromatischen PURKINJESCHEN Phänomens bezeichnen; das

Noch deutlicher wird dieser Unterschied für die gewöhnliche Betrachtung, wenn man zwei Mischlichter herstellt, welche bei Tageslicht völlig gleich und unbunt (Grau) erscheinen. Stellt man z. B. eine derartige Gleichung für das Tagessehen aus Rot und Blaugrün einerseits, aus Grünlichgelb und Violett andererseits her, so hat (vgl. v. KRIES) das Gemisch aus Grünlichgelb und Violett in diesem Falle einen 7- bis 8mal so großen Dämmerungswert als das Gemisch aus Rot und Blaugrün. Es zeigt sich also nicht nur, daß die einzelnen Spektrallichter ganz verschiedene Werte haben, je nachdem ob sie bei Helladaptation oder bei Dunkeladaptation betrachtet werden, sondern auch, daß Lichtgemische ähnliche Änderungen in der Erscheinungsweise durchmachen.

**Das PURKINJESCHE Phänomen.** Die ersten Beobachtungen über die Dämmerungsungleichheit von Lichtern mit gleicher

achromatische PURKINJESche Phänomen ist bei dieser Definition ein Sonderfall des isochromen PURKINJESchen Phänomens.

Versucht man die Empfindlichkeit des Auges für das Spektrum kurvenmäßig darzustellen, so begeht man einen Fehler, wenn man das Dispersionsspektrum zum Ausgang nimmt. Bekanntlich ist das durch Prismen erzeugte Dispersionsspektrum verzerrt; infolgedessen ergibt die photometrische Messung der verschiedenen Spektralteile und auch die Festlegung der Empfindlichkeit des Auges durch Gleichungen falsche Werte. Um richtige Werte zu bekommen, muß man vom Diffraktionsspektrum ausgehen.

Wie TSCHERMAK sehr richtig betont, ist übrigens auch durch die Aufstellung von Gleichungen und durch den Vergleich des ganzen Spektrums mit einem bestimmten Spektrallicht, etwa dem der hellsten Stelle des Spektrums, keine Beurteilung der *Helligkeitsverteilung*, d. h. der Abstufung der Empfindungen bei der Betrachtung des Spektrums möglich. Man erhält immer nur eine Auskunft, welche Abschwächung des Vergleichslichtes prozentual notwendig ist, um die anderen Stellen des Spektrums an Helligkeitsintensität zu erreichen.

Wenn man unter Berücksichtigung der ungenauen Wiedergabe der Lichtstärkenverteilung des Dispersionsspektrums Vergleichswerte schaffen will, so muß man die Werte des Dispersionsspektrums auf solche des Diffraktionsspektrums umrechnen und dann die Äquivalenzwerte durch die Energiewerte des Spektrums dividieren. Durch die Division mit den Energiewerten wird eine Kurve zur Darstellung gebracht, der ein Spektrum mit gleicher Energieverteilung für alle Spektralpunkte zugrunde liegt. Man erhält auf diese Weise sog. Empfindlichkeitskurven des Auges. Die Energieverteilung sowie die Umrechnungen des Spektrums sind kurvenmäßig dargestellt von A. TSCHERMAK, Abb. 9.

Man kann bei den Messungen auch so vorgehen, daß man in allen Teilen des benutzten Spektrums die Intensität derart abschwächt, daß das Licht gerade noch sichtbar ist. Dann erhält man eine Kurve der zur Erkennung notwendigen Schwellenintensitäten.

**Besonderheiten des Dämmerungssehens.** Es müssen noch einige Besonderheiten erwähnt werden, die für das Dämmerungssehen gelten. Da ist z. B. die schon kurz angeführte Erscheinung zu nennen, daß alle Teile des Spektrums farblos über die Schwelle treten, wenn man mit einer Intensität  $= 1/\infty$  beginnt und diese allmählich steigert. Am deutlichsten ist dies bei den kurzwelligen Lichtern bis in die Gegend des spektralen Grün, die eine ziemliche Intensität erreichen können, bevor sie bei weiterer Steigerung farbig werden. Hierher gehören also die Lichter, die der hellsten Stelle des Spektrums im Dämmerungssehen entsprechen. Die langwelligen Lichter verlieren entsprechend der Kurve (Abb. 8) gegenüber dem Tagessehen wohl außerordentlich an Helligkeit, aber auch sie treten noch farblos über die Schwelle, das heißt bei weiterer Steigerung sieht man zunächst ein farbloses Licht, das ähnlich wie alle anderen Spektralgebiete während des Dämmerungssehens höchstens einen leicht bläulichen Farbton hat. Man bezeichnet diesen Spielraum zwischen der absoluten und der Farbenschwelle auch mit dem Ausdruck „achromatisches Intervall“.

Für das Licht der roten Spektralteile des Tagessehens ist allerdings diese Frage noch strittig. Verschiedene Autoren, unter denen AUBERT, HERING und TSCHERMAK, neuerdings FRÖHLICH, genannt seien (Literatur bei FRÖHLICH), haben angegeben, daß auch das langwellige Ende des Spektrums zunächst farblos erscheint. Andere Beobachter, unter ihnen KÖNIG, v. KRIES, dagegen behaupten, daß *rotes* Licht doch sofort an der Schwelle farbig wirke.

Ist das Auge stark dunkeladaptiert, so sieht man abgesehen von rot nicht nur schwache Lichter, sondern selbst starke Lichter zunächst kurze Zeit farblos. Es zeigt sich aber, daß ein *dauerndes* Farblossehen nur für geringe, eine gewisse Grenze nicht übersteigende Intensitäten beobachtet wird. TSCHERMAK hat geradezu den Satz formuliert, daß Dämmerungssehen dies Sehen im farblosen Intervall sei.

*Der Farbton beim Dämmerungssehen* ist, wie schon erwähnt, für viele Beobachter kein reines Weiß, sondern ein Weiß mit einer leicht bläulichen Zumischung, doch sind die Angaben hierüber verschieden. Ich selbst vermag eine bläuliche Zumischung nicht zu erkennen.

Sehr wichtig ist die Feststellung, daß *Farbentüchtige und Farbenuntüchtige sich im Dämmerungssehen stets gleich verhalten*. Eine besondere Bedeutung hat weiterhin die Feststellung erlangt, daß der total Farbenblinde nicht nur für niedrige Intensitäten die für das Dämmerungssehen des Normalen charakteristische Helligkeitsverteilung hat, sondern sie auch bei den höchsten Intensitäten beibehält.

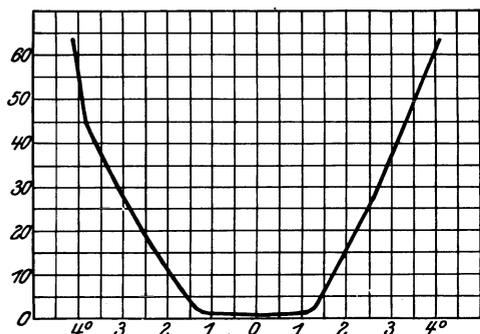


Abb. 10. Empfindlichkeit für gemischtes (bläulichweißes) Licht in der Fovea centralis des dunkeladaptierten Auges und ihrer näheren Umgebung. Links temporales, rechts nasales Gesichtsfeld. (Aus NAGELS Handbuch der Physiologie, Bd. 3, S. 172.)

wollen, so verschwindet er; blicken wir etwas seitlich, so taucht er wieder auf. Die Maculagegend ist also für das Dämmerungssehen minderwertig, es besteht während des Dämmerungssehens ein relatives zentrales Skotom

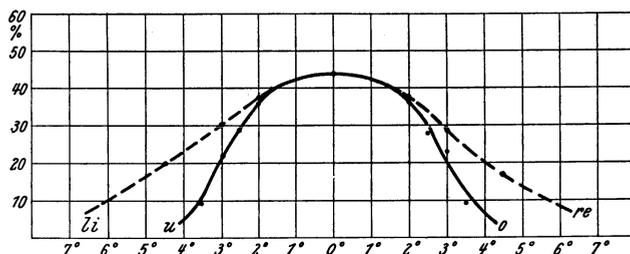


Abb. 11. Die Verteilung des Lichtverlustes in der Macula lutea. Abszisse = Netzhautorte, ausgedrückt durch den Gradabstand vom Fixierpunkt, Ordinaten = prozentualer Lichtverlust im senkrechten, - - - - im horizontalen Maculadurchmesser. (Nach A. KOHLRAUSCH.)

(Abb. 10). Bei zunehmender Beleuchtung wird dieses allmählich kleiner, das Netzhautzentrum selbst scheint jedoch nicht am Dämmerungssehen teilzunehmen, was jedenfalls durch physiologische Ursachen bedingt ist, und nicht mit dem Lichtverlust im pigmentierten Gebiet des gelben Fleckes erklärt werden kann, der nach KOHLRAUSCH (Abb. 11) nicht mehr als 45% beträgt.

**Dämmerungswerte und Sehpurpur.** Weiter ist von größter Wichtigkeit für die Beurteilung der physiologischen Grundlagen die Tatsache, daß die Dämmerungswerte parallel zur Absorption der entsprechenden Spektrallichter durch den Sehpurpur, dem allein oder vorzugsweise in den Stäbchen enthaltenen Farbstoff des dunkeladaptierten Auges liegen. Dieser Absorption entspricht die Bleichung des Sehpurpurs bei der Belichtung; auch der Bleichung dieses Farbstoffes durch die einzelnen Spektrallichter sind die Dämmerungswerte des entsprechenden Spektralteiles proportional (s. Kapitel DITTLER, Sehpurpur, S. 98 dieses Bandes).

#### 4. Folgerungen aus dem PURKINJESCHEN Phänomen. Duplizitätstheorie.

Aus den vorhergehenden Abschnitten ergibt sich, daß gerade die Leistung des Lichtsinnes, nämlich das Sehen der Helligkeiten nicht nur von der Wellenlänge der spektralen Lichter abhängig ist, sondern auch in ganz verschiedener Weise erfolgt, je nachdem wir uns mit dem Sehorgan im Zustande der Dunkel- anpassung oder in einer dem Tagessehen entsprechenden Hellanpassung befinden. Dieser schon vorher als *PURKINJE-Phänomen* gekennzeichneten Erscheinung entsprechen vielfache Beobachtungen des täglichen Lebens. Wir sehen z. B. die leuchtend roten Früchte eines Apfelbaumes am Abend mit hereinbrechender Dämmerung immer dunkler werden, bis sie sich von dem in ein helleres Grau verwandelten Grün der Blätter als dunkle schwarze Flecke abheben. Ein Strauß roter Blumen, der bei Tageslicht neben einem Strauß von Kornblumen fast ebenso hell erscheint, ist in der Dämmerung ganz dunkel, während das Blau im Dämmerungssehen eine fast magische Leuchtkraft entfaltet und weißlich erscheint, und vieles andere.

Besonders anschaulich werden die Verhältnisse, wenn wir die Valenzkurven (d. h. die Verteilung der Helligkeiten) für das Tages- und das Dämmerungssehen miteinander vergleichen, wie dies in der Abb. 8 geschehen ist. Wir vergegenwärtigen uns noch einmal, was schon in den vorigen Abschnitten festgestellt wurde, daß das Maximum der Kurve für das Hellauge durchschnittlich bei etwa 580—560  $m\mu$ , das Maximum der Kurve des dunkeladaptierten Auges dagegen bei etwa 540—520  $m\mu$  liegt. Ähnliche Bestimmungen, wie in den wiedergegebenen Kurven von TSCHERMAK und den neueren Kurven von KOHLRAUSCH, S. 192 sind noch von vielen anderen Autoren gemacht worden. Die Haupttatsachen sind keineswegs strittig; die Ergebnisse differieren allerdings etwas, je nachdem welche Untersuchungsmethode angewandt worden ist.

Auf diesen physiologischen Verschiedenheiten der Lichtempfindung hat man unter Verwertung bekannter anatomischer Tatsachen eine Theorie gegründet, die einer der wichtigsten Pfeiler für das Gebäude der modernen Sehtheorie überhaupt geworden ist: die *Duplizitätstheorie*.

Als erster hatte MAX SCHULTZE im Jahre 1868 bei anatomischen Untersuchungen der Netzhaut festgestellt, daß diese einen differenten Bau zeige, je nachdem die Tiere hauptsächlich vom Tagessehen oder vom Nachtsehen abhängig waren. Auf Grund seiner Feststellungen kam MAX SCHULTZE schon zu der Hypothese, daß es sich bei den Stäbchen der Netzhaut um die anatomischen Elemente für das Sehen in der Dämmerung, bei den Zapfen um die lichtempfindlichen Organe für das Sehen bei hellem Tageslicht handeln müsse. Diese anatomische Fundierung gewann aber erst die rechte Bedeutung durch die unabhängige physiologische Ergänzung und teilweise Neugestaltung, welche die SCHULTZESCHE Hypothese durch die Duplizitätstheorie erfahren hat. Diese, von PARINAUD und von v. KRIES unabhängig voneinander gefunden, begründete es mit einer Reihe zueinander passender Feststellungen, daß es wahrscheinlich ein an den Stäbchen gebundenes Dämmerungssehen und ein von den Zapfen abhängiges Tages- und Farbsehen gibt. Die wichtigsten Tatsachen, die für diese gut fundierte Hypothese sprechen, sind folgende:

1. Die Übereinstimmung zwischen den anatomischen Verhältnissen an der Netzhaut und den physiologischen der Empfindlichkeitsverteilung. Dazu gehört die Übereinstimmung des Zentralskotoms während des Dämmerungssehens mit dem stäbchenfreien Netzhautareal. An der Stelle des deutlichsten Sehens besteht ein hemeralopischer Bezirk, in dem sich das PURKINJESCHE Phänomen nicht zeigt. Dessen Größe wurde mehrfach genau ausgemessen, das erste Mal von v. KRIES und NAGEL. Es wurden ein kleines rotes und ein kleines

gelbgrünes Feld auf gleiche Helligkeit gebracht, und sodann festgestellt, daß in einem kleinen Bezirk von horizontal 88 bis 107 Minuten, vertikal 81 Minuten (NAGEL) auch bei starker Dunkeladaptation eine Helligkeitsänderung nicht statthatte. Die neueste Messung zu diesem Zweck ist von DIETER ausgeführt worden. Die Größe des Bezirks, welcher kein PURKINJESCHES Phänomen zeigt, betrug 1,4 und 1,56° Sehinkel. Auch bei Farbenblinden wurden ähnliche Maße für einen Bezirk zentraler Minderempfindlichkeit festgestellt, was einem Durchmesser des betreffenden Netzhautareals zwischen 0,36 und 0,39 bzw. 0,41 mm entsprechen würde. Anatomische Untersuchungen WOLFRUMS, welche DIETER zitiert, haben eine Durchschnittsgröße des stäbchenfreien Bezirks von 0,44 mm ergeben (s. auch hierüber in Bd. 1 dieses Handbuches, S. 129).

2. Die weitgehende Erklärung, welche das für die Stäbchen angenommene Dämmerungssehen durch das Verhalten des Sehpurpurs findet, der in den Stäbchen enthalten ist. Hier kommt im einzelnen in Betracht: a) Die fast völlige Übereinstimmung der Valenzkurve des Dämmerungssehens mit der Bleichungskurve des Sehpurpurs, b) die Übereinstimmung der Dunkeladaptationszeit mit den zeitlichen Verhältnissen der Sehpurpur-Regeneration.

3. Das Verhalten der total Farbenblinden, die sich als Stäbchenseher charakterisieren lassen. Bei ihnen findet sich auch bei stärkster Helladaptation keine Änderung der Valenzkurve; diese bleibt genau die gleiche wie beim Dämmerungssehen. Wenn man also das Dämmerungssehen auf Stäbchenfunktion bezieht, so wird das Verhalten der total Farbenblinden weitgehend geklärt unter der Annahme, daß ihnen die Zapfenfunktion völlig oder mindestens zu einem ganz erheblichen Teile mangelt. In der Tat haben sie auch oft ein Zentralskotom und eine dem Zentralskotom, der Größe des stäbchenfreien Bezirks entsprechende Amblyopie.

## Literatur.

### *Tages- und Dämmerungssehen.*

ABELSDORFF, DIETER u. KOHLRAUSCH: Weitere Untersuchungen über den Dunkeladaptationsverlauf bei verschiedenen Farbensystemen und bei Adaptationsstörungen. Pflügers Arch. 196, 118 (1922). — ACHMATOV, A. F.: Eine experimentelle Untersuchung der Dunkeladaptationsgleichungen. Pflügers Arch. 215, 10 (1926).

BEST: (a) Über Dunkeladaptation der Netzhaut. Graefes Arch. 76, 146 (1910). (b) Über Nachtblindheit im Felde. Münch. med. Wschr. 62, 1121, Feldärztl. Beil. (1915). (c) Untersuchung über die Dunkeladaptation des Auges mit Leuchtfarben. Z. Biol. 68, 111 (1917). — BIRCH-HIRSCHFELD: Über Nachtblindheit im Kriege. Graefes Arch. 92, 273 (1916). — BLANCHARD, J.: Die Helligkeitsempfindung der Netzhaut. Dtsch. opt. Wschr. 7, 936, 958, 975 (1921). — BOLL, F.: Zur Anatomie und Physiologie der Retina. Arch. Anat. u. Physiol. 1877, 4. — BRÜCKNER: (a) Über Anpassung des Sehorgans. Schweiz. med. Wschr. 55, 245 (1925). (b) Helligkeitsbestimmungen farbiger Papiere. Pflügers Arch. 98, 90 (1903).

CHARPENTIER: (a) La sensibilité lumineuse et l'adaptation rétinienne. Arch. d'Ophthalm. 6, 196 (1886). (b) Expériences sur la marche de l'adaptation rétinienne. Arch. d'Ophthalm. 6, 294 (1886). — COMBERG, W.: Beiträge zur Hemeralopiefrage. Münch. med. Wschr. 1917, 833.

DIETER, W.: (a) Über das PURKINJESCHE Phänomen im stäbchenfreien Bezirk der Netzhaut. Graefes Arch. 113, 141 (1924). (b) Allgemeine Störungen der Adaptation des Sehorganes in BETHE-BERGMANN'S Handbuch der Physiologie, Bd. 12, 2, S. 1595. Berlin 1931.

EXNER, S.: Über die zu einer Gesichtswahrnehmung nötige Zeit. Ber. Wien. Akad. II 58, 601 (1868).

FRÖHLICH: Die Empfindungszeit. Jena 1929.

HERING, E.: (a) Zur Lehre vom Lichtsinne. 6. Mitt. ksl. Akad. Wissensch. Wien 1878. (b) Untersuchung eines total Farbenblinden. Pflügers Arch. 49, 563 (1891). (c) Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn. Handbuch von GRAEFE-SAEMISCH, 2. Aufl. Leipzig 1905 bis 1921. — HERTEL, E.: Untersuchungen mit dem Kugeladaptometer. 49. Verslg dtsch. ophthalm. Ges. Leipzig 1932. — HIECKE: Über neue Beziehungen zwischen Farbenempfindung und Helligkeit. Z. Sinnesphysiol. 59, 67 (1928). — HILLEBRAND, F.: Über die spezifische Helligkeit der Farben. Beiträge zur Psychologie der Gesichtsempfindung von

E. HERING. Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. 1889, 77. — HOFE, K. vom: Untersuchungen über den Ablauf der Dunkeladaptation. Dtsch. ophthalm. Ges. Heidelberg 1927, 305.

JESS: (a) Untersuchung auf Nachtblindheit an der Front. Ber. 40. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1916, 210. (b) Die Nachtblindheit. Sammelreferat. Zbl. Ophthalm. 6, 1 (1922).

KOFFKA: Psychologie der optischen Wahrnehmung im Handbuch der Physiologie von BETHE-BERGMANN, Bd. 12, II. — KOHLRAUSCH, A.: (a) Untersuchungen mit farbigen Schwellenprüflichtern über den Dunkeladaptationsverlauf des normalen Auges. Pflügers Arch. 96, 113 (1922). (b) Über einige Methoden zur Helligkeitsmessung ungleicher Farben und ihre Anwendung in der photometrischen und colorimetrischen Praxis. Dtsch. opt. Wschr. 10, 61. (c) Tagessehen, Dämmersehen, Adaptation in BETHE-BERGMANN'S Handbuch der Physiologie, Bd. 12, II, S. 1394. — KOHLRAUSCH, A. u. J. TEUFER: Die objektiven Lichtwirkungen auf die Netzhaut. Tabulae biologicae, Bd. 1, S. 310. 1925. — KRAVKOV: Über die Helligkeits- und Adaptationskurven der total Farbenblinden. Graefes Arch. 118, 285 (1927). — KRIES, J. v.: (a) Über den Einfluß der Adaptation auf Licht- und Farbenempfindung und über die Funktion der Stäbchen. Ber. Freiburg. naturforsch. Ges. 9, 61 (1894). (b) Über die Funktion der Netzhautstäbchen. Z. Psychol. u. Physiol. Sinnesorg. 9, 81 (1895). (c) Über die zur Erregung des Sehorgans erforderlichen Energiemessungen. Z. Sinnesphysiol. 41, 373 (1907). (d) Zur Theorie des Tages- und Dämmerungssehens. Handbuch der Physiologie von BETHE-BERGMANN, Bd. 12, I, S. 679. Berlin 1929. — KRIES, J. v. u. W. NAGEL: Weitere Mitteilungen über die funktionelle Sonderstellung des Netzhautzentrums. Z. Psychol. u. Physiol. Sinnesorg. 23, 161 (1900). — KÜHNE, W.: Über den Schpurpur. Unters. physiol. Inst. Heidelberg 1—4 (1877—81).

LOHMANN: (a) Über Helladaptation. Z. Sinnesphysiol. 41, 290 (1906). (b) Über Helladaptation. Ber. 33. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1907, 244. (c) Untersuchungen über Adaptation und Bedeutung für Erkrankungen des Augenhintergrundes. Graefes Arch. 65, 365 (1907). (d) Kritische Studien zur Lehre von der Adaptation. Arch. Augenheilk. 83, 275 (1918).

MATTHEY, GENEVIÈVE: Eine „Standardkurve“ der Dunkeladaptation für klinische Untersuchungen. Im Druck. — MAY u. NAGEL: Ein Fall totaler Farbenblindheit. Z. Sinnesphysiol. 42, 69 (1907). — MÖLLER, H. U.: Untersuchungen über das Dunkelsehen mit TSCHERNING'S photometrischen Gläsern. Acta ophtalm. (Københ.) 7, 1 (1929). — MÜLLER, E.: Die monokulare und binokulare Reizschwelle der dunkeladaptierten Augen. Pflügers Arch. 193, 29 (1922). — MÜLLER, H. K.: (a) Zur Darstellung des Dunkeladaptationsverlaufs in Kurvenform für klinische Untersuchungen. Graefes Arch. 125, 614 (1931). (b) Über den Einfluß verschiedener langer Vorbelichtung auf die Dunkeladaptation und auf die Fehlergröße der Schwellenreizbestimmung während der Dunkeladaptation. Graefes Arch. 125, 624 (1931). — MÜLLER, G. E.: Über die Farbenempfindungen. Z. Psychol. u. Physiol. Sinnesorg., Erg.-Bd. 17/18. Leipzig 1930.

NAGEL: (a) Zwei Apparate für die augenärztliche Funktionsprüfung. Z. Augenheilk. 17, 201 (1907). (b) Adaptation. Dämmerungssehen und Duplizitätstheorie. Artikel in HELMHOLTZ, Physiologische Optik, 3. Aufl., 1911.

PARINAUD: L'héméralopie et la fonction du pourpre visuel. C. r. Acad. franç. 93, 286 (1881). — PERTZ, A.: Photometrische Untersuchungen über die Schwellenwerte der Lichtreize. Inaug.-Diss. Freiburg 1896. Vgl. auch KOHLRAUSCH u. TEUFER in Tabulae biologicae. — PIPER, H.: (a) Über Dunkeladaptation. Z. Sinnesphysiol. 31, 161 (1903). (b) Über das Helligkeitsverhältnis monokular und binokular ausgelöster Lichtempfindungen. Z. Sinnesphysiol. 32, 161 (1903). — PURKINJE, J. E.: (a) Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne. Prag 1823. (b) Neue Beiträge zur Kenntnis des Sehens in subjektiver Hinsicht. Berlin 1825. (c) Zur Physiologie der Sinne, Bd. 2, S. 109. 1825.

RABINOWITSCH: Über den Gang der Schwellenempfindlichkeit und seine Abhängigkeit von der vorausgegangenen Belichtung. Z. Augenheilk. 19, 301 (1907). — ROELOFS u. ZEEMAN: (a) Zur Frage der binokularen Helligkeit und der binokularen Schwellenwerte. Graefes Arch. 88, 1 (1914). (b) Die Untersuchung der Dunkeladaptation. Nederl. Tijdskr. Geneesk. 64, 1422.

SCHATERNIKOFF: Neue Bestimmungen über die Verteilung der Dämmerungswerte im Dispersionsspektrum des Gas- und Sonnenlichtes. Z. Psychol. u. Physiol. Sinnesorg. 29, 255 (1902). — SCHULTZE, M.: Zur Anatomie und Physiologie der Retina. Arch. mikrosk. Anat. 2, 175 (1866).

TAKAGI, R.: Dunkeladaptation bei Albinos und eine kurze Abhandlung über das Wesen der OGUCHISCHEN Krankheit. Z. Augenheilk. 58, 436 (1926). — TREITEL, TH.: (a) Über Hemeralopie und Untersuchung des Lichtsinnes. Graefes Arch. 31 (1), 139 (1885). (b) Über das Verhalten der normalen Adaptation. Graefes Arch. 33 II, 73 (1887). — TSCHERMAK, A. v.: Licht- und Farbensinn. Handbuch der Physiologie von BETHE-BERGMANN, Bd. XII, 1, S. 295 f.

WALKER, W.: Über die Adaptationsvorgänge der Jugendlichen und ihre Beziehungen zu den Transformationserscheinungen. *Z. Psychol.* **103**, 323 (1927). — WESSELY: (a) Über Störungen der Adaptation. *Ber. augenärztl. Tagg Budapest. Arch. Augenheilk.* **81**, Erg.-H., 58 (1915). (b) Ein einfacher Apparat zur Messung der Adaptation. *Münch. med. Wschr.* **1915**, Feldärztl. Beil., Nr 49. *Ref. Klin. Mbl. Augenheilk.* **56**, 139 (1916). — WÖLFFLIN, E.: (a) Der Einfluß des Lebensalters auf den Lichtsinn bei dunkeladaptiertem Auge. *Graefes Arch.* **61**, 524 (1905). (b) Über physiologische Beobachtungen an total Farbenblinden. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **78**, 596 (1927).

## C. Die zeitlichen Verhältnisse bei der Erregung.

### 1. Das Anklingen der Erregung.

So wie für den Ablauf der Erregung auf den afferenten Bahnen anderer Sinnesorgane eine gewisse Zeit vergeht, so ist auch für den Ablauf der Erregung im Sehorgan mit einer solchen zu rechnen. Die HELMHOLTZ-Schüler hatten angenommen, daß ein kontinuierlicher Anstieg der Erregung stattfindet. Durch die HESS'schen Versuche wurde aber wahrscheinlich gemacht, daß beim Anklingen phasische Vorgänge im Sehorgan vorhanden sein müssen. HESS verschob den geradlinigen Rand einer mattweißen Tafel senkrecht zur Bewegungsrichtung über die Mitte des Gesichtsfeldes hinweg, während die Blickrichtung unverändert blieb. Dabei ließ sich, leicht erkennbar, hinter einer positiven Anfangsphase eine negative und schließlich wieder eine hellere Phase feststellen und zeigen, daß die Erregung in der Maculagegend verzögert ist (rückwärtige Ausbuchtung der fortschreitenden Kante entsprechend dem Fixierpunkt). Farbige Lichter sind bei dunkeladaptiertem Auge zunächst farblos, woraus mit TSCHERMAK und M. H. FISCHER auf einen schnelleren Anstieg der Weißerregung geschlossen werden muß.

Die Reaktionsträgheit des Netzhautzentrums ist von zahlreichen Autoren festgestellt worden, wurde von HESS auch am total Farbenblinden gefunden, was ebenso wie die neuerdings vorgenommene anatomische Untersuchung eines farbenblinden Auges doch auf irgendwelche Mitarbeit der Maculagegend bei den total Farbenblinden hinweist.

Die Reaktionsträgheit ist schließlich auch zur Ausmessung der Größe der Fovea benutzt worden, wobei ein etwas größerer Bezirk ermittelt wurde als bei der Prüfung des PURKINJE'schen Phänomens (horizontal etwa 0,6 mm, vertikal etwa 0,5 mm nach DIETER, gegenüber horizontal 0,42 mm, vertikal 0,37 mm, bei der Prüfung des PURKINJE'schen Phänomens).

### 2. Spezielles über die Empfindungszeit.

Zunächst interessieren die zeitlichen Verhältnisse bis zum Eintritt der Lichtempfindung. Man muß aber natürlich wohl unterscheiden zwischen der Zeit, die gebraucht wird, um auf einen Lichtreiz mit einer Handlung zu reagieren (Reaktionszeit), und der Zeit, die bis zum Auftreten einer möglichst einfachen Empfindung (Empfindungszeit) nach Einwirkung von Lichtreizen vergeht. Letztere ist naturgemäß bei einer Darstellung der Verhältnisse des Lichtsinnes von hauptsächlichem Interesse. Früher hielt man meistens die isolierte Messung der „Empfindungszeit“ für nicht möglich, während die Reaktionszeit von den Astronomen seit vielen Jahrzehnten bestimmt wird. Auch die in der Psychologie gebräuchlichen Verfahren schlossen sich an die alte astronomische Methode an, nach der durch Niederdrücken einer Taste beim Durchgang eines Sternes die Reaktionszeit jedes Untersuchers festgelegt wurde. Es hatte sich schon bei den älteren Messungen der Reaktionszeit, über die hier im einzelnen nicht zu berichten ist, gezeigt, daß große individuelle Differenzen bestehen; das ist nicht erstaunlich, weil eine von Wahrnehmungen abhängige Handlung gefordert wird, also psychische Akte vorliegen.

Die ersten Versuche von Messungen der „Empfindungszeit“ gehen auf A. FICK zurück und wurden später von EXNER ausgebaut. Neuerdings sind weitere wichtige Beiträge zu diesem Thema besonders von FRÖHLICH und von

HAZELHOFF geliefert worden. Ein relativ einfaches Verfahren stammt z. B. von HAZELHOFF. Er läßt eine gleichmäßig weiter wandernde Marke fixieren. An einem bestimmten Punkte der Bahn taucht in der Gegend der Marke für einen Augenblick ein Lichtreiz auf. Da die Lichtempfindung eine meßbare Zeit gebraucht, so ist die Marke unterdes weiter gewandert und das Aufleuchten des Lichtpunktes wird an einer auf der Bahn der Marke weiter vorausliegenden Stelle empfunden. Die Verschiebung des „Empfindungsortes“ gegenüber dem Markenort wäre ein genaues Maß für die Empfindungszeit. Die benötigte Zeit kann aus der Größe des Lokalisationsfehlers und der Geschwindigkeit der Markenbewegung leicht berechnet werden. Da es sich um die Erkennung eines einfachen Aufleuchtens handelt, und nur unkomplizierte Wahrnehmungsakte dabei verlangt werden, so ist in der Tat hier noch am ehesten das gemessen, was man „Empfindungszeit“ nennen könnte. [HAZELHOFF selbst hat die von ihm festgestellte Zeit allerdings „Wahrnehmungszeit“ genannt.] Vgl. auch dazu S. 175—176.

Eine andere gerade neuerdings häufig zu eingehenden Untersuchungen benutzte Methode liegt der Empfindungszeitmessung FRÖHLICHs zugrunde. Bei ihr wird ein gleichmäßig bewegter Lichtspalt beobachtet, welcher hinter dem Rande eines Schirms hervortritt und seitwärts weiterläuft. Es zeigt sich dabei die merkwürdige Erscheinung, daß der Lichtspalt erst eine Strecke seitlich in die Erscheinung tritt, trotz Fixation des Schirmrandes. Das seitliche Hervortreten des Lichtspaltes wird nach FRÖHLICHs Annahme durch den Ablauf der Empfindungszeit verursacht.

Später hat FRÖHLICH das Verfahren so modifiziert, daß er an einer rotierenden Scheibe einmal nach seinem eigenen Verfahren und sofort hinterher (nach einer geringgradigen Veränderung der Apparatur) nach dem Verfahren HAZELHOFFs Ablesungen machen konnte. Dann zeigten sich zunächst Unterschiede, die durch die verschiedene Helligkeit der Marken bedingt waren. Er änderte daraufhin die Anordnung so, daß sowohl nach dem HAZELHOFFschen wie nach dem FRÖHLICHschen Verfahren die minimalen Empfindungszeiten gemessen wurden; jetzt fielen die Werte, wie er angibt, genau gleich aus.

Ein weiteres eigenartiges Verfahren zur Messung der Empfindungszeit ist neuerdings von PULFRICH angegeben worden. Er mißt den stereoskopischen Effekt, welcher bei der Fixation bewegter, seitlich pendelnder Marken auftritt, wenn die Empfindungszeiten für die beiden Augen des Beobachters dadurch verschieden gemacht werden, daß man die Helligkeit für ein Auge abschwächt. Mit der Änderung der Empfindungszeit für das eine der beiden Augen tritt eine monokulare Lokalisationsverschiebung des Markenbildes auf, welche zwangsläufig beim beidäugigen Sehen als stereoskopische Parallaxe ausgewertet wird und zu einer rhythmischen Verschiebung der Tiefenlage und damit zu einem scheinbaren „Kreisen“ der seitlich hin und her bewegten Marke führt. Indem man die Tiefenerstreckung der Kreisbewegung mißt, lassen sich unter Berücksichtigung der Geschwindigkeit die Empfindungszeitdifferenzen beider Augen mit einer Genauigkeit von mehr als  $\frac{1}{1000}$  Sek. feststellen.

Schließlich ist auch eine alte, von EXNER schon angegebene Methode ausgebaut worden. PIÉRON, MONJÉ, EBBECKE, auch STIGLER mit seinem Metakontrastverfahren, haben Untersuchungen angestellt, die als Modifikationen der EXNERSchen Versuche angesehen werden können. Es werden bei diesen Methoden Schwellenreize mit einem zweiten starken, zeitlich dem ersten folgenden Lichtreiz ausgelöscht, weil der folgende stärkere Reiz die kürzere Empfindungszeit hat. Aus den Zeitdifferenzen läßt sich bei diesen Versuchen auf die Empfindungszeit selbst schließen.

Die einfachste von den vier genannten Methoden ist diejenige von HAZELHOFF. Ihr nahe bezüglich mancher Ergebnisse steht trotz aller technischen Verschiedenheiten wohl das Verfahren von FRÖHLICH.

Auffallend bei der FRÖHLICH'schen Methode erscheint, daß sich die Empfindungszeit nach diesem Verfahren umgekehrt proportional dem Logarithmus der Geschwindigkeit verhalten soll. Bei den FRÖHLICH'schen Versuchen dürfte es sich nicht um die Feststellung der reinen „Empfindungszeit“ handeln, sondern eher um eine Empfindungszeit für bewegte Lichtreize, bei welchen anscheinend eine Verlagerung in Richtung auf den seitlich fortwandernden Reiz entsteht. Daß diese „Verlagerung“ (die einem besonderen psychischen Akte entspricht) mit der Geschwindigkeit der Bewegung nicht in gleichem Maße zunimmt, wäre verständlich. Was FRÖHLICH gemessen hat, könnte man auch im Sinne dieser Erklärung eine von der Empfindungszeit (oder Wahrnehmungszeit) wesentlich und gesetzmäßig beeinflusste interessante Erscheinung des Raumsinnes nennen, welche eben wegen ihrer gesetzmäßigen Beeinflussung gut geeignet ist, über die Empfindungszeit Aufschlüsse zu geben.

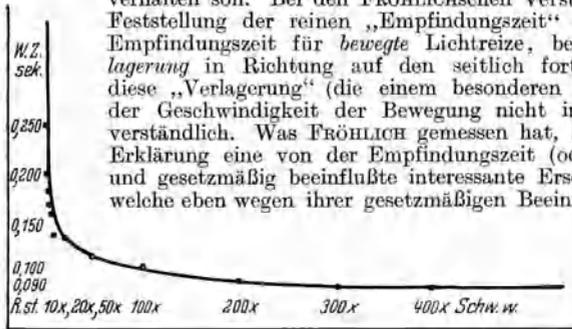


Abb. 12. Abnahme der Wahrnehmungszeit (W.Z.) mit der Zunahme der Reizintensität. Auf der Ordinate die Zeiten, auf der Abszisse die Reizintensitäten in Schwellenwerteinheiten (1 bis 400 × Schwellenwert). (Aus HAZELHOFF und WIERSMA: Z. Psychol. 97, 179.)

Jedenfalls hat sich bei den Messungen der Empfindungszeit sowohl mit dem Verfahren FRÖHLICH's als auch mit demjenigen von HAZELHOFF in vielen Punkten das gleiche Resultat er-

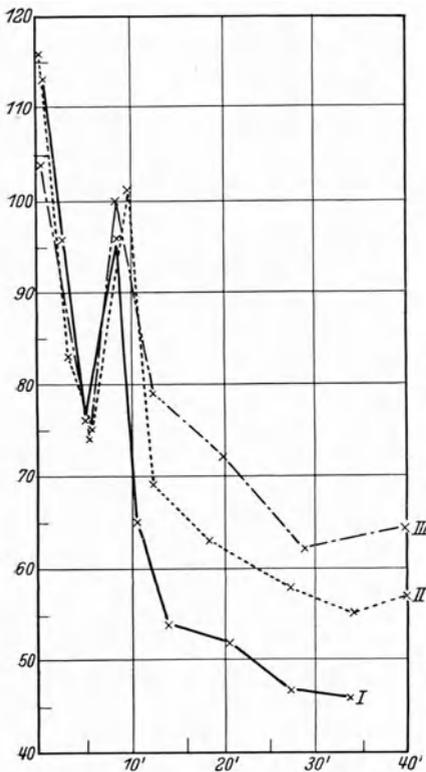


Abb. 13. Änderung der Empfindungszeit während der Dunkeladaptation. 3 Kurven; zwischen 7 und 10 Minuten ein „kritisches Stadium“, in welchem die Empfindungszeit wieder zunimmt. Darauf starker Abfall. (Nach KOVACS.)

geben. Es hat sich z. B. gezeigt, daß die Empfindungszeit mit Zunahme der Intensität des Lichtreizes abnimmt; mit anderen Worten, ein stärkerer Lichtreiz führt schneller zu einer Empfindung, ein schwacher Lichtreiz braucht eine wesentlich längere Zeit. Bei minimalen Lichtreizen kommt man schließlich zu einer maximalen Empfindungszeit. Diese betrug bei den Messungen FRÖHLICH's und seiner Mitarbeiter über 150 Sigma und konnte bis 1000 Sigma gesteigert sein. Geht man von schwachen Lichtreizen aus, so findet man mit Steigerung der Reize eine Abnahme der Empfindungszeit, die umgekehrt proportional zum Logarithmus der Intensität erfolgt, bis bei einer maximal notwendigen Intensität die minimale Empfindungszeit erreicht ist (s. Abb. 12 aus HAZELHOFF und WIERSMA). Die Minimalwerte bei HAZELHOFF lagen zwischen 59 und 109, bei FRÖHLICH zwischen 30 und 130 Sigma. Es bestehen übrigens erhebliche individuelle Unterschiede.

Die Adaptation ändert die Empfindungszeit in eigenartiger Weise. Bei dem Dunkeladaptationsversuch, den KOVACS anstellte, wurde bei Beginn der Dunkeladaptation zunächst eine Herabsetzung der Empfindungszeit, dann ein kritisches Stadium (nach etwa 7—10 Minuten Versuchsdauer), darauf eine erneute Herabsetzung bis zu einer Adaptationszeit von 45 Minuten, festgestellt (vgl. auch die Abb. 13 aus FRÖHLICH). VOGEL'SANG erklärt das Verhalten bis zum kritischen

bis zu einer Adaptationszeit von 45 Minuten, festgestellt (vgl. auch die Abb. 13 aus FRÖHLICH). VOGEL'SANG erklärt das Verhalten bis zum kritischen

Stadium durch das Auftreten eines starken Eigenlichtes. Es wäre auch möglich, der stärkeren Einmischung des Stäbchensehens in den späteren Stadien eine gewisse Bedeutung zuzuschreiben. Es ist angegeben, daß das kritische Stadium bei rotem Licht später eintritt als bei blauem Licht.

Bei den eingehenden Untersuchungen, welche die FRÖHLICHsche Schule über den Einfluß der Adaptation auf die Empfindungszeit ausgeführt hat, wurden einmal Versuche mit der Netzhautperipherie angestellt, es wurde ferner auch das Verhalten der Fovea centralis untersucht. Bei Anwendung eines für das helladaptierte Auge gerade noch genügend starken Reizes zeigte sich eine deutliche Abnahme der Empfindungszeit bei zunehmender Dunkeladaptation; wenn aber die Empfindungszeiten des hell- und des dunkeladaptierten Auges

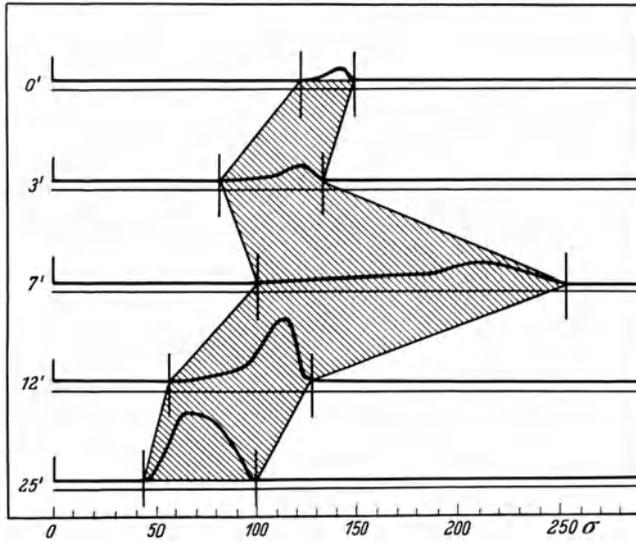


Abb. 14. Zeigt die Verhältnisse der Empfindungsdauer und des zeitlichen Verlaufs der Empfindung mit fortschreitender Dunkeladaptation. Man sieht untereinander mehrere Darstellungen für Adaptationszeiten von 0–25 Minuten. Auf den einzelnen Linien ist der von Null nach rechts fortschreitende Lichtspalt wiedergegeben; bei Null hat man sich die Kante vorzustellen, hinter der er auftaucht. In dem schraffierten Gebiet tritt er in Erscheinung. Die Höhe der Kurven soll die Stärke der Empfindung verdeutlichen. (Gezeichnet nach FRÖHLICH: Empfindungszeit, S. 83.)

mit Minimal- und Maximalreizen gemessen wurden, so erhielt man keine Unterschiede (VOGELSANG).

Nach BAYERS Untersuchungen verhält sich die Empfindungszeit umgekehrt proportional zum Logarithmus der Intensität; trägt man also die Abzissenwerte bei einer graphischen Darstellung in logarithmischer Progression auf, so bekommt man für die Empfindungszeiten eine gerade Linie. Diese biegt jedoch mit einem scharfen Knick in eine horizontale Linie an derjenigen Stelle um, an welcher die minimale Empfindungszeit erreicht ist (vgl. Abb. 15). Es zeigte sich bei den Versuchen BAYERS, daß die drei Kurven (weiß, rot, blau) schließlich bei derselben Intensität des Reizlichtes den minimalen Wert erreichen, mit anderen Worten, die drei Kurven laufen für rotes, blaues und ungefärbtes Licht schließlich am helladaptierten Auge in einem Punkte zusammen, welcher zugleich die minimale Empfindungszeit angibt. Bei Messungen über die Abhängigkeit der Empfindungszeit von der Intensität am dunkeladaptierten Auge ergaben sich nach den Versuchen von VOGELSANG insofern kompliziertere Verhältnisse, als bei stärkerer Intensität sich der Zapfenapparat einmischte, während der Anfangsteil der Kurve ausschließlich der Erregung des Stäbchenapparates entspricht. Der ziemlich steile Abfall der Empfindungszeiten für Reize aller Wellenlängen liegt im Bereich der Stäbchenenerregung bei den wiedergegebenen Kurven ungefähr auf der gleichen Linie (Abb. 16). Bei Einmischung des Zapfensehens treten die gleichen Unterschiede des Kurvenverlaufs in Erscheinung, die bei den Kurven des helladaptierten Auges von BAYER ersichtlich sind.

Bei Untersuchung der Empfindungszeit für verschiedenfarbige Lichter lassen sich zwar Unterschiede feststellen, doch beruht ja gerade die PULFRICHSche heterochrome Photometrie darauf, daß gleich helle Farben auch gleiche Empfindungszeiten haben. Allerdings weist mit der Stereomethode nur das helladaptierte Auge für gleiche Eindrucksstärken

gleiche Empfindungszeiten auf, während bei Dunkeladaptation das PURKINJESCHE Phänomen die Resultate verschiebt. Näheres über die Veränderung der Empfindungszeit farbiger Lichter während der Adaptation ist in der Arbeit KRONENBERGERS enthalten. Wie TSCHERMAK nach Vergleich der Resultate von FRÖHLICH und VOGELSANG konstatiert, besteht aber kein spezifischer Einfluß der Wellenlänge auf die definitiven Werte der maximalen und der minimalen Empfindungszeiten.

Aus Versuchen VOGELSANGS und FRÖHLICHS geht ferner hervor, daß die räumliche Ausdehnung des Lichtreizes (die vertikale Ausdehnung des horizontal verschobenen Spaltes) einen Einfluß auf die Empfindungszeit hat; mit Verlängerung des Spaltes trat eine Abnahme ein.

Es ist auch die Dauer der Belichtung von Einfluß; sie konnte bei den FRÖHLICHSchen Versuchen durch die Ver-

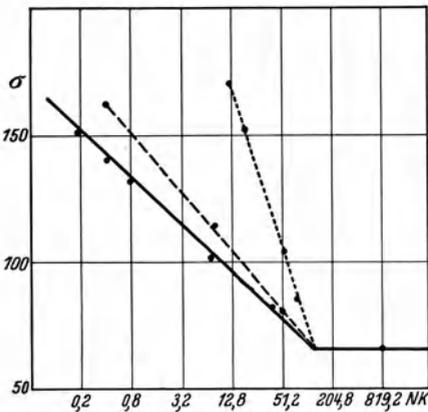


Abb. 15. Abhängigkeit der Empfindungszeit von der Intensität und der Farbe des Reizlichts. — unfärbtes Licht; - - - blaues Licht; . . . . rotes Licht. (Aus BAYER: Z. Biol. 85; vgl. FRÖHLICH: Die Empfindungszeit, S. 168.)

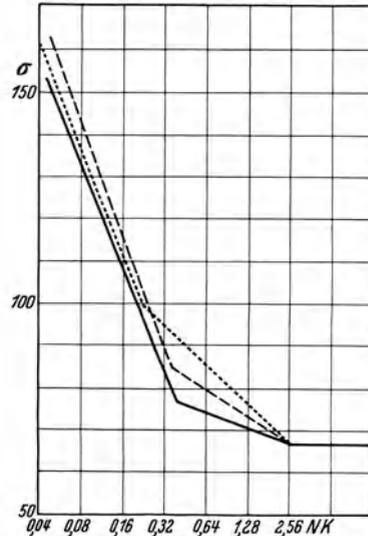


Abb. 16. Abhängigkeit der Empfindungszeit von Intensität und Farbe des Reizlichtes am dunkeladaptierten Auge. Für die Intensitäten des Dämmerungssehens laufen die Kurven parallel. Stärkere Lichter ergeben den gleichen Verlauf der Kurven wie bei Abb. 15. (Aus VOGELSANG: Z. Psychol. 85.)

breiterung des Spaltes in sehr einfacher Weise verändert werden. Dabei zeigte sich mit wachsender Spaltbreite eine Abnahme der Empfindungszeit in einer logarithmischen Beziehung.

Interessant sind die mit der ganz anders gearteten Methode PULFRICHS ausgeführten Versuche von ENGELKING und POOS. Sie fanden mit der Stereomethode eine Zunahme der Empfindungszeit beim Übergang von Zapfenreizung zur Stäbchenreizung. Während der Dunkeladaptation nimmt aber der Stereowert des langwelligen Lichtes wegen seiner ausschließlichen Einwirkung auf die Zapfen trotzdem eigenartigerweise zu, die Empfindungszeit dementsprechend ab, während für kurzwellige Lichter entsprechend ihrem Effekt auf das Stäbchensehen die Empfindungszeit wesentlich länger wird. Dadurch entsteht bei der Benutzung dieser Methode ein Resultat, das dem PURKINJESCHEN Phänomen scheinbar entgegengesetzt ist.

Zu erwähnen sind schließlich Versuche von FRÖHLICH, VOGELSANG und HAZELHOFF, die Bedeutung der Empfindungszeit für die Reaktionszeit abzugrenzen. Bei den Versuchen VOGELSANGS wurden Reize benutzt, welche eine minimale Empfindungszeit bedingen. Dabei zeigte sich, daß die Unterschiede in der Reaktionszeit im wesentlichen nur durch die Unterschiede in der Empfindungszeit beider Beobachter bedingt waren. Man kann auf diesem Wege also nicht nur den Anteil der Empfindungszeit, sondern auch den motorischen Anteil an der Reaktionszeit ziemlich genau analysieren.

### 3. Empfindungsanstieg, Nutzzeit, Gipfelzeit, Chronaxie.

Eine günstigste Wirkung des Reizes tritt nur ein, wenn er eine gewisse Zeit anhält. Um ein Maximum von Erregung zu erhalten, genügt nicht eine sehr kurze momentane Reizung. GILDEMEISTER stellte fest, daß bei eben merklichen Reizen die zum maximalen Effekt erforderliche „Nutzzeit“ erst erhalten wird, wenn der Reiz 0,125 Sek. andauert. Bei überschwelligen Reizen verhält sich diese Nutzzeit umgekehrt proportional wie die Reizstärke, so daß auch das Produkt von Intensität und Einwirkungsdauer innerhalb bestimmter Grenzen eine Konstante ist. CHARPENTIER fand als kürzeste Zeit, für welche dieses Gesetz gilt, die Dauer von 0,002 Sek. F. EXNER hat diese Zeit der objektiven Reizdarbietung, die nötig ist um den hellsten Eindruck hervorzurufen, Maximalzeit genannt.

Der Reiz kann natürlich schon unterbrochen sein, wenn der Augenblick der maximalen Erregung eingetreten ist. Diejenige Zeit, die vom Reizbeginn ab gerechnet, erforderlich ist, bis das Maximum der Erregung selbst erhalten ist, wird von TSCHERMAK „Gipfelzeit“ genannt. Natürlich ist die Nutzzeit bzw. die Maximalzeit kürzer als diese Gipfelzeit. Von TSCHERMAK wird betont, daß auch die Gipfelzeit sich umgekehrt zur Reizstärke verhält und daß sie enge Beziehungen zur Empfindungszeit hat. Es wird auch auf Versuche von v. BRÜCKE (Lit. bei TSCHERMAK) hingewiesen, nach welchen mit achtfacher Verstärkung des Reizes der Wert von 0,287 Sek. auf 0,151 Sek. herabsank. Die Gesichtsempfindung verläuft also in *allen* Phasen ihres Auftretens um so schneller, je stärker der Reiz ist. Es ist schon erwähnt, daß ein ungleich heller Streifen beim Vorbeiziehen im Gesichtsfeld nach dem Verfahren von v. HESS (s. S. 206) deutlich eine Verzögerung für den dunkleren Teil zeigt, was wieder zu der bei PULFRICHS Stereophotometrie benutzten Erscheinung überleitet.

Bietet man dem Auge sehr schwache Lichtreize oder läßt man sehr geringgradige nicht adäquate Reize, z. B. Ströme von geringer Intensität einwirken und stellt auf diesem Wege den Schwellenreiz fest, so kann man nach Verdoppelung der Intensität dieses Schwellenreizes diejenige Zeitschwelle messen, die nötig ist, um mit diesem verdoppelten Reiz eine Empfindung hervorzurufen. Man erhält dann eine besondere Kennzeit. Dieses mit dem Namen der *Chronaxiemessung* belegte Verfahren, das zunächst am motorischen Nerven, dann auch für alle Sinnesorgane Anwendung gefunden hat, ergab am Auge zwei verschiedene Zeitschwellen (Kennzeiten), nämlich eine zentrale von etwa 3 Sigma und eine periphere, welche nur etwa halb so hoch ist. Die Kennzeit des Netzhautzentrums soll eine Funktion der Zapfenerregung, diejenige der Peripherie eine Funktion der Stäbchenerrregung sein. Es handelt sich jedoch um sehr verwickelte Erscheinungen, die nicht bei allen Versuchspersonen gleichartig sind und noch einer näheren Erklärung bedürfen (vgl. Lit. bei BOURGIGNON).

### 4. Empfindungsverlauf bei Unterbrechung des Reizes: Nachdauer der Empfindung; Summation.

**Nachdauer der Empfindung.** Ebenso wie eine merkliche und meßbare Zeit verstreicht, bis der Eintritt der Empfindung dem Reizbeginn folgt, vergeht auch nach Absetzen des Reizes eine merkliche Zeit, bis die Empfindung abklingt. Zunächst folgt ein kurzer Zeitabschnitt, während dessen die Empfindung unverändert anhält, was ja wegen der Dauer des Ablaufes der Prozesse in den leitenden Nervenbahnen ohne weiteres erklärlich ist. Es gibt aber noch weitere Verzögerungen, die wohl aus der Vermittlung und der Überleitung der Prozesse an den Verbindungsstellen zwischen den einzelnen Neuronen erklärt werden müssen. Auch hier zeigt sich das Gesetz, daß der

schwächere Reiz eine längere Zeit benötigt, um von einem Neuron auf das zweite überzugehen als der stärkere Reiz, so daß dieser unter Umständen den schwächeren Reiz einholen kann, wie dies schon für das Anklingen der Empfindung (STIGLER) erwähnt worden ist (S. 207). Bei sehr kurzdauernden Reizen vermag die Erregung auch erst nach Aufhören des Reizes den Gipfel zu erreichen.

Während der Fortdauer eines Reizes von gleichbleibender Intensität findet eine sehr schnelle Anpassung an den Reiz statt (sog. *Momentadaptation*), welche die Empfindung herabsetzt. Dadurch werden plötzlich auftretende intensive Lichtreize erträglich gemacht. Andererseits wird auch bei starker Verdunkelung des Gesichtsfeldes durch die Momentadaptation sehr schnell eine Verbesserung der Sehbedingungen hergestellt. Nach einem Bruchteil einer Sekunde oder

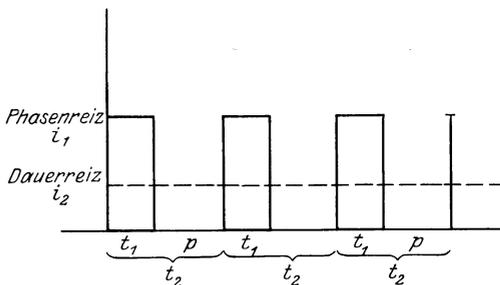


Abb. 17. Schema zur Darstellung des TALBOTSchen Gesetzes. Dauernde und phasische Reize ergeben gleiche Wirkung bei gleicher Antriebsenergie. (Aus TSCHERMAK: Licht- und Farbensinn in Handbuch der Physiologie, Bd. 12, 1.)

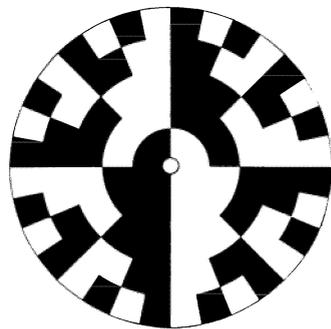


Abb. 18. TALBOTSche Scheibe. (Aus TSCHERMAK: Licht- und Farbensinn.)

jedenfalls nach kurzer Zeit tauchen, auch bei beträchtlicher Herabsetzung der Beleuchtung, vielfach die Gegenstände wieder aus dem Dunkel als sichtbar auf.

**Summation zeitlich mehrfach unterbrochener (sog. intermittierender) Reize.** Die Summation der Erregung bei mehrfacher Unterbrechung des Reizes erfolgt nach dem wichtigen Gesetz von TALBOT. Dauernde und phasische Reize ergeben die gleiche Wirkung bei gleicher Antriebsenergie (vgl. Abb. 17). Nach SHERRINGTON handelt es sich um ein allgemeines physiologisches Gesetz. Wie J. v. KRIES ausführt, und in neueren Untersuchungen von LUMMER und BRODHUN bestätigt wurde, ist der Reizerfolg bei periodisch wechselnden Lichtern oberhalb einer gewissen Geschwindigkeit der Reizfolge genau dem durchschnittlichen Wert gleichzusetzen.

Man kommt zu einer Erklärung dieser Verhältnisse, wenn man für kurze Zeiten auch den unmittelbaren chemischen Erfolg des Reizes dem Produkt von Intensität und Zeit gleichsetzt und eine gewisse Dauer der Empfindungszeit als tatsächlich postuliert; v. KRIES weist auf die analoge Erscheinung hin, daß auch zwei bei Magneten periodisch wechselnde Ströme einen Effekt besitzen, der der durchschnittlichen Stromstärke gleichkommt (TALBOT).

Die Bestätigung des Gesetzes erhält man in überzeugendster Weise bei der Benutzung der TALBOTSchen Scheibe (vgl. Abb. 18). Wahrscheinlich weisen trotz der schnellen Wechsel der peripheren Erregungsprozesse während der kurzdauernden Unterbrechungen doch irgendwie geänderte Verhältnisse auf. Im Sinne der Theorie von HECHT könnte man annehmen, daß nur die Vorstufe des Stoffes, der die Erregung bewirkt, periodisch gebildet wird, daß aber

der Erregungsvorgang selbst bei größerer Intermittenzzahl unabhängig davon konstant weiterläuft.

**Verschmelzung.** Die Verschmelzungsfrequenz, d. h. die notwendige Zahl der Reize, bei welcher kein Flimmern mehr auftritt, schwankt zwischen 10 und 160 Reizen pro Sekunde. Sie ist abhängig von Beleuchtung und Adaptation. (Lit. vgl. TSCHERMAK.) Die Verhältnisse bei Hell- und Dunkeladaptation sind sehr eigenartig. Obwohl mit zunehmender Dunkeladaptation der Helligkeitswert physikalisch gleichbleibender Lichtreize enorm zunimmt, setzt das dunkeladaptierte Sehorgan mit seinem viel langsameren Erregungsablauf doch die Verschmelzungsfrequenz herab, wenigstens soweit es sich um Lichter handelt, welche die Dunkeladaptation durch ihre Intensität nicht zerstören (vgl. TSCHERMAK). Im übrigen zeigt sich auch eine Abhängigkeit der Verschmelzungsfrequenz von der Feldgröße, mit welcher sie zunimmt und der Netzhautregion, indem die Verschmelzungsfrequenz in der Peripherie größer ist als im Zentrum.

Bei angeborener totaler Farbenblindheit ist die Frequenz sehr gering und übersteigt nach v. KRIES nicht die Zahl von 20 pro Sek., was mit dem Fehlen des Zapfenapparates oder seiner mangelhaften Funktion leicht erklärt werden könnte.

Wie SHERRINGTON festgestellt hat, wird die Frequenz des nötigen Lichtwechsels auch durch den Kontrast beeinflusst. Setzt man die Helligkeit des Feldes durch Kontrastwirkung herab, so nimmt die Verschmelzungsfrequenz ab, setzt man sie herauf, so steigt sie an.

Die Verschmelzungsfrequenz ist am geringsten, unter sonst gleichen Bedingungen, bei gleicher Eindruckshelligkeit der einzelnen Reize; diese Erscheinung konnte bei der Flimmerphotometrie Benutzung finden, um die Helligkeit farbiger Lichter zu bestimmen. Die kürzesten Verschmelzungsdauern hat CORDS gemessen.

Die einleuchtendste Erklärung für das Sehen im Flimmerlicht stammt von EBBECKE, der annimmt, daß es sich um ein Sehen handelt, bei welchem wechselweise infolge Momentadaptation eine gewisse Dunkel- und Hellanpassung stattfindet.

Setzt man die Intermittenzzahl unter die Verschmelzungsgrenze herab, so treten auch eigenartige Farbenercheinungen auf, die zuerst von FECHNER und v. BRÜCKE beobachtet wurden (vgl. v. HELMHOLTZ). Besonders gut sieht man diese Erscheinungen an der sogenannten BENHAMSchen Scheibe. In der Intensität der Farbenercheinungen bestehen starke individuelle Unterschiede.

Für die Erforschung der bei der Verschmelzung wirksamen Faktoren ist auch die Kenntnis der Erscheinungen bei einmaligem Lichtwechsel wichtig. Über die Wahrnehmbarkeit von Lichtlücken hat GILDEMEISTER Untersuchungen angestellt (dort auch die Literatur dieser Frage). Auch bei wenigen Einzelreizen ist das Verhältnis ein anderes als bei einer sehr großen dauernd sich folgendem Zahl von Reizen (vgl. PIÉRON). Über die Verhältnisse bei Darbietung von zwei bis drei Einzelreizen vgl. die Arbeiten von METZGER und die Literaturzusammenstellung bei TSCHERMAK.

## 5. Abklingen der Erregung. Nachbilder.

**Allgemeines.** Es soll in diesem Abschnitt eine Reihe von Erscheinungen behandelt werden, die beim Abklingen der Erregung auftritt.

Auch wenn der Reiz in der gleichen Weise weiter einwirkt, findet schon ein beträchtliches Absinken der Empfindung statt, welches bei v. KRIES unter den Verhältnissen seiner Versuche nach 20 Sekunden eine Minderung auf 58% ergab und bei 35facher Steigerung der benutzten Lichtstärke nach 20 Sekunden schon eine Minderung auf 25%, nach 60 Sekunden sogar auf 3%.

Viel auffallender und bekannter sind die *Nachbilder*, die nach Aufhören der Reize sichtbar werden. Am reinsten beobachtet man Nachbilder in völlig dunklem Raum. Es zeigt sich dann meistens zunächst ein positives Nachbild, welches eine komplizierte Abhängigkeit von der Stärke der Einwirkungsdauer und auch von der Farbe des vorher einwirkenden Lichtes aufweist. Häufig sieht man nach dem positiven Bilde noch negative Nachbilder sich anschließen. Oft erscheint auch nur das negative Nachbild. Beobachtet man die Erscheinungen nach Abklingen der Reize nicht im Dunkelzimmer, sondern auf einer beleuchteten Fläche, so sieht man meist nur negative Nachbilder.

Die ersten genaueren Angaben über Nachbilder finden sich in AUBERTS „Physiologie der Netzhaut“. Außerdem sind die wichtigsten Erklärungsprinzipien schon in den BRÜCKESCHEN Arbeiten enthalten, in welchen

1. die Abstumpfung der Netzhaut für die vorher dargebotene Farbe,
2. sekundäre Erregungszustände und

3. eine Urteilstäuschung, eine Art psychologischer Kontrastwirkung zur Erklärung herangezogen werden. v. HELMHOLTZ und seine Schule haben die positiven Nachbilder als direkte Nachwirkung des Reizes und die negativen Nachbilder als eine lokale Wirkung der Ermüdung angesehen, während HERING die Nachbilder allgemeiner aus der Beeinflussung des Stoffwechsels der Netzhaut durch die vorhergehenden Einwirkungen erklären will. Wie v. KRIES bemerkt, muß man jedenfalls wohl beachten, daß es sich bei den Nachbildern um ganz verschiedene Prozesse handeln kann.

Es gibt auch rein psychische Nachbilder, die den Erinnerungsbildern näher verwandt sind. Zu diesen gehören z. B. die [von den Anhängern der Gestaltlehre allerdings anders erklärten (КОФКА)] Bewegungsnachbilder und sicher auch manche eidetische Phänomene (s. S. 177). Im folgenden handelt es sich dagegen um Nachbilder, die wahrscheinlich objektiven Vorgängen in der Sinnessubstanz entsprechen und diesen Vorgängen z. B. in meßbarer Weise zugeordnet sind.

**Kurzdauernde Wechsel.** Betrachten wir die Erscheinungen bei den durch physiologische Vorgänge der Sinnessubstanz bedingten Nachbildern näher, so ist zunächst eine *Reihe von kurzdauernden Wechseln* zu konstatieren, die unmittelbar nach dem Aufhören des Reizes auftreten und besonders durch C. v. HESS eingehend beobachtet worden sind. Er benutzte einen senkrecht zur Bewegungsrichtung gehaltenen schmalen weißen Streifen auf dunklem Grunde, einen dunklen Stab auf hellem Grunde oder einen leuchtenden Punkt im dunklen Felde. Streifen und Punkte wurden in gleichmäßiger Bewegung an dem ruhig gehaltenen Auge vorbeigeführt. Nach v. HESS zeigen sich dann sechs verschiedene Phasen:

1. die primäre Erregung (Phase 1);
2. ein kurzes dunkles Intervall (Phase 2);
3. ein kurzdauerndes, zum Reizlichte im allgemeinen gegenfarbiges Nachbild, heller als die Umgebung (Phase 3);
4. ein längerdauerndes, dunkles Intervall (Phase 4), von dem sich nicht mit Sicherheit sagen läßt, ob es heller oder dunkler ist als die Umgebung;
5. ein längerdauerndes, dem Reizlichte gleichgefärbtes, wenig gesättigtes Nachbild, heller als die Umgebung, von v. HESS als positives Nachbild schlechtweg bezeichnet (Phase 5);
6. ein längerdauerndes, dunkles Nachbild, an dem im allgemeinen eine Färbung nicht wahrzunehmen ist (Phase 6). Diese Phase wird meist nicht unmittelbar nach dem Schwinden der 5. Phase sichtbar, sondern erst kurze Zeit später.

Nach der bei TSCHERMAK gegebenen Aufstellung, welche die Arbeiten einiger neuerer Autoren berücksichtigt, zerfällt die Phase 2 noch in drei weitere Phasen, nämlich:

1. ein sehr kurzes dunkles Intervall von 0,04 Sekunden Dauer;
2. ein kurzes positives Nachbild von etwa 0,05 Sekunden Dauer und
3. ein weiteres kurzes Intervall von etwa 0,16 Sekunden Dauer (vgl. Abb. 19 nach v. TSCHERMAK).

Wie TSCHERMAK erwähnt, könnte man bei günstigen Bedingungen noch mehr Phasen erhalten. Es ist auch darauf hinzuweisen, daß CHARPENTIER und FRÖHLICH deutlich sehr kurzschlägige Oszillationen (geschätzt auf 20—35 pro Sekunde) beobachtet haben. Bei meinen eigenen Nachbildversuchen konnte ich diese auch gelegentlich sehen, aber eigentlich nur dann, wenn ich durch nervöse Störungen, z. B. nach mangelhaftem Schlaf, an einer ruhigen Beobachtung behindert war. Man muß Bedenken tragen, ob es sich hierbei überhaupt um Wahrnehmungen auf Grund gesetzmäßiger Vorgänge handelt. Auch FRÖHLICH sah diese kurzen Oszillationen zuerst in der russischen Gefangenschaft, als er unter schlechter Ernährung und wahrscheinlich auch unter nervösen Störungen litt.

Sehr schön kann man die durch v. HESS und andere beschriebenen nach Aufhören des Reizes auftretenden phasischen Wechsel sichtbar machen, wenn

man im dunklen Zimmer eine glimmende Zigarette oder eine auf schwache Rotglut gebrachte Taschenlampenbirne im Kreise schwenkt. Auffällig deutlich wird das tertiäre Bild der Phase 5, oft unter Verschmelzung mit dem Bilde der dritten v. HESSschen Phase, wenn eine längere Dunkeladaptation vorausgegangen ist. Diese Erscheinung sieht man auch besonders schön bei allen

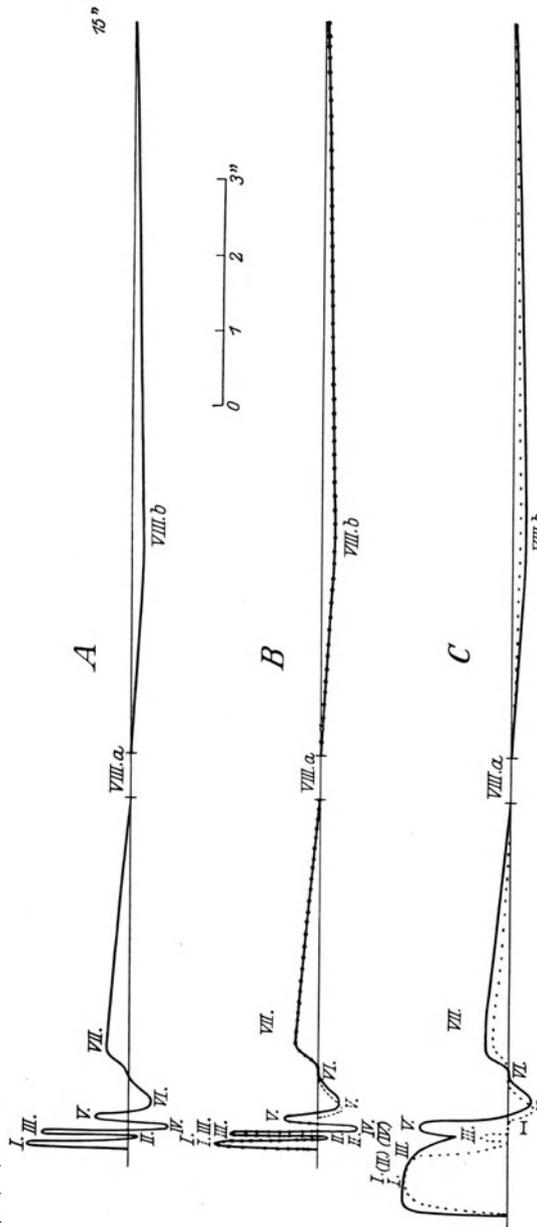


Abb. 19. Kurzdauernde Wechsel bei Annehmen des Reizes bei Anwendung farbiger und helladaptierten Augen. A bei farblosem Momentreiz und helladaptiertem Auge, B bei starkem farbigem Momentreiz und helladaptiertem Auge; ausgezogene Linien farblose, punktierte Linien farbige Reaktion, C bei starkem farbigem Zeitreiz und dunkeladaptiertem Auge; ebenso, bei Beobachtung des rein farblosen Intervalls zwischen der gleichfarbigem Phase I + III und gegenfarbigem Phase V. Phase I = Phase I nach v. HESS; Phase II-IV = Phase 2 nach v. HESS; Phase V = Phase 3 nach v. HESS; Phase VI = Phase 4 nach v. HESS; Phase VII = Phase 5 nach v. HESS; Phase VIII a-b = Phase 6 nach v. HESS. (Nach A. TSCHERMAK.)

im Kreise geschwungenen schwachen Lichtern als „Ghost“. Die zeitlichen Verhältnisse dieser Nachbilder sind von verschiedenen Untersuchern geprüft worden. Näheres vergleiche man in den Arbeiten von v. HESS, FRÖHLICH und der Zusammenstellung bei TSCHERMAK. Eine befriedigende Erklärung für die eigentümlichen rhythmischen Wechsel bei diesen schnellen Nachbildern ist noch nicht gegeben. KOHLRAUSCH hat es für einen Teil der Erscheinungen versucht (vgl. S. 162 in diesem Bande); man muß sich vorläufig damit abfinden, daß sie durch bestimmte, noch nicht näher begründete Eigentümlichkeiten des Reaktionsablaufes oder der Schaltung der dabei beteiligten Nerven-elemente bedingt werden.

**Längerdauernde Nachbilder** treten häufig nach den ersten kurzdauernden Wechseln auf, namentlich wenn vorher ein etwas länger oder intensiver

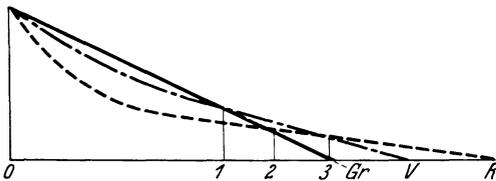


Abb. 20. Farbiges Abklingen der Nachbilder nach intensiven Reizen durch weißes Licht ist nach v. HELMHOLTZ dadurch bedingt, daß die Nacherregung der einzelnen farbigen Komponenten in verschiedenen Kurven abklingt. *Gr* grün, *V* violett, *R* rot. Zuerst überwiegt das Grün, zuletzt überwiegt das Rot.

wirkender Reiz angewandt worden war. Rein phänomenologisch handelt es sich um folgende Erscheinungen:

1. Bei sehr starken Reizen kommt nach kurzdauernder Einwirkung ein intensives Blendungsnachbild zustande, das farbig abklingt und eigentümliche Farbenwechsel zeigt, über die noch näher zu sprechen ist.

2. Bei vollem Lichtabschluß erhält man nach Darbietung weniger intensiv leuchtender Flächen positiv oder negativ erscheinende und manchmal von positiv nach negativ oder mehrfach wechselnde Nachbilder.

3. Bei der Beobachtung des Nachbildes auf mäßig erhellten Flächen, z. B. auf der Wand eines Zimmers, auf einer Papierfläche, erzielt man meistens langdauernde negative Nachbilder.

Die langdauernden positiven Nachbilder im Dunkelzimmer sind schwache Nacherregungen, die negativen Nachbilder auf mäßig erhelltem Grunde können im wesentlichen als Folge einer Ermüdung der vorher belichteten Netzhautstellen (v. HELMHOLTZ) aufgefaßt werden. Im einzelnen ist folgendes zu sagen:

**Das farbige Abklingen der Erregung nach Darbietung intensiver Reize.**

Um diese Erscheinungen sichtbar zu machen, schalte man im Dunkelzimmer für kurze Zeit eine Mattbirne ein, deren Zentrum man aus etwa 1 m Entfernung für 10—20 Sekunden fixiert. Man kann auch eine Kerze oder andere Lichter benutzen. v. HELMHOLTZ stellte für den Nachbildablauf fest, daß das ursprüngliche Weiß sehr schnell durch grünliches Blau in schönes Indigoblau, später in Violett oder Rosenrot überging, dann folgte schmutziges oder graues Orange, während das vorher positive Nachbild meist schon negativ wurde; im negativen Bild wurde aus dem Orange oft noch ein schmutziges Gelbgrün. v. HELMHOLTZ schloß daraus, daß bei der nachbleibenden Reizung für sein Auge die Farben rot, grün, violett in verschiedener Weise abnehmen und stellte dies in einer Abbildung in anschaulicher Weise dar (vgl. Abb. 20). Auch bei diesen Nachbildern nach sehr intensiven Reizen zeigen sich zum Schluß häufig negative Phasen. Die Erscheinungen sind nicht bei allen Versuchspersonen gleich. Obwohl ich selbst z. B. die langdauernden Nachbilder nach bestimmt abgestuften weniger intensiven Reizen im Vergleich mit anderen Versuchspersonen sehr deutlich beobachten konnte, sah ich die von v. HELMHOLTZ beschriebenen farbigen Erscheinungen nicht immer mit der gleichen Deutlichkeit und bemerkte auch bei oft wiederholten Versuchen bald ein auffallendes Nachlassen.

**Langdauernde Nachbilder des Dunkelauges nach Einwirkung von Reizen mittlerer Intensität.** Bei den weniger intensiven Reizen treten die Farbenerrscheinungen für die meisten Beobachter ganz in den Hintergrund. Sie sehen bei Darbietungen von weißen Flächen im Vorbilde nur positive helle oder im Verhältnis zu der Umgebung dunklere negative Nachbilder. Aber hierbei ist ein großer individueller Unterschied bemerkbar, insofern einzelne Versuchspersonen auch bei diesen schwachen Reizen ein sehr lebhaftes farbiges Abklingen beobachten (eigene Feststellung).

Bei einer vergleichenden systematischen Untersuchung der Nachbilder des Dunkelauges, die von COMBERG bei zahlreichen Versuchspersonen unter Innehaltung gleichmäßiger Adaptation und mit genauer Abstufung der Vorbelichtungen bezüglich Intensität und Dauer ausgeführt wurde, zeigte sich überhaupt eine große individuelle Differenz in der Wahrnehmung der Nachbilder. Man konnte als extreme Typen Versuchspersonen mit verhältnismäßig stabiler und solche mit außerordentlich labiler Erscheinungsweise der Nachbilder unterscheiden (vgl. Abb. 21 stabiler Typus, Abb. 22 labiler Typus). Im allgemeinen ging mit der Lichtstärke des Vorbildes eine Zunahme in der Dauer des positiven Nachbildes parallel. Bei kürzeren Reizzeiten nahm die Dauer des positiven Nachbildes meist mit der Reizzeit zu. Es gab indes ein Optimum für positive Nachbilder. Wurde die Lichtstärke und die Dauer der Vorbilddarbietung weiter erhöht, so trat das negative Nachbild auch im Dunkelzimmer ausgesprochen in Erscheinung. Bei sehr starken Reizen und sehr langer Dauer der Vorbilddarbietung sahen mehrere Versuchspersonen zunächst nur ein langdauerndes negatives Nachbild.

**Langdauernde Nachbilder auf erhelltem Grunde.** Betrachtet man die Verhältnisse bei den Nachbildern, die unter gleichzeitiger Einwirkung äußeren Lichtes entstehen, also etwa bei der Beobachtung des Nachbildes auf einem hellen Grunde, der im allgemeinen nur die negativen langdauernden Nachbilder zur Entwicklung kommen läßt, so besteht kaum ein Zweifel, daß hier die lokale Empfindlichkeitsminderung der Netzhaut die Hauptrolle spielt. Fixiert man z. B. ein helles Kreuz auf dunklem Grunde etwa 10 bis 20 Sekunden lang und beobachtet dann das Nachbild an der Zimmerdecke, so sieht man offenbar nur deshalb ein dunkles Kreuz, weil die Netzhaut an der Stelle des vorher abgebildeten weißen Kreuzes ganz erheblich unterempfindlich geworden ist.

**Theoretisches über die langdauernden Nachbilder.** Es zeigt sich bei derartigen Versuchen, daß die langdauernden Nachbilder sowohl im Dunkelzimmer als auch bei Beobachtung auf hellem Grunde für viele Personen Oszillationen und Schwankungen aufweisen, deren Ursachen insgesamt noch nicht sicher geklärt werden konnten. Häufig dürften Unzulänglichkeiten der Beobachtung, subjektive Störungen durch Aufmerksamkeitsschwankung und auch die Einmischung eidetischer Phänomene der Grund für den starken Wechsel der Erscheinungen bei manchen Beobachtern sein. HERING wollte periodische Änderungen des Stoffwechsels zur Erklärung heranziehen. Es war nun sehr interessant festzustellen, daß auch durch langdauernde Übung bei den von COMBERG herangezogenen Beobachtern keine Änderung der Resultate erhalten werden konnte, daß vielmehr bei genauer Einhaltung der gleichen Versuchsanordnung (Darbietung des gleichen Reizes, Einhaltung des gleichen Adaptationszustandes vor Beginn des Versuches) dieselbe Versuchsperson auch nach mehrwöchigem Intervall immer wieder ganz ähnliche Wechsel in der Sichtbarkeit der Nachbilder zeigte. Neben akzidentellen bei der Beobachtung störenden Vorgängen scheint deshalb die Beteiligung *antagonistischer Prozesse* tatsächlich eine wichtige Rolle zu spielen, wie auch durch öfteren Wechsel zwischen positiven und negativen Nachbildern bei manchen Versuchspersonen dargetan wurde.

Um die starken individuellen Verschiedenheiten im Wechsel der langdauernden Nachbilder zwischen positiv und negativ zu erklären, dürfte man andererseits nicht mit der Annahme auskommen, daß hier im Sinne HERINGS ein auf ein

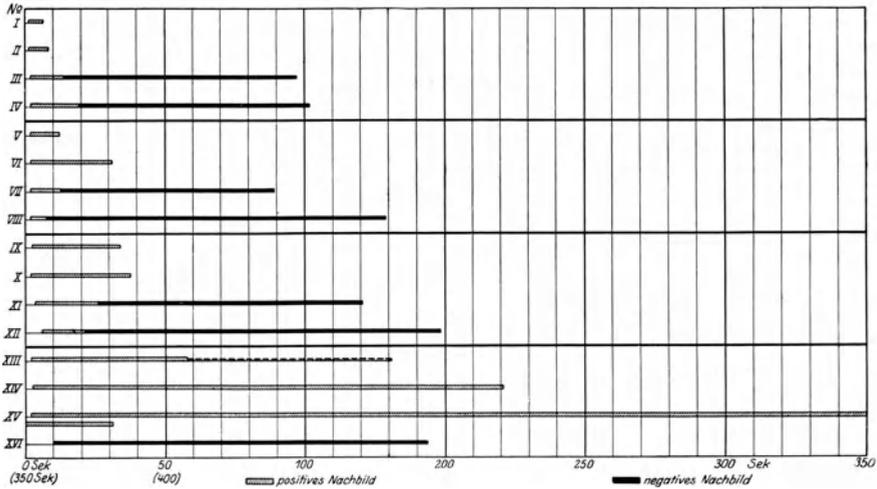


Abb. 21. Versuchsperson C. Stabile Nachbilder, extremer Typ. Reiz I—XVII. Ende der Nachbilder im äußeren Licht für Reiz I—XVII: 1 Min. 53 Sek., 8 Min. 10 Sek., 4 Min. 37 Sek., 5 Min. 25 Sek., 7 Min. 05 Sek., 10 Min. 3 Sek., 4 Min. 06 Sek., 6 Min. 18 Sek., 9 Min. 1 Sek., 12 Min. 11 Sek., 13 Min. 13 Sek., 13 Min. 3 Sek., 16 Min. 46 Sek., 27 Min. 9 Sek. Dieser Zeitpunkt wurde nach Ablauf der im Schema dargestellten Nachbilder des Dunkelraumes durch wiederholte kurze schwach perpalpebrale Belichtung festgestellt.

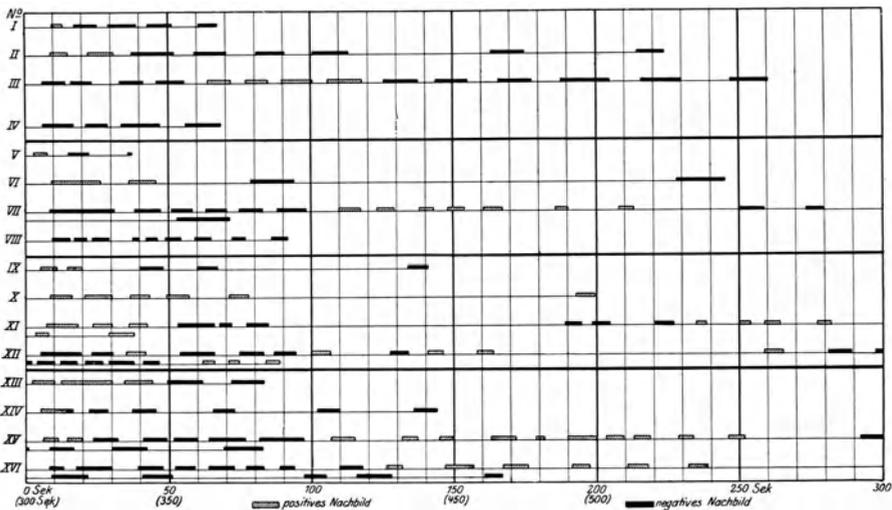


Abb. 22. Versuchsperson R. Labile Nachbilder, extremer Typ. Reiz I—XVII. Ende der Nachbilder im äußeren Licht für Reiz I—XVII: 7 Min. 25 Sek., 26 Min. 11 Sek., 43 Min. 18 Sek., 37 Min. 13 Sek., 24 Min. 51 Sek., 40 Min. 6 Sek., 51 Min. 6 Sek., 50 Min. 17 Sek., 25 Min. 34 Sek., 49 Min. 31 Sek., 56 Min. 5 Sek., 61 Min. 5 Sek., 20 Min. 47 Sek., 3 Min. 25 Sek., 38 Min. 33 Sek., 46 Min. 7 Sek. Über die Feststellung dieses Zeitpunktes siehe Abb. 21.

Abb. 21 u. 22. Ergebnisse von Nachbildversuchen mit Reizen, die nach Zeit und Intensität abgestuft waren. Intensität: 1 bei Reizen Nr. I—IV; 10 bei Reizen Nr. V—VIII; 100 bei Reizen Nr. IX—XII; 1000 bei Reizen Nr. XIII—XVI. Reizdauer: 1 Sek. bei Reizen Nr. I, V, IX, XIII; 10 Sek. bei Reizen Nr. II, VI, X, XIV; 100 Sek. bei Reizen Nr. III, VII, XI, XV; 1000 Sek. bei Reizen Nr. IV, VIII, XII, XVI.

Stoffwechselelement zu beziehender Assimilations- und Dissimilationsprozeß vorliegt (vgl. auch G. E. MÜLLER). Vielleicht handelt es sich um den Effekt einer der Sehsinnessubstanz eigentümlichen Schaltung, entsprechend den von EBBECKE und COMBERG unabhängig voneinander gemachten Annahmen. Man könnte sich dann eine Erklärungsmöglichkeit durch den denkbar einfachsten Fall veranschaulichen, zwei aneinander geschaltete Zellen arbeiteten so zusammen, daß die zweite stets Träger eines gegensinnigen Prozesses ist (COMBERG). Je nach dem Überwiegen der Bedeutung desjenigen Vorganges, der in der primär oder in der sekundär erregten Zelle abläuft, wird sich die Empfindung entsprechend der direkten Reizwirkung oder entsprechend dem gegenläufigen Prozeß (z. B. weiß, schwarz) durchsetzen. Hat die Nacherregung in dem unmittelbar durch das Licht erregten Element das Übergewicht, so wird das positive Nachbild erscheinen. Überwiegt für die Empfindung die Erregung des zugeschalteten sekundären Apparates, so muß auch im Dunkelzimmer das negative Nachbild sichtbar werden. Man könnte sich meines Erachtens vorstellen, daß in der Zusammenarbeit zweier Zellen außerdem eine ausgezeichnete Dämpfungseinrichtung geschaffen ist, welche die Momentadaptation und die Unterdrückung des Bildes (z. B. während der Augenbewegungen usw.) bedingt.

Aus der neuesten Literatur über Nachbilder ist noch eine Arbeit von JABLONSKI zu erwähnen, welcher das Verhalten der Nachbilderscheinungen in bezug auf die Gestalttheorie geprüft hat. Er fand u. a. ein Überwiegen des Figurnachbildes gegenüber dem Nachbild des Ganzfeldes, stellte insbesondere auch eine starke Abhängigkeit der Dauer von der Menge der Kontur und der Stärke des Kontrastes fest. Das läßt auf Beeinflussung der zugrunde liegenden Prozesse durch psychische Momente schließen.

### Literatur.

#### *Zeitliche Verhältnisse der Erregung.*

- AUBERT, H.: Physiologie der Netzhaut. Breslau 1864.
- BAYER: Die periodischen Nachbilder nach kurzdauernder Belichtung mit farbigen Reizlichtern. *Z. Biol.* **85**, 299 (1926). — BENHAM: Vgl. HELMHOLTZ, Physiologische Optik, 2. Aufl., S. 532. — BOURGIGNON: (a) La chronaxie chez l'homme. Paris 1923. (b) L'excitation en fonction de temps. Paris 1926. — BRÜCKE, E. v.: (a) Untersuchungen über subjektive Farben. Poggendorffs Ann. Physik u. Chem. **84**, 418 (1850). (b) Über den Nutzeffekt intermittierender Netzhautreizungen. Sitzsber. Wien. Akad. **49**, 26 (1864).
- CHARPENTIER, A.: (a) Recherches sur la persistance des impressions rétinienes et sur les excitations lumineuses de courte durée. Arch. d'Ophtalm. **10**, 108 (1890). (b) Relations entre les oscillations rétinienes. C. r. Acad. Sci. Paris **113**, 147 (1891). — COMBERG, W.: Untersuchungen zur Frage der Periodizität bei langdauernden Nachbildern. Graefes Arch. **108**, 295 (1922). — CORDS, R.: Über die Verschmelzungsfrequenz bei periodischer Netzhautreizung durch Licht oder elektrische Ströme. Graefes Arch. **67**, 149 (1908).
- EBBECKE, U.: (a) Über das Augenblicksehen, mit einer Bemerkung über rückwirkende Hemmung. Pflügers Arch. **185**, 181 (1920). (b) Über das Sehen im Flimmerlicht. Pflügers Arch. **185**, 196 (1920). (c) Über Rheobase und Chronaxie (Grundschwelle und Kennzeit). Dtsch. med. Wschr. **1926**, 1590. (d) Über spontane Nachbildschwankungen und das Verhältnis von Nacherregung und Induktion. Pflügers Arch. **221**, 198 (1928). — ENGELKING u. F. POOS: Über die Bedeutung des Stereophänomens für die isochrome und heterochrome Helligkeitsvergleichung. Graefes Arch. **114**, 340 (1924). — EXNER, S.: Über die zu einer Gesichtswahrnehmung nötige Zeit. Wiener Akad. Ber. II. Abt., **58**, 601 (1868).
- FECHNER, G. TH.: Über die Frage, ob die sogenannten Farben durch den Kontrast objektiver Natur seien. Poggendorffs Ann. Physik u. Chem. **44**, 221, 513 (1838); **45**, 227 (1838); **50**, 193, 427 (1840). — FRÖHLICH, F. W.: (a) Oszillierende Erregungsvorgänge im Sehfeld. Z. Sinnesphysiol. **52**, 31 (1920). (b) Grundzüge einer Lehre vom Licht- und Farbensinn. Jena 1921. (c) Über die Messung der Empfindungszeit. Z. Sinnesphysiol. **54**, 58 (1922). (d) Über die Messung der Empfindungszeit. Pflügers Arch. **202**, 566 (1924). (e) Die Empfindungszeit. Jena 1929.

GILDEMEISTER, A.: (a) Das allgemeine Gesetz des elektrischen Reizes. Pflügers Arch. **131**, 199, 601 (1910). (b) Die Einheitlichkeit der elektrischen Reizgesetze. Pflügers Arch. **140**, 609 (1911). (c) Über die Wahrnehmbarkeit von Lichtlücken. Z. Sinnesphysiol. **48**, 256 (1914). (d) Die Nutzzeit und ihre Gesetze. Z. Biol. **62**, 358 (1914). (e) Untersuchungen über indirekte Muskelregung und Bemerkungen zur Theorie. Pflügers Arch. **101**, 203 (1914). (f) Vgl. Tabulae biologicae, Bd. 4, S. 528 f.

HAZELHOFF u. WIERSMA: Die Wahrnehmungszeit. Z. Psychol. **96**, 171 (1924); **98**, 366 (1925). — HECHT, S.: The photo-chemical nature of the photo-sensory process. J. of gen. Physiol. **2**, 229, 499 (1919/20). — HELMHOLTZ, H. v.: (a) Über die Zeit, welche nötig ist, damit ein Gesichtseindruck zum Bewußtsein kommt. Mber. Berl. Akad. **1871**, 333. (b) Farbige Abklängen der Nachbilder. Physiol. Optik, 2. Aufl., S. 516 f. 1896. — HERING, E.: (a) Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn. Handbuch der gesamten Augenheilkunde von GRAEFE-SAEMISCH, 2. Aufl., Kap. 12 (1905—1921). (b) Zur Lehre vom Lichtsinne. 6 Mitt. Sitzgsber. ksl. Akad. Wiss. Wien **1878**. — HESS, C. v.: (a) Experimentelle Untersuchungen über die Nachbilder bewegter leuchtender Punkte. Graefes Arch. **44 I**, 445 (1897). (b) Über die nach kurzdauernder Reizung des Sehorgans auftretenden Nachbilder. Pflügers Arch. **49**, 190 (1897). (c) Untersuchungsmethoden des Licht- und Farbensinnes. Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden von ABDERHALDEN, Abt. V, Teil 6, H. 2. (d) Untersuchungen über das Abklängen der Erregung im Sehorgan nach kurz- und langdauernder Reizung. Pflügers Arch. **95**, 1 (1903); **101**, 226 (1904).

JABLONSKI: Optische Untersuchungen am Ganzfeld. 4. Mitt. Versuche über Nachbilder. Psychol. Forsch. **13**, 145 (1930).

KOVÁCS, A.: Über den Einfluß der Dunkeladaptation auf die Empfindungszeit und den zeitlichen Verlauf der Gesichtsempfindung. Z. Sinnesphysiol. **54**, 161 (1922). — KRIES, J. v.: (a) Über Ermüdung des Sehnerven. Graefes Arch. **23 II**, 1 (1877). (b) NAGELS Handbuch der Physiologie, Bd. 3, S. 232. 1919. (c) Zusätze zu HELMHOLTZ, Physiologische Optik, 3. Aufl., Bd. 2, S. 374. 1911. — KRONENBERGER, P.: Empfindungszeit und Empfindungsdauer des hell- und dunkeladaptierten Sehorgans bei Minimalreizung mit farbigen Prüflichtern. Pflügers Arch. **210**, 355 (1925); **211**, 454 (1926).

LUMMER u. BRODHUN: Prüfung des TALBOTSchen Gesetzes in der Physikalisch-technischen Reichsanstalt. Z. Instrumentenkde **16**, 299 (1896).

MÖLLER, H. U.: Untersuchungen über das Dunkelsehen mit TSCHERNINGS photometrischen Gläsern. Acta ophthalm. (Köbenh.) **7**, 36 (1929). — MONJÉ, M.: Die Empfindungszeitmessung mit der Methode des Löschreizes. Z. Biol. **87**, 23 (1927). — G. E. MÜLLER: Über Farbenempfindungen. Z. Psychol., Erg.-Bd. 17—18. Leipzig 1930.

PIÉRON, H.: Recherches expérimentales sur la marche de variation du temps de latence de la sensation lumineuse. Année psychol. **26**, 1 (1925). — PLATEAU: (a) Essai d'une théorie générale comprenant l'ensemble des apparences visuelles qui succèdent à la contemplation des objets colorés. Brüssel 1834. (b) Über das Phänomen der zufälligen Farben. Poggendorffs Ann. Phys. Chem. **32**, 543 (1834). Ref. bei COMBERG, Graefes Arch. **108**, 295. — PULFRICH, C.: (a) Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie. Naturwiss. **10**, 25, 553 (1922). (b) Die Stereoskopie im Dienste der Photometrie und Pyrometrie. Berlin 1923. — PURKINJE: Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne, Bd. 1, S. 10 f. Prag 1823.

SHERRINGTON, C. H. S.: (a) On the reciprocal action in the retina as studied by means of some rotating discs. J. of Physiol. **21**, 33 (1897). (b) The integrative function of the nervous system. London 1906. — STIGLER: Die Untersuchung des zeitlichen Verlaufes der optischen Erregungen mittels des Metakontrastes. ABDERHALDENs Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. V, Teil 6, H. 6, S. 949. Wien-Berlin 1926.

TALBOT: Facts relating to optical science. A body in rapid motion, yet apparently at rest. Philosophic. Mag. **4**, 113 (1834). — TSCHERMAK: Licht- und Farbensinn. Handbuch von BETHE-BERGMANN, Kap. 12, 2, S. 429.

VOGELSANG: (a) Über die Abhängigkeit des Gesichtsinnes von der Intensität und der Farbe des Reizlichtes. Z. Sinnesphysiol. **58**, 38 (1926). (b) Die Empfindungszeit und der zeitliche Verlauf der Empfindungen. Erg. Physiol. **26 I**, 122 (1927).

## D. Andere Erscheinungen der Lichtsinntätigkeit.

### 1. Kontrast.

**Allgemeines.** Den Kontrast könnte man kurz als die gegensätzliche Einflußnahme optischer Eindrücke aufeinander definieren (TSCHERMAK); es ist indes sicher, daß auch die zugrunde liegenden physiologischen Prozesse schon einer gegensätzlichen Beeinflussung unterliegen. Soweit es sich um eine *gleichzeitige* Beeinflussung handelt, spricht man von Neben- oder Simultankontrast, soweit

zeitlich folgende Eindrücke in Frage kommen, handelt es sich um den sog. Nach- oder Sukzessivkontrast.

Einige auffallende Kontrasterscheinungen sind seit langer Zeit bekannt. Namentlich der Farbenkontrast hat die Aufmerksamkeit älterer Untersucher auf sich gezogen. Es braucht nur an die bekannten Versuche GOETHES erinnert zu werden. Es entstanden bald zwei verschiedene Auffassungen über das Wesen dieser Erscheinungen. Während FECHNER und v. HELMHOLTZ an deren subjektiver Natur festhielten und die Bedeutung des „Urteils“ für die Kontrasterscheinungen als das wesentlichste ansahen, wobei auch schon an unbewußte Einflüsse gedacht worden ist, glaubte die zweite Richtung, welche besonders von PLATEAU und später von HERING und vielen anderen vertreten wurde, daß die Kontrasterscheinungen auf objektive physiologische Prozesse in der Sinnessubstanz zurückgeführt werden müßten. Schon PLATEAU hob hervor, daß die Netzhaut nach dem Aufhören des unmittelbar auf den Reiz einwirkenden Eindruckes eine Neigung hat, den entgegengesetzten Zustand anzunehmen, und dieselben Wechsel, die er in zeitlicher Folge wahrnehmen konnte, glaubte er auch bei räumlicher Ausbreitung der Reize nebeneinander auf der Netzhaut zu erkennen (so daß z. B. auch für die Nachbilder zeitlich wie räumlich positive und negative Phasen nebeneinander geordnet wären; neuerdings von FRÖHLICH wieder aufgenommen). Einen großartigen Ausbau hat die physiologische Kontrasttheorie durch HERING erhalten, für welchen der Antagonismus in der Sinnessubstanz eine Grundlage seiner Lehre vom Licht- und Farbensinn geworden ist.

**Erscheinungen des Kontrastes.** Um die Wirkung des Kontrastes besonders sinnfällig zu demonstrieren, hat HERING z. B. das in der Abb. 23 a wiedergegebene Bild benutzt. Es handelt sich um zwei kleine graue Kreisfelder von gleicher Leuchtdichte (Flächenhelligkeit), von welchen eines auf einem möglichst dunklen, das andere auf einem rein weißen Papierstück liegt. Dann erscheint dem unbefangenen Auge der Kreis auf dem weißen Papier zwangsläufig bedeutend dunkler als derjenige auf dem schwarzen Grunde. Ähnliche Versuche lassen sich mit vielfachen Variationen durchführen (Abb. 23 b, 24). Am sinnfälligsten finde ich die Erscheinungen an einer Reihe von kleinen gleich lichtstarken Kreisflächen, die von HERING auf einer fortschreitend von schwarz zu weiß angeordneten Stufenleiter verschieden heller Papierflächen angeordnet sind (vgl. Abb. 25). Wie schon v. HELMHOLTZ hervorgehoben hat, sind diese Erscheinungen unter Umständen am lebhaftesten, wenn man die Farbe des Grundes nicht allzu stark kontrastierend wählt bzw. hell- oder dunkelgraue Töne dazu verwendet. (Durch Überdecken mit einem halbdurchsichtigen Schleier oder mit Florpapier können Kontrasterscheinungen gesteigert werden, woraus v. HELMHOLTZ auf eine Urteilstäuschung geschlossen hat.) Die Kontrasterscheinungen bleiben auch gleich stark, wenn man sich vor der Wirkung des Nachkontrastes schützt oder wenn man den Einfluß der Blickbewegungen dadurch ausschließt, daß man die Beobachtungsfläche nur momentan erscheinen läßt, wie es zuerst AUBERT und E. MACH mit dem elektrischen Funken und HERING mit dem Momentverschluß des photographischen Apparates getan haben.

Sehr gut ist die von HERING benutzte Lochmethode. Dabei blickt der Untersucher auf zwei aneinander grenzende Papierfelder von verschiedener Helligkeit, deren jedes ein kleines ausgestanztes Loch trägt, durch welches eine darunter befindliche, durch verschiedene Neigung zur Fensterfläche in verschiedener Lichtstärke einzustellende Papierfläche sichtbar wird.

Aus den Resultaten dieser Versuche läßt sich nach HERING mit großer Sicherheit folgern, daß geschlossene Felder bei unveränderter Lichtstärke,

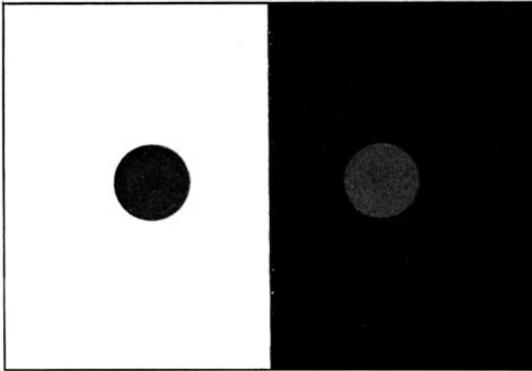


Abb. 23 a.

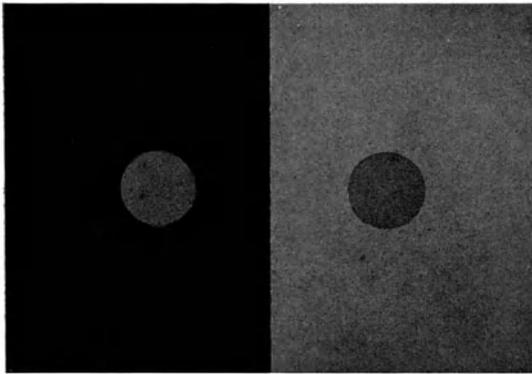


Abb. 23 b.

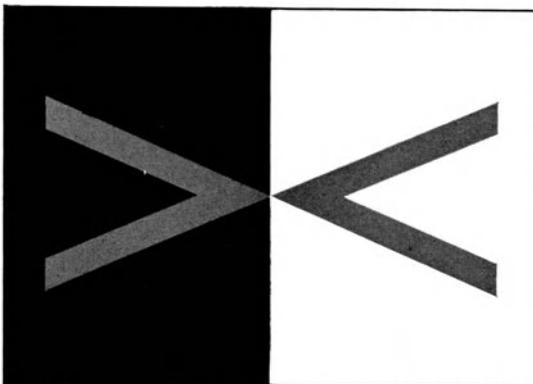


Abb. 24.

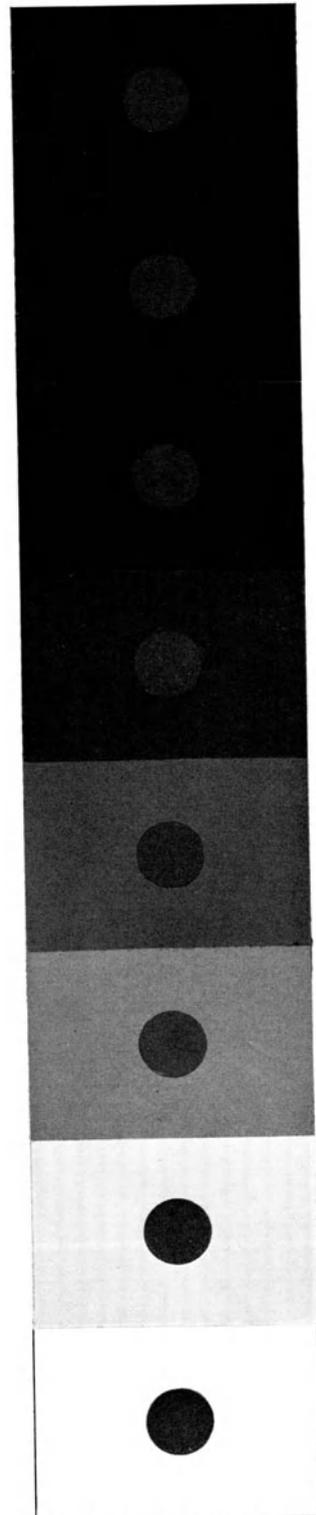


Abb. 25.

Abb. 23 a, 23 b, 24 und 25. Bilder zur Darstellung des Kontrastes. (Aus HERING: Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn. GRAEFE-SAFMISCH, 2. Aufl., Tafel 2.)

nur durch Kontrast in auffallender Weise dunkler oder heller gemacht werden können. (Ähnliche Beeinflussungen gelten auch für die bunten Farben im Sinne der Gegenfarbentheorie.)

Wichtige messende Versuche über die Kontrastbeeinflussung wurden von v. HESS und PRETORI ausgeführt. Sie benutzten die HERINGSche Lochmethode, doch war die Anordnung so getroffen, daß nicht nur die beiden durch die Löcher sichtbaren Felder, sondern auch die umgebenden Flächen unabhängig voneinander meßbar in ihrer Lichtstärke geändert werden konnten, wobei die Beleuchtungsintensitäten zwischen 0,12 und 400 Meterkerzen



Abb. 26. Anordnung bei den Kontrastversuchen von HESS und PRETORI. 2 ebene, senkrecht stehende, unter rechtem Winkel aneinander stoßende 10 cm hohe, mit Magnesiumoxyd geweißte Flächen  $FF$  befinden sich in der Mitte eines 4 m langen schwarzen Tunnels, in welchem an jeder Seite eine verschiebbliche Lichtquelle angebracht ist. In jeder der beiden Flächen befindet sich ein viereckiges Loch ( $ll$ ) von 1 cm Höhe, durch welches der unokular blickende Beobachter eine zweite Flächenanordnung erblickt, die ähnlich beleuchtet werden kann. Die Lichtstärken können zwischen 1 und 50 000 variiert werden. (Abbildung aus HERING: Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn, S. 127.)

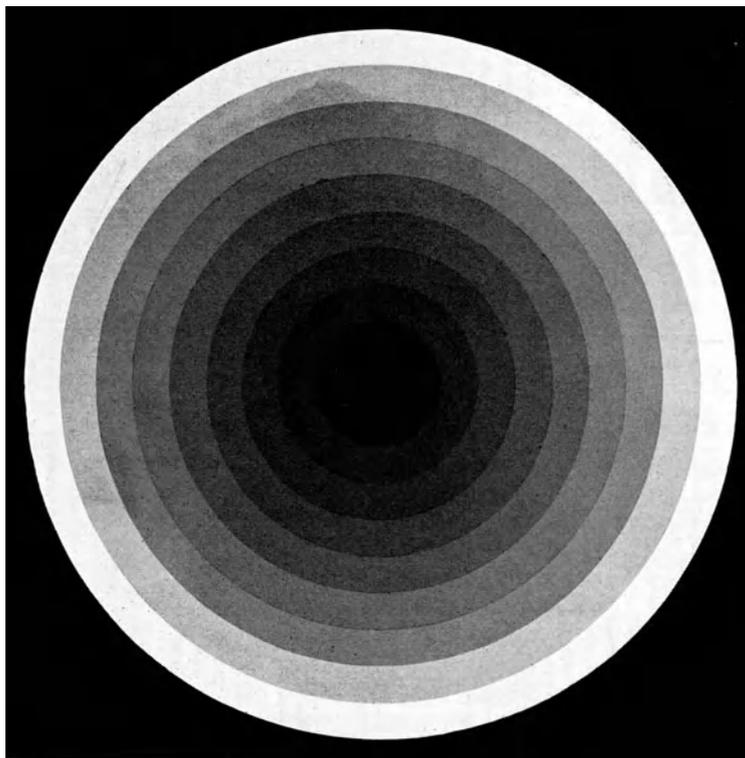


Abb. 27. Kreiselscheibe mit abgestuften grauen Ringen, veranschaulicht besonders schön den Grenzkontrast. (Aus HERING: Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn.)

wechselten (Abb. 26). Es ließ sich zeigen, daß der zum Konstanthalten der Helligkeit des Infeldes notwendige Beleuchtungszuwachs angenähert proportional zur Beleuchtung des Umfeldes war. Das galt allerdings nur für einen mittleren Bereich.

Auch die Tatsache, daß bei fortgeschrittener Dämmerung der schwach erhellt wahrgenommene Himmel sofort tief schwarz wird, wenn die Zimmerbeleuchtung einsetzt, wurde von HERING für eine physiologische Erklärung des Kontrastes verwendet.

**Grenzkontrast.** Ein besonders wichtiger und vor allem im täglichen Leben bedeutsamer Fall ist die Erscheinung des Kontrastes an den Grenzen zweier aneinanderstoßender Felder (Grenzkontrast). Da die Kontrastwirkungen sich nur auf einem bestimmten, nicht allzu großen Abstand von der Grenzfläche deutlich zeigen und schnell mit der Entfernung abnehmen, muß der Kontrast *unmittelbar* an der Grenze zwischen zwei verschiedenen hellen Feldern bei weitem

am stärksten sein. Aus diesem Grunde sieht man an der Grenzlinie auf dem hellen Felde eine merkliche Aufhellung, auf dem dunklen Felde eine merkliche Verdunkelung. Dies wird besonders deutlich, wenn es sich um eine Reihe von kleineren Feldern handelt, wie z. B. an der nach HERING wiedergegebenen Kreislabildung (Abb. 27). Auch hier läßt sich durch den Momentverschluß beweisen, daß die Erscheinungen selbst bei kürzester zeitlicher Einwirkung in unveränderter Weise auftreten.

Eine besonders schöne Demonstration für die Erscheinungen des Simultankontrastes läßt sich an der von HERING abgebildeten Gitterfigur geben (Abb. 28). Solche Abbildungen sind von J. HERMANN zuerst benutzt worden. Es zeigt sich

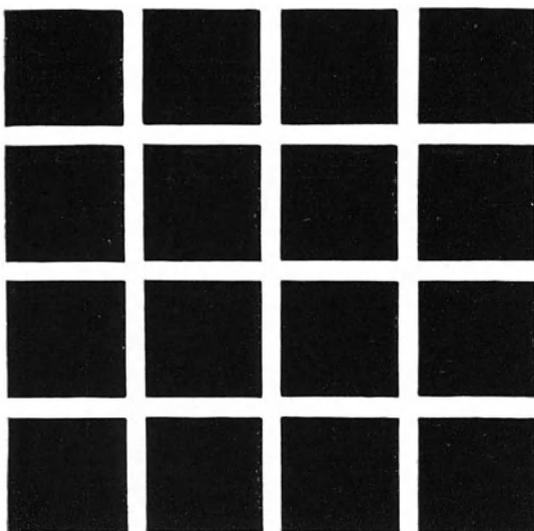


Abb. 28. Gitterfigur. Zeigt die Verminderung des Kontrastes (dunklen Fleck) an allen Kreuzungsstellen, die seitlich vom Fixierpunkt liegen. Benutzt man eine Kreuzungsstelle als Fixierpunkt, so fehlt dort diese Erscheinung (vgl. aber auch den Text). (Aus HERING: Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn, S. 198.)

an einem weißen Gitter auf dunklem Grunde an jeder Kreuzungsstelle (auch bei bewegtem Blick) ein grauer verwaschener Fleck, weil hier mehr Weiß in der Nachbarschaft liegt und deshalb der Kontrast zu den schwarzen Feldern geringer ausfällt. Man kann die Erscheinung gleich gut durch Kontrast zu dem vermuteten Weiß in der Nachbarschaft erklären. Umgekehrt sieht man auf dem schwarzen Gittermuster eines weißen Feldes an den Kreuzungsstellen ein helleres Grau. Bei dieser Abbildung überrascht immer wieder das *Zwangsläufige* des Phänomens und drängt dazu, objektive physiologische Veränderungen als Grundlage der Erscheinungen anzunehmen. Beweisend dafür scheint auch zu sein, daß diese Kontrastbeeinflussung bei Fixation einer Kreuzungsstelle (auch bei momentaner Fixation) dort nicht in gleichem Maße sichtbar ist, was auf eine *physiologisch* bedingte mindere Eignung der Maculagegend für Kontrasterscheinungen schließen läßt.

Fixiert man einen Punkt der Abbildung längere Zeit, so werden die Kontrastercheinungen allmählich undeutlicher; dies wird durch Lokaladaptation erklärt.

Im einzelnen hat sich an einer Reihe von Erscheinungen zeigen lassen, daß auch sehr wesentliche *objektive* Änderungen durch den Kontrast bedingt werden,

daß sich z. B. dort, wo Kontrastschwarz erzeugt wird, eine Erhöhung der Schwellen findet (SCHJELDERUP, DITTMERS), daß die Unterschiedsempfindlichkeit unter der Wirkung des Kontrastes leidet (BLACHOWSKI). Über die Einflüsse des Umfeldes und des Infeldes auf die Kontrastwirkung vergleiche man die neuere Arbeit von SEFFERS. Durch SHERRINGTON wurde sogar nachgewiesen, daß auch die Verschmelzungsfrequenz durch die Einwirkung des Kontrastes geändert werden kann (SHERRINGTON, TSCHERMAK).

Daß doch eine gewisse, wenn auch sehr kurze Zeit notwendig ist, um den Kontrast zur Erscheinung zu bringen, geht aus den Versuchen von v. HESS und neueren Beobachtungen von M. H. FISCHER deutlich hervor.

**Biologische Bedeutung des Kontrastes.** Die wesentlichsten messenden Versuche über den Kontrast, nämlich die Versuche von v. HESS und PRETORI, wurden schon vorher erwähnt. Dem wichtigen Satz dieser Autoren, daß ein annähernd proportionaler Beleuchtungszuwachs des Infeldes nötig ist, um den Beleuchtungszuwachs des Umfeldes zu paralysieren und die Helligkeit des Infeldes konstant zu halten, muß man auch eine Bedeutung und einen gewissen Anwendungsbereich für die Beleuchtungstechnik zusprechen. Da alle die Einflüsse sich fast augenblicklich durchsetzen, hat man nebenbei in diesen Feststellungen einen Beweis für die große Bedeutung der Momentadaptation. Schwieriger erscheinen die Bestrebungen, auch den Einfluß der Flächenausdehnung des kontrasterregenden Feldes auf die Kontrastwirkung gesetzmäßig zu ermitteln, wie das von KIRSCHMANN und BLACHOWSKI (siehe bei TSCHERMAK) angebahnt worden ist.

Ob wir die Entstehung des Kontrastes ausschließlich im Sinne der PLATEAU'schen und HERING'schen Lehre durch physiologische Prozesse in der Sehsinns-substanz erklären können oder ob wir ein psychologisches Moment im Sinne von FECHNER und HELMHOLTZ dabei zu Hilfe nehmen müssen, hat natürlich ein großes theoretisches Interesse. Aber ganz unabhängig von der Beantwortung dieser Frage läßt sich feststellen, daß die Bedeutung des Kontrastes beim Sehen unter den Bedingungen des täglichen Lebens sehr groß ist. Diese besteht vor allem in der Verdeutlichung der Konturen. Das ist von HERING besonders hervorgehoben worden (vgl. Abb. 29). Betrachtet man die Grenze zwischen einer lichtstärkeren und einer lichtschwächeren Fläche unter ungünstigen Bedingungen, so kann infolge der optischen Unvollkommenheiten des Sehorgans das Netzhautbild einen allmählichen Übergang oder sogar einen unregelmäßigen Wechsel (Entstehung von Vielfachbildern; Folge von irregulärem Linsenastigmatismus) zeigen. Erst der Kontrast bringt beim gewöhnlichen Sehen die scharfe Grenze hervor (vgl. u. a. COMBERG). Dies ist gerade an der alten HELMHOLTZ'schen Abbildung gut zu erläutern (vgl. Abb. 29). Der obere Teil der Kurve wird durch den Kontrast gehoben, der untere Teil gesenkt, so daß ein plötzlicher Übergang die Folge ist.

HERING, der als erster betonte, daß unser inneres Auge das Vermögen besitze, im psychischen Sehfeld auf diese Weise eine scharfe Grenze herzustellen, hat allerdings im Sinne seiner Theorie der Gegenfarben angenommen, daß sowohl eine induktive Beeinflussung des lichtschwächeren Grenzbezirkes durch die lichtstärkere Nachbarschaft, als auch umgekehrt eine induktive Beeinflussung des lichtstärkeren Grenzbezirkes durch die lichtschwächere Farbe des dunkleren Grundes statfinde. TSCHERMAK hält es für einfacher, die Erscheinungen ohne

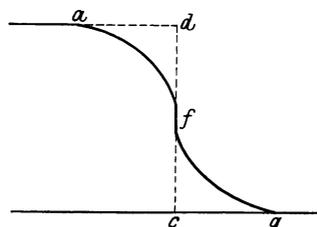


Abb. 29: Querschnitt des Randes einer Lichtfläche nach HELMHOLTZ. Durch Mängel des optischen Systems entsteht keine scharfe Grenze des Netzhautbildes. Die Lichtfläche sinkt entsprechend der Kurve  $a$ ,  $f$ ,  $g$ . Erst durch den Kontrast wird eine scharfe Grenzlinie  $a$ ,  $d$ ,  $f$ ,  $c$ ,  $g$  hergestellt.

die Einwirkung einer „Rückinduktion“ zu erklären, d. h. anzunehmen, daß keine Weißinduktion durch das Schwarz stattfindet. Die TSCHERMAKschen Vorstellungen werden sehr gut durch das hier wiedergegebene Schema (Abb. 30) erläutert, bei welchem die resultierende Helligkeit einer belichteten Scheibe bei stärkerer und bei schwächerer Belichtung des Grundes zur Darstellung gelangt. Durch die Zahl der horizontalen Striche ist die Weißlichkeit, durch die Zahl der vertikalen Striche die Schwärzlichkeit der entsprechenden Flächenteile des Bildes dargestellt.

**Spezielles über die Erklärung des Kontrastes.** Zur Deutung der Kontrasterscheinungen muß man sich wieder an die zwei verschiedenen, auf S. 221

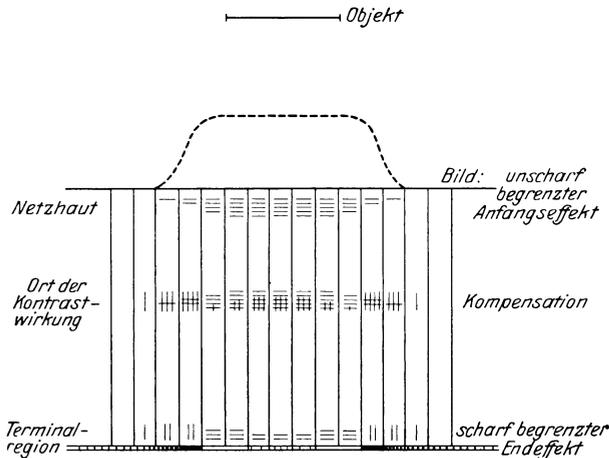


Abb. 30. Kontrastwirkung. Schema der subjektiven Abgrenzung und zentralen Verdunkelung durch Einnenkontrast an einer weißen Scheibe. (Nach TSCHERMAK.)

erwähnten Auffassungen erinnern, an die Erklärung durch subjektive Beeinflussung (FECHNER-HELMHOLTZ) und diejenige durch objektives physiologisches Geschehen (PLATEAU-HERING). Diese beiden Erklärungsweisen sind bis zum heutigen Tage fortentwickelt worden, wobei die Psychologen natürlich mehr der ersten Deutung zuneigen. Einen strengen *Beweis* dafür, welche Art des psychophysiologischen Geschehens den Kontrast hervorruft, gibt es noch nicht. TSCHERMAK und BRÜCKNER, welche unter Wahrung des eigenen Standpunktes die Anschauungen ihres Lehrers HERING weiterbildeten, haben besonders wichtige neuere Arbeiten auf dem Gebiete des Kontrastes geliefert. Erst BRÜCKNER hat auf Grund seiner Feststellungen an Kriegsverletzten den sicheren Nachweis erbracht, daß auch solche Vorgänge bei der Entstehung des Kontrastes einen Anteil haben, welche bestimmt in höheren Zentren zu lokalisieren sind. Auf Grund mehrfacher ähnlicher Beobachtungen ist es jetzt schon als ganz sicher anzusehen, daß es sich nicht um eine rein periphere Lokalisation der Vorgänge handeln kann. Andererseits ist bei der Besprechung dieser Frage darauf hinzuweisen, daß ein wesentlicher Unterschied zwischen monokularem und binokularem Kontrast besteht. Es gibt zwar einen binokularen Kontrast (vgl. den Abschnitt „Binokulare Erscheinungen“, S. 232), doch ist dieser wesentlich schwächer als der monokulare Kontrast. Aus diesem Grunde ist anzunehmen, daß die peripher von der Vereinigungsstelle der Sehbahnfasern beider Augen liegenden Gebiete, also die Netzhaut und die in ihr liegenden Querverbindungen oder solche im Tractus bis zur Gegend des Corpus geniculatum auch eine Bedeutung für den Kontrast besitzen, der vielleicht derjenigen der corticalen und supracorticalen Gebiete gleichkommt. Dieses Überwiegen des monokularen Kontrastes ist auch das wichtigste Argument, welches gegen eine rein psychologische Erklärung des Kontrastes (durch Urteilstäuschung od. dgl. im Sinne von v. HELMHOLTZ) spricht.

Man wird im wesentlichen auch heute noch, bei unserer mangelhaften Kenntnis von den zugrundeliegenden Vorgängen, an der vorsichtigen Beurteilung

festhalten dürfen, die HERING selbst stets empfohlen hat. Andererseits dürfte man bezüglich der Vorgänge in der Sehsinns substanz die richtigste Einstellung finden, wenn man sich der Formulierung TSCHERMAKS anschließt, daß „*die Kontrastbeziehungen auf langer Strecke von der Netzhaut bis in die Präterminalregion hinaus, und zwar unter Summierung erfolgend*“ zu denken seien.

Eine elektrische Reaktion, welche den Kontrastvorgängen in der Netzhaut entsprechen könnte, hatte FRÖHLICH bei seinen Versuchen am Cephalopodenaugc nicht feststellen können. TSCHERMAK glaubte indes, daß er bei der mehrschichtigen Netzhaut des Froschauges Anhaltspunkte für das Vorhandensein entsprechender Netzhautvorgänge gefunden habe (Lit. bei TSCHERMAK).

Für die Analyse der dem Kontrast zugrundeliegenden Vorgänge ist vor allem der HERINGschen Theorie zu gedenken, insoweit sie den Versuch gemacht hat, den Kontrast in näher präzisierter Weise durch ein *physiologisches Geschehen* zu erklären. Nach HERING findet sich in der Sehsinns substanz ein Gleichgewicht zwischen Dissimilation und Assimilation, und zwar wird die Weißerregung als Effekt einer Dissimilation vorgestellt, während die automatisch darauf folgende Assimilation eine Schwarzempfindung hervorruft. Es kann aber nach HERING das Hellerwerden einer Farbe ebensowohl durch Steigerung der Dissimilation bei gleichbleibender Assimilation (I) als durch Minderung der letzteren bei unveränderter Dissimilation (II) als endlich auch durch eine passende gleichzeitige Änderung beider Komponenten des Stoffwechsels (III) bedingt sein. Die gleichen Möglichkeiten bestehen (nur umgekehrt) für das Dunklerwerden der Farben. Da bei dieser Theorie nicht nur eine Korrelation für die gleiche Faser (im Sinne der Sukzessivinduktion) angenommen wird, sondern auch eine Einwirkung auf die Nachbarschaft, in dem Sinne, daß der Stoffwechsel jedes einzelnen Elementes auch in der Nachbarschaft eine gegenseitige Änderung des Stoffwechsels herbeiführt, so könnten sich dann alle drei genannten Bedingungen bei der Entstehung des Simultankontrastes geltend machen. „Jedes Element, dessen Dissimilation größer ist als seine Assimilation, induziert in seiner Umgebung einen Zuwachs zu derjenigen Assimilation, welche ohnedies hier stattfinden würde“ und umgekehrt, und so erscheint die Farbe des psychischen Sehfeldes in der Nähe hellerer Farben dunkler, in der Nähe dunkler Feldteile heller.

Im Gegensatz zu dieser physiologischen Erklärung des Kontrastes, welche in ihren Anfängen auf JOHANNES MÜLLER, AUBERT und FECHNER zurückgeht, steht die anfangs erwähnte psychologische Deutung des Kontrastes als einer Urteilstäuschung, wie sie besonders von v. BRÜCKE, FECHNER, v. HELMHOLTZ und später durch v. KRIES und EXNER inauguriert worden ist. v. HELMHOLTZ glaubt, daß durch das Erscheinen einer bestimmten Farbe oder Helligkeit in einem Bezirke des Gesichtsfeldes für die Nachbarschaft des Gesichtsfeldes eine Bereitschaft zu Täuschungen entstehe. Es gebe eben keine sichere Möglichkeit, um die empfundene Farbe des induzierten Feldes genau bestimmen zu können. Die Erscheinung des Kontrastes werde bei Farben schließlich auch erhöht, wenn alle anderen Farben aus dem Gesichtsfeld entfernt würden, was dafür spreche, daß nur eine falsche Schätzung zu der Wahrnehmung der Kontrastfarbe an ihrem Orte führt. Es ist also nach v. HELMHOLTZ der Kontrast nur eine Täuschung des Urteils. Sie erscheint ihm auf dem Gebiete des Gesichtssinnes besonders leicht hervorzurufen, weil hier alle Empfindungen, also Weiß, Schwarz und die bunten Farben, ganz gewöhnlich schon stark wechselnden objektiven Werten zugeordnet würden. Er glaubt, daß etwa ebenso wie wir z. B. trotz wechselnder stark farbiger Verstimmung des Auges *gewohnheitsmäßig* die Farben einzelner Gegenstände richtig benennen, wir ebenso *gewohnheitsmäßig* eine Neigung besitzen, in der Nachbarschaft heller Flächen ein Dunkel anzunehmen usw.

Vergleicht man die Momente, welche für die physiologische und welche für die psychologische Kontrasttheorie sprechen, so muß noch einmal betont werden, daß es Erscheinungen gibt, die sich zwanglos nur durch die Existenz physiologischer, dem Kontrast entsprechender Vorgänge in der Schemensubstanz deuten lassen. Als solche möchte ich hier besonders nennen:

1. die Verschiebung der Schwellenwerte in der Nachbarschaft einer stark belichteten Stelle;

2. die Feststellung SHERRINGTONS, daß die Verschmelzungsfrequenz durch die mehr oder weniger starke Erregung der benachbarten Netzhaut eine Änderung erfahren kann.

Trotzdem ist meines Erachtens die HELMHOLTZsche Auffassung im Kern ihres Wesens auch nicht ganz ohne Bedeutung. Neben den physiologischen Prozessen, die zu der streng gesetzmäßigen Erscheinung der Gegenfarben führen, besteht auch noch eine besondere *psychische Tendenz zur Verstärkung der Kontraste*. Wir können häufig bemerken, daß von zwei Empfindungen, die zeitlich nacheinander liegen, die zweite durch die erste wesentlich mitbeeinflusst ist. Zwar hat HERING auch für andere Sinnesorgane eine streng gesetzmäßige Beeinflussung durch physiologische Kontrastvorgänge in der Sinnessubstanz selbst angenommen, es gibt aber Beispiele, bei denen diese Erklärung allein nicht genügt. Nach einem eiskalten Bade erscheint uns eine laue Dusche als warm usw. Ebenfalls für den Geschmack, das Gehör und den Geruch lassen sich leicht ähnliche Beispiele anführen, bei welchen die Kontrastempfindung doch wohl neben einer physiologischen auch eine psychische Wurzel hat. Bei komplexen Eindrücken und bei den bekannten Kontrastempfindungen nach Wahrnehmung von Bewegungsvorgängen (archimedische Spirale) ist eine *psychische* Beeinflussung sicher nicht zu leugnen. Es wäre unlogisch, wenn man alsdann der Psyche bei den einfachen Sinnesempfindungen eine Mitwirkung gänzlich versagen wollte.

Die physiologische Bedeutung der Kontrastempfindung ist klar: Es soll durch die verstärkte Empfindung der Gegensätze eine deutlichere Leistung der Sinnesorgane erreicht werden. Es ist ein großes häufig erkennbares Gesetz des physiologischen Geschehens, daß die Natur sich aller leicht erreichbaren Hilfsmittel bedient. Warum sollte die Kontrastempfindung beim Sehen neben den physiologischen Ursachen nicht auch auf psychologischen Faktoren beruhen?

In neuerer Zeit hatte JAENSCH den Versuch gemacht, den Kontrast und die Konstanz der Farben durch Parallelgesetze zu erklären. Dieser Versuch war von G. E. MÜLLER als mangelhaft fundiert zurückgewiesen worden. Eine weitere psychologische Erklärung des Kontrastes, die annehmbarer ist, entspringt der Gestaltlehre (vgl. oben S. 179). Weil die ganz ausgesprochene Tendenz des Auges besteht, alles in Gestalten zu sehen, so muß auf dem Wege der unbewußten Ergänzung und Assimilation das Geschaute zwangsläufig aus seiner Umgebung herausgehoben, zu ihr in einen gewissen Gegensatz gestellt werden. Auch durch die Gestaltpsychologie würde man also erklären können, daß wir in Kontrasten sehen. Für die historische Betrachtung ergibt sich hier eine interessante Perspektive, denn letzten Endes ist dies doch etwas Ähnliches wie die HELMHOLTZsche Lehre von der Urteilstäuschung in modernem Gewande.

## 2. Irradiation und gleichsinnige Induktion.

**Allgemeines.** Als gegensätzlich zu den Erscheinungen des Kontrastes, bei welchen in der Nachbarschaft der unter Wirkung des Lichtes stehenden (schwarzweißen oder bunten) Bezirke die gegensinnige Farbe in Erscheinung

tritt, müssen die Einwirkungen der sog. Irradiation behandelt werden. Dabei sind folgende physikalischen Verhältnisse zu beachten:

I. Es ist durch die dioptrischen Unvollkommenheiten im Bau des Auges bedingt, daß die Lichtstrahlen in den brechenden Medien ebenso wie auch bei anderen optischen Instrumenten nicht nur eine geradlinige Fortpflanzung, sondern fast immer in nachweisbarem Maße eine gewisse Diffusion erleiden.

II. Außerdem wird in optischen Geräten mit mehreren brechenden Flächen, zu denen auch das Auge zählt, ein nicht unmerklicher Teil des Lichtes mehrfach reflektiert und so von dem Orte des Hauptbildes abgelenkt.

III. Wird an der Netzhaut, an dem bildauffangenden Schirm des Auges, ein nicht unbeträchtlicher Teil des Lichtes diffundiert. Es gibt keine streng lokale Beleuchtung der Netzhaut, wie der Praktiker schon aus den Mängeln derjenigen Verfahren weiß, welche der Messung der hemianopischen Pupillenreaktion dienen. Wird ein Punkt der Netzhaut *stark* beleuchtet, so ist das ganze übrige Augenninnere von dort ausgestrahltem Licht mäßig erhellt.

IV. Schließlich spielt auch dasjenige Licht eine Rolle, welches direkt durch die Sclera und Uvea hindurchtritt, wie schon die entoptische Sichtbarkeit der PURKINJESCHEN Aderfigur und die Diaphanoskopie beweisen.

Die dem Simultankontrast entgegenwirkenden Erscheinungen sind rein phänomenologisch zwei verschiedenen Gruppen zuzuordnen. Es kann sich handeln

- a) um die Irradiationserscheinungen im engeren Sinne,
- b) um die sogenannte gleichsinnige Induktion.

**Die Irradiationserscheinungen im engeren Sinne.** Jede Flamme oder andere intensive Lichtquelle erscheint vor dunklem Hintergrunde von einem großen leuchtenden Hof umgeben (HERING). Im Dunkelzimmer kann ein lichtschwaches Objekt, das beim Dämmerungssehen in der Macula wegen des physiologischen Skotoms nicht wahrgenommen wird, durch Irradiation die viel lichtempfindlichere Umgebung der Netzhautgrube so stark beeinflussen, daß ein heller Schein zu sehen ist (HERING).

Besonders gut ist die Irradiation sichtbar zu machen, wenn man die Stelle des blinden Flecks durch ein intensives, scharf abgegrenztes Licht beleuchtet. Dann ist die direkt beleuchtete Stelle des Augenhintergrundes unempfindlich, aber das übrige Gesichtsfeld läßt die volle Ausdehnung der Irradiation erkennen. Bringe ich in dieser Weise aus 5 m Entfernung das sehr intensive Licht meines ZEISS'SCHEN Beleuchtungsgerätes zur Einwirkung, welche auf diese Entfernung in meiner Pupillenebene eine Beleuchtungsintensität von 80 Meterkerzen besitzt und am Augenhintergrunde ein Bild gibt, das wesentlich kleiner ist als die Fläche des Sehnervenkopfes, so sehe ich in einem Umkreis von etwa  $5^{\circ}$  Schwinkel einen sehr hellen leuchtenden Schein, der nach dem Rande zu allmählich schwächer wird. Auch noch auf einem viel größeren Teil des Gesichtsfeldes (schätzungsweise von 10—20° Radius) ist das diffuse Nebenlicht unter diesen Umständen so stark, daß die Sichtbarkeit aller gleichzeitig im Zimmer vom starken Licht der Deckenbeleuchtung (etwa 30 Lux) erhellten Gegenstände merklich darunter leidet. Es ist, als ob ein heller Schleier über diesem Gebiet liegt. Die Außengrenzen des Gesichtsfeldes sind allerdings fast frei von dieser Erscheinung.

Stets wird man bei geeigneten Bedingungen feststellen, daß das indirekte Licht in der Nachbarschaft des hellen Hintergrundbildes am stärksten ist. Der so entstehende Lichthof hat bei der Beobachtung von kleinen hellen Objekten wie Sternen, kleinen weißen Scheibchen auf dunklem Grunde auch die unmittlere Wirkung, daß diese größer erscheinen, als wenn man einen dunklen

Punkt oder eine kleine dunkle Fläche von gleichem Schwinkel auf hellem Grunde beobachtet.

Es ist der scheinbare Flächenzuwachs heller Objekte, welcher durch die Irradiation bedingt wird, um so größer, je kleiner der Gesichtswinkel ist, so daß z. B. bei den Sternen oder überhaupt bei winzigen Punkten von sehr hoher Leuchtdichte (Flächenlichtstärke) das Produkt aus Gesichtswinkel und Quadratwurzel der Lichtstärke eine Konstante wird (RICCO, CHARPENTIER, PIPER, KÜHL u. a.).

**Gleichsinnige Induktion.** Es war schon älteren Beobachtern aufgefallen, daß die Umgebung scharf konturierter heller oder farbiger Flächen auf dunklem Grunde bei längerdauernder Fixation von einem bestimmten Zeitpunkte an in der gleichen Farbe erscheinen kann, wie der objektiv hell bzw. buntfarbig getönte Bezirk. FECHNER hatte an einem farbigen Papier auf weißem Grunde im Tages- oder Sonnenlicht festgestellt, daß nach einiger Zeit der Grund deutlich die gleiche Farbe annahm wie das Papier, und sie so lebhaft wurde, daß sie der Farbe des Papiers kaum nachstand. Verwendete FECHNER zwei verschiedenfarbige kleinere Felder auf weißem Grunde nebeneinander und fixierte die Mitte, so überzog sich der Grund allmählich mit einer Mischfarbe aus beiden bunten Farben. Legte er die Felder entfernt voneinander, fixierte nur eines und ließ das andere sich exzentrisch abbilden, so nahm der Grund nur die Farbe des ersten Feldes an. FECHNER zog daraus den Schluß, daß stets die ganze Netzhaut mit reagiere, auch wenn nur ein beschränkter Teil erregt würde. Er stellte dabei fest, daß der farbige Fleck sich in dem Augenblick, in welchem die gleichsinnige Farbe in der Umgebung erschien, gleichzeitig durch Zumischung der Komplementärfarbe verdunkle, und erklärte die gleichsinnig induzierte Farbe als das „Komplement dieser Komplementärwirkung“.

v. BRÜCKE führte ganz ähnliche Versuche aus, forderte aber schon scharfe Scheidung zwischen objektiven und subjektiven Momenten und hielt psychologisch bedingte Kontrastempfindungen zum Teil für die Urheber der von ihm so genannten „gleichsinnigen Induktion“. Eine ausführliche Arbeit über dieses Gebiet stammt von KUHNT, welcher seine Untersuchungen in einem mit schwarzem Samt ausgeschlagenen, durch ein Fenster erhellten Kasten anstellte und dabei die Wirkung isoliert beleuchteter farbiger Papierflächen beobachtete.

Schließlich sind hier auch die eigenartigen Erscheinungen zu erwähnen, die zur Unmerklichkeit von Skotomen führen. Sowohl das physiologische Skotom, das wir gegenüber schwachen Lichtern beim Dämmerungssehen in der Gegend des Fixierpunktes besitzen, wie das physiologische Skotom des blinden Flecks werden für gewöhnlich nicht wahrgenommen, ja geradezu mit der Farbe der Umgebung ausgefüllt. Betrachte ich im hellen Tageslicht mit einem Auge die grüngefärbte Tapete meiner Zimmerwand, so vermag ich für gewöhnlich an der Stelle des blinden Flecks keine Unterbrechung der Farbe oder der Helligkeit wahrzunehmen. Auch diese Stelle erscheint jedenfalls ganz deutlich grün; erst unter besonderen Bedingungen und nach längerer Übung gelangen die meisten Beobachter dazu, die Stelle des blinden Flecks anders zu sehen als die Umgebung, während manche sonst gute Beobachter bei fehlender individueller Disposition trotz weitgehender Übung hierzu überhaupt nicht instande sind.

Das Gemeinsame der im vorstehenden beschriebenen Erscheinungen ist, daß eine Bereitschaft des Sehorgans besteht, die Nachbarschaft farbig beleuchteter Felder unter gewissen Bedingungen in der gleichen Farbe zu sehen. Es sind zwei ganz verschiedene Erklärungen hierzu herangezogen worden.

Nach der ersten Erklärung handelt es sich bei den zuerst beschriebenen Versuchen nur um die Wirkung des zerstreuten Lichtes, welches von der beleuchteten Netzhautfläche aus den ganzen Auginnenraum sekundär erhellt, sowie des schon in den optischen Medien diffundierten Lichtes, das diese Wirkung verstärkt. Der Versuch FECHNERS, bei welchem sich das ganze Gesichtsfeld mit der Mischfarbe der beiden Farbflächen überzog, während gleichzeitig die farbigen Flächen selbst an Helligkeit einbüßten, würde mit einer solchen Erklärung sehr wohl vereinbar sein. Die Farbe der dargebotenen Flächen selbst muß durch Lokaladaptation sehr schnell an Sättigung bzw. Helligkeit abnehmen. Dann wird unter Umständen plötzlich die vorher durch Kontrast herabgeminderte Sichtbarkeit der bunten Mischfarbe auf dem gesamten übrigen Feld in Erscheinung treten, weil sie nicht mehr in der gleichen Weise durch den Kontrast niedergehalten wird.

Der zweite Versuch FECHNERS, bei dem ein exzentrisches Feld nicht die gleiche Wirkung hatte, so daß nur eine gleichsinnige Induktion von dem fixierten Felde ausging, würde dieser Erklärung allerdings in gewissem Grade widersprechen. Doch müßte dieser Versuch unter genau festgelegten Bedingungen, mit genau bestimmter Intensität und Feldgröße wiederholt werden, bevor man daraus Schlüsse ziehen könnte.

TSCHERMAK nimmt an, daß die Phänomene ausschließlich durch die Irradiation des Lichtes im Auge erklärt werden können. Ich möchte glauben, daß man diesen Faktor nicht vernachlässigen darf; ausschließlich in diesem Sinne entschieden ist meines Erachtens die Frage aber sicher nicht. Einen gewissen gegensätzlichen Standpunkt finden wir in den Arbeiten von BRÜCKNER. Er hat namentlich auch auf die eigenartige Erscheinung hingewiesen, welche sich bei der Ausfüllung des blinden Flecks und anderer Skotome mit der gleichsinnigen Farbe zeigt. *Berücksichtigt man die Analogien in anderen Nervengebieten (Trigeminus, Schmerzausstrahlung in Nebenäste), so sprechen auch diese dafür, daß bei einer circumscribten Erregung, namentlich bei einer solchen von längerer Dauer, oft eine Ausstrahlung von Empfindungen gleicher Art in den Nachbargebieten des erregten Nerven zustandekommt, ohne daß dort ein\_entsprechender adäquater Reiz einwirkt.*

### 3. Ineinandergreifen von Kontrast und Irradiation bzw. gleichsinniger Induktion.

Interessant ist es, sich die Wirkungen zu vergegenwärtigen, welche aus dem Zusammenspiel der die gleichsinnige Erregung in der Nachbarschaft fördernden Momente, der Irradiation und der gleichsinnigen Induktion, mit dem Simultankontrast entstehen. Hierbei zeigt sich, daß die Natur in dem Kontrast eine vorzügliche Einrichtung geschaffen hat, um dem störenden Einfluß des irradiierten Nebenlichtes und der gleichsinnigen Induktion zu begegnen und andere rein optisch bedingte Mängel des Auges, die ja unter pathologischen Bedingungen oft weitgehend stören können (diffuses Licht bei Hornhautnarben, Vielfachbilder bei Astigmatismus) zu überwinden. Wir brauchen zum Erkennen ein *scharfes* Sehen, ein Sehen in Konturen. Ohne dieses gibt es keine genügende Unterscheidungsfähigkeit. Um aus den Vielfachbildern, die entsprechend den GULLSTRANDSchen Feststellungen von jeder Kontur der Außendinge auf der Netzhaut liegen, eine scharfe Grenze des gesehenen Objektes zu entwickeln, und die Farben trotz der störenden Einflüsse des diffundierten Lichtes überall genügend deutlich zu sehen, können wir die physiologische Einrichtung des Kontrastes nicht entbehren (vgl. z. B. COMBERG).

TSCHERMAK hat einen interessanten Versuch gemacht, die hierbei gültigen Verhältnisse in einfachster Form schematisch zur Darstellung zu bringen.

Auf seiner hier wiedergegebenen Abbildung (Abb. 31) wird einmal die Gegenwirkung des Kontrastschwarz gegen die Lichtaberration und weiter die subjektive Abgrenzung einer weißen Scheibe und die zentrale Verdunkelung durch den Binnenkontrast zur Darstellung gebracht. Diese Verhältnisse sind zunächst nur gültig für eine gewisse Intensität der Beleuchtung und für den Zustand der Helladaptation. Bei der Dunkeladaptation spielt der Simultan-contrast, soweit ich aus eigenen Versuchen schließen möchte, eine bedeutend geringere Rolle.

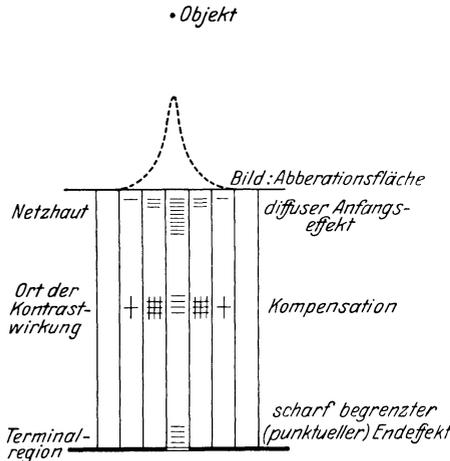


Abb. 31. Schema der Gegenwirkung des Kontrastschwarz gegen die Lichtaberration bei punktueller Lichtquelle. Durch die Zahl der horizontalen Striche soll die Stärke der direkten Lichteinwirkung, durch die vertikalen Striche die Stärke der Gegenwirkung des Kontrastes angedeutet werden. (Nach TSCHERMAK.)

#### 4. Binokulare Erscheinungen.

**Binokularer Kontrast.** Zunächst ist zu erörtern, daß es einen binokularen Kontrast, eine gegensätzliche Wechselwirkung zwischen benachbarten Gesichtsfeldstellen des rechten und linken Auges gibt. Dieser, auch wenn jede für sich nur monokular vertreten ist, läßt sich nach v. HELMHOLTZ leicht wahrnehmen, wenn man ein kleines helles Objekt auf schwarzem Grunde fixiert und dabei Doppelbilder erzeugt. Ist das eine der beiden Augen farbiger verstimmt, so sieht man dann an den Bildern der beiden Augen zwei verschiedene Farben, wobei das Bild des zweiten Auges die Komplementärfarbe zu dem

Bilde des ersten Auges zeigt. Nach v. HELMHOLTZ wirkt dabei die Geneigtheit mit, deutlich wahrzunehmende Unterschiede von Helligkeit und Farbe für größer zu halten als unendlich wahrnehmbare. Nach HERING und TSCHERMAK entspricht der binokulare Kontrast einer Wechselwirkung beider Sehfelder, doch sei er erheblich geringer als der monokulare Kontrast.

Der klassische Versuch, durch welchen binokularer Kontrast sichtbar zu machen ist, stammt von SMITH in Fochabers. Eine ähnliche Feststellung wurde von FECHNER gemacht. Man erzeugt sich das Doppelbild eines kleinen weißen Feldes durch seitlichen Druck gegen den Augapfel oder durch ein vorgehaltenes Prisma und beleuchtet gleichzeitig ein Auge stärker als das andere, indem man eine Kerze oder eine Lampe an diese Seite bringt oder sich seitlich zum Fenster stellt; dann erscheint das Doppelbild des kleinen weißen Feldes für das beleuchtete Auge lichtschwächer und bläulich, für das dunkler gehaltene Auge heller und rötlich. BREWSTER hat dazu einen Erklärungsversuch; er nahm an, daß der durch Licht nicht getroffene Netzhautteil besonders für langwellige Lichter farbenunempfindlich sei. v. BRÜCKE, welcher den SMITH-FECHNERSchen Versuch umkehrte, beobachtete das Doppelbild eines kleinen schwarzen Feldes auf heller Unterlage. Dabei zeigte sich das Bild des belichteten Auges rötlich und das des nicht belichteten grünlich. Zur Erklärung nahm v. BRÜCKE an, daß das extrapupillare Licht durch die Blutgefäßschicht rötlich gefärbt werde. Man könnte sich dann vorstellen, daß das schwarze Feld von dem belichteten Auge aus diesem Grunde rötlich gesehen wird, und das schwarze Feld dem nicht belichteten Auge im Kontrast dazu grünlich erscheint. Für den SMITHSchen Versuch würde anzunehmen sein, daß das weiße Feld im Kontrast

zu dem großen diascleral beleuchteten, eigentlich nicht merklich rötlich bestrahlten Gebiet der ganzen Netzhaut grünlich erscheint und das Bild des zweiten Auges im binokularen Kontrast rötlich.

Sehr deutlich ist der binokulare Simultankontrast, wenn ein Auge durch ein farbiges Glas oder durch das Betrachten von farbigen Flächen stark farbig verstimmt wird. Dann erscheint das Bild des chromatisch verstimmteten Auges in der Gegenfarbe und ein am zweiten Auge erzeugtes Doppelbild in der gleichen Farbe.

Für die *Erklärung* des binokularen Kontrastes können sowohl die HELMHOLTZsche als auch die HERINGSche Annahme herangezogen werden. Die Tatsache, daß der binokulare Kontrast schwächer ist als der monokulare, würde, wie betont werden muß, in gewissem Sinne dafür sprechen, daß objektive physiologische Vorgänge in der peripheren Sehsinns substanz dem Kontraste ganz oder mindestens teilweise zugrunde liegen; denn wenn es sich um rein psychologische Momente handeln würde, etwa nur um eine Urteilstäuschung im Sinne von HELMHOLTZ, so wäre nicht einzusehen, weshalb der binokulare Kontrast schwächer ausfallen sollte als der monokulare.

**Binokulare Mischung von Farben der Weiß-Schwarz-Reihe.** Mischt man bei monokularer Betrachtung zu dem Licht einer mäßig erhellten Fläche, die etwa als mittleres Grau erscheint, mit einer schräg zur Blickrichtung angebrachten Spiegelglasfläche weiteres Licht oder vergrößert man einen weißen Kreissektor auf schwarzem Felde und setzt damit die Lichtstärke auf der Fläche des Kreisels bei der Rotation herauf, so ergibt sich die ganz natürlich anmutende Tatsache, daß die zugemischten Lichtquanten die Helligkeit der gesehenen Fläche immer weiter verstärken, als Folge einer Addition der physikalischen Energie.

Es fragt sich nun, wie die Verhältnisse bei binokularer Mischung sind. Bei dahingehenden Versuchen, die namentlich von HERING mit einfachsten Hilfsmitteln zu sehr anschaulichen Experimenten ausgebaut wurden, zeigt sich, daß es auch eine binokulare Mischung sowohl für die Weiß-Schwarz-Reihe als auch für bunte Farben gibt.

HELMHOLTZ hat noch in der zweiten (der letzten von ihm selbst herausgegebenen) Auflage seiner physiologischen Optik (S. 926 f.) angegeben, daß er niemals eine binokulare Mischfarbe beobachtet habe. Während bei der binokularen Vereinigung durch NICOLSche Prismen andere Forscher die binokulare Mischung von Komplementärfarben zu Weiß gesehen hatten, konnte er selbst nur einen starken Wettstreit wahrnehmen und die Farben immer getrennt sehen. Er glaubte, daß man auch bei diesen Versuchen getäuscht werden könnte, betonte aber das Mißliche, „so vielen ausgezeichneten und zuverlässigen Beobachtern in einer Sache zu widersprechen, in der vielleicht außerordentlich große individuelle Unterschiede bestehen“. Die Einwände von HELMHOLTZ müssen im Original nachgelesen werden. Ich selbst kann mich der HELMHOLTZschen Ansicht auf Grund eigener Beobachtungen an Anaglyphenbildern (COMBERG) durchaus nicht anschließen.

Es zeigt sich bei allen Versuchen mit binokularer Farbenmischung allerdings sofort, daß die Verhältnisse durchaus anders sind, als bei monokularer Mischung. Die Mischfarbe liegt zwar stets zwischen der Farbe der beiden monokular gesehenen Farben (HERING), es treten aber eigenartige Wechsel oder mindestens eine Inkonstanz auf, und man findet manchmal sogar eine eigenartige Beeinflussung durch einen Wettstreit der beiden monokularen Anteile.

Die einfachsten Verhältnisse zur Beobachtung der binokularen Farbenmischung für die tonfreien Farben der Schwarz-Weiß-Reihe erhält man, wenn man nach den Angaben HERINGS verfährt und kleine Felder auf verschieden getöntem schwärzlichen, grauen oder hellen Grunde unter absichtlicher Kreuzung der Gesichtslinien so beobachtet, daß Doppelbilder erscheinen. Benutzt

man dazu eine Reihe von kleinen Kreisfeldern (Abb. 32), so scheint allerdings bei binokularer und monokularer Betrachtung ein Unterschied in der Abstufung der Weiß-Schwarz-Skala nicht zu bestehen. Nimmt man aber eine vertikale Doppelreihe (Abb. 33) von ähnlich getönten Feldern für den Versuch und verschiebt durch passende Kreuzung der Gesichtslinien vor oder hinter dem Papier

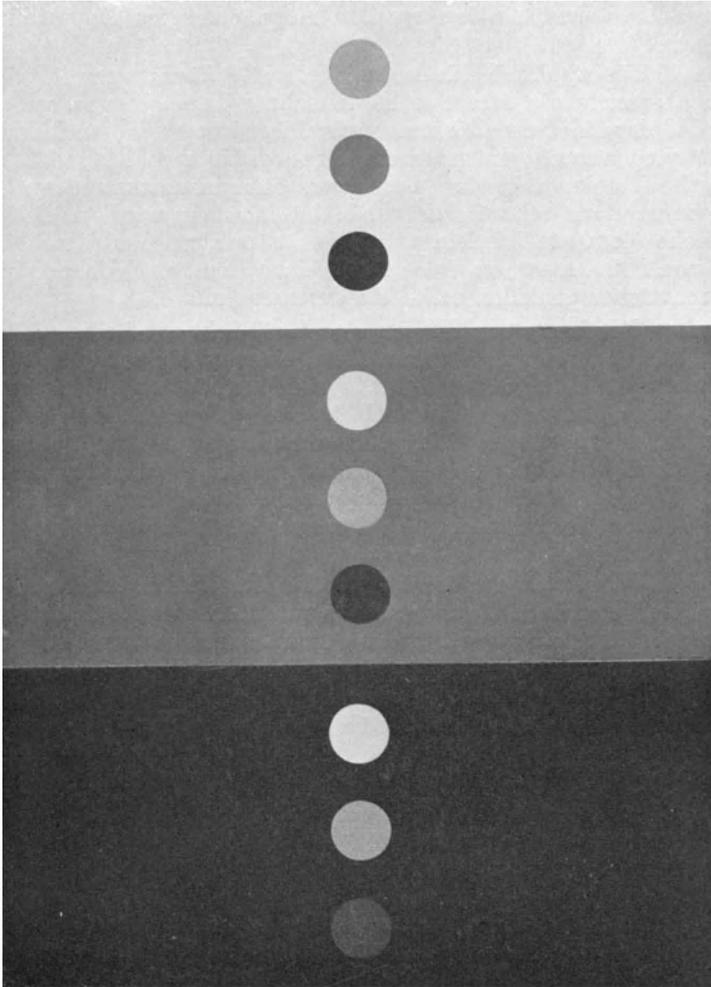


Abb. 32. Einzelreihe abgetönter Kreisfelder zur Beobachtung binokularer Farben. (Nach HERING.)  
Näheres vgl. Text.

die monokularen Bilder so weit, daß sich je eine der vertikalen Reihen auf korrespondierenden Netzhautstellen abbildet, dann erblickt man drei vertikale Reihen kleiner Felder nebeneinander, von welchen nur die mittlere binokular gesehen wird, während die seitlichen Reihen einer monokularen Netzhautabbildung ihre Entstehung verdanken. Dabei liegt für die monokularen Reihen auf dem zweiten Auge an der korrespondierenden Stelle die Farbe des Grundes. Dabei zeigt sich, wie HERING sehr richtig bemerkt, daß die monokular gesehenen Felder doch nicht dieselbe Farbe haben, wie die binokular abgebildeten, sondern

z. B. weniger hell sind als das binokulare Feld, wenn der korrespondierenden Stelle des zweiten Auges eine dunklere Fläche entspricht. Es zeigt sich aber

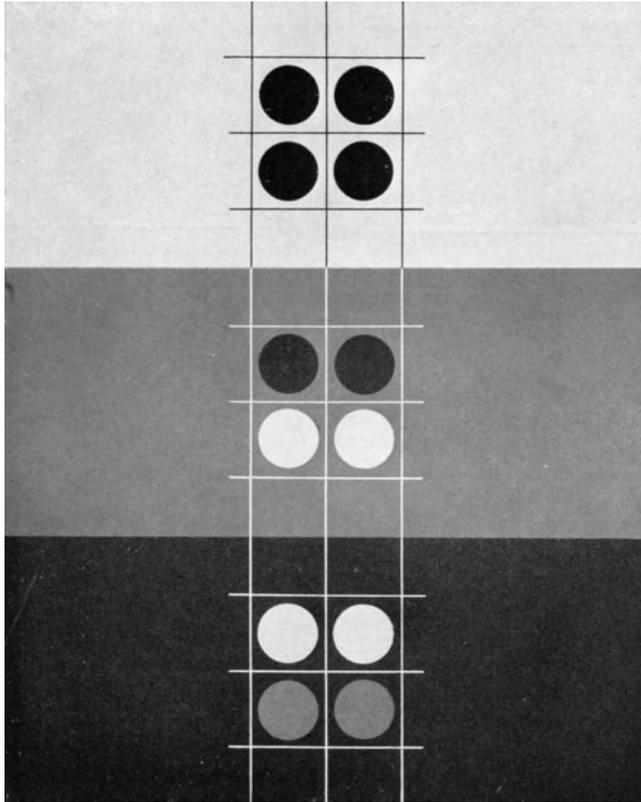


Abb. 33. Doppelreihe abgetönter Kreisfelder zur Beobachtung monokularer und binokularer Farben. (Nach HERING.) Näheres vgl. Text.

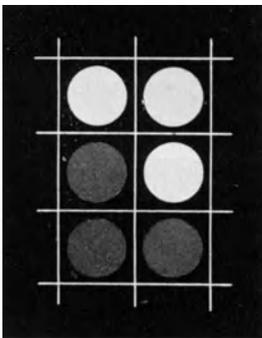


Abb. 34a. Abgetönte Kreisfelder zur Beobachtung binokularer Mischfarben. (Nach HERING.)

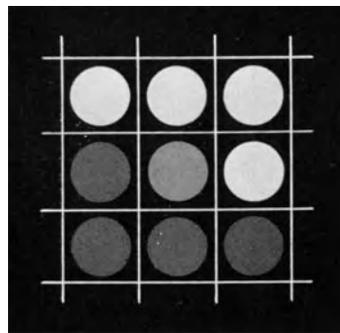


Abb. 34b. Beobachtung von 34a mit gekreuzten Gesichtslinien. Die mittlere vertikale Reihe entspricht den binokular gesehenen Feldern.

auch, daß unter den Bedingungen dieses Versuches bei der Abbildung kleiner scharf konturierter Felder der Einfluß des gleichmäßig gefärbten Grundes vom

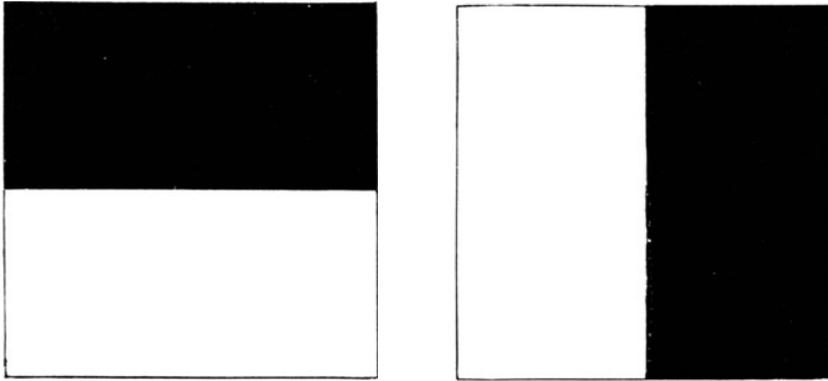


Abb. 35a.

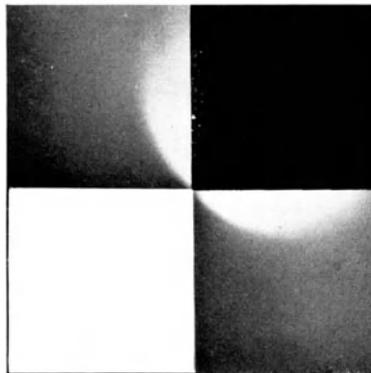


Abb. 35b.

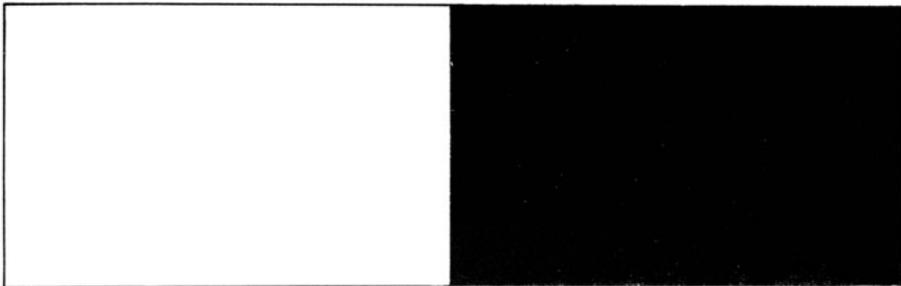


Abb. 35c.

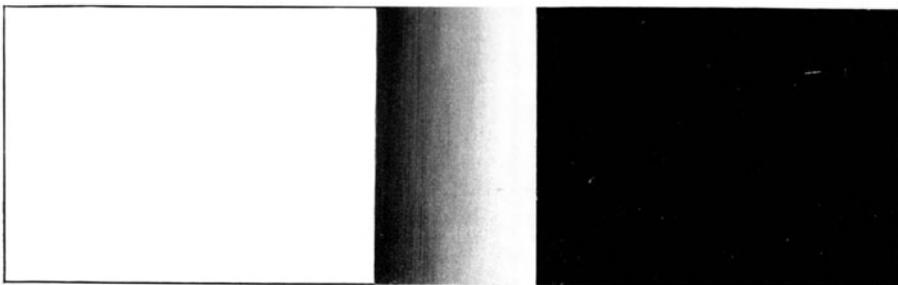


Abb. 35d.

Abb. 35a – d. Schwarz-Weiß-Felder zur Beobachtung von Grenzfarben bei binokularer Mischung. (Nach HERING.) Abb. 35b entspricht dem Eindruck, den man bei binokularer Mischung der Felder von Abb. 35a erhält; Abb. 35d gibt den Eindruck wieder, den man bei binokularer Mischung von den Feldern der Abb. 35c bekommt.

zweiten Auge verhältnismäßig unbedeutend ist. HERING glaubt, daß er um so geringer sei, je kleiner der Sehwinkel der Felder im ersten Auge ist.

Man kann den Versuch auch so anstellen, daß man Felder von gleicher Form, aber ungleicher Farbe auf beiderseits gleichem Grunde zur Vereinigung bringt (vgl. Abb. 34a). Bei diesen Versuchen zeigt sich entsprechend den Angaben HERINGS, daß die Mischfarbe niemals ganz konstant ist, ja daß in extremen Fällen (vor allem bei dem Versuch, ganz ungleiche Farben, also Weiß und Schwarz, zu mischen), häufig (oder bei manchen Versuchspersonen immer) ein regulärer Wettstreit eintritt. Auch zeigen sich starke individuelle Verschiedenheiten!

Beobachtet man nun das Verhalten der Farbmischung an Feldern mit ausgedehnterer, monokular gegebener Grenzlinie gegenüber einem andersfarbigen

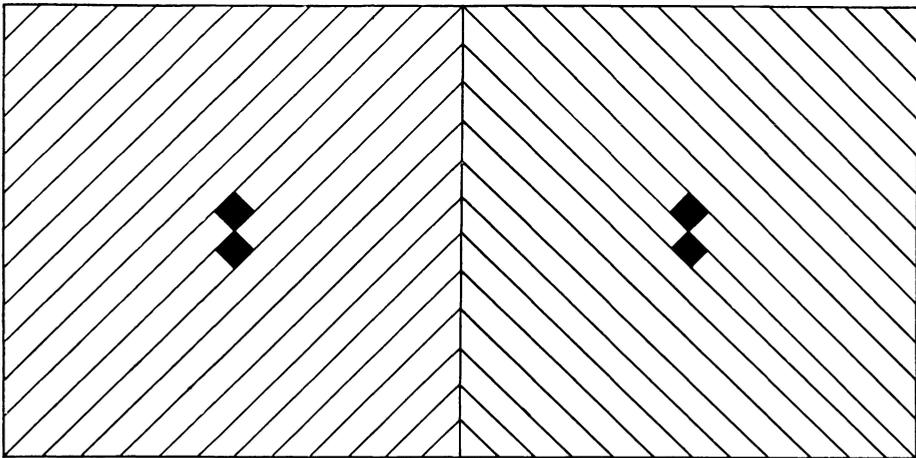


Abb. 36. Stereoskoptafel zur Hervorrufung des Wettstreites an inkongruent begrenzten Flächen. (Aus HELMHOLTZ: Physiologische Optik.)

Feldteil, das im zweiten Auge abgebildet ist, so zeigt sich, daß diejenigen Farben, die jeweils der Grenzlinie anliegen, ein ganz ausgesprochenes Übergewicht bekommen. HERING spricht geradezu von Grenzfarben. Man könnte daran denken, daß es neben der bewußten eine unbewußt bleibende Aufmerksamkeit gibt, die sich zwangsläufig auf die Konturen der Sehdinge richten muß, weil das beim praktischen Gebrauch des Auges zur Erkennung der Gegenstände besonders wichtig ist. Die Erscheinungen sind schön an den bei HERING abgebildeten Weiß-Schwarz-Flächen (Abb. 35a—c) zu beobachten, wenn man sie ebenfalls mit gekreuzten oder parallelen Gesichtslinien so betrachtet, daß die Kreuzungsstelle vor bzw. hinter der Papierfläche liegt. Man sieht dann deutlich, daß die vertikale Weiß-Schwarz-Grenze binokular in ihrer Nachbarschaft ein Übergewicht der zugehörigen Farben gibt, während in dem Gebiet zwischen den beiden vertikalen monokular abgebildeten Konturen Mischfarben zwischen Schwarz und Weiß erscheinen, die einen allmählichen Übergang zwischen beiden bedingen.

**Binokularer Wettstreit.** Bietet man den beiden Augen ganz inkongruent begrenzte Flächen oder sehr stark kontrastierende Helligkeiten an größeren scharf umgrenzten kongruenten Feldern, so zeigt sich in beiden Fällen niemals eine homogene und gleichbleibende Mischung, sondern es dominiert entweder das Bild des einen oder das des anderen Auges, wobei meist ganz eigenartige, oft rhythmische Wechsel zwischen den Bildern beider Augen eintreten. Es

entsteht ein echter binokularer „Wettstreit“ der monokular gesehenen Teilbilder, bedingt durch den Wettstreit der psychischen Sehfelder (Abb. 36).

Nach HERING ist dieser Wettstreit ganz der willkürlichen Beeinflussung entzogen. Nach HELMHOLTZ, WUNDT und anderen Autoren hängt die Erscheinung eines bestimmten monokularen Anteiles aber doch zum großen Teil von der *willkürlich* beeinflussten Aufmerksamkeit ab. Ich selbst habe bei ganz unvoreingenommenen Prüfungen immer wieder den bestimmten Eindruck gewonnen, daß für mich die Vorstellung und die mit ihr zusammenhängende gerichtete Willensaktion, ebenso die oft unwillkürlich beeinflusste Aufmerksamkeit, eine große Bedeutung für das Erscheinen des monokularen Anteils besitzen. Eine willkürliche Wettstreitbeeinflussung vermag ich vor allem dann auszuüben, wenn Konturen vorhanden sind und eine „*Gestalt*“auffassung des Gesehenen

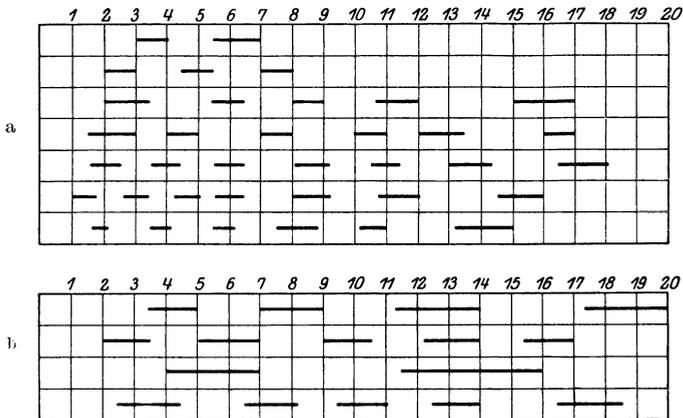


Abb. 37a und b. Darstellung des zeitlichen Verlaufes der Wechsel beim Wettstreit im Nachbilde. a Graphische Darstellung der auf Wettstreit beruhenden Nachbildwechsel beim PLATEAUSCHEN Röhrenversuch; — — Nachbilder in der Farbe des Vorbildes. b Wettstreit bei Versuchen mit farbigen Nachbildern (Vorbelichtung des ersten Auges rot, des zweiten Auges blau). Zur Erleichterung des Vergleiches mit Abb. 37a ist auch nur der Verlauf für die ersten 20 Sekunden wiedergegeben, obgleich der Wettstreit wesentlich länger anhält. (Nach COMBERG.)

leicht möglich ist. Kommt eine prävalierende „*Gestalt*“auffassung für eines der monokularen Bilder dagegen nicht in Betracht, handelt es sich nur um konturschwache oder unbegrenzte Felder, so ist es auch für mich oft ganz unmöglich, mindestens sehr erschwert, den Willenseinfluß auf den Wettstreit zur Geltung zu bringen. Dann verläuft der Wettstreit bei mir meist in fast rhythmischem, etwas unregelmäßigem Wechsel, wie ich das schon bei der Beobachtung des Wettstreites im Nachbilde früher beschrieben habe (vgl. Abb. 37a und b). Untersuchungen über Wettstreit im Nachbilde sind später auch von GELLHORN angestellt worden.

Daß die Wettstreitbeeinflussung bei stark gestalthaltigen Bildern sehr leicht ist, sieht man z. B. bei der Mikroskopbenutzung. Die meisten Menschen vermögen trotz Offenhaltens des zweiten Auges monokular zu mikroskopieren. Offenbar genügt gewöhnlich die Aufmerksamkeitskonzentration auf das mikroskopische Gesichtsfeld, um den Wettstreit ganz zu unterdrücken. Es könnte eingewendet werden, daß der Kontrast des dunkel umrandeten mikroskopischen Gesichtsfeldes das Bild des anderen Auges ausschalte. Das ist bei mir jedenfalls nicht der Fall; ich vermag sofort mit dem zweiten Auge in der Richtung des Bildes vorgehaltene Gegenstände zu erblicken und das mikroskopische Bild zu ignorieren, wenn ich nur meine Aufmerksamkeit auf jene richte.

## 5. Der Glanz.

Eine gewisse Verwandtschaft mit dem Wettstreit besitzt der Glanz. Er entspringt einer eigenartigen psychischen Konstellation, bei der auch zwei

verschiedene Seheindrücke zugleich einwirken. Dabei braucht es sich allerdings nicht um zwei wettstreitfähige, figural annähernd gleich gegliederte monokulare Anteile des rechten und linken Auges zu handeln. Sehr häufig sehen wir die Erscheinung des Glanzes rein monokular.

Von WUNDT, welcher sich um die Erklärung dieses Phänomens bemüht hat, wurde durch Experimente belegt, daß wir den Eindruck des Glänzens besonders dann haben, wenn wir durch ein Sehobjekt hindurch ein anderes erblicken oder wenn auf einem Sehobjekt ein anderes gespiegelt wird. Es ist nach WUNDT wichtig, daß das hindurchgesehene oder gespiegelte Bild undeutliche Konturen hat, so daß wir es nicht mehr auf das Objekt selbst beziehen können. Man erkennt, daß auch nach dieser WUNDTschen Definition doch zwei gesonderte

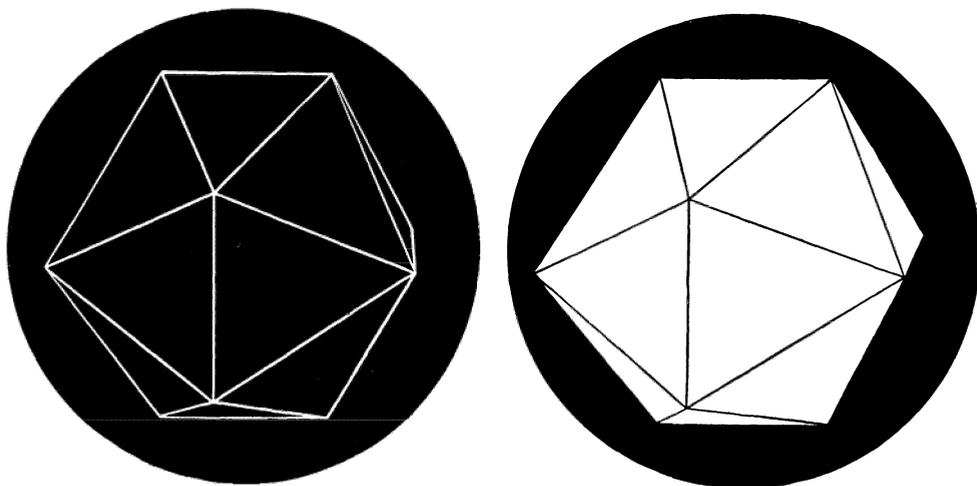


Abb. 38. Stereoskopischer Glanz. (Stereotafel aus TH. HARTWIG: Das Stereoskop und seine Anwendung. Sammlung: Aus Natur und Geisteswelt. Wien: J. B. Teubner 1907.)

Sehdinge vorhanden sind, die, wie ich annehme, wegen der verschiedenen Schärfe und Helligkeit zu einem gewissen Widerstreit führen und die Aufmerksamkeit unbewußt gesondert auf sich ziehen.

Es ist einleuchtend, daß diese den Wettstreitbedingungen ähnliche psychische Konstellation auch beim monokularen Sehen gegeben sein kann: Metallganz, Spiegelganz sind jedem Menschen wohlbekannte monokular ganz deutliche Erscheinungen. (Allerdings wird in der Umgangssprache der Ausdruck „Glanz“ auch mitunter nur für die Erscheinung eines starken Leuchtens gebraucht, wo er nach unserer Definition eigentlich nicht am Platze ist.)

Am schönsten ist der psychische Akt, der den Glanz verursacht, beim binokularen Sehen zu beobachten. Es ist dann die Einmischung des physiologischen *binokularen* Wettstreites, welche das Phänomen so besonders deutlich macht. Betrachtet man im Stereoskop die schon von HELMHOLTZ angegebenen konturierten Bilder (Abb. 38), bei welchen ein Teilbild weiß, das andere schwarze Flächen hat, oder bei welchen die Teilbilder verschieden gefärbt sind, so sieht man auffallend deutlich diesen stereoskopischen Glanz. Bei schwarzweißen Teilbildern ist er dem Graphitganz zu vergleichen; das ist verständlich, weil an dem schwarzen Graphit auch reflektierende, gleich dem Papier feingekörnte Spiegelflächen vorhanden sind, die bei freitägiger Betrachtung eines Graphitstückes oft für ein Auge dunkel erscheinen, während sie am anderen Auge im gespiegelten Licht aufleuchten.

## 6. Blendung.

Es handelt sich bei allen Blendungserscheinungen um eine unangenehme Reizung des Sehorgans durch Licht. Der unangenehme Effekt kann zweierlei Ursachen haben.

a) Die Reizung kann, namentlich bei Einwirkung von intensivem Licht, wegen ihrer unmittelbaren physiologischen Folgen störend oder direkt schmerzhaft werden.

b) Bei gewissen Reizkonstellationen kann auch ein rein psychisch bedingtes Unbehagen entstehen, das zu unangenehmen Sensationen führt und ein Blendungsgefühl hervorruft.

Eine lästige oder schmerzhaft reflexbedingte physiologische Auswirkung tritt jedesmal ein, wenn die Pupille plötzlich durch eine Lichtreaktion stark verengt wird. Dabei fühlt man

einen durch Trigemiusreizung entstehenden Schmerz, der auch bei einem völlig normalen Auge nicht fehlt.

Die Netzhautbelichtung an sich, bzw. die im Sehnerven fortschreitende Erregung allein dürfte bei noch so starker Lichteinwirkung an einem normalen Auge nicht schmerzhaft sein. Auch die anderen Sinne außer dem Schmerzsinn selbst bedingen bekanntlich an sich niemals schmerzhaft Sensationen. (Verhalten des Auges bei totaler Farbenblindheit s. S. 244 u. 246.)

Nur zum Teil geklärt ist die oft sehr stark gesteigerte Lichtempfindlichkeit bei Erkrankungen, z. B. bei der skrofölen Augenentzündung. Wahr-

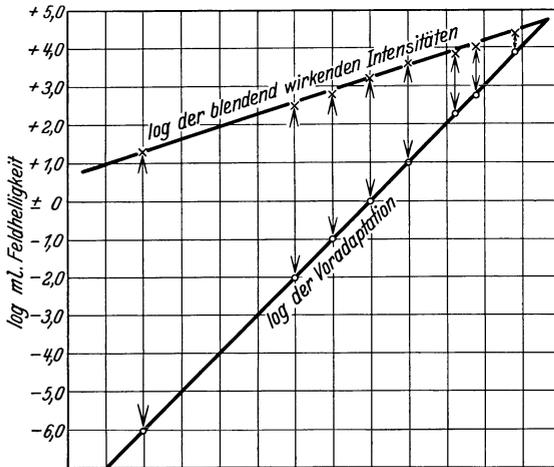


Abb. 39. Blendungsversuche in graphischer Darstellung, nach Zahlen von BLANCHARD. Das Auge wurde an eine abgestufte Reihe von Feldhelligkeiten voradaptiert und alsdann jedesmal festgestellt, welche Erhöhung der Feldhelligkeit unmittelbar darnach notwendig war, um Blendungsgefühl hervorzurufen.

scheinlich beruht sie größtenteils darauf, daß an dem entzündeten Auge jede noch so geringe Iris-Bewegung einen Schmerz auslöst. Der Einfluß der sonst gegen Lichtscheu und Blendungsschmerz wirksamen pupillenerweiternden Mittel ist bei manchen Krankheiten auffallend gering. Wahrscheinlich ist das hyperämische Gewebe diesen Mitteln an sich weniger zugänglich, und außerdem entsteht wohl manchmal ein starker tonischer Einfluß auf den Sphincter pupillae.

Eine Messung der Blendungswirkung des Lichtes kann nur unter bestimmten ausgewählten Versuchsbedingungen durchgeführt werden. Sehr interessante Untersuchungen dieser Art hat BLANCHARD vorgenommen. Am NUTTINGschen Sensitometer (vgl. S. 287) wurde über der Prüffläche ein kleiner Spiegel befestigt, welcher das Bild einer intensiv leuchtenden variabel einstellbaren Fläche wiedergab (Mattglasscheibe des Beleuchtungsgehäuses); das Auge wurde an eine bestimmte Feldhelligkeit voradaptiert und dann sofort diejenige Helligkeit eines  $4^{\circ}$  exzentrisch vom Fixierpunkt liegenden spiegelnden Feldes gemessen, die notwendig war, um das Gefühl der Blendung hervorzurufen. Die Resultate bei diesen Versuchen gehen aus der Abb. 39 hervor.

BLANCHARD hat aus seinen Versuchen ein Gesetz abgeleitet, wonach  $G = c \cdot B^a$  ist, wenn  $G$  = Blendungshelligkeit,  $c$  = Feldhelligkeit,  $c$  und  $a$  Konstanten bedeuten;  $c$  war bei seinen Versuchen = 1700,  $a = 0,32$  zu setzen.

Weitere Ursachen eines durch physiologische Prozesse ausgelöstem Blendungsgefühls könnten irgendwelche anderen Schwierigkeiten beim Sehaft sein. WUNDT glaubt z. B., daß die blendende Wirkung des Glanzes durch die vergeblichen Akkommodationsanstrengungen bedingt werde, welche das Auge machen müsse, um sich auf die Zerstreuungsbilder, bzw. die unscharfen Netzhautbilder der Glanzlichter einzustellen.

Ich möchte mir eher vorstellen, daß oft die bloße Unmöglichkeit, während der Einwirkung eines blendenden Lichtes mit dem Auge richtige und zweckentsprechende Wahrnehmungen zu machen, für die Entstehung der unangenehmen Empfindungen genügt, die das Blendungsgefühl begleiten. Übrigens dürften auch die BLANCHARDSchen Zahlen sofort anders ausfallen, wenn man dem Untersuchten bestimmte Aufgaben stellen, z. B. ihn auffordern würde, während der Einwirkung des blendenden Lichtes zu lesen oder andere Arbeiten zu verrichten.

### Literatur.

#### *Kontrast, Binokularer Wettstreit, Glanz, Blendung.*

AUBERT, H.: (a) Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865. (b) Grundzüge der physiologischen Optik. Handbuch der gesamten Augenheilkunde von GRAEFE-SAEMISCH, I. Aufl., Bd. 2, Kap. 1. 1876.

BLACHOWSKI: Studien über Binnenkontrast. Z. Sinnesphysiol. 47, 291 (1913). — BLANCHARD, J.: Die Helligkeitsempfindlichkeit der Netzhaut. Dtsch. opt. Wschr. 7, 936, 958, 975 (1921). — BRÜCKE, E.: Untersuchungen über die subjektiven Farben. Poggendorffs Ann. Phys. Chem. 84, 418 (1851). — BRÜCKNER, A.: (a) Über die Sichtbarkeit des blinden Flecks. Pflügers Arch. 36, 610 (1910). (b) Zur Frage der Lokalisation des Kontrastes und verwandter Erscheinungen in der Sehsinns substanz. Z. Augenheilk. 38, 1 (1917).

COMBERG, W.: (a) Über irregulären Linsen-Astigmatismus. Arch. Augenheilk. 88, 1 (1921). (b) Demonstration zur Frage der binokularen Farbmischung. Klin. Mbl. Augenheilk. 74, 520 (1925).

DITTMERS: Über die Abhängigkeit der Unterschiedschwelle für Helligkeiten von der antagonistischen Induktion. Z. Sinnesphysiol. 51, 214 (1920).

EXNER, S.: Über eine neue Urteilstäuschung im Gebiete des Gesichtssinnes. Pflügers Arch. 37, 520 (1885).

FECHNER, G. TH.: (a) Tatsachen, welche bei einer Theorie der Farben durch den Kontrast zu berücksichtigen sind. Poggendorffs Ann. Phys. Chem. 50, 433 (1840). (b) Über subjektive Nachbilder und Nebenbilder. Poggendorffs Ann. Phys. Chem. 50, 193, 427 (1840). (c) Über den seitlichen Fenster- und Kerzenversuch. Sächs. Ges. Wiss. 5, 571 (1861); Leipzig. Ber. 1862, 27. — FILEHNE, W.: Über die Entstehungsart des Lichtstaubes, der Starrblindheit und der Nachbilder. Graefes Arch. 31 II, 1 (1885). — FISCHER, M. H.: Messende Untersuchungen über das PURKINJESche Phänomen im Nachbilde. Pflügers Arch. 198, 311 (1923). — FRÖHLICH, F. W.: Über die Entstehung des Farbkontrastes. Vortr. niederrhein. Ges. Naturforsch., 15. Juni 1914; Z. Sinnesphysiol. 48, 354 (1914).

GELLHORN, E.: Über den Wettstreit im Nachbild. Pflügers Arch. 218, 54 (1927). — GULLSTRAND: Vgl. HELMHOLTZ, Physiologische Optik, 3. Aufl., Zusätze. 1911.

HELMHOLTZ: Physiologische Optik, 2. Aufl., S. 932 f. 1896. — HERING: (a) Zur Lehre vom Lichtsinn, 6. Mitt. Sitzgsber. ksl. Akad. Wiss. Wien 1878. (b) Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn. Handbuch der gesamten Augenheilkunde von GRAEFE-SAEMISCH, 2. Aufl., Kap. XII. — HERMANN, L.: Die Erscheinung simultanen Kontrastes. Pflügers Arch. 3, 13 (1870). — HESS, C. v.: Methoden zur Untersuchung des Licht- und Farbensinnes sowie des Pupillenspieles. ABDERHALDENs Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. V, Teil 6, H. 2. — HESS u. PRETORI: Messende Untersuchungen über die Gesetzmäßigkeit des simultanen Helligkeitskontrastes. Graefes Arch. 40 IV, 21 (1894).

JAENSCH: Parallelggesetz über das Verhalten der Reizschwelle bei Kontrast und Transformation. Z. Psychol. 83, 342 (1920).

KIRSCHMANN: Über die quantitativen Verhältnisse des simultanen Helligkeits- und Farbenkontrastes. Philos. Stud. 6, 417 (1890). — KÖLLNER, H.: Über die Lokalisation

des Simultankontrastes und der gleichsinnigen Induktion innerhalb der Sehbahn. Arch. Augenheilk. **80**, 63 (1916). — KRIES, J. v.: Die Gesichtsempfindungen. Handbuch der Physiologie von NAGEL, Bd. 3, S. 239 u. 240. Braunschweig 1905. — KÜHL: Eine Erweiterung des RICCOSchen Satzes. Z. Biol. **60**, 481 (1913). — KUHN: Über farbige Lichtinduktion. Graefes Arch. **27 III**, 1 (1881).

MACH, E.: Die Analyse der Empfindungen, 6. Aufl. Jena 1906. — MÜLLER, G. E.: Über JAENSCH'S Zurückführung des Simultankontrastes auf zentrale Transformation. Z. Psychol. **93**, 1 (1923). — MÜLLER, JOHANNES: Lehrbuch der Physiologie des Menschen, Bd. 2, S. 276. Koblenz 1837.

PIPER, H.: Über die Abhängigkeit des Reizwertes leuchtender Objekte von ihrer Flächen- und Winkelgröße. Z. Sinnesphysiol. **32**, 98 (1903). — PLATEAU, J.: (a) Sur le phénomène des couleurs accidentelles. Ann. Chim. et Physic. **53**, 386; **58**, 337 (1834). (b) Über das Phänomen der zufälligen Farben. Poggendorffs Ann. **32**, 543 (1834).

RICCÒ, A.: (a) Relazione fra il minimo angolo visuale e l'intensità luminosa. Ann. Ottalm. **6 III**, 373 (1877). (b) Über die Beziehung zwischen dem kleinsten Sehwinkel und der Lichtintensität. Zbl. prakt. Augenheilk. **20**, 122 (1877).

SCHJELDERUP, H. K.: Über eine vom Simultankontrast verschiedene Wechselwirkung der Sehfeldstellen. Z. Sinnesphysiol. **51**, 176 (1920). — SEFFERS, K.: Experimentelle Beiträge zur Untersuchung der Abhängigkeit der Unterschiedsschwelle für Helligkeiten von der antagonistischen Induktion. Z. Sinnesphysiol. **53**, 255 (1922). — SHERRINGTON, C. S.: On reciprocal action in the retina as studied by means of some rotating discs. J. of Physiol. **21**, 33 (1897). — SMITH: Edinburgh J. Sci. **5**, 52; vgl. BREWSTER: Über den Versuch von SMITH. Poggendorffs Ann. Phys. Chem. **27**, 494 (1832).

TSCHERMAK: (a) Kontrast und Irradiation. Erg. Physiol. **2**, 695 (1903). (b) Licht- und Farbensinn. Handbuch der Physiologie von BETHE-BERGMANN, Bd. 12, II, S. 479.

WUNDT: Physiologische Psychologie, 6. Aufl, Bd. 2, S. 670 (1910).

## IV. Die Pathologie des Lichtsinnes.

### A. Allgemeines über die Störungen des Lichtsinnes.

Nach einer neuen Theorie von HECHT sind zwar die Stäbchen und Zapfen dem „Alles oder Nichts-Gesetz“ untertan, jedoch haben die einzelnen Elemente eine so stark differente Empfindlichkeit, daß beim Ausgang von völliger Helladaptation für alle meßbaren Stufen der zunehmenden Dunkeladaptation neue Netzhautelemente in Aktion treten (s. S. 371 in diesem Bande). Obgleich gegen diese Theorie manche Bedenken geäußert werden können, so liefert sie uns doch ein sehr einfaches und brauchbares Schema für die Darstellung der pathologischen Verhältnisse des Lichtsinnes und soll hier dazu benutzt werden.

Auf Abb. 40 sieht man eine rein schematische Einteilung für den gesamten Empfindlichkeitsbereich. Nach Versuchen von BLANCHARD (vgl. auch Abb. 5 zu S. 195) schwankt die Empfindlichkeit zwischen maximaler Hellanpassung und maximaler Dunkeladaptation um das fast 10-Millionenfache. Es wird in unserem Schema dementsprechend die einfache Annahme gemacht, daß auch in der Netzhaut die gesamte Zahl der Stäbchen und Zapfen sich auf diesen Empfindlichkeitsbereich verteile. Bei logarithmischer Abstufung der als Ordinaten gedachten Empfindlichkeitswerte benötigt man für die BLANCHARDSche Kurve der gegebenen Empfindlichkeiten nach variabler Adaptation 7 Stufen. Man hat anzunehmen, daß zu jeder Stufe dieser Skala eine Anzahl entsprechend empfindlicher Empfängerelemente gehört. Die Elemente jeder einzelnen Stufe verteilen sich dabei auf Empfindlichkeitswerte vom relativen Wert 1 bis zum zehnfachen; mit 7 solcher Stufen erhält man dann eine Empfindlichkeitssteigerung von  $10^7 = 10$  Millionen. Setzt man die Werte von KOHLRAUSCH ein, so würden etwa die drei untersten Stufen (VII—V) mit ihren Schwellenwerten ausschließlich dem Stäbchensehen, also dem Dämmerungssehen, die oberen Stufen (IV—I) dem Tagesehen entsprechen. Beim Tagesehen unter-

liegen auch die Stäbchen einer dauernden Erregung. Entweder findet dadurch eine Mischung von Stäbchen- und Zapfensehen statt (v. KRIES, FRÖHLICH) oder es dominiert die Funktion des Zapfenapparates (G. E. MÜLLER). Falls die Duplizitätstheorie Gültigkeit hat, werden die Zapfen neben der Helligkeitsempfindung des Tagessehens gleichzeitig die buntfarbigen Erregungen vermitteln.

An Hand eines solchen Schema lassen sich verschiedene Annahmen für die vorkommenden Lichtsinnstörungen verhältnismäßig leicht erörtern, und zwar hier zunächst auch schematisch getrennt in Stäbchen- und Zapfenstörungen.

**Störungen der Stäbchenfunktion.** Es ist denkbar, daß für die empfindlichsten Elemente eine besondere Konzentration oder eine besondere Güte der chemischen Sehstoffe (z. B. des Sehpurpurs) vorhanden sein müßte. Leidet die Konzentration oder die Güte dieser Stoffe wegen lokaler in der Netzhaut selbst gelegener Mängel oder wegen Allgemeinerkrankung (z. B. Leberleiden, Ernährungsstörungen, Vergiftungen), so müssen zunächst die empfindlichsten Elemente merklich betroffen werden.

Beidem myopischen Augenbau z. B. findet man oft eine leichte Schwellenerhöhung, also eine geringere Leistung der empfindlichsten Elemente. Man könnte dann annehmen, daß wegen einer anatomisch bedingten Herabsetzung der Sehstoffkonzentration die Linie der maximalen Empfindlichkeit bis an die Grenze zwischen den Faserbündeln VI und VII verschoben wird. Dies kann entweder darauf beruhen, daß die empfindlichsten Elemente ganz ausfallen oder, was wahrscheinlicher ist, daß sie nur noch zu einer minderwertigen Leistung befähigt sind.

Man könnte sich ferner vorstellen, daß nur die Elemente der Abteilung VII des Schema bei einer solchen geringgradigen Adaptationsstörung weniger empfindlich werden. Wahrscheinlicher ist, daß auch die Elemente der Abteilungen VI, V, IV, III, allerdings vielleicht mit einer gewissen Abstufung und in geringerem Maße, von der Empfindlichkeitsverminderung mitbetroffen sind, falls die Sehstoffkonzentration sich ändert oder aus anderen Gründen die Leistung herabgesetzt wird. Im einzelnen ist dies natürlich durch unsere jetzigen Prüfungsverfahren noch gar nicht festzustellen.

Bei stärkeren Störungen würde die Grenze der Leistungsfähigkeit bis an die normale Leistung der Elemente V, IV usw. verschoben werden. Man kann

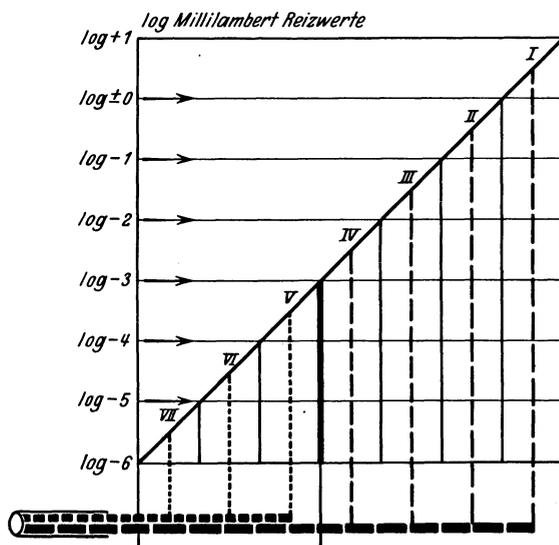


Abb. 40. Schema als Grundlage zur Erläuterung der verschiedenen pathologischen Veränderungen des Lichtsinnes. Auf der schrägen Linie sind die Schwellemnempfindlichkeiten in Millilambert in (Anlehnung an BLANCHARD'S Zahlen) für die verschiedenen, praktisch in Betracht kommenden Adaptationszustände zur Darstellung gebracht. Stufe I bis IV entspricht dem Tagessehen, Stufe V–VII dem Dämmerungssehen. Die Grenze zwischen Tages- und Dämmerungssehen ist nach den Angaben der Tabulae biologicae ermittelt und im Bilde durch eine stärkere Linie angedeutet. In den kurz resp. lang punktierten Linien ist die zu den einzelnen Gruppen von Empfänger-elementen gehörige Weiterleitung schematisch wiedergegeben. Dabei ist natürlich nicht notwendig, daß zu jedem Empfänger-element ein besonderes Leitungselement gehört (kurz punktierte Linien Gebiet des Dämmerungssehens, lang punktierte Linien Gebiet des Tagessehens).

sich vorstellen, daß bei den hochgradigen erblichen Fehlern unter Umständen der ganze Stäbchenapparat funktionell ausfällt, so daß nur noch ein reines Zapfensehen übrig bleibt (Fälle von DIETER).

Wenn es sich bei einer Gruppe von leichten Fällen nur um eine Verzögerung der Sehstoff*lieferung* handelt und eigentliche anatomische Fehler im Bau des Aufnahmeapparates nicht vorliegen, so könnte man sich erklären, daß dann bei zunehmender Dunkeladaptation, also bei zunehmender Konzentration der Sehstoffe, die Linie der maximalen Empfindlichkeit erst mit einer merkbaren Verzögerung nach der normalen Grenze bei VII hin verschoben, aber schließlich doch (allerdings nach viel längerer Adaptationszeit) eine der Norm entsprechende Empfindlichkeit erreicht wird; es würde sich dann nur um eine „verzögerte Adaptation“ handeln, die auch tatsächlich zur Beobachtung kommt. Wird dagegen ein besonderer, für die Stäbchenfunktion wichtiger Sehstoff überhaupt nicht oder nur in geringerer Konzentration geliefert, oder sind Mängel im Bau der Stäbchen vorhanden, die eine Herabsetzung der Funktion bedingen, so muß die Empfindlichkeit auch bei noch so lange dauernder Adaptation stets geringer bleiben.

**Störungen der Zapfenfunktion.** Neben den auffallenden Farbensinnstörungen werden z. B. in der ausschließlich zapfenhaltigen Macula auch nachweisbare Lichtsinnstörungen auftreten, wenn die Netzhautfunktion herabgesetzt ist. Es ist bekannt, daß bei Zentralskotomen eine so starke Verdunkelung des Gesichtsfeldes selbst bei guter Tagesbeleuchtung vorhanden sein kann, daß jene nur durch eine Herabsetzung der mit der Zapfenerregung verbundenen Hellempfindung erklärbar wird. In dem der Macula entsprechenden Gebiet wird allerdings von den augenärztlichen Untersuchern meistens auf die Lichtsinnstörung wenig geachtet, weil die Farbensinnstörungen schon vorher eintreten und sehr auffällige und empfindliche Indikatoren für die Feststellung von Erkrankungen abgeben. Der Patient bemerkt außerdem wohl in der Nähe des Fixierpunktes eine geringgradige Adaptationsstörung deshalb weniger, weil die Macula schon ein physiologisches Skotom beim Dämmerungssehen besitzt (s. S. 202).

Auffallend ist die starke Lichtscheu der seltenen Fälle von totaler Farbenblindheit. Nach der angeborenen Duplizitätstheorie handelt es sich um Menschen mit völlig oder fast völlig fehlender Zapfenfunktion. Leichter erklärbar würde die eigenartige Lichtscheu der total Farbenblinden, wenn man annimmt, daß die Stäbchen Teile eines besonders lichtempfindlichen Apparates sind, der bei starker Reizung ähnliche Störungen bedingt, und weiterhin annimmt, daß sie am normalen Auge bei der Helladaptation (Zapfenfunktion) automatisch ausgeschaltet werden (sog. rhodogenetische Hemmung nach P. v. LIEBERMANN und G. E. MÜLLER). Sonst müßte man daran denken, daß eine rudimentäre oder falsch zur Auswirkung kommende Zapfenfunktion in Frage käme, die auf einer ungewöhnlichen Bahn Lichtscheu hervorruft.

Die Verhältnisse des Sehorganes haben es bewirkt, daß man unter Lichtsinnstörungen praktisch hauptsächlich nur Adaptationsstörungen versteht, die durch Mängel der Stäbchenfunktion zustande kommen. Die Lichtsinnesfunktion leidet aber streng genommen (wenigstens zeitweise) bei den meisten Erkrankungen der Licht perzipierenden und der die Erregung leitenden Teile des Sehorgans. Nur solche Affektionen, bei denen die Lichtsinnstörung im Vordergrund steht und dem Kranken besonders merkbar wird, können im engen Rahmen unserer Darstellung näher berücksichtigt werden; andere können nur kurz Erwähnung finden.

## B. Echte essentielle Störungen des Lichtsinnes.

**Die kongenitale Hemeralopie.** Es handelt sich um eine erbliche Erkrankung, bei welcher sowohl das Auftreten in der dominanten wie in der recessiven Form beobachtet worden ist. Eine ausführliche Zusammenstellung von FRANCESCHETTI über diese erblichen Erkrankungen findet man im ersten Bande dieses Handbuchs S. 765 f. Auch DIETER hat sich eingehend mit diesen Erkrankungen

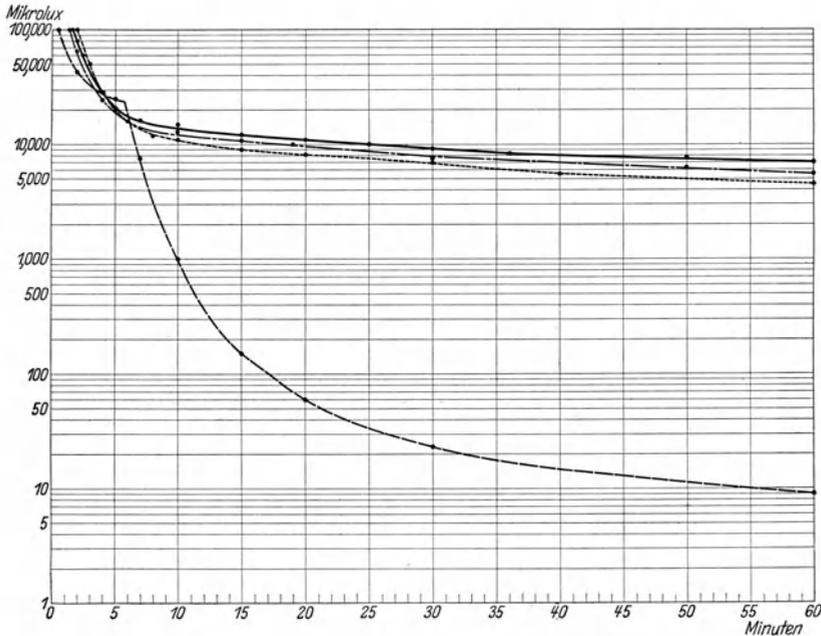


Abb. 41. Dunkeladaptationsverlauf nach gleicher Helladaptation (5 Min. nach TRENDLENBURG),  $10^6$  Feld, a) bei angeborener Hemeralopie I. —, II. ·····, III. - - - - b) beim Normalen IV. - · - · - ·. Logarithmen der Schwellenwerte in Mikrolux auf der Ordinatenachse, Zeiten in Minuten auf der Abszissenachse. (Nach DIETER.)

beschäftigt. Unter den Stammbäumen befindet sich der berühmte NOUGARET-sche, welcher sich über 10 Generationen mit 2116 Personen, darunter 135 Nachtblind, erstreckt (dominante Form der Vererbung). Eine zweite recessive geschlechtsgebundene Form findet sich bei Myopen.

**OGUCHISCHE Krankheit.** Zu einer dritten, einfach recessiv vererbten Form gehört ein ganz eigenartiges Leiden, das zuerst in Japan näher beschrieben worden ist und ein ganz besonderes theoretisches Interesse für die Erforschung des Lichtsinnes zu haben scheint. Es handelt sich um die sog. OGUCHISCHE Erkrankung, deren erster Fall im Jahre 1908 veröffentlicht wurde (s. Bd. 5, S. 504 dieses Handbuchs). Bei den Patienten findet sich eine Nachtblindheit, kombiniert mit einer eigenartigen weißlichen Verfärbung des Augenhintergrundes in den seitlichen Teilen. Die weißlich erscheinende Schicht muß in den Augenhäuten zwischen das Gebiet der Netzhautgefäße und die Aderhaut lokalisiert werden. Diese Lokalisation ist deshalb erwiesen, weil die Netzhautgefäße stets besonders gut sichtbar sind resp. sich auf dem weißlichen Grunde bis in die feinsten Verzweigungen abheben, während das Pigmentepithel und die Aderhaut von der weißlichen Schicht immer verdeckt werden. Die Stelle des schärfsten Sehens und ihre Nachbarschaft ist von dieser weißlichen Verfärbung frei. Die weißliche Farbe des Hintergrundes verschwindet völlig und macht

einer normalen Farbe Platz, wenn das Auge einer mehrere Stunden dauernden Dunkeladaptation unterworfen wird.

Nach der ersten Annahme von TAKAGI und KAWAKAMI handelt es sich um eine erbliche Adaptationsstörung, bei welcher nur „zufällig“ eine weitere, jedenfalls wohl auch als erblich anzusehende Störung, nämlich die Weißfärbung vorhanden sein sollte, die nach mehrstündigem Dunkelaufenthalt verschwindet (MIZUOSCHES Phänomen).

Die Adaptationsstörung entspreche der HECHTSCHEN Theorie (s. diesen Band S. 369), welche die Adaptation durch einen reversiblen Vorgang im Sinne der Formel

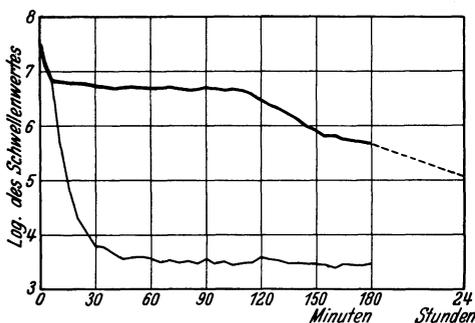


Abb. 42. Verzögerung der Dunkeladaptation bei OGUCHISCHER Krankheit. Dick ausgezogen die Kurve des Kranken, schwach ausgezogen die Vergleichskurve des Normalen. (Aus TAKAGI und KAWAKAMI: Klin. Mbl. Augenhelk. 85.)

Autoren sind jedoch beide Reaktionen nicht unabhängig voneinander, vielmehr ist die MIZUOSCHES Substanz in den Stäbchenaußengliedern nichts anderes als eine Form des Zersetzungsproduktes  $P + A$  des Sehpurpurs, das in diesem Falle wenig widerstandsfähig gegen das Licht ist und sich deshalb weiter in die weißliche Substanz  $G$  verwandelt hat. Bei der gewöhnlichen stationären Nachtblindheit ist es so widerstandsfähig, daß es sich durch das Licht nicht beeinflussen läßt.

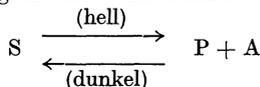
Interessant sind die von den Autoren wiedergegebenen Dunkeladaptationskurven, welche nach starker Helladaptation, abgesehen von einem ersten, durch Empfindlichkeitssteigerung der Zapfen erklärten Teil, zunächst für eine längere Zeit, bis zu 120 Minuten, fast horizontal verlaufen und (Abb. 42) erst dann allmählich weiter abfallen. Man müßte meines Erachtens daran denken, daß die Zeit des fast horizontalen Kurvenverlaufs benötigt wird, um aus der MIZUOSCHES Substanz die Produkte  $P + A$  zurückzubilden, welche die Vorstufe des Sehpurpurs sind.

**Angeborene Nyktalopie.** Starke Reizbarkeit bei hellem Licht und normales Dämmerungssehen findet sich typisch bei der angeborenen Totalfarbenblindheit. Diese Nyktalopie wäre im Sinne der Duplizitätstheorie als die Folge einer Sehweise zu erklären, die dem reinen Dämmerungssehen entspricht (vgl. auch S. 199). Die Adaptationskurve fällt nach DIETER in den ersten beiden Minuten so weit wie beim Normalen in 9—10 Minuten, um dann weniger steil abzufallen und nach 30 Minuten flach auszulaufen.

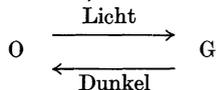
### C. Symptomatische Hemeralopie bei Erkrankungen des Sehorganes<sup>1</sup>.

Lichtsinnstörungen sind auch Symptome vieler anderer recht verschiedenartiger Augenerkrankungen. Man hat dabei zunächst die physikalischen Verhältnisse zu berücksichtigen, welche unter pathologischen Bedingungen die Lichtzustrahlung zu den Rezeptoren so ungünstig beeinflussen können, daß dabei von einer Lichtsinnstörung zu sprechen ist. Ferner rufen die lokalen

<sup>1</sup> Siehe auch Bd. V, S. 501 dieses Handbuches.



erklärt, wobei  $S$  die lichtempfindliche Substanz und  $P, A$  zwei aufeinander wirkende chemische Körper sind, die unter der Einwirkung des Lichtes aus  $S$  entstehen. Der Bildungsvorgang der weißen Farbe und der Entfärbungsvorgang seien einem zweiten reversiblen Prozesse, von der Formel



zuzuschreiben. Während also Sehpurpur gebildet wird, entfärbt sich nach TAKAGI und KAWAKAMI die weiße Substanz und wird dabei zersetzt.

Nach der neueren und, wie mir scheint, verständlicheren Auffassung der beiden

Erkrankungen der nervösen Elemente meist Lichtsinnstörungen hervor. Dabei spielen naturgemäß Netzhaut- und Aderhautleiden und von ihnen abhängige Ernährungsstörungen der Receptoren eine besondere Rolle. Neben den Erkrankungen der Stäbchen und Zapfen, deren physiologische Ernährung von der Capillarschicht der Aderhaut aus erfolgt, können anscheinend auch pathologische Veränderungen an den inneren Netzhautschichten Lichtsinnstörungen veranlassen. Hemeralopie findet sich schließlich bei Erkrankungen des Sehnerven, des Tractus opticus, der Sehstrahlung und der Sehrinde.

Einen Überblick erhält man aus folgendem Schema:

1. Physikalisch-optische Beeinträchtigung der Lichtsinnesfunktion.

a) Pupillenstörungen, b) Trübung der vorderen lichtbrechenden Teile, c) Glaskörpertrübungen, d) Blutungen in den inneren Netzhautschichten.

2. Hemmung der Receptorenfunktion.

a) Chorioiditis, b) Retinitis externa, c) Ablatio retinae, d) Myopie, e) Glaukom.

3. Periphere Leitungshemmung.

a) Erkrankung der inneren Netzhautschichten, b) Neuritis nervi optici im engeren Sinne, c) Störungen bei retrobulbärer Neuritis und Erkrankungen des Tractus opticus, d) Hemmung bei Erkrankung höherer Abschnitte.

### 1. Physikalisch-optische Beeinträchtigung der Lichtsinnesfunktion.

**Pupillenstörungen.** Die möglichen Pupillenweiten bewegen sich zwischen rund 1 und 8 mm Durchmesser. Die Pupillenfläche schwankt also maximal rund zwischen dem relativen Größenwert 1 bei starker Miosis und 60 bei stärkster Erweiterung. Bei normaler Funktion differieren die Weiten nur zwischen 2 und 7 mm, die relativen Flächenwerte zwischen 1 und 12. Zieht man den praktisch möglichen und oft in Betracht kommenden Übergang von hellem Tageslicht zu Lampenlicht in Betracht, um einen Überblick über die Verhältnisse bei diesem wichtigen Beispiel zu gewinnen, so hat man etwa eine 1000fache Änderung der Beleuchtungsstärke zu berücksichtigen. Nach einer Kurve von REEVES (vgl. Abb. 42) wird dabei die Weite der normal spielenden Pupille von 2 auf etwa 5 mm heraufgesetzt, also die Flächengröße der Pupille und damit die Güte der Netzhautbeleuchtung um reichlich das 7fache erhöht, so daß nicht mehr der 1000fache, sondern nur noch etwas mehr als der 100fache Lichtunterschied durch Adaptation der Sinnessubstanz ausgeglichen werden muß. Dieser Unterschied kann unter Zuhilfenahme der Momentadaptation gerade noch in verhältnismäßig kurzer Zeit überwunden werden. Wir merken bei einem

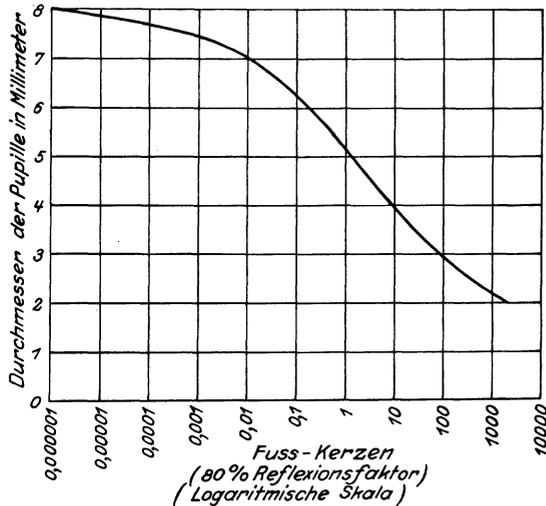


Abb. 43. Änderung der Pupillenweite unter dem Einfluß verschieden starker Beleuchtung. Die dargestellten Durchmesser der Pupille wurden beobachtet nach 15 Minuten dauernder Lichteinwirkung. Die dargebotene Fläche hatte eine Leuchtdichte von 0–2000 Millilambert (1000 Millilambert = 0,35 Kerzen pro Quadratcentimeter). (Kurven von REEVES aus LÜCKIESCH: Licht und Arbeit, deutsch im Verlag Julius Springer, Berlin.)

solchen Übergang zwar eine Behinderung, doch dauert sie meist nur einige Augenblicke.

Man erkennt an diesem Beispiel wohl schon, eine wie wichtige Rolle auch eine gute Pupillenaktion für schnelle Adaptation besitzen muß. Während die retinale Adaptation bis zu einer *weitgehenden* Umstellung mindestens mehrere Minuten gebraucht, gehen alle nicht exzessiven Pupillenänderungen meist innerhalb einer Sekunde vor sich.

Es ist zu berücksichtigen, daß sich Pupillenstörungen mit Störungen in der nervösen Lichtsinns substanz in ungünstiger Weise kombinieren können, so daß der Effekt der einen durch die andere gesteigert wird, wie z. B. bei der Tabes. Die gut funktionierende Pupille ist ein Regulator und Dämpfungsinstrument ersten Ranges. Sie paralyisiert durch ihre rasche Aktion nicht nur die unangenehme Wirkung einer schnellen Verdunkelung, sondern auch den ersten Stoß einer verstärkten Lichtaktion, welcher das unvorbereitete Sinnesorgan sonst viel stärker stören würde.

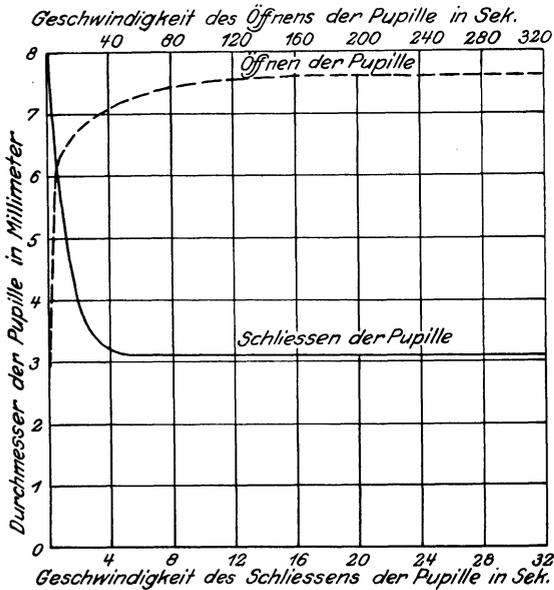


Abb. 44. Öffnung und Schließen der Pupille bei Änderung der Belichtung. Die Kurven zeigen die Geschwindigkeit bei der Pupillenöffnung, nachdem ein Reiz von 100 Millilambert (= 0,035 Kerzen Leuchtdichte der hellen Fläche pro cm) durch Dunkelheit ersetzt wurde, und die Geschwindigkeit des Schließens, nachdem die Dunkelheit durch einen Reiz von 100 Millilambert ersetzt wurde. (Kurven von REEVES aus LUCKIESH: Licht und Arbeit.)

Die Verhältnisse beim Öffnen und beim Schließen der Pupille sind sehr gut auf einer weiteren Kurve von REEVES wiedergegeben, die hier auch zum Abdruck gelangt (Abb. 44). Die Abhängigkeit der Pupillenweite von der Adaptation hat in Deutschland ENGELKING untersucht. (Über die Momentadaptation vergleiche man die Arbeiten von EBEBCKE.)

Pupillenstörungen können sich klinisch in zweierlei Richtung bemerkbar machen:

1. Bei weiter und lichtstarrer Pupille durch das erleichterte Auftreten von Blendung.
2. Bei ausgesprochener Miosis entsprechend der vorhergehenden Berechnung durch eine pupillar bedingte Heraufsetzung der absoluten Lichtsinnschwelle.

Blendungsstörungen bei lichtstarrten weiten Pupillen sind bekannt. Ich selbst habe zufällig nach einer zu Versuchszwecken vorgenommenen Homotropin-erweiterung an einem hellen Sonnentage eine Erythrospie an mir beobachtet, welche sehr störend war. Für Wanderungen auf dem Schnee, für den Aufenthalt im hellen Licht des Hochgebirges dürfte eine pathologisch weite Pupille sehr hinderlich sein. Auch von Staroperierten werden manchmal beträchtliche Störungen angegeben, die zum Teil auf anomale Pupillenweite zurückzuführen sind.

Wesentlich häufiger ist die Beeinflussung des Lichtsinnes durch die pathologische Pupillenverengung, z. B. durch die spinale Miosis bei der Tabes, die zudem oft mit einer nervösen Beeinträchtigung der Lichtsinnesfunktion vergesellschaftet ist. Daß in diesem Falle durch die Miosis eine ganz wesentliche Verstärkung der hemeralopischen Beschwerden auftreten kann, bedarf nach dem

Gesagten keiner näheren Erörterung, ist von GRAFE ausdrücklich festgestellt worden, der 8fache Schwellenwerterhöhung infolge Miosis konstatierte.

Eine beträchtliche Wirkung auf die Adaptation haben natürlich auch die pupillenerweiternden und -verengernden Mittel, deren Bedeutung mehrfach, unter anderen durch LOHMANN und durch MÖLLER untersucht worden ist. Die Empfindlichkeit des Pilocarpinauges bleibt naturgemäß während des Verlaufes der Adaptation dauernd geringer, hingegen befindet sich das Pilocarpinauge gegenüber dem Auge mit normaler Pupille meist zu Beginn in einem Zustande höherer Empfindlichkeit, so daß während des ersten Teiles der Adaptationskurve die Schwellen niedriger sein können. Beim Atropinauge sind die Verhältnisse zunächst umgekehrt.

**Absorptionssteigerung in den lichtbrechenden Teilen.** Praktisch in Betracht kommt hier nur die *Cataracta brunescens*, da in Hornhaut und vorderer Kammer nur bei anderweit bedingter starker Schwachsichtigkeit (z. B. bei Durchblutungen in Verbindung mit starker Lichtzerstreuung) eine nennenswerte Verdunkelung entsteht. Bei der *Cataracta brunescens*, dem mit bräunlicher, unter Umständen tief dunkelbräunlicher Verfärbung der Linse verbundenen Sklerosierungsvorgang, kommt es dagegen oft zu einer ganz erheblichen Lichtabsorption, während die Sehschärfe noch verhältnismäßig gut sein kann (HEINÉ).

**Glaskörpertrübungen.** Die Verdunkelung des Gesichtsfeldes durch Glaskörpertrübungen kann namentlich bei Vorhandensein von Blutfarbstoff) erheblich werden. Ihr Vorhandensein läßt sich manchmal schon aus den Angaben des Patienten entnehmen; häufig kann man sie nach dem Bilde an der Spaltlampe oder bei der Durchleuchtung diagnostizieren.

**Blutungen in den inneren Netzhautschichten.** Diese bedingen natürlich auch eine Störung der Lichtsinnfunktion. Da aber das scharfe Sehen in dem Gebiete der Blutung ebenfalls gehemmt wird, so erblickt der Kranke höchstens eine rote Scheibe. STARGARDT nimmt (zit. nach LOHMANN) allerdings auch eine toxische Schädigung der entfernter liegenden Rezeptoren durch die Blutung an.

## 2. Störung der Rezeptorenfunktion.

Um eine echte Nachtblindheit, eine Hemeralopie im engeren Sinne, handelt es sich bei denjenigen Erkrankungen, welche den Rezeptorenapparat direkt schädigen. Wie WILBRAND und SAENGER im Vorwort zum 4. Bande ihres Handbuches schon erwähnten, haben die anatomischen Untersuchungen ergeben, daß die verschiedenen sog. Retinitiden eigentlich nicht die Bezeichnung einer „Retinitis“ verdienen, sondern meist auf pathologische Veränderungen der Retinalgefäße zurückgeführt werden müssen.

Das dominierende Moment der Gewebsernährung könnte vielleicht an keiner Stelle des Körpers klarer und anschaulicher erfaßbar sein als an der Netzhaut bei Beobachtung der dem Augenspiegel zugänglichen Verhältnisse. Für die Photorezeptoren im engeren Sinne, die Stäbchen und Zapfen, spielen jedoch bekanntlich die Gefäße der Aderhaut die Hauptrolle, bei welchen geringgradige Veränderungen nicht in der gleichen Weise mit dem Augenspiegel feststellbar sind, außer wenn das (allerdings in dieser Hinsicht sehr sensible) Pigmentepithel davon beeinflußt wird. Es zeigt sich daher klinisch, daß das Auftreten von Lichtsinnstörungen oft der einzige Indicator für eine Beeinträchtigung der photoreceptiven Elemente ist.

**Chorioiditis.** Der erste Autor, welcher eine wissenschaftliche Untersuchung über den „Lichtsinn bei Krankheiten der Chorioidea und Retina“ anstellte, war der Erfinder der klinischen Adaptationsmessung FÖRSTER. Bei der Benutzung seines im Prinzip etwas umstrittenen, jedoch für die Beurteilung der

praktisch in Betracht kommenden Leistungen des Sehorgans recht brauchbaren „Photoptometers“ stellte er sofort fest, daß das Lichtempfindungsvermögen ( $L =$  der reziproke Wert der zum Erkennen von großen schwarzen Strichen auf weißem Papier notwendigen Beleuchtung) eine besonders starke Schädigung erleidet, wenn die Ernährung der Stäbchen-Zapfenschicht durch *Aderhaut-*erkrankungen beeinträchtigt wird. Er fand bei Chorioiditis syphilitica eine Herabsetzung von  $L$  auf  $\frac{1}{64} - \frac{1}{750}$ , bei der gleichen Erkrankung im späten Stadium eine Herabsetzung auf  $\frac{1}{300} - \frac{1}{750}$ , bei frischer Chorioiditis disseminata auf  $\frac{1}{56} - \frac{1}{285}$ , und außerdem noch bei Retinitis pigmentosa auf  $\frac{1}{25} - \frac{1}{750}$ , bei Netzhautablösung auf  $\frac{1}{56} - \frac{1}{75}$ .

Diesen Erkrankungen mit starker Herabsetzung der Lichtempfindlichkeit stellte FÖRSTER eine Reihe von reinen *Netzhauterkrankungen* gegenüber, bei welchen er auffallenderweise eine viel geringere Störung fand. Er zog daraus schon den Schluß, daß gerade diejenigen Erkrankungen, welche die Ernährung der Stäbchen-Zapfenschicht stören, die stärkste schädigende Einwirkung auf den Lichtsinn haben.

Ähnliche Feststellungen sind später von vielen Autoren mit anderen Apparaten gemacht worden. Es hat sich allerdings ergeben, daß auch Netzhaut- und Sehnervenerkrankungen den Lichtsinn schwer schädigen können; immer finden wir aber eine besonders starke Hemeralopie mit den von FÖRSTER genannten Erkrankungen der Aderhaut verknüpft. Auch WILBRAND und SAENGER konstatierten gerade bei der Chorioiditis die Hemeralopie als konstantes Symptom, das z. B. bei einseitiger Erkrankung auch zu *subjektiv* sehr merkbarer Abschwächung der Lichteindrücke führen kann.

LOHMANN nahm an, daß bei den Aderhautentzündungen die ganze Netzhautfläche eine Adaptationsstörung aufweise. Durch die Untersuchungen von STARGARDT wurde indes festgestellt, daß hierbei die Adaptationsstörung sich auf die erkrankte Stelle beschränkt. Nur bei frischen Erkrankungen mit stärkerer Exsudation reicht das Gebiet der Adaptationsstörung wesentlich weiter. Aus diesem Grunde bleibt bei der Chorioiditis disseminata vielen Erkrankten die Hemeralopie ebenso verborgen wie die Durchlöcherung des Gesichtsfeldes.

Nach Annahme mancher Autoren wirken die Chorioiditiden zunächst ungünstig auf das Pigmentepithel und von da aus erst weiter auf die Netzhaut. Nach der SCHANZschen Sehtheorie würde jede Schädigung des Pigmentepithels ohne weiteres zu einer Lichtsinnstörung führen müssen, da nach SCHANZ die photoelektrischen Entladungen des Pigmentepithels den physiologischen Reiz für die Erregung der Sehzellen abgeben.

Auch klinische Verhältnisse könnten für die Bedeutung des Pigmentepithels sprechen. Eigenartige hierher gehörige Fälle von Adaptationsstörungen hatte im Kriege AUGSTEIN beschrieben. Es handelt sich um Befunde mit auffallendem Pigmentmangel, welche ohne weiteres daran denken ließen, daß hier eine Erkrankung des Pigmentepithels und der benachbarten Schichten vorliege. AUGSTEIN möchte daraus den Schluß ziehen, daß überhaupt bei Hemeralopie meistens Veränderungen im Pigmentepithel in typischer Form vorhanden seien und einen „Fundus hemeralopicus“ darstellen.

Ein Teil der AUGSTEINschen Fälle wird von ihm selbst mit der vorher erwähnten OGUCHischen Erkrankung in Verbindung gebracht, doch ist gerade bei dieser Erkrankung von den Japanern angenommen worden, daß die weiße Schicht *vor* dem Pigmentepithel liegt.

**Retinitis externa**<sup>1</sup>. Unter denjenigen Krankheiten, welche nachgewiesenermaßen eine besonders starke Schädigung der äußeren Netzhautschichten hervor-

<sup>1</sup> Siehe auch Bd. V, S. 483 dieses Handbuchs.

rufen, muß die Pigmentatrophie (Retinitis pigmentosa) erwähnt werden. Zwar handelt es sich histologisch um eine chronische Bindesubstanzwucherung in sämtlichen Schichten der Netzhaut (LEBER) und ophthalmoskopisch manchmal um ähnliche Bilder, wie bei der Chorioiditis e lue congenita, doch ist die Retinitis pigmentosa ein wohl charakterisiertes familiäres Leiden. Meist ist ihr erstes klinisches Symptom eine ausgesprochene Nachtblindheit, und erst später zeigen sich mit zunehmender Netzhautdegeneration allmählich die unangenehmen Wirkungen der Gesichtsfeld-einengung (Abb. 45).

Man kann sich gerade an dem Verhalten bei der Retinitis pigmentosa gut die Folgen einer zunehmenden diffusen retinalen Schädigung der Lichtsinnsubstanz klar machen. Zunächst ändert sich offenbar die gute Funktion der empfindlichsten Elemente. Infolgedessen wird die absolute Schwelle immer weiter heraufgesetzt. Es werden aber auch wohl weniger empfindliche Elemente mit geschädigt. Infolgedessen nimmt auch die Unterschiedsschwelle bei stärkerer Lichtintensität ab. Bei weiterer Zunahme der anatomischen Schädigung gehen immer mehr Elemente zugrunde, bis schließlich die geschädigte Netzhautstelle völlig erblindet. Handelt es sich um lokale Erkrankungen, so entsteht dort zunächst ein relatives Skotom entsprechend der verminderten Adaptationsfähigkeit, später ein absolutes Skotom. Handelt es sich um eine Schädigung der ganzen Netzhaut, so entsteht anfangs eine Adaptationsstörung im ganzen Gesichtsfeld und später nimmt — vom Rande aus beginnend — das praktisch brauchbare Gesichtsfeld immer mehr ab, ist zuerst für die gewöhnlich bei der Perimetrie verwendeten kleineren Marken, später auch für die größeren beträchtlich eingeengt, endlich auch für stärkste Lichtreize auf ein kleines zentrales Gebiet beschränkt.

Der ganze hier beschriebene Prozeß, welcher in einer hochgradigen Gesichtsfeldeinengung und schließlich in völliger Erblindung endet, zeigt sich bei dem Verlauf der Retinitis pigmentosa in besonders eindrucklicher Weise. Bekanntlich bleibt die zentrale Sehschärfe und das normale Sehen für hohe Intensitäten in einem kleinen zentralen Gesichtsfeldteil noch lange erhalten, während der Lichtsinn in den peripheren Gebieten schon ganz erloschen ist. Die Herabsetzung der Lichtempfindlichkeit ist auch nahe dem Zentrum selbst bei guter Sehschärfe oft ganz enorm und erreicht bei dieser Krankheit und bei den chronischen Aderhautentzündungen besonders hohe Werte.

Eine ähnliche Lichtsinnstörung wie bei der Retinitis pigmentosa findet sich auch häufig bei dem VOGT-SPIELMEYERSchen Typus der familiären Netzhaut-

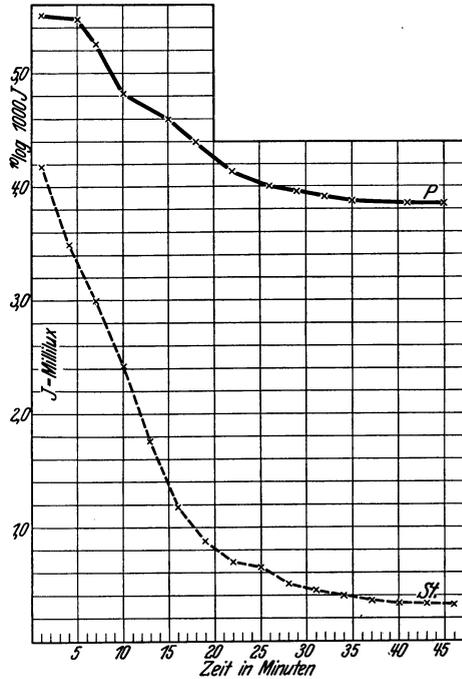


Abb. 45. Retinitis pigmentosa (linkes Auge).  $\frac{1}{2}$  Stunde Dunkelaufenthalt. 10 Minuten Vorbereitungszeit beider Augen bei 3000 Lux.  $10^\circ$  großes Feld.  $10^\circ$  unterhalb der Macula Verschwindungsschwelle. Pupillenweite in Mydriasis: 8,5 mm. P Adaptationskurve des Patienten, St Standardkurve der Normalen. (Unter gleichen Verhältnissen wie die Baseler Standardkurve aufgenommen von H. K. MÜLLER.)

degeneration<sup>1</sup> (ein Autor hielt zuerst die VOGT-SPIELMEYERSche Krankheit überhaupt für eine Retinitis pigmentosa). Nach meiner Erfahrung sind diese Fälle rein klinisch nicht einheitlich; es gibt dabei Erkrankungen mit und ohne Pigmentierung; die Funktionsminderung kann auch wohl bei ausschließlichem Befallensein der äußeren Netzhautschichten zu einer fast völligen Erblindung führen, bevor im Spiegelbild auffallende Veränderungen sichtbar werden.

Das Gemeinsame aller vorher erwähnten Erkrankungen, sowohl der Aderhaut- als auch der Netzhauterkrankungen, ist das starke Hervortreten der Schädigung an den externen Netzhautschichten.

**Ablatio retinae.** Eigenartige Lichtsinnstörungen durch Beeinträchtigung des Stoffwechsels in den äußeren Netzhautschichten findet man auch bei der Netzhautablösung. Es ist sogar von einzelnen Autoren angenommen worden, daß es sich um ein *völliges* Fehlen der Adaptation handele. Die ersten wichtigen Untersuchungen auf diesem Gebiete verdanken wir ebenfalls FÖRSTER. Er hatte eine Herabsetzung der Empfindlichkeit auf  $\frac{1}{25}$ — $\frac{1}{750}$  festgestellt und dabei gefunden, daß ein Unterschied zwischen den ganz flach abgelösten und den stärker abgelösten Netzhautstellen bestand, wobei die Hemeralopie für die stärker abgelösten Stellen ausgesprochener war. STARGARDT, welcher mehr auf die Erforschung des Dunkelgesichtsfeldes Gewicht legte, vielleicht ohne die Abstufungsmöglichkeit der alten FÖRSTERSchen Versuchsanordnung zu erreichen, glaubte dagegen, daß an der Stelle der Ablösung die Dunkeladaptation völlig fehle, gleichgültig, ob die Ablösung flach oder ausgesprochen sei.

STARGARDT benutzte eine kleine elektrische Birne in einem lichtdichten Kästchen, dessen vorderer Teil durch Milchgläser und Rubingläser abgedichtet und bis auf einen Kreis von 2—3 mm Durchmesser abgeblendet war, so daß das normal adaptierende Auge das Licht nach 10 Minuten gerade erkennen konnte. Er meint, der Patient müßte nach einer halben Stunde Adaptation das Licht erkennen, auch wenn er eine nur ganz geringe Adaptation besäße.

Die Anschauung von STARGARDT, daß die Adaptation bei der Ablatio völlig fehle, ist jedenfalls nicht richtig. Schon die alten FÖRSTERSchen Feststellungen sprechen dagegen. LOHMANN konnte bei seinen Versuchen nach 40 Minuten eine 3fache Empfindlichkeitssteigerung, nach zweitägigem Verbinden sogar eine 100fache Empfindlichkeitssteigerung und nach noch längerem Verbinden eine noch weitere Steigerung feststellen. Bei eigenen Gesichtsfeldprüfungen habe ich auch mehrfach gefunden, daß eine geringe Adaptation an der Stelle der Ablösung sehr wohl nachzuweisen ist. Ob man diese allerdings im Sinne LOHMANNs nur mit einer Adaptation der Zapfen erklären kann, sei dahingestellt. Es zeigt sich bei der Netzhautablösung häufig die merkwürdige Erscheinung, daß die Patienten nach längerem Lichtabschluß des Auges im Bereich der Ablösung für kurze Zeit merklich besser adaptiert sind. Daraus ist auch wohl die Angabe der Kranken abzuleiten, daß sie nach dem Aufwachen besser sähen. Man muß sich hüten, dies als eine Besserung des objektiven Befundes zu betrachten.

Die Erscheinung ist wohl so zu erklären, daß auch durch den eigenen Stoffwechsel der Netzhaut oder von dem subretinalen Exsudat aus (namentlich wenn die Netzhaut nur flach abgehoben ist) eine gewisse Ernährung der äußeren Netzhautschichten und die Möglichkeit eines Ersatzes der Sehstoffe gegeben sein kann; jedoch scheint diese eben sehr viel schlechter zu sein und viel mehr Zeit in Anspruch zu nehmen, so daß die Einwirkung normaler Tagesbeleuchtung die Sehstoffe in kurzer Zeit völlig zerstört.

Legt die Netzhaut sich wieder an, so wird die Dunkeladaptation meist wieder normal (STARGARDT), woraus von manchen Seiten eine besondere

<sup>1</sup> Siehe auch Bd. V, S. 497 dieses Handbuchs.

Bedeutung des Pigmentepithels für die Regeneration des Sehpurpurs gefolgert worden ist.

Nach STARGARDT wäre die Funktion der Zapfen zunächst bei der Ablösung gar nicht gestört. Erst mit zunehmender Degeneration sollen diese leiden. Dadurch würde ein merkwürdiges Verhalten der Fovea erklärt werden. Man findet nämlich bei kleinen Ablösungen im fovealen Gebiet manchmal noch  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{1}{4}$  der normalen Sehschärfe; doch ist nach meinen Beobachtungen eine Vorbedingung für dieses eigenartige Verhalten, daß es sich um eine kleine und flache Ablösung handelt, bei welcher die Netzhaut verhältnismäßig nahe bei dem Pigmentepithel liegt. Nach neueren Theorien soll auch in den Zapfen in einer geringeren Konzentration Sehpurpur enthalten sein; es wäre denkbar, daß die für die Zapfenfunktion nötige Konzentration selbst unter diesen Bedingungen noch erreicht werden kann.

Insgesamt bestätigt das Verhalten der Adaptation bei der Netzhautablösung die Anschauung, daß für die Funktion des Lichtsinnes die von der Aderhaut ausgehende Ernährung der äußeren Netzhautschichten besonders wichtig ist.

**Myopie.** Den ärztlichen Kriegsteilnehmern sind noch in guter Erinnerung die häufigen Fälle von *Lichtsinnstörung* bei mittleren und stärkeren Graden von *Kurzsichtigkeit*. Es handelte sich bei mittleren Graden (4 bis 10 Dioptrien) meist um eine Schwellenwerterhöhung auf das Doppelte oder Dreifache; bei hochgradiger Kurzsichtigkeit konnte die Schwelle auf das 4- bis 8fache des Normalen erhöht sein. Es zeigt sich auch bei der Myopie deutlich, daß der Grad der Störung dem Grade der Aderhautveränderungen und dem Grade der Flächenvergrößerung (Dehnung?) vielfach parallel geht. Bei stärkerer Aufhellung des hinteren Poles oder gar bei erkennbarer flächenhafter Aderhautgefäßsklerose dürfte die Minderung der Lichtsinnfunktion stets recht bedeutend sein.

Die Lichtsinnstörung des kurzsichtigen Auges hatte für viele Kriegsteilnehmer (namentlich auch für viele Reserveoffiziere und andere während der Kriegszeit eingezogene Militärpersonen in verantwortlicher Stellung) die unangenehme Folge, daß sie trotz sonst vorzüglicher Leistungen im Nachtkampf stark behindert waren. WESSELY stellte durch Vorsetzen verdunkelnder Gläser im Selbstversuch fest, daß schon eine 3fache Erhöhung des Schwellenwertes für den militärischen Nachtdienst äußerst störend ist. (Kurvenverlauf bei Myopie vgl. Abb. 46.)

Adaptationsuntersuchungen, die von BRÜCKNER und FRANCESCETTI für einen von ihnen geschilderten besonderen Typus der wahrscheinlich angeborenen Myopie vorgenommen wurden, sind von G. MATTHEY variationsstatistisch ausgewertet worden. Es ergab sich, daß diese Kinder besonders beim Beginn

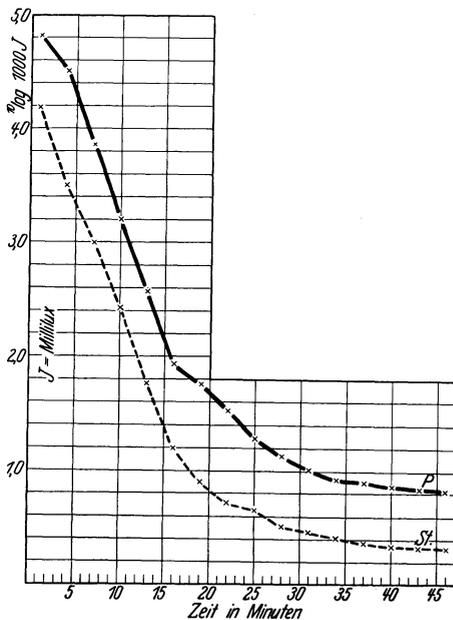


Abb. 46. Myopia magna familiaris (rechtes Auge).  $\frac{1}{2}$  Stunde Dunkelaufenthalt. 10 Minuten Vorbelichtung beider Augen bei 3000 Lux. Pupillenweite 8 mm (Mydriasis). P Adaptationskurve des Patienten, St Standardkurve der Normalen. (Unter gleichen Verhältnissen wie die Baseler Standardkurve aufgenommen von H. K. MÜLLER.)

eine herabgesetzte Adaptation besitzen, die vielleicht auf eine Beeinträchtigung des Tagesapparates zu beziehen ist.

**Glaukom.** Auch bei Glaukom kommt es zu einer Störung der Dunkeladaptation, die wohl im wesentlichen als Folge einer Beeinträchtigung der Ernährung aufzufassen ist. SAMOJLOFF hat angegeben, daß eine Vergrößerung des blinden Fleckes bei Glaukom zu finden ist, welche mit steigendem Druck zunimmt und bei nachlassendem Druck zurückgeht. WESSELY hat ein Rotskotom in der Nachbarschaft des blinden Fleckes ermittelt. FEIGENBAUM glaubt, daß bei wechselndem Druck die Skotome die Gestalt kaum veränderten. Er stellte dagegen fest, daß bei der Messung mit dem NAGELschen Adaptometer eine Störung der Dunkeladaptation nachzuweisen ist und die Dunkeladaptationskurve des

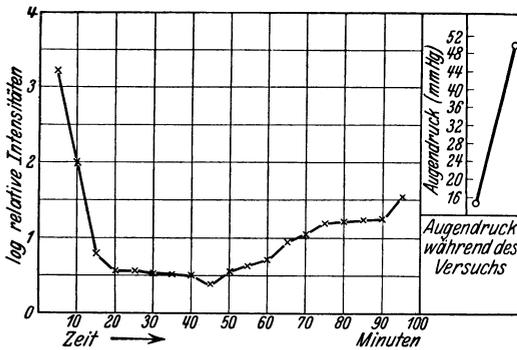


Abb. 47. Änderung der Adaptationskurve unter der Einwirkung steigenden Augendrucks. Mit steigendem Druck finden sich erheblich höhere Schwellenwerte. Rechts ist auf einer kleinen Tafel die Steigerung des Augendrucks während des Versuchs wiedergegeben. (Nach FEIGENBAUM.)

erhaltenen Gesichtsfeldteiles eine direkte Abhängigkeit von dem im Auge herrschenden Druck erkennen läßt (Abb. 47). Weil beim Dunkelaufenthalt oft der Augendruck zunimmt, kann die Adaptationskurve während des Versuchs durch ihren erneuten Anstieg einen scheinbar paradoxen Verlauf zeigen. Sie kann unter Umständen bis zu 30 Minuten absinken und dann wieder ansteigen. Es wäre an eine direkte Stoffwechselschädigung der nervösen Endorgane zu denken. Nach der Meinung FEIGENBAUMS könnten durch den Druck die Gefäße abgesperrt werden; es scheint mir im Sinne von FEIGENBAUM berechtigt, aus der Pünktlichkeit der Erscheinungen die Annahme abzuleiten, daß wahrscheinlich die Behinderung der Blutzirkulation und die dadurch entstehende Ernährungsstörung die Ursache dieser Adaptationsstörung ist. Die günstige Wirkung des Pilocarpins auf die Dunkeladaptationskurve des Glaukomauges könnte dann mit der Druckentlastung und der dadurch bedingten Funktionsbesserung der Capillaren erklärt werden.

Es sollte übrigens nach FEIGENBAUM die Adaptationsprüfung als ein wertvolles Hilfsmittel bei der Frühdiagnose des Glaukoms gelten.

### 3. Leitungsstörungen des Sehorgans.

**Erkrankung der inneren Netzhautschichten.** FÖRSTER hatte bei Apoplexia retinae nur Herabsetzung der Empfindlichkeit auf  $\frac{1}{6}$ , bei Retinitis albuminurica bis auf  $\frac{1}{2}$  des Normalen gefunden. Er stellte diese Erkrankungen der inneren Schichten und diejenigen des Sehnerven bezüglich der Wirkung auf den Lichtsinn geradezu in einen Gegensatz zu den vorher genannten Leiden, welche die Ernährung der äußeren Schichten ungünstig gestalten. Diese bedeutsame Feststellung hat bis auf den heutigen Tag ihren Wert behalten, wengleich mit den verbesserten Untersuchungsgeräten auch die Lichtsinnschädigung bei der Retinitis hypertonica bzw. nephritica und anderen Netzhautgefäßerkrankungen deutlicher erkennbar geworden ist.

Man darf zwar dabei nicht vergessen, daß es eine isolierte Erkrankung der inneren Netzhautschichten nur in sehr seltenen Fällen gibt, und daß verschiedentlich gegebene Hinweise auf eine gleichzeitige Erkrankung der Aderhaut

(mindestens eine toxische Beeinflussung) nicht ohne Berechtigung sind. Auch der Erkrankung der inneren Schichten allein kann man jedoch eine praktische Bedeutung für das Verhalten des Lichtsinnes nicht absprechen, weil sich an anderen Stellen, z. B. am Opticus mit Sicherheit zeigt, daß isolierte Erkrankungen leitender Abschnitte der Sehbahnen (zu denen die inneren Netzhautschichten gleichfalls gehören) zu einer merklichen Adaptationsstörung führen können.

**Sehnervenerkrankungen.** Die Frage der Hemeralopie bei Sehnervenerkrankungen war zunächst strittig. Während WILBRAND und BEHR eine physiologische Beeinflussung der Dunkeladaptation durch einen in der Gegend des Corpus geniculatum lat. auf zentrifugale Fasern übertragenen Reflex annehmen und deshalb eine besondere Einwirkung auf die Adaptation bis zur Höhe des Corpus geniculatum in Betracht zogen, glaubt IGRSHEIMER, daß dem Verhalten der Dunkeladaptation eine differential-diagnostische Bedeutung im Sinne dieser Theorie nicht zukomme. Obwohl die BEHRsche Ansicht durch Untersuchungen seiner Schülerin E. SCHINDLER eine Bestätigung zu finden schien, haben IGRSHEIMER und später auch GASTEIGER sie nicht anerkannt.

*Sehnervenentzündung und Stauungspapille.* BEHR hatte bei frischen entzündlichen Erkrankungen des Sehnerven, im Gegensatz zur rein mechanischen Schädigung bei der Stauungspapille, immer eine Herabsetzung der Adaptation gefunden. Er sah in diesem Unterschiede ein wichtiges differential-diagnostisches Moment. Während das klinische Gesamtbild der Sehnervenentzündung ein ziemlich wechselndes sei, erfolge die Herabsetzung der Adaptation im ganzen Gesichtsfeld etwa gleichmäßig. Dies werde im Sinne von WILBRAND durch den schon erwähnten reflektorischen Einfluß auf Sekretionsvorgänge erklärt, dessen Leitung entlang den optischen Bahnen in zentripetalen und zentrifugalen Fasern erfolge. Die Herabsetzung der Dunkeladaptation sei ein Folgezustand der toxischen Komponente des Entzündungsprozesses. Auch bei schleichenden Entzündungen und chronischen degenerativen Prozessen im Sehnerven entstehe die gleiche Störung in der gleichen Häufigkeit. Es leide alsdann die Gesamtfunktion.

Die Stauungspapille ist nach BEHR ein zunächst von entzündlichen Vorgängen freies Ödem, welches meist keine toxischen Nebenwirkungen hat. BEHR fand, daß im ersten Stadium der Stauungspapille die Dunkeladaptation regelmäßig normal erhalten sei und daß sie sich auch in späteren Stadien als relativ gut erweisen könne. Dies gelte sogar für die bei Stauungspapille entstehende neuritische Atrophie.

Wenn auch die von WILBRAND und BEHR angenommene reflektorische Beeinflussung der Sehstoffbildung strittig geblieben ist, so wurde doch ein wesentliches Ergebnis der BEHRschen Untersuchungen bestätigt, daß nämlich die *entzündlichen* Erkrankungen des Sehnerven fast regelmäßig schnell zu einer beträchtlichen Störung der Dunkeladaptation führen, während die durch mechanische Einwirkung entstehende Stauungspapille (neben einer auch sonst häufig auffallend geringen Funktionsbeeinträchtigung) die Adaptation meist für längere Zeit völlig unbeeinflusst läßt. Man besitzt also in der Adaptationsprüfung ein praktisch wichtiges differential-diagnostisches Hilfsmittel, soll sich aber bei älteren Fällen von Stauungspapille doch nicht zu sehr darauf verlassen. Auch IGRSHEIMER muß bestätigen, daß die meisten dieser Patienten eine normale Adaptation besaßen, er hat aber angegeben, daß er schon bei frischer Stauungspapille Ausnahmen gefunden hat. Bei alten Fällen glaubte er den gelegentlichen Befund einer pathologischen Dunkeladaptation durch die histologische Feststellung erklären zu können, daß manchmal bei Stauungspapille schon

ziemlich frühzeitig eine Degeneration im Querschnitt des ganzen Opticus nachzuweisen sei.

*Atrophie des Sehnerven.* Auch bei der Atrophie will BEHR meist eine ziemlich gleichmäßige Störung der Dunkeladaptation im gesamten Gesichtsfelde beobachtet haben, soweit es sich um entzündliche Erkrankungen handelt; dieses möchte er ebenfalls durch Schädigungen der reflektorischen Sehstoffbildung auf dem Wege zentrifugaler Nervenbahnen im Opticus erklären. Bleiben diese Bahnen bei einfacher descendierender Atrophie intakt, so könnte die Adaptation auch im fortgeschrittenen Stadium noch gut erhalten sein.

Da bei Entzündungen des Sehnerven die Adaptation nach BEHR nur solange gestört ist, als frische Entzündung vorliegt, mit dem Abklingen wieder normal wird, so kann man also nach BEHR durch eine Beobachtung der Dunkeladaptation mitunter feststellen, ob die Entzündung abgeklungen ist oder nicht. Während bei der *Atrophia simplex* und bei der Atrophie auf Grund einer Gewaltwirkung, durch Druck von erkrankten Gefäßen oder Tumoren die Dunkeladaptation häufig auffallend gut erhalten bleibt, ist sie speziell bei der progressiven metasyphilitischen Atrophie nach BEHR *regelmäßig* schwer gestört. Gerade bei der Lues sei die Prüfung der Dunkeladaptation ein ausgezeichnetes Hilfsmittel, um in unsicheren Fällen zu entscheiden, ob ein pathologischer Sehnervenbefund vorliege oder nicht.

Auch diese BEHRsche Annahme ist später angefochten worden. IGRSHEIMER und RUTGERS fanden bei Neuritis nervi optici pathologische wie auch normale Werte. Bei descendierender Atrophie nach Trauma stellte IGRSHEIMER ebenfalls normale und gestörte Dunkeladaptation fest. Auch GASTEIGER fand verschiedene Werte. (Es wird z. B. geltend gemacht, daß bei reinen descendierenden Atrophien häufig Erblindung erfolge und man nicht wohl annehmen könne, daß in den Endstadien die Dunkeladaptation noch normal sei.) Bei tabischer Erkrankung der Sehnerven haben IGRSHEIMER und RUTGERS in einzelnen Fällen normale Werte gefunden. Es wird Aufgabe kommender klinischer Untersuchungen sein, diese Fragen noch einmal nachzuprüfen.

Sind auch aus den BEHRschen Arbeiten wichtige klinische Ergebnisse abzuleiten, insofern sich gezeigt hat, daß hauptsächlich den entzündlichen, weniger den degenerativen und den rein mechanischen Einwirkungen im Gebiete des Sehnerven ein Einfluß auf den Ablauf der Dunkeladaptation zukommt, so muß doch dahingestellt bleiben, ob der Theorie der reflektorischen Adaptationsbeeinflussung Bedeutung beizumessen ist. Eigene Versuche, die ich mit Zubinden eines Auges unter völlig lichtsicherem Dunkelverband bei hellstem Sonnenschein anstellte, führten jedenfalls stets zu dem Ergebnis, daß *gerade nach einer sehr ausgiebigen* Helladaptation des zweiten Auges (die zur Vermeidung *positiver* Nachbilder notwendig ist) eine reflektorische Beeinflussung der Dunkeladaptation durch das zweite Auge nicht nachzuweisen war, vielmehr die monokulare Schwelle des Dunkelauges immer sofort in der gleichen Höhe lag wie bei lang dauerndem binokularem gänzlichen Lichtabschluß.

**Erkrankungen der intracerebralen Sehbahn.** BEHR möchte ferner bei intracerebralen Schädigungen eine normale Dunkeladaptation feststellen, während diese bei Erkrankungen des Tractus opticus herabgesetzt war. Auch hier sprechen die klinischen Beobachtungen keineswegs eindeutig für die WILBRAND-BEHRsche Theorie. IGRSHEIMER konnte 13 Fälle von Hinterhauptverletzungen zur Prüfung dieser Frage heranziehen, von welchen 9 sowohl ein- wie doppelseitige Hemiambyopien mit normaler Dunkeladaptation, 4 dagegen eine ausgesprochene Herabsetzung der Dunkeladaptation zeigten. IGRSHEIMER kommt zu dem Resultat, daß nicht nur bei alleiniger Erkrankung des Opticus, sondern auch bei Erkrankung der weiter nach hinten gelegenen Sehbahn eine Adaptationsstörung ohne jeden Zweifel zustande kommen kann, daß also *jede* Störung in der nervösen Leitung sie hervorzurufen vermag. Die Herabsetzung der Dunkeladaptation könne mit erheblichen sonstigen Funktionsstörungen von seiten der

Sehbahn vergesellschaftet sein, sie fehle allerdings mitunter auch bei starker Herabsetzung der Sehschärfe und hochgradigen Gesichtsfeldstörungen. Daß sie bei Abwesenheit sonstiger Opticussymptome und bei normalen Pupillen als isoliertes pathologisches Phänomen vorkomme, sei noch nicht sichergestellt.

### D. Lichtsinnstörungen bei Allgemeinerkrankungen und Intoxikationen.

**Einteilung.** *Vergiftungen durch Stoffe, welche dem Körper von außen zugeführt werden*<sup>1</sup>. In diesem Abschnitt wären alle Gifte aufzuzählen, welche eine toxische schädliche Beeinflussung von Elementen der Sehsinnessubstanz bewirken können; denn alle diese Störungen sind, funktionell gedacht, letzten Endes auch Störungen des Lichtsinnes. In Anlehnung an WILBRAND und SAENGER, sowie an LEWIN und GUILLEBY, kann man diese Schädlichkeiten einteilen in solche, welche

- a) unmittelbar die nervöse Substanz angreifen;
- b) in solche, welche auf dem Wege der Blutbeeinflussung (z. B. durch spektroskopisch sichtbare Veränderungen) die Ernährung stören;
- c) in solche, welche in anderer Weise die Funktion angreifen, z. B. durch Änderungen des cardio-vasculären Apparates, durch Verdauungsstörungen, durch direkte Veränderung der lebenden Substanz des Auges und durch direkte physikalische Beeinflussung des Auges.

Von WILBRAND und SAENGER werden angeführt als Genußmittel, welche zur Vergiftung der Sehsinnessubstanz führen können: Alkohol, Methylalkohol, Ingwer, Nicotin und Pilze; als gewerblich verwendete Gifte: Blei, Arsen, Kohlenoxyd; als Arzneimittel: Chinin, Antipyrin, Salicyl, Filix mas, Granatrinde, Morphinum, Kalabartinktur, Carbolsäure, Bromkalium und Schlangengift. Hierbei fehlt das Arsen. Es ist schließlich noch eine neue Gruppe von „Mitteln“ hinzugekommen, das sind die als Kampfmittel im Kriege gebrauchten Gase, bei denen auch Fälle von Erblindungen beschrieben worden sind.

*Vergiftungen durch Autointoxikationen*, die nach UHTHOFF in enterogene und histogene eingeteilt werden können. Enterogene kommen nicht in Betracht. Unter die Gruppe der histogenen Störungen gehören die Stoffwechselstörungen bei Diabetes, bei Urämie, Ikterus usw.

Schließlich kann man auch *alle anderen vom Körper ausgehenden Funktionsstörungen der Sehsinnessubstanz* bis herauf zu den dabei auftretenden Erblindungen als Einwirkung auf den Lichtsinn auffassen und dem hier gewählten Schema einordnen; dann handelt es sich *meist* um *Gefäßstörungen* als lokales Zeichen einer allgemeinen *Gefäßerkrankung* oder um mechanische Einwirkungen, z. B.

- a) Mechanische Wirkung (Kompression) und Ernährungsstörungen bei Hämorrhagien,
  - b) Zirkulationsunterbindung durch Embolie und arterielle Thrombose,
  - c) Zirkulationsunterbindung durch Rückstauung bei Venenthrombose,
  - d) Zirkulationsunterbindung durch Gefäßspasmen,
- jedoch auch um andere Einwirkungen, z. B.
- e) Wirkung der Hirndruckerhöhung (Stauungspapille und ihre Folgen),
  - f) Wirkung direkten Drucks von verkalkten Gefäßen oder wachsenden Tumoren.

Einige der oben unter a—c angeführten Stoffe sollen hier wegen ihrer großen Bedeutung für die Lichtsinnstörungen etwas näher behandelt werden:

<sup>1</sup> Siehe auch den Beitrag SATTLER in Bd. 7 dieses Handbuches.

### 1. Vergiftungen durch Stoffe, die von außen zugeführt werden.

**Äthylalkohol.** Während bei akuter Alkoholvergiftung meist nur vorübergehende Sehstörungen auftreten, kann bei chronischem Alkoholismus, außer den bekannten Schädigungen des papillo-macularen Bündels und dem Zentralskotom auch eine ausgesprochene Hemeralopie entstehen.

Über Hemeralopie bei chronischer Alkoholvergiftung haben LOHMANN und neuerdings LUNDSGAARD berichtet. LUNDSGAARD untersuchte 312 Insassen eines Arbeitshauses, unter welchen sich 133 (!) Hemeralopen befanden, deren Erkrankung auf Alkoholgenuß zurückgeführt wird. Der größte Teil der Erkrankten war über 40 Jahre alt. Die Hemeralopie zeigte sich hauptsächlich im Frühjahr und Sommer. Das Gesichtsfeld war meist stark für blau eingeengt; gelegentlich bestand Rot-Sehen; auch die Außengrenzen für Rot und Weiß waren nicht normal. Xerose der Bindehaut fehlte, weshalb der (nicht zwingende, vgl. S. 261) Schluß gezogen wird, daß es sich bei diesen Fällen nicht um eine Avitaminose gehandelt habe. Von 157 Kranken hatten 37 eine blasse Papille. Bei 17 Trinkern war der Zustand permanent geworden und dauerte schon länger als  $\frac{1}{2}$  Jahr, maximal 10 Jahre. Bei 22 der beobachteten Fälle handelte es sich nur um kurzdauernde Störungen bis zu 5 Tagen.

Während die dänischen Kranken jedenfalls ausschließlich *Schnapstrinker* waren, konnte LOHMANN in München im Jahre 1911 bei mehreren *Biertrinkern* während der heißen Jahreszeit Nachtblindheit feststellen. Er glaubt, daß auch die lange Sonnenscheindauer während des Sommers schädlich gewirkt habe.

**Methylalkohol.** Dieser führt bekanntlich zu sehr schweren Störungen der Sehfunktion, wirkt aber meist sofort oder bald in einer direkt mit dem Augenspiegel sichtbaren Weise schädlich auf den Sehnerven, erzeugt Neuritis und eine davon abhängige Amblyopie, in hochgradigen Fällen auch Amaurose, ohne daß die (sicher vorhandene) Lichtsinnstörung dabei (im Sinne einer Adaptationsstörung) stärker in den Vordergrund tritt.

**Medikamente.** Große praktische Bedeutung haben die unter Umständen schnell zur Erblindung führenden Schädigungen durch *Chinin* und durch die *Arsenverbindungen* erlangt, zu denen neuerdings auch das *Salvarsan* hinzugekommen ist; bei diesen tritt jedoch die Lichtsinnschädigung nicht als Adaptationsfehler stärker hervor. Die Wirkung von *Jodpräparaten* kann zu vorübergehender Erblindung führen; neuerdings sind bei Presojod und Septojod schwere Vergiftungen beobachtet worden, die zum Teil zu dauernder Schädigung unter dem Bilde einer Pigmententartung geführt haben. (Auch bei Botulismus habe ich selbst in einem Falle eine Sehnervenerkrankung gesehen.) Bei den von BAER beobachteten Fällen wurde einmal ein Zentralskotom nachgewiesen, dagegen keine Adaptationsstörung. Die Bleivergiftung und die Chininvergiftung zeigen trotz ihrer starken Einwirkung auf die Netzhautgefäße und auf den Sehnerven im allgemeinen keine besonders hervortretende Störung im Sinne der Hemeralopie. Würde man bei den toxisch bedingten Neuritiden eingehende Untersuchungen vornehmen, so würde man zweifelsohne neben der Amblyopie und der Gesichtsfeldeinschränkung stets die zu fordernde Lichtsinnstörung nachweisen können.

**Kampfgase.** Spezielle Untersuchungen über Lichtsinnstörungen bei Kampfgasverletzungen hat JESS angestellt. Obwohl in zwei Fällen die Tagessehschärfe nicht beeinträchtigt war, zeigte sich ein für Nachtblindheit typischer Befund. JESS vermutet, daß Gefäßveränderungen der Choriocapillaris und der Retina die pathologisch-anatomische Grundlage abgeben.

## 2. Vergiftungen durch körpereigene Produkte.

Unter den körpereigenen Produkten scheinen die *enterogenen* für die Sehnervsubstanz und für den Lichtsinn bedeutungslos zu sein. Ob sie Neuritiden hervorrufen oder ungünstig beeinflussen können, ist allerdings wohl noch nicht genau untersucht.

Von den *histiogenen* körpereigenen Produkten haben einige eine gewisse Bedeutung, wenn sie in verstärkter nicht mehr physiologischer Weise auf das Sehorgan einwirken können.

**Adrenalin.** Hier ist zunächst das Adrenalin zu nennen, das nach Versuchen von METZGER und ROTHAN imstande sein soll, ganz erhebliche Adaptationsstörungen zu bewirken. Nachdem FUJITA als erster nachgewiesen hatte, daß nach Adrenalininjektion eine Pigmentbewegung stattfindet, fand ROTHAN schon nach Einträufelung von 3 Tropfen Adrenalin 1:1000 in den Bindehautsack meist eine meßbare Herabsetzung der Dunkeladaptation beim Menschen (Endschwelle 4200 gegen 7500 beim Normalen). Wegen der bekannten Fehlerbreite bei den Schwellenbestimmungen wäre aber eine weitere Nachprüfung im unbewußten Verfahren erwünscht.

**Gallenfarbstoff.** Erheblichen Einfluß scheint bei pathologischem Stoffwechsel auch der Gallenfarbstoff zu besitzen. Jedenfalls wird bei Erkrankungen der Leber zugleich mit dem Übertritt von Galle ins Blut sehr häufig eine Adaptationsstörung beobachtet. HIRSCHBERG hatte geglaubt, daß die Änderungen der Lichtabsorption durch den mit dem Augenspiegel nachweisbaren Gallenfarbstoff die Hemeralopie beim Ikterus bedingen. Schon vorher war von FUMAGALLI die These aufgestellt, daß eine auf die Sehelemente wirkende Ernährungsstörung dabei die wirkliche Ursache sei. Von PARINAUD war angenommen worden, daß der Sehpurpur durch den Gallenfarbstoff aufgelöst wird. STARGARDT und neuerdings GLÜH hatten aber selbst nach Unterbindung des Gallenganges trotz hochgradigen Ikterus in der Netzhaut der Tiere noch Sehpurpur nachweisen können. Wie HESS in der Diskussion zu einem STARGARDTschen Vortrag bemerkte, ließ sich auch bei Hühnern nach Unterbindung des Gallenganges eine Störung der Dunkeladaptation nicht feststellen. Demgegenüber fand jedoch ALFERI nach Einspritzung von Galle Veränderungen an den Stäbchen und am Pigmentepithel des Kaninchens.

Zu dieser Frage sind mehrere klinische Befunde zu erwähnen. BAAS hatte im Jahre 1894 einen Fall beschrieben, bei welchem im Anschluß an ein Leberleiden (Cirrhose) eine Verminderung des retinalen Pigments festgestellt werden konnte. Der Patient war ikterisch gewesen und hatte an Hemeralopie gelitten. Die anatomisch untersuchten Veränderungen an der Aderhaut und am Pigmentepithel konnten von BAAS als Folgen einer gleichzeitig bestehenden Gefäß-erkrankung aufgefaßt werden. Es muß in diesem Falle dahingestellt bleiben, ob die Lichtsinnstörung durch die Herabsetzung der Leberfunktion oder durch eine Gefäßerkrankung des Auges entstanden war. KOYANAGI fand bei einem jungen Mädchen, das an Lebercirrhose erkrankt war, klinisch eine Hemeralopie und konnte dann am histologischen Präparate sehr bemerkenswerte Feststellungen machen: Das Pigment war in die Zellfortsätze hinein verschoben, wie man das sonst nur beim Hellfrosch sieht, außerdem fand sich eine Ansammlung von körnigen lipoiden Substanzen in den basalen Teilen des Pigmentepithels (vgl. die Abb. 48).

**Andere Autointoxikationen.** Auch bei anderen Krankheiten ist eine Hemeralopie beschrieben, die vielleicht als Folge einer Vergiftung mit pathologischen Stoffwechselprodukten angesehen werden kann. So wird von LOHMANN Malaria

und Malariakachexie als Ursache der Hemeralopie genannt. Nach Chinindarreichung soll in diesen Fällen die Hemeralopie zurückgegangen sein. (Man muß allerdings daran denken, daß auch bei dieser Erkrankung in einem gewissen Stadium die Leberfunktion beeinträchtigt sein kann.)

Im Winter 1930/31 habe ich bei einer 38jährigen Patientin im Anschluß an schwere Masernerkrankung ein plötzlich auftretendes Ringskotom gesehen, in dessen Nachbarschaft das Gesichtsfeld stark verdunkelt war. Das Skotom und die nachweisbare Störung des Lichtsinnes im ganzen zentralen Netzhautgebiet ist bestehen geblieben. Nach zwei Monaten konnte man auch eine



Abb. 48. Veränderungen des Pigmentepithels bei Lebercirrhose. Verschiebung des Pigments in die Zellfortsätze hinein. Körnige lipide Substanzen hauptsächlich in den basalen Teilen des Pigmentepithels. (Nach KOYANAGI; mit gütiger Erlaubnis des Autors.)

Verengung der Netzhautarterien und an zwei Gefäßen eine Einscheidung konstatieren. Es handelte sich ohne Zweifel um eine toxische Schädigung des Gefäßapparates.

### 3. Mangel-Hemeralopie.

Schließlich muß hier noch die früher als „essentielle Hemeralopie“ angesehene Erkrankung erwähnt werden, die Folge eines Vitaminmangels ist.

Zu dieser Erkrankung gehörte die epidemische Nachtblindheit in verschiedenen Kriegen des Mittelalters, in den Kreuzzügen, gehörten die Fälle, über die aus Malta von dem Militärarzt ROBERT (1798—1800) berichtet wurde (zit. nach JESS), gehören schließlich die ärztlich allgemein bekannten endemischen Erkrankungen mit Bindehautxerose und Hemeralopie, die, besonders in Rußland, und bis vor einigen Jahren auch in Deutschland und Österreich jedesmal im Frühjahr auftraten.

E. v. HIPPEL hat noch im Jahre 1913 über gehäuftes Vorkommen von Hemeralopie mit Xerose in der Gegend von Halle berichtet, bei welcher nur die ungünstigen Ernährungsverhältnisse zur Erklärung heranzuziehen waren; es handelte sich um mehrere 100 Fälle aus dem Wirkungsbereich von 13 Augenärzten.

In einer jüngst erschienenen Arbeit konnte BIRNBACHER aus dem Wiener Material von 1919—1924 zusammen 228 Fälle von sog. „essentieller“ Hemeralopie wissenschaftlich verarbeiten. Die meisten Kranken wurden in Wien während der Jahre 1919—1924 beobachtet: es waren typische Fälle einer Avitaminose. Besonders zusammengefaßt wurden dabei 10 Fälle von Hemeralopie bei Schwangeren, die unter insgesamt 3392 Schwangeren zur Beobachtung kamen.

Alle von BIRNBACHER beobachteten Fälle hatten keine Zeichen von Hintergrundkrankung; es fand sich weder eine Depigmentierung noch ein papilläres Ödem, noch sonst ein pathologischer Spiegelbefund. Dagegen sah man sehr häufig eine Xerosis conjunctivae epithelialis, meist in Form der fettig glänzenden weißlichen BITROTSchen Flecke. Bei Kindern beobachtete man auch stark nässende Bindehautkatarrhe. In allen Fällen konnte durch geeignete Therapie Heilung bewirkt werden. BIRNBACHER bezeichnet (im Sinne früherer Beobachter, z. B. KOYANAGI) die Hemeralopie als epidemisch auftretende Mangelkrankheit,

und zwar sei sie durch die gleiche Ernährungsstörung bedingt wie die Xerosis conjunctivae. Die Hemeralopie tritt aber eher auf als die Konjunktivalveränderungen, ist also der leichtere Grad der Erkrankung. Von dieser Erkrankung, die man als eine Dystrophia xerophthalmica (BLEGVAD) bezeichnen könnte, nimmt BIRNBACHER an, daß sie durch das Fehlen des Vitamins A zu erklären ist und auch bei den gehäuften Fällen der Nachkriegszeit durch die dürftige Ernährung verursacht wurde. Die Verteilung der Fälle auf die Nachkriegsjahre und auf die verschiedenen Monate des Jahres geht aus der beigefügten Abb. 49 hervor. Es zeigt sich, daß die meisten Erkrankungen in denjenigen Monaten beobachtet wurden, in welchen die Vitaminverarmung der Kuhmilch (und jedenfalls der Butter) sowie der Mangel an anderen vitaminreichen käuflichen

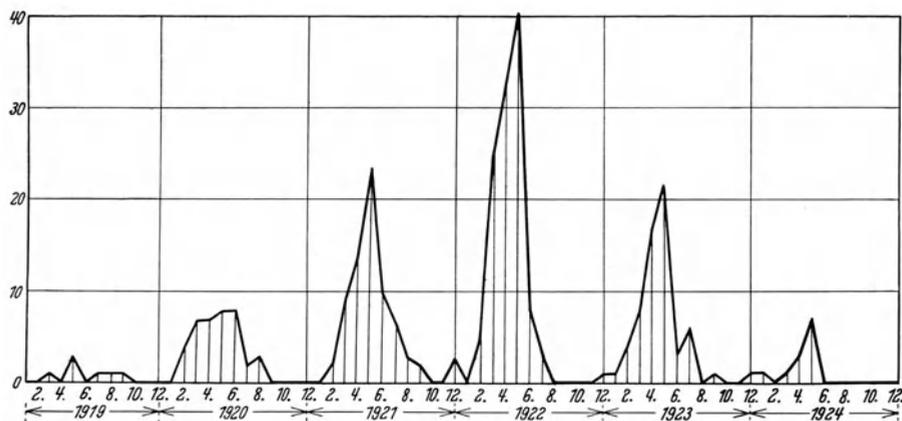


Abb. 49. Verteilung der Wiener endemischen Fälle von Mangelhemeralopie über die Nachkriegsjahre und über die einzelnen Monate dieser Jahre. Starkes Ansteigen während des Frühjahrs wegen Vitaminmangels der Kost. Am stärksten im Jahre 1922. (Nach BIRNBACHER.)

Nahrungsstoffen am größten ist. Bei den Schwangeren ließ sich manchmal eine deutliche Funktionsstörung der Leber nachweisen.

JESS konnte bei mehreren Fällen von Hemeralopie, die nur durch Ernährungs-mängel zu erklären waren, ein zartes peripapilläres Ödem beobachten, das mit dem Rückgang der Lichtsinnstörung verschwand. Er denkt daran, daß Kalkverlust und Lipoidmangel bzw. die dadurch bedingten Änderungen der Gefäß-permeabilität Ursache eines Ödems sein könnten, das die Nachtblindheit bedingt.

KOYANAGI hatte bei Leberleiden, wie schon oben erwähnt, im histologischen Präparat eine sonst nicht vorkommende Lipoids substanz am Pigmentepithel und Pigmentveränderungen gefunden. BIRNBACHER glaubt nun, daß auch beim Zustandekommen der Mangelhemeralopie die Leber eine besondere funktionelle Rolle spiele, indem sie die Stapelung des fettlöslichen Vitamins oder sogar seine Verwandlung in Sehsubstanzen oder deren Vorstufen bewirke.

Dafür, daß Lebersubstanzen eine Bedeutung besitzen, spricht in gewissem Sinne der ausgezeichnete Effekt der Lebertherapie. Schon bei den Alten (ebenso bei modernen nichteuropäischen Völkern, z. B. in China) ist es bekannt gewesen, daß Leber das beste Heilmittel bei der Hemeralopie darstellt. Auch die Wiener Fälle wurden durch Lebertherapie gut beeinflußt.

Das gehäufte Auftreten bei jüngeren Menschen und bei Schwangeren läßt sich meines Erachtens einheitlich in einfachster Weise dadurch erklären, daß diese wegen ihres großen Stoffumsatzes besondere Ernährungsaufgaben zur Erhaltung des Stoffwechsels leisten müssen und am leichtesten an Unterernährung und den Symptomen von Mangelkrankheiten leiden werden. Daß es

nicht einfach ein Mangel an Pigment im Pigmentepithel ist, der die Erkrankung hervorruft, geht ebenfalls aus den Beobachtungen von BIRNBACHER klar hervor, war auch schon durch STARGARDT und andere Autoren wahrscheinlich gemacht, welche die Dunkeladaptation bei Albinos normal gefunden hatten. Die vor 40 Jahren geäußerte Ansicht von KRIENES, daß alle Hemeralopen häufig einen Fundus hemeralopicus mit mangelhafter Pigmententwicklung hätten, und ähnliche Annahmen AUGSTEINS sind unzutreffend. Man kann höchstens bei einigen Augenerkrankungen mit symptomatischer Hemeralopie einen pigmentarmen Hintergrund konstatieren, weil hier auch die pigmenthaltigen Schichten leiden.

#### 4. Andere Einwirkungen von Erkrankungen des Körpers auf die Sehsinnesubstanz.

Unter den nichttoxischen Schädlichkeiten waren in dem Übersichtsschema S. 257 zunächst verschiedene Gefäßstörungen genannt. Diese führen natürlich mit der Beeinträchtigung der Ernährung auch zu Lichtsinnstörungen. Die übrigen Funktionen, Farbensinn, Sehschärfe, Gesichtsfeld, leiden meistens aber so stark, daß die Lichtsinnstörung (im Sinne einer Adaptationsstörung) dabei kaum noch auffällt.

Das gleiche gilt von der meist zunächst rein mechanischen Einwirkung bei der Stauungspapille und der ausschließlich durch den Druck bedingten Kompressionschädigung bei zunehmendem Wachstum von Tumoren und bei Verletzungen.

#### E. Adaptationsstörungen auf subjektiver (psychogener) Grundlage.

Die Frage, ob es eine Adaptationsstörung durch Überbeanspruchung des Organismus gibt, wurde im Weltkriege aktuell, als sich an allen Fronten und bei Truppen aller Nationen zeitweise zahlreiche Soldaten mit Klagen über Adaptationsstörung meldeten. Im Balkankriege hatte man seinerzeit eine Mangelhemeralopie bei 10% der Mannschaften gesehen (zit. nach JESS, aus VOLLBRECHT und WIETING-PASCHA); Besorgnisse in dieser Hinsicht waren also auch im Weltkriege zuerst nicht ganz unberechtigt. Durch die schnell ausgebildeten, zum Teil recht behelfsmäßigen Methoden (z. B. Untersuchung mit dem Leuchtzifferblatt von Taschenuhren) konnte zunächst gegenüber den zahlreichen sich krank meldenden Soldaten nicht immer eine genügende Sicherheit in der Beurteilung gewonnen werden. Geübte Untersucher erkannten aber bald, daß es sich eigentlich nur selten um Hemeralopie, meistens dagegen um Ermüdungserscheinungen und nervöse Beschwerden aufs äußerste strapazierter Menschen, in manchen Fällen natürlich auch um Simulation handelte. Eine Ernährungsstörung kam nicht in Frage. Die Untersuchung der Adaptation ließ meistens eine auffallende Unregelmäßigkeit in den Angaben erkennen, die typische Störung der Adaptationskurve fehlte, die charakteristische Gesichtsfeldeinengung war nicht vorhanden. In augenärztlichen Kreisen bestand schon bald volle Einigkeit in der Beurteilung dieses zeitweise umfangreichen Materials.

BIRCH-HIRSCHFELD, welcher als erster eine größere Zahl von Untersuchungen wissenschaftlich verarbeitet hat, nimmt an, daß nur gelegentlich kleine Epidemien echter Mangelhemeralopie zu Beginn des Krieges vorgekommen sind. Fälle echter Dienstbeschädigung seien kaum beobachtet. Bei seinen Fällen mit echten Störungen spielte Myopie und Heredität eine wichtige Rolle. Auch LÖHLEIN, BEST u. a. wiesen darauf hin, daß eine epidemische Mangelhemeralopie nicht in Frage komme.

HÜBNER, welcher in Straßburg ausführliche Untersuchungen vornahm, hat seine Befunde statistisch bearbeitet; er konnte nur in 22% bei 100 Soldaten

mit hemeralopischen Beschwerden echte Adaptationsstörungen nachweisen. Es handelte sich 6mal um Retinitis pigmentosa, 4mal um Aderhautentzündung, 3mal um Sehnervenatrophie, 6mal um genuine Hemeralopie ohne ophthalmoskopischen Befund und 3mal um Neurosen. Es herrscht also kein Zweifel darüber, daß die Mehrzahl der damals auf Nachtblindheit untersuchten deutschen Soldaten objektiv nachweisbare Schäden am Sehorgan nicht hatte. Auch bei den Gegnern wurden ähnliche Feststellungen gemacht. Näheres findet sich z. B. in den Arbeiten von AUBARET, WEEKERS und LANDOLT.

## F. Lichtstörungen durch Überempfindlichkeit gegen Licht.

HEINE nimmt an, daß bei einem Teil der Patienten, welche über Lichtsinstörungen klagen, und zwar über schlechtes Sehen im Dunkeln oder über Blendungsgefühl im Hellen, nicht ohne weiteres Hemeralopie bzw. Nyktalopie zu bestehen brauche. Es liege bei diesen Patienten keine organische Erkrankung des peripheren Sinnesorganes vor. Es handle sich vielmehr um eine individuelle außerordentliche Empfindlichkeit gegenüber Licht, um eine besondere Art von asthenopischen Beschwerden, die leicht zum Flimmern führen und die in der Gegend der großen subcorticalen Ganglien durch vasomotorische oder toxische Einflüsse ausgelöst würden. HEINE nimmt an, daß ein Übermaß von Lichtwirkung bei diesen empfindlichen Augen die Erscheinungen hervorruft; das entspricht auch der Ansicht von BEHR, der ähnliche Fälle beobachtet hat. Die Patienten klagen über Flimmern und schlechtes Sehen, besonders beim Blick vom Dunkeln ins Helle. Daß auch eine retinal bedingte Lichtempfindlichkeit, ja eine im Wesentlichen retinal ausgelöste Lichtscheu auftreten kann, scheint mir nach meinen eigenen ärztlichen Erfahrungen außer jedem Zweifel zu stehen. Ob hierbei auch eine Störung der Zapfenfunktion oder eine Störung im Schaltmechanismus zwischen Tages- und Dämmerungssehen in Betracht kommen kann (Lichtscheu der Totalfarbenblinden, s. S. 244) ist noch nicht diskutiert worden.

### Literatur.

#### *Pathologie des Lichtsinnes.*

AUBARET: L'héméralopie aux Armées. Presse méd. **1917**, 246. Ref. nach JESS, l. c. S. 121. — AUGSTEIN: Kriegserfahrungen über Hemeralopie und Augenhintergrund. Klin. Mbl. Augenheilk. **55**, 474 (1915).

BAAS, KL.: Über eine Ophthalmia hepatica. Graefes Arch. **40 V**, 212 (1894). — BAER, K.: Augenveränderungen bei Botulismus. Klin. Mbl. Augenheilk. **72**, 675 (1924). — BEHR, C.: Der Reflexcharakter der Adaptationsvorgänge, insbesondere der Dunkeladaptation und deren Beziehungen zur topischen Diagnose und zur Hemeralopie. Graefes Arch. **75**, 201 (1910). — BEST: (a) Über Nachtblindheit im Felde. Münch. med. Wschr. **62**, 1121 (1915). (b) Untersuchung über die Dunkeladaptation des Auges mit Leuchtfarben. Z. Biol. **68**, 111 (1917). (c) Über Nachtblindheit. Graefes Arch. **97**, 168 (1918). — BIRCH-HIRSCHFELD: (a) Nachtblindheit im Felde. Ber. 40. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1916**, 197. (b) Über Nachtblindheit im Kriege. Graefes Arch. **92**, 372 (1917). (c) Weitere Untersuchungen über Nachtblindheit im Kriege. Z. Augenheilk. **38**, 57 (1917). — BIRNBACHER, TH.: Die epidemische Mangelhemeralopie. Abh. Augenheilk. H. 4. Berlin 1927. — BLANCHARD, J.: Die Helligkeitsempfindlichkeit der Netzhaut. Dtsch. opt. Wschr. **7**, 936, 958, 975 (1921). — BLEGVAD: Über die Xerophthalmie und ihr Vorkommen in Dänemark in den Jahren 1919—1920. Bibl. Laeg. (dän.) **115**, 300 (1923). Ref. Zbl. Ophthalm. **11**, 274.

DIETER, W.: (a) Untersuchungen zur Duplizitätstheorie. 3. Mitteilung: Die angeborene familiär erbliche stationäre (idiopathische) Hemeralopie. Pflügers Arch. **222**, 381 (1929). (b) Allgemeine Störungen der Adaptation des Sehorgans. Handbuch der Physiologie von BETHE-BERGMANN, Bd. XII/2, S. 1595.

FEIGENBAUM, A.: Über vorübergehende und langdauernde Störungen der Dunkeladaptation beim Glaukom. Klin. Mbl. Augenheilk. **80**, 596 (1928). — FÖRSTER, R. F.: Lichtsinn bei Krankheiten der Chorioidea und Retina. Klin. Mbl. Augenheilk. **9**, 337 (1873). — FRÖHLICH:

Die Empfindungszeit, 1929. S. 130. — FUJITA, T.: Pigmentbewegung und Zapfenkontraktion im Dunkelaug des Frosches bei Einwirkung verschiedener Reize. Arch. vergl. Ophthalm. **2**, 164 (1912). — FUMAGALLI: Sua la patalogenesi della emeralopia essenziale. Ann. Ottalm. **2**, 471 (1872).

GASTEIGER: Über Störungen der Dunkeladaptation bei Sehnervenerkrankungen und ihre diagnostische Verwertbarkeit. Klin. Mbl. Augenheilk. **78**, 827 (1927). — GLÜH, B.: Experimentelle Untersuchungen über die Sehporpurbildung bei Ikterus. Z. Augenheilk. **64**, 69 (1928). — GRAFE, E.: Über eine Fehlerquelle bei Untersuchung des Lichtsinnes. Münch. med. Wschr. **67**, 634 (1920).

HECHT: The photochemical nature of the photosensory process. J. of gen. Physiol. **2**, 229, 499 (1919—20). — HEINE, L.: Klinische Untersuchungen über die Wirkung verschiedener Glassorten auf den menschlichen Lichtsinn und seine Störungen. Klin. Mbl. Augenheilk. **76**, 37 (1926). — HIPPEL, E. v.: Kurzer Bericht über das Ergebnis einer Umfrage betreffend das gehäufte Vorkommen von Hemeralopie mit Xerose im Frühjahr 1912. Klin. Mbl. Augenheilk. **51**, 603 (1913). — HIRSCHBERG: Über Gelbsehen und Nachtblindheit bei Ikterischen. Berl. klin. Wschr. **1885**, Nr 23. — HÖLSCHER: Über den Einfluß der Dunkeladaptation auf die Dienstfähigkeit der Soldaten. Diss. Bonn 1918. Ref. Klin. Mbl. Augenheilk. **64**, 398 (1920). — HÜBENER: Untersuchungen über hemeralopische Beschwerden und Adaptation bei Soldaten. Graefes Arch. **93**, 360 (1917).

IGERSHEIMER: Zur Pathologie der Sehbahn. III. Das Verhalten der Dunkeladaptation bei Erkrankungen der optischen Leitungsbahnen. Graefes Arch. **98**, 67 (1919).

JESS: (a) Die Kampfgasverletzungen der Augen. Verslg hess. Augenärzte, 30. Okt. 1921. Ref. Klin. Mbl. Augenheilk. **68**, 246 (1922). (b) Die Nachtblindheit. Sammelreferat. Zbl. Ophthalm. **6**, 1, 113 (1922).

KAWAKAMI, K.: Über die Vererbung der OGUCHISCHEN Krankheit. Klin. Mbl. Augenheilk. **72**, 340 (1924). — KOHLRAUSCH: (a) Tabulae biologicae. Bd. 1, S. 325. (b) Tagessehen, Dämmersehen, Adaptation, Photo-Receptoren. Handbuch von BETHE-BERGMANN, Bd. XII/2, S. 1509. (c) Briefliche Mitteilungen des Verfassers an den Autor. — KOYANAGI, Y.: Über die pathologisch-anatomische Veränderung des retinalen Pigmentepithels bei Cirrhosis hepatis mit Ikterus und Hemeralopie. Klin. Mbl. Augenheilk. **64**, 836 (1920). — KRIENES, H.: Über Hemeralopie, speziell akute idiopathische Hemeralopie. Wiesbaden 1896. — KRIES, J. VON: Zur physiologischen Farbenlehre. Klin. Mbl. Augenheilk. **70**, 577.

LANDOLT, M.: Les troubles de la vision nocturne chez les soldats. Arch. d'Ophthalm. **35**, 580 (1917). — LEBER: Die Krankheiten der Netzhaut. Handbuch der gesamten Augenheilkunde von GRAEFE-SAEMISCH, 2. Aufl., Bd. 7, S. 1106. — LEWIN u. GUILLERY: Die Wirkungen von Arzneimitteln und Giften auf das Auge, 2. Aufl. Berlin 1913. — LIEBERMANN, P. v.: Vgl. G. E. MÜLLER: Darstellung und Erklärung der verschiedenen Typen der Farbenblindheit usw. Göttingen 1924. — LÖHLEIN, W.: (a) Beobachtungen über Nachtblindheit im Felde. Ber. 40. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1916**, 205. (b) Über die im Felde beobachteten Sehstörungen bei Nacht. Münch. med. Wschr., feldärztl. Beil. **63**, Nr 25 (1916). — LOHMANN, W.: Die Sehfunktionen, S. 80. Leipzig 1912. — LUCKIESH, M.: Licht und Arbeit, deutsche Bearbeitung, S. 111. Berlin 1926. — LUNDSSGAARD, K. K. K.: On night blindness and other eye complications in chronic alcoholists. Acta ophthalm. (Københ.) **2**, 112 (1925).

MÖLLER, H. U.: Untersuchungen über das Dunkelsehen mit TSCHERNINGS photometrischen Gläsern. Acta ophthalm. (Københ.) **7**, 1 (1929). — MÜLLER, G. E.: (a) Zur Theorie des Stäbchenapparates und der Zapfenblindheit. Z. Sinnesphysiol. **54**, 9 (1923). (b) Ein weiterer Beitrag zur v. LIEBERMANN'SCHEN Hemmung. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-naturwiss. Kl. **1924 I**, 171.

NAKAMURA: Über ein neues Phänomen der Farbenveränderung des menschlichen Augenhintergrundes im Zusammenhang mit der fortschreitenden Dunkeladaptation. Klin. Mbl. Augenheilk. **65**, 83 (1920).

OGUCHI, CH.: (a) Über die eigenartige Hemeralopie mit diffuser weißlichgrauer Verfärbung des Augenhintergrundes. Graefes Arch. **81**, 109 (1912). (b) Zur Anatomie der OGUCHISCHEN Krankheit. Graefes Arch. **115**, 234 (1925).

PARINAUD, H.: Sur l'héméralopie du foie et la nature de la cécité nocturne. Arch. gén. Méd., April 1881.

REVES, P.: (a) Response of the average pupil to various intensities of light. J. amer. ophthalm. Soc. **4**, 35 (1920). (b) Vgl. LUCKIESH. — ROTHAN, H.: Über die Beeinflussung der Netzhautfunktion durch Adrenalin. Klin. Mbl. Augenheilk. **75**, 747 (1925). — RUTGERS, G. E.: (a) Zur Dunkeladaptation. Klin. Mbl. Augenheilk. **71**, 449 (1923). (b) Die Dunkeladaptation bei einigen Augenkrankheiten, 2. Mitt., I. Teil. Klin. Mbl. Augenheilk. **71**, 589 (1923). (c) Die Dunkeladaptation bei einigen Augenkrankheiten. II. Teil. Klin. Mbl. Augenheilk. **72**, 8 (1924).

SAMOJLOFF, A. J.: Etudes scotométriques de l'oeil supertendu. Annales d'Ocul. **161**, 523 (1924). — SCHANZ: (a) Zur Theorie des Sehens. Z. Augenheilk. **47**, 351 (1922).

(b) Eine neue Theorie des Sehens. *Z. Sinnesphysiol.* **54**, 93 (1922). — SCHEERER: Der erste sichere Fall von OGUCHISCHER Krankheit außerhalb Japans. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **78**, 811 (1927). (Enthält auch die Literatur über andere differentialdiagnostisch in Betracht kommende Krankheitsbilder.) — SCHINDLER, E.: Über die klinische Bedeutung der Dunkeladaptation. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **68**, 710 (1922). — SPIELMEYER: Über familiäre amaurotische Idiotie. *Zbl. prakt. Augenheilk.* **29**, 473 (1905). — STARGARDT, K.: (a) Die Untersuchung des Gesichtsfeldes bei Dunkeladaptation mit besonderer Berücksichtigung der Solutio retinae. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **44 II**, 353 (1906). (b) Zur Pathologie der Dunkeladaptation. *Ber. 35. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1908*, 213. (c) Über Störungen der Dunkeladaptation. *Graefes Arch.* **73**, 77 (1910).

TAKAGI, R. u. R. KAWAKAMI: (a) Über das Wesen der OGUCHISCHEN Krankheit. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **72**, 349 (1924). (b) Sinnesphysiologische Untersuchungen über die OGUCHISCHEN Krankheit. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **85**, 507 (1930). — TORNABENE: Influenza de la bille sulle modificazioni funz. de la retina. *Arch. Ottalm.* **9**, 41 (1901). — TRUC, H.: Complément généalogique d'une grande famille héméralope remontant à plusieurs siècles. *Bull. Soc. franç. Ophtalm.* **26**, 205 (1909). *Ref. Arch. d'Ophtalm.* **29**, 387 (1909).

UHTHOFF, W.: Die Augenveränderungen bei Vergiftungen. *Handbuch der gesamten Augenheilkunde von GRAEFE-SÄEMISCH*, 2. Aufl. 1911. — ÜHTHOFF, W. u. E. METZGER: Die Sehgifte und die pharmakologische Beeinflussung des Sehens. *Handbuch der Physiologie von BETHE-BERGMANN, Photoreceptoren*, Bd. XII/2, S. 812. Berlin 1931.

VOGT, H.: Über familiäre amaurotische Idiotie und verwandte Krankheitsbilder. *M Schr. Biol. u. Neur.* **18**, 161 (1905).

WEEKERS: (a) L'héméralopie chez les soldats. *Arch. d'Ophtalm.* **35**, 73 (1916). (b) L'héméralopie, symptôme de surmenage. *Arch. d'Ophtalm.* **36**, 203 (1918). — WESSELY: (a) Über die Bedeutung der Farbenperimetrie beim Glaukom. *Sitzgsber. 2. Tagg bayer. augenärztl. Ver.igg; Klin. Mbl. Augenheilk.* **79**, 811 (1927). (b) Diskussionsbemerkung zu den Vorträgen über Nachtblindheit. *Ber. 40. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1916*, 226. — WILBRAND u. SAENGER: *Neurologie des Auges*, Bd. 4, Vorwort S. 5. 1908.

## V. Untersuchungsmethoden, Apparate.

### A. Allgemeines über Licht und Lichterzeugung, Lichtmischung und Lichtabstufung.

#### 1. Allgemeines.

Die physiologisch günstigste Beleuchtung bietet uns das lebenspendende, fast allen Menschen in reichlichem Maße zugängliche Sonnenlicht, auf welches wir, wie die meisten aller höheren Tierarten, auch mit unserem Auge eingestellt sind. Die Totalität des sichtbaren Spektrums umfaßt ein Gebiet von etwa 740—400  $m\mu$ . Das Sonnenlicht hat einen hohen Grad von Gleichmäßigkeit der Energieverteilung im sichtbaren Gebiet, einen viel höheren als alle künstlichen Lichtquellen. Die praktisch wichtigen Verhältnisse gehen aus einer Kurvenaufzeichnung von LUCKIESH (vgl. Abb. 50) hervor. Man sieht, daß alle künstlichen Lichtquellen erst im langwelligen Teil des Spektrums, und noch mehr im Ultrarot, einen Energieanstieg haben. Eine entgegengesetzte Energieverteilung zeigt das blaue Himmelslicht und in gewissem Sinne auch das Linienspektrum mancher Metalldämpfe, z. B. das in der Darstellung eingezeichnete Spektrum der Quecksilberbogenlampe.

#### 2. Lichterzeugung.

Aus der Darstellung von LUCKIESH (vgl. Abb. 50) kann man mit einem Blick ablesen, daß die Sonnenbeleuchtung allen künstlichen Lichtquellen weit überlegen ist. Auch die sog. Tageslichtlampen ( $E$ ), also durch Blaufilter im langwelligen Teile des Spektrums stark abgeschwächte Temperaturstrahler, sind noch weit entfernt davon, *echte* Tageslichtlampen zu sein. Nach dem STEFAN-BOLTZMANNschen Gesetz und der WIEN-PLANCKschen Strahlungsformel (vgl. z. B. BLOCH, S. 28) lassen sich Energieverteilungskurven für die verschiedenen

Temperaturstrahler errechnen, welche zeigen, daß das Maximum der Energie erst mit stark zunehmender Temperatur in den langwelligen Teil des sichtbaren Spektrums und schließlich gegen das kurzwellige Ende verschoben wird (Abb. 51). Von den künstlichen Temperaturstrahlern hat nur die Bogenlampe ihr Maximum nahe am sichtbaren Teil des Spektrums. Alle Strahler niedriger Temperatur, wie Kerzen, ältere Glühlampen, Petroleumlicht sind völlig unrationell, weil sie den größten Teil ihrer Energie als dunkle (Wärme-)

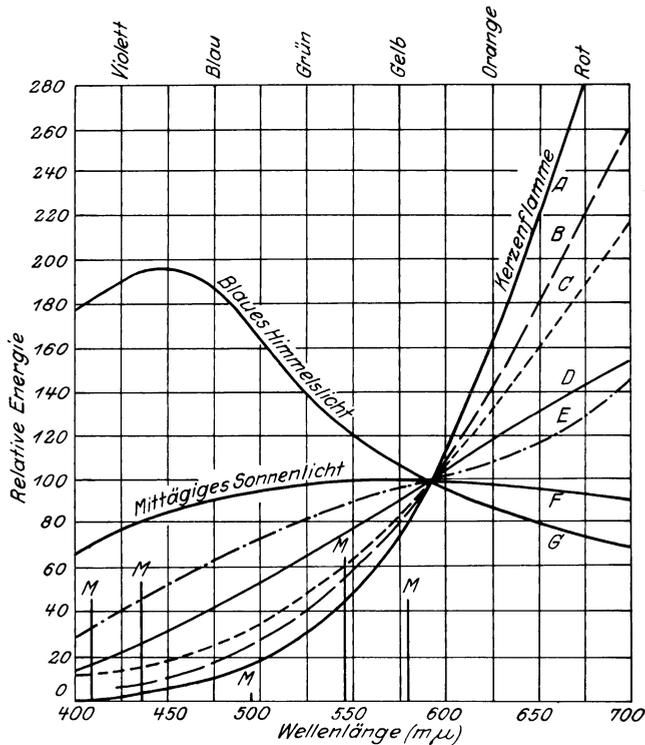


Abb. 50. Die spektrale Verteilung der sichtbaren Strahlung in verschiedenen Lichtquellen. *A* Kerzenflamme, *B* Kohlenfadenlampe, *C* Vakuum-Wolframdraht (8 Lumen pro Watt) -Lampe, *D* gasgefüllte Wolframdraht (22 Lumen pro Watt) -Lampe, *E* Mazda-Tageslichtlampe, *F* Sonne zur Mittagszeit, *G* blauer Himmel, *M* Quecksilberbogenlampe. (Aus LUCKIESH: Licht und Arbeit.)

Strahlung in den Raum entsenden. Es kommt für die Beleuchtung darauf an, daß eine große energetische Ökonomie (LUMMER und KOHN, vgl. z. B. BLOCH, S. 33) besteht und ein hoher visueller Nutzeffekt der Gesamtstrahlung erreicht wird (Abb. 52). In gewissem Sinne könnten auch die Metaldampflampen mit ihrem Linienspektrum zu einer höheren ökonomischen Ausbeute führen, indes muß z. B. das grünliche Licht der Quecksilberdampfampe durch Filter stark abgeschwächt werden, wenn man eine angenehme und praktisch brauchbare Lichtquelle daraus entwickeln will. Was die absoluten Intensitäten anbelangt, sind alle irdischen Lichtquellen verschwindend klein im Verhältnis zu dem riesigen Energiespender Sonne, dessen Gesamtstrahlung nach LUCKIESH 2,5 Milliarden  $\times$  Milliarden  $\times$  Milliarden Kerzen gleichzusetzen ist.

Sonnenbeleuchtung erzeugt auf Flächen mit möglichst vollkommener Reflexion (z. B. Schnee, Magnesia, weißes Papier) den Eindruck eines reinen Weiß. Unser Auge ist physiologisch darauf eingestellt, die Gesamtstrahlung

der Sonne als neutrales, von bunter Farbe freies, „reines“ Weiß zu empfinden. Stärkere Abweichung zeigt schon das blaue Himmelslicht, welches an wolkenlosen Sonnentagen für alle nicht nach der Sonnenseite gelegenen Räume die normale Beleuchtung ist. Wir bemerken das aber kaum. Wie schon auf S. 185, 190 und 195 erwähnt wurde, sind wir befähigt, nicht nur starke Intensitätsdifferenzen, sondern auch hochgradige Mischungsunterschiede differenter Wellenlängen beim natürlichen Sehen zu benutzen, ohne daß wir eine wesentliche Belästigung empfinden. Dies gilt nicht nur für Tagesbeleuchtung, sondern auch für künstliche Lichtquellen.

Die Bestrebungen, die Lichtquellen durch Filter dem Tageslicht ähnlich zu machen, sind auch nur teilweise berechtigt. Für kaufmännische Betriebe, zum Erkennen von Tuch-, Papier- und anderen Färbungen, ist die Tageslichtlampe in gewissem Sinne ein Ersatz der Tagesbeleuchtung. Für das Auge des in der Häuslichkeit Ausruhenden, auch für das Auge des Lesenden, bedeutet es jedoch durchaus keine Verbesserung, wenn das Licht der künstlichen Lichtquellen auf diese Weise qualitativ umgeformt wird. Man muß nicht vergessen, daß z. B. die jetzt gebräuchlichen Tageslichtbirnen über 70% der nutzbaren Strahlung absorbieren, also

etwa die dreifachen Stromkosten entstehen, wenn man den gleichen Beleuchtungsgrad für das Erkennungsvermögen im Sinne der Sehschärfe herstellen will. Das Auge des Menschengeschlechts ist wahrscheinlich schon seit tausenden von Generationen an das rötliche Herdfeuer als Abendbeleuchtung gewöhnt. Es ist durchaus darauf eingestellt, ein gelbliches oder rötliches Licht als angenehm oder brauchbar zu empfinden. Der naive Mensch wird sogar oft eine rötliche oder gelbliche Lichtquelle bevorzugen, wenn er die Innenräume seiner Wohnung beleuchten will.

### 3. Lichtmischung.

**Spektralapparate.** Von HERING und von HELMHOLTZ sind große Spektralapparate angegeben worden, mit welchen man die spektrale Zerlegung zusammengesetzter Lichter und die beliebige Mischung homogener Strahlungen erzielen kann. Näheres über den HERINGSCHEM Spektralapparat findet man bei C. VON HESS, über den HELMHOLTZSCHEM Apparat informiert die Darstellung von NAGEL im TIGERSTEDTSCHEM Handbuch.

Verfügt man nicht über solche Spektralapparate oder will man einfachere Anordnungen benutzen, so kann man spiegelnde Flächen und halbdurchlässige

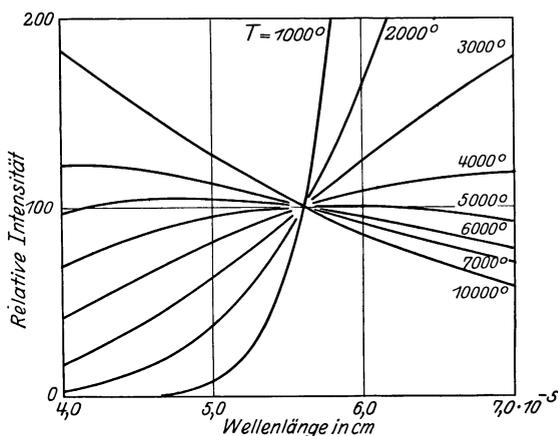


Abb. 51. Verschiebung der Energieverteilung des Spektrums mit der Temperatur. Darstellung für das sichtbare Gebiet von  $4,0 - 7,0 \cdot 10^{-5}$  cm Wellenlänge. Erst ein Temperaturstrahler von  $5000^\circ$  würde annähernd die gleichmäßige Wirkung für alle Teile des Spektrums erreichen wie unser Sonnenlicht. (Aus PIRANI u. LUX im Handbuch der Physik.)

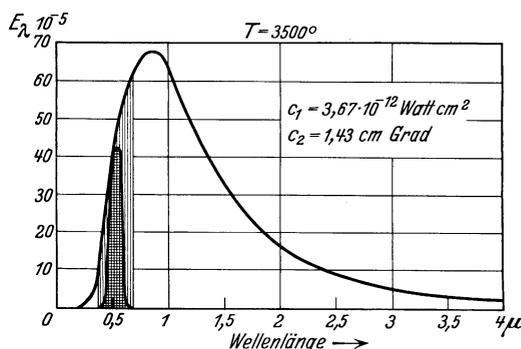


Abb. 52. Energieverteilungskurve des schwarzen Körpers für  $T = 3500^\circ$ . Der Bereich der sichtbaren Strahlung ist schwach schraffiert. Der Wert der Strahlung, der der relativen Empfindlichkeit des menschlichen Auges entspricht, ist durch die kleine Kurve dargestellt, welche das stark schraffierte Gebiet umgibt. Man kann aus diesen Kurven a) den optischen Nutzeffekt der Gesamtstrahlung, b) den visuellen Nutzeffekt der sichtbaren Strahlung, c) den visuellen Nutzeffekt der Gesamtstrahlung ablesen.

Prismen zu Hilfe nehmen, um Mischungen bunter Glaslichter herzustellen. Dabei müssen die einzelnen Lichter nach den weiter unten (S. 268—270) zu schildernden Verfahren quantitativ abgestuft werden.



Abb. 53. Kreisel zur Farbenmischung mit verschiedenfarbigen Sektoren.

#### Mischung von Pigmentfarben.

Hier ist der Anwendung des Farbenkreisels (Abb. 53) zu gedenken, die jedem Mediziner aus physiologischen Versuchen geläufig ist. Geschlitzte Scheiben von farbigen Papieren können in jeder Abstufung und unter Zusatz von Weiß- oder Schwarzsektoren von beliebiger Größe gebraucht werden. Der Kreisel hat den Vorzug, daß die Flächen (bei genügend schneller Rotation) eine ideale Gleichmäßigkeit des Aussehens haben.

Am bekanntesten sind wohl die MASSON'Schen Scheiben in der MAXWELL'Schen Anordnung; es werden radiär geschlitzte Kreiselscheiben so hintereinander geschoben, daß Sektoren von bestimmter Größe mit-

einander gemischt werden. Ein einfaches Prinzip zur Herstellung mehrerer skalenartig abgestufter Farbtonmischungen auf einer rotierenden Scheibe hat DONDER'S angegeben, welcher nur einen radiären, jedoch mehrfach unterbrochenen Streifen von überall gleicher Breite auf der Kreiselscheibe anbringt. Bei der Rotation entstehen dann mehrere Ringe verschiedener Tönung, weil der Winkelwert des Streifens in der Nähe des Drehpunktes größer ist als in der Peripherie.

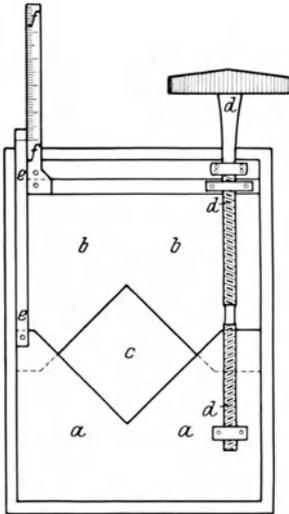


Abb. 54. AUBERT'Sche Blende. Bei *c* das Blendenfenster, welches durch Verschiebung der rechtwinklig begrenzten Blenden *a a* und *b b* variabel einzustellen ist. Bei *f* die Skala zur Ablesung der jeweiligen Blendenfenstergröße.

#### 4. Quantitative Lichtabstufung.

Die quantitative Lichtabstufung ist für wissenschaftliche Arbeiten ein wichtiges Problem. Das natürliche Himmelslicht wird für die meisten Versuche nicht brauchbar sein, weil es dauerndem Wechsel unterliegt. Bei der Zuleitung von Sonnenlicht durch in der Wand angebrachte Röhren müssen Spiegel eingeschaltet werden; die Intensität wechselt, weil der Standort der Sonne und der Einfallswinkel sich ändern. Der blaue Himmel an klaren Sonnentagen wäre in den Mittagsstunden leidlich konstant; das Licht ist aber leider ziemlich stark farbig getönt. Der elektrische Strom der Stadtnetze ist bekanntlich selbst bei modernen Werken recht inkonstant. Für viele Versuche genügt das elektrische Licht allerdings, weil mit Ampèremesser und Rheostat annähernd gleiche Verhältnisse hergestellt werden können. Weitaus besser ist die Benutzung von Akkumulatorenbatterien, welche in Instituten mit wissenschaftlichen Aufgaben auf diesen Gebieten niemals fehlen dürfen. Das ein-

fachste Verfahren der quantitativen Abstufung ist die *Abstandsveränderung*, wobei die wirksame Intensität mit dem Quadrat der Entfernung zu- und abnimmt.

Bequem in ihrer Anwendung sind die *NICOLSchen Prismen*, doch sind gleiche prozentuale Helligkeitsänderungen nicht mit gleich großen Winkeldrehungen verbunden. Das hindert nicht die ausgezeichnete Eignung für mancherlei Zwecke. Betrachtet man z. B. nebeneinander liegende farbige Flächen durch ein doppelt brechendes Prisma, so kann man bei geeigneter Aufstellung durch Drehen der Nicols die Stärke beider Lichter messend variieren. (Vgl. v. HESS, S. 180.)

Brauchbar sind auch *Graugläser*, mit welchen sich z. B. die einzelnen Komponenten von Mischlichtern

in jeder gewünschten Weise abtufen lassen. Eine variable Abschwächung erhält man mit dem von GOLDBERG angegebenen Gelatinekeil. Ein solcher hat eine von einem zum anderen Ende zunehmende Absorption. Man gebraucht meist eine Kombination von zwei mit der Spitze gegensinnig orientierten Keilen, die gegeneinander verschiebbar sind. Wenn die Keile sich decken, so ist in dem kleinen Gebiet, welches zum Durchgang der Lichtstrahlen benutzt wird, stets eine genügend gleichmäßige Absorption vorhanden. Durch Verschieben der Keile gegeneinander kann man die Absorption in weiten Grenzen ändern.

Neuerdings werden zur Lichtabschwächung die *TSCHERNINGSchen Gläser* empfohlen, deren Abstufung nach „Photoprien“ erfolgt (1 Photoprie =  $\frac{9}{10}$  Absorption, 2 Photoprien =  $\frac{99}{100}$  usw.; Abstufungsmöglichkeit bis zu  $\frac{1}{4}$  Photoprien). Diese Gläser lassen sich in Brillengestelle einsetzen (s. auch unten S. 289).

Viel angewendet ist die sog. *AUBERTSche Blende* (Abb. 54), eine rechtwinklig begrenzte Doppelblende, die in rechnerisch einfacher Weise eine variable Lichtzustrahlung von einer hinter der Blende angebrachten gleichmäßig leuchtenden Fläche auf einen gegenüberliegenden Raum ermöglicht. Diese Blende wurde übrigens von FÖRSTER schon im Jahre 1857, vor AUBERT, benutzt.

Der *Episkotister* (Abb. 55) ist ein Kreiselsatzgerät mit zwei mattschwarzen Scheiben, welche sektorförmige Ausschnitte enthalten; die auf einer Kreiselschse hintereinander geschalteten Scheiben sind gegeneinander verschiebbar, so daß man verschiedene Sektorgrößen einstellen kann. Von MARBE (vgl. WUNDT I, 664) sind für Kreiselsgeräte auch Anordnungen angegeben worden, bei welchen während des Umlaufes die Sektorgröße zu variieren ist.

Bei Demonstrationen in Vorlesungen läßt sich die quantitative Änderung von Mischungen am besten am Kreiselsatz demonstrieren. Man benutzt dabei

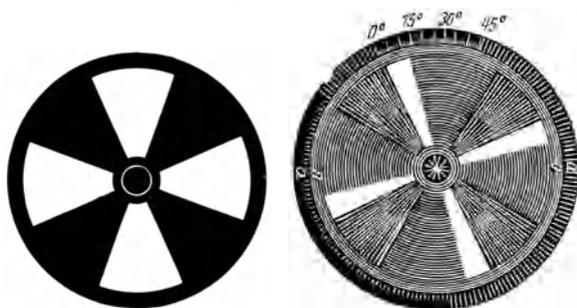


Abb. 55. Episkotister, Gerät zur wechselnden Einstellung von Lichtintensitäten am Kreiselsatz.



Abb. 56. Lampe für augenärztliche Untersuchungen mit AUBERTScher Blende vor einer Milchglasbirne, die annähernd gleichmäßige Leuchtdichte im mittleren Gebiet ihrer Oberfläche aufweist. (Zum Augenspiegeln, zur abgestuften Belichtung von Sehproben und zur schnellen Orientierung über die Leistung des Lichtsinns.)

am einfachsten farbige Pigmentpapiere mit entsprechendem Schwarz-Weiß-zusatz.

Für die abgestufte Beleuchtung von Sehproben im Dunkelzimmer habe ich an der Blendentrommel einer Augenspiegellampe eine Einrichtung anbringen lassen, welche der AUBERTSchen Blende nachgearbeitet ist (Abb. 56). Durch Öffnen wird die gleichmäßig leuchtende Fläche einer Milchglasbirne freigegeben. Weil die AUBERTSche Blende an einer Zylinderfläche angebracht ist, so entsprechen die Lichtstärkenverhältnisse zwar nicht ganz dem Quadrat der Zahlen an der Skala; man kann aber die effektiven Beleuchtungsstärken für eine in bestimmter Entfernung aufgestellte Sehprobe sehr leicht eichen und jedesmal wieder einstellen. Auch für andere Untersuchungen, z. B. für die Prüfung des Dunkel-Gesichtsfeldes und der Kontrolle des Lichtsinnes bietet die bequeme Abstufungsmöglichkeit der Lampe Vorteile [vgl. COMBERG (c)].

## B. Lichtmessung, Photometrie.

### 1. Grundbegriffe der Photometrie.

Für die technische und hygienische Bewertung der Lichtquellen, und auch für die genaue Kennzeichnung des Lichtes bei Versuchen ist es wichtig, daß man

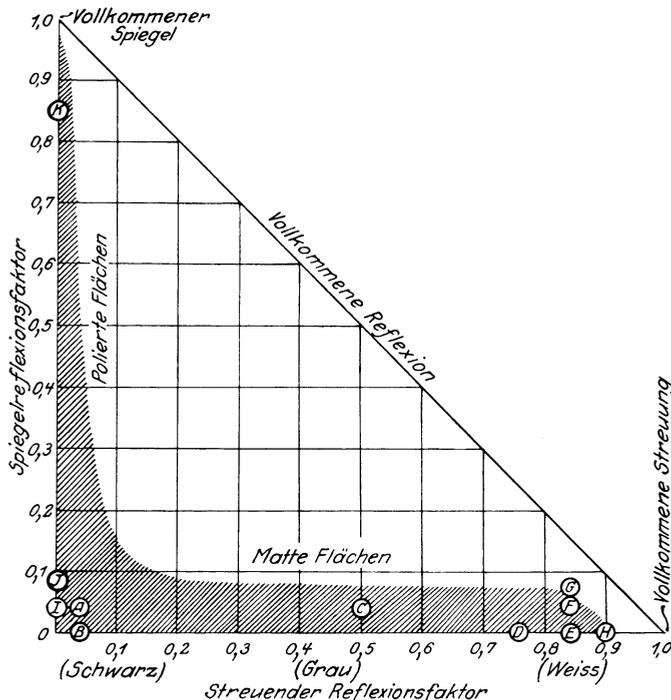


Abb. 57 zeigt den Grad der spiegelnden und streuenden Reflexion verschiedener Flächen, die eine Kombination dieser beiden Reflexionsarten ergeben. Die Spiegelreflexion bezieht sich auf lotrecht einfallendes Licht. *A* Glänzende schwarze Farbe. *B* Matte schwarze Farbe. *C* Glänzende graue Farbe. *D* Weißes Löschpapier. *E* Beste matte weiße Farbe. *F* Beste glänzende weiße Farbe. *G* Glasiertes weißes Porzellan. *H* Puder (Zinkoxyd). *I* Eine Glas- oder Wasserfläche. *J* Beide Flächen eines dünnen Glases. *K* Poliertes Silber. (Aus LUCKIESH-LELLEK: Licht und Arbeit.)

exakte quantitative Methoden der Lichtmessung besitzt. Diese Lichtmessung, die Photometrie, ist im Laufe der Jahre zu einem wissenschaftlichen Sondergebiet von großer praktischer Bedeutung geworden; sie arbeitet mit international anerkannten Grundbegriffen, die hier kurz erörtert werden sollen.

a) Der *Lichtstrom* einer Lichtquelle ist die radial ausgestrahlte leuchtende Energie. Unter der Einheit des Lichtstroms  $\Phi$  versteht man die in den Raum-

winkel  $1$  geschickte Lichtstrahlung einer Einheitskerze. Dieser Lichtstrom ist = 1 Lumen. Der Gesamtlichtstrom eines gleichmäßig nach allen Richtungen des Raumes mit der Intensität der Einheitskerze leuchtenden Punktes beträgt demnach  $4\pi$  Lumen.

b) Die *Lichtstärke*  $I$  ist wissenschaftlich ausgedrückt die Dichte des Lichtstromes in bezug auf den Raumwinkel  $\omega$ . Also ist  $I = \Phi/\omega$ . Dieses Gesetz gilt strenggenommen nur für punktartige Lichtquellen.

c) Die *Beleuchtung*  $E$  ist die Dichte des Lichtstromes an einer beleuchteten Fläche:  $E = \Phi/F$  (Beleuchtung = Lichtstrom : Fläche).

Trifft der Lichtstrom einer Einheitskerze in 1 m Entfernung senkrecht auf eine Fläche, so erhält man dort die Einheit der Beleuchtungsstärke = 1 Lux. Die Beleuchtung ändert sich umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung der Lichtquelle und proportional dem Kosinus des Einfallswinkels.

d) Mit *Leuchtdichte* (Flächenhelle)  $e$  bezeichnet man die Ausstrahlungsintensität von Lichtquellen und von allen Licht ausstrahlenden Flächen pro Flächeneinheit. Nach einem schon von LAMBERT gefundenen sehr wichtigen Gesetz ist die Leuchtdichte einer Fläche fast unabhängig von der Ausstrahlungsrichtung; wenn man also durch eine kleine Blende einen Teil einer leuchtenden Fläche betrachtet, so erscheint er immer gleich hell, einerlei, aus welcher Richtung man auf die Fläche blickt.

Man kann die Leuchtdichte nach HEFNER-Kerzen pro Quadratcentimeter (HK/qcm) oder nach internationalen Kerzen pro Quadratcentimeter (K/qcm) bezeichnen. Die Amerikaner haben als Einheit der Leuchtdichte diejenige Intensität gewählt, bei welcher pro Quadratcentimeter leuchtender Fläche insgesamt ein Lichtstrom von 1 Lumen nach allen Richtungen ausgestrahlt wird, und dieser Einheit die Bezeichnung „Lambert“ gegeben. Bei Versuchen wird meistens nach *Millilambert* gerechnet. Theoretisch besser begründet ist es, die Leuchtdichte nach Kerzenlichtstärke der leuchtenden Fläche pro Quadratcentimeter zu bezeichnen. Nach BLONDEL heißt diese Einheit „Stilb“. Man kann auch diejenige Flächenerhellung als Einheit annehmen, welche die Strahlung einer Normkerze in 1 m Entfernung bei senkrechtem Auftreffen des Lichtes (also eine Beleuchtung von 1 Lux) auf einem idealen Reflektor (mit 100% Reflexion; Albedo = 1) erzeugen würde, und kann dann die vorhandenen Werte durch Multiplikation mit der bekannten Reflexion der verschiedenen Stoffe (bei Magnesiumoxyd Albedo = 0,95, bei Mattpapier Albedo = 0,75) ermitteln. Die Zahlenverhältnisse zwischen den wichtigsten Leuchtdichteneinheiten hat KOHLRAUSCH in einer Tabelle (s. S. 272) wiedergegeben.

Praktisch sehr wichtig sind die Reflexionsverhältnisse der beleuchteten Flächen. Man muß zwischen der gerichteten Reflexion (Spiegelung) und der Diffusion (streuenden Reflexion) unterscheiden. Die Verhältnisse sind auf der beigefügten Abbildung von LUCKIESH gut dargestellt (s. Abb. 57).

Als Lichteinheit dient in Deutschland, Österreich und der Schweiz die HEFNER-Kerze; man mißt die horizontale Lichtstärke einer Amylacetatkerze von 40 mm Flammenhöhe; in England, Frankreich und USA hat man eine Standardkerze oder internationale Kerze mit etwas höherem Wert angenommen, die = 1,11 HEFNER-Kerze einzusetzen ist.

## 2. Beschreibung wichtiger Photometer.

### a) Integralphotometer.

**ULBRICHTSche Kugel.** Während man früher meist zur Kennzeichnung des Wertes einer Lichtquelle die *Lichtstärke* der horizontalen Ausstrahlung

Zahlenverhältnisse zwischen physikalischen Leuchtdichteinheiten.  
(Nach KOHLRAUSCH, Tabul. biol.)

	HK/qcm	K/qcm	Lambert	Milli-Lambert	H-Lux $\perp$ MgO (Alb. 0,95)	H-Lux Mattpapier von der Alb. 0,75	Hefner-Lux Erhellung
1 HK/qcm . . .	1	0,901	2,830	2830	33 100	42 000	31 400 (10400 · $\pi$ )
1 K/qcm . . . .	1,11	1	3,142 ( $\pi$ )	3142	36 800	46 600	34 000
1 Lambert . . .	0,353	0,318 ( $1/\pi$ )	1	1000	11 700	14 800	11 100
1 Milli-Lambert.	0,000 353	0,000 318	0,001	1	11,7	14,8	11,1
1 H-Lux $\perp$ MgO (Alb. 0,95) . .	0,000 030	0,000 027	0,000 086	0,0856	1	1,27	0,95
1 H-Lux $\perp$ Mattpapier v. d. Alb. 0,75 . . . . .	0,000 024	0,000 022	0,000 068	0,0675	0,79	1	0,75
1 H-Lux Erhellung . . . . .	0,000 0318 ( $\frac{1}{10000 \cdot \pi}$ )	0,000 0287	0,000 09	0,09	1,05	1,33	1

photometrisch bestimmte, hat man neuerdings erkannt, daß für die Kennzeichnung der Lichtquellen praktisch am wichtigsten eine Messung des Gesamtlichtstromes ist. Diesen kann man natürlich berechnen, wenn man die Lichtstärke einer Lichtquelle in verschiedenen Richtungen mißt und die Werte integriert. Eine ganz besonders einfache Messung des Gesamtlichtstromes ist erst durch die Erfindung der ULBRICHTSchen Kugel (Abb. 58) möglich geworden. Es handelt sich um eine innen mattweiß angestrichene Kugel, in welcher die zu messende Lampe, nach einer Richtung durch einen kleinen weißen Schirm abgeblendet, aufgehängt wird. Wegen der vielfachen Reflexion des Lichtes an den Wänden ist die Leuchtdichte an allen Teilen der Wand praktisch genügend gleich und an dem im Blendenschatten angebrachten zu Messungen dienenden Fenster stets dem Gesamtlichtstrom der zur Messung in die Kugel hineingebrachten Lichtquelle proportional. Man erhält durch Eichung einer solchen Kugel mit einer Normallichtquelle einen sehr bequemen Weg zum Vergleichen bzw.

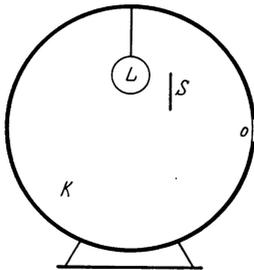


Abb. 58. ULBRICHTSche Kugel. In der mattweiß gestrichenen Kugel K findet sich die zu messende Lampe L und der mattweiße Schirm S, durch welchen das Meßfenster o von direktem Lichte abgeschirmt wird. Die Beleuchtung in o ist stets proportional dem Gesamtlichtstrom von L.

zur Messung beliebiger anderer Lichtquellen, die an der gleichen Stelle in der Kugel aufgehängt werden.

b) Spezielle Apparate zur Messung von Lichtstärke und Leuchtdichte.

**BUNSENSches Fettfleck-Photometer.** Dieses früher viel angewandte Instrument hatte als wesentlichen Teil einen auf einer optischen Bank (Abb. 59) zwischen zu messender und Normallichtquelle verschiebbaren Papierschirm mit einem kleinen Fettfleck in der Mitte. Die Messung beruht darauf, daß der Fettfleck eine stärkere durchgelassene, das nicht gefettete Papier eine stärkere reflektierte Strahlung gibt. Mit einem doppelten Spiegel können beide Seiten gleichzeitig beobachtet und der Schirm kann so eingestellt werden, daß beide Seiten gleich aussehen. Für diese Einstellung ist die Beleuchtungsstärke durch beide Licht-

quellen (Normallichtquelle und zu prüfende Lichtquelle) als gleich anzusehen. Die Lichtstärken sind dann umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernungen der Lichtquellen von dem Photometerschirm.

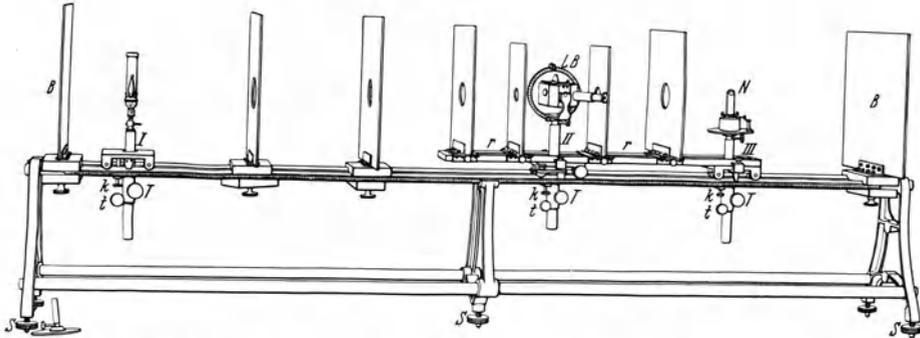


Abb. 59. Photometerbank. Bei I befindet sich das zu messende Licht, bei III das Normallicht. Bei II befand sich früher der Papierschirm mit dem von Bunsen angegebenen Fettfleck. Auf der Abbildung ist dort ein LUMMER-BRODHUNSCHER Photometerkopf (vgl. nächsten Absatz und Abb. 60) eingesetzt.

**LUMMER - BRODHUNSCHES Photometer** (Abb. 60). Gegen die Hypotenusenfläche eines Prismas ist der Schliff eines zweiten Prismas fest gegengepreßt, so daß das dort auffallende Licht von einem Prisma ungeschwächt in das andere übergeht. Man ersieht aus der Abbildung, daß die beiden in der

Das Bildchen links oben erläutert die Durchlässigkeitsverhältnisse an dem LUMMER-BRODHUNSCHEN Würfel, der aus zwei rechtwinkligen Prismen besteht. Diese sind mit ihren Hypotenusenflächen fest aneinander gekittet, so daß dort das auffallende Licht durchgelassen und nicht reflektiert wird. Infolgedessen tritt das Licht in der Richtung des Vertikalpfeiles in einem mittleren Kreisfelde (*d*) ungehindert durch. In einem herumgelegenen Ringfelde (*c-c*) befindet sich in dem oberen Prisma eine Aussparung, so daß hier das Licht, welches in der Richtung der rechts angebrachten Pfeile eintritt, total reflektiert wird.

Auf dem linken unteren Bildchen sieht man in der Mitte das Feld für das Licht des vertikalen Pfeiles und um dieses Feld herum das Feld für das total reflektierte Licht.

Am Photometerkopf wird der Gipsschirm *S* links von dem Lichte *a, d*, rechts von dem Lichte *b, c* beleuchtet. Der Beobachter sieht das Licht der einen Seite als Umfeld, das Licht der anderen Seite als Infeld.

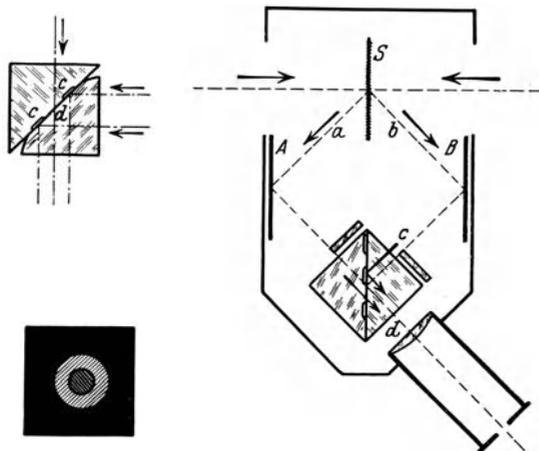


Abb. 60. Anordnung des LUMMER-BRODHUNSCHEN Photometerkopfes.

Pfeilrichtung auf die weiße Platte *S* zustrahlenden Lichtquellen in dem Photometerfelde als Umfeld und Infeld in einfachster Weise miteinander verglichen und durch entsprechendes Verschieben des Photometerkopfes auf der optischen Bank ähnlich wie durch Verschieben der Papierscheibe beim BUNSENSCHEN Photometer so eingestellt werden können, daß Infeld und Umfeld völlig gleich sind und keine Trennungslinie besitzen. Mit einer Modifikation dieses Photometers, dem sog. Kontrastphotometer, wird eine Genauigkeit bis zu  $\frac{1}{4}\%$  erreicht.

## c) Spezielle Apparate zur Beleuchtungsmessung.

Einzelheiten über diesen praktisch wichtigen Zweig der Photometrie findet man bei LENZ (Bd. 7 dieses Handbuches, S. 859). Es sollen hier nur die beiden wichtigsten Apparate erwähnt werden.

**WEBERSCHES Photometer** (Abb. 61). An dem Hauptrohr *A* des besonders zur Beleuchtungsmessung angegebenen und früher sehr viel verwendeten Apparates ist seitlich eine kleine Glühlampe angebracht, deren Spannung konstant gehalten werden kann. In dem Rohr selbst befindet sich bei *f* eine durch die Lampe

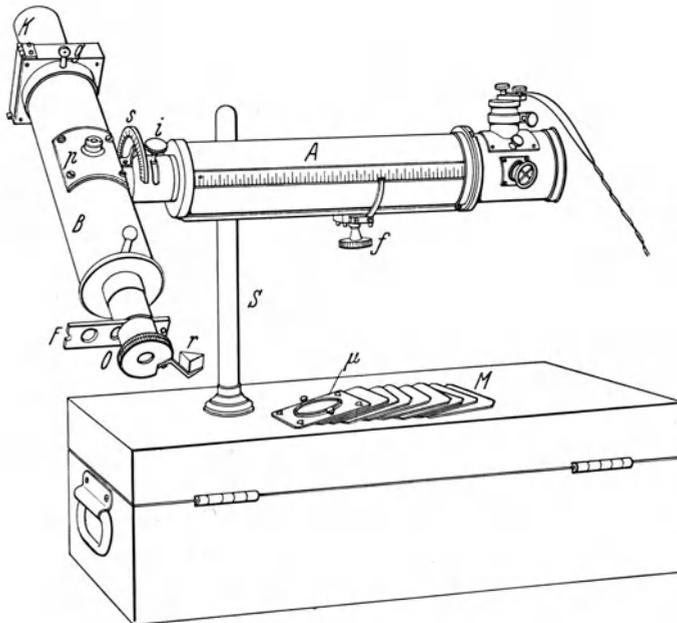


Abb. 61. WEBERSCHES Photometer.

beleuchtete, verschiebbare Milchglasplatte, deren variable und empirisch geeichte Intensität mit Hilfe des LUMMER-BRODHUNSCHEN Würfels mit der Intensität einer zweiten Milchglasscheibe verglichen wird, die sich in dem kurzen Ansatz der anderen Seite des Photometerkopfes befindet. Man benutzt den Apparat entsprechend seiner ursprünglichen Bestimmung zu Beleuchtungsmessungen, indem man das Licht in der zu messenden Ebene auf einen kleinen weißen Pappkarton auffallen läßt und den kurzen Tubus darauf einstellt. Bei Lichtstärkemessungen, zu welchen der Apparat ebenfalls zu gebrauchen ist, wird der kleine Ansatztubus mit einer Milchglasscheibe versehen und direkt auf die zu messende Lichtquelle eingestellt.

**Moderner deutscher Beleuchtungsmesser von BECHSTEIN (Luxmeter). Deutscher Beleuchtungsmesser der Osram-Gesellschaft und ähnliche Apparate.** Diese sind im Prinzip modernen amerikanischen Beleuchtungsmessern nachgebildet, zum Teil noch weiter vereinfacht und verbessert.

Bei dem sehr einfachen Apparat der *Osram-Gesellschaft* (Abb. 62) befindet sich in dem der äußeren Beleuchtung ausgesetzten weißen Umfelle eine von hinten her transparent beleuchtete Infeldfläche, welche als vollkommener Diffusor nach allen Richtungen gleichmäßig strahlt. Sie kann durch Drehen eines

Knopfes in bequemer Weise meßbar verändert werden. Die Bestimmung der Beleuchtungsstärken ist mit diesen Apparaten sehr vereinfacht.

d) Andere Geräte für verschiedene Untersuchungen.

**Photometer von GEHLHOFF und SCHERING** (Abb. 63). Bei diesem werden die beiden Lichtquellen  $J_1 J_2$  bei  $A$  in der Augenpupille derart abgebildet, daß der Beobachter den einen Teil des Gesichtsfeldes von der ersten und den anderen von der zweiten Lichtquelle erleuchtet sieht. Eine Helligkeitsabstufung der Lichtquelle wird durch NICOLSche Prismen  $N_1 N_2$  vorgenommen. Es können mit diesem Apparat auch außerordentlich niedrige Intensitäten verglichen werden.

**PULFRICHSCHES Stufenphotometer** (Abb. 64), ein vorzüglicher Apparat, der die Ablesung des Helligkeitszuwachses unmittelbar gemäß den Empfindungsstufen des WEBER-FECHNERSchen Gesetzes ermöglicht. Die entsprechend abgestufte Skala steht mit dem Trieb einer AUBERTSchen Blende in Verbindung und hat nur eine Umdrehung. Der optische Teil besteht aus einem monokularen Doppelfernrohr. Beim Blick in das Okular sieht man zwei in der Trennungslinie zusammenstoßende halbkreisförmige Felder, von welchen jedes durch eines der beiden Objektive beleuchtet wird. Mit Hilfe der vor eines der Objektive vorgeschalteten AUBERTSchen Blende und durch Benutzung einer Barytplatte von genau geeichter Leuchtdichte kann man mit größter Leichtigkeit alle Vergleichsintensitäten einstellen. Das Instrument ist als Colorimeter, als Vergleichsmikroskop, als Mikrophotometer, insbesondere als Nephelometer und zu kolloidometrischen Messungen an trüben Flüssigkeiten und kolloidalen Lösungen zu gebrauchen. Auch ein Verfahren der heterochromen Photometrie ist für dieses Instrument ausgearbeitet worden.

Die Bedeutung der Photometrie ist sehr groß geworden, sowohl für physikalische und physiologische Untersuchungen, als auch für industrielle Zwecke, z. B. zur Eichung der Lichtstärke bei neuen Lampentypen. Aber auch für die Beleuchtungsmessung an Ort und Stelle (in Betrieben, in Wohnungen, in Schulen) wird sie in immer steigendem Maße herangezogen; namentlich die kleinen Beleuchtungsmesser haben sich sehr



Abb. 62. Moderner deutscher Beleuchtungsmesser der Firma Osram.  $F$  Voltmesser,  $K$  Knopf zum Einstellen der Voltzahl,  $F$  Felder zur Messung der Beleuchtung: ein Umfeld, welches aus einer gut diffus reflektierenden Fläche besteht, und ein Infeld, welches von hinten her durch die unter konstanter Voltzahl gehaltene Birne einer Taschenlampe beleuchtet wird.  $C$  Zahnrad zum Einstellen der Leuchtdichte des Infeldes. Die entsprechende Beleuchtung kann man auf der Skala  $S$  ablesen.

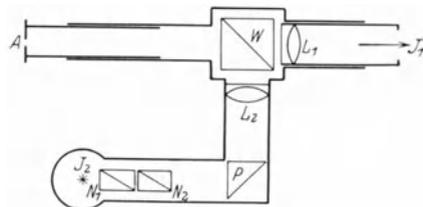


Abb. 63. Photometer von GEHLHOFF und SCHERING. Die Lichtquelle  $J_1$  wird mit der Lichtquelle  $J_2$  verglichen. Der Beobachter sieht beim Blick durch  $a$  zwei von den beiden Lichtquellen beleuchtete, aneinander grenzende Felder. Zur Abstufung dienen die NICOLSchen Prismen  $N_1 N_2$ .

gut eingeführt. Eine klare Vorstellung über den Wert einer guten Beleuchtung findet man jetzt weit verbreitet. Weniger bekannt sind jedoch leider die wichtigen Regeln, die bei der Anbringung von Beleuchtungskörpern beachtet werden müssen.

Näheres findet man in Bd. 7 dieses Handbuches, Abschnitt LENZ, S. 863 f.; eine gute Anweisung ist auch in den sehr inhaltsreichen „Leitsätzen der deutschen Beleuchtungstechnischen Gesellschaft“ enthalten.

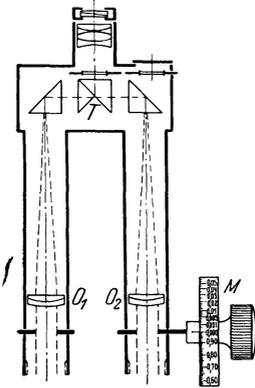


Abb. 64. Schema des PULFRICHschen Stufenphotometers. Im monokularen Doppelfernrohr sieht man mit der Trennungslinie  $T$  die Bilder der Objektive  $O_1$  und  $O_2$  nebeneinander. Das Licht von  $O_2$  kann durch eine AUBERTSche Blende geändert werden. Die Trommel der Triebsschraube ist in logarithmischer Progression geeicht.

Ein besonders wichtiges Gebiet sind schließlich die Methoden der heterochromen Photometrie, die schon auf S. 192 erwähnt wurden, weil sich mit ihnen die relative Empfindlichkeit des Auges für die einzelnen Wellenlängen feststellen läßt. Man kann sogar die Strahlung in Watt messen und eine Beziehung zwischen der Wattzahl und dem Lichtstrom herstellen (s. BRODHUN).

## C. Methoden der Lichtsinnprüfung.

### 1. Vorbemerkungen.

Es muß hier betont werden, daß die Prüfung des Lichtsinnes, sofern exakte Resultate verlangt werden, nicht zu den einfachen Untersuchungsmethoden gehört. Durch die lange Adaptationszeit wird es bedingt, daß es sich oft um etwas ermüdende Versuche handelt; der lange Aufenthalt in einem *Dunkelzimmer* bringt es auch mit sich, daß störende Aufmerksamkeitschwankungen besonders leicht eintreten, daß empfindliche Versuchspersonen (z. B. die Eidetiker im Sinne von JAENSCH, vgl. S. 176) leicht Reaktionen zeigen, welche plötzlich die Schwellenwerte um 50–100% verändern. Wenn man absolute Schwellen bei wissenschaftlichen Forschungen feststellen muß, so ist es erwünscht, daß ausgewählte (geübte und geeignete) Versuchspersonen zur Verfügung stehen. Es scheint, als ob ein großer Teil der Ungenauigkeiten bei früheren Versuchen auf ungenügende Eignung der Versuchspersonen zurückzuführen sei. Es ist aber auch schwierig, durch psychotechnische oder andere Prüfungen vorher zu bestimmen, welche Personen sich eignen werden. Wirklich entscheidend ist der Versuch selbst. Man sollte empfehlen, bei wissenschaftlichen Versuchsreihen möglichst alle Personen auszuschneiden, bei welchen mehrfach größere Schwankungen auftreten als  $\pm 50\%$  Fehlerbreite entspricht, ferner auch alle diejenigen, die über starke Lichtnebel oder gar über Farbenerscheinungen klagen. Es ist selbstverständlich, daß auch manche Menschen in diese Gruppe gehören, die nur eine stärkere Unregelmäßigkeit des Eigenlichtes wahrnehmen. Vielleicht sind die Lichtnebel manchmal nur subjektiv bedingte Erscheinungen und keine echten Phosphene. Trotzdem stören sie.

### 2. Die Technik bei Adaptationsversuchen.

#### a) Herstellung der Helladaptation.

Man geht bei den Adaptationsprüfungen am besten von einem bestimmten Grade der Helladaptation aus. Bei klinischen Prüfungen genügt meist eine vereinfachte Anpassung an Tageslicht. Man läßt dazu die Versuchspersonen

5 Minuten gegen den Tageshimmel blicken. Bei Versuchen mit normalen Vergleichspersonen (HESS, WESSLEY u. a.) kann man auf die Gleichmäßigkeit der Helladaptation vor Beginn der Beobachtungsreihe in weiterem Umfange verzichten. Bei Kriegsuntersuchungen habe ich auch Patient und Vergleichsperson mit dem Rücken gegen das Fenster gesetzt und absichtlich die dann entstehende geringere Helladaptation zum Ausgang genommen, weil dadurch die Dunkeladaptationszeit abgekürzt wurde. An den Abenden habe ich damals mit weißem Papier überklebte Brillengestelle sowohl dem Patienten wie der Vergleichsperson aufgesetzt und sie zur Helladaptation in gleichem Abstand einer elektrischen, in Kopfhöhe befindlichen Birne gegenüber Platz nehmen lassen.

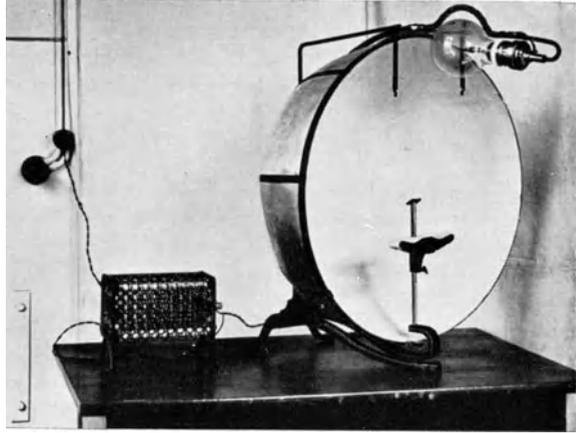


Abb. 65. Helladaptationsgerät der Berliner Universitäts-Augenklinik, in Anlehnung an die Apparate von STARGARDT und TRENDELENBURG nach Angaben von THIEL gebaut.

Neuerdings wurden besondere Apparate angegeben, um eine starke, gleichmäßige Helladaptation zu erzielen, z. B. der STARGARDT'sche Ausbleicher und ein ähnliches, von TRENDELENBURG konstruiertes Gerät, beides innen geweißte Halbkugeln mit starker Wandbeleuchtung (mehrere tausend Lux) (Abb. 65).

Eine sehr gleichmäßige Helladaptation im ganzen Bereich der Gesichtsfelder beider Augen, und zwar an der gleichen Fläche, auf der nachher bei der Dunkeladaptation die Reizlichter projiziert werden, erreicht HERTEL mit einem der ULBRICHT'schen Kugel nachgebildeten kugelförmigen, innen geweißten Hohlraum, der genau abstufbar bis zu 3000 Lux beleuchtet werden kann.

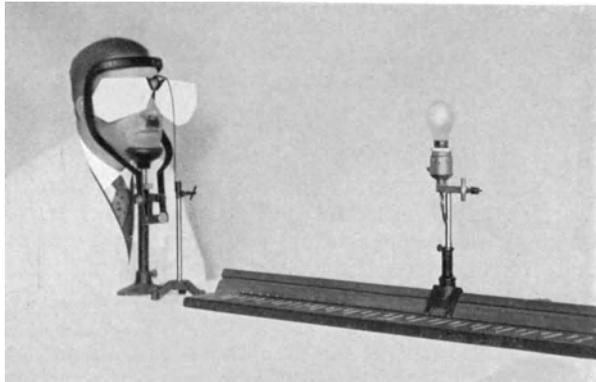


Abb. 66. Gerät für Helladaptation mit variabler Einstellungsmöglichkeit der benutzten Leuchtdichte nach COMBERG. Die auf der optischen Bank in der Mediane des Untersuchten verschobene Glühlampe hat einen nach dem Entfernungsgesetz einstellbaren Beleuchtungswert für die Milchglasscheiben vor den Augen der Versuchsperson.

Eine weitere einfache von mir angegebene Vorrichtung für variable Ein-

stellung der Helladaptation beider Augen möchte ich kurz schildern. Man benutzt einen kleinen Halter mit zwei wie Schmetterlingsflügel geformten Milchglasscheiben, die symmetrisch nach beiden Seiten derart angebracht sind, daß bei dem auf einer Kinnstütze befindlichen Kopf der Versuchsperson gerade die Augenhöhlen abgeschlossen werden. In der Mediane des Kopfes befindet sich eine optische Bank, auf welcher eine elektrische Lampe in beliebigen Abständen

eingestellt werden kann. Die Lampe beleuchtet beide Milchglasscheiben gleichmäßig und dient so zur gleichmäßigen und gleich starken Helladaptation beider Augen (Abb. 66). Mit diesem Verfahren hat der Verfasser exakt abgestufte Helladaptationseinstellungen für quantitative Nachbildversuche in größerer Zahl gemacht.

Auch die variabel beleuchtbare Scheibe des NUTTINGSchen Sensitometers (vgl. unten S. 287) kann zur abgestuften Helladaptation benutzt werden, doch braucht man die genaueren Verfahren nur für wissenschaftliche Versuche.

#### b) Herstellung der Dunkeladaptation.

Ohne Dunkelzimmer läßt sich bei Tage Dunkeladaptation durch einen lichtdicht schließenden Verband erzielen. Man benutzte früher vielfach Kapseln oder Augenklappen dazu. Indes hat NAGEL schon richtig bemerkt, daß nach einer gewissen Zeit von Dunkeladaptation das durch die Orbitalknochen hindurchdringende Tageslicht überschwellig werden und den Adaptationsverlauf merkbar stören kann. Wahrscheinlich sind namentlich bei monokularen Adaptationsversuchen auf diese Weise früher häufig Fehler entstanden. Ich halte es sogar für möglich, daß auch von der zweiten Orbita her durch die Nasenknochen noch schädliches Licht eindringen könnte. Jedenfalls soll man bei monokularen Dunkelverbänden möglichst einen 2 cm breiten Schutz um die Orbitalbegrenzung herum legen und auch die Nasenwurzel mit lichtundurchlässigem Tuch bedecken.

Alle Räume zur Verwendung für Dunkeladaptationsversuche müssen mit lichtdicht schließenden Fenstern versehen sein. Empfehlenswert ist es, bei Zimmern mit Doppelfenstern die inneren Fenster statt mit Glas mit Metallscheiben zu füllen, die besonders sorgfältig einzukitten sind. Zur Sicherheit kann man auch noch schwarze Vorhänge anbringen. Es ist sehr angenehm, wenn sich durch Öffnen der inneren Fensterflügel sofort ein Wechsel zwischen völliger Dunkelheit und heller Tagesbeleuchtung sowie umgekehrt schaffen läßt. Es ist auch leicht möglich, in die Metallscheiben der Fensterflügel AUBERTSche Blenden oder andere Diaphragmen einzuschalten.

#### c) Das Vorgehen bei der Prüfung der Adaptation.

**Behelfsprüfungen.** Die wichtigste Behelfsmethode ist die Beobachtung des Kranken im abgedunkelten Zimmer. Gerade bei simulationsverdächtigen Personen wird sich diese einfache Methode oft gut bewähren. Man kann aus der Art, wie der vom Tageslicht in das abgedunkelte Zimmer Eintretende sich orientiert, manchmal recht sichere Schlüsse ziehen, zumal wenn der Patient nicht daran denkt, daß er beobachtet wird. Die Dunkelräume der Augenkliniken lassen sich leicht unter eine derart herabgesetzte Beleuchtung bringen, daß ein mäßig nachtblinder Patient behindert sein muß. WESSELY hat bekanntlich festgestellt, daß schon eine dreifache Schwellenerhöhung die Myopen im militärischen Nachtdienst stört. Wenn der Patient auch in dem stark abgedunkelten Zimmer Hindernisse richtig vermeidet, vermag man oft auf den ersten Blick zu entscheiden, daß keine erhebliche Nachtblindheit vorliegt. Dabei kommt der Umstand zu Hilfe, daß gerade der Simulant in schwarz gestrichenen Räumen, in welchen offene elektrische Birnen brennen (z. B. Tischlampen im Spiegelzimmer), die Minderwertigkeit der Beleuchtung nicht so leicht erkennt und dementsprechend auffallend wenig gestört ist, während der wirklich Nachtblinde bei der gleichen Beleuchtung auf das stärkste behindert wird. Für Gutachter, welche sich mit diesen Fragen abzugeben haben, empfehle ich zunächst einmal das Verhalten von echten Nachtblinden in den gleichen Räumen

zu studieren. Sie gewinnen damit eine gewisse Sicherheit in der Beurteilung und werden später Simulanten oft sofort an ihrem Verhalten erkennen können.

**Messung absoluter Schwellen.** Für einfache Untersuchungen genügt häufig die Feststellung des Schwellenwertes am Ende der Dunkelanpassungszeit mittels des Adaptometers.

Besonders bei klinischen Untersuchungen ist eine Feststellung am Ende der Adaptationszeit hinreichend, mindestens als Vorversuch, ferner bei Massenuntersuchungen, um den größten Teil der Versuchspersonen zu eliminieren, ohne daß man gezwungen ist, bei allen die umständliche Festlegung der ganzen Adaptationskurve vorzunehmen. Man geht zwecks Messung des zum Schluß vorhandenen Schwellenwertes so vor, daß man den Patienten 30 Minuten oder 40 Minuten sich im Dunkelraum aufhalten läßt und dann dort vor dem vorher aufgestellten Adaptometer die Schwelle mehrere Male hintereinander bestimmt. Eine 3—5fache Wiederholung ist notwendig, um einigermaßen genaue Werte zu erhalten.

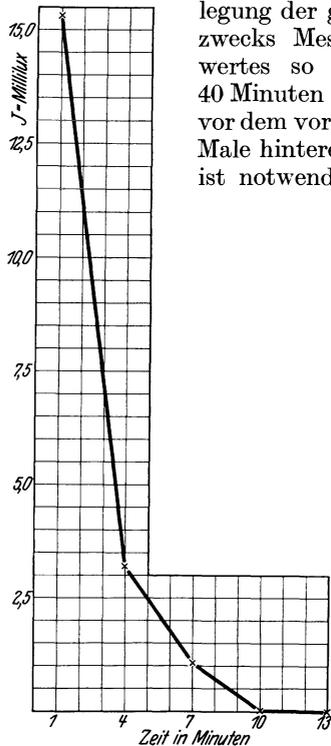


Abb. 67. Standardkurve von G. MATHEY (s. S. 194); Darstellung des Abfalls der Schwellenwerte nach Millilux. (Nach H. K. MÜLLER.)

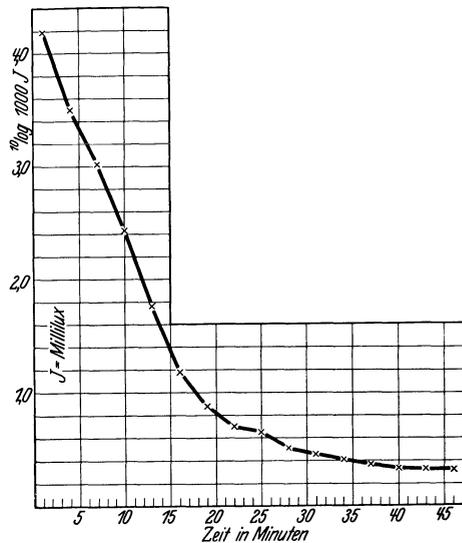


Abb. 68. Standardkurve von G. MATHEY; Darstellung des Abfalls der Schwellenwerte, Ordinatenwerte logarithmisch, Abszissenwerte arithmetisch dargestellt (KOHLELAUSCH u. a.). (Nach H. K. MÜLLER.)

**Festlegung der Adaptationskurve.** Bei genauen Untersuchungen muß die ganze Dunkeladaptationskurve aufgenommen werden, und zwar unter Umständen sogar mehrfach, und in größeren zeitlichen Abständen, damit man entscheiden kann, ob richtige Angaben gemacht werden oder nicht. Bei echter Nachtblindheit wird die Kurve stets ungefähr den gleichen Verlauf zeigen. Simulanten werden stärker wechselnde Angaben machen.

Bei der Kurvenaufnahme muß der Arzt dauernd in der Nähe des Patienten bleiben. Dieser wird unmittelbar nach Ablauf der vorgesehenen Helladaptationszeit z. B. in 60 cm Entfernung vor die Milchglasscheibe des NAGELschen Apparates gesetzt, und es wird nun fortlaufend in Abständen von 5 Minuten die Schwelle bestimmt. Dabei darf die Intensität des Beleuchtungsfeldes nicht zu schnell geändert werden, weil sonst durch den Ablauf der Reaktionszeit (Empfindungszeit) und die dadurch bedingte Verspätung der Angaben ein

größerer Fehler bedingt sein kann (H. K. MÜLLER). Aus ähnlichen Erwägungen sei es wünschenswert, daß die Blendenöffnung der AUBERTSchen Blende nicht unter 500 qmm betrage; man soll z. B. am NAGELSchen Apparat immer möglichst viele Siebblenden einschalten, damit die AUBERTSche Blende des Adaptometers weit geöffnet bleiben kann.

Die erhaltenen Schwellenwerte kann man nun in verschiedener Weise *kurvenmäßig zur Darstellung* bringen. Trägt man sie als Ordinaten ab, während die Abszissenwerte den Minuten der Versuchsdauer entsprechen (Abb. 67), so erhält man eine steile Kurve, deren letzter Teil unübersichtlich

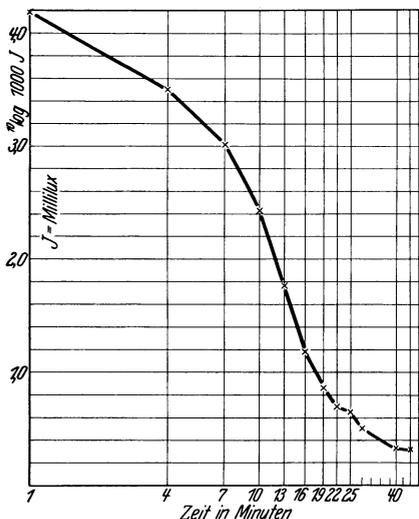


Abb. 69. Standardkurve von G. MATTHEY; Abfall der Schwellenwerte und Abszissenwerte logarithmisch abgestuft (VOM HOFE). (Nach H. K. MÜLLER.)

wird, falls man alles in *einem* Maßstab auf *einem* Blatt Papier darstellen will. Man kann deshalb für Anfangs- und Endteil der Kurve verschiedene Maßstäbe wählen (WESSELY). Bequemer und sehr übersichtlich ist es, die Ordinatenhöhen entsprechend dem Logarithmus des Schwellenwertes abzumessen (BEST, COMBERG, KOHLRAUSCH u. a., s. Abb. 68). Da die Adaptation anfangs mit großer Geschwindigkeit fortschreitet, um allmählich in einer asymptotisch ausgezogenen, d. h. zur Abszisse parallel werdenden Kurve zu enden, so ist die geometrische Darstellung des Schwellenwertabfalles sogar in besonderem Maße geeignet, die ganze Kurve anschaulich wiederzugeben. Man kann auch die Maßstäbe für Schwellenwert und Zeit (also für Ordinate und Abszisse) entsprechend einer logarithmischen Progression einteilen. Dann erhält man unter Umständen nahezu eine gerade Linie (VOM HOFE; Abb. 69).

Nach PIPER sollte man den reziproken Wert der Schwellen gleich „Empfindlichkeit“ setzen und die Empfindlichkeit als Ordinaten abtragen (Abb. 70). Bei diesen Kurven wird ein langsamer Beginn des Adaptationsvorganges vorgetäuscht. In Wirklichkeit ist nur entscheidend, wie die Empfindlichkeit *im Verhältnis zu der jeweils bestehenden Empfindlichkeit* pro Zeiteinheit zunimmt. Bei den PIPERSchen Kurven hat man nur scheinbar den Vorteil, daß man auch die arithmetischen Werte mit einem relativ kleinen Maßstab übersichtlich darstellen kann, weil die großen Zahlen am anderen Ende der Kurve liegen, also dort, wo diese bereits beginnt, asymptotisch zu verlaufen. Es sind aber dafür zu Beginn die Werte nach Empfindlichkeiten gemessen sehr niedrig; auch bei der kurvenmäßigen Darstellung der „Empfindlichkeitszunahme“ wäre es jedenfalls richtiger, entsprechend den Vorschlägen von NAGEL und BEST, KOVÁCS, FRÖHLICH u. a., eine logarithmische Einteilung zugrunde zu legen, welche den Adaptationsfortschritt, also die Zunahme der Empfindlichkeit im Verhältnis zu der vorher bestehenden, darstellt und deshalb auch den Anfangsteil der Kurve besser wiedergibt (vgl. Abb. 71).

Will man bei den Adaptationsversuchen eine genaue Einstellung der gleichen Netzhautstelle erreichen, so kann man den NAGELSchen roten Fixierpunkt benutzen, dessen langwelliges Licht die Adaptation nicht merklich beeinflusst. Größere Flächen, z. B. das Fenster des NAGELSchen Apparates, können aber auch von Ungeübten ohne Fixierpunkt leicht richtig eingestellt werden. Jeder erwachsene Mensch besitzt aus naheliegenden Gründen eine natürliche Übung,

in seinem Gesichtsfelde nahe an der Schwelle liegende Lichtreize wahrzunehmen und unwillkürlich mit den leistungsfähigsten Netzhautstellen weiter zu beobachten.

Überschwellige Reize soll man während des Adaptationsverlaufes am besten vermeiden, wenn auch NAGEL und PIPER angegeben haben, daß solche von kurzer Dauer die Dunkeladaptation nicht stören, sondern die Empfindlichkeit sogar etwas erhöhen. Letzteres ist meines Erachtens nur dadurch bedingt, daß durch den kurzen Lichtreiz ein Netzhautprozeß entsteht, welcher demjenigen des positiven Nachbildes entspricht. Dieser Vorgang kann noch

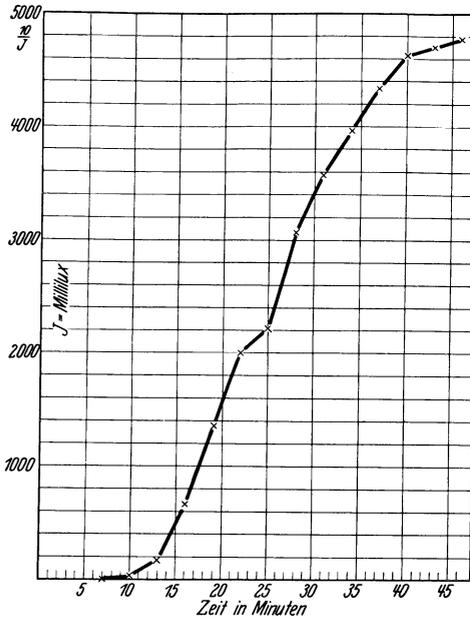


Abb. 70. Standardkurve von G. MATTHEY; Darstellung des Verlaufs der Adaptation durch Wiedergabe von Empfindlichkeitszunahme (Empfindlichkeit = reziproker Wert des Schwellenreizes) bei arithmetischer Progression (PIPER). (Nach H. K. MÜLLER.)

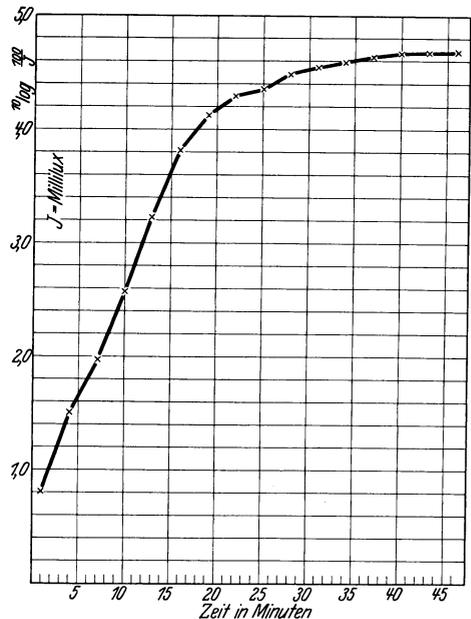


Abb. 71. Standardkurve von G. MATTHEY; Darstellung des Verlaufs der Adaptation durch Wiedergabe der Empfindlichkeitszunahme in logarithmischer Progression (log Basis 10 nach NAGEL). (Nach H. K. MÜLLER.)

unterschwellig sein, wird sich aber zu dem Netzhautprozeß des Schwellenreizes noch eine Zeitlang addieren, so daß dann tatsächlich ein vorher unterschwelliger Netzhautreiz überschwellig zu werden vermag.

Als Einheitwert wurde von WESSELY und COMBERG der Endwert des Normalen benutzt. H. K. MÜLLER hat Bedenken, Anfangs- oder Endwerte der Kurvenaufzeichnung als Einheit zu nehmen, weil die Größe dieser Werte bei den zur Untersuchung kommenden Fällen wechsele. Man müßte natürlich einen Endwert *des Normalen*, der auf Grund einer besonderen Untersuchungsreihe für den benutzten Apparat festzulegen wäre, als Einheit verwenden. Nimmt man den *jeweiligen* Anfangs- oder Endwert als Einheit, so kann man allerdings schwere Nachteile kaum vermeiden, kann wie GASTEIGER gezeigt hat, z. B. bei einer sicher pathologischen Dunkeladaptation die gleiche kurvenmäßige Darstellung erhalten, wie bei normalem Adaptationsverlauf.

Um Fehler zu vermeiden, empfiehlt es sich noch am meisten eine Standardkurve für die gewählten Versuchsbedingungen zu benutzen, deren Ordinatenwerte dem log mit Basis 10 der festgestellten Schwellenwerte entsprechen

und die Prüfungen stets wieder unter den gleichen Bedingungen vorzunehmen wie bei der Aufnahme der Standardkurve, oder jedesmal eine normale Vergleichsperson mit zu untersuchen.

Tabelle 1. Umrechnung der Standardkurve von G. MATTHEY für die Darstellung in den von verschiedenen Autoren in ihren Arbeiten benutzten Schreibweisen; vgl. auch die Abb. 67—71. (Nach H. K. MÜLLER.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zeit in Minuten	Schwellenreize in Millilux = $\frac{1}{J}$	Reziproke Werte der Schwellenreize = $\frac{10}{J}$ (PIPER)	Logarithmen mit der Basis 10 der Schwellenreize = $^{10}\log 1000 J$ (HECHT, KOHLRAUSCH u. a.)	Logarithmen mit der Basis 10 der reziproken Werte der Schwellenreize = $^{10}\log \frac{100}{J}$ (NAGER)	Logarithmen mit der Basis 2 der reziproken Werte der Schwellenreize = $^2\log \frac{100}{J}$ (KOVACS, FRÖHLICH u. a.)	Logarithmen mit der Basis 2 der Schwellenreize. Anfangswert = 1 gesetzt. = $^2\log \frac{100}{J}$ ; (J. = 1) (BEST)	Schwellenreize in relativen Zahlen. Endwert = 1 gesetzt. $J_{40} = 1$ (WESSELY)	Logarithmen mit der Basis 2 der Schwellenreize. Endwert = 1 gesetzt. = $^2\log 1000 J$ ( $J_{40} = 1$ ) (COMBERG)
1	15,31	0,65	4,18	0,82	2,71	0	7325	12,85
4	3,18	3,14	3,50	1,50	4,98	2,27	1525	10,57
7	1,07	9,39	3,03	1,97	6,55	3,85	509	8,99
10	0,268	37,3	2,43	2,57	8,54	5,84	128	7,00
13	0,0569	175,7	1,76	3,24	10,78	8,07	27,2	4,77
16	0,0151	662,3	1,18	3,82	12,69	9,99	7,22	2,85
19	0,00751	1332	0,88	4,12	13,70	10,99	3,59	1,85
22	0,00499	2004	0,70	4,30	14,29	11,58	2,39	1,26
25	0,00451	2218	0,65	4,34	14,43	11,72	2,16	1,11
28	0,00325	3077	0,51	4,49	14,92	12,21	1,55	0,63
31	0,00279	3583	0,45	4,55	15,16	12,45	1,33	0,42
37	0,00230	4348	0,36	4,64	15,41	12,77	1,10	0,14
40	0,00216	4630	0,33	4,67	15,50	12,79	1,03	0,05
46	0,00209	4785	0,32	4,68	15,55	12,84	1	0

Über die Änderung des Kurvenablaufs bei verschieden langer Vorbelichtung haben LOHMANN, RABINOWITSCH, KOHLRAUSCH und H. K. MÜLLER gearbeitet.

H. K. MÜLLER führte neuerdings sehr instruktive Versuche mit künstlich gleichweit gehaltener Pupille (Homatropinpupille 8,5 mm) aus. Die Augen wurden mit dem STARGARDT'schen Helladaptierapparat 1, 2, 5, 10, 20, 40 Minuten intensiv vorbelichtet. Die Anfangsschwelle lag um so höher, je länger die Vorbelichtung dauerte. Bei langen Vorbelichtungen trat nicht sofort ein steiler Abfall der Kurve ein, wie bei kurzer Vorbelichtung.

Die wichtigen Resultate der MÜLLER'schen Arbeiten für die Adaptationsprüfung des Normalen sind kurz folgende: 1. daß ein Einfluß der Vorbelichtung auch insofern besteht, als bei stärkerer Vorbelichtung zunächst ein etwas langsamerer Abfall der Schwellenwerte auftritt; 2. daß eine große Variationsbreite für die Ablesungen trotz exaktester Versuchsanordnung vorhanden ist; 3. daß der mittlere Fehler der Einzelbelichtung um so größer ist, je steiler die Adaptationskurve verläuft; 4. daß man die Kurven nach verschiedener mittlerer bis langer Vorbelichtung bei geometrischer Darstellung durch Verschiebung zur Deckung bringen kann.

MÜLLER glaubte auch wie KOHLRAUSCH eine Umbiegungsstelle beim Übergang von Tages- zum Dämmerungssehen gefunden zu haben. Es fallen dabei große zeitliche Differenzen auf. Wir selbst hatten 1920 unabhängig von KOHLRAUSCH auch einen ähnlichen Knick gefunden und darüber in einer Diskussionsbemerkung zu KOHLRAUSCH (Berliner Physiologische Gesellschaft) berichtet. Bei späteren Untersuchungen habe ich diesen Knick aber auch bei guten Versuchspersonen oft ganz vermißt und auch nur eine größere Unsicherheit in der letzten Zeit festgestellt, die durch Nachbilder hervorgerufen sein kann. Die neue Standardkurve von G. MATTHEY (s. S. 194) zeigt in den ersten 15 Minuten einen ziemlich gleichmäßigen Verlauf.

**Unterschiedsschwellen.** Diese sind an sich leicht feststellbar, lassen sich auch an vielen Photometern ermitteln. Sie sind für die klinische Diagnostik nicht unvorteilhaft, weil die Unterschiedsschwellen bei Lichtsinnstörungen nicht ganz leichten Grades stets merklich erhöht sind und ihre Feststellung im Vergleich zu der Adaptationsprüfung nur sehr kurze Zeit in Anspruch nimmt. Die Verwendung der Unterschiedsschwelle zu exakten Prüfungen stößt aber

doch auf Bedenken. Schon AUBERT hatte gefunden, daß mit Abnahme der absoluten Helligkeit die Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede gleichfalls abnimmt. Man müßte also die Untersuchung stets bei einem annähernd gleichen Adaptationszustand vornehmen, wenn man brauchbare Resultate wünscht. Zweifelsohne ist die Adaptationsmessung bei der Prüfung geringgradiger Abweichungen im Verhalten des Lichtsinner doch ein empfindlicheres Verfahren.

### 3. Spezielle Methoden und Apparate zur Lichtsinnprüfung.

**FÖRSTERSCHER LICHTSINNMESSE (PHOTOPHOTOMETER).** Dieses war der erste für klinische Untersuchungen angegebene Apparat. Ein viereckiger Kasten steht

etwa in Augenhöhe über dem Tisch. An der Vorderseite befinden sich nebeneinander zwei Öffnungen für die Augen des Untersuchten. Daneben liegt ein  $6 \times 6$  cm großes, mit weißem Papier bespanntes für die Beleuchtung der Prüffläche dienendes Lichtfenster, vor welchem eine Kerze brennt. Die für die Beleuchtung der Prüffläche wichtige effektive Öffnung des Lichtfensters ist durch eine sog. AUBERTSche Blende (s. S. 268) zwischen 1 und 500 qmm Fläche zu variieren. Als Objekte dienen für die Beobachtung auf der dem Auge gegenüberliegenden Wand 1 bis 2 cm breite, 5 cm lange schwarze Streifen auf weißem Grunde, von welchen FÖRSTER ausdrücklich angibt, daß er ihren Sehwinkel so groß gewählt habe, damit die Sehschärfe für das Erkennen keine besondere Rolle spielt (Abb. 72).

Es wird von der minimalen zum Erkennen des Streifenmusters nötigen Blendengröße = 2 qmm =  $h$  ausgegangen und die bei Prüfungen des Lichtsinner zur Erkennung benötigte größere Blende mit  $H$  bezeichnet. Dann ist nach FÖRSTER der Lichtsinn des Untersuchten (=  $L$ ) umgekehrt proportional dem Verhältnis  $H/h$ , also  $L = h/H$ . ( $L$  entspricht eigentlich der Empfindlichkeit von PIPER und AUBERT.)

Man hat dem FÖRSTERSCHEN Lichtsinnmesser den Vorwurf gemacht, daß eine getrennte Wahrnehmung distinkter Objekte verlangt werde, welche von einer Funktion des Raumsinner abhängig sei. Tatsächlich ist aber auch das Erkennen etwas größerer Felder aus 1 m Entfernung (z. B. des Feldes am NAGELschen Adaptometer) in ähnlicher Weise durch eine Leistung des Raumsinner beeinflusst. Meines Erachtens sind (ganz entsprechend der alten FÖRSTERSCHEN Angabe) *alle* Objekte bei der klinischen Prüfung des Lichtsinner brauchbar,

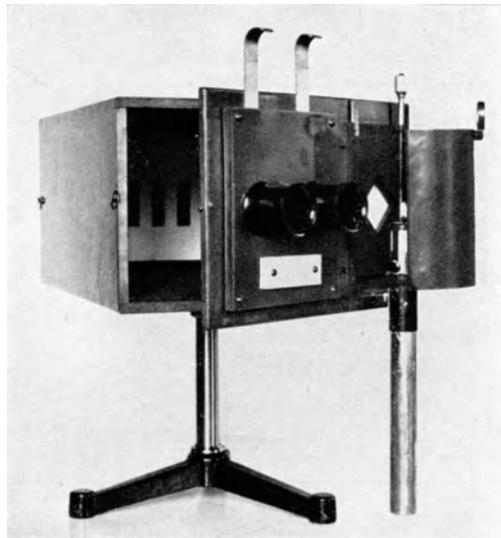


Abb. 72. FÖRSTERSCHER LICHTSINNMESSE. Rechts auf dem Bilde der Halter für die Kerze. Das an der äußeren Wand des eigentlichen Kastens befindliche Gehäuse für die zur Beleuchtung des AUBERTSchen Fensters dienende Kerze ist geöffnet; das Fenster ist sichtbar. Die vordere Kastenwand ist ebenfalls geöffnet, so daß man links auch das Streifenmuster an der hinteren Wand des Kastens erblickt, welches bei der Prüfung durch die variable Beleuchtung des AUBERTSchen Fensters Licht erhält, und als Objekt für die Schwellenmessung dient. Vorne an der Kastenwand sieht man die beiden röhrenförmigen Ansätze für die Augen des Beobachters.

deren Details so große Schwinkel haben, daß die Sehschärfe praktisch keine Rolle spielt. Die modernen Adaptometer werden aus wichtigen Gründen immer wieder auf die Benutzung kleinerer scharf umgrenzter Felder zurückkommen, denn eine einigermaßen genaue Beobachtung der absoluten Schwelle am Ganzfeld, oder an anderen gleichmäßig getönten Flächen ohne scharfe Grenze stößt auch bei sehr geübten Versuchspersonen auf erhebliche Schwierigkeiten.

Wesentlicher als der vorher erwähnte Vorwurf gegen das FÖRSTERSche Photometer ist, daß dem Apparat in der alten Ausführung andere nicht gleichgültige Fehler anhaften, wie z. B. ungleichmäßige Beleuchtung des als Lichtquelle dienenden Papierfensters, die Schwierigkeit, das Auge des Beobachters ganz gegen das Außenlicht zu schützen und die Unmöglichkeit, der Adaptation allein mit der AUBERTSchen Blende weitgehend zu folgen.

Weniger gut als die Benutzung des FÖRSTERSchen Photometers war die

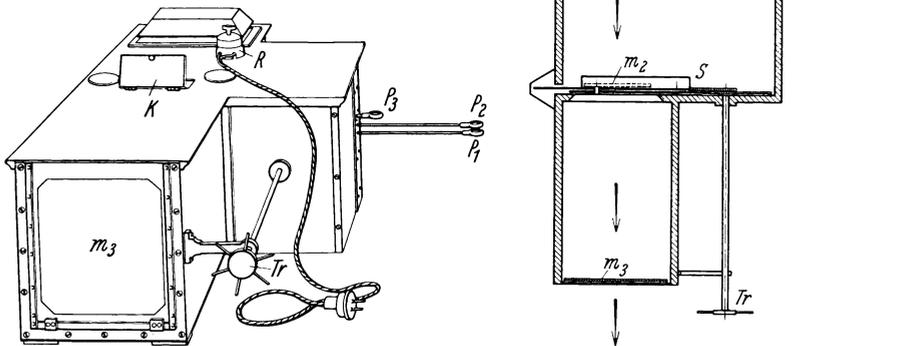


Abb. 73 u. 74. NAGELSches Adaptometer. *L* Lampengehäuse, *m*<sub>1</sub> Milchglasfenster vor dem Lampengehäuse, *m*<sub>2</sub> zweites Milchglasfenster hinter der AUBERTSchen Blende, *m*<sub>3</sub> Milchglasfenster, das der Untersuchte beobachtet, *P*<sub>1</sub>, *P*<sub>2</sub>, *P*<sub>3</sub> Siebblenden, *Tr* Trieb zur Bedienung der AUBERTSchen Blende, *R* Schalter, *K* Deckel der mit Rotlicht beleuchteten Skala.

Methodik bei anderen älteren Vorschlägen, welche eine ausgesprochene *Sehschärfep*prüfung bei minimaler Beleuchtung ansetzen wollten (z. B. A. v. HIPPEL, ALBERTOTTI u. a.) oder gar dachten, mit der unteren Schwelle des *Farbensinnes* den Lichtsinn zu prüfen (WOLFFBERG). Wirkliche Fortschritte in der Untersuchungstechnik wurden in der Zeit nach FÖRSTER erst durch die Konstruktionen NAGELS und PIPERS gemacht.

Neuerdings möchte z. B. MÖLLER wieder anderen Verfahren als der Bestimmung der absoluten Schwellen größere Bedeutung beimessen. Er hat neben der Untersuchung des Unterscheidungsvermögens (Unterschiedsschwellen) auch die Sehschärfe- und die Gesichtsfelduntersuchung bei herabgesetzter Beleuchtung dazu herangezogen. Wohl zur schnellen Orientierung über das Verhalten des Lichtsinnes, nicht zur exakten Prüfung haben diese Verfahren einigen Wert. Dann kann man auch die von mir vorgeschlagene Lampe mit AUBERTScher Blende benutzen (s. S. 269).

Eine ziemlich genaue Messung der Adaptation erhält man mit den Apparaten von NAGEL und PIPER, die in vielen deutschen und ausländischen Instituten Verbreitung gefunden haben.

**NAGELS Adaptometer.** Auch dieses besitzt eine sog. AUBERTSche Blende, daneben aber drei Verdunkelungsscheiben *P*<sub>1</sub>, *P*<sub>2</sub>, *P*<sub>3</sub> (vgl. Abb. 73, 74), deren jede eine Herabsetzung der Intensität auf  $\frac{1}{20}$  bewirkt, alle drei zusammen also eine solche auf  $\frac{1}{8000}$ . In Verbindung mit der 10 000fachen Abstufungsmöglichkeit der AUBERTSchen Blende ergibt sich für das NAGELSche Adaptometer in toto

eine Intensitätsabstufung von 1:80 000 000 und eine genauere Einstellungsänderung von 1 : 2 000 000.

Das Instrument ist in einem Kasten untergebracht, welcher an der Stirnseite eine vom Innern her variabel erhellbare Milchglasplatte trägt. Es arbeitet ebenso wie alle anderen modernen Instrumente mit elektrischem Licht.

**Adaptometer von ENGELKING und HARTUNG.** Dieses enthält in gewissem Sinne eine Fortbildung der Idee des NAGELSchen Instrumentes. Es wird aber ein anderes Prinzip der Lichtabschwächung benutzt und die Ablesung an der Skala erfolgt direkt nach „Empfindlichkeits“-Werten (Empfindlichkeit =  $1/J$ ). (Vgl. Abb. 75.)

Eine kreisförmige Mattscheibe von 10 cm Durchmesser, die der Vorderwand des kastenförmigen Adaptometers als Lichtfläche eingefügt ist, wird von hinten durch eine gewöhnliche Osramlampe beleuchtet, die ohne Widerstand an die Stadtleitung angeschlossen wird. Das Licht kann durch drei wärmebeständige photometrisch geeichte Graufilter von je 1% Durchlässigkeit und ein veränderliches AUBERTSches Diaphragma kontinuierlich abgeschwächt werden. Auf der Skala des Diaphragmas sind die reziproken Werte der Lichtintensität eingetragen. Für jedes vorgeschaltete Graufilter sind diese Werte mit 100 zu multiplizieren, bei Verwendung aller drei Filter also mit 1 000 000. So ist es möglich, die Veränderung der Schwellenwerte ohne Benutzung einer besonderen Tabelle abzulesen. Der Apparat läßt eine Herabsetzung der Ausgangsbeleuchtung auf etwa  $1/600\,000\,000$  zu; gegenüber dem NAGELSchen Adaptometer zeichnet er sich auch durch sein handliches Format (Maße etwa: 41 : 22 : 18 cm) und die bequeme Form der Ablesung aus. (Die Anfertigung des Instrumentes liegt in den Händen der Firma F. L. Fischer, Freiburg i. Br.)

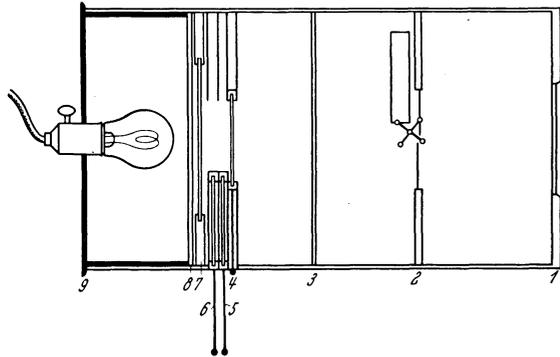


Abb. 75. Adaptometer von ENGELKING und HARTUNG.  
 1 Kreisrunde Milchglasscheibe; 2 AUBERTSches Diaphragma;  
 3 Milchglasscheibe; 4 eingeschobenes erstes Graufilter;  
 5 herausgezogenes zweites Graufilter; 6 herausgezogenes  
 drittes Graufilter; 7 Blauglasfilter; 8 Milchglasscheibe;  
 9 eingeschobener Beleuchtungskasten mit Osrambirne.

**PIPERsches Adaptometer.** Ungefähr gleichzeitig mit dem NAGELSchen Apparat wurde das PIPERSche Adaptometer konstruiert, bei welchem nur mehrere AUBERTSche Blenden hintereinander geschaltet sind und eine gute Abstufungsmöglichkeit von 1 : 400 000 gegeben ist (Abb. 76).



Abb. 76. PIPERSches Adaptometer: Abstufung durch mehrere AUBERTSche Blenden.

**WESSELYS Adaptometer.** ist ein einfacher und doch recht genau arbeitender Apparat, der während der Kriegszeit konstruiert und im Felde an vielen Stellen gebraucht wurde. Es handelt sich um einen Kasten von 1 m Länge, welcher nach der Seite der Lichtquelle so ansteigt, daß durch die an einem Ende befindliche, mit Mattglas versehene AUBERTSche Blende auch das Fensterlicht gut in das Innere weitergeleitet werden kann. Die Einrichtung geht aus der Abb. 77 hervor. Es wird mit meßbarer Lichtstärke das Kreuz in der Mitte

des Kastens beleuchtet, welches mit Mattglas hinterlegt ist. Es wird jeweils die Versuchsperson zusammen mit einem normalen Beobachter untersucht.

**Fünfpunktadaptometer von BIRCH-HIRSCHFELD.** Ein ebenfalls recht brauchbarer Apparat ist das von ZEISS gebaute Fünfpunktadaptometer BIRCH-HIRSCHFELDS (Abb. 78). Bei diesem besonders

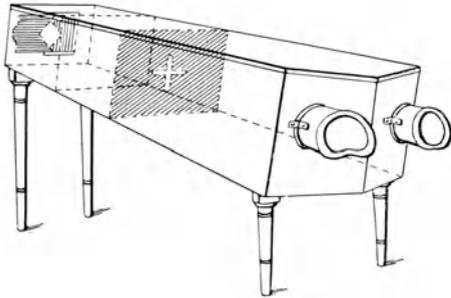


Abb. 77. WESSELYSches Adaptometer. Vorn die beiden Rohre für die gleichzeitig untersuchten Personen, den Normalen und die Versuchsperson. Am anderen Ende das Fenster mit der AUBERTSchen Blende; in der Mitte dazwischen ein Diaphragma mit einem Milchglasfenster in Gestalt eines Kreuzes.



Abb. 78. Fünfpunktadaptometer nach BIRCH-HIRSCHFELD. Man sieht hinter dem relativ durchlässigen Ende des Grauglaskeils die 5 Punkte, welche von hinten her beleuchtet werden. Die Beleuchtung läßt sich durch eine Irisblende noch weiter abstimmen.

kompensiösen Gerät erfolgt die Beleuchtung der 5 transparenten kleinen Flächen (Punkte) durch eine unter Spannungskontrolle gehaltene kleine Birne. Zur Abstufung dienen Graukeile und eine Irisblende.

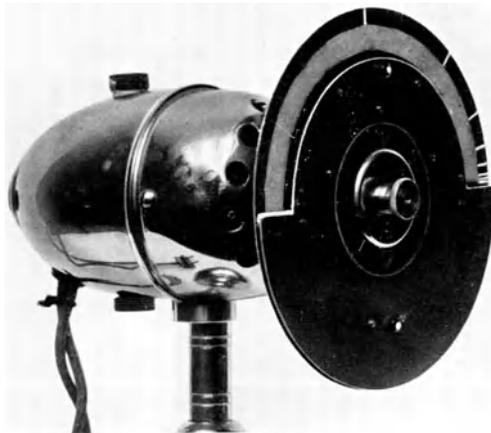


Abb. 79. Leuchtstoffkreiselscheibe nach COMBERG. Die Blende läßt sich mit ihrem linken Rand genau an den Stellen der geometrisch abgestuften Teilstriche des Scheibenrandes einstellen. Da jedesmal eine Feder einspringt, so können die Einstellungen ohne Schwierigkeiten im Dunkelzimmer vorgenommen werden.

Das Leuchtstoffscheibengerät von COMBERG wurde auch für die Benutzung im Felde konstruiert. Auf der Kreiselscheibe ist ein Halbring von Leuchtfarbe aufgetragen, welcher in geometrischer Progression abgeblendet werden kann.

Durch zusätzliche Benutzung eines Grauglases mit 50% und eines weiteren Grauglases mit 75% Absorption erhält man eine variable Intensitätenabstufung von 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048. Der Kreiselring ist für die Beobachtung ein sehr brauchbares Objekt; er läßt sich auch zu physiologischen Versuchen verschiedener Art verwenden, z. B. läßt sich mit ihm leicht demonstrieren, daß die binokulare Reizschwelle niedriger ist als die monokulare.

**Visual-Sensitometer von NUTTING.** In der von BLANCHARD benutzten Form besitzt der Apparat (vgl. Abb. 80) einen großen mattweißen, zur Voradaptation (Helladaptation in bestimmter Abstufung) dienenden Karton *B* von  $60 \times 60$  cm, welcher in der Mitte ein weißes Opalglasfenster von  $3 \times 3$  cm aufweist. Das Fenster wird von hinten her durch eine Nernstlampe (*N*) beleuchtet, deren Faden mit Hilfe einer Linse in einen verstellbaren Spalt (*S*) abgebildet wird. Die Intensität des Lichtes läßt sich durch genau geeichte Grauglaskeile (*W*) von dem Beobachter selbst abstufen und ablesen. Der Beobachter sitzt in 35 cm Abstand

seiner Augen von dem Schirm bei *E*; die abstufbare Beleuchtung des großen Schirmes wird durch die Lampe *F* bewirkt. Bei einigen der BLANCHARDSchen Versuchsreihen wurde zunächst an die Beleuchtung des großen Feldes adaptiert. Man ließ dann den Prüffleck aufleuchten und verstellte den Graukeil so lange, bis der Prüffleck sofort nach Verdunkelung des großen Feldes

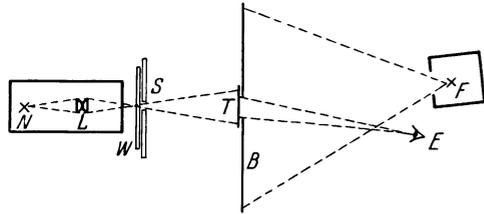


Abb. 80. Schema des NUTTINGSchen Visual-Sensitometers. (Abbildung nach BLANCHARD.) Erläuterung im Text.

eben noch gesehen werden konnte. Bei derartigen Versuchen, die zur Bestimmung der momentanen Schwelle dienten, wurde während der Voradaptation ein kleines Kartonblatt vor das Prüffeld gehalten. Dieses Blatt wurde im Augenblick der Feldverdunkelung fortgezogen und sofort nach der Ablesung wieder vorgeschoben. Bei dieser Anordnung war die Beobachtung des Schwellenwertes leicht möglich (Resultate dieser Versuche vgl. S. 195). Bei anderen Versuchen wurde z. B. der Schwellenwert für eine bestimmte zeitliche Distanz nach Aufhören der Voradaptation festgestellt. Der Apparat ist verhältnismäßig einfach und doch zu verschiedenartigen physiologischen Untersuchungen gut geeignet.

**Der Kugeladaptometer von HERTEL.** Ein neues Verfahren zur Lichtsinnprüfung mit einer Standard-Methode hat HERTEL angegeben und zu diesem Zweck ein Kugeladaptometer (in Verbindung mit Zeiß-Jena) konstruiert. Es ist dies ein sehr zweckmäßiges Gerät, bei welchem der Untersuchte mit seinen Pupillen in die Fläche einer ULBRICHTSchen gleichmäßig erhellten Kugel (s. S. 272) gebracht wird. An der Kugel ist eine Vorrichtung zur starken Beleuchtung für die Helladaptation und gleichzeitig eine solche zur Erzeugung und Messung der Lichter für die Ermittlung der Unterschieds- und Reizschwellen angebracht. Der Patient bleibt während der Hell- und Dunkeladaptation an der gleichen Kinnstütze; die Lichtintensitäten sind leicht einstellbar und meßbar. Es handelt sich um ein genaues und universelles Instrument, das in mancher Hinsicht so leicht nicht übertroffen werden dürfte (Abb. 81).

HERTEL geht davon aus, daß für die Erregung des Auges die Intensität des auf die Netzhautfläche fallenden Lichtstromes maßgebend ist. Da man die Beleuchtungsstärke auf der Netzhaut selbst nicht messen kann, so nahm er die Beleuchtung der Eintrittspupille des Auges zur Grundlage der Messung und erhielt damit auch einen Anhalt für die

Intensität der Netzhautbeleuchtung, weil das Produkt aus der Fläche der Eintrittspupille und ihrer Beleuchtungsstärke gleich dem ins Auge eintretenden Lichtstrom ist.

Die ULBRICHTsche Kugel ist das in der Photometrie gebrauchte und vorher schon geschilderte Gerät (S. 195). HERTEL benutzt eine Hohlkugel von 75 cm Durchmesser mit mattweißem Innenanstrich, an welcher eine Kalotte von 38 cm Durchmesser für den Beobachterkopf ausgeschnitten ist. Die Innenfläche der Kugel wird durch drei außen an der Wand angebrachte Beleuchtungslampen (100 Watt-Projektionsglühlampen) erhellt, welche ihr Licht durch Milchglasfenster in das Innere werfen. Eine vierte Lampe ist die sog. „AUBERTSche Lampe“, eine 50-Kerzenlampe mit 24 Volt Spannung, deren Milchglas-

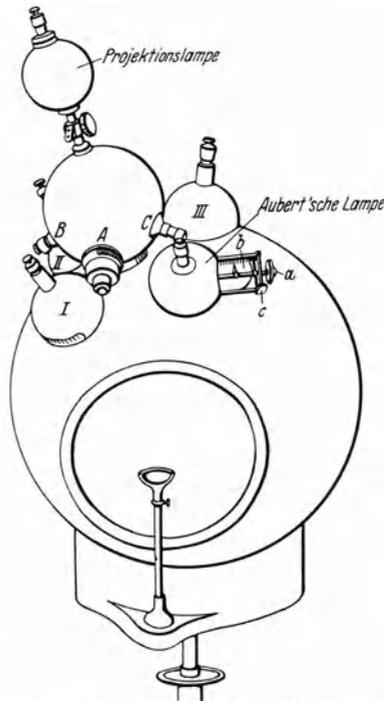


Abb. 81. Kugeladaptometer von HERTEL. In dem unteren Kreis die Kinnstütze. Der Kreis umgrenzt die Öffnung für den Kopf des Untersuchten. Oben die Lampeneinrichtung. Näheres über die Einrichtung im Text.

scheibe durch eine AUBERTSche Blende mit einer maximalen Öffnung bis 25 mm Diagonale und ferner durch ein Absorptionsglas mit etwa  $1\frac{1}{2}\%$  Durchlässigkeit reguliert werden kann. Es befindet sich am Dach der Adaptationskugel noch eine Projektionskugel, im Innern von vier 50-Kerzenlampen beleuchtet und durch eine achromatische Linse von 6 cm Durchmesser in der Adaptationskugel abgebildet. Vor der Linse ist eine Irisblende angebracht. Durch einen Ansatz, welcher eine besondere Lampe enthält und ein Zwischenstück zwischen diesem Ansatz und der Projektionskugel, lassen sich Objekte mit der 6-cm-Linse in die Adaptationskugel hineinprojizieren, welche dort an der dem Beobachter gegenüberliegenden Wand erscheinen. Es wird dazu ein Ring von der scheinbaren Größe 8—12° (für das Auge der Versuchsperson gerechnet) und ein Fleck von 2° benutzt. Wenn nur die Lampe in dem Ansatz an der Projektionskugel brennt, so erscheinen die Objekte hell auf dunklem Grunde, wenn nur die Lampen in der Projektionskugel selbst brennen, so erscheinen die Objekte dunkel auf hellem Grunde. Die Helligkeit der Projektionsbilder läßt sich durch eine Stufenphotometerblende und durch Absorptionsgläser im Zwischenstück abstimmen. Alle Lampen sind in einer zweckmäßigen Schaltung angeordnet, welche den Strom des städtischen Netzes benutzt, der zum Teil durch Widerstände abgeschwächt wird. Zur Eichung der Helligkeit benutzt HERTEL das PULFRICHSche Stufenphotometer.

Bei den Messungen am Kugeladaptometer geht HERTEL folgendermaßen vor: Zunächst 5 Minuten Helladaptation bei 3000 Lux (darauf tritt das PURKINJESche Phänomen erst nach 30 Sekunden auf); dann kann man den Lichtsinn so prüfen, daß man entweder durch Benutzung der AUBERTSchen Lampe das ganze

Feld beleuchtet oder daß man mit der Projektionskugel entweder Fleck- oder Ringtest zur Einwirkung bringt, und zwar entweder positiv oder negativ. Schließlich läßt sich auch die Bestimmung mit Unterschiedsschwellen vornehmen, wenn man nach Abschluß der Helladaptation den Innenraum der Kugel durch die AUBERTSche Blende mit einer bestimmten Intensität beleuchtet und für die gewählte Beleuchtung die Unterschiedsschwellen des Fleck- oder Ringtests feststellt.

Auch der Einfluß von Beleuchtungssteigerungen auf die unmittelbare Schwellenempfindlichkeit läßt sich ausgezeichnet verfolgen, wenn man nach LOHMANN von einem  $\frac{3}{4}$ stündigen Dunkelaufenthalt ausgehend 10 Minuten lang bei bestimmter Wandbeleuchtung hell adaptieren läßt. Natürlich kann man in ähnlicher Weise die Helladaptation selbst mit dem Apparat leicht untersuchen.

Insgesamt läßt sich nach HERTEL der Apparat verwenden:

1. um nach genügender Helladaptation die Dunkeladaptation, also die Variation der Reizschwelle in der Zeit zu messen;

2. um die Helladaptation sowohl nach vorhergehender Dunkeladaptation wie nach beliebigen Voradaptationen zu untersuchen;

3. um die Unterschiedsschwellen bei jeder beliebigen Adaptationslage zu prüfen. — Bezüglich der Resultate vergleiche man die bei HERTEL abgebildeten Kurven.

Auch HERTEL gibt an, daß nach Abschluß der Helladaptation zunächst infolge der Nachbilder und infolge des starken Eigenlichtes, eine gewisse Unsicherheit bestand. Die Kurven verlaufen ähnlich, wie es den von H. K. MÜLLER festgestellten Werten entspricht.



Abb. 82. Der große Photoptriebrillenkasten von TSCHERNING. Der Kasten enthält zwei Reihen nach Photoptrien abgestufte Gläser. Auf den inneren Rahmen des Deckels wurden vor der Photographie die mit einer weichen Umrandung versehenen ringförmigen Fassungen aufgesetzt, in welche die Gläser eingepaßt werden. Wegen der weichen Umrandung ermöglichen sie einen lichtdichten Abschluß des Auges.

**Photometrische Gläser nach TSCHERNING.** Ein sehr einfaches Prinzip der Untersuchung des Lichtsinnes stammt von TSCHERNING. Er gebrauchte logarithmisch abgestufte neutralgraue Gläser und führte den sehr wichtigen neuen Begriff „Photoptrie“ ein („Ph.“). Ein Glas von einer Photoptrie absorbiert 90% des Lichtes, läßt also 10% durchtreten. Schaltet man zwei solche Gläser hintereinander (2 „Ph.“) ein, so wird nur  $\frac{1}{10} \times \frac{1}{10} = \frac{1}{100}$  des Lichtes durchgelassen, bei 3 Gläsern  $\frac{1}{10} \times \frac{1}{10} \times \frac{1}{10} = \frac{1}{1000}$ , bei  $n$  Gläsern  $\frac{1}{10}^n$ . Die Additionsfähigkeit der Gläser ist hier gleich leicht zu benutzen wie bei den Dioptriengläsern des normalen Brillenkastens, bei denen es sich ebenso wie bei den Photoptriengläsern um logarithmische Werte handelt. Weil die Abstufung nach vollen Photoptrien zu grob wäre, hat TSCHERNING Zwischengläser mit der Absorption von  $\frac{1}{4}$  und  $\frac{1}{2}$  Photoptrie eingeführt. Es besteht also auch sofern in der Anordnung ein Parallelismus zu den nach Dioptrien gemessenen Gläsern.

Als absorbierenden Farbstoff benutzt TSCHERNING das im Handel erhältliche Neutralgrau der Höchster Farwerke. Mit diesem Neutralgrau werden Gelatinefolien gegossen und zwar 0,74 g Farbstoff pro Quadratmeter Fläche für Folien, die einem Absorptionswert

von 1 Photoptrie entsprechen sollen. Für stärkere und schwächere Photoptriewerte muß man entsprechend mehr oder weniger Farbstoff nehmen. Die Gelatinefolien werden zwischen Spiegelglasplatten in Kanadabalsam eingelegt. Die Gläser werden in Fassungen nach Art derjenigen geliefert, welche bei den Probierbrillen gebraucht werden (38 mm Glasdurchmesser). Auch eine Reihe von farbigen Gläsern hat TSCHERNING seinem großen Photoptriebrillenkasten beigelegt (Abb. 82).

Zur Benutzung legt man die Gläser in einen Rahmen, welcher insgesamt 3 Gläser hintereinander tragen kann, und hängt diesen in ein Gestell ein, welches vor den Augen festgebunden werden muß. Die Befestigung der Gläser vor dem Auge soll lichtdicht sein. Man kann auf diese Weise das Dunkelzimmer sparen und die Augen im hellen Tageszimmer untersuchen, ähnlich, wie dies der Verfasser schon bei einem im Felde gebrauchten Adaptometer durch eine lichtdicht anschließende Brille ermöglicht hatte [s. COMBERG (a)].

Bei den Untersuchungen TSCHERNINGS wurde eine Kerzenflamme als Testobjekt benutzt. Es stellte sich heraus, daß beim Normalen nach völliger Dunkeladaptation eine Gläserkombination von 9,5 bis 10 Photoptrien benötigt wurde, um beim Durchblicken das Licht einer Stearinkerze in 50 cm Entfernung gerade unsichtbar zu machen. Man kann auch umgekehrt nach vorheriger Dunkeladaptation durch Ermittlung der für Herabminderung des Lichteindruckes einer leuchtenden Fläche bis zur Schwelle erforderlichen Photoptrienzahl photometrische Messungen vornehmen, mit denen sich die Leuchtdichte jeder hellen auf dunklem Grunde dargebotenen Fläche verhältnismäßig leicht bestimmen läßt. Wie allen Schwellenwertmessungen haftet aber auch diesen Bestimmungen der Fehler an, daß sie keine allzu große Genauigkeit versprechen und die Ergebnisse bei mehreren aufeinanderfolgenden Untersuchungen um etwa 50% schwanken. Der methodische Wert der von TSCHERNING und MÖLLER angegebenen Untersuchungsart ist trotzdem recht beträchtlich.

Den Helligkeitswert einer Fläche, welche gerade noch erkannt werden kann (minimum visibile) bezeichnen TSCHERNING und MÖLLER mit dem Werte C (clarté) = 0. (Das entspricht mutatis mutandis übrigens den alten Vorschlägen von WESSELY und COMBERG, welche bei ihren Adaptationsuntersuchungen den Schwellenwert des Normalen = 1 setzten;  $\log. 1 = 0!$ ). Wurde dieser Wert mit Hilfe von photometrischen Gläsern eingestellt, so steigt der logarithmische Wert auf  $C = 1$ , wenn man bei den vorgesetzten Gläsern eine Photoptrie fortläßt, auf  $C = 2$ , wenn 2 Photoptrien weniger eingestellt sind, ebenfalls aber auch auf  $C = 1$ , falls eine zehnmal stärkere Beleuchtung, auf  $C = 2$ , falls eine hundertmal stärkere Beleuchtung, auf  $C = 3$ , falls eine tausendmal stärkere Beleuchtung gewählt wird usw.

Bei diesen an sich einfachen Messungen entsteht ein Fehler, wenn man sich nicht auf feste Vergleichswerte beziehen kann. Da nicht alle Augen gleich beschaffen sind, so muß vor Beginn einer Versuchsreihe zunächst an einem Objekt bestimmter Helligkeit ermittelt werden, wie hoch in C der gefundene Wert für den Untersucher ist. Als festes Bezugsobjekt kann das TSCHERNINGSche *Lamprometer* dienen, ein Testapparat mit einer Argentalampe. Es kann auch nach MÖLLERS Vorschlag ein mit einer Meterkerze beleuchtetes  $27\frac{1}{2}$  qmm großes viereckiges Feld benutzt werden, das eine clarté von 5,0 haben soll; oder man verwendet schließlich die Helligkeit der Kerzenflamme, welche, wie vorhin erwähnt, bei einer Stearinkerze nach MÖLLERS Angabe  $C = 9,5$  betrug.

Bei der Herstellung von Adaptationskurven ging MÖLLER folgendermaßen vor: Er ließ die Flamme einer Kerze auf 50 cm Entfernung anblicken, wobei in dem Rahmen vor dem Auge photometrische Gläser in steigenden Stärken vorgesetzt wurden. Bei einem Glase von 5 Photoptrien, das einer clarté der Kerzenflamme von 5 entspricht, sah er sie schon nach 2 Sekunden, bei einem Glase von  $5\frac{1}{2}$  Photoptrien, das 4,5 clarté-Graden der durch das Glas gesehenen Kerzenflamme entsprechen würde, sah er sie in 3 Sek., bei 6 Photoptrien, die 4 clarté-Graden entsprechen, in 9 Sek., bei 6,5 Photoptrien in 30 Sek., bei 7 Photoptrien in 1 Minute 10 Sek., bei  $7\frac{1}{2}$  Photoptrien in 2 Minuten, bei 8 Photoptrien in 3 Minuten, bei  $8\frac{1}{2}$  Photoptrien in 11 Minuten und bei 10 Photoptrien in 17 Minuten. (Der vorhergehende Adaptationszustand entsprach dabei der Beleuchtungsstärke eines Zimmers um die Mittagszeit bei sonnenhellem Wetter.)

Für einfache klinische Untersuchungen benutzt man nach TSCHERNING und MÖLLER einen von N. FISCHER (Gl. Vartovvej 14, Hellerup, Kopenhagen) hergestellten Kasten, welcher eine auf abgestufte Unterschiedsschwellenwerte eingestellte Skala von so großen Buchstaben enthält, daß die Sehschärfe zur Erkennung keine nennenswerte Rolle spielt. Diese ist auf einer zusammenlegbaren kleinen Papptafel angebracht; außerdem enthält der Kasten eine kleine Kapsel mit Gummiband, die vorn ein Glas von 4 Photoptrien trägt und mit einem Gummiband vor dem Auge des Untersuchten so befestigt wird, daß dieses Auge gegen Seitenlicht dicht abgeschlossen ist, und von dem zutretenden Licht (entsprechend 4 Ph.) 9999/10000 absorbiert wird. Nach den empirischen Feststellungen von MÖLLER und EDMUND vermag man, ausgehend von guter Tagesadaptation, in einem Zimmer am hellen Fenster in 1 m Entfernung nach 3 Minuten Adaptation denjenigen Buchstaben zu erkennen, dessen Helligkeitsunterschied von dem Grunde =  $\frac{1}{18}$  ist. Es handelt sich nach meiner Ansicht *hauptsächlich* um eine abgekürzte *Adaptationsprüfung*; die Zahlen wirken ähnlich wie die Streifen des FÖRSTERSchen Photoptometers, nur daß sie gegenüber dem Untergrund in einigen Graden abgestuft sind.

Außer dem kleinen Kästchen, welches nur die Sehprobe und die Kapsel mit dem Glase von 4 Photoptrien enthält (dem sog. *Skotoptikometer*), ist noch der abgebildete größere Kasten im Handel, in welchem sich umfangreichere Reihen von nach Photoptrien abgestuften Gläsern und 2 Kapseln befinden, mit welchen wechselnde Gläserkombinationen vor die Augen gebracht werden können.

Die TSCHERNINGSche Untersuchungsmethode ist nicht nur wegen ihrer Eigenart recht interessant, sie dürfte auch vielleicht geeignet sein, bei der Prüfung von Soldaten und Automobilisten (besonders bei Massenuntersuchungen), eine bemerkenswerte Rolle zu spielen.

**Prüfung der Unterschiedsschwelle mit dem Kreisels.** Mit dem Farbenkreisels lassen sich Unterschiedsschwellen prozentual recht genau einstellen. Es muß der minimale Sektor bestimmt werden, der noch einen durch Kontrast sichtbaren Ring abgibt. SCHIRMER glaubte, daß die Unterschiedsempfindlichkeit bei Anwendung von Kreiselscheiben innerhalb eines Bereiches von 1—1000 Meterkerzen gleich bleibe. Trotzdem wird man am besten eine ziemlich hohe Beleuchtungsstärke wählen, da die Unterschiedsschwelle bei niedriger Beleuchtung und bei starker Helladaptation auch schon unter mäßiger Beleuchtung beträchtlich abnimmt. Dabei ist der Sehwinkel der Objekte von Einfluß. Kleine Objekte, z. B. Ringe von einer Breite von 15' Sehwinkel, können schon merklich höhere Unterschiedsschwellen geben.

**TREITELSche Tafeln.** Eine Methode, welche früher viele Jahre hindurch als recht brauchbar für klinische Untersuchungen des Lichtsinnes gegolten hat, stammt von TREITEL. Es handelt sich um die Tafeln zur numerischen Bestimmung des Lichtsinnes (s. Abb. 83). Auf schwarzen Tafeln sind kleine hellere Quadrate angebracht, deren Helligkeit einem Kreiselsektor von 3%, 6%, 9% usw. weiß auf schwarz entspricht. Die Helligkeitsdifferenz des dunkelsten Quadrates (3% Weißsektor) ist so gewählt, daß es von jedem Normalen gerade noch leicht erkannt werden kann, die Erkennung dieses Quadrates zeigt nach TREITEL einen normalen Lichtsinn ( $L = 1$ ) an. Ist dieses Quadrat unterschwellig, so soll man durch Aussuchen der Tafel, an welcher das Quadrat gerade noch erkannt wird, den Grad der Lichtsinnstörung numerisch bestimmen, wobei für Erkennung von 6% weiß  $L = \frac{1}{2}$ , 9% weiß  $L = \frac{1}{3}$ , 12%  $L = \frac{1}{4}$ , 36% weiß  $L = \frac{1}{120}$  des Normalen gesetzt wird. Natürlich entbehrt diese „numerische“ Bewertung nicht einer gewissen Willkür. Es gilt auch das, was S. 282 über die Prüfung der Unterschiedsschwellen gesagt ist.

**Differentialpupilloskop.** Es ist hier noch eine *objektive* Methode zu erwähnen, mit welcher in besonderen Fällen auch Unterschiedsschwellen des Lichtsinnes bestimmt werden können. Diese ergibt sich bei der Benutzung des HESSschen Differentialpupilloskops. (Näheres über den Apparat findet sich in diesem Band Untersuchungen der Pupille). Leider ist dieses Verfahren wegen der Störung der Beobachtungen durch die dauernde physiologische Pupillenruhe und wegen der Störungen durch Lokaladaptation doch nicht allzu genau. In zweifelhaften Fällen, insbesondere bei Untersuchung von Simulationsverdächtigen kann man es aber mit heranziehen.

**Prüfung des Gesichtsfeldes.** Auch die gewöhnliche Perimetraufnahme ist eine Untersuchung, bei welcher die Funktion des *Lichtsinn*es zur Festlegung

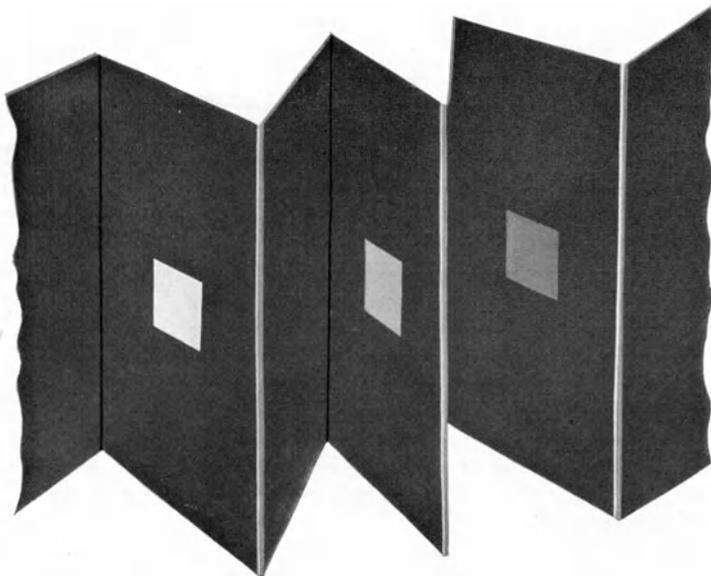


Abb. 83. Teil der TREITELschen Tafel. Zur Erläuterung des Prinzips sind hier 3 Flächen mit den von weiß nach schwarz fortschreitenden grau!getönten Feldern wiedergegeben. Näheres vgl. im Text.

der einzelnen peripheren Grenzpunkte des Gesichtsfeldes herangezogen und mit den üblichen weißen Marken geprüft wird. Es sei hier auf die Darstellung der Gesichtsfeldprüfung in diesem Band und bei KÖLLNER verwiesen.

Ganz eindeutig wird die Perimetrie zu einer Lichtsinnuntersuchung, wenn man die Beobachtungen bei herabgesetzter Beleuchtung vornimmt. Diese „*Dunkelperimetrie*“ ist von STARGARDT ausgebaut worden. Nach eigenen Erfahrungen kann man bei der Untersuchung des Dunkelgesichtsfeldes für einfache klinische Prüfungen von der Anwendung besonderer Apparate, etwa der STARGARDT'schen Beleuchtungsvorrichtung, ganz absehen, wenn man über einen Raum mit einer variablen Abdunklungsmöglichkeit verfügt.

Will man annähernde Angaben über die Herabsetzung der Dunkeladaptation in einem exzentrischen Teil des Gesichtsfeldes haben, so lassen sich für solche Versuche auch die vorher erwähnten TSCHERNING'schen Gläser verwenden. Man kann im abgedunkelten Zimmer kugelförmige weiße Objekte in der mittleren Frontalebene zwischen Untersuchtem und Untersucher vorbeiführen und läßt dabei durch einen Gehilfen dem Auge des Untersuchten und des Untersuchers TSCHERNING'sche Gläser von einem solchen Stärkegrad vorhalten, daß die Prüfobjekte für

beide gerade überschwellig sind. Die Differenz der notwendigen Gläser gibt dann ein quantitatives Maß für den Adaptationsfehler des Untersuchten in dem jeweilig geprüften Gesichtsfeldteil.

## Literatur.

### *Untersuchungsmethoden. Apparate.*

ALBERTOTTI, G.: Über das Verhältnis zwischen Sehschärfe und Helligkeit. *Ann. Ottalm.* **1**, 1 (1878). — ASHER, L.: Ein neuer Spektralapparat. *Verh. dtsh. physik. Ges.* **1903**, 293 (1903). — AUBERT, H.: (a) Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865. (b) Grundzüge der physiologischen Optik. GRAEFE-SAEMISCH' Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 1. Aufl., Bd. 2, Kap. 9. Leipzig 1876.

BEST, F.: Über Dunkeladaptation der Netzhaut. *Graefes Arch.* **76**, 146 (1910). — BIRCH-HIRSCHFELD: Weitere Untersuchungen über Nachtblindheit im Kriege. *Z. Augenheilk.* **38**, 57 (1917). — BJERRUM, J.: Ein Zusatz zur gewöhnlichen Gesichtsfelduntersuchung und über das Gesichtsfeld bei Glaukom. *Verh. 10. internat. med. Kongr. Berlin* **4 II**, 66 (1890). — BLANCHARD, J.: Die Helligkeitsempfindung der Netzhaut. *Dtsch. opt. Wschr.* **7**, 936, 958, 975 (1921). — BLOCH: *Lichttechnik*. Berlin u. München 1921. — BRODHUN, E.: Die Entwicklung der Photometrie in diesem Jahrhundert. *Erg. exakt. Naturwiss.* **6**, 231. Berlin 1927.

COMBERG, W.: (a) Beiträge zur Hemeralopiefrage. *Münch. med. Wschr.* **1917**, 833. (b) Zur Untersuchung des peripheren Gesichtsfeldes. *Ber.* **42**. *Verslg dtsh. ophthalm. Ges.* **1920**, 268. (c) Ein Verfahren zur schnellen Orientierung über den Lichtsinn. *49. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Leipzig* 1932.

DRESCHER, K. u. W. TRENDELENBURG: Eine Lichtfläche zur Normierung der Helladaptation. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **76**, 776 (1926).

ENGELKING: Ein neues Adaptometer. *49. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Leipzig* 1932.

FÖRSTER, R. F.: Lichtsinn bei Krankheiten der Choroidea und Retina. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **9**, 337 (1871).

GASTEIGER, H.: Über Störungen der Dunkeladaptation bei Sehnervenerkrankungen und ihre diagnostische Verwertbarkeit. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **78**, 827 (1927). — GROETHUYSEN: (a) Das Verhalten der motorischen und optischen Unterschiedsempfindlichkeit bei Erkrankungen des Sehorgans. *Ber.* **42**. *Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg* **1920**, 255. (b) Über die Beziehungen zwischen motorischer und optischer Unterschiedsempfindlichkeit bei normalen und krankhaften Zuständen des Sehorgans. *Arch. Augenheilk.* **87**, 152; **88**, 82 (1921).

HELMHOLTZ, H. v.: *Physiologische Optik*, 2. Aufl., S. 355. — HERTEL, E.: Untersuchungen des Lichtsinnes mit einem Kugeladaptometer; ein Weg zu seiner Standardisierung. *13. internat. ophthalm. Kongr. Amsterdam u. Scheveningen* 1929. — HESS, C. v.: (a) Methoden zur Untersuchung des Licht- und Farbensinnes. *ABDERHALDENS Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden*, Abt. V, Teil 6, H. 2, S. 159 u. 169. Berlin-Wien. (b) Messende Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie des Pupillenspiels. *Graefes Arch. Augenheilk.* **90**, 382 (1915). (c) Untersuchungen über die Methoden der klinischen Perimetrie. *Arch. Augenheilk.* **84**, 1; **85**, 1 (1919). (d) Messung der Unterschiedsempfindlichkeit Nachtblinder bei verschiedenen Lichtstärken. *Arch. Augenheilk.* **87**, 81 (1921). — HIPPEL, A. v.: Über ein Photometer. *Berl. klin. Wschr.* **1870**, 424. — HOFFE, VOM: Untersuchungen über den Ablauf der Dunkeladaptation. *Ber.* **46**. *Verslg dtsh. ophthalm. Ges.* **1927**, 305.

KOHLRAUSCH, A.: (a) Untersuchungen mit farbigen Schwellenlichtern über den Dunkeladaptationsverlauf des normalen Auges. *Pflügers Arch.* **196**, 113 (1922). (b) Tagesehen, Dämmersehen, Adaptation. *Handbuch der Physiologie von BETHE-BERGMANN, Photoreceptoren*, Bd. 2, S. 1499. Berlin 1931. — KÖLLNER: Die Untersuchung des indirekten Sehens. *Handbuch von GRAEFE-SAEMISCH*, 3. Aufl., Bd. 3, S. 394.

LAMBERT: *Photometria*, Augsburg 1867; neu erschienen in OSTWALDS Klassikern der exakten Naturwissenschaften, Bd. 31—33. — *Leitsätze* für die Beleuchtung mit künstlichem Licht. Union Verlags-Gesellschaft Berlin SW 19. — LIEBENTHAL, B.: *Praktische Photometrie*. Braunschweig 1907. — LOHMANN, W.: Über Helladaptation. *Z. Sinnesphysiol.* **41**, 290 (1907). — LUCKIESH: *Licht und Arbeit*. Deutsche Bearbeitung. 1926. S. 63. — LUMMER u. KOHN: Vgl. BLOCH, *Lichttechnik*, S. 33. München u. Berlin 1921.

MÜLLER, H. K.: (a) Zur Darstellung des Dunkeladaptationsverlaufes in Kurvenform für klinische Untersuchungen. *Graefes Arch.* **125**, 614 (1931). (b) Über den Einfluß verschieden langer Vorbelichtung auf die Dunkeladaptation und auf die Fehlergröße der Schwellenreizbestimmung während der Dunkeladaptation. *Graefes Arch.* **125**, 624 (1931).

NAGEL, W.: Methoden zur Erforschung des Licht- und Farbensinnes. Handbuch der physiologischen Methodik von TIGERSTEDT, Bd. 3, Abt. 2, S. 1. — NUTTING: Vgl. BLANCHARD, l. c.

PIPER, H.: Über Dunkeladaptation. Z. Sinnesphysiol. **31**, 151 (1903). — PLANCK, N.: Über den Ersatz der Energieverteilung im Normalspektrum. Ann. Physik. **4**, 553 (1901). Ref. LIEBENTHAL: Praktische Photometrie, S. 45. Braunschweig 1907.

RABINOWITSCH, S.: Über den Gang der Schwellenempfindlichkeit bei Dunkeladaptation. Z. Augenheilk. **19**, 301, 464 (1908). — RÖNNE: (a) Zwei Apparate für die augenärztliche Funktionsprüfung. Z. Augenheilk. **17**, 201 (1907). (b) Über das Gesichtsfeld bei Glaukom. Klin. Mbl. Augenheilk. **47**, 12 (1909).

SCHIRMER, O.: Über die Gültigkeit des WEBERSchen Gesetzes für den Lichtsinn. Graefes Arch. **36 IV**, 121 (1890). — STARGARDT: (a) Die Untersuchung des Gesichtsfeldes bei Dunkeladaptation, mit besonderer Berücksichtigung der Solutio retinae. Klin. Mbl. Augenheilk. **44 II**, 353 (1906). (b) Die Untersuchung des Gesichtsfeldes bei Dunkeladaptation. Ref. Münch. med. Wschr. **1907**, 962. (c) Ein Apparat für gleichmäßige Helladaptation. Klin. Mbl. Augenheilk. **78**, 593 (1927). — STEFAN: Über die Beziehung zwischen der Wärmestrahlung und der Temperatur. Wien. Ber. **79 II**, 391 (1879). Ref. bei LIEBENTHAL, S. 95.

TREITEL, T.: Über Hemeralopie und Untersuchung des Lichtsinnes. Graefes Arch. **31 I**, 139 (1885). — TSCHERNING, M.: Photometriske Glas. Fysisk Tidskr. **1922**, 1.

UPPENBORN-MONASCH: Lehrbuch der Photometrie. München u. Berlin 1912.

WESSELY: (a) Ein einfacher Apparat zur Messung der Adaptation. Münch. med. Wschr. **1915**, Feldärztl. Beil., Nr 49. (b) Über Störungen der Adaptation. Arch. Augenheilk. **81**, Erg.-H., 53 (1916). — WOLFFBERG, L.: Über die Prüfung des Lichtsinnes. Graefes Arch. **31 I**, 1 (1885).

# Der Farbensinn.

Von

RUDOLF HELMBOLD-Danzig.

Mit 20 Abbildungen.

## Definition. Begrenzung des Gebietes.

Betrachten wir die Gegenstände der uns umgebenden Welt, so erhalten wir von ihnen einen farbigen Eindruck. Der Schnee erscheint uns weiß, die Kohle schwarz, die Wiese grün. Die letztere Farbe sowie Rot, Gelb, Blau, Violett nebst ihren fast unerschöpflichen Zwischenstufen und Übergängen zu Weiß, Grau und Schwarz bezeichnet man als bunte oder getönte, dagegen Weiß, Grau und Schwarz als ungetönte oder tonfreie Farben. In physikalischer Hinsicht besteht zwischen weißem und farbigem Licht kein trennender Unterschied, da ja beide auf demselben Erregungsfaktor beruhen. Jedoch werden Schwarz, Grau und Weiß als farblose Empfindungen den farbigen gegenübergestellt. Über das Wesen der getönten oder bunten Farben nebst ihren Beziehungen zu Weiß, Grau und Schwarz gibt uns die Lehre vom Farbensinn Aufschluß.

Reize verschiedener Art, wie Stoß, Druck auf das Auge, elektrische Ströme, chemische im Blute kreisende Stoffe (Santonin) können Farbenempfindungen hervorrufen. In erster Linie jedoch sind es die Ätherwellen des Lichtes<sup>1</sup>, die in ihrer großen Mannigfaltigkeit die Sehelemente erregen und die Vorstellung von Farben zur Folge haben: *das Licht ist der adäquate Reiz* für das Sehorgan.

Die *jeweilige Farbenempfindung* gestaltet sich nach der *Art* der *Lichtstrahlen*, welche von einem Objekt ausgehen. Ebenso ist die *physikalische Beschaffenheit* des *Weges* von Bedeutung, den die Strahlen im Auge selbst zurücklegen müssen, bis sie zu den Nervenapparaten gelangen, welche die weitere Vermittelung zum Gehirn ermöglichen. Ferner kommt als ausschlaggebend die *Stimmung*, der *physiologische Zustand*, in welchem sich das Auge befindet, mit in Betracht. Wird die ausgeruhte Netzhaut von Lichtstrahlen getroffen, so reagiert sie in ganz anderer Weise, als wenn sie zuvor schon kürzere oder längere Zeit einer Lichtwirkung ausgesetzt war. Und schließlich dürfen wir ein wesentliches Moment nicht außer acht lassen: die Vorstellung bestimmter Farben, die mit der Erinnerung an die einzelnen Dinge der Außenwelt eng verknüpft bleibt. Sehen wir die Objekte wieder vor uns, so haben sie für uns eine gewisse, gewohnte Farbe (weiße Kreide, gelber Schwefel usw.); obgleich durch stärkere oder schwächere Beleuchtung eine Veränderung des Aussehens sich geltend machen müßte. Diese *Gedächtnisfarben* (HERING) oder *Gewohnheitsfarben* (KÖLLNER) beeinflussen somit unser Sehen in mannigfaltiger Weise, ohne daß wir uns der Einwirkung bewußt zu werden brauchen.

---

<sup>1</sup> Der Einfachheit halber wird hier noch von Ätherwellen des Lichtes gesprochen. Theoretisch-physikalisch ist diese Ausdrucksweise überholt.

Wenn wir im gewöhnlichen Sprachgebrauch ein Objekt als farbig bezeichnen, z. B. eine Citrone gelb oder ein Lichtbüschel rot, so müssen wir uns bewußt bleiben, daß wir wissenschaftlich eine Ungenauigkeit begehen. Reflektiert ein Gegenstand von dem auf ihn fallenden Lichte alle Strahlen, so erscheint er uns weiß oder weißlichgrau, ein anderes Objekt, von dem hauptsächlich langwellige oder kurzwellige Strahlen in unser Auge gelangen, erscheint uns rot oder violett. Wird von einem Gegenstand das Licht vollständig absorbiert oder nur in ganz geringem Grade zurückgeworfen, so sehen wir ihn schwarz oder schwärzlich. Die *Farbe* jedoch ist nach HERING weder eine Eigenschaft des Gegenstandes, noch der von ihm ausgehenden Strahlung, noch der Erregung des inneren Auges, sondern vielmehr ein *Bewußtseinsinhalt* einer *bestimmten Qualität*.

## I. Die Farben als Sehqualitäten

charakterisieren sich durch den *Farbenton*, die *Sättigung* und die *Helligkeit*.

**Farbenton.** Unter Farbenton verstehen wir die den Farben eigentümlichen Unterscheidungsmerkmale, wie wir sie mit dem Namen Rot, Gelb, Blau usw. ausdrücken. Ordnet man die Farbtöne entsprechend dem spektralen Bande mit Einschluß der Purpurfarben, so erhält man von Rot über Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, Purpur zu Rot eine zusammenhängende in sich geschlossene Reihe. In der eben angeführten Folge besteht eine gewisse Ähnlichkeit bzw. Verwandtschaft zwischen benachbarten Farbtönen. Die Ähnlichkeit ist am größten zwischen den dicht aneinander grenzenden Tönen und nimmt mit dem wachsenden Abstand mehr und mehr ab, bis jegliche Ähnlichkeit erlischt. Will man in dieser Beziehung die Schwarz-Weiß-Empfindungen hier einreihen, so müssen wir sie durch Übergänge zu Grau miteinander verbunden betrachten. Dagegen vermissen wir bei Rot-Grün jede Verbindung durch Zwischentöne und ebenso bei Gelb-Blau. Diese Paare zeigen keinerlei Verwandtschaft, sie schließen sich vielmehr gegenseitig aus und stehen in einem gewissen Gegensatz (Gegenfarben; HERING).

**Sättigung.** Wenn die Farbtöne jeglicher Beimischung von Weiß, Grau oder Schwarz entbehren, so erscheinen sie uns rein und werden nach HERING als *freie*, wenn sie mehr oder minder Weißlichkeit, Graulichkeit, Schwärzlichkeit zeigen, als *verschleierte* oder *verhüllte* Buntfarben bezeichnet. Nach HELMHOLTZ benennt man die Farben, welche die geringste Ähnlichkeit mit Weiß haben, *gesättigt*.

Die Spektralfarben bieten uns bei optimaler Lichtstärke die Empfindung völliger Sättigung dar. Dieselbe läßt sich unter gewöhnlichen Bedingungen nicht überbieten durch die Wirkung von Pigmentfarben oder von irgendwelchen Mischungen verschiedener Spektrallichter. Wohl aber können wir die Sättigung erhöhen, wenn wir den Einfluß des simultanen und sukzessiven Kontrastes (s. S. 305) zu Hilfe nehmen. So bekommt ein rotes Spektralfeld ein noch satteres Aussehen, sobald es von einem komplementären Grün-Blau eingerahmt wird, und ein spektrales Gelb erscheint erheblich gesättigter, wenn zuvor ein gegenfarbiges Blau längere Zeit fixiert wurde. Wenn die Lichtstärke ein gewisses Optimum überschreitet, so sinkt die Sättigung der Spektralfarben allmählich bis zur völligen Farblosigkeit. Ebenso stuft sich die Sättigung einer Farbe mit zunehmender Weißbeimischung mehr und mehr ab bis zum reinen Weiß. Die Sättigung kann nach HILLEBRAND definiert werden als „das Verhältnis der farbigen zur farblosen Komponente, oder als der reziproke Wert des Abstandes, den eine gegebene Empfindung von einer Empfindung der Graureihe hat“.

**Helligkeit.** Als drittes Charakteristikum einer Farbe imponiert uns deren Helligkeit bzw. Dunkelheit. Vergleichen wir die relativen Helligkeiten der homogenen Lichter eines Sonnenspektrums, so fallen uns deutlich ausgesprochene Differenzen auf. Am hellsten erscheint uns der Bereich des Gelb. Nach dem langwelligen Spektralgebiet hin nimmt die Helligkeit schon merklich ab, und am wenigsten hell treten uns die Farben der kurzwelligen Lichter entgegen. Durch Steigerung oder Verringerung der Lichtintensität läßt sich die Helligkeit innerhalb bestimmter Grenzen ändern. Deren Überschreitung aber bleibt nicht ohne Einfluß auf den Farbenton. Die weniger hellen roten, gelben, grünen Farben bezeichnen wir als dunkelrot, dunkelgelb, dunkelgrün usw.; sinkt deren Lichtstärke noch mehr herab, so nennen wir sie rotbraun, braun, olivgrün. Den Zusatz grau legen wir den weißlichen Farben von geringer Lichtstärke bei: wie rötlichgrau, gelbgrau, grüngrau.

Die Helligkeit einer Farbenempfindung steht einerseits in engster Beziehung zur Intensität des Reizlichtes, ist aber außerdem noch vom Kontrast und von der Adaptation abhängig.

Farbenton, Sättigung und Helligkeit bedingen sich gegenseitig bis zu einem gewissen Grade. Durch die Änderung von einer der Beziehungen wird auch eine Modifikation der übrigen verursacht. Wird z. B. die Helligkeit einer Farbe gesteigert, so ändert sich auch deren Sättigung und meistens auch ihr Farbenton.

## II. Die OSTWALDSche Farbenlehre.

In seiner neuen Farbenlehre legt W. OSTWALD den Farben der nicht leuchtenden Körper, den sog. Pigmentfarben, größere Bedeutung bei gegenüber den homogenen Lichtern, insofern als die biologische Entwicklung des Auges sich hauptsächlich unter der Wirkung zusammengesetzter Lichtwellengemische vollzogen hat, und als hierbei die reinen Spektralfarben weniger in Betracht kommen. In Erwägung dieses Verhältnisses hält er die Ergebnisse, welche auf den Mischungsgesetzen spektraler Lichter basieren, nur in einem begrenzten Bereich für gültig und nicht ohne weiteres übertragbar auf die Reaktion des Auges gegenüber den Pigmentfarben.

Die *Körperfarben* (bezogene Farben) bilden den Hauptinhalt der OSTWALDSchen Farbenlehre. Sie werden einer systematischen Analyse unterzogen und in *zahlenmäßiger Ordnung* dargestellt, so daß jede einzelne Farbe gegen Verwechslung mit einer anderen genau definiert ist und jederzeit wieder hergestellt werden kann, sei es für theoretische, sei es für praktische Zwecke. Abweichend von der HELMHOLTZschen Anschauung, nach welcher jede Farbe durch Farbenton, Sättigung und Helligkeit charakterisiert ist, bestimmt OSTWALD eine Farbe durch die drei Urvariablen: *Farbton*, *Reinheit* und *Grauegehalt*. Er unterscheidet zwei Klassen: *unbunte Farben*: Weiß, Grau, Schwarz und alle Zwischenstufen, sowie *bunte Farben*: Rot, Gelb, Grün, Blau usw. und alle Zwischenstufen.

Die *reinen Farben* oder *Vollfarben*, d. h. solche, welche weder Weiß noch Schwarz enthalten, finden ihre natürliche Ordnung in dem 100teiligen Farbkreis.

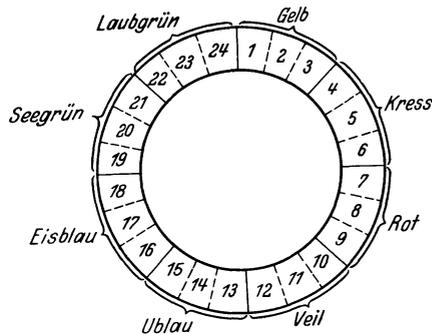


Abb. 1. Der 24teilige Farbkreis.

Er besteht aus 8 Hauptfarben: Gelb, Kreß (Orange), Rot, Veil (Violett), Ublau (Ultramarinblau), Eisblau, Seegrün und Laubgrün. Jede Farbe wird nochmals in drei Untertöne geteilt, so daß man ein I., II., III. Gelb usw. erhält. Es ergeben sich somit 24 Vollfarben. Diese 24 Stufen verteilen sich auf den 100teiligen Farbenkreis in folgender Weise:

	I	II	III		I	II	III
Gelb . . .	00	04	08	Ublau . . .	50	54	58
Kreß . . .	13	17	21	Eisblau . .	63	67	71
Rot . . .	25	29	33	Seegrün . .	75	79	83
Veil. . .	38	42	46	Laubgrün .	88	92	96

Jeder farbige Anstrich enthält außer der reinen Farbe noch Weiß und Schwarz. Die Mischung der beiden letzteren ergibt ein neutrales Grau. Mischt man die reinen Farbentöne mit Weiß, so resultieren die *hellklaren* Farben, die *dunkelklaren* dagegen, wenn die Mischung mit Schwarz erfolgt. Durch Mischung der Vollfarben mit neutralem Grau erhält man die *trüben* Farben.

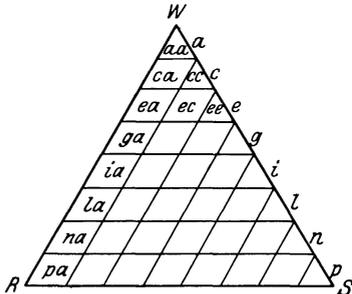


Abb. 2. Genormtes farbtongleiches Dreieck.

Die *Graunormenreihe* läßt sich graphisch durch eine Gerade darstellen, an deren einem Ende das reine Weiß, an deren anderem das reine Schwarz sich befindet. Es gibt nun zwischen diesen beiden Extremen nicht etwa eine endlose Menge von Graustufen, die wir voneinander unterscheiden können, sondern die Zahl ist beschränkt, da die Unterschiedsschwellen der einzelnen Stufen relativ weit

auseinander liegen. Unter Berücksichtigung des FECHNERSchen Gesetzes genügt für praktische Zwecke eine achtstufige Graunormenreihe mit gleichabständigen Grauwerten. Bezeichnet man die einzelnen Werte mit a c e g i l n p, so bedeutet z. B. c ein Grau mit 56 Weiß und 44 Schwarz, wenn man das reine Weiß zu 100 Einheiten annimmt.

Denkt man sich in einem gleichseitigen Dreieck an der einen Ecke die Vollfarbe R, an der zweiten Ecke Weiß R, an der dritten Ecke Schwarz S und auf der Verbindungsseite WS die Grauwerte a bis p aufgetragen, zieht man ferner durch a bis p die Parallelen zu RW und RS, so veranschaulichen die Rhomben die Gesamtheit aller Farben gleichen Tones. Die hellklare Linie verläuft von R nach W, die dunkelklare von R nach S, die Graulinie von W nach S. Im Innern des Dreiecks liegen alle trüben Töne mit den Übergängen von einer Randfarbe zur anderen. Verfährt man in analoger Weise mit den übrigen Vollfarben, so erreicht man mit 24 farbtongleichen Dreiecken eine Mannigfaltigkeit von 680 verschiedenen Farben. Mit der Kreisnummer des Farbtons und dem Buchstaben des Graugehaltes läßt sich jede Farbe genau bezeichnen und leicht wieder finden. Stellen wir die 24 farbtongleichen Dreiecke fächerförmig zusammen, so daß die WS-Seiten sich berühren, so haben wir einen Farbenkörper in Gestalt eines Doppelkegels vor uns mit einer weißen und einer schwarzen Spitze. Die Lage der reinen Farben auf dem Grundkreis, die hellklaren und dunkelklaren auf den Kegelmänteln und die der trüben im Innern des Kegels ist ohne weiteres klar.

Die Messung des *Farbtons* wird im 100teiligen Farbenkreis mit einem besonderen Farbenmischapparat „Pomi“ ausgeführt. Um die *Reinheit* einer Farbe zu ermitteln, wird der Weiß- und Schwarz-Anteil des Anstriches spektral-analytisch festgestellt. Der Reinheitsgrad einer Farbe läßt sich durch die Helligkeitsdifferenz im gleichen und gegenfarbigen Lichte ausdrücken.

Auf Grund dieser Messungen kommt OSTWALD zu dem Schluß, daß die „gesättigten“ Farben nicht aus homogenem Licht einer bestimmten Wellenlänge bestehen, sondern aus den gesamten Lichtern, die zwischen zwei (im Farbkreis) sich gegenüberliegenden Gegenfarben befinden. So gehören zu einem vollfarbigen Gelb sämtliche Spektralfarben vom innersten Rot bis zum äußersten Seegrün. Die Summe aller Lichtarten zwischen zwei Gegenfarben bezeichnet OSTWALD als *Farbenhalb* und das Gemisch daraus als *Vollfarbe*.

Analog den Harmonien in der Akustik versucht OSTWALD auch die Farben in harmonischen Reihen zu ordnen. Er legt hierbei eine einfache Gesetzmäßigkeit zugrunde, nach welcher aus den Farbtonen des Farbkreises oder des Farbkörpers beschränkte Gruppen ausgewählt werden können, die eine Farbenharmonie darstellen. Diese Gesetzmäßigkeit läßt sich auch auf die Graureihe anwenden.

**Farbennamen.** Zu der schier unbegrenzten Schar der verschiedenen Farben steht in grellem Gegensatz die geringe Zahl von Farbennamen. Wir Deutsche kennen Schwarz, Weiß, Grau, Rot, Gelb, Grün, Blau und Braun. Im übrigen müssen wir uns mit Vergleichsbezeichnungen wie Orange, Violett, Lawendelgrau, oder mit Zusammensetzungen wie Rötlichgelb, Blaugrün usw. behelfen. Einzelne Farben haben schon im Altertum eine bevorzugte Stellung als *Grund-* oder *Urfarben* eingenommen. Bei den Griechen waren es Weiß, Rot und Schwarz (Dunkelblau), Ockergelb. LEONARDO DA VINCI stellte außer Schwarz und Weiß Gelb, Grün, Blau und Rot als einfache den anderen Farben gegenüber. NEWTON hob Rot, Oraniengelb, Gelb, Grün, Blau, Indigo besonders hervor. LAMBERT bevorzugte 3 Farben: Rot, Gelb, Blau. Spätere Forscher stellten ebenfalls 3 (Rot, Grün, Violett) bzw. 4 (Rot, Grün, Gelb, Blau) Grundfarben auf. Erwähnt sei noch, daß besonders in der Malerei dem Gefühlseindruck entsprechend die blauen und violetten Farbtöne als kalte, die übrigen als warme gewertet werden.

### III. Die einfachen Lichter.

Die Farbe, in der ein gegebenes Licht erscheint, wird bedingt durch die Wellenlänge bzw. Schwingungsdauer der bewegten Ätherteilchen. Das aus den natürlichen und künstlichen Lichtquellen kommende oder von den Gegenständen zurückgeworfene bzw. gebrochene Licht besteht meist aus Strahlen verschiedener Wellenlängen: *gemischtes* oder *zusammengesetztes* Licht. Mittelst der spektralen Scheidung vermögen wir aus dem Gemisch die einzelnen Lichtarten, denen eine ganz bestimmte Schwingungsdauer eigentümlich ist, als *einfaches* oder *homogenes* Licht auszusondern. Läßt man einen von einer Lichtquelle  $a$  ausgehenden Strahl auf ein Prisma  $P$  fallen, so wird er beim Durchgang durch dasselbe in seiner Richtung abgelenkt und zugleich zerlegt. Fangen wir die aus dem Prisma austretenden

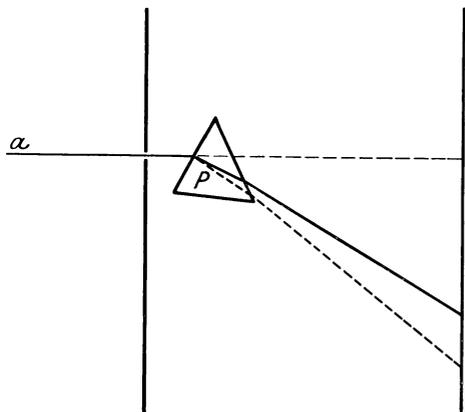


Abb. 3. Strahlenbrechung im Prisma.

divergierenden Bündel mit einem weißen Schirm auf, so erhalten wir ein farbiges Spektralband mit den bekannten Farben des Regenbogens: Rot, Orange, Gelb, Grün, Cyanblau, Indigo, Violett und erkennen, daß Rot die geringste, Violett die stärkste Ablenkung von der ursprünglichen Strahlen-

richtung aufweist. Für Rot ist die Wellenlänge am größten, für Violett am kleinsten. HELMHOLTZ hat zur genauen Bezeichnung der Farben folgende Skala aufgestellt:

FRAUNHOFERSche Linie	Wellenlänge in $m\mu$	Farbe
A	760,40	äußerstes Rot
B	686,85	Rot
C	656,31	Grenze des Rot u. Orange
D	589,63	Goldgelb
	589,02	
E	526,99	Grün
F	486,16	Cyanblau
G	430,83	Grenze des Indigo u. Violett
H	396,88	Grenze des Violett
L	381,96	Überviolett
U	294,77	

Das Spektrum fast aller Lichtquellen überragt die zwischen  $760 m\mu$  und  $397 m\mu$  liegende sichtbare Strecke nicht unerheblich. Der das langwellige Ende überschreitende Teil wird als Ultrarot, der das kurzwellige überschreitende als Ultraviolett bezeichnet. Bei entsprechender Versuchsanordnung sind auch Gebiete des Ultrarot und Ultraviolett noch sichtbar. So sah HELMHOLTZ das Rot bis  $835 m\mu$  und das Violett bis  $318 m\mu$ ; nach MASCART gelang es sogar noch Wellenlängen von  $210 m\mu$  wahrnehmbar zu machen.

Zwei Lichter von verschiedener Wellenlänge, deren Differenz unter ein bestimmtes Minimum nicht sinken darf, rufen auch verschiedene Farbenempfindungen hervor. Und zwar genügt im Bereiche, der zwischen Orange und Grün liegt, schon eine geringe Änderung der Wellenlänge zur Verschiebung des Farbtones. Entfernen wir uns aus dem genannten Gebiete mehr und mehr, so müssen wir zum Erzielen eines verschiedenen Farbeffektes den Wellenlängenunterschied zunehmend vergrößern. Schließlich gelangen wir bei Rot  $655 m\mu$  und beim Violett  $430 m\mu$  an eine Stelle, von der an bis zum Ende des Spektrums eine Änderung des Farbtones nicht mehr erfolgt: *Endstrecken* des Spektrums. Wir sehen also von  $655 m\mu$  an trotz stetig wachsender Wellenlänge die eine Endstrecke in gleichem roten Farbenton, von  $430 m\mu$  an trotz abnehmender Wellenlänge die andere Endstrecke in gleichem violetten Farbenton, allerdings in verschiedener Helligkeit.

Wie schon auf S. 297 erwähnt, erscheint uns das Spektrum in seinen einzelnen Abschnitten verschieden hell. Gelb zeichnet sich durch die größte Helligkeit aus, sodann folgen Grün, Orange, Rot und den Schluß bildet Violett. Durch Erhöhung oder Herabsetzung der Lichtintensität in mittlerem Maße kann man die Helligkeit variieren, ohne den Farbenton zu ändern. Steigert man die Intensität erheblich, so verliert sich der Farbenton. Violett geht durch Weißgrau in Weiß, Blau durch Weißblau in Weiß, Grün durch Gelbgrün in Weiß, Gelb direkt in Weiß, Rot in Hellgelb über. Bei höchster Intensität nähern sich alle farbigen Lichter einem blendenden Weiß. Bei abnehmender Lichtstärke nähern sich Violett dem Rosa, Blau dem Indigoblau. Wird die Intensität noch weiter verringert, so kommen alle Farben allmählich dem Schwarz nahe, werden also ebenfalls farblos wie bei der höchsten Intensitätssteigerung.

#### IV. Lichtmischung.

Dieselbe Farbenempfindung, welche durch ein homogenes Licht bestimmter Wellenlänge verursacht wird, kann auch hervorgebracht werden durch zwei oder mehr Lichter verschiedener Schwingungsdauer, welche gleichzeitig oder

schnell hintereinander dieselbe Netzhautstelle treffen. Dabei ist das Auge aber nicht imstande zu unterscheiden, ob die Wirkung von einfachem oder gemischtem Lichte ausgeht.

Unter den Methoden, verschiedenfarbiges Licht zu mischen und dessen Wirkung auf das Auge zu prüfen, verdient die Verwendung spektralen Lichtes den Vorzug. Man kann sich auch einer rotierenden Scheibe mit verschiedenfarbigen Sektoren (Farbenkreisel) bedienen. Durch schnelle Drehung vereinigen sich die Eindrücke der einzelnen Farben zur Mischfarbe. Oder man benutzt eine zwischen zwei verschiedenfarbigen Feldern senkrecht aufgestellte Glasscheibe. Blickt man schräg durch dieselbe, so sieht man die hintere Farbfläche direkt, die vordere wird von der Scheibe reflektiert. So gelangen die verschiedenen Lichtarten vereinigt zur Retina. Oder man schickt wie beim SCHEINERSchen Versuch durch die beiden mit verschiedenen bunten Glasscheiben bedeckten Öffnungen eines Kartenblattes Licht und erhält ebenfalls Vereinigung der Farben auf derselben Netzhautstelle. Pulverige oder flüssige Pigmente sind zu obigen Versuchen nicht geeignet, weil sie nicht eine Lichtart reflektieren bzw. durchlassen, sondern mehr oder weniger gemischtes Licht.

In dem HELMHOLTZschen Lichtmischapparat besitzen wir eine vorzügliche Einrichtung zur Beobachtung zweier benachbarter farbiger Felder. Dieselben können in quantitativer Abstufung durch einfaches oder gemischtes Spektrallicht erleuchtet und derart reguliert werden, daß sie vollkommen gleich erscheinen. Somit sind wir imstande, beliebige Farbgleichungen herzustellen und mit ihnen den Farbensinn zu prüfen:

a) Wenn wir zwei Lichter mischen, die dem langwelligen oder kurzwelligen Ende des Spektrums entnommen sind, Rot und Violett, so erhalten wir eine Empfindung Purpur, die durch keines der homogenen Spektrallichter allein erzeugt werden kann, die jedoch mit dem Rot und dem Violett Ähnlichkeit besitzt. Nehmen wir die Lichter etwas entfernter von den Enden nach der Mitte zu zur Mischung, z. B. Orange und Indigo, so resultiert ein blasserer Purpur, sog. Rosa. Im übrigen neigt sich der Farbenton je nach der verwendeten Lichtermenge mehr dem Rot oder Violett zu. Sinngemäß gilt dieser Satz auch für die weiter zu erörternden Lichtermischungen.

b) Wählen wir zwei Lichtarten, deren Wellenlängen keinen großen Unterschied aufweisen, so bekommen wir eine Mischfarbe, die einer zwischen den beiden Komponenten liegenden Farbe in Farbenton und Sättigung gleicht, z. B. Rot und Gelb ergeben Orange, Violett und Indigo Blauviolett.

c) Bei größerer Wellenlängendifferenz wird die Mischfarbe weniger gesättigt, als die im Spektrum zwischen den beiden Mischlichtern gelegene Farbe, z. B. gibt Rot und Gelblichgrün ein Gelb, das dem homogenen Spektralgelb in Sättigung erheblich nachsteht; Violett und Blaugrün gibt ein ungesättigtes Indigo, Violett und Grün ein ungesättigtes Blau. Wollte man im Ton und Sättigung eine vollständige Gleichung zwischen der Mischfarbe und dem zwischen den Komponenten gelegenen einfachen Spektrallicht erzielen, so müßte man dem letzteren eine bestimmte Menge weißen Lichtes beimengen.

d) Steigert man den Unterschied der Wellenlängen noch weiter, so erhält man aus der Mischung eine farblose Empfindung: Weiß oder Grau. Lichterpaare mit derartigem Effekte bezeichnet man als *Komplementärfarben*.

Weiß entsteht ebenfalls, wenn man mehrere oder alle Lichter des Spektrums in einem bestimmten Verhältnis vereinigt.

Komplementärfarben sind nach HELMHOLTZ:

Rot	und Grünlichblau	Gelb	und Indigoblau
Orange	„ Cyanblau	Grünlichgelb	„ Violett

Das spektrale Grün besitzt keine einfache Komplementärfarbe, sondern eine erst durch Mischung von Violett und Rot erzielte: Purpur.

Demnach sind wir imstande, durch Mischung von zwei entsprechenden spektralen Lichtern dieselbe Empfindung auszulösen, welche ein bestimmtes einfaches Licht verursacht. Jedoch gelingt es nicht, nur zwei homogene Lichtarten derart auszuwählen, daß ihre Mischungen alle Farben des Spektrums erzeugen. Wohl aber vermögen wir diese Aufgabe zu lösen, wenn wir drei passende Spektrallichter benutzen und zwar Rot, Grün und Violett.

Durch geeignete Mischung dieser drei können wir alle Farbenempfindungen mit Berücksichtigung des Tones, der Helligkeit und fast jeden Sättigungsgrades hervorrufen.

Wenn auch im allgemeinen die angeführten Mischungsgesetze für Personen mit normaler Farbenempfindung gleichmäßig Geltung haben, so lassen sich doch

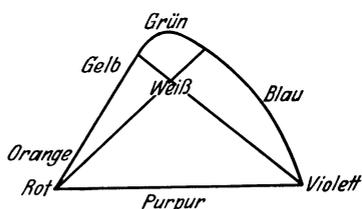


Abb. 4. Farbentafel nach J. v. KRIES.

in vereinzelt Fällen Abweichungen geringen Grades feststellen, ohne daß eine Farbensinnstörung vorliegt. Mitunter beschränkt sich diese Abnormität bei demselben Individuum nur auf ein Auge, während das andere normal funktioniert. Wird z. B. aus spektralem Rot und Grün eine Mischung hergestellt, die einem homogenen Gelb vollkommen gleicht, so wird die Mischfarbe von manchen Beobachtern für mehr rötlich oder mehr grünlich gehalten

und bedarf zum Ausgleich der Regulierung. Diese Erscheinung trifft auch für zahlreiche andere Gleichungen zu, deren Mischfarbe aus zwei oder mehreren Komponenten besteht.

Die Erklärung für solch auffallende Abweichung dürfte in der Absorption zu finden sein, welche das Licht erleidet, wenn es das Pigment der Macula passiert. Es kann als erwiesen angesehen werden, daß die Färbung des gelben Fleckes individuell größeren Schwankungen unterliegt. Die Absorption ist nach HERINGS Untersuchungen für langwelliges Licht kaum merklich, für grünes erheblicher und für violettes am bedeutendsten. Den absorbierenden Einfluß des gelben Fleckes bemerkt man sehr deutlich, wenn man eine Farbenmischung zunächst direkt fixiert und sie darnach extramacular betrachtet; im ersten Falle erscheint ein Rotgrüngemisch gelb, im letzteren Falle grün; ebenso sieht man ein Blaugrün-Grüngemisch direkt weiß, außerhalb des gelben Fleckes blaugrün.

Personen, deren Farbensinn dem oben angeführten Dreikomponentenmischungsgesetz gehorcht, sind farbentüchtig und werden als *Trichromaten* bezeichnet. *Dichromaten* dagegen sind solche, bei denen die Mischung von nur zwei Lichtarten, kurzwelligen und langwelligen zur Auslösung sämtlicher Farbenempfindungen schon ausreicht. Können alle Empfindungen durch eine einzige Komponente erzeugt werden, so liegt ein *monochromatisches System* vor.

Dem Versuche NEWTONS folgend, die Gesetze der Farbenmischung durch eine Schwerpunktskonstruktion darzustellen, haben spätere Forscher unter Berücksichtigung der qualitativen und quantitativen Momente die sämtlichen einfachen Lichter in einer ebenen Linie angeordnet, die Enden derselben durch eine ergänzende Purpurgerade verbunden und so eine geschlossene *Farbentafel* (Abb. 4) erzielt. Jeder Farbenpunkt derselben ist als eine Gewichtsgröße gedacht. Im Innern der Farbentafel, näher dem Gelbgrün, entfernter vom Violett findet sich das Weiß. Man denke sich von diesem Weiß aus in radiärer Richtung die einzelnen Farben mit zunehmender Sättigung bis zur umgrenzenden Kurve aufgetragen. Verbindet man zwei Punkte der Kurve, z. B. Violett und Orange durch eine Gerade, so liegen auf dieser alle Mischungsstufen der beiden Farben.

Ziehen wir die Gerade durch Weiß, so geben deren Schnittpunkte mit der Kurve die Komplementärfarben an, z. B. Indigo-Gelb, Rot-Grünlichblau, Purpur-Grün usw. Die Mischung von drei oder mehr Farben, die wir uns in den Ecken eines Vielecks vorstellen, findet sich in dem Schwerpunkt des Vielecks dargestellt. Denkt man sich ähnlich wie bei der LAMBERTSchen *Farbenpyramide* senkrecht über dem Weiß dieses allmählich in Grau und dann in Schwarz übergehend, daneben die Farben wie auf der Grundfläche geordnet, sich mehr und mehr verjüngend und zugleich an Intensität abnehmend, so erhält man einen kegelschnittartigen Farbenkörper, welcher sämtliche Beziehungen der Farben unter einander sowohl, wie zu Weiß, Grau und Schwarz veranschaulicht.

## V. Die Stimmung des Sehorganes.

Wie wir sahen, sind die objektiven Eigenschaften der einwirkenden Strahlen für die Lichtempfindung in weitem Maße bestimmend. Andererseits ist diese aber auch noch sehr abhängig von dem jeweiligen Zustande, in welchem sich das Auge während des Lichteinflusses befindet (*Stimmung*).

Wird das Sehorgan einer hellen Beleuchtung ausgesetzt, so paßt es sich derselben nach anfänglicher Blendung in einer bestimmten Zeit an: *Helladaptation*. Umgekehrt tritt *Dunkeladaptation* ein, wenn eine sehr geringe Beleuchtung oder völlige Finsternis in Frage kommt (s. diesen Band S. 193 f.). Beide Zustände zeichnen sich durch bedeutende Unterschiede aus.

Und zwar steht das helladaptierte Auge in der Lichtempfindlichkeit weit hinter dem dunkeladaptierten zurück. Im genügend dunkeladaptierten Auge ist die Empfindlichkeit am geringsten im stäbchenfreien Bezirk der Fovea centralis und in der Peripherie der Netzhaut, am größten in einer Zone zwischen  $10^{\circ}$  und  $20^{\circ}$  vom Zentrum entfernt. Bei Helladaptation finden wir die Empfindlichkeit ziemlich gleichmäßig verteilt, vielleicht etwas höher im Zentrum. Das Sehen bei Hellanpassung und bei relativ stärkerer Helligkeit wird als *Tagessehen* bezeichnet. Dagegen sprechen wir von *Dämmerungssehen*, wenn das Auge sich im Zustande der Dunkeladaptation befindet, und wenn eine derartige Herabsetzung der Beleuchtung eingetreten ist, daß eine Farbenunterscheidung im direkten wie im indirekten Sehen zur Unmöglichkeit wird. Die Gegenstände verlieren dann ihr charakteristisches Aussehen, sie erscheinen nur in einem helleren oder dunkleren Grau, ähnlich wie sie der völlig Farbenblinde bei Helladaptation sieht. Betrachten wir im Dämmerungssehen ein entsprechend lichtschwaches Spektrum, so tritt es uns als ein grauweißes Band mit verschieden verteilter Helligkeit entgegen. Durch Regulierung der Intensität können wir die Helligkeiten ändern und vollkommene Gleichungen zwischen beliebigen

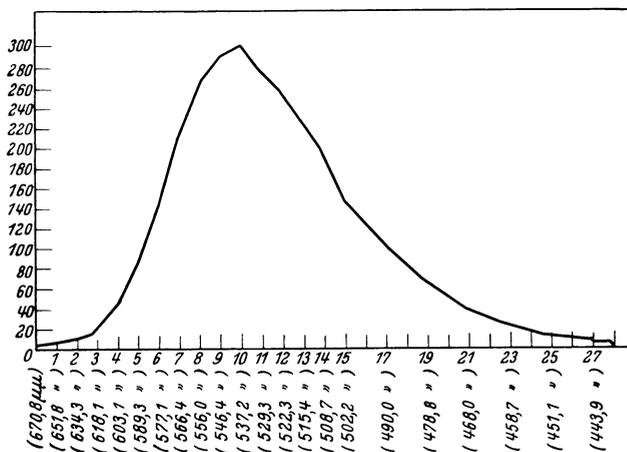


Abb. 5a. Verteilung der Dämmerungswerte im prismatischen Spektrum des Gaslichtes. (Nach SCHATERNIKOFF.)

homogenen Lichtern oder auch zwischen Lichtgemischen unter sich und jenen herbeiführen. Nehmen wir eine bestimmte Helligkeit als Grundwert an, so gelingt es uns durch Vergleich mit ihr die Helligkeitsverteilung des Spektrums zahlenmäßig zu ordnen. Wenn wir diese Dämmerungswerte durch eine Kurve vorführen, so sehen wir, wie sie vom langwelligen Spektralende steil, von dem kurzwelligen aber allmählich zu dem zwischenliegenden Gipfelpunkt bei  $529\text{ m}\mu$  aufsteigt. Dabei fällt uns auf, daß nach dem violetten Ende hin keine, im Gebiete des Rot bei  $670\text{ m}\mu$  aber eine erhebliche Verkürzung des Spektrums besteht. Während uns beim Tagessehen das Gelb  $589\text{ m}\mu$  als hellste Stelle

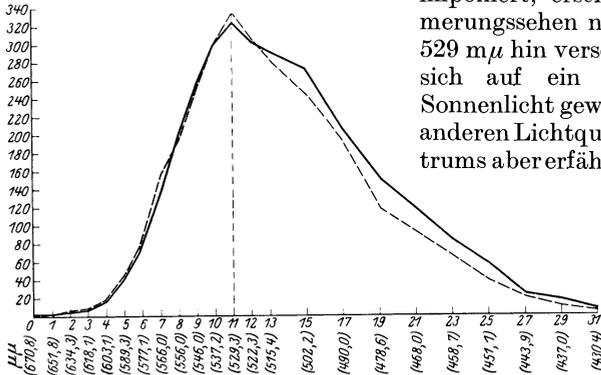


Abb. 5b. Äquivalenzkurve der Helligkeitsverteilung im Dispersionspektrum des direkten Sonnenlichtes - - -, des blauen Himmelslichtes —, für das Dämmerungssehen des Farbentüchtigen. (Nach SCHATERNIKOFF.)

imponiert, erscheint uns diese beim Dämmerungssehen nicht unerheblich nach Grün  $529\text{ m}\mu$  hin verschoben. Dieser Wert bezieht sich auf ein Dispersionspektrum durch Sonnenlicht gewonnen. Bei Benutzung einer anderen Lichtquelle bzw. eines anderen Spektrums aber erfährt die Dämmerungskurve ein etwas anderes Aussehen.

Die Helligkeitsverteilung im Dämmerungssehen hat nicht nur für Personen mit normalem Farbensinn Gültigkeit, sondern auch für solche, bei denen angeborene Farbensinnstörungen, ja sogar totale Farbenblindheit vorliegen.

Wenn man die Intensität farbiger Lichter von Null beginnend allmählich bis zu einem gewissen Grade steigert, so wird im dunkeladaptierten Auge zunächst nur eine Helligkeitsempfindung hervorgerufen (*absolute* oder *generelle Schwelle*) und bleibt auch bei weiterer Steigerung als *farblozes Intervall* bestehen. Überschreitet die Intensität eine höhere Stufe, so stellt sich Farbenempfindung ein (*spezifische Schwelle* oder *Farbenschwelle*). Das farblose Intervall, dessen Vorhandensein nach einigen Autoren (PARINAUD, KÖNIG, v. KRIES) nur für das extrafoveale Netzhautgebiet Gültigkeit haben soll, ist für Rot, soweit solches einen Dämmerungswert besitzt, am kleinsten, für Blau am größten und wächst mit zunehmender Dunkeladaptation. Nach TSCHERMAK besteht bei sehr geringer Lichtstärke zwar ein relatives zentrales Skotom, es schwindet jedoch mit steigender Lichtstärke, und zwar derart, daß auch die Fovea noch an dem Dämmerungssehen im farblosen Intervall teilnimmt.

### Das PURKINJESCHE Phänomen.

Beim Übergang vom Tagessehen zum Dämmerungssehen (Dunkeladaptation) und bei Verminderung der Beleuchtungsintensität macht sich eine als PURKINJESCHES Phänomen bezeichnete Helligkeitsverschiebung farbiger Lichter geltend, zugleich verbunden mit einer Änderung des Sättigungsgrades. Langwellige Lichter werden relativ dunkler, kurzwellige dagegen relativ heller. So erscheint Rot, das bei guter Tagesbeleuchtung ein Blau an Helligkeit übertraf oder ihm gleich war, bei verringerter Beleuchtung dunkler, dann braun, schließlich schwarz, während Blau ein immer helleres Aussehen gewinnt. Das PURKINJESCHE Phänomen kommt nach PARINAUD, v. KRIES, NAGEL u. a. in dem stäbchenfreien Fovealbezirk nicht zur Wirkung. Eine Bestätigung hiervon wird in dem

folgenden Versuch gesehen: man beobachtet wie angegeben ein rotes und ein blaues Objekt, von welchem bei gewöhnlicher Beleuchtung das erste heller als das zweite aussieht, und läßt nunmehr zunehmende Verdunkelung eintreten. Befindet sich der Beobachter in solcher Entfernung, daß die beiden fixierten Farbenobjekte innerhalb eines Winkels von  $1^{\circ}$  liegen und sich somit auf der stäbchenfreien Zone der Fovea centralis abbilden, so bleibt derselbe Helligkeitsunterschied wie zuvor bestehen, wird der Blick nur etwas seitwärts gewendet, so fallen die Farbenbildchen in das stäbchenhaltige Netzhautgebiet: Rot verdunkelt sich, Blau wird heller. Demgegenüber hat HERING nachgewiesen, daß die genannten Autoren bei ihren Versuchen eine zu geringe Intensität des blauen Lichtes benutzten, daß sie die Absorption des Maculapigments nicht genügend berücksichtigten, und daß sie schließlich die rasche Lokaladaptation und eine allzustarke Dunkeladaptation nicht gebührend in Rechnung zogen. Durch eingehende Untersuchungen mit seinem großen Spektralapparat hat HERING unter Ausschaltung jener Fehlerquellen den Beweis erbracht, daß das PURKINJESCHE Phänomen auch für den fovealen Bezirk Geltung hat. (Man vergleiche hierzu auch die Ausführungen auf S. 200—204 dieses Bandes.)

## VI. Farbensehen der exzentrischen Netzhautteile.

Ebenso wie andere Teilfunktionen der Netzhaut mit zunehmender Exzentrizität abnehmen, wie z. B. die Sehschärfe, so ist auch bezüglich des Farbensehens eine Leistungsabnahme zu konstatieren, je weiter exzentrisch die betreffende Netzhautpartie gelegen ist. Wenn wir ein farbiges Objekt von gegebener Feldgröße, Sättigung und Helligkeit auf verschiedenen Abschnitten der Netzhaut zur Abbildung bringen, so finden wir, daß in der äußersten Peripherie das Feld zunächst farblos erscheint und erst bei Annäherung an den Fixierpunkt als farbig erkannt wird. Handelt es sich nicht um Urfarben, sondern um Zwischen- oder Übergangsfarben, so wird eine Blau- und Gelbkomponente eher erkannt als eine Rot- oder Grünkomponente. Hieraus ergibt sich die bekannte Tatsache, daß bei der üblichen Untersuchung am Perimeter mit zunehmend peripherer Abbildung zunächst Grün, dann auch Rot und zuletzt auch Blau nicht mehr in der spezifischen Farbe erkannt werden können. Der Grund für diese Minderwertigkeit ist wohl im wesentlichen in dem anatomischen Bau der Retina zu suchen, die ja nach der Peripherie immer weniger Zapfen und mehr Stäbchen enthält. Näher braucht an dieser Stelle auf diese Verhältnisse nicht eingegangen zu werden, da bezüglich der theoretischen Folgerungen auf S. 364 und der Art der Prüfung auf das Kapitel Untersuchungsmethoden in diesem Bande verwiesen werden kann.

## VII. Nachbilder, Kontrast.

Im Kapitel Lichtsinn sind auf S. 220 f. dieses Bandes die bekannten Erscheinungen über das Anklingen der Empfindungen und über den Nachbildverlauf geschildert worden. Das, was dort für die tonfreien Farbenempfindungen ausgeführt worden ist, gilt grundsätzlich auch für die bunten Farben. Das farbige Anklingen bei intermittierender Reizung, wie es sehr schön die Versuche an der BENHAM'SCHEN Scheibe (s. Abb. 6) zeigen, die bei mäßig schneller Rotation vorzunehmen sind, beruht wahrscheinlich darauf, daß die einzelnen, die Farbenempfindung vermittelnden Substanzen verschieden schnell ansprechen. Dem entspricht, wie namentlich Untersuchungen von BERLINER und DÜRR gezeigt haben, ein verschieden schnelles Anklingen der tonfreien und der bunten Empfindungen bei kurzdauernder Reizexposition.

Über das Abklingen der farbigen Empfindungen ist Ähnliches zu sagen, wie es von COMBERG für die tonfreien Farben im Kapitel Lichtsinn, S. 213 f. geschildert worden ist. Auch hier können wir bei entsprechend intensiver Reizung des Sehorgans positive und negative Nachbilder unterscheiden. Die Farben des negativen Nachbildes verhalten sich im allgemeinen wie Komplementär- oder Gegenfarben, wenn auch eine vollkommene Übereinstimmung nicht herrscht. (Man vgl. hierzu die Ausführungen von TSCHERMAK.)

Ebenso wie bei den tonfreien Farben findet auch eine kontrastive Beeinflussung bei bunten Farben statt. Bringen wir z. B. einen grauen Streifen der

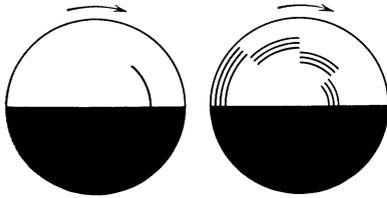


Abb. 6. BENHAMSche Scheibe.

Reihe nach auf einen roten, gelben, grünen, blauen Untergrund, so sehen wir ihn in den Kontrastfarben Grün, Blau, Rot, Gelb. Dieselbe Kontrastwirkung können wir herbeiführen, aber in wesentlich intensiverem Grade, wenn wir den grauen Streifen samt der farbigen Unterlage mit einem dünnen durchsichtigen Papier überdecken: *Florkontrast*. Ein ähnliches schönes Schauspiel bieten uns die *farbigen Schatten*. Man stelle gegen-

über einer weißen Wand zwei Lichtquellen her, von denen die eine Tageslicht, die andere eine mit rotem Glas umhüllte Flamme sei, so werden durch einen zwischen den Lichtquellen und der Wand befindlichen undurchsichtigen Gegenstand auf ihr zwei Schatten entworfen: der eine vom Tageslicht herrührende erscheint rot, der andere grün. Bei Verwendung von weißem und blauem Licht sind die Schatten blau und gelb, bei weißem und grünem Licht grün und rot.

Der sukzessive Farbenkontrast fällt im wesentlichen mit den auf S. 217 f. dieses Bandes erörterten negativen Nachbildern zusammen, sofern nicht durch sukzessive Licht- und Farbeninduktion eine Abweichung sich einstellt.

## VIII. Die Störungen des Farbensinnes.

Wie lange eine Eigentümlichkeit, die jeder Mensch an sich selbst wahrnehmen kann, unerkannt bleibt, lehrt uns der blinde Fleck. Erst 1666 wurde er von dem französischen Physiker MARIOTTE entdeckt. Ist es darum wunderbar, wenn ein anderer Mangel in der Gesichtswahrnehmung, der sich nur bei einem Teil der Menschheit findet, die Farbenblindheit, ebenfalls Jahrtausende der Beobachtung entging? Aus einem Briefe JOSEF HUDDARTS an PRIESTLEY 1777 entnehmen wir die ersten Aufzeichnungen über Farbenblindheit bei einem Schuhmacher und seinen beiden Brüdern. Und zwar scheint der eine total farbenblind, der andere rot- bzw. grünblind gewesen zu sein; über den dritten fehlen die Angaben. Eingehender beschrieb etwas später 1794 das Wesen der Farbenblindheit an seiner eigenen Farbensinnstörung — wahrscheinlich Protanopie — der englische Chemiker und Physiker DALTON. Der Name Daltonismus, welcher von den Franzosen zur Bezeichnung der Farbenblindheit vorgeschlagen wurde, hat sich wenig eingebürgert und wurde besonders von den Engländern mit Recht abgelehnt, mußten sie doch in dem Hervorheben eines Gebrechens eher das Gegenteil als eine Ehrung ihres Landsmannes erblicken.

Die Frage der Farbensinnstörungen erregte alsbald das allgemeine Interesse sowohl in theoretischer wie in praktischer Hinsicht. Wie vielseitig das Thema erörtert worden ist, werden wir im Kapitel über die Farbenempfindungstheorien näher betrachten. Aus der zahlreichen Schar der Forscher seien hier zunächst nur SEEBECK und HOLMGREN genannt. Durch sie wurde man auf die großen Gefahren aufmerksam, welche durch farbenblindes Eisenbahnpersonal herbeigeführt werden können. HOLMGREN setzte es durch, daß in seinem Heimatlande Schweden die Anstellung im Eisenbahn- und Schiffsdienst von der Fähigkeit des sicheren Farberkennens abhängig gemacht wurde, eine Maßnahme,

die alsbald in den meisten europäischen Staaten Nachahmung fand und heute wohl in der ganzen Welt durchgeführt sein dürfte. In praktischer Beziehung sind die Farbensinnesanomalien außer für Signalbeamte noch für eine Reihe anderer Berufsklassen wie Chemiker, Ärzte, Maler, Färber usw. von wesentlicher Bedeutung, um so mehr als der angeborene Mangel eines normalen Farbensinnes beim weiblichen Geschlecht nur selten, beim männlichen dagegen ziemlich häufig angetroffen wird. Berücksichtigen wir außerdem die durch Krankheiten oder sonstige Einflüsse verursachten Farbensinnstörungen, so erhalten wir einen noch weit höheren Prozentsatz. Die Anomalien treten, soweit sie angeboren sind, fast ausnahmslos doppelseitig auf. Die erworbenen Störungen dagegen können sich erklärlicher Weise einseitig oder doppelseitig finden. Die Farbenblindheit kann in allen ihren angeborenen Formen weitervererbt werden<sup>1</sup>.

Mit Recht mag es Verwunderung erregen, wenn bei dem relativ hohem Prozentsatz von Farbenschwachen und Farbenblinden, welchen die anomalen Trichromaten, die Dichromaten und die Monochromaten stellen, die Farbensinnstörungen im allgemeinen so wenig bemerkt werden, sowohl von deren Trägern selbst wie von ihrer Umgebung. Ja mancher farbenblinde Maler mag wohl seine Berühmtheit deshalb erlangt haben, weil die Mit- und Nachwelt in der Farbenzusammenstellung seiner Bilder gerade eine besonders erhabene Kunst erblickte. Vereinzelt tritt der Fehler zutage, so bei Personen, die in der Färberei und ähnlichen Gebieten beschäftigt sind, oder bei Kindern, die beim Erdbeersuchen die Früchte zwischen den Blättern nicht finden; ich erinnere auch an jenen Schneiderlehrling, der von seinem Meister eine schmerzhaftige Quittung erhielt, weil er einen schwarzen Rock mit einem knallroten Flecken ausgebessert hatte. Meistens aber wird der Mangel erst durch eine sachgemäße Farbensinnprüfung aufgedeckt. Wie oft erlebt man dabei, daß der Betroffene in höchste Empörung gerät und sich gegen die Diagnose wehrt, er sei farbenblind, besonders wenn ihm wegen des gefundenen Mangels eine erhoffte Laufbahn gesperrt wird. Die im allgemeinen geringe Auffälligkeit der Farbenblindheit wird uns verständlich, wenn wir die Umstände berücksichtigen, welche geeignet sind, den Fehler zu verbergen. Der Farbenblinde hört von Kindheit an von seinen Altersgenossen und von Erwachsenen, daß der Wald grün, das Blut rot, der Himmel blau ist; er wendet daher natürlich für alle bunten Gegenstände dieselbe Farbenbezeichnungen an, wie seine Umgebung, wenngleich er andere Farbensinnempfindungen von der Außenwelt hat, wie seine Mitmenschen. Die Ausdrücke werden ihm so geläufig, daß er in der Farbenbenennung, zumal wenn es sich um bekannte Objekte handelt, nie einen Fehler begeht, und somit sein mangelhafter Farbensinn unbemerkt bleibt. Schwierig wird ihm die Benennung, wenn es sich um verschiedene Farben handelt, die ihm gleich erscheinen, die der Normale aber mit verschiedenen Namen belegt, weil sie ihm verschieden aussehen. Indessen lernt er allmählich die Unterscheidungsmerkmale, die ihm in den einzelnen Helligkeits- und Sättigungsgraden mehr als dem Normalen bedeuten, auszunützen. Durch die alltägliche dauernde Übung gewinnt er schließlich eine große Fertigkeit im Unterscheiden der Farben und wird auch hier in der richtigen Benennung kaum versagen.

Schon innerhalb des normalen Farbensinnes konnten wir bei den verschiedenen Personen kleine Differenzen nachweisen, die bei der Einstellung bestimmter Mischungsgleichungen hervortraten, und durch abnorme Lichtabsorption im Maculapigment bedingt waren (S. 302). Ebenso müssen wir im Gebiet der einzelnen Typen der Farbensinnstörungen mit gewissen Schwankungen

<sup>1</sup> Über die Vererbung der angeborenen Farbensinnstörungen findet sich das Nötige im Kapitel FRANCESCHETTI in Bd. 1 des Handbuches, S. 757—765.

rechnen. Es besteht somit die Schwierigkeit, die Linie, welche nicht überschritten werden darf, scharf zu begrenzen; man wird Berührungspunkte und feine Übergänge nicht außer acht lassen können; aber es ist immerhin möglich, den normalen Farbensinn von dessen Störungen zu scheiden und letztere in charakteristische Gruppen zu ordnen. Die Gesetze der Lichtmischung bewähren sich auch hierbei als geeignete Mittel zur befriedigenden Lösung der Aufgabe.

Es dürfte sich zunächst empfehlen, die beiden bisher als Farbenschwäche und Farbenblindheit bezeichneten Kategorien nach NAGELS Vorschlag in den Begriff der *Farbenuntüchtigkeit* zusammenzufassen und ihr die *Farbentüchtigkeit* (*normale Trichromasie*) gegenüberzustellen.

### A. Die angeborenen Farbensinnstörungen.

**Anomales trichromatisches Farbensystem.** Treten wir aus dem Bereich der normalen Trichromasie heraus, so gelangen wir in ein benachbartes Feld, in welchem wir zunächst die gleichen Bedingungen antreffen, welche zur Erzeugung aller Farbenempfindungen notwendig sind; wir brauchen ebenfalls die Mischung von mindestens drei Spektralfarben Rot, Grün und Violett. Aber es werden andererseits eine Reihe auffallender Erscheinungen, die wir beim Normalen nicht beobachten, uns entgegentreten: wir befinden uns im Gebiet der anomalen trichromatischen Farbensysteme.

Diese von KÖNIG in Vorschlag gebrachte Bezeichnung erscheint zweckmäßig und soll beibehalten werden an Stelle der weniger präzisen Benennungen: unvollständige Farbenblindheit bzw. schwacher Farbensinn, wenn auch zugegeben werden muß, daß die beiden Begriffe sich mit dem der anomalen Trichromasie nicht vollkommen decken.

**Die Protanomalie und Deuteranomalie.** Die anomalen Trichromaten bilden zwar eine Einheit, aber innerhalb derselben finden sich doch die einzelnen Abweichungen in verschieden starkem Grade ausgeprägt.

Wenn eine größere Anzahl von Personen eine Gleichung zwischen einem homogenen Gelb ( $589\text{ m}\mu$ ) und einer Rot- ( $671\text{ m}\mu$ ) Grün- ( $536\text{ m}\mu$ ) Mischung herstellen soll, so erhält man von den meisten annähernd die gleiche Einstellung; wir haben hier Individuen mit normalem Farbensinn vor uns. Einige zeigen jedoch ein ganz abweichendes Verhalten, eine Erscheinung, welche zuerst von RAYLEIGH entdeckt wurde. Und zwar brauchen die einen mehr Rot, die andern mehr Grün, damit ihnen das Mischlicht mit dem homogenen Gelb gleich aussieht.

Umgekehrt erscheint ihnen natürlich die Gleichung des Normalen nicht einfarbig, sondern sie halten das Feld des gemischten Lichtes entweder für rötlich oder für grünlich gegenüber dem homogenen Gelb.

Entsprechend der Unterempfindlichkeit für Rot und Grün teilt man die anomalen Trichromaten in mehrere Klassen und benennt nach NAGEL diejenigen, welche zur Rayleighgleichung mehr Rot gebrauchen, als *Protanomale* (Rotanomale nach v. KRIES, relativ Grünsichtige nach v. HESS), die andern, welche mehr Grün bei der Mischung hinzufügen, als *Deuteranomale* (Grünanomale, relativ Rotsichtige). Die Benennung gründet sich auf gewisse Ähnlichkeiten, die wir im dichromatischen System — bei den Protanopen und Deuteranopen — wiederfinden werden.

Analog den beiden erwähnten trichromatischen Anomalien forderten theoretische Erwägungen einen dritten Typus: die *Tritanomalie*. ENGELKING ist es durch jahrelange sorgfältige Untersuchungen von Tausenden gelungen, drei Personen herauszufinden, bei denen er durch systematische eingehende Prüfungen die vermutete Farbensinnstörung feststellen konnte; er hat somit den Beweis erbracht, daß der bis dahin unbekannt Typus wirklich vorhanden ist und der

Protanomalie und Deuteranomalie als Tritanomalie (Blauanomalie, ENGELKING) zur Seite gestellt werden kann.

Während bei den normalen Trichromaten kleinere Abweichungen in der Rayleighgleichung auf einer verschiedenen Absorption des Lichtes durch einen Farbstoff der brechenden Medien bzw. der Retina beruhen, sind beim anomalen Trichromaten diese physikalischen Ursachen nicht maßgebend, wie die Farbenprüfung der macularen und perimacularen Zone ergibt, und wie sich an Farbleichungen nachweisen läßt, sondern es müssen in den lichtempfindlichen oder lichtleitenden nervösen Elementen die physiologischen Vorgänge sich anders als in der Norm abwickeln.

Die einzelnen Fälle der Prot- und Deuteranomalien zeigen der Rayleighgleichung gegenüber ein verschiedenes Verhalten. Die eine Gruppe stellt dieselbe Gleichung bei Wiederholungen mit immer derselben Genauigkeit ein, die andere Gruppe dagegen ist in ihren Einstellungen schwankend, sei es daß die Anomalien öfters Änderungen der Helligkeit vornehmen, sei es daß sie das Farbmischungsverhältnis mehrmals korrigieren. Vereinzelt kann sogar die Normalgleichung anerkannt werden, aber gerade hier ergibt die weitere eingehende Untersuchung, daß einerseits ein spektrales Rot mit homogenem Gelb, andererseits ein spektrales Grün mit homogenem Gelb gleich erachtet werden kann, somit Grenzfälle vorliegen, welche die Protanomalie bzw. Deuteranomalie berühren. Ebenso können auf der entgegengesetzten Seite nur so geringe Abweichungen vorhanden sein, daß die Scheidung von der Norm kaum noch möglich wird. Die Rayleighgleichung erweist sich somit als ein vorzügliches Hilfsmittel, die Diagnose der anomalen Trichromasie zu vervollständigen, aber sie gibt nur in einer bestimmten Richtung Aufschluß, nämlich über vorhandene Rotgrünungleichheit, d. h. über das von der Norm abweichende Verhältnis der Fähigkeit Grün zu empfinden zur Fähigkeit Rot zu empfinden (v. HESS). Über etwa gleichzeitige Anomalien der Rotgrünwertigkeit jedoch werden wir nicht orientiert, ebensowenig über Störungen der Blauempfindung. v. HESS hat in letzter Zeit zur Klärung dieser Fragen mittelst einer Reihe von Methoden, wobei er farbige Filter, Pigmentfarben und farbige Schatten verwandte, in hervorragender Weise beigetragen. Er fand, daß die relativ Rotsichtigen (Deuteranomalien) eine normale oder überwertige Blaugelbempfindung besitzen, daß dagegen die relativ Grünsichtigen (Protanomalien) eine bemerkenswerte Unterwertigkeit für Gelb und Blau verraten. In der Rotgrünempfindung wurden bei Protanomalien und Deuteranomalien teils Unter-, teils Normal-, teils Überwertigkeit festgestellt. Wie mannigfaltig sich die einzelnen Wertigkeiten zueinander verhalten, veranschaulicht die folgende Übersicht der Gesichtsfeldgrenzen, die v. HESS für den inneren waagrechten Meridian ermittelte.

Beim Protanomalien ist diese Grenze für

Rot	Grün	Rot	Grün
1. normal	erweitert	4. verengert	verengert
2. verengert	normal	5. verengert	erweitert
3. erweitert	erweitert		

beim Deuteranomalien

Rot	Grün	Rot	Grün
1. normal	verengert	3. erweitert	verengert
2. erweitert	normal	4. verengert	verengert

Diese schon in den Farbgrößen des Gesichtsfeldes hervortretenden Unterwertigkeiten bzw. Überwertigkeiten bestehen anscheinend auch im Bereich des gesamten Sehfeldes. Die Grenzen sind keine absoluten, sondern sie hängen von der Größe der verwendeten farbigen Prüfungsobjekte und deren Sättigung

ab. Die v. HESSschen Ergebnisse sind bisher von anderer Seite noch nicht nachgeprüft worden, was dringend wünschenswert erscheint.

Wenn auch nicht ausschlaggebend für die Diagnose, so doch dieselbe mit sichernd, sind die von v. HESS ermittelten *pupillomotorischen Werte*.

Er konnte mit seinem Differentialpupilloskop (s. diesen Band S. 346) nachweisen, daß die Protanomalien kleinere motorische Rotwerte, dagegen größere motorische Blauwerte zeigen, als der Normale unter gleichen Bedingungen. Bei Deuteranomalien waren die motorischen Werte meist die gleichen wie beim Normalen, vereinzelt für Rot etwas höher. Auffallend war in vielen Fällen von relativer Rotsichtigkeit die geringe Änderung der Pupillenweite bei Wechselbelichtung mit Rot und Grau oder Grün.

Prüfen wir die Anomalen weiter, so entdecken wir bei ihnen noch mehrere typische Erscheinungen. Zunächst fällt bei ihnen eine *verminderte Unterschiedsempfindlichkeit für Farbtöne* auf. Sie halten Farben mit geringen Differenzen der Wellenlängen für gleich, erst mit wachsendem Abstand der Wellenlängen bemerken sie die Verschiedenheit. Desgleichen geraten sie in Schwierigkeiten, wenn eine Änderung der Helligkeit hervortritt. Mindert sie sich, so verwechseln sie leicht lichtschwache Farben, die ein Normaler noch mit Sicherheit erkennt, miteinander, wie Grau mit Grün oder Violett mit Graugrün. Es kann ihnen aber auch passieren, daß sie gleichfarbige Lichter für verschiedenfarbig ansprechen, nur weil sie keine gleiche Helligkeit besitzen. Weiterhin ist für die Anomalen charakteristisch, daß sie zum *Erkennen* von Farben das *Vielfache* von *Zeit* nötig haben, wie der Normale, so für Rot das 20fache, für Grün sogar das 50fache. Man kann sich vorstellen, in welche Verwirrung sie geraten, sobald sie mehrere nur kurze Zeit einwirkende Lichter von verschiedener Farbe beurteilen sollen, mögen sie gleichzeitig nebeneinander oder in kurzen Abständen hintereinander auftreten. Dazu kommt noch eine auffallend *leichte Ermüdbarkeit* der Anomalen farbigen Reizen gegenüber, ein Umstand, der im Verein mit dem verlangsamten Erkennen recht üble Folgen nach sich ziehen kann, zumal wenn es sich um Warnungssignale handelt. Ferner hat man gefunden, daß der Anomale die Farben unter einem mehrfach (bis 12fache) *größeren Gesichtswinkel* betrachten muß, wie ein Normaler, wenn er sie wahrnehmen will. Zu all den Mängeln gesellt sich ein sehr prägnantes Phänomen, der sog. *gesteigerte Farbenkontrast* von Rotgrün hinzu. Läßt man einen Anomalen unter dem erforderlichen Gesichtswinkel eine Reihe von Farben Rot, Grün, Gelb, Weiß hintereinander betrachten, so wird er dieselben richtig erkennen und benennen; sobald er aber die Farben nebeneinander sieht, macht sich bei ihm die interessante Veränderung bemerkbar: Graubraun oder Gelb neben Feuerrot erscheint ihm Grün und umgekehrt als Rot, wenn an Stelle des Feuerrot Grün gebracht wird.

Finden sich all die genannten Symptome bei einem Individuum vereint, so liegt typische Protanomalie bzw. Deuteranomalie vor. Indessen ist nicht allzu selten die eine oder andere Erscheinung stärker, schwächer oder gar nicht vorhanden. Wir haben also eine Reihe von Stufen, welche beim normalen Farbensinn beginnen und bei der Dichromasie enden. Die Begrenzung nach beiden Seiten hin kann keine ganz scharfe sein; aber sie wird sich um so genauer bestimmen lassen, je feiner die angewandten Untersuchungsmethoden sind. Diese Auffassung wird freilich von vielen Forschern nicht geteilt. „Fließende Übergänge“ vom normalen Farbensinn zur anomalen Trichromasie konnten z. B. trotz ausgedehnter Untersuchungen bisher nicht festgestellt werden (ENGELKING).

**Die Tritanomalie.** Die Zahl der bisher beobachteten Fälle von Tritanomalie ist zwar noch sehr gering, indessen bei allen ließen sich die gemeinsamen Merkmale finden, die sinngemäß größtenteils auch denen der Protanomalien und

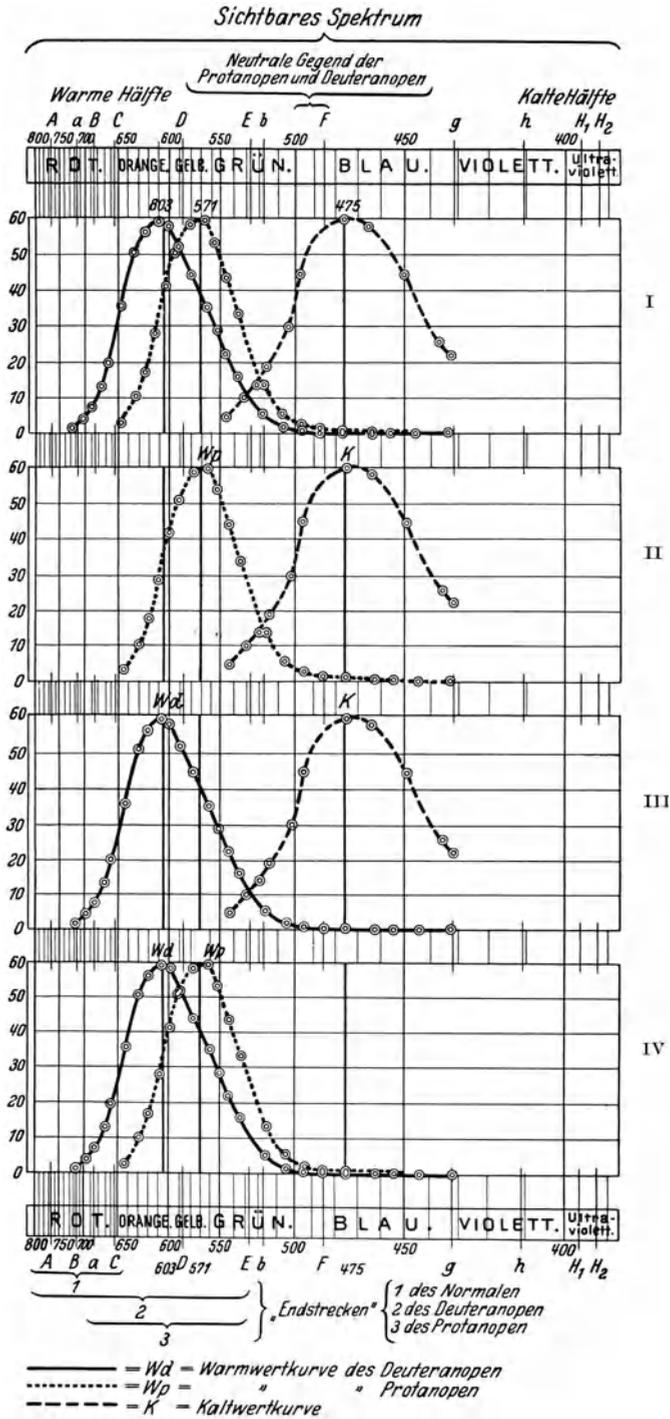


Abb. 7. Eichwertkurven. I Eichkurven des Normalen. II Eichkurven des Protanopen. III Eichkurven des Deutanopen. IV Eichkurven des Tritanopen. (Nach ROSMANT.)

Deuteranomalien entsprechen. Es liegt bei den Tritanomalien ebenfalls ein trichromatisches Alterationssystem vor, verbunden mit einer Herabsetzung des Farbensinnes. Es besteht hochgradige Unterwertigkeit des Blau- und Gelbsinnes. Die Zeit- und Raumschwelle ist für Blau in hohem, für Gelb in geringerem Grade gesteigert. Die Unterschiedsempfindlichkeit für grüne und blaue Töne zeigt eine auffallende Verringerung. Erwähnen wir noch den auch hier vorhandenen gesteigerten Simultankontrast und die deutlich erhöhte spektrale Ermüdbarkeit, so sehen wir, daß die Tritanomalie sich den übrigen Formen der anomalen Trichromasie anschließt. Stehen erst noch mehr Fälle von Tritanomalie zur Verfügung, so wird sich deren Eigenart noch genauer bestimmen lassen und vielleicht zu einer Scheidung führen zwischen Tritanomalie und „Tetartanomalie“.

**Die Dichromasie** (partielle Farbenblindheit) stellt eine Reduktionsform des trichromatischen (Dreikomponenten-) Systems auf zwei Komponenten dar. Für Personen dieser Kategorie genügt die Mischung schon zweier passend gewählter Lichter des Spektrums zur Erzeugung aller überhaupt möglichen Farbenempfindungen. Jedoch unterliegen hier die Empfindungen gegenüber der sehr großen Mannigfaltigkeit, wie wir sie beim Normalen antreffen, einer Beschränkung auf zwei Farben von verschiedener Helligkeit und Sättigung. Mischt man vom langwelligen zum kurzwelligen Ende in bestimmten Abständen fortschreitend die für eine größere Anzahl von homogenen Lichtern passenden Gleichungen aus zwei Spektrallichtern und stellt die zu den Gleichungen verwendeten Lichtmengen in ihrem gegenseitigen Verhältnis (Eichwert) in Kurvenpaaren dar, so erhält man drei typische Formen, denen je eine Gruppe der Dichromaten entspricht. Sie werden nach v. KRIES als *Protanopen*, *Deutanopen* und *Tritanopen* bezeichnet. Die beiden ersten lassen eine engere Zusammengehörigkeit erkennen, insofern als deren eine Kurve aus dem langwelligen, die andere aus dem kurzwelligen Spektralende resultiert. Beim Tritanopen dagegen gehören beide Kurven dem langwelligen Spektralende an. Dabei fällt eine allen drei Formen gemeinsame Eigentümlichkeit auf: von den vier Kurven zweier Gruppen haben immer zwei Kurven den gleichen Verlauf und die gleiche Lage oder in anderen Worten: *das Kurvenpaar einer Gruppe setzt sich aus je einer Kurve der beiden übrigen Gruppen zusammen.*

**Die Protanopie und Deutanopie.** Die dem Protanopen und Deutanopen gemeinsame Kurve finden wir im Bereiche des kalten Spektralteiles, die andere Kurve liegt für den Deutanopen nahe dem entgegengesetzten Spektralende, etwas entfernter von ihm diejenige für den Protanopen. Solche Verschiedenheit legt die Vermutung nahe, daß auch das Farbsehen beider Gruppen voneinander abweicht. Allerdings dürfen wir hierbei nicht außer acht lassen, welchen Einfluß schon innerhalb derselben Gruppe die individuelle Färbung der Macula auf die Absorption des Reizlichtes ausüben kann. Beim Normalen wurde bereits dieser Effekt des gelben Fleckes hervorgehoben.

Wie die Protanopen und Deutanopen die Farben sehen, vermag man mit Bestimmtheit nicht zu sagen. (Auch die von A. v. HIPPEL beobachtete einseitige Farbenblindheit läßt in dieser Hinsicht keine Schlüsse ziehen.) Indessen kann man mit einiger Wahrscheinlichkeit annehmen, daß die beiden dichromatischen Gruppen Weiß empfinden, und daß sie ferner langwellige Lichter gelb, die kurzwelligen blau sehen. Die Empfindung von Rot-Grün fehlt ihnen, sie werden daher auch als *Rotgrünblinde* bezeichnet, und vielfach noch die einen als *Rotblinde* den *Grünblinden* gegenübergestellt. Die Anschauung, erstere seien nicht imstande Rot zu sehen, wohl aber Grün, und bei den Grünblinden sei es umgekehrt, kann wegen des erwähnten beiden gemeinsamen Mangels nicht

zu Recht bestehen. Nehmen wir wieder das Spektrum zu Hilfe, so wird es gelingen Protanopen und Deuteranopen näher zu kennzeichnen.

Wie beim Normalen, so finden wir auch beim Protanopen und Deuteranopen *Endstrecken*, innerhalb deren Gebiet die spektralen Lichter sich zwar durch ihre verschiedene Helligkeit voneinander abheben, im übrigen aber denselben



Abb. 8a. Normales Spektrum.

Farbenton und dieselbe Sättigung beibehalten. Die Endstrecken übertreffen die des Normalen an Ausdehnung ganz bedeutend, sie reichen für die dichromatische Gruppe im langwelligen Teile bis zu  $540\text{ m}\mu$  (normal  $655\text{ m}\mu$ ), in der kurzwelligen Zone bis zu  $465\text{ m}\mu$  (normal  $430\text{ m}\mu$ ). In dem Restbezirk

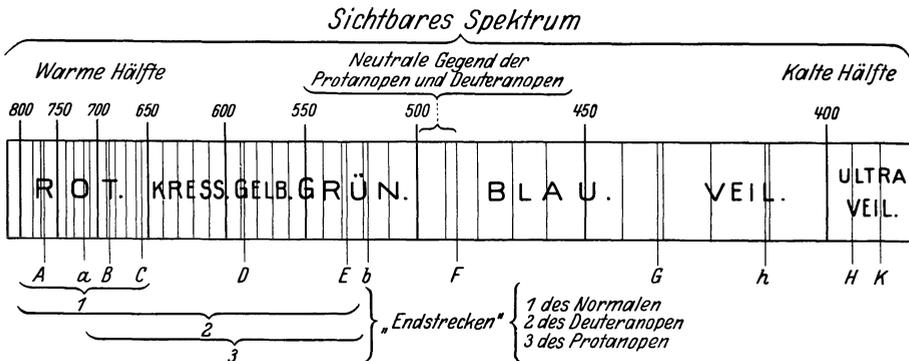


Abb. 8b. Endstrecken des Spektrums. (Nach NAGEL-OSTWALD.)

zwischen  $540\text{ m}\mu$  und  $465\text{ m}\mu$  erscheinen die Farben gelb und blau, nach der Mitte zu an Sättigung mehr und mehr abnehmend, bis schließlich Farblosigkeit (Grauweiß) eintritt.

Diese Stelle (für den Normalen blaugrün) wird als *neutraler Punkt* bezeichnet. Er liegt für beide Dichromaten zwischen  $486\text{ m}\mu$  und  $499\text{ m}\mu$ , für den Deuteranopen etwas näher an  $499\text{ m}\mu$ , als für den Protanopen. Jedoch kann auch hier die individuell verschiedene Maculafärbung eine Verschiebung nach der einen oder anderen Seite bedingen, so daß eine Umkehrung bzw. ein Zusammenfallen beider Punkte zustande kommt.

Da das neutrale Grauweiß für den Protanopen und Deuteranopen sowohl einem Blaugrün gleich erscheint, als auch einem bestimmten Gemisch aus Rot und Blau, welches für den Normalen Purpur bedeutet, so fehlt ihnen zum Unterscheiden der drei Farben, Grau, Blaugrün und Purpur jeglicher Anhaltspunkt und sie müssen sie alle drei miteinander verwechseln. In ähnliche mißliche Lage kommen die Dichromaten, wenn sie die einzelnen Farben der Endstrecken beurteilen sollen. Der warme Spektralteil vom Rot über Orange, Gelb bis ins Gelbgrün hinein mit allen Zwischenstufen erscheint ihnen als einfarbiges Gelb, der kalte Bezirk als einfarbiges Blau von verschiedener Helligkeit. Der Grad der Helligkeit bildet für sie das einzige Kriterium, auf welches sie sich verlassen. Und in der Tat werden sie einem spektralen Blau gegenüber keinen Fehler

begehen, sie werden die einzelnen Farben auf Grund ihrer Helligkeitsdifferenz der Reihe nach erkennen und sie mit dem Namen belegen, den auch der Normale für sie anwendet. Wird aber eine Farbe herausgegriffen, z. B. Rot und in verschiedener Lichtstärke hintereinander oder nebeneinander gezeigt, so tritt die völlige Hilflosigkeit des Dichromaten zutage: er hält das Rot einmal richtig für Rot, oder er hält es für Gelb, oder auch für Gelbgrün, je nach der Helligkeit und Sättigung. Solchen Verwechslungen ist er also mit jeder Farbe innerhalb derselben Endstrecke ausgesetzt.

Dieser Mangel des Farbenerkennens beschränkt sich nicht auf die spektralen Lichter, sondern offenbart sich natürlich auch bei den Mischfarben, die tausendfach im täglichen Leben in der uns umgebenden Welt unsere Aufmerksamkeit beanspruchen. Aus den erörterten Gründen ist es erklärlich, daß der Dichromat eine große Reihe von Verwechslungen begehen kann: er verwechselt, einer Zusammenstellung NAGEL-KÖLLNER folgend:

1. Helles Rot . . . mit Dunkelgelb, Braun, Dunkelorange, Rotbraun,  
Olivbraun, Grüngelb, Olivgrün;
2. Orange . . . . . „ Feuerrot, Dunkelgelb, Gelbgrün;
3. Gelb . . . . . „ Hellrot, Hellorange, Gelbgrün;
4. Gelbgrün . . . . „ Rot, Orange, Gelb;
5. Grün . . . . . „ Graugelb, Graubraun, Graurosa;
6. Bläulichgrün . . „ Grau, Weiß, Rosa;
7. Rosa, Carminrot . „ Grün, Bläulichgrün, Braungrün;
8. Blau . . . . . „ Violett;
9. Grünlichblau . . „ Weißlichblau, Blaßviolett;
10. Rotviolett . . . „ Blauviolett, Blaßblau.

Eine weitere Besonderheit, welche unsere dichromatische Gruppe gegenüber dem Normalen kennzeichnet, können wir wiederum am Spektrum zur Anschauung bringen, wobei wir zugleich sehen, daß auch in der Gruppe selbst zwischen Protanopen und Deutanopen ein deutlicher Unterschied besteht. Wir finden die *hellste Stelle* im Spektrum für beide nicht an einem gemeinsamen Platz, sondern getrennt voneinander: für Protanopen im Grüngelb ( $570\text{ m}\mu$ ), für Deutanopen im Orange ( $600\text{ m}\mu$ ), für den Normalen im Gelb ( $580\text{ m}\mu$ ), für den Totalfarbenblinden, wie wir noch später sehen werden (S. 318), bei  $535\text{ m}\mu$ . Mit sinkender Beleuchtung und zunehmender Dunkeladaptation tritt für den Protanopen und Deutanopen eine Verschiebung des Helligkeitsmaximums nach dem kurzwelligen Ende hin ein, ähnlich wie beim Normalen, indem die langwelligen Lichter an Reizwert abnehmen, die kurzwelligen zunehmen. Die Annahme, daß die Protanopie eine Zwischenstufe zwischen Deutanopie und totaler Farbenblindheit bilde, lehnt SAMOJLOFF auf Grund seiner Untersuchungen über spektrale Helligkeitsverteilung ab: sowohl zwischen den beiden dichromatischen Gruppen wie zwischen Protanopen und total Farbenblinden bestehen keinerlei Übergänge.

Fragen wir die Dichromaten weiter, in welcher Ausdehnung sie das Spektrum sehen, so erhalten wir vom Deutanopen annähernd dieselbe Antwort, wie von einem Normalen. Der Protanop aber wird die Sichtbarkeit erheblich geringer bemessen; für ihn zeigt sich am langwelligen Ende eine *wesentliche Verkürzung*. Er sieht ein dunkles Rot überhaupt nicht mehr, sondern es erscheint ihm schwarz, wie überhaupt für ihn der Reizwert langwelliger Lichter geringer ist, als für den Deutanopen. Das gegenseitige Verhältnis läßt sich durch Gleichungen aus rotem und gelbem Licht zahlenmäßig demonstrieren. Es ergibt sich, daß der Protanop ungefähr die 5fache Menge roten Lichtes braucht wie der Deutanop, um die gewünschte Gleichung mit einem homogenen Gelb zu erzielen. Eine weitere Bestätigung für den ungleichen Reizwert der langwelligen Lichter für den Prot- und Deutanopen liefert uns ein anderer Ver-

such. Stellen wir für den Deuteranopen eine Gleichung zwischen freiem Rot und Grün her, so können wir sie in eine solche für den Protanopen umwandeln, wenn wir die Lichtstärke des Grün auf ungefähr  $\frac{2}{5}$  herabsetzen. Dieselbe Gleichungsumwandlung läßt sich sinngemäß mit einem roten und gelben Lichtfeld erreichen. Es genügt somit bei *Helladaptation* lediglich ein *Wechsel der Lichtstärke* des einen oder anderen Feldes zur Darstellung einer für den Protanopen oder Deuteranopen gültigen Gleichung. Andererseits kann man derartige wechselseitige Gleichungen durch eine *Änderung der Adaptation* herbeiführen. So wird die für einen helladaptierten Protanopen passende Gleichung auch von dem mäßig stark dunkeladaptierten Deuteranopen anerkannt, wenn man die Lichtstärke der beiden Felder gleichmäßig verringert.

Bleibt der Adaptationszustand für den Protanopen und Deuteranopen derselbe, so läßt sich im allgemeinen zeigen, daß die für den einen der Dichromaten hergestellte Gleichung dem anderen Dichromaten verschiedenwertig erscheint. Das Mischungsverhältnis jedoch, bei welchem sich für den Normalen eine Gleichung ergibt, gilt auch für den Protanopen und Deuteranopen; in diesem Falle weist das Mischfeld für alle drei keinen Unterschied auf. *Zwei für den normalen Trichromaten gleich erscheinende Lichter* sehen *Protanopen* und *Deuteranopen* ebenfalls für *gleich* an. Wir verstehen jetzt auch die nahe Berührung mancher anomaler Trichromaten mit den Dichromaten (Grenzfälle; Extrem-anomale).

Die bereits bei den anomalen Trichromaten erwähnte Abweichung der *Blaugelbempfindung* treffen wir auch bei der *Dichromasie* wieder an. Sie dient uns auch hier als willkommenes Unterscheidungsmerkmal zwischen Protanopen und Deuteranopen. Bei letzteren zeigt das Gesichtsfeld für Blau und Gelb keine Einschränkung, vielmehr sind die Grenzen die gleichen oder erheblich weiter wie beim Normalen. Die *Blaugelbempfindung* ist beim *Deuteranopen normal* oder *überwertig*. Nach GUTTMANN kommt gelegentlich auch Unterwertigkeit vor.

Bei den Protanopen dagegen treffen wir eine ausgesprochene Verengung des Gesichtsfeldes für Blau und Gelb an, außerdem ist die *Blaugelbempfindung* auch in den mittleren Gesichtsfeldpartien im Vergleich zum Normalen und Deuteranopen merklich herabgesetzt: der *Protanop* ist *blaugelb-unterwertig*.

**Die Tritanopie** (Blaugelbblindheit, Blau- oder Violettblindheit) rechnen wir ebenfalls zu den Reduktionsformen des normalen trichromatischen Systems. Sie ist als angeborene Farbensinnstörung bisher selten gefunden worden, und leider wurden von den wenigen Fällen nicht alle einer erschöpfenden Untersuchung unterzogen. Die Anomalie mag indessen häufiger vorkommen, aber sie wird wohl leichter übersehen, weil die Zahl der Verwechslungsfarben beim Tritanopen eine relativ geringe ist, er somit seltener in die Lage kommt einen Fehler zu begehen, und weil bei den Farbensinnprüfungen für praktische Zwecke die Aufmerksamkeit gewöhnlich nur auf die Rot-Grünempfindung gerichtet bleibt.

Wir erwarten beim Tritanopen eine Verkürzung des Spektrums am kurzwelligen Ende; aber eine solche konnte bisher noch nicht festgestellt werden. In dem vom STILLING erwähnten Falle mit einer Verkürzung des Spektrums, die nicht nur das blaue Ende einnahm, vielmehr sogar bis ins Grüne reichte, war die *Blaugelbblindheit* aller Wahrscheinlichkeit nach nicht angeboren, sondern infolge einer Netzhauterkrankung aufgetreten. Ebenso wie bei den übrigen Dichromaten reduziert sich beim Tritanopen die große Zahl der Farbtöne nur auf zwei. Während beim Protanopen und Deuteranopen die Rot-grünempfindung mangelt, fehlt dem Tritanopen die *Blaugelbempfindung*: die langwelligen Lichter erscheinen ihm in roten, die kurzwelligen in grünen Tönen,

dabei besteht meistens, wenn auch in verschiedenem Grade, eine Herabsetzung der Rotgrünempfindung. Mit abnehmender Sättigung nähern sich die beiden Farbentöne einander und vereinigen sich in einem Gebiete des grünen Gelb zwischen  $566 m\mu$  und  $575 m\mu$  ( $596 m\mu$  bis  $572 m\mu$ , v. VINTSCHGAU) zu einem farblosen (grauen) Band, zur „neutralen Zone“. Die hellste Stelle im Spektrum erscheint wie beim Normalen im Gelb.

Die Tritanopen verwechseln (nach KÖLLNER):

1. Blaugrün . . . . mit Blau
2. Grünlichgelb . . . „ Grau und Violettsa
3. Gelblichgrün . . . „ Blauviolett
4. Gelbrot, Orange . . „ Purpurrot.

Wie bei den übrigen Dichromaten findet sich auch bei dem Tritanopen die merkwürdige Erscheinung, daß er zwei für den Normalen gleich aussehende Lichter ebenfalls als gleichwertig schätzt.

**Besonderheiten des dichromatischen Systems.** Bevor wir die Dichromaten verlassen, müssen wir noch einer Eigentümlichkeit gedenken, auf welche NAGEL die Aufmerksamkeit lenkte. Er fand, daß bei vielen Dichromaten der Farbensinn nur unter bestimmten Bedingungen ein rein dichromatischer bleibt, und daß er beim Überschreiten dieser Einschränkungen sich mehr und mehr dem trichromatischen Farbensystem nähert. Wählt man zwei Objekte mit verschiedenen Farben von genügend kleiner Ausdehnung, so hält sie der Dichromat für gleichfarbig, während sie der Normale noch deutlich als verschiedenfarbig erkennt. Sie werden aber vom Dichromaten ebenfalls differenziert, sobald die farbigen Gegenstände unter einem genügend großen Gesichtswinkel erscheinen. Ferner begegnen wir einer Besonderheit, die bereits bei den anomalen Trichromaten auffiel. Auch der Dichromat bedarf zum Erkennen einer Farbe gegenüber einem Normalen einer längeren Zeit. Der Zeitaufwand richtet sich nach dem Gesichtswinkel, unter welchem die Farbe betrachtet wird, wobei außerdem Helligkeit und Sättigung der Farbe berücksichtigt werden müssen.

**Die Monochromasie** (Achromasie, totale Farbenblindheit) zeichnet sich gegenüber den übrigen Farbensinnanomalien durch eine Reihe recht auffälliger Merkmale aus, die selbst dem weniger geübten Beobachter schwer entgehen können. Seit HUDDARTS Veröffentlichung (1777) ist eine größere Zahl von angeboren total Farbenblinden beobachtet und zum Teil eingehend untersucht worden. In seiner sorgfältigen Zusammenstellung berichtet GRUNERT (1903) über diese 44 Fälle ausführlich. Seitdem hat die Ziffer der veröffentlichten Beobachtungen annähernd das Doppelte erreicht (L. PETER [1926]).

Die Monochromasie charakterisiert sich durch verschiedene Symptome, die wir bei den übrigen Anomalien nicht finden. Wenn wir auch aus der Gesamtheit der Fälle ein ziemlich genau umrissenes Bild erhalten, so dürfen wir doch nicht übersehen, daß bei den einzelnen Fällen diese oder jene Erscheinung in verschiedenem Grade ausgeprägt sein oder ganz fehlen kann.

Fast regelmäßig findet sich eine auffallende *Lichtscheu*, die mit steigender Beleuchtung zunimmt, bei sinkender Lichtintensität vollständig schwinden kann. Sehr selten fehlt neben der Lichtscheu der *Nystagmus*. Die Bewegungen sind teils grobschlägig langsam, teils kurzschlägig schnell, dabei im Ausschlagswinkel und in der Regelmäßigkeit häufig wechselnd. Beleuchtungsintensität und schwankende Aufmerksamkeit beim Fixieren mögen hierbei eine Rolle spielen. Mitunter ließ das Augenzittern mit zunehmendem Alter nach oder es verschwand allmählich vollkommen.

Eine weitere ständige Begleiterscheinung ist die *Herabsetzung der zentralen Sehschärfe*. Meistens beträgt die Sehschärfe nur  $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{5}$  und erreicht ausnahms-

weise  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ , ja sogar  $\frac{5}{5}$ ! (BEST) der Norm. In einigen Fällen ließ sich die Sehstörung auf Trübung der Hornhaut oder partielle Sehnervenatrophie bzw. auf Defekte in der Maculagegend zurückführen. Bei den übrigen Fällen boten die

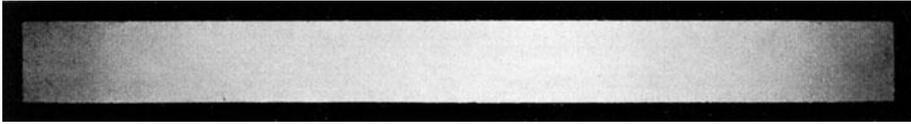


Abb. 9a. Spektrum des total Farbenblinden. (Nach W. OSTWALD.)

brechenden Medien und der Augenhintergrund keine krankhaften Veränderungen dar.

Vereinzelte angeborene Anomalien wie Membrana pupillaris perseverans, sowie regelwidriger Brechzustand, Myopie, Hypermetropie und Astigmatismus sind für totale Farbenblindheit nicht charakteristisch.

Im Bereiche des *Gesichtsfeldes* hat man mehrfach Ausfallserscheinungen gefunden, die für die Klärung der Stäbchen- und Zapfenfunktion wichtige Stützpunkte bilden. Bei Besprechung der Farbensinntheorien begegnen wir dieser Frage wieder. Die *Außengrenzen* des Gesichtsfeldes besaßen, abgesehen von ganz vereinzelt geringen Abweichungen, normale Ausdehnung. Auch *zentral* konnte bei der Mehrzahl der Fälle trotz sorgfältigster Untersuchung ein Defekt des Gesichtsfeldes nicht entdeckt werden. Die Versuche sind indessen nicht beweiskräftig, weil sie wahrscheinlich bei Helladaptation vorgenommen wurden, und weil der Nystagmus ein unüberwindliches Hindernis bot; denn bei einigen Achromaten gelang es (UHTHOFF) mit Hilfe eines ringförmigen Fixationszeichens ein deutliches zentrales Skotom nachzuweisen. v. HESS stellte in allen von ihm untersuchten Fällen bei Dunkeladaptation ein zentrales Skotom fest, das er bei Helladaptation vermißte.

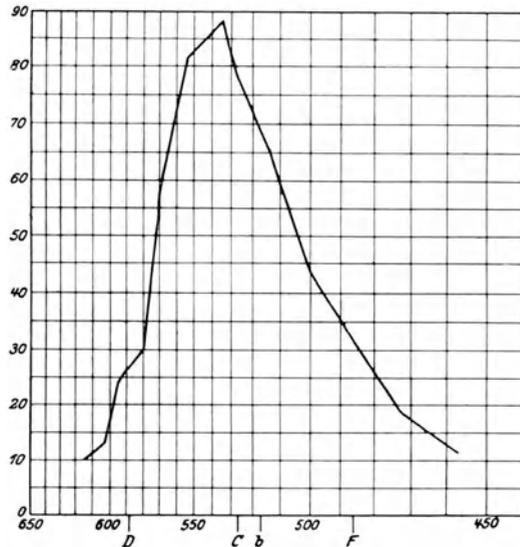


Abb. 9b. Verteilung der Helligkeit für den total Farbenblinden im Spektrum des Nernstlichtes. (Nach NAGEL.)

Beim Achromaten erregen die Lichter verschiedener Wellenlängen nur die Empfindungen größerer und geringerer Helligkeit. Die dem Normalen bunt erscheinenden Gegenstände sieht der total Farbenblinde tonfrei, ähnlich einem Kupferstich oder Stahlstich. Alle Lichter, ob kurz- oder langwellig, wirken für ihn nur in einem Sinne (*monochromatisches System*).

Das *Spektrum* wird vom Achromaten mitunter in normaler Ausdehnung wahrgenommen. In der Regel wird eine Verkürzung am langwelligem, in einigen Fällen (L. PETER, WÖLFFLIN) auch am kurzwelligen Ende beobachtet. Das Spektrum erscheint dem Achromaten als grauweißes Band, den einzelnen Farben entsprechend heller oder dunkler. Tragen wir die Helligkeiten in ein

Koordinatensystem ein, so erhalten wir eine *Kurve*, die derjenigen fast vollkommen *gleich*, welche wir bei Darstellung der *Dämmerungswerte* beim normalen Trichromaten bekommen. Die *hellste Stelle* liegt auch hier nicht im Gelb, sondern erheblich nach dem *Grün* (530—540 m $\mu$ ) verschoben. In einigen Fällen wurde allerdings das Helligkeitsmaximum im Gelb angegeben<sup>1</sup>. Die spektrale Helligkeitsverteilung für den Achromaten bleibt unverändert, gleichgültig, ob die Untersuchung mit höheren oder geringeren Lichtstärken vorgenommen wird, und sie bleibt ebenfalls konstant, mag die Prüfung bei Hell- oder bei Dunkeladaptation ausgeführt werden.

Die *Pupillarreaktion* des total Farbenblinden lenkt durch mehrere Eigentümlichkeiten die Aufmerksamkeit des Beobachters auf sich. Die *Weite* der Pupillen bei Beleuchtung mit Lichtern verschiedener Wellenlängen richtet sich nach der Helligkeitsverteilung der Farben. Wird das genügend dunkeladaptierte Auge intensiv belichtet, so erfolgt die Zusammenziehung der Pupille mit annähernd derselben Geschwindigkeit und in demselben Umfange wie beim Normalen. Die Erweiterung aber beim Übergang aus der Helladaptation zur Dunkeladaptation geht auffallend langsamer vor sich als beim Farbentüchtigten und den „partiell Farbenblinden“ (ENGELKING). Die *pupillomotorische Unterschiedsempfindlichkeit* ist bei starker Helladaptation deutlich herabgesetzt.

Die *Dunkeladaptation* weist in ihrem Verlauf anfangs eine geringe Verzögerung auf (F. HOFMANN) auf, weicht aber in ihrem weiteren Verlaufe von der des Normalen nicht ab. Erklärlicherweise kommt das PURKINJESCHE Phänomen in Fortfall.

Die Frage, ob im achromatischen Auge nur stäbchenförmige Elemente vorhanden sind, oder ob auch Zapfen sich finden, die evtl. durch Alterationen nicht funktionieren, harret noch der Lösung. H. LARSEN (1920) fand bei einem zweifellos total farbenblinden Mädchen, welches an einer Lungenentzündung starb, eine normale Verteilung der Stäbchen und Zapfen. Letztere besaßen im Gebiete der Fovea centralis auffallend plumpe Formen mit verkürzten oder auch völlig fehlenden Außengliedern. Wahrscheinlich lagen post-mortale Veränderungen vor.

Über das Fehlen des gelben Maculapigments bei einem Achromaten berichten VOGT (Untersuchung mit rotfreiem Licht) und P. J. WAARDENBURG.

**Zusammenfassung.** Wenn wir die einzelnen Typen der angeborenen Farbensinnstörungen überblicken, so können wir auf Grund gewisser Ähnlichkeiten eine sich äußerlich berührende Reihe aufstellen, die von der normalen Trichromasie über die partiellen Störungen zur totalen Farbenblindheit führt. Übergangsformen zwischen der Norm und partieller Farbenblindheit einerseits und zwischen dieser und Achromasie sind bisher nicht festgestellt worden.

Gemeinsam sind allen Farbensinnstörungen einige Charakteristika. Fast ausnahmslos treffen wir die einzelnen Anomalien auf beiden Augen an. Der Zustand bleibt das ganze Leben hindurch unverändert. Daß einzelne im Laufe der Jahre durch geschickte Ausnutzung von Hilfsmitteln ihren Fehler zu verbergen wissen, ändert nichts an der Richtigkeit der Behauptung. Farbentüchtigkeit läßt sich auch durch die größte Ausdauer und durch unermüden Fleiß nicht erlernen.

Über die *Häufigkeit* der angeborenen Farbensinnstörungen ließen sich bis vor kurzem keine genaueren zahlenmäßigen Angaben machen. Die Untersuchungen in den früheren Jahrzehnten wurden meist nach einer bestimmten Richtung hin vorgenommen, insofern als es sich nur um männliche Personen

<sup>1</sup> Diese Fälle bilden aber wahrscheinlich eine Gruppe für sich. Sie sind noch ungenügend untersucht.

handelte, die für den Eisenbahn- oder Schiffsdienst geprüft wurden. Nur gelegentlich hören wir von Farbensinnprüfungen, die sich auf Frauen beziehen. Außerdem waren die älteren üblichen Proben in ihrer Zuverlässigkeit nicht einwandfrei, so daß vielfach die anomalen Trichromaten nicht herausgefunden wurden, ja selbst typisch Farbenblinde unerkant blieben. Man muß daher den Wert der älteren Untersuchungen entsprechend einschränken. In den letzten Jahren ist man vielseitiger und systematischer vorgegangen. Durch Verbesserungen der Untersuchungsmethoden hat die Sicherheit der Beurteilung wesentlich gewonnen. Man begnügt sich nicht mehr mit einer oder zwei Prüfungsarten, sondern benutzt deren mehrere, zieht vor allem in zweifelhaften Fällen den Spektralapparat zu Rate. Wenn auch noch nicht Ergebnisse vorliegen, die ganze Völkerschaften umfassen, so gewinnen wir doch schon ein klareres Bild durch die Ermittlungen einzelner Forscher, die unter Berücksichtigung des weiblichen und männlichen Geschlechts, sowie der verschiedensten Bevölkerungsschichten tausende von Personen einer eingehenden Untersuchung unterzogen haben.

Am seltensten begegnen wir der totalen Farbenblindheit. GÖTHLIN (Schweden) rechnet auf 300 000 Einwohner einen Achromaten. Nach anderen Autoren stellt sich das Verhältnis 1 : 100 000 bzw. 1 : 40 000. VOGT (Schweiz) fand 3 total Farbenblinde unter 4000 Personen. Die Anomalie trifft man beim männlichen Geschlecht häufiger als beim weiblichen (2 : 1 GRUNERT, 9 : 7 LINA PETER, 100 : 73 GÖTHLIN).

Über das Vorkommen der partiellen Farbenblindheit (Dichromasie, anomale Trichromasie) lauten die Angaben recht verschieden. In einem bei P. v. PLANTA angeführten statistischen Bericht von 14 Autoren — allerdings wohl hauptsächlich Eisenbahnpersonal betreffend — werden unter 13 147 Personen 2230 Farbenuntüchtige angegeben bei einer Spannweite der Prozentzahlen, die sich von 2,7% bis 22% erstreckt. Nach DANFORTH ergibt die Zusammenstellung aus den Untersuchungen in Zentraleuropa wie auch in Skandinavien und anderen Ländern übereinstimmend 4% männliche und 0,4% weibliche Farbenuntüchtige (10 : 1). Eine sehr ausführliche Übersicht über 5000 Fälle (2000 Knaben, 3000 Mädchen) bringt uns aus jüngster Zeit P. v. PLANTA. Diese Arbeit ist um so wertvoller, als bei den einzelnen Prüfungen eine größere Reihe verschiedener Pigmentproben (6) und das NAGELSche Anomaloskop verwendet wurden, so daß mit größter Wahrscheinlichkeit kein Farbenuntüchtiger übersehen worden ist.

Von den 159 farbenuntüchtigen Knaben (7,95%) waren

78	= 3,90%	Deuteranomale,
7	= 0,35%	extrem Deuteranomale,
30	= 1,50%	Deuteranomale,
9	= 0,45%	Protanomale,
3	= 0,15%	extrem Protanomale,
32	= 1,60%	Protanope;

von den 13 farbenuntüchtigen Mädchen (0,43%) waren

9	= 0,30%	Deuteranomale,
1	= 0,03%	extrem Deuteranomale,
3	= 0,10%	Protanope.

G. WAALER hat 9049 Knaben und 9072 Mädchen untersucht; von den Knaben waren 8,01%, von den Mädchen 0,441% farbenuntüchtig. Den größten Prozentsatz stellen bei v. PLANTA (3,9% männlich, 0,3% weiblich) sowie bei WAALER (5,06% männlich, 0,39% weiblich) die Deuteranomalen, übereinstimmend mit den Resultaten anderer Autoren.

Fälle von Blaugelbblindheit sind nur in geringer Anzahl gefunden worden. Über die drei einzigen bis jetzt bekannten anomalen Trichromaten (ENGELKING) habe ich bereits oben berichtet.

## B. Die erworbenen Farbensinnstörungen.

**Allgemeines.** Von den Farbensinnstörungen sind lange Zeit hindurch fast ausschließlich die angeborenen eines eingehenden Studiums gewürdigt worden; die erworbenen zogen nur ausnahmsweise die Aufmerksamkeit auf sich, und zwar hauptsächlich dann, wenn sie wegen ihrer auffallenden Form gar nicht übersehen werden konnten. Mit dem Ausbau der einzelnen Farbensinntheorien trat ein Umschwung, ja man könnte sagen eine Umkehr des Interesses für die beiden Kategorien ein. Man kann die Erwartung aussprechen, daß die eingehende Erforschung gerade der erworbenen Anomalien in der Lösung der schwebenden Fragen wesentliche Fortschritte zeitigen wird; denn der angeborene Mangel tritt als etwas Fertiges, Ganzes auf und läßt sich schwerlich zergliedern, der erworbene Defekt aber bietet von seinem Beginn an und während seines Fortschreitens, Nachlassens oder gänzlichen Verschwindens eine erheblich breitere und vielgestaltigere Beobachtungsbasis dar.

Die *Unterscheidung*, ob eine *angeborene* oder *erworbene* Anomalie vorliegt, gelingt in vielen Fällen mühelos, bereitet aber zuweilen recht erhebliche Schwierigkeiten. Es hat etwas Verlockendes, den chronologischen Maßstab anzulegen, indem man als Abgrenzung zwischen beiden Störungsformen die Geburt des Individuums betrachtet. Indessen dieser Weg ist nicht gangbar; denn wenn bereits während des intrauterinen Lebens pathologische Vorgänge im Sehsystem auftreten mit nachfolgenden Farbensinnanomalien, so können wir diese nicht zu den angeborenen rechnen, sondern müssen sie unter die erworbenen einreihen.

Wie soll man aber einen im erwähnten Sinne wirkenden Krankheitsprozeß nachträglich feststellen, wenn er sich in der Sehbahn abspielte und Spuren, die man mit dem Augenspiegel oder anderen Untersuchungsmitteln erkennen könnte, nicht hinterläßt? Diese Bedenken mahnen zur Vorsicht und dürfen gerade bei der Beurteilung angeborener einseitiger Farbenuntüchtigkeit nicht außer acht gelassen werden. Im allgemeinen kennzeichnen sich die angeborenen Farbensinnstörungen, wie wir oben bereits eingehender auseinandergesetzt haben, durch typische Formen mit einem durchs ganze Leben hindurch gleichbleibenden Charakter.

Ist eine Farbensinnstörung vorgeburtlich erworben oder in frühester Jugend aufgetreten und erstreckt sie sich auf beide Augen, so fehlen natürlich auch, ebenso wie bei den angeborenen, erblich bedingten Farbensinnesabweichungen die entsprechenden Farbenbegriffe. Günstiger gestaltet sich die Lage für die Beurteilung, wenn die Störung nur ein Auge, selbst in den ersten Entwicklungsstadien ergriff, oder wenn sie sich erst in späteren Jahren doppelseitig entwickelte. Dann kann bei Prüfung des Farbensinnes im ersten Falle das andere normal funktionierende Auge genügend Auskunft erteilen, im zweiten bieten die in der Erinnerung haftenden Farbenvorstellungen eine willkommene Vergleichsunterlage.

Es liegt in der Natur der Krankheitsprozesse, daß der durch sie bedingte Ausfall meist nicht sogleich das ganze Gesichtsfeld einnimmt, sondern nur einen Teil desselben und dann weiter fortschreitet. Somit besteht die Möglichkeit bei genügend frühzeitiger Beobachtung sogar in ein und demselben Auge aneinander grenzende normal und pathologisch funktionierende Zonen miteinander zu vergleichen. Wir haben hier also den Vorteil, die Farben der Untersuchungsobjekte benennen zu lassen, während bei den angeborenen Anomalien ein solches Verfahren nur bedingungsweise in Anwendung kommen kann.

Wenn wir der vielfachen Ursachen gedenken, auf welche die erworbenen Störungen beruhen, so werden wir mit einer großen Mannigfaltigkeit der

Erscheinungen zu rechnen haben. Hier erwarten uns keine ausgeprägten Typen, sondern es sind Übergänge der einen Art in die andere und Vermischungen untereinander nichts Seltenes. Fortschreiten oder Abnahme der Störungen gestalten das Bild noch bunter. Gesellt sich die Kombination mit angeborenen Farbensinnanomalien hinzu, so erfährt die Kompliziertheit eine weitere Steigerung.

Es leuchtet ein, daß in einem solch fadenlosen Labyrinth die Orientierung recht unsicher, wenn nicht unmöglich werden kann.

Mehrfache Beobachtungen, bei welchen im Gesichtsfeld ein totaler Ausfall für Farben konstatiert wurde, während Raum- bzw. Lichtsinn keinen Mangel aufweisen, haben zu der Annahme eines Spezialzentrums für den Farbensinn in der äußersten Hirnrindenschicht und eines darunter liegenden Zentrums für den Lichtsinn geführt (WILBRAND und SAENGER). Wenn auch einzelne Sektionsbefunde diese Ansicht stützen, so bedarf diese Frage noch weiterer Klärung.

Begleiten wir die Lichtstrahlen zunächst von ihrem Eintritt in die Hornhaut bis zur Netzhaut, so können sich auf dieser Strecke bereits Hindernisse mancherlei Art einstellen, welche den Ätherwellenkomplexen keinen regelrechten Durchgang gestatten (Reflexion, Dispersion, Absorption). Der Effekt wird zwar ein normaler, aber ein anderer sein, als wenn die Lichtbüschel freie Bahn durch die brechenden Medien gefunden hätten. Obwohl unter solchen Bedingungen die Außenwelt, besonders in ihrem farbigen Charakter verändert erscheint, liegt doch ein regelrechtes Farbenempfinden vor. Wir können also hier korrekterweise nicht von einer erworbenen Farbensinnstörung sprechen, sondern wir müßten hierfür die Bezeichnung *erworbene Störung der Farbenwahrnehmung* einsetzen. In demselben Sinne wären zum Teil auch die Erscheinungen zu betrachten, welche man bei der Wirkung von nicht adäquaten Reizen, von Intoxikationen, von Blendung und krankhaften Veränderungen des Licht vermittelnden Apparates beobachtet.

**Anomalien der brechenden Medien.** Bringt man vor das Auge zwischen zwei parallele Glasplatten eine getrübe oder gefärbte Flüssigkeit, so wird die Wahrnehmung bunter Objekte dem freien Auge gegenüber eine Änderung erfahren. Dasselbe Experiment bietet das Auge selbst, sobald das Kammerwasser, die Linse oder der Glaskörper durch Verletzung, Entzündung usw. ihre Klarheit eingebüßt haben. Zumeist kommen farblose Trübungen in Frage. Sie üben bei geringer Dichte keinen merklichen Einfluß aus. Bei höheren Graden der Veränderung aber können sie die eintretenden Strahlen derart zurückhalten, daß die Helligkeit farbiger Gegenstände wesentlich geändert und das Erkennen der Farbe vereitelt wird. Schließlich vermag durch starke Lichtabsorption selbst bei intensiver Tagesbeleuchtung die Netzhautfunktion auf das Dämmerungssehen reduziert zu werden.

Den *filtrierenden* Effekt der brechenden Medien für die betreffende Strahlenart wird man gewahr, wenn durch eine Erkrankung, ein Trauma oder gelegentlich auch durch therapeutische bzw. diagnostische Maßnahmen Farbsubstanzen (Methylenblau, Eosin) ins Augeninnere eindringen. Wieweit in dieser Beziehung das Gelbsehen bei Ikterus und Santoningenuß eine Rolle spielt, bedarf noch der Aufklärung. Es kommt hier wohl neben der Gelbfärbung der Medien auch noch die direkte Reaktion der nervösen Sehelemente auf den eingedrungenen Farbstoff in Betracht.

Bei den Verfärbungen der brechenden Medien müssen wir auch an die nicht selten auftretenden *Blutungen* erinnern, die sich im Glaskörper, im Kammerwasser, zuweilen auch in der Hornhaut ausbreiten. Von den starken Blutergüssen wollen wir absehen, sie lassen kaum Lichtspuren zur Retina gelangen

und schließen somit jede Farbenempfindung aus. Durch dünne Blutschichten wird die Lichtpassage weniger versperrt. Der Patient sieht je nach Ausdehnung und Dichte der Blutung die Außenwelt im ganzen Gesichtsfeld oder nur in einem Teile desselben rötlich bis dunkelrot; dabei können grünliche Objekte schwärzlich, blaue dunkelgrün, purpurne braun erscheinen. Mit fortschreitender Resorption der Blutung tritt an Stelle des Rotsehens Gelb- bzw. Grün-Sehen auf.

Die allgemeine Annahme, normalerweise seien die brechenden Medien farblos, hat nur für die Hornhaut, das Kammerwasser und den Glaskörper Gültigkeit. Wie wir aus den eingehenden Untersuchungen von v. HESS erfahren, besitzt die menschliche Linse schon beim *Neugeborenen* einen *gelblichen Farbenton*. Er wird mit zunehmenden Alter intensiver bis ins dunkle Braun. Es finden sich jedoch bei gleichalten Menschen nicht dieselben Verfärbungsgrade, sondern es bestehen recht bedeutende individuelle Unterschiede. Man muß daher erwarten, daß die Absorption kurzweiliger Strahlen sich in entsprechender Weise manifestiert. In der Tat werden, abgesehen von den individuellen Schwankungen, durchschnittlich die grünblauen bis violetten Lichter bei jugendlichen Personen in weit geringerem Maße als bei alten Leuten absorbiert. Die Gelbfärbung der Linse vollzieht sich sehr langsam und allmählich; mit ihr geht eine Gewöhnung an den Zustand einher. Abgesehen von einzelnen Berufen, wie Chemiker, Färber, Maler, deren Beschäftigung eine größere Aufmerksamkeit für Farbenbeurteilung erfordert, bemerken durchschnittlich die Träger derartig gelber Linsen die sich ändernde Farbenempfindung nicht. Bei näherer Prüfung erst ergibt sich, daß weißliche Objekte mit gelblichen verwechselt werden, und daß bläuliche Farben in einer dunkleren Nuance bzw. schwärzlich erscheinen. Zieht man die Untersuchung mit dem Farbenspektrum zu Hilfe, so läßt sich ähnlich wie bei Blaugelbblindheit eine bemerkenswerte, mitunter schon in Blaugrün beginnende Verkürzung am violetten Ende nachweisen. Eine häufige indirekte Bestätigung der Farbenstörung durch die gelbe Linse liefern uns die staroperierten Fälle. Nach Entfernung der als gelbes Farbenfilter wirkenden Linse hat das Tageslicht nunmehr freien Zutritt zur Netzhaut. Die seither bestandene Absorption der kurzweiligen Strahlen kommt in Fortfall, und dem Patienten erscheint alles bläulich. Das Blausehen verliert sich nach ziemlich kurzer Zeit wieder vollkommen.

**Refraktionsanomalien** kommen bei der Farbenempfindung, sofern die brechenden Medien klar sind und der Augenhintergrund frei von krankhaften Veränderungen ist, kaum in Betracht. Bei höheren Graden von Ametropie können die Zerstreuungskreise für die Beurteilung kleiner farbiger Objekte oder aneinander grenzender farbiger Felder in störender Weise wirken. Die Beseitigung der Brechungsfehler durch entsprechende optische Mittel wird in derartigen Fällen etwa vorhandene Unsicherheiten klarstellen.

**Alterationen im nervösen Apparat.** Wir sahen, wie die Lichtstrahlen auf ihrem bisherigem Wege durch physikalische Alterationen der brechenden Medien ihre ursprüngliche Eigenart einbüßten und nunmehr mit verändertem Charakter ihre Wirkung ausüben mußten. Bei den folgenden Betrachtungen setzen wir *normale Durchsichtigkeit des dioptrischen Systems* voraus und wollen beobachten, wie die Farbenempfindung sich gestaltet, wenn die Strahlen im *nervösen Schapparat* eine Bahn zurücklegen müssen, deren Beschaffenheit von der Norm abweicht. Da bemerken wir allerdings, daß die Lichtwellen auf der kurzen Strecke durch die Netzhaut, bevor sie in den Stäbchen und Zapfen zur Perzeption gelangen, ebenfalls der Absorption durch getrübe und gefärbte Substrate unterliegen können. Wir finden dann hier dieselben Verhältnisse vor wie bei den Hindernissen, die sich vor der Retina in den Weg stellten, und brauchen darum die Einzelheiten der Folgeerscheinungen nicht nochmals zu wiederholen.

Die mannigfaltige pathologische Veränderung des nervösen Sehapparates von der Netzhaut bis zur Hirnrinde hat zwar auch eine vielgestaltige Störung des Farbensinnes zur Folge: wir begegnen hier ebenfalls wie bei den angeborenen Anomalien allen möglichen Formen und Übergängen von der Norm bis zur totalen Farbenblindheit; aber dennoch lassen sich unter Berücksichtigung gemeinsamer oder ähnlicher Merkmale, besonders Verlauf und Ausfallserscheinungen betreffend, alle Störungen in einige wenige Hauptgruppen einordnen, in: Blaugelbblindheit, fortschreitende Rotgrünblindheit und totale Farbenblindheit.

### 1. Die erworbene Blaugelbblindheit.

Die erworbene Blaugelbblindheit (erworbene Tritanopie), auch als Violett-Blaubindheit, Akyanopsie, Erythrochloropie bezeichnet, faßt eine Kategorie von Ausfallserscheinungen zusammen, welche nicht alle gleichwertig sind. Die eine Form weist neben dem Mangel der Farbenempfindung noch andere Störungen auf, welche der ursächliche Krankheitsprozeß im Gefolge hat; die andere Form stellt, wie die von KÖNIG und KÖLLNER gefundenen Eichwerte beweisen, eine Reduktion dar, die dem rein dichromatischen System (Tritanopie) entspricht.

Mit der Benennung Blau- (Violett-) Blindheit soll hervorgehoben werden, daß die hauptsächlichliche Störung in der Wahrnehmung von Blau (Violett) liegt, insofern als blaue Farben einen mehr grünlichen Charakter annehmen und dunkler erscheinen. Die Bezeichnung Blaugelbblindheit weist auf den Mangel hin, die Farben Blau und Gelb als solche zu erkennen.

**Symptome.** Die erworbene Blaugelbblindheit erstreckt sich in der Regel nicht auf beide Augen, sondern nur auf eines. Wenn die Störung nur einen kleinen peripheren Bezirk des Gesichtsfeldes einnimmt, so kann sie dem Träger lange Zeit hindurch verborgen bleiben. Doch verrät sich die Erkrankung bisweilen schon recht früh unter dem Symptom des Farbsehens (Chromatopie; s. S. 329), indem bläulich-violette, später ins Grünliche spielende Flecken vor den Augen den Patienten beunruhigen. Hat der Prozeß bereits Fortschritte gemacht und einen ausgesprochenen Charakter angenommen, so tritt die Veränderung der Farbenempfindung beim Betrachten blauer Gegenstände alsbald zutage. So werden blaue Kleider, Blumen usw. für grün gehalten, oder auch das Grün schwindet, und es stellt sich an dessen Platz die Empfindung von Grau und schließlich von Schwarz ein. In ähnlicher Weise entstehen Schwierigkeiten bei der Beurteilung von gelben Farben, indem diese mit Weiß, Rosa und Grün verwechselt werden.

Mag nur der Verdacht auf erworbene Blaugelbblindheit vorliegen, oder gibt diese sich schon durch deutlichere Symptome kund, so bringt doch in jedem Falle eine genaue Untersuchung des *Gesichtsfeldes* sichere Anhaltspunkte für die Diagnose. Wir begegnen da meistens einzelnen oder mehreren tritanopischen Skotomen in der verschiedensten Ausdehnung, die je nach dem Verlauf des Krankheitsprozesses an Größe zunehmen oder sich verkleinern können bis zum völligen Verschwinden, ohne in der Farbenempfindung einen Defekt zu hinterlassen. Die *Skotome*, ihrer Häufigkeit nach *häufiger* *zentral* als peripher gelegen, besitzen gegen ihre Umgebung in der Regel eine scharfe Abgrenzung, aber es kommen auch verwaschene Übergänge vor. Vereinzelt wurden Gesichtsfeldausfälle beobachtet, die innerhalb ihres Bereiches in ihrem Verhalten recht auffallende Verschiedenheiten offenbarten, indem der mittlere Teil aus einem Skotom für Weiß bestand, während der mehr peripher gelegene, an das normale Farbenfeld grenzende Gebiet, blaugelbblind war.

Ein anschauliches Bild über die Farbenempfindung bei erworbener Tritanopie erhalten wir, wenn wir auch hier das Spektrum befragen. Die Ausdehnung des spektralen Bandes hat nach dem langwelligen Ende zu dieselbe

Begrenzung wie beim Farbentüchtigten. Am kurzwelligen Ende aber macht sich eine ausgesprochene Einschränkung bemerkbar. Die Verkürzung reicht bis  $440\text{ m}\mu$  bzw.  $470\text{ m}\mu$ , so daß also endwärts dieser Zone farblos gesehen wird, und erst im Bereich des Indigoblau Farbenempfindung auftritt. Die *Endstrecke*, charakterisiert durch das Gleichbleiben im Farbenton und in Sättigung, fällt im Gebiet des Rot mit der des Normalen annähernd zusammen ( $655\text{—}630\text{ m}\mu$ ), am kurzwelligen Ende reicht sie bis an  $490\text{ m}\mu$  heran und umschließt somit das Blaugrün und Blau bis zum Violett als eine Zone, die dem Tritanopen als einfarbig erscheint, jedoch in verschiedenen Helligkeitsstufen.

Das ganze spektrale Band verliert für den Tritanopen seinen vielgestaltigen bunten Charakter. Vom langwelligen Ende bis zum Grüngelb sieht er ein Rot in abnehmender Sättigung, und vom Grüngelb bis zum anderen Ende ein Blaugrün in zunehmender Sättigung. Da wo das Gebiet des Rotfeldes mit dem des Blaugrünfeldes zusammentrifft, hat die Sättigung eine Abnahme bis zur Farblosigkeit erfahren. Dieser Grenzbereich wird als neutrale Zone bezeichnet, er liegt im Grüngelb etwa zwischen  $575\text{ m}\mu$  und  $570\text{ m}\mu$ ; die Zone unterliegt in ihrer Breite nicht unerheblichen Schwankungen und zeigt auch Verschiebungen nach der einen oder anderen Seite hin.

Auffallend ist das Verhalten des Tritanopen der *Rayleighgleichung* gegenüber; nur ausnahmsweise erkennt er die Gleichung des Normalen an, meistens muß er, um eine dem Natriumgelb gleichaussehende Mischung aus Rot und Grün zu erzielen, das Rot in überwiegender Menge hinzuzufügen, eine Gleichung, die dem Farbentüchtigten sofort als verschiedenfarbig imponiert.

Vergegenwärtigen wir uns die geschilderten Beziehungen und berücksichtigen wir, daß bei der erworbenen Blaugelbblindheit noch andere Störungen wie Herabsetzung der Dunkeladaptation, Absorption dieser oder jener Lichtarten mit in Frage kommen, daß vielleicht auch schon Rotgrünblindheit sich zu entwickeln beginnt, so wird die Schar der Verwechslungsfarben bei der erworbenen Tritanopie eine ganz ansehnliche sein. Orange erscheint in einem Falle rötlich oder rosa, im anderen mehr weißlichrot, Gelb wird als rosa oder rötlichweiß, grauweiß, grünlichweiß sogar bläulich bzw. violett bezeichnet, Grün wird blau genannt und umgekehrt, Violett erscheint dunkelblau oder schwarz.

Die bereits erwähnte Herabsetzung der *Dunkeladaptation* (Hemeralopie) findet sich häufig vereint mit der Tritanopie; sie bildet sogar meistens einen warnenden Vorläufer, kann jedoch wie KÖLLNER und PIPER berichten, völlig fehlen. Daß auch die *Sehschärfe* in Gesellschaft mit den übrigen Ausfallsymptomen eine Verminderung erleiden muß, können wir wohl erwarten; aber der Grad der Sehstörung läuft nicht parallel mit der Farbensinnesanomalie, ja die Sehschärfe bleibt manchmal vollkommen unverändert, obwohl sich eine ausgesprochene Tritanopie entwickelt.

**Ätiologie.** Die Erscheinungen der erworbenen Blaugelbblindheit verdanken ihre Entstehung mancherlei Ursachen. Wie wir bereits erwähnten, bilden die brechenden Medien, sofern in ihnen gelbe Farbstoffe abgelagert sind, ein Gelbfilter. Die Wirkung der Strahlen auf die Netzhaut ist also von einer rein physikalischen Zwischenschaltung abhängig. Ebenso können wir bei einer Reihe von pathologischen Prozessen, die sich in der Retina selbst vollziehen und mit einem Exsudat bzw. Transsudat verbunden sind, die bestehende Farbenempfindungsstörung als das Resultat ähnlicher physikalischer Hindernisse ansehen. Andererseits aber muß man für die Farbensinnesanomalien und die oft gleichzeitig mit vorhandenen Adaptationsstörungen Strukturveränderungen der äußeren Netzhautschicht (Neuroepithelschicht) als hauptsächlich mitwirkende Faktoren verantwortlich machen. Wir finden die Bedingungen, bei denen das eine oder andere Moment mehr hervortritt, oder bei denen beide ihre Folgen zur Geltung

bringen, bei Erkrankungen der Netzhaut wie Ablatio retinae, Commotio retinae, Retinitis albuminurica, diabetica, syphilitica, haemorrhagica, sowie bei Neuritis syphilitica und sympathica und frischer Chorioiditis, insofern die Netzhaut in Mitleidenschaft gezogen ist.

Die Blaugelbblindheit (Blaublindheit) wurde bisher nur im Bereich genannter Erkrankungen beobachtet, niemals aber, wenn es sich um reine Affektion des Sehnerven oder der weiter zentralwärts gelegenen nervösen Sehelemente handelte.

Die angeführten Krankheitsprozesse der Netzhaut bieten die verschiedensten Verlaufsmöglichkeiten dar sowohl in zeitlicher und in lokaler Beziehung, als auch in fortschreitendem und umgekehrtem Sinne bis zur restitutio ad integrum. Ebenso unterliegen die Funktionsstörungen der betroffenen Netzhautpartien den vielseitigsten Schwankungen; hier haben wir eine Zunahme der Ausfallserscheinungen, dort ein Stehenbleiben derselben im gleichen Stadium, und manchmal ein Zurückgehen bis zur normalen Funktion.

## 2. Die erworbene Rotgrünblindheit.

**Symptome.** Wenn wir im folgenden eine Reihe von Farbensinnstörungen unter den gemeinsamen Begriff der erworbenen Rotgrünblindheit einzuordnen versuchen, so verkennen wir nicht, daß wir hierbei etlichen Schwierigkeiten und Widersprüchen begegnen werden. Die Bezeichnung soll gewählt werden in Anlehnung an Ähnlichkeiten, welche die erworbene Rotgrünblindheit mit der angeborenen darbietet. Als Hauptcharakteristikum beider betrachten wir die Reduktion aller Farbenempfindungen auf nur zwei: Gelb und Blau. Während aber die angeborene Anomalie in ihren einzelnen Formen dauernd unverändert bleibt, gewährt die erworbene wechselnde Bilder, die angrenzend an den normalen Farbensinn durch die verschiedensten Grade der Störung bis in das Gebiet der totalen Farbenblindheit führen. Von geringen Abweichungen beginnend, reihen sich in zunehmendem Maße die Störungen langsam oder schneller aneinander, ohne durch schärfere Abgrenzungen hervorzutreten. Wie bei der erworbenen Tritanopie können die Erscheinungen einen stationären Zustand annehmen, oder sie können allmählich wieder verschwinden, um einem normalen Verhalten Platz zu machen. Die erworbene Rotgrünblindheit hängt von krankhaften Veränderungen ab, welche die Sehbahn an irgendeiner Stelle von der Netzhaut bis zur Hirnrinde direkt oder indirekt treffen. Ob nun ein Auge oder beide von der Farbensinnanomalie ergriffen werden und in welcher Ausdehnung, richtet sich nach dem Sitz des Krankheitsherdes. Wenngleich die verschiedenen Erkrankungen nicht mit den spezifischen Farbensinnstörungen beantwortet werden, so wird doch der Verlauf der Störung durch die Art der Krankheit modifiziert.

Wie bei der erworbenen Tritanopie, so ist auch bei der Rotgrünblindheit das allmähliche Auftreten von Farbenveränderungen zunächst nur in einem kleinen Teile des Gesichtsfeldes und nur in einem Auge schuld daran, daß der Kranke seinen Defekt nicht wahrnimmt. Indessen können ihn aber bereits auftretende Chromatopien, in Rot und Grünsehen bestehend, auf sein vorhandenes Leiden aufmerksam machen. Zieht er bei steigendem Ausfall sein gesundes Auge zum Vergleiche heran, so bemerkt er vielleicht im Störungsbezirk schon, daß die Sättigung der Farben im Nachlassen begriffen ist, und daß auch die Farbentöne selbst sich zu ändern beginnen, indem rote Objekte mehr gelblich, violette bläulich erscheinen.

Da man bei der *Untersuchung* der Farbensinnstörung zunächst noch im Unklaren ist, welche Phase sie erreicht hat, so muß man den labilen Charakter der Anomalie berücksichtigend, die Prüfung entsprechend gestalten. Die Unter-

suchungsbedingungen üben einen wesentlichen Einfluß auf das zu erzielende Resultat aus: daher keine schematische Starrheit, sondern systematische Änderung in der Größe der farbigen Prüfungsobjekte sowohl, wie in deren Sättigung und Lichtintensität. Bei sinngemäßer Modifikation wird es möglich, den Beginn der Störung zu ermitteln und deren allmähliches Fortschreiten zu

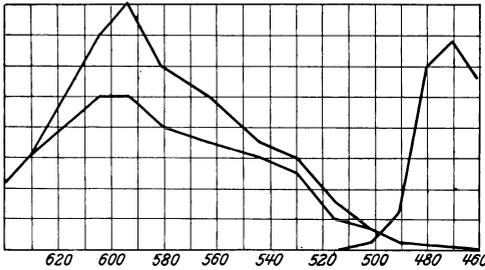


Abb. 10a. Typische erworbene Rotgrünblindheit im dichromatischen Stadium. Die beiden Grenzlinien für die Kurve des langwelligigen (roten) und die Kurve des kurzwelligen (blauen) Eichlichtes. (Nach KÖLLNER.)

Einengung aufweist. Man verwendet als farbige Prüfungsobjekte rote, grüne, gelbe und blaue Marken. Letztere beiden erscheinen solange unverändert, bis das Stadium der totalen Farbenblindheit eintritt. Rot dagegen nähert sich beim Fortschreiten der Rotgrünblindheit allmählich dem Orange, dann dem Gelb, schließlich dem Grauweiß. Grün wird gelblich, sodann blasser und

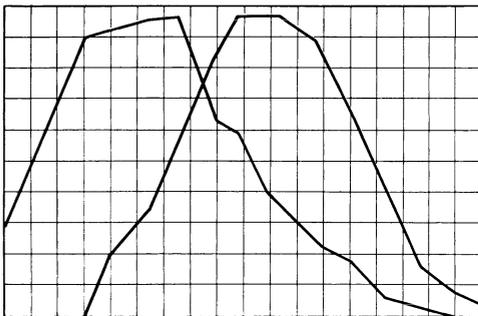


Abb. 10b. Die beiden Eichwertkurven einer erworbenen Tritanopie. (Nach KÖLLNER.)

ab im Gegensatz zum anomalen Trichromaten. Aber auch Gleichungen erkennt er noch an, die der Farbentüchtige bereits genau differenziert. Sodann wird ein Unterschied zwischen Natriumgelb und Thalliumgrün nicht mehr wahrgenommen, und auf weiterer Stufe erscheinen auch Natriumgelb und Lithiumrot gleichaussehend. Somit hat die Rotgrünblindheit eine Eigentümlichkeit erreicht, die wir bereits bei der angeborenen Protanopie und Deutanopie fanden. Aber das Helligkeitsverhältnis der beiden Lichter ist für den Protanopen ein anderes, als für den (erworben) Rotgrünblinden. Das Gelb des Protanopen sieht der Rotgrünblinde viel dunkler; der eine erkennt die Gleichung des anderen nicht an. Dem Deutanopen gegenüber besitzt der Rotgrünblinde eine verminderte Empfindlichkeit gegen Helligkeitsdifferenzen der beiden Vergleichslichter Rot und Gelb. Für den Deutanopen genügen bereits geringere Helligkeitsverschiebungen der Lichter, wie für den Rotgrün-

registrieren; Voraussetzung bleibt allerdings, daß der Patient genügend lange Zeit der Beobachtung zur Verfügung steht. Man vergesse nicht bei seinen Schlußfolgerungen in Erwägung zu ziehen, ob nicht etwa eine angeborene oder erworbene Blaugelbblindheit mit in Betracht kommt.

Zunächst gilt es auch hier, den Ausfallsherd *perimetrisch* sorgfältig abzugrenzen, zu eruieren, ob ein zentrales Skotom vorliegt, oder ob das Gesichtsfeld sektorenförmige, konzentrische bzw. hemianopische

Man gewinnt mit der Perimeteruntersuchung für die Rotgrünblindheit in qualitativer und quantitativer Hinsicht bereits einen Anhalt. Zur Vervollständigung in dieser Richtung bieten die *Farbengleichungen* weitere Vorteile, wie wir sie in der Mischung aus Lithiumrot und Thalliumgrün als Vergleich dem Natriumgelb gegenüber (Rayleighgleichung) besitzen.

Schon im Beginn der Störung weist der Rotgrünblinde die *Rayleighgleichung* des Normalen nicht

blinden, um die Farbgleichung aufzuheben. Die erworbene Anomalie hebt sich also von den beiden Formen der angeborenen merklich ab.

Abweichend von dem geschilderten Durchschnittsverhalten hat KÖLLNER mehrere Fälle beobachtet, bei denen die Grünempfindung kaum alteriert war, um so auffallender aber die Empfindung für Rot mangelte. Dazu wurde auch das Helligkeitsverhältnis für Spektralrot und Gelb anders bewertet, wie zwischen erworbener Rotgrünblindheit und Protanopie bzw. Deuteranopie; es erforderte das Gelb eine erheblich größere Helligkeit, um dem Rot gleich zu werden.

Bei Betrachtung des *spektralen Farbenbandes* tritt die veränderte Farbenempfindung des Rotgrünblinden in folgender Weise zutage. In der Gesamtheit büßt das Spektrum an Sättigung ein, indem zugleich eine Anzahl von Farbtönen überhaupt ausscheidet, und die übrigbleibenden Gelb, Blaugrün und Blau immer weißlicher werden. Das Blaugrün ungefähr zwischen  $490 m\mu$  und  $500 m\mu$  gelegen, wird blaßgrün, und von hier aus nach dem langwelligen Ende zu nehmen die Lichter einen gelben, nach dem kurzwelligen Ende zu einen blauen Farbenton an. Die Sättigungsabnahme geht an den Enden langsamer vor sich und steigert sich mit der Annäherung an das Blaugrün bis zur völligen Farblosigkeit; jetzt erst ist das Stadium der *Rotgrünblindheit im dichromatischen Sinne* eingetreten. Nunmehr erscheint das Spektrum nur noch in *zwei Farbtönen* Gelb und Blau, welche durch die farblose Strecke, die *neutrale Zone* getrennt werden. Die beiden Farben entsprechen dem Gelb  $575 m\mu$  und Blau  $471 m\mu$  des Normalen, besitzen aber für den Rotgrünblinden eine geringere Sättigung, und zwar sogleich vom Beginn der Farbensinnstörung an.

Die *Ausdehnung* des Spektrums erleidet bei der Entwicklung der Rotgrünblindheit weder am langwelligen noch am entgegengesetzten Ende eine Einschränkung, stimmt vielmehr mit der des Farbentüchtigen überein.

Die *Endstrecken* des Spektrums fehlen bei der erworbenen Rotgrünblindheit nicht, unterliegen indessen, wie das ja aus dem Charakter der Anomalie erklärlich ist, größeren Schwankungen. Sie reichen am langwelligen Teil vom Rot bis ins Gelbgrün, am kurzwelligen Ende vom Violett bis ins Indigoblau; also dort ein Gelb, hier ein Blau, jedes in seinem Bereich in gleichem Farbenton und in gleicher Sättigung, aber in verschiedener Helligkeit.

Eine weitere Stütze, die Eigenart der erworbenen Rotgrünblindheit herauszuheben, bietet die qualitative Prüfung der *Lichtmischungsverhältnisse* dar. Die in dieser Beziehung gefundenen Eichwerte verdanken wir besonders den sorgsamsten Studien KÖNIGS und KÖLLNERS. Aus den zum Teil indirekt ermittelten

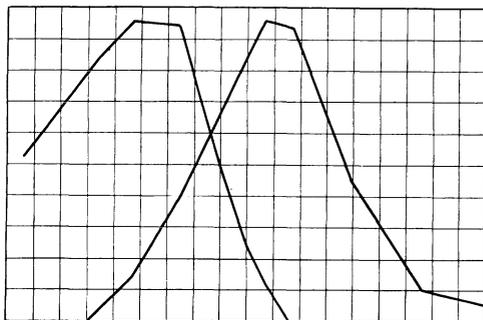


Abb. 10c. Die beiden Eichwertkurven eines tritanopischen Systems bei beginnender Sehnervenatrophie. Beginnende Verschmelzung der beiden Eichwertkurven. (Nach KÖLLNER.)

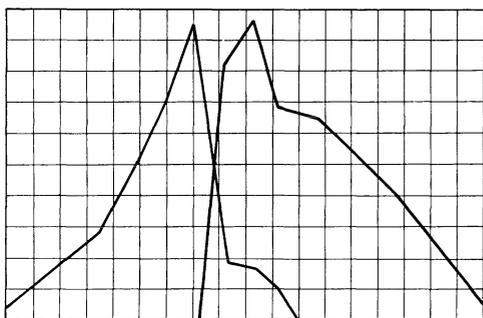


Abb. 10d. Fortschreitende Verschmelzung der beiden Eichwertkurven eines erworbenen tritanopischen Systems bei Sehnervenkrankung. (Nach KÖLLNER.)

Resultaten ersieht man, daß die der angeborenen Protanopie und Deutanopie entsprechenden langwelligen Eichwertkurven der fortschreitenden Rotgrünblindheit vom Eintreten bis zur ausgesprochenen Dichromasie sich mehr und mehr nähern und schließlich miteinander verschmelzen. Diese Endkurve hat ihren Scheitel zwischen  $590\text{ m}\mu$  und  $610\text{ m}\mu$ , weicht in ihrem Verlauf von der des Protanopen (Gipfel bei  $571\text{ m}\mu$ ) ab, besitzt aber mit derjenigen des Deutanopen (Gipfel bei  $600\text{ m}\mu$ ), abgesehen von einem flacheren Abfall, viel Übereinstimmung.

**Begleitsymptome.** Die im Gebiete des Sehorgans sich abspielenden pathologischen Prozesse, welche die Rotgrünblindheit verschulden, finden nicht nur in dieser einen Richtung ihre Auslösung, sondern bedingen gleichzeitig auch noch andere Anomalien.

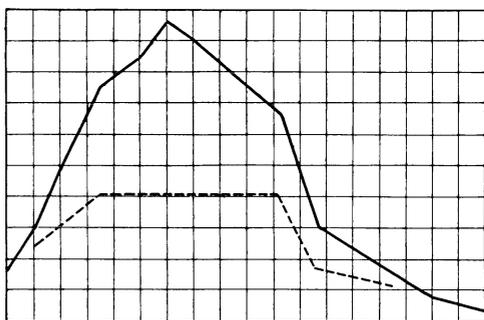


Abb. 10e. Vollendete Verschmelzung der Kurven bei Blaugelbblindheit zu einer einzigen durch Hinzutreten einer erworbenen Rötgrünblindheit. (Untere und obere Grenze der Eichwerte.)  
(Nach KÖLLNER.)

Mehrere Störungen begleiten in geringerem oder stärkerem Maße die Rotgrünblindheit mit großer Regelmäßigkeit, laufen mit derselben teilweise parallel, teilweise hingegen verhalten sie sich auch ganz abweichend. Man kann also aus der einen Anomalie nicht ohne weiteres einen Schluß auf den Verlauf der anderen ziehen.

Die *Dunkeladaptation* erleidet zwar nicht immer, jedoch sehr häufig eine Herabsetzung; indessen macht sie sich wegen ihrer geringen Erscheinungen nicht besonders bemerklich.

Dagegen fehlt eine Verminderung des *Lichtsinn*es fast niemals, auch hält die Steigerung dieses Mangels mit der zunehmenden Rotgrünblindheit ziemlich gleichen Schritt. Helligkeitsunterschiede schon erheblichen Grades werden nicht mehr wahrgenommen; Weiß erscheint einem Schwarz gegenüber mehr grau, stärkere Beleuchtung ändert die Deutlichkeit des Sehens, die Objekte erscheinen neblig verhüllt, während bei sinkender Beleuchtung das Umgekehrte eintritt (*Nyktalopie*).

Die Herabsetzung der *Sehschärfe* vermißt man im Gefolge der Rotgrünblindheit kaum, und zwar bewegen sich beide Ausfallserscheinungen durchschnittlich in derselben Richtung sowohl im fortschreitendem Sinne, als auch im rückläufigen, wenn durch Heilung der Krankheitsprozeß weicht und wieder normale Funktion eintritt. Es kommen allerdings auch Ausnahmen vor. Es kann sogar die Sehschärfe ihren vollen Wert behalten, während eine deutliche Rotgrünblindheit sich entwickelt.

**Ätiologie.** Schon bei früherer Gelegenheit wurde darauf hingewiesen, daß die erworbene Rotgrünblindheit im Zusammenhang mit Krankheitsprozessen steht, welche die optische Bahn zwischen Netzhaut und Ganglienzellen des Sehentrums beeinflussen. In dieser Beziehung verdienen auch die Erkrankungen in der Nachbarschaft der Sehbahn (Stirn-, Keilbein-, Kieferhöhlen, Siebbeinzellen) Beachtung. Es können ferner Druckwirkungen von Tumoren, Intoxikationen, Infektionen, Blutungen, Traumen, Exsudate oder Ernährungsstörungen usw. eine Rolle spielen. Je nach dem entzündlichen oder degenerativen Vorgang gestaltet sich die Schädigung als vorübergehend oder bleibend. Der fortschreitende Charakter der Farbensinnanomalie findet wohl seine Erklärung in einer anfangs nur teilweisen, dann aber mehr und mehr steigenden Behinderung

der Leitung bis zur völligen Unterbrechung. Dabei tritt zuerst die Störung der Rotgrünempfindung in Erscheinung, während die Gelbblauempfindung noch unberührt bleibt. Jedes einzelne der geschilderten Stadien kann verschieden lange Zeit innegehalten werden, je nach dem Verlauf des ursächlichen Krankheitsprozesses. Ebenso gibt es wesentliche Besserungen, ja es sind Fälle beobachtet worden, bei denen sich völlige Heilung einstellte. Die einzelnen Funktionen kehrten in umgekehrter Reihenfolge, wie sie schwanden, wieder, und es waren keine Ausfallserscheinungen mehr nachzuweisen.

Es ist zwar möglich aus den verschiedenen Formen des Farbengesichtsfeldausfalls (zentral, peripher, sektorenförmig, hemianopisch) einen Schluß über die Lokalisation des störenden Herdes zu ziehen, jedoch sind die einzelnen Phasen der Farbensinnanomalie hierfür sowie für die zugrunde liegende Art des Prozesses gar nicht oder nur mit großer Vorsicht zu verwerten (s. Kapitel BEHR und BEST in Bd. 6 des Handbuches).

### 3. Die erworbene totale Farbenblindheit.

Angeborene und erworbene totale Farbenblindheit stimmen zwar insofern überein, als bei beiden in der Wahrnehmung das bunte Bild der Außenwelt fehlt: in eintöniger Farblosigkeit, heller oder dunkler grau präsentiert sich die Umgebung, keine farbige Pracht erfreut das Auge. So imponiert auch das *Spektrum* nur als eine Skala *verschiedener Helligkeiten*. Aber hier scheiden sich die beiden Typen der Monochromasie. Für den angeboren total Farbenblinden liegt die hellste Stelle ungefähr bei  $535\text{ m}\mu$  im Gelbgrün, bei der erworbenen Anomalie finden wir sie in einem breiteren Bereich des Gelborange zwischen  $600$  und  $570\text{ m}\mu$ . Die Lage der hellsten Stelle bei der erworbenen Achromasie hängt wesentlich von deren Entwicklung ab. In der Mehrzahl der Fälle bildet die Anomalie die Fortsetzung der erworbenen Rotgrünblindheit. Hierbei ist die Helligkeitsverteilung im Spektrum die gleiche, wie für die total farbenblinde Zone des Normalen im Tagessehen, d. h. die Eichwertkurven beider fallen zusammen und haben ihren Gipfel im Gelb ( $580\text{ m}\mu$ ). Dieselben Beziehungen ergeben sich auch dann, wenn zu einer bereits angeborenen Blaugelbblindheit sich progressive Rotgrünblindheit hinzugesellt und zur totalen Farbenblindheit führt (PIPER, KÖLLNER).

Ist schon angeborene Protanopie bzw. Deutanopie vorhanden und wird durch hinzutretende Tritanopie Achromasie verursacht, so gestalten sich die Verhältnisse anders. Für die Protanopengruppe liegt die hellste Stelle mehr nach dem Grün ( $571\text{ m}\mu$ ), für die Deutanopengruppe nach Orange hin ( $600\text{ m}\mu$ ).

Lichtsinn und Raumsinn werden bei der erworbenen totalen Farbenblindheit meist in Mitleidenschaft gezogen. Mehrfache einwandfreie Beobachtungen berichten indessen auch über Fälle, bei denen die Sehschärfe keine nennenswerte Störung aufwies bzw. nach anfänglichem Sinken sich bedeutend besserte, trotz Fortbestehens des Farbensinndefektes.

Berücksichtigt man die Krankheitsursachen, so ist es erklärlich, daß die erworbene Achromasie mit völliger Erblindung endigen kann, daß aber auch Besserungen bis zur früheren Farbentüchtigkeit nicht ausgeschlossen sind, besonders bei Neuritiden und Apoplexien. Zuerst erscheinen blaue und gelbe Töne wieder, und sodann schwindet auch die Rotgrünstörung. Eine etwa gleichzeitig vorhandene angeborene Farbensinnstörung bleibt hierbei natürlich unverändert weiterbestehen.

### 4. Das Farbigsehen (Chromatopie).

**Symptome.** Die angeborenen und erworbenen Farbensinnstörungen, welche wir bisher unseren Betrachtungen unterzogen haben, stellen einen dauernden

oder längere Zeit bestehenden Mangel in der Wahrnehmung der farbigen Außenwelt dar, die ins Auge gelangenden Lichtstrahlen der verschiedenen Wellenlängen erfahren eine von der Norm abweichende Bewertung.

Bei der Chromatopie, die sowohl bei dem Normalen, als auch beim Farbenuntüchtigen vorkommt, findet gewissermaßen eine Umkehrung statt. Durch Vorgänge irgendwelcher Art im Sehapparat selbst werden Farbenempfindungen von meist kürzerer Dauer erzeugt und entweder im ganzen Bereich des Gesichtsfeldes oder nur in einzelnen seiner Gebiete nach außen projiziert. So kommt es, daß farblose Objekte in farbigem Gewande erscheinen, und daß bunte Gegenstände in verändertem Farbton gesehen werden. Sättigung und Helligkeit unterliegen dabei einer entsprechenden Modifikation. Eine angeborene Anomalie tritt aus dem Rahmen der ursprünglichen Einschränkung nicht heraus, wohl aber kann bei erworbener Farbenblindheit eine verloren gegangene Farbenempfindung sich wieder einstellen.

Daß im Zustande des Farbigsehens beim Betrachten bunter Objekte sich Mischfarben ergeben können, ist ohne weiteres verständlich, und ebenso wird es nicht überraschen, daß bei Mischung zweier Gegenfarben diese sich gegenseitig zur Farblosigkeit neutralisieren.

Die Chromatopie kann in jeder einzelnen Farbe: Rot, Grün, Blau u. a. in Erscheinung treten; sehr oft aber bleibt es nicht bei der Einfarbigkeit, es gesellt sich auch noch die Komplementärfarbe hinzu. Beide machen sich dann entweder gleichzeitig bemerkbar, indem beispielsweise die einen Objekte grünlich, die anderen rötlich schimmern, oder es stellt sich in mehrfachem Wechsel bald das Grün, bald die Gegenfarbe in den Vordergrund. Beim Sehen in einem bestimmten Farbton, z. B. Rot, wird dieser zwar vorherrschend, er lagert sich gewissermaßen wie ein durchsichtiger farbiger Schleier über das Blickfeld, aber der bunte Charakter der Außenwelt bleibt weiterbestehen, allerdings mit den oben erwähnten durch Farbkombination bedingten Modifikationen.

Die Chromatopie tritt manchmal in Form farbiger Blitze auf, mitunter währt sie einige Minuten, verschwindet, kehrt wieder; aber sie kann auch stunden- und tagelang anhalten. Ein bestimmter Farbton braucht nicht dauernd gleich zu bleiben, vielmehr kann er sich mehrfach ändern, wie z. B. bei der Blendungserythropie von Purpur in Zinnoberrot, Orange, Gelb übergehen. Gleichfalls schwankend ist die Intensität des Farbigsehens. Bei der Xanthopie durch Santoningenuß und bei der Blendungserythropie wurde außerdem insofern eine Ungleichmäßigkeit beobachtet, als das Farbigsehen in der Maculagegend schwächer als in den peripheren Zonen zur Geltung kam.

**Ursachen.** In der Reihe der Chromatopien nehmen diejenigen, wie wir sie bei Gelbfärbung der Linse, bei präretinalen Blutungen, bei Ikterus, bei Staroperierten beobachten, eine Sonderstellung ein: hier erfahren die Lichtstrahlen bereits eine Änderung, bevor sie zu den nervösen Sehelementen gelangen. Das Farbigsehen beruht hier also auf rein physikalischen Momenten und nicht auf inneren Reizvorgängen (s. S. 295).

Die übrigen Chromatopien sind anderer Natur. Wir wissen zwar aus sehr zahlreichen Beobachtungen, daß sie durch mancherlei Alterationen im Sehapparat veranlaßt werden; aber wie sie im einzelnen zustande kommen, ist uns größtenteils unbekannt.

Als auslösende Ursachen kommen Blutdruckschwankungen in Betracht, ferner mechanische Einwirkungen, thermische, elektrische, sowie Lichtreize. Es sei nur daran erinnert, wie nach Wanderungen über sonnenbeschienene Schneeflächen beim Eintritt in weniger beleuchtete Räume das Farbenspiel in Rot und Grün sich einstellt (Blendungserythropie). Es sind jedoch gar nicht

solch intensive Strahlungen notwendig, schon bei erweiterter Pupille oder bei Iriskolobomen genügt der vermehrte Lichtzutritt zur Netzhaut, um ähnliche Farbenscheinungen hervorzuzaubern. Man findet das Phänomen hauptsächlich als Rotsehen auch unter annähernd normaler Beleuchtung bei Personen, die durch Gemütsbewegungen leicht erregbar sind, oder in ihrem Ernährungszustand geschädigt wurden.

Eine große Rolle als Erreger von Farbigsehen spielen die toxischen Reize. So haben wir bei Vergiftung mit Äthyl- bzw. Methylalkohol und Nicotin Blausehen; bei Methylalkohol tritt daneben noch Scharlachrot-, bei Nicotin auch Gelbsehen auf. Jod erzeugt Erythropie, Pikrinsäure, Chromsäure, Kohlenoxyd, Xanthopie; Santonin Gelb-Grünsehen gemischt mit violetten Tönen. Bei Wurstvergiftung wurde Grünsehen, bei Pilzvergiftung Violettsehen beobachtet. In chemisch-toxischer Beziehung lassen sich hier die Zerfallsprodukte anreihen, die sich bei Eiterungen und Infektionskrankheiten bilden: Blausehen bei Otitis media, Gelbsehen bei Typhus und Influenza.

Schließlich finden wir Farbigsehen bei Erkrankungen der Ader- und Netzhaut (Ablatio), sowie des Sehnerven, bei Gehirnerschütterungen, Apoplexien, Tabes, Dementia paralytica, Epilepsie, Hysterie und Neurasthenie. Die einzelnen Krankheiten charakterisieren sich nicht durch Sehen in einem bestimmten Farbenton oder in einer regelmäßigen Farbenfolge, sondern die Erscheinungen unterliegen einem vielseitigen Wechsel. Manchen Erkrankungen gehen als warnende Vorläufer Chromatopien voraus.

### C. Die Diagnose der Farbensinnstörungen.

**Zustand des Sehorgans.** Die Prüfung des Farbensinnes, mag er regelrecht oder gestört sein, setzt bestimmte Bedingungen voraus, unter welchen das Sehorgan untersucht werden soll, Bedingungen, die das Auge selbst betreffen und solche, die außerhalb desselben liegen. Es müssen daher Zustände und Vorgänge, welche die Erfüllung jener Forderungen in irgendwelchem Grade beeinflussen, bei Beurteilung des Farbensinnes Berücksichtigung finden. Die folgende Darstellung beschränkt sich auf die für den Praktiker wichtigen Methoden und läßt diejenigen für die wissenschaftliche Forschung im weiteren Sinne in Betracht kommenden beiseite.

Geringe Abweichungen des *Brechungszustandes* des Auges von der Norm können unbedenklich außer acht gelassen werden. Höhere Grade von Ametropie bedürfen aber der Korrektur, damit die Erkennung kleinerer farbiger Prüfungsobjekte auch in größerem Abstände ermöglicht wird, und störende Zerstreuungskreise auf der Netzhaut vermieden werden. Ebenso muß man bei etwa vorhandener Akkommodationsstörung durch entsprechende Gläser für scharfe Netzhautbilder Sorge tragen. Es darf nicht vergessen werden, den vermehrten Lichteintritt bei weiter Pupille, Kolobom der Iris od. dgl. in Rechnung zu ziehen (Blendung).

Ferner verdient die Beschaffenheit der *brechenden Medien* Beachtung, insofern als stärkere Trübungen in ihnen auch schon bei guter Beleuchtung das Dämmerungssehen begünstigen. Erinnerung sei an die Absorption kurzwelliger Strahlen durch die mit dem Alter intensiver werdende Gelbfärbung der Linse. In demselben Sinne will die mehr oder weniger starke Gelbfärbung der Macula bewertet sein. Auch die veränderte Strahlenfiltration bei fehlender Linse erfordert Berücksichtigung.

Ganz besondere Aufmerksamkeit beansprucht der jeweilige *Adaptationszustand* des Sehorgans. Mit zunehmender Dunkeladaptation verlieren die Farben an Sättigung, zugleich nehmen die kurzwelligen Lichter gegenüber den langwelligen relativ an Helligkeit zu (PURKINJESches Phänomen). Diese Erscheinungen fallen bei genügender Helladaptation fort. Zwischen den beiden

extremsten Anpassungszuständen liegt eine Reihe von Abstufungen, die bei Bewertung der Untersuchungsergebnisse mit beachtet werden müssen.

Zur *ausreichenden Helladaptation* gehört eine gute möglichst unveränderliche Tagesbeleuchtung, der sich der Prüfling längere Zeit aussetzt. Dabei muß er vermeiden farbige Objekte zu betrachten; am besten sieht er auf eine graue Fläche. Während der Untersuchung sind öftere Ruhepausen einzuschalten. So wird eine gleichmäßige neutrale Stimmung des Sehorgans erzielt, und eine lokale Umstimmung vermieden. Der Raum, in welchem die Untersuchung vorgenommen wird, sofern dies nicht im Freien geschieht, erfordert helles Tageslicht, Decken und Wände müssen weißen oder hellgrauen, jedenfalls keinen bunten Anstrich besitzen. Ungeeignet sind Zimmer, in welchen buntes Licht von gegenüber befindlichen Gebäuden oder Bäumen reflektiert wird.

**Allgemeine Beschaffenheit der Farbenproben.** Sehr wichtig bei der Untersuchung sind *Größe* und *chromatischer Charakter* der farbigen Prüfungsobjekte. Die völlig stäbchenfreie Zone der Fovea centralis hat nach FRITZSCH einen horizontalen Durchmesser von 0,2 mm, dem ein Gesichtswinkel von weniger als  $1^\circ$  entspricht (nach KOSTER  $2^\circ$ , nach NAGEL  $1,35^\circ$ — $1,8^\circ$  Durchmesser, also etwa 0,34 mm, nach WOLFRUM 0,44 mm). Soll daher der Fovealbezirk oder ein kleiner peripherer Gesichtsfeldausschnitt untersucht werden, so muß die nötige Ausdehnung des Testobjektes für die jeweilige Entfernung entsprechend bemessen werden. Verschiebliche Blenden in Quadrat- oder Kreisform erleichtern die Regulierung. Um Helligkeitsdifferenzen der Farben bei auffallendem Lichte auszuschalten, ist es ratsam eine bestimmte Prüfungsentfernung beizubehalten. Damit das Testobjekt als farbig erkannt wird, muß dessen Größe bis zu einem gewissen Grade beschränkt werden, und andererseits verlangt die Prüfung extrafovealer Gebiete oder auch stärkerer fovealer Störungen einen über  $2^\circ$  hinausgehenden Winkel. Werden statt eines gleichzeitig zwei Objekte zur Prüfung verwendet (Vergleichsfelder), so müssen sie beide in Größe und Form übereinstimmen und außerdem möglichst dicht aneinander grenzen; zwischengeschaltete Stege sind also zu vermeiden.

In *chromatischer* Beziehung kommt es bei den Reizlichtern auf den Farbenton, die Sättigung und die Intensität an.

Diesen vielseitigen Bedingungen genügen in vollkommener und vor allem bequem meßbarer Weise nur homogene Lichter, die man sich durch Spektralapparate herstellen kann. Große Sorgfalt muß auf Gleichmäßigkeit der Lichtquelle verwendet werden. Das *Sonnenlicht* erlaubt wegen seiner wechselnden Stärke im Verlauf des Tages und wegen der durch Staub, Rauch, Regen, Schnee, Wolken bedingten Schwankungen nur eine beschränkte Benutzung. Wenn man sich seiner aber bedient, — denn es eignet sich wegen seines großen Gehaltes an kurzwelligen Strahlen für manche Untersuchungen ganz besonders — so müssen möglichst immer dieselbe Tageszeit, klare Luft und wolkenloser Himmel gewählt werden.

Bequemer sind *künstliche Lichtquellen*, wieweil auch hier die Innehaltung der Intensitätskonstanz gewisse Schwierigkeiten bereitet. In Ermangelung von Elektrizität kommen Spiritus-, Petroleum- oder Gasglühlicht in Frage. Die Schwankungen des Gasdruckes bedürfen einer öfteren Regulierung. Von den elektrischen Lichtquellen scheiden die Bogenlampen wegen ihrer ungleichmäßigen Lichtstärke als ungeeignet aus. Kohlen- und Metallfadenlampen liefern ein ziemlich gleichmäßiges Licht, wenn durch die nötigen Widerstandsschaltungen die Stromspannung konstant erhalten wird. Sehr brauchbar ist nach v. HESS die Nernstlampe wegen ihrer sehr geringen Schwankungen. Im Gasglühlicht herrschen wie im Sonnenlicht die kurzwelligen, im Nernstlicht

und elektrischen Glühlicht die langwelligen Strahlen vor. Der verschiedene Strahlengehalt darf bei der Wahl der Lichtquelle nicht übersehen werden.

Die ausschließliche Verwendung von Spektralapparaten verbietet sich wegen der hohen Kosten von selbst; man muß sich daher an Stelle von homogenem Licht oft mit *gemischtem Licht* behelfen und kann mit ihm bei vielen Untersuchungen auskommen.

Wir benutzen reflektiertes Licht, welches uns *pigmentierte Stoffe* (Papier, Wolle, Pulver usw.) liefern, oder Strahlen, die *gefärbte durchsichtige Medien* (Flüssigkeiten, Gelatine, Glas, Krystalle) passiert haben. Es hat seine Schwierigkeiten, mittels Pigmenten und Filtern bestimmte Farben herzustellen und unveränderlich zu erhalten, weil die bleichende Wirkung des Lichts nicht vollkommen ausgeschaltet werden kann. Immerhin läßt sich durch öftere Kontrolle und eventuelle Erneuerung eine ausreichende Konstanz der Farben erreichen. Die Pigmente gestatten auf dem Wege der Rotationsmischung die Herstellung jeden Farbtones, und durch Änderung des Weiß- und Schwarzgehaltes die Regulierung der Sättigung und Helligkeit (s. Abb. 53 auf S. 268 in diesem Bande).

Gegenüber den Pigmentfarben zeichnen sich die bunten Gläser durch größere Lichtbeständigkeit aus und außerdem gewähren sie eine ausgiebigere und bequemere Variierung der Lichtstärke. In den von SCHOTT, Jena hergestellten bunten und grauen keilförmigen Gläsern besitzen wir ein Mittel, Strahlen eines begrenzten Spektralbezirkes zu benutzen bis zu einem gewissen Grade unter Berücksichtigung der Helligkeit und Sättigung. Dem gleichen Zwecke dienen die GOLDBERGSchen Farben- und Graukeilfilter aus Gelatine. Durch Verschieben der betreffenden Keile gegeneinander lassen sich außerdem allmähliche Übergänge des einen Farbtones in einen anderen erzielen.

Zur Vermeidung des Farbenkontrastes ist es nötig, bei den Untersuchungen als Untergrund ein neutrales Grau zu wählen.

**Farbenbenennungen.** Es ist bekannt, daß der angeborenen Farbenblinde in der Benennung der Farben selten einen Fehler begeht, weil er von Jugend an lernte sie ebenso zu bezeichnen, wie der Farbentüchtige. Ist er sich seines Mangels bewußt und hat er ein Interesse, ihn zu verbergen, so weiß er mancherlei Umstände, wie Helligkeits- und Sättigungsdifferenzen zu seinem Vorteil auszunutzen und seine Umgebung zu täuschen. Immerhin kann man bei der Farbensinnprüfung mit der nötigen Vorsicht und Geschicklichkeit sich der Farbenamen bedienen. Der weniger geübte Untersucher aber vermeidet lieber diesen Modus, sonst kann es ihm passieren, daß er durch scheinbar richtige Antworten zu falschen Schlüssen gelangt.

Bei der in früher Kindheit aufgetretenen oder später erworbenen lange anhaltenden beiderseitigen Farbenblindheit fehlen oder schwinden bestimmte Farbenvorstellungen, aber die Benennung bleibt noch in der Erinnerung. Darum muß man, wie oben gesagt, auch hier dieselbe Vorsicht walten lassen.

Liegt eine erworbene Anomalie nur eines Auges vor, oder erstreckt sich der Mangel nur auf Teile des Gesichtsfeldes, so treten normales und gestörtes Farbfeld nebeneinander gleichzeitig in Erscheinung. Hier bietet die Benennung der Farben für die Beurteilung des Zustandes eine wertvolle Unterlage. Geben die Aussagen zu Bedenken Anlaß, so erwäge man, ob nicht bereits eine angeborene Anomalie bestand. Auch die Ausdrucksweise des Untersuchten kann Schwierigkeiten bereiten. Gar nicht wenige Personen, besonders männliche kennen diesen und jenen Farbensausdruck nicht (farbendumm) und gebrauchen, obwohl sie vollkommen farbentüchtig sind, eine verkehrte Benennung. Durch kleine Hilfen bringt man den Prüfling bald auf die richtige Fährte.

Die *Untersuchungsmethoden* der Farbensinnstörungen bezwecken auf der einen Seite festzustellen, ob eine Abweichung des Farbensinnes vorliegt und welcher Art sie ist (*qualitativ*), auf der anderen Seite, den Grad der Störung zu ermitteln und in Maßeinheiten auszudrücken (*quantitativ*).

### 1. Qualitative Untersuchungsmethoden.

Von den zahlreichen Prüfungsverfahren sollen diejenigen, welche hauptsächlich auf Benennung von Farben beruhen (bunte Laternen usw.) und sich als wenig zuverlässig erwiesen haben, nicht näher besprochen werden. Aber auch von den exakteren Methoden seien nur die gebräuchlichsten angeführt. Wir werden sehen, daß nicht jede von ihnen allen Anforderungen gerecht wird, sondern daß die eine mehr in dieser, die andere mehr in jener Richtung Vorteile bietet. Man darf also nicht auf eine einzelne Methode schwören. Je vielseitiger die Prüfung durchgeführt wird, um so sicherer gestaltet sich die Diagnose.

Das allen Verfahren gemeinsame Ziel ist darauf gerichtet, zu ermitteln, ob der Untersuchte imstande ist, in der gleichen Weise wie der Normale verschiedene Farben voneinander zu unterscheiden, oder ob ihm diese Fähigkeit fehlt. Um die Untersuchungen besonders für den Praktiker nicht zu zeitraubend zu gestalten, war man darauf bedacht, nicht beliebige Farben darzubieten, sondern solche, die vom Farbenuntüchtigen leichter miteinander verwechselt werden.

**Wahlproben.** Bei den Wahlproben kommt es für den Prüfling darauf an, aus einer größeren Anzahl von verschiedenfarbigen Objekten diejenigen herauszufinden, welche zu derselben Farbenart gehören. Der Berliner Augenarzt SEEBECK benutzte bereits 1837 zu derartigen Untersuchungen 300 farbige Papiere, die er sortieren ließ, und wies auch bereits auf die Vorzüge bunter Stickwollen zu Prüfungszwecken hin. Die Verwendung von farbigen Wollen fand erst später durch HOLMGREN allgemeine Verbreitung. PERTORELLI vermehrte das HOLMGRENSCHE Sortiment durch Hinzufügen von orangefarbenen Wollen; statt der Wollbündel benutzte er hölzerne Kugeln, die er mit bunten Wollfäden überziehen ließ.

DAAE hat auf einer Tafel eine größere Reihe von kleinen verschiedenfarbigen Wollquadraten befestigt; Aufgabe des Prüflings ist es, die zusammengehörigen Farben herauszufinden.

COHN bediente sich bei seinen Wahlproben rechteckiger Fläschchen, die mit farbigen Pulvern gefüllt waren.

Das gleiche Ziel verfolgend, ließ ADLER 98 verschiedenfarbige Stifte herstellen und glaubte, das Untersuchungsergebnis fixieren und beliebig lang aufbewahren zu können, indem er von dem Untersuchten die verlangte Farbe mit Namensbezeichnung mittelst des gewählten Stiftes aufschreiben ließ.

Von all diesen Methoden erwarb sich die meisten Anhänger die *SEEBECK-HOLMGRENSCHE Wollprobe*. Um sie auszuführen, bedient man sich eines Original-Wollbündelsortimentes von OLDBERG-LINDBERG, TORSÅKER in Schweden oder als Ersatz einer Zusammenstellung von DÖRFFEL, Berlin.

*Grünprobe.* Die Wollbündel werden auf einer ebenen grauen Unterlage bei guter Tagesbeleuchtung ausgebreitet. Nun nimmt man mehrere grüne Bündel heraus, erklärt dem Prüfling, daß diese zwar verschiedene Helligkeiten besitzen, aber zu einer Farbe zusammen gehören, und mischt sie wieder unter die übrigen. Eine hellgrüne, wenig gesättigte Probe legt man jetzt abseits und weist den Untersuchten unter Vermeidung der Farbenbenennung an, sämtliche Gebinde von gleicher Farbe zu dem ausgewählten Muster hinzuzulegen. Der intelligente Farbentüchtige vollführt den Auftrag ohne Zögern richtig. Bei weniger gebildeten

und ungeschickten Personen führt einige Geduld und Aufklärung ebenfalls zum Ziele. Rotgrünblinde dagegen fügen gewöhnlich zu der Vorlage außer grünen graue, graubraune, graurötliche, rosafarbige und blaugrüne Bündel hinzu und verraten so ihre Anomalie.

*Purpurprobe.* Hier wird in analoger Weise wie mit den Grünbündeln verfahren; ein rosafarbenes Muster dient als Vorlage. Der Rotgrünblinde legt zu der Probe graue, blaugrüne, blaugraue, violette und blaue Bündel. Der Violettblinde verwechselt Rosa mit Feuerrot und Gelbrot.

Anomale Trichromaten können sich wohl durch ihr zögerndes Verhalten verdächtig machen, lassen sich mitunter auch eine der Verwechslungen zuschulden kommen, aber sie können oft beide Proben ohne den geringsten Fehler bestehen.

Dehnt man die Prüfung weiter aus, indem man eine größere Reihe von Verwechslungsfarben als Vorlage nimmt und zu den einzelnen Mustern hinzuwählen läßt, sowie die Untersuchung wiederholt ausführt, so gelingt es noch manchen als farbenuntüchtig zu entlarven, der zuvor durchschlüpfte; aber eine absolute Gewähr für Farbentüchtigkeit bietet das Bestehen der SEEBECK-HOLMGRENSCHEN Probe nicht. Außerdem setzt uns das Verfahren der genannten Autoren nicht in stand, bei positivem Ausfall der Prüfung zu unterscheiden, welche Art der Farbsinnstörung vorliegt.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß anomale Trichromaten sowie auch Dichromaten bei der Betrachtung größerer Flächen diese richtig beurteilen, und erst dann einen Fehler begehen, wenn sie die Farben unter einem kleinen Winkel sehen. Die HOLMGRENSCHEN Bündel haben eine Länge von 18 cm und sind somit bei der gewöhnlichen Prüfungsentfernung von 50—60 cm farbigen Objekten größerer Ausdehnung gleichzusetzen. Für die Prüfung der Fovea centralis oder kleinerer peripherer Bezirke (Skotome) sind die Wollbündel ebenfalls zu groß. Hiermit haben wir die Erklärung für die zahlreichen Versager mit der HOLMGRENSCHEN Probe. Den Mangel durch Vergrößerung der Distanz bei der Auswahl der Bündel zu beseitigen, scheidert an der beschränkten Armlänge des Prüflings; es käme als Verbesserung nur in Betracht die Wollbündel erheblich zu verkleinern. Hiermit wäre aber eine bedeutende Erschwerung der Handhabung verbunden, und die Farben würden durch öfteres Befassen mit den Fingern schnell unkenntlich werden.

**Pseudoisochromatische Proben.** Während bei der Wahlprobe der Prüfling zu einem farbigen Muster ein ihm gleiches oder ähnliches hinzufügen soll, werden bei der pseudoisochromatischen Probe dem Untersuchten *gleichzeitig* mehrere Farben zur Beurteilung dargeboten, die für den Normalen verschiedenfarbig sind, von dem Farbenuntüchtigen aber erfahrungsgemäß für gleichfarbig gehalten und infolgedessen miteinander verwechselt werden.

Ein genereller Unterschied besteht zwischen Wahl- und pseudoisochromatischen Proben nicht, denn beide Verfahren haben eine „fälschliche Farbgleichheit“ zum Ziele, ob sie nun von dem Untersuchten oder vom Untersucher hergestellt wird, ist gleichgültig.

Die pseudoisochromatischen Proben sind entweder so angeordnet, daß die farbigen Objekte sich in einer unveränderlichen Lage zueinander befinden (stabil), oder derart, daß beliebige Farben zum Vergleich nebeneinander gebracht werden (variabel).

Die *STILLINGSCHEN pseudoisochromatischen Tafeln* in Buch und Mappenform (17. Aufl., herausgegeben von HERTEL 1927) bringen in 10 Gruppen bunte arabische Zahlen (Abb. 11), die aus runden und polyedrischen Tüpfeln annähernd gleichen Farbtones, aber verschiedener Helligkeit und Sättigung bestehen. Umrahmt werden die Zahlen von Tüpfeln gleicher Form aber in der Verwechslungsfarbe. Für den Untersuchten gilt die Aufgabe die Zahlen zu entziffern. Gruppe I

bis VIII dient zur Prüfung der Rotgrünblindheit, Gruppe V, IX und X zur Prüfung der Blaugelbempfindung. Die Gruppen XI und XII, welche auch jeder Farbenblinde entziffern kann, werden zur Entlarvung von Simulation verwendet. In der allerjüngst erschienenen 18. Aufl. finden wir eine Vermehrung der Tafeln zur Prüfung der Anomalen, ferner zu feineren Untersuchung des Blaugelbsinnes nach Entwurf von ENGELKING. Schließlich ist eine Gruppe XVI nach BRÜCKNERS

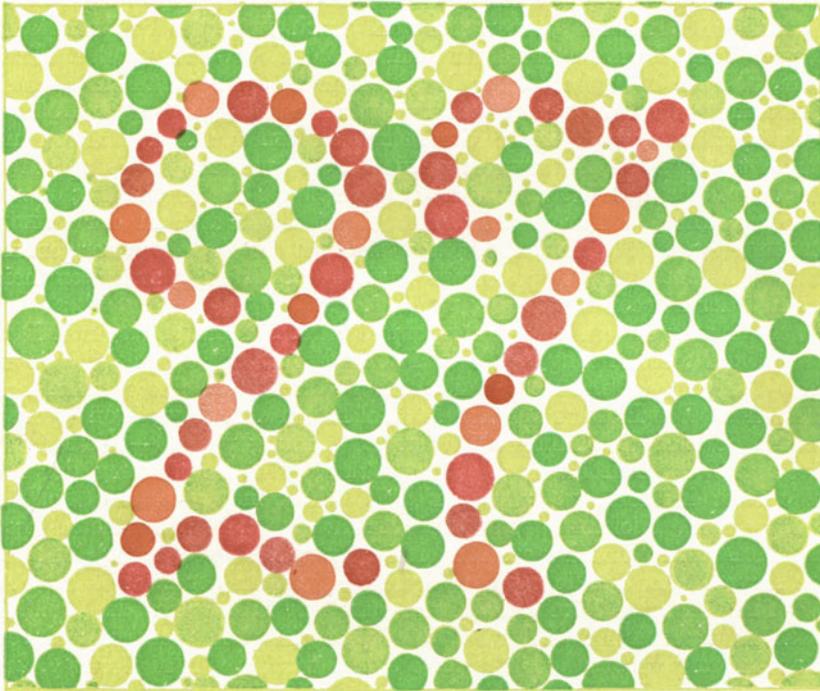


Abb. 11. Pseudoisochromatische Tafel. (Nach STILLING.)

Angaben hinzugefügt worden, die die Verwechslungsfarben in verschiedener Sättigung und Feldgröße darbietet und der „erhöhten spezifischen Farbenschwelle der Farbenuntüchtigen (Anomalen) Rechnung trägt“.

Wer auch nur eine der Zahlen von Gruppe I bis X nicht lesen kann, ist nach STILLING farbenuntüchtig, wer bei allen versagt, farbenblind. Aber für manche Farbentüchtige bietet schon die merkwürdige Form der Zahlen erhebliche Schwierigkeiten beim Entziffern, abgesehen von dem großen Einfluß der jeweiligen Beleuchtung. Es ist eine Reihe von Fällen beobachtet worden, bei denen die STILLINGSche Probe bestanden wurde, obwohl dichromatischer bzw. anomaler trichromatischer Farbensinn vorlag. Durch die Verbesserungen in der letzten Auflage hat die Sicherheit der Resultate wesentlich gewonnen. Ergänzende Untersuchungen mit anderen Methoden bleiben immerhin empfehlenswert.

Die *PODESTAschen Tafeln* enthalten 24 Wortbilder in lateinischen Buchstaben, bei denen einerseits die verschiedene Helligkeit desselben Farbentones, andererseits die Verschiedenfarbigkeit bei gleichbleibender Helligkeit geschickt verwertet wird. Wer die in ein und derselben Grundfarbe dargestellten Buchstaben liest, und die Einfarbigkeit als solche erkennt, ist farbenüchtig. Auf die Entlarvung

von Simulation ist durch entsprechende Buchstaben ebenfalls Rücksicht genommen worden.

Die *ISHIHARAschen Tafeln* sind nach dem *STILLINGSchen* Prinzip hergestellt in ähnlicher Ausführung wie die *PODESTAschen* Tafeln; den letzteren gegenüber zeichnen sie sich durch einfachere Handhabung aus. Nach v. *PLANTA* haben sich bei seinen zahlreichen Untersuchungen mit verschiedenen Methoden die *ISHIHARAschen* Tafeln als die zuverlässigsten erwiesen. Er hatte allerdings erst die 16. Aufl. der *STILLINGSchen* Tafeln zur Verfügung.

Erwähnt seien auch die *WÖLFFLINSchen Tafeln mit Umschlagsfarben* zum Nachweis von relativer Rot- und Grünsichtigkeit.

Die *NAGELschen Tafeln* (Abb. 12). *NAGEL* befolgte beim Entwurf seiner Tafeln den Grundsatz, mäßig gesättigte farbige Objekte dem zu Prüfenden unter kleinem Gesichtswinkel darzubieten.

Die Tafeln, denen eine ausführliche Gebrauchsanweisung beiliegt, sind nur zur Prüfung der Rotgrünempfindung berechnet, Gelbblaublindheit kann also mit ihnen nicht ermittelt werden. Sie bestehen aus quadratischem, weißen Kartonpapier, auf welchem kleine farbige Scheiben in Kreisform aneinander gereiht sind mit geringem gegenseitigen Abstand. In der Serie A (16 Tafeln) tragen 3 Tafeln einfarbige Ringe: Grün, Purpur und Grau von verschiedener Sättigung und Helligkeit. Auf den übrigen Tafeln finden sich Ringe mit Scheibchen in 2 oder mehr verschiedenen Verwechslungsfarben. Die Ringe mit mehrfarbigen Scheibchen werden von dem Farbenuntüchtigen für einfarbig, die einfarbigen wegen ihrer Helligkeits- und Sättigungsdifferenz für verschiedenfarbig angesprochen.



Abb. 12. Tafel. (Nach *NAGEL*.)

Die Serie B (4 Tafeln) dient unter Verwendung des erhöhten Kontrastes hauptsächlich zur Feststellung der anomalen Trichromasie: neben dem Rot erscheint dem Deuteranomalen vielfach auch dem Protanomalen Braun als Grün; die graugrüne Tafel hält der Protanomale meist für einfarbig oder das Grau neben dem Grün für Rot.

Die *NAGELschen* Tafeln wurden als amtliches Untersuchungsmittel für die Tauglichkeit des Eisenbahnpersonals zum Signaldienst eingeführt, können aber gleichfalls nicht als allein maßgebend angesehen werden, nachdem ein nicht allzuseitenes Versagen derselben von vielen Seiten bestätigt wurde.

**Florkontrast.** Auf einfarbigem Untergrund erscheint dem Normalen ein Zeichen aus grauem bzw. schwarzem Papier in Buchstaben, Zahlen oder Ringform in der Kontrastfarbe. Der Kontrast tritt noch deutlicher hervor, wenn man über Zeichen und Untergrund ein Seidenpapier deckt (*H. MEYER*).

Der Farbenuntüchtige nimmt eine Reihe von Farben als solche nicht wahr, sondern sie imponieren ihm als verschieden hell, aber nur solange deren Helligkeit ungleich bleibt; sobald die Helligkeiten für ihn keine Differenzen mehr aufweisen, verwechselt er die Farben miteinander.

Solchen Helligkeitsausgleich herbeizuführen, hat seine großen Schwierigkeiten. Man verwendet entweder Zeichen in verschiedenen Graustufen bis zum Schwarz, oder man bedeckt die Zeichen mit einem oder mehreren Blättern von Seidenpapier. Immerhin aber bleibt für manchen Dichromaten und anomalen Trichromaten leicht ein Helligkeitsunterschied bestehen, besonders wenn die Beleuchtung etwas schwankt, und er ist dann imstande die Zeichen zu erkennen. Der diagnostische Wert der Florkontrastprobe ist dementsprechend zu bemessen.

Das *Heidelberger Farbenbuch* enthält 28 farbige Blätter mit Florpapier; als Auflagezeichen auf den Untergrund dienen graue Ringe von verschiedenem Durchmesser.

*PFLÜGERS Florbuch* besteht aus mehreren Tafeln mit buntem Grund, auf welchem in verschiedener Größe Buchstaben und Zahlen in Schwarz- und

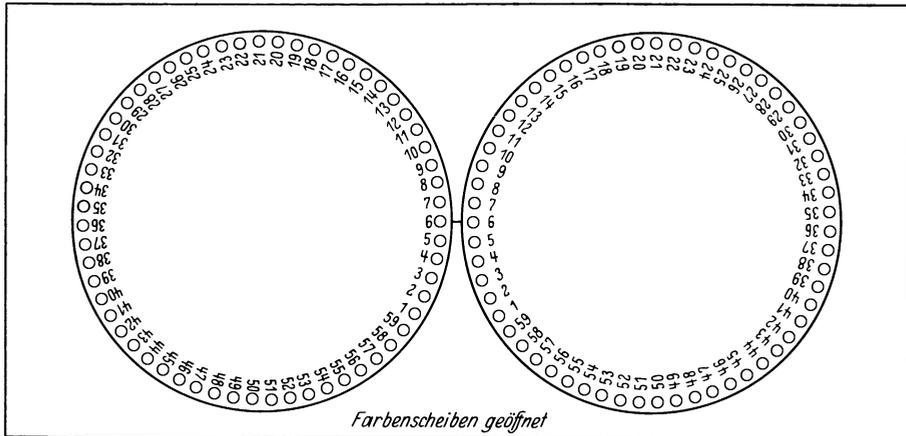


Abb. 13.

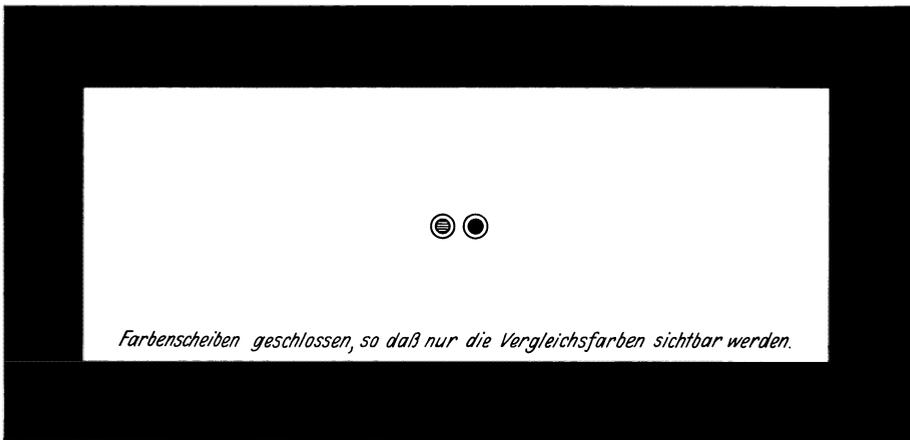


Abb. 14.

Abb. 13 u. 14. HELMBOLDs drehbare Scheiben zur Prüfung des Farbensinnes.

Graustufen gedruckt sind. Diese sollen durch ein, zwei oder mehr Florpapiere gelesen werden.

Das *COHNSche Täfelchen*, nach obigem Prinzip konstruiert, trägt auf purpurfarbenem Untergrund E-förmige Haken in verschiedenen Stellungen, darüber ein Florpapier. Der Untersuchte soll die Lage der Haken angeben. Das Täfelchen ist bei Blaugelbblindheit nicht zu gebrauchen. Versager kommen auch mit diesen Täfelchen vor.

*Farbige Schatten*, deren Herstellung bereits im ersten Abschnitt angegeben wurde, gestatten ebenfalls als pseudoisochromatische Probe die Verwendung von Kontrastfarben zur Farbensinnprüfung, aber nur in beschränktem Maße.

Die variablen pseudoisochromatischen Proben haben vor den stabilen den Vorzug der größeren Farbkombinationsmöglichkeiten bezüglich Ton, Sättigung und Helligkeit; sie erhöhen somit die Sicherheit im Erkennen von Farbensinnanomalien.

Der *Farbenkreisel* (s. Abb. 53 auf S. 268 in diesem Bande) besteht aus zwei verschieden großen, aufeinander fest verbundenen Scheiben, die sich um die gemeinsame Axe in schnelle Rotation bringen lassen. Auf jeder der Scheiben kann man schwarze, weiße sowie farbige Sektoren anbringen und in ihrer Winkelgröße verschieben. Durch Drehung des ganzen Systems erhält man jede Mischung beliebiger bunter und unbunter Farben. Mittels der *MARBESCHEN* Vorrichtung ist es möglich, auch während der Rotation die Sektoren zu verstellen. Farbenton, Helligkeit und Sättigung hängen von der Größe der verwendeten Sektoren ab und lassen sich somit in relativen Zahlen ausdrücken. Die Mischungen der großen und kleinen Scheibe bieten die Vergleichsfarben dar; sie werden durch den Ausschnitt eines vor den Scheiben angebrachten Schirmes betrachtet. Der Ausschnitt muß so fixiert sein, daß die beiden an den Kreisbogen grenzenden Farbenfelder in gleicher Ausdehnung sichtbar werden. Für die Untersuchung der erworbenen Farbensinnstörungen eignet sich der *Farbenkreisel* in besonderem Maße. Er gestattet auch die Feststellung der „Endstrecken“ und die Bestimmung der neutralen Stelle einer Farbe.

*HELMBOLD's drehbare Scheiben zur Prüfung des Farbensinns* (Abb. 14). Zwei in derselben Ebene liegende Scheiben, die sich mit der Peripherie berühren und von der Rückseite aus um ihren Mittelpunkt drehbar sind, tragen nahe dem Rande 59 graue und bunte Verwechslungsfarben in Form kleiner Kreisflächen. Durch zwei runde entsprechend große Öffnungen einer weißen Klappe werden stets nur die beiden Verwechslungsfarben sichtbar, die übrigen bleiben bedeckt. Zu einer bestimmten Farbe der einen Scheibe werden durch Drehung der anderen Scheibe die Vergleichsfarben eingestellt. Der Untersuchte muß angeben, ob ihm das jeweilig vorliegende Farbenpaar gleich oder verschiedenfarbig erscheint. Benennung der Farben ist nicht erforderlich, kann jedoch zur Erleichterung des gegenseitigen Verständnisses und zur schnelleren Ausführung der Untersuchung Anwendung finden. Die Wahrscheinlichkeit, mittelst der zahlreichen möglichen Gleichungen (1770) eine Farbensinnstörung nicht herausfinden zu können, ist sehr gering.

Der *NAGEL-KÖLLNER'sche Farbgleichungsapparat* (Abb. 15 a, b u. c). An dem einen Ende einer kurzen Röhre befindet sich eine Lichtquelle, am anderen Ende ein quadratisches, in seiner Größe regulierbares Feld, das durch einen diagonalen Steg senkrecht halbiert wird. Durch bunte Glas- bzw. Gelatinescheiben kann jede Hälfte rot, gelb, blaugrün, blau und weiß erscheinen, wobei zugleich eine Variierung der Helligkeit möglich ist. Eine Mattscheibe sorgt für Gleichmäßigkeit der Erleuchtung.

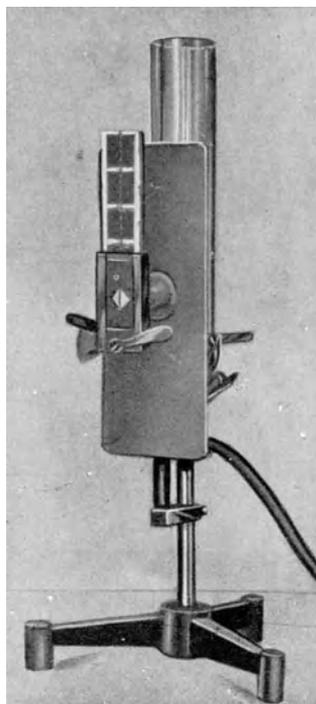


Abb. 15a. Farbgleichungsapparat.  
(Nach NAGEL-KÖLLNER.)

Die richtige Beurteilung der Farbengleichungen Rot-Gelb, Blau-Grün-Weiß, Gelb-Weiß und Blau-Grün spricht gegen Farbensinnstörung. Werden die Gleichungen anerkannt, so liegt Protanopie oder Deutanopie vor. Dasselbe Verhalten wie die Dichromaten gegenüber der Blau-Grün-Weißgleichung zeigen vielfach auch die anomalen Trichromaten; bei ihnen aber tritt außerdem noch der erhöhte Farbenkontrast in Erscheinung: das Gelb neben Rot sprechen sie für Grün an.

Im Beginn der erworbenen Rotgrünblindheit können bereits zwei gleichrote Felder für verschieden gehalten werden, wenn das eine der Felddbilder in den

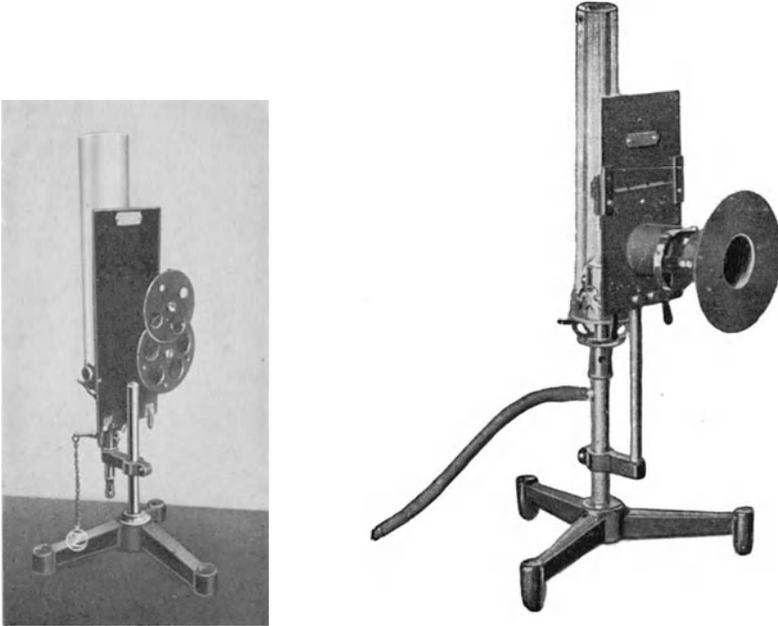


Abb. 15b u. c. Farbengleichungsapparat von NAGEL-KÖLLNER, modifiziert nach VIERLING.

Bereich eines Skotoms, das andere außerhalb desselben fällt. Ist die Anomalie schon etwas fortgeschritten, so erhält man Gleichung zwischen Grün und Weiß, Gelb und Weiß, sodann zwischen Rot und Gelb, sowie Grün und Rot; in einem noch späteren Stadium schwindet auch der Unterschied zwischen Blau und Rot. Die Blaugelbblindheit verrät sich durch Annahme der Gelb-Weiß- und Blau-Grüngleichung.

Bei totaler Farbenblindheit werden Gleichungen zwischen allen Farben anerkannt. Für den erworbenen total Farbenblinden erscheint in der Blau-Rotgleichung des angeborenen Achromaten das Blau dunkler als das Rot.

VIERLING hat an dem Apparat die farbigen Gläser durch Gelatinefolien ersetzt, diese in einer REKOSSschen Scheibe angebracht und die Schiebervorrichtung verfeinert.

*HERINGS Fenster und Farbengleichungsapparat* (Abb. 16a, b, 17 a, b). In vollkommenerer Weise als mit der NAGEL-KÖLLNERSchen Lampe, besonders bezüglich des Farbentons und der Sättigung, lassen sich Farbengleichungen herstellen mittelst des *HERINGSchen Fensters*, sowie des *HERINGSchen Apparates* zur Untersuchung des Farbensinnes. Bei dem Fenster wird das Tageslicht als Beleuchtungsquelle verwendet und durch zwei Fensterladenschlitze auf einen weißen Schirm

entworfen. Das Licht des einen Schlitzes passiert ein buntes Glasfilter, das des anderen Schlitzes eine Mattscheibe, die zur Regulierung der Helligkeit dient. Unter Einschaltung einer zwischen dem weißen Schirm und den Schlitzen angebrachten Schatten erzeugenden schwarzen Latte (*L*; Abb. 16) gelingt es ein farbiges Vergleichsfeld direkt neben ein farbloses zu bringen. Es bleibt noch übrig dem bunten Felde dieselbe Helligkeit zu geben wie dem anderen farblos beleuchteten Gebiete. Hierzu wird einerseits die Mattscheibe, andererseits ein Rahmen benutzt, der zur Hälfte rotes, zur Hälfte blaues bzw. blaues und gelbes Glas trägt. Durch Verschieben des Rahmens kann die entsprechende Menge gemischten farbigen Lichtes zur weißen Scheibe hindurchgelassen werden.

Je nach Verwendung des einen oder anderen bunten Lichtes vermag man Gleichungen für den Rotgrünblinden und Blaugelbblinden herzustellen. Die Gleichungen eignen sich auch zur Ermittlung der totalen Farbenblindheit.

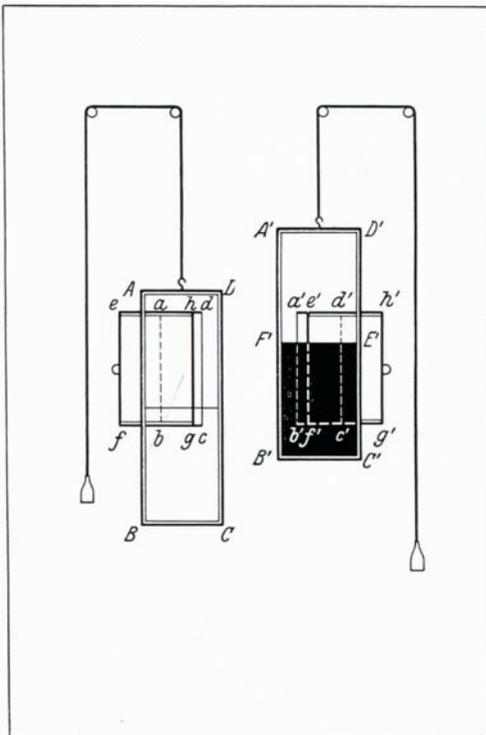


Abb. 16a.

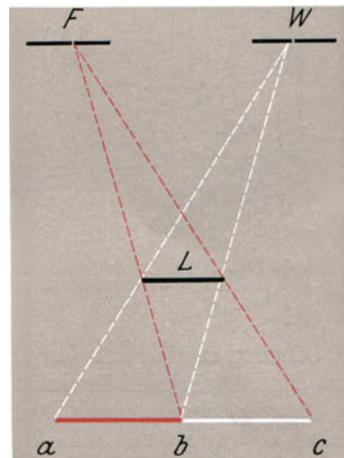


Abb. 16b.

Abb. 16a. Das HERINGSche Fenster. 16b. Strahlengang. (Aus GRAEFE-SÄEMISCH: Handbuch der gesamten Augenheilkunde. Untersuchungsmethoden I, S. 413.)

Beim HERINGSchen Untersuchungsapparat wird ebenfalls das Tageslicht benutzt. Es wird von drei beweglichen die Helligkeit regulierenden Milchglasplatten durch bunte Glasfilter auf zwei spiegelnde Flächen und von hier in eine Röhre geleitet. Durch kreuzförmige Anordnung des einen unbelegten und anderen belegten Spiegels ist es möglich einfarbiges oder gemischtes Licht, und beim Ausschalten des Buntglases auch farbloses Licht in die Röhre eintreten zu lassen. Das beobachtende Auge erblickt in der Röhre ein scheibenförmiges Feld. Die geradlinig ohne Zwischensteg sich berührenden Feldhälften, mit den betreffenden Lichtarten beschickt, stellen die jeweiligen Farbgleichungen dar. Unter Benutzung der verschiedenen Buntscheiben Rot, Grün, Blau usw. läßt sich jede zur Feststellung der einzelnen Farbensinnstörungen erforderliche Gleichung erzielen.

Der HERINGSche Apparat bietet zudem noch insofern einen Vorteil, als er gestattet bei Dichromaten die neutrale Stelle zu ermitteln.

Der Apparat von HESS zur Untersuchung des Farbensinnes (Abb. 18). Der Beobachter blickt durch eine Richtungsröhre *B* auf eine drehbare Grauplatte *E*, in der sich ein rundes bzw. quadratisches Loch befindet. Von einer ebenfalls beweglichen mattweißen Tafel *P* wird Sonnen- oder künstliches Licht durch gefärbte bzw. graue Gelatinekeile (GOLDBERG) *K* geworfen, so daß es in die Öffnung der Grauplatte *E* und in das Auge des Beobachters gelangt. Zur Untersuchung der Rotgrünblindheit wird ein Blau- und Gelbkeil aufeinander gelegt, und beide werden mit den parallelen Kanten soweit gegeneinander verschoben, bis das aus

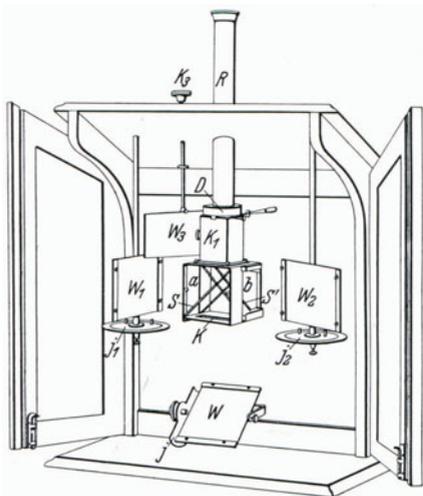


Abb. 17 a.

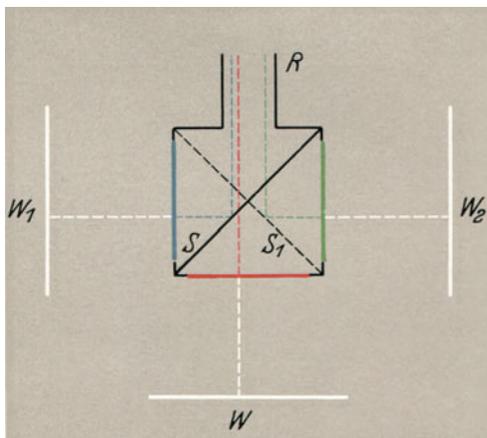


Abb. 17 b.

Abb. 17a. HERINGS Apparat zur Untersuchung des Farbensinnes. 17b. Strahlengang.  
(Aus GRAEFE-SÄEMISCH: Handbuch der gesamten Augenheilkunde. Untersuchungsmethoden I, S. 416.)

der Öffnung austretende für den Normalen grüne Licht dem Prüfling mit dem Grau der Platte gleich erscheint. Gleiche Helligkeit zwischen dem Mischlicht und der Grauplatte wird durch Drehung der letzteren und der weißen Tafel erreicht. Analog läßt sich auch eine Gleichung zwischen Rot und Grau herstellen unter Verwendung eines roten und bläulichen bzw. gelblichen Keiles. Sollen Rot und Grün verglichen werden, so vertauscht man die graue Platte mit einer roten.

Wird durch ein seitliches Filter rotes Licht durch Zuspiegelung mit einem aus Blau- und Gelbkeil erzielten grünen Lichte vereinigt, so kann das Gesamtgemisch für eine Gleichung zu Grau dienen. Diese Vorrichtung ermöglicht somit ohne Spektralapparat auch bei Tageslicht Gleichungen herzustellen, die ähnlich wie die Rayleighgleichung, auf die wir noch zurückkommen werden, auch für die Diagnose der anomalen Trichromasie geeignet sind. Noch einen Vorzug besitzt der Apparat, indem er zentrale Skotome besser, wie mit den bisher üblichen Methoden erkennen läßt, und indem er mittelst seiner unveränderlichen Farben eine genaue perimetrische Bestimmung der Farbengrenzen bei angeborenen und erworbenen Störungen gewährleistet.

**Spektralapparate.** Bei den Untersuchungsmethoden, die wir im vorhergehenden besprochen, wurde Licht verwendet, welches von Pigmenten oder durch bunte Filter seinen farbigen Charakter erhielt. Wiesen auch manche der Verfahren nicht unerhebliche Mängel auf, so konnten wir doch sehen,

wie sie in fortschreitender Weise beseitigt wurden, und wie schließlich besonders durch v. HESS eine Vollkommenheit der Leistungen erreicht wurde, welche an die Exaktheit spektraler Methoden heranreicht.

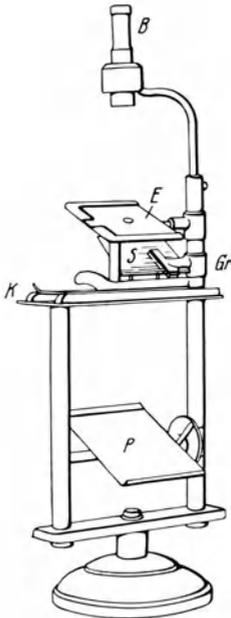


Abb. 18. Farbenuntersuchungsapparat nach C. v. HESS. (Erklärung im Text).

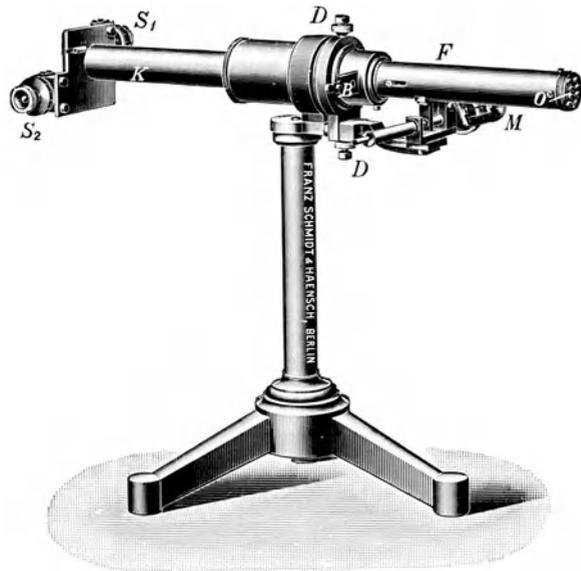


Abb. 19. Anomaloskop. (Nach NAGEL.)

Mit spektralem Lichte lassen sich alle Anforderungen, die wir zur Prüfung des Farbensinnes stellen müssen, erfüllen. Indessen sind die in dieser Richtung

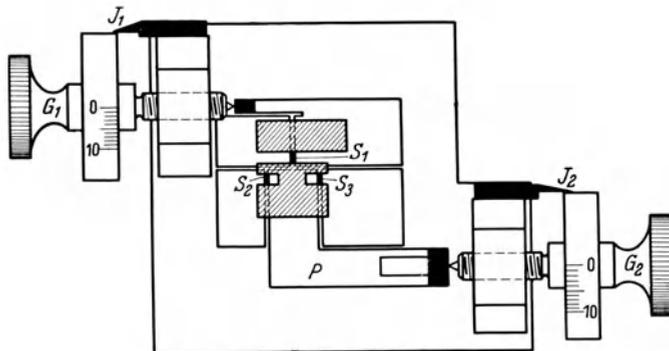


Abb 19a. Spaltvorrichtung des Anomaloskopes.

konstruierten Apparate nicht gleichwertig. Wir finden solche, die sich nur für bestimmte Zwecke eignen, und andere, die einen vielseitigen Gebrauch gestatten.

Das NAGELsche Anomaloskop (Abb. 19, 19a) erhält von einer künstlichen Lichtquelle durch eine Mattscheibe seine Beleuchtung. Der Beobachter sieht in einem

Rohr unter 2° Gesichtswinkel ein kreisförmiges Feld, dessen untere Hälfte mit homogenem gelben Lichte (Natriumlinie), dessen obere Hälfte mit reinem Rot (Lithiumlinie) oder mit einem Grün (Thalliumlinie) oder mit einer beliebigen Mischung dieser beiden Lichter beschickt werden kann. Mit einer rechts vom Beobachter befindlichen Schraube kann die Helligkeit des gelben Feldes reguliert, mit einer linksseitigen Schraube die Farbeinstellung der anderen Feldhälfte bewerkstelligt werden. Für die Normalen gilt eine Gleichung zwischen homogenem Gelb und einer Rot-Grünmischung (*Rayleighgleichung*), deren Mischungsverhältnis

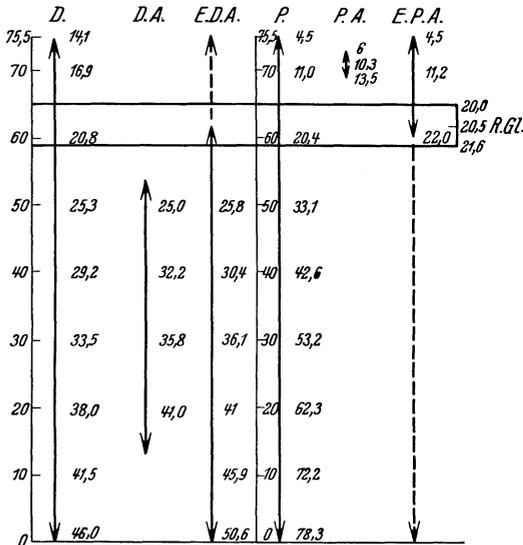


Abb. 20. Die Einstellungsbreite am Anomaloskop bei den verschiedenen Typen der Farbensinnstörungen. (Modell SCHMIDT und HAENSCH.) *D* Deuteranop; *D.A* Deuteranomal; *E.D.A* Extrem-Deuteranomal; *P* Protanop; *P.A* Protanomal; *E.P.A* Extrem-Protanomal. Die Pfeile geben den Umfang der jeweils möglichen Gleichung am Mischspalte des Anomaloskopes (Skalenteile für die Mischspalten  $S_2$   $S_3$  auf Abb. 19a) an. Erforderlich ist natürlich die Regulierung der Helligkeit am Einzelspalt  $S_1$ . *R.Gl.* Bereich der Gleichung für die Normalen.

nur geringen Schwankungen unterliegt. Die Anerkennung der Normalgleichung beweist aber noch nicht Farbentüchtigkeit, diese kann vielmehr erst durch die richtige Beurteilung noch anderer Einstellungen ermittelt werden.

Dem anomalen Trichromaten erscheint die Normalgleichung nicht gleichfarbig, er hält das Mischfeld für rötlich oder für grünlich. Braucht der Untersuchte zum Ausgleich mehr Rot, so ist er protanomal, braucht er mehr Grün, so ist er deuteranomal. Mit Rot-Gelbgleichungen lassen sich die Rot-Grünblinden herausfinden, und je nach der erforderlichen Helligkeit des gelben Feldes in Protanopen und Deuteranopen scheiden. Werden bestimmte Grün-Gelbgleichungen anerkannt, so liegt Rot-Grünblindheit oder hochgradige anomale Trichromasie vor (siehe das beigefügte Schema, Abb. 20).

Das Schema auf S. 345, wie es nach dem Vorgang von KÖLLNER

bei den Prüfungen in der Schweiz angewendet wird, gibt einen Überblick, in welcher Weise bei der Untersuchung am Anomaloskop vorgegangen werden kann. Genaueres für Differenzierung der Typen findet sich bei FRANCESCETTI.

Das Anomaloskop eignet sich auch zur Untersuchung erworbener Farbensinnstörungen. Vom ersten Beginn der Rot-Grünblindheit an bis zur ausgesprochenen Dichromasie kann das Mischungsverhältnis von Rot-Grün der Rayleighgleichung mehr und mehr geändert werden, ohne daß von seiten des Untersuchten die Gleichung abgelehnt wird. Allmählich wird der Unterschied zwischen Natriumgelb und Thalliumgrün nicht mehr wahrgenommen, und schließlich wird sogar Natriumgelb und Lithiumrot für gleich gehalten.

Bei der erworbenen Blaugelbblindheit wird fast durchweg die Rayleighgleichung des Normalen nicht angenommen; das Mischfeld erscheint grünlich, und es ist zum Ausgleich eine Zumischung von Rot erforderlich, ähnlich wie sie der Protanop verlangt.

Von größeren *Spektralapparaten* seien der HELMHOLTZsche, HERINGSche und ASHERSche genannt, deren eingehende Beschreibung v. HESS in ABDERHALDENS Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden Abt. V, Teil 6. H. 2 gibt.

Schema für den Gang der Untersuchung am Anomaloskop.

Nr.	Untersucher stellt ein	Normaler sieht — stellt ein	Deuteranop	Protanop	Deuteranomaler	Protanomaler
1 a	L 90	$\frac{\text{rot}}{\text{gelb}}$ $\emptyset^1$	$\equiv$ R 10—15 <sup>2</sup>	$\equiv$ R 3—5	$\emptyset$	$\emptyset$ (außer in extremen Fällen)
1 b	L 0	$\frac{\text{grün}}{\text{gelb}}$ $\emptyset$	$\equiv$ R 30—40	$\equiv$ R 70—90	$\emptyset$ (außer in extremen Fällen)	$\emptyset$
2	R normalen Wert der Rayleigh-Gleichung (14—20)	$\frac{\text{gelb}}{\text{gelb}}$ $\equiv^1$ (L 58—64)	$\equiv$	$\equiv$	$\equiv$ L < 58 (u. U. Rayleigh-Gleichung des Normalen angenommen)	$\equiv$ L > 64
3 a	L ca. 40	$\frac{\text{grün}}{\text{gelb}}$ $\emptyset$	$\equiv$	$\equiv$	$\equiv$ R 19—22	$\emptyset$
3 b	L ca. 69	$\frac{\text{rot}}{\text{gelb}}$ $\emptyset$	$\equiv$	$\equiv$	$\emptyset$	$\equiv$ R 7—9
4	Bestimmung der Einstellungsbreite, ausgehend von der bei 2 oder 3 a bzw. 3 b angenommenen Gleichung, durch Aufsuchen möglichst zahlreicher Gleichungen <sup>3</sup> .					

Anmerkung: <sup>1</sup> = Gleichung möglich.

$\emptyset$  Keine Gleichung möglich.

<sup>2</sup> Diese und alle folgenden Zahlenangaben des Schemas sind bei Auerglühllicht ermittelte Durchschnittswerte.

<sup>3</sup> Die Einstellungsbreite ist für den Normalen etwa  $\pm 1,5$  Teilstriche der linken Skala bei Auerglühllicht, bzw. etwa  $\pm 2$  Teilstriche bei elektrischem Glühlicht.

Das HERINGSche Instrument kann wegen seiner steten Ergänzungen und Verbesserungen als das vollkommenste angesehen werden. Der Beobachter erblickt in einem Fernrohr eine Kreisfläche, deren jede Hälfte für sich entweder mit beliebigem homogenen Lichte oder mit einer Mischung aus zwei und mehreren Lichtern bzw. Pigmentmischlicht oder auch mit Tageslicht erleuchtet werden kann. Die Intensität jeder benutzten Lichtart läßt sich in genau meßbarer Weise regulieren. Der Apparat entspricht somit am ausgiebigsten allen Bedingungen, welche zur exakten Untersuchung des Farbensinnes und all seiner Störungen nötig sind.

**Untersuchung am Spektralband.** Um über die Art einer Farbensinnstörung genaueren Aufschluß zu gewinnen, bedarf es mitunter noch der Feststellung, in welcher *Ausdehnung* der Untersuchte das *Spektrum* sieht: wo es ihm farblos erscheint, und wo für ihn die hellste Stelle ist.

Auf einem mattweißen Schirm wird ein objektives Spektrum entworfen, und an dessen Rand eine feine verschiebliche Marke angebracht. Der Prüfling stellt die Marke dort ein, wo die Sichtbarkeit des Spektrums für ihn aufhört. So erfährt der kontrollierende, im gleichen Adaptationszustand sich befindende Normale ohne weiteres, ob am langwelligen oder kurzwelligen Ende eine Einschränkung vorliegt. Zu gleichem Zwecke kann man sich eines geradesichtigen Spektroskopes bedienen, welches mit einer Wellenlängenskala versehen ist. An ihr können die Grenzen der Sichtbarkeit direkt abgelesen werden. In analoger Weise, eventuell unter Verwendung eines verschieblichen Schlitzes, läßt sich die hellste Stelle und die neutrale Zone im Spektrum herausfinden.

**Die binokularen Farbgleichungen** dienen einem anderen Zwecke, als die vorher besprochenen monokularen. Sie gelten für Prüfung zweier Netzhautbezirke, bei denen kein Unterschied in der Farbensinnstörung besteht. Es müssen hier die — für den Normalen verschiedenfarbigen — Vergleichsfelder denselben Effekt bewirken, also ebenfalls gleichfarbig erscheinen, auch wenn sie in ihrer Lage gegenseitig ausgewechselt werden.

Mit den binokularen Gleichungen werden bei beiden Augen gleichgelegene Netzhautstellen untersucht, von denen die eine normal funktioniert, die andere einen gestörten Farbensinn besitzt. Für beide erscheinen in bestimmt getroffener Anordnung die Farbenfelder gleichaussehend. Die Gleichungen eignen sich auch, wenn es gilt in ein und demselben Auge zwei im Farbenempfinden verschieden funktionierende Netzhautpartien einer Prüfung zu unterziehen.

Wir erfahren durch diese Methode, wie ein farbenblindes Auge die Farben sieht, mag es sich um eine angeborene oder um eine erworbene Störung handeln. Bei der letzteren lassen sich gerade die frühesten Stadien feststellen und sodann das weitere Fortschreiten kontrollieren. Zur Ausführung des Verfahrens eignet sich besonders der von HERING konstruierte Apparat.

**Die pupilloskopische Untersuchung des Farbensinnes nach v. HESS** (s. hierzu auch Abschnitt Pupille im Kapitel Untersuchungsmethoden in diesem Bande). Läßt man in ein normales Auge farbiges, sodann farbloses oder andersfarbiges Licht fallen, so bleibt die Pupille nicht in Ruhe, sondern sie antwortet mit einer Verengung (Wechselverengung). Nur dann, wenn die beiden Lichter gleich hell erscheinen, bleibt die Pupille in Ruhe. Jede Farbe hat einen bestimmten pupillomotorischen Reizwert, und das Ausmaß der Wechselverengung richtet sich nach der Helligkeit der Farben (SACHS).

Bei den Farbenblinden ist die Wechselverengung ebenfalls vorhanden, sie weicht aber von der des Normalen ab. So ist der motorische Wert für Gelblichrot bei Protanomalen (relativ Grünsichtigen) kleiner als beim Normalen, bei Protanopen (Rotblinden) zeigt der motorische Wert eine weitere Verringerung und beim total Farbenblinden eine noch größere Herabsetzung. Hingegen weisen

die motorischen Blauwerte beim Rotblinden und total Farbenblinden gegenüber dem Normalen eine deutliche Erhöhung auf.

Mit der pupillomotorischen Bestimmung können somit die genannten Farbensinnstörungen erkannt werden. Für die Diagnose der Deuteranomalien und Deuteranopen bedarf die Methode noch weiterer Ausbildung.

**Die Prüfung des Farbensinnes im indirekten Sehen** erfordert eine Orientierung über Ausdehnung des Farbengesichtsfeldes. Es gilt zu ermitteln, ob dessen Grenzen normal sind, oder ob sie eine Einschränkung aufweisen, und ob sich innerhalb des Farbensfeldes Ausfälle (Skotome) finden. In dieser Beziehung erhalten wir genaue Auskunft durch die *Perimetrie*. Das Notwendige hierüber findet der Leser in diesem Bande im Kapitel Untersuchungsmethoden.

### Simulation und Dissimulation von Farbensinnstörungen.

Simulation, die Vortäuschung von Farbenblindheit und Dissimulation, das Bestreben eine vorhandene Farbensinnesanomalie zu verbergen, stellen zu ihrer Entlarvung an den Untersucher große Anforderungen. Wenn er vor Fehlschlüssen sicher sein will, muß er über das Sehen Farbenblinder sehr genau unterrichtet sein und die Prüfungsmethoden beherrschen. Mitunter gelingt es leicht schon mit den STILLINGSchen oder PFLÜGERSchen Tafeln den wahren Sachverhalt festzustellen, manchmal aber ist der Prüfling sehr eingehend über die Methoden orientiert und er versteht nicht nur einen, sondern mehrere Untersucher hintereinander zu täuschen.

Es ist nicht möglich, feste Regeln für die Entlarvung anzugeben. Erscheint der Prüfling verdächtig, so ist es ratsam, stets von mehreren Untersuchungsverfahren ausgiebigen Gebrauch zu machen, vor allem Farbgleichungen zu verwenden. Bestehen noch Zweifel, so müssen die Untersuchungen mehrfach wiederholt, die Versuchsanordnungen und Resultate jedesmal genau aufgezeichnet und miteinander darauf verglichen werden, ob nicht Widersprüche vorhanden sind. Derjenige, welchem die nötigen Untersuchungsmittel nicht zur Verfügung stehen, oder dem die Prüfungsmethoden nicht geläufig sind, enthalte sich lieber des Endurtheiles und verweise den Prüfling an den Fachmann.

An die Möglichkeit, daß von einem einmal als farbenuntüchtig erkannten Bewerber ein Strohhalm untergeschoben wird, muß gedacht werden. Deshalb ist in solchen Fällen der Identitätsnachweis zu fordern.

## 2. Quantitative Untersuchungsmethoden.

Wenn wir das Verhältnis des normalen Farbensinnes zu den Farbensinnstörungen in messender Weise darstellen wollen, so können wir auf der einen Seite mit der vollkommenen Farbentüchtigkeit beginnen und auf der anderen Seite mit der totalen Farbenblindheit enden. Es ließen sich dann die zwischen den Grenzwerten 1 und 0 liegenden Zwischenstufen der Störungen in Bruchteilen ausdrücken, ähnlich wie wir bei der Sehschärfebestimmung verfahren. Indessen in solch einfacher Weise hat sich bis jetzt die Frage nicht lösen lassen. Immerhin stehen quantitative Methoden zur Verfügung, mit denen man den Grad einer Farbensinnstörung annähernd ausfindig machen kann, indem man sich der Schwellenwerte und Gleichungen bedient.

Bei den *Schwellenwerten* kommt es darauf an, die Grenze der spezifischen Farbenempfindung zu finden. Der Untersuchte muß angeben, wann ein zunächst noch farblos erscheinendes Objekt unter Änderung der Versuchsbedingungen seine eigenartige Farbe annimmt. Dieser Wechsel vollzieht sich nicht plötzlich, vielmehr reihen sich mit steigendem Reizwert an die Farblosigkeit Übergangstöne an, bis die spezifische Farbe gesehen wird. Das Erfassen der richtigen

Einstellungsphase ist für den weniger Geübten manchmal recht schwierig. Die Untersuchungsergebnisse können daher nicht immer Anspruch auf große Genauigkeit machen.

Für die Schwellenwertbestimmungen kann man nach DONDERS die Größe des Netzhautbildes, die Lichtstärke und die objektive Sättigung der farbigen Reizlichter verwenden.

#### Prüfung mittelst des kleinsten Netzhautbildes.

Ein farbiges Objekt erscheint farblos, wenn es unter einem genügend kleinen Winkel betrachtet wird. Vergrößert man den Winkel, so tritt Farbigkeit auf. Die Winkeländerung kann man durch Annäherung oder Entfernung des Objektes erreichen oder dadurch, daß man Objekte verschiedener Ausdehnung dem Beobachter in gleichbleibendem Abstände darbietet. Vergleichen wir zwischen dem Farbentüchtigten und dem Farbenblinden die Netzhautbildgrößen, innerhalb deren Farblosigkeit besteht, so erhalten wir einen zahlenmäßigen Ausdruck für die Grenzwerte des Farbensinnes beider. Bedeutet  $D$  den Abstand für den Normalen,  $d$  den Abstand für den Farbenuntüchtigen, in welchem eine farbige Fläche  $m^2$  farblos gesehen wird, so läßt sich diese Beziehung durch die Formel

$$K = \frac{1}{m^2} \cdot \frac{d^2}{D^2}$$

darstellen, wenn mit  $K$  die Farbschwelle des Untersuchten bezeichnet wird. Zur Prüfung braucht man farbige Pigmentscheiben oder bunte Glas- bzw. Gelatinefilter auf farblosem Untergrund.

#### Prüfung mittelst der geringsten Lichtintensität.

Da durch Änderung der Lichtintensität der Adaptationszustand des Auges und somit auch die Farbenempfindung beeinflußt wird, so dürfen diese Momente bei der Bewertung des Resultates nicht vernachlässigt werden. Ein farbiges Reizlicht mit sehr geringer Intensität wird zunächst überhaupt nicht wahrgenommen, mit steigender Intensität erscheint es dann farblos (absolute Schwelle) und schließlich farbig (spezifische Schwelle). Um die Lichtintensität in meßbarer Weise regulieren zu können, benutzen wir Spektralapparate, farbige Gläser, Buntkeile oder den Farbenkreisel. Geeignet für derartige Bestimmungen ist auch LANDOLTS Chromatometer. Hier kommen farbige Sektoren von verschiedener Winkelgröße zur Anwendung. Die Sektoren rotieren auf lichtlosem Grunde und gestatten die Änderung der Lichtintensität in jedem beliebigen Grade.

#### Prüfung mittelst der minimalen objektiven Sättigung.

Die Sättigung einer Farbe läßt sich durch Zusatz von farblosem Lichte soweit verringern, daß die Farbe als solche nicht mehr erkannt wird. Dieser Schwellenwert bildet das Maß für die Farbenempfindlichkeit. Auch hier wieder kommt der Farbenkreisel als Untersuchungsmittel zu seinem Recht. Einer rotierenden farbigen Scheibe setzt man weiße oder graue Sektoren in steigender Winkelgröße hinzu, bis Farblosigkeit eintritt. Nimmt man zuerst eine weiße bzw. graue Scheibe, so kann man durch Hinzufügen von verschieden großen Farbensektoren umgekehrt den Moment ersehen, in welchem die spezifische Farbe wahrgenommen wird. An dem Buntkeilapparat von v. HESS ist der Eintritt der Farbigkeit oder das Schwinden derselben ebenfalls gut kontrollierbar und der Schwellenwert meßbar. Natürlich eignen sich alle anderen ähnlichen Apparate zu gleichem Zwecke. Auch den OLE BULLSchen und KOLBESchen Tafeln liegt dasselbe messende Prinzip zugrunde. Der Untersuchte hat aus einer größeren Mischungsreihe die Sättigungsstufe anzugeben, bei welcher die betreffende Farbe von ihm erkannt wird.

## Messung der Farbenzeitschwelle.

Sind die Schwellenwerte des kleinsten Netzhautbildes, der geringsten Lichtintensität und der minimalen objektiven Sättigung gefunden, bei denen der Umschlag zwischen Farblosigkeit und Farbigkeit erfolgt, so sind wir in der Lage, in einem einzigen Objekte alle drei Bedingungen zu vereinen. Es erübrigt noch herauszufinden, wieviel Zeit der Untersuchte braucht von dem Moment an, in welchem das Objekt sichtbar wird, bis zu demjenigen, in welchem es in der spezifischen Farbe erscheint: *Farbenzeitschwelle*. Man kann das mit einer grauen Scheibe bedeckte Objekt durch Wegziehen der Scheibe vorübergehend sichtbar machen und die Erkennungszeit bestimmen, oder man benutzt nach dem Vorgang von BRÜCKNER und KIRSCH das SCHUMANNsche Tachistoskop, bei welchem ein farbiger Ringsektor, der vor einem grauen Hintergrund rotiert, durch ein Rohr beobachtet wird. Der Normale erkennt schon bei kurzer Exposition die Farbe, während der Farbenblinde eventuell nur eine farblose Empfindung hat. Die Farbenzeitschwelle kann bei anomalen Trichromaten 20- ja 50mal so groß werden, wie beim Farbentüchtigen.

Prüfung der Unterschiedsempfindlichkeit mittels  
Farbgleichungen.

Mit den Schwellenwerten ist es möglich, die Grenze anzugeben, an welcher die spezifische Farbenempfindung eintritt. Bei der Prüfung mittelst Farbgleichungen, die man sich mit einem der bekannten Apparate herstellen kann, befinden wir uns innerhalb jener Grenzen und suchen zu erfahren, in welchem meßbarem Verhältnis eine Farbmischung beschaffen ist, damit sie mit einem homogenen Lichte gleichfarbig erscheint. Bei einer Farbgleichung für den Normalen haben die Anteile des Mischlichtes Werte, die nur geringen Schwankungen unterliegen. Diese Durchschnittswerte dienen zu Vergleichsmessungen für die Abweichungen, welche wir bei Farbenblinden finden. Ich erinnere an das Verhalten der anomalen Trichromaten gegenüber der Rayleighgleichung, wie die Anteile von Grün und Rot verändert werden müssen, je nachdem Protanomalie oder Deutanomalie vorliegt (s. S. 309). Von den erworbenen Farbensinnanomalien bietet die progressive Rotgrünblindheit ein Beispiel, die allmähliche Verbreiterung des zur Gleichung notwendigen Rotgrüngemisches durch Messungen festzustellen und somit ein Urteil zu gewinnen, ob die Störung stehen bleibt oder im Fortschreiten begriffen ist.

## Literatur.

In den mit \* bezeichneten Arbeiten finden sich ausführlichere Literaturzusammenstellungen.

ABENDROTH, W.: SIR ISAAC NEWTONS Optik. In OSTWALDS Klassikern. Leipzig 1898. — \*AUBERT, H.: Physiologische Optik. GRAEFE-SÄEMISCH' Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 1. Aufl., Bd. 2, 2. Teil, Kap. 9, S. 393. Leipzig 1876.

BEST, F.: (a) Zentrale Störung des Farbensinnes. Kongr. inn. Med. 1920. (b) Ungewöhnliche Form totaler Farbenblindheit. Sitzgsber. dtsch. ophthalm. Ges. tschechoslov. Republik, 23.—24. Febr. 1929. Ref. Klin. Mbl. Augenheilk. 82, 521 (1929). — BEST, F. u. H. HAENEL: Rotgrünblindheit nach Schneebblendung. Klin. Mbl. Augenheilk. 85, Beil.-H., 88 (1907). — BEZOLD, W. v.: Die Farbenlehre, 2. Aufl. Braunschweig 1921. — BREWSETR, D.: Über eine neue Zerlegung des Sonnenlichtes in die drei Grundfarben, welche coincidierende Spektren von gleicher Länge bilden. Poggendorffs Ann. 23, 435 (1831). — BRÜCKNER, E.: (a) Über das Wesen der braunen Farbe. Poggendorffs Ann. 74, 145 (1849). (b) Untersuchungen über subjektive Farben. Poggendorffs Ann. 84, 418 (1850). (c) Über drei Farben, welche trübe Medien im auffallenden und durchfallenden Lichte zeigen. Poggendorffs Ann. 101, 365 (1857). — BRÜCKNER, A.: \*(a) Die Prüfung des Farbensinnes. GRAEFE-SÄEMISCH' Handbuch

der gesamten Augenheilkunde, 2. Aufl., S. 390, 1904. (b) Über die Sättigungsänderungen der Pigmentfarben durch Ermüdung der Netzhaut mit farbig wirkendem Lichte. Arch. Augenheilk. 85, 12 (1919). (c) Zur Frage der Eichung von Farbensystemen. Z. Sinnesphysiol. 58, 322 (1927).

COLLIN: Zur Kenntnis und Diagnose der angeborenen Farbensinnstörungen. Veröff. Mil.san.wes. H. 32. Berlin: August Hirschwald 1906. Ref. Nagels Jber. 1906, 75.

DIETER, W.: Über Farbensinnprüfungen. Z. Bahnärzte 23, 292 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. 21, 95 (1929). — DONDERS: (a) Über Farbensysteme. Graefes Arch. 27 I, 155 (1881). (b) Die Farbensysteme. Graefes Arch. 30 I, 15 (1884). — DRAPER, J. W.: Über Erzeugung von Licht und Wärme. Philosophic. Mag. 30, 345 (1847). Zit. nach MELLONI. Poggendorffs Ann. 70, 62 (1848).

EBBECKE, U.: Der farbenblinde und schwachsichtige Saum des blinden Fleckes. Pflügers Arch. 185, 173 (1920). — ENGELKING, E.: (a) Über die Pupillenreaktion bei angeborener totaler Farbenblindheit. Klin. Mbl. Augenheilk. 64, 707 (1921). (b) Über den methodischen Wert physiologischer Perimetrieobjekte. Graefes Arch. 104, 75 (1921). (c) Vergleichende Untersuchungen über die Pupillarreaktion der angeborenen totalen Farbenblindheit. Klin. Mbl. Augenheilk. 69, 177 (1922). (d) Über die Bedeutung von Schwellenwertbestimmungen für die praktische Beurteilung des Farbensinnes. Klin. Mbl. Augenheilk. 74, 68 (1925). (e) Die Tritanomalie, ein bisher unbekannter Typus anomaler Trichromasie. Graefes Arch. 116, 196 (1925). (f) Perimetrie mit physiologischen Farbenobjekten. Ber. 46. Verslg dtsch. ophthalm. Ges. Heidelberg 1926, 127. (g) Über die spektrale Verteilung der Unterschiedsempfindlichkeit für Farbentöne bei den verschiedenen Formen der anomalen Trichromasie. Klin. Mbl. Augenheilk. 77, Beil.-H., 61 (1926). (h) Über den Verlauf der Eichwertkurven bei anomalen Trichromaten. Klin. Mbl. Augenheilk. 78, Beil.-H., 209 (1927). (i) Grund und Figur in ihrer Bedeutung für das Farbsehen der anomalen Trichromaten. Graefes Arch. 121, 479 (1929). — ENGELKING, E. u. A. ECKSTEIN: Physiologische Bestimmung von Musterfarben für die klinische Perimetrie. Klin. Mbl. Augenheilk. 64, 88 (1920). — ENGELKING, E. u. H. HARTUNG: Spektraluntersuchungen über die Minimalfeldhelligkeiten des Tritanomalen und seine Unterschiedsempfindlichkeit für Änderungen der Helligkeit. Graefes Arch. 118, 211 (1927). — ERB: Zur Frage der Untersuchungen des Eisenbahnpersonals. Schweiz. med. Wschr. 50, 169 (1920). — EXNER, F.: Zur Frage nach der spezifischen Helligkeit der Farben. Z. Sinnesphysiol. 52, 157 (1921).

FECHNER: (a) Über die subjektiven Komplementärfarben. Poggendorffs Ann. 44, 222 (1838). (b) Über eine Scheibe zur Erzeugung subjektiver Farben. Poggendorffs Ann. 45, 227, 513 (1838). (c) Über die subjektiven Nach- und Nebenbilder. Poggendorffs Ann. 50, 193 (1840). — FIKENTSCHER: Untersuchungen von Farbenuntüchtigen zur Prüfung der Brauchbarkeit des zur Zeit bei der Reichswehr eingeführten Farbensinnprüfungsverfahrens. Veröff. Mar.san.wes. Berlin 1928. Ref. Zbl. Ophthalm. 20, 760 (1929). — FRANCESCHETTI, A.: Die Bedeutung der Einstellungsbreite am Anomaloskop für die Diagnose der einzelnen Typen der Farbensinnstörungen nebst Bemerkungen über ihren Vererbungsmodus. Schweiz. med. Wschr. 1928 II, 1273. — FRÖHLICH, F. W.: Zur Analyse des Licht- und Farbenkontrastes. Z. Sinnesphysiol. 52, 89 (1921).

GILBERT: Farbensinnprüfungen durch farbenuntüchtige Ärzte. Z. Bahnärzte 22, 127 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. 18, 732 (1927). — GÖTHLIN, G. FR.: (a) Congenital red-green abnormality in colour-vision and congenital total colour-blindness, from the point of view of heredity. Acta ophthalm. (København) 2, 15 (1924). \*(b) Die diagnostische Untersuchung des Farbensinnes mit dem Polarisationsanomaloskop. Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden von ABDERHALDEN, Abt. 5, Teil 6, H. 6. 1926. — GROSS, K.: Weitere Untersuchungen über das PURKINJESCHE Phänomen. Z. Sinnesphysiol. 59, 215 (1928). — GRUNERT, K.: Über angeborene totale Farbenblindheit. Graefes Arch. 56, 132 (1903). — GUTTMANN, A.: Untersuchungen über Farbenschwäche. Z. Sinnesphysiol. 42, 24, 250 (1908); 43, 146, 199, 255 (1909).

HARTUNG, H.: Über drei familiäre Fälle von Tritanomalie. Klin. Mbl. Augenheilk. 76, 229 (1926). — HELLER, H.: W. OSTWALDS Forschungen zur Farbenlehre. Naturwiss. Wschr., N. F. 19, 129 (1920); 20, 425 (1921). — HELMBOLD, R.: Eine Methode der Farbensinnprüfung mit variablen Pigment-Farbgleichungen auf drehbaren Scheiben. Wiesbaden 1914. — \*HELMHOLTZ, H. V.: Handbuch der physiologischen Optik, Bd. 2. Hamburg 1911. — \*HERING, E.: Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn. Handbuch der gesamten Ophthalmologie, 1.—4. Lief. Berlin 1905, 1907, 1911 u. 1920. — HERTEL, E.: STILLINGS pseudoisochromatische Tafeln zur Prüfung des Farbensinnes, 18. Aufl. Leipzig 1929. — HERWIG, B.: Über den inneren Farbensinn der Jugendlichen und seine Beziehungen zu den allgemeinen Fragen des Lichtsinnes. Z. Psychol. u. Physiol. Sinnesorg. 87, 129 (1921). Ref. Zbl. Ophthalm. 6, 289 (1922). — HERWIG, B. u. E. R. JAENSCH: Über Mischung von objektiv dargebotenen Farben mit Farben des Anschauungsbildes. Z. Psychol. u. Physiol. Sinnesorg. 87, 217 (1921). Ref. Zbl. Ophthalm. 6, 221 (1922). — HESS, C. v.: (a) Untersuchungen über die Methoden der klinischen Perimetrie (über Farbenperimetrie). Arch. Augenheilk.

85, 1 (1919). (b) Die Rotgrünblindheiten. Pflügers Arch. 185, 147 (1920). (c) Die Farbensinnprüfung des Bahn- und Schiffpersonals und ihre Notwendigkeit ihrer Neugestaltung. Med. Klin. 16 II, 1279 (1920). (d) Einige Methoden zur messenden Untersuchung von Farbensinnstörungen. Z. Augenheilk. 43, 28 (1920). (e) Zur Lösung des Problems der Rot-Grünblindheiten. Ber. 42. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg 1920, 131. (f) Einfache Apparate zur Untersuchung des Farbensinnes und seiner Störungen. Arch. Augenheilk. 86, 222 (1920). (g) Die angeborenen Farbensinnstörungen und das Farbensichtsfeld. Arch. Augenheilk. 86, 317 (1920). (h) Die relative Rotsichtigkeit und Grünsichtigkeit. Graefes Arch. 105, 137 (1921). (i) Methoden zur Untersuchung des Licht- und Farbensinnes sowie des Pupillenspieles. Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden von ABDERHALDEN, Abt. 5, Teil 6, H. 2. Berlin 1921. (k) Das Farbensehen der Anomalen. Arch. Augenheilk. 91, 133 (1922). \*(l) Farbenlehre. Erg. Physiol. 20, 1 (1922). Ref. Zbl. Ophthalm. 9, 138 (1923). — HESSBERG, R.: Über erworbene Farbensinnstörungen. Z. Bahnärzte 24, 95 (1929). Ref. Zbl. Ophthalm. 21, 811 (1929). — \*HILLEBRAND, FR.: Lehre von den Gesichtsempfindungen. Wien 1929. Ref. Zbl. Ophthalm. 21, 529 (1929). — HIPPEL, A. v.: Ein Fall von einseitiger kongenitaler Rotgrünblindheit bei normalem Farbensinn des anderen Auges. Graefes Arch. 26 II, 176 (1880). — HUDDART, J.: An account of persons, who could not distinguish colours. (In a letter to Priestley.) Philos. trans. 67, 260 (1777).

ISHIHARA, S.: The series of plates designed as tests for colour blindness. Handaya, hongo harkieto. Tokyo 1917.

KIESOW, F.: Del color bruno. Arch. ital. Psicol. 7, 153 (1929). Ref. Zbl. Ophthalm. 21, 810 (1929). — \*KÖLLNER, H.: Die Störungen des Farbensinnes. Berlin 1912. — KÖNIG, A. u. C. DIETERICI: Die Grundempfindungen in normalen und anormalen Farbensystemen und ihre Intensitätsverteilung im Spektrum. Z. Psychol. u. Physiol. Sinnesorg. 4, 241 (1892). — \*KRIES, J. v. (a) Die Gesichtsempfindungen. Handbuch der Physiologie des Menschen von NAGEL, Bd. 3. Braunschweig 1905. (b) Physiologische Bemerkungen zu OSTWALDS Farbenfibel. Z. Sinnesphysiol. 50, 117 (1919). (c) Über einen Fall von einseitiger angeborener Deuteranomalie (Grüschwäche). Z. Sinnesphysiol. 50, 137 (1919). (d) Zur physiologischen Farbenlehre. Klin. Mbl. Augenheilk. 70, 577 (1923). (e) Zur Lehre von den dichromatischen Farbensystemen. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12, 1. Hälfte, Rezeptionsorgane II. Berlin 1929. — KROH, O.: Über Farbenkonstanz und Farbentransformation. Z. Sinnesphysiol. 52, 181, 235 (1921). Ref. Zbl. Ophthalm. 5, 527 (1921); 6, 290 (1922).

LAMBERT, J. H.: Beschreibung einer mit dem CALAUSCHEN Wachse ausgemalten Farbenpyramide. Berlin 1772. Neuabdruck in der „Farbe“ Nr 28, 29, 34. — LARSEN, H.: Demonstration mikroskopischer Präparate vom monochromatischen Auge. Ber. Verh. außerordentl. Tagg ophthalm. Ges. Wien 1921, 101. — LEBER, TH.: Über das Vorkommen von Anomalien des Farbensinnes bei Krankheiten des Auges, nebst Bemerkungen über einige Formen von Amblyopie. Graefes Arch. 15 III, 26 (1869). — LEVY, M.: Über einen Fall von angeborener beiderseitiger Tritanopie (Blaublindheit). Graefes Arch. 62, 464 (1906).

\*MACH, E.: Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen. Jena 1906. — \*MAUTHNER, L.: Farbenlehre. Wiesbaden 1894. — MAXWELL, J. C.: On the theory of compound colours and the relations of the colours of the spectrum. Trans. roy. Soc. Philos. I—IV 1860, 150. — MEYER: Über Kontrast und Komplementärfarben. Poggendorffs Ann. 95, 170 (1855). — \*MÜLLER, G. E.: Darstellung und Erklärung der verschiedenen Typen der Farbenblindheit nebst Erörterung der Funktion des Stäbchenapparates sowie der Bienen und Fische. Göttingen 1924.

NAGEL, W.: (a) Die Diagnose der praktisch wichtigen angeborenen Störungen des Farbensinnes. Wiesbaden 1899. (b) Handbuch der Physiologie des Menschen, Bd. 3. Braunschweig 1905. (c) Zwei Apparate für die augenärztliche Funktionsprüfung. Adaptometer und kleines Spektralphotometer (Anomaloskop). Z. Augenheilk. 17, 201 (1907). (d) Einführung in die Kenntnis der Farbensinnstörungen und ihre Diagnose. Wiesbaden 1908.

OSANN: Beschreibung einer einfachen Vorrichtung zur Hervorbringung komplementärer Farben und Nachweisung, daß die hiermit hervorgebrachten Farben objektiver Natur sind. Poggendorffs Ann. 27, 694 (1833). — OSTWALD, W.: (a) Neue Forschungen zur Farbenlehre. Physik. Z. 17, 322, 352 (1916). (b) Das absolute System der Farben. Z. physik. Chem. 91, 129 (1916). (c) Die Farbenfibel. Leipzig 1917. (d) Mathetische Farbenlehre. Leipzig 1918. (e) Goethe, Schopenhauer und die Farbenlehre. Leipzig 1918. (f) Der Farbenkörper und seine Anwendung zur Herstellung farbiger Harmonien. Leipzig 1918. (g) Die Harmonie der Farben. Leipzig 1918. (h) Physikalische Farbenlehre. Leipzig 1919. (i) Über die Bezeichnung der Farböne und der Farbharmonien. Farbe 1924, Nr 38, 1.

PAULI, W. E. u. R. PAULI: Physiologische Optik. Jena 1918. — \*PLANTA, P. v.: Die Häufigkeit der angeborenen Farbensinnstörungen bei Knaben und Mädchen und ihre Feststellung durch die üblichen klinischen Proben. Graefes Arch. 120, 253 (1923). — PLATEAU Dissert. sur quelques propriétés des impressions produits par la lumière sur l'organ de la vue. Liège 1829. Poggendorffs Ann. 20, 304 (1830). — PODESTÀ, H.: (a) Wandtafeln zur

Prüfung des Farbensinnes und Erkennung der Farbensinnstörungen. Hamburg 1916. (b) Die Grundlagen der OSTWALDSchen Farbenlehre in ophthalmologischer Beleuchtung. Z. Augenheilk. **42**, 273 (1920). (c) Physiologische Farbenlehre. Leipzig 1922. — POSELGER, TH.: Der farbige Rand eines durch ein bikonvexes Glas entstehenden Bildes, untersucht mit Bezug auf Goethes Werk zur Farbenlehre. Physik. Ann. **37**, 135 (1811).

RÄHLMANN, E.: Goethes Farbenlehre. Jb. Goetheges. **3**. Weimar 1916. — RASSER, E. O.: Farbensinn, Farbenblindheit, Farbenuntüchtigkeit. Dtsch. opt. Wschr. **7**, 51 (1921). — REICHERT: Über einseitige Farbensinnanomalien. Diss. Freiburg 1916. — RÖNNE, H.: Über Übergangsformen zwischen anomaler Trichromasie und dichromatischem Farbensystem. Klin. Mbl. Augenheilk. **80**, 47 (1928). — ROSMANIT, J.: (a) Zur Farbensinnprüfung im Eisenbahn- und Marinedienst. Wien-Leipzig 1907. \*(b) Anleitung zur Feststellung der Farbentüchtigkeit. Leipzig-Wien 1914.

SAMOJLOFF, A. J.: Untersuchungen über die spektrale Helligkeitsverteilung beim Protanopen. Klin. Mbl. Augenheilk. **76**, 214 (1926). — SCHELSKE, R.: Zur Farbenempfindung. Graefes Arch. **11 I**, 171 (1865). — SCHJELDERUP, H.: Über eine vom Simultankontrast verschiedene Wechselwirkung der Sehfeldstellen. Z. Sinnesphysiol. **51**, 176 (1920). — SCHIÖTZ, J.: (a) Colour blind females: The inheritance of colour blindness in man. Brit. J. Ophthalm. **4**, 345, 393 (1920). (b) Rotgrünblindheit als Erbeigenschaft. Klin. Mbl. Augenheilk. **68**, 498 (1922). — SCHOPENHAUER, A.: Über das Sehen und die Farben. Leipzig 1816. — SCHWARTZ: Erlebnisse eines Bahnaugenarztes hinsichtlich Simulation und Dissimulation von Farbentüchtigkeit. Z. Bahnärzte **15**, 151 (1920). Ref. Zbl. Ophthalm. **4**, 467 (1921). — SCOTT, J.: An account of a remarkable imperfection of sight. Philos. Trans. **68**, 611. London 1778. — SEEBECK, A.: Über den bei manchen Personen vorkommenden Mangel an Farbensinn. Poggendorffs Ann. **42**, 177 (1857). — SINSTEDEN: Über einen neuen Kreislauf zur Darstellung subjektiver Komplementärfarben und eine eigentümliche Erscheinung, welche die Orangefarbe dabei zeigt. Poggendorffs Ann. **80**, 45 (1851). — SONNEFELD, A.: Die Methode der Farbmessung nach W. OSTWALD. Z. ophthalm. Opt. **9**, 129 (1921).

TIGERSTEDT, R.: Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Leipzig 1905. — \*TSCHERMAK, A.: Licht und Farbensinn. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12, 1. Hälfte, Rezeptionsorgane II. Berlin 1929.

UHTHOFF, W.: Ein Beitrag zur kongenitalen totalen Farbenblindheit. Z. Psychol. u. Physiol. Sinnesorg. **20**, 326 (1899). Ref. Nagels Jber. **1899**, 87.

VIERLING, F.: (a) Die Stiftprobe und die Verwechslungsfarben der Farbenuntüchtigen. Z. Bahnärzte **15**, 37 (1920). Ref. Zbl. Ophthalm. **3**, 307 (1920). (b) Tafeln zur Prüfung des Farbensinnes nach Prof. Dr. ISHIIHARA. Z. Bahnärzte **22**, 58 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **18**, 534 (1927). (c) Über Kontrasterscheinungen. Z. Bahnärzte **23**, 227 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **20**, 729 (1929). (d) Über spektrale Wertbestimmung der Farben durch Schwellenmessung mit dem modifizierten Anomaloskop. Z. Bahnärzte **23**, 261 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **20**, 729 (1929). — VIERORDT: Beschreibung einer photometrischen Methode zur Messung und Vergleichung der Stärke der farbigen Lichter. Poggendorffs Ann. **137**, 200 (1869). — VOGT, A.: Totale Farbenblindheit. Sitzgsber. Ges. Schweiz. Augenärzte **1922**. Ref. Klin. Mbl. Augenheilk. **69**, 121 (1922).

WAALER, G.: Über die Erblichkeitsverhältnisse der verschiedenen Arten von angeborener Rotgrünblindheit. Acta ophthalm. (Københ.) **5**, 309 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **19**, 792 (1928). — WEEKERS, L.: Vision de la lumière, des formes et des couleurs. Arch. d'Ophthalm. **38**, 459 (1921). — WESSELY, E.: Goethes und Schopenhauers Stellung in der Geschichte der Lehre von den Gesichtsempfindungen. Berlin 1922. — \*WILBRAND, H. u. A. SÄNGER (a): Anatomie und Physiologie der optischen Bahnen und Zentren. Wiesbaden 1904. (b) Allgemeine Diagnostik und Symptomatologie der Sehstörungen. Wiesbaden 1904. — WOJNOW, M.: Beiträge zur Farbenlehre. Graefes Arch. **21 I**, 223 (1875). — WÖLFFLIN, E. (a): Über zwei neue Untersuchungsmethoden von Farbenanomalien. Arch. Augenheilk. **93**, 223 (1923). (b) Über angeborene totale Farbenblindheit. Klin. Mbl. Augenheilk. **72**, 1 (1924). (c) Über das Verhalten des total Farbenblinden am PULFRIGSchen Stereoeffekt. Klin. Mbl. Augenheilk. **74**, 581 (1925). (d) Über physiologische Beobachtungen an Totalfarbenblinden. Klin. Mbl. Augenheilk. **78**, 596 (1927). (e) Über eine neue Methode zur Bestimmung von Farbschwellen. Klin. Mbl. Augenheilk. **78**, Beil.-H., 200 (1927).

\*ZOTH, O.: Farbenbezeichnungen und -benennungen. Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden von ABDERHALDEN, Abt. 5, Teil 6, H. 5. 1925. — ZSCHOKKE, H.: Die farbigen Schatten, ihr Entstehen und ihr Gesetz. Unterhaltungsbl. Natur- u. Menschenkde Aarau **1826**.

# Die Theorien des Licht- und Farbensinnes.

Von

**RUDOLF HELMBOLD**-Danzig.

Mit 1 Abbildung.

Entsprechend den Fortschritten in der Naturerkenntnis haben die Anschauungen über die Frage des Sehens und der Farbenempfindung eine Reihe von Phasen durchlaufen. Der zugemessene Raum gebietet von selbst bei Erörterung des Stoffes nur auf die Hauptmomente einzugehen, so interessant es auch wäre, den Spuren der Einzelnen zu folgen, die in mühsamer Arbeit zur Klärung der schwierigen Aufgabe beitrugen. Leider ist trotz der großen Erfolge, von welchen ein erheblicher Teil deutschen Forschern gebührt, auch heute noch kein befriedigender Abschluß erzielt worden; keine der vielen Theorien wird allen Anforderungen gerecht.

Das Problem zu lösen lockte bereits im Altertum Philosophen und Naturforscher. Aller unserer modernen Hilfsmittel bar gelang es ihrem Scharfsinn doch, mancherlei Erscheinungen richtig zu deuten, und manche ihrer Vermutungen kamen dem wahren Sachverhalt nahe.

Wir begegnen zwei sich gegenüberstehenden Theorien. Die eine wird hauptsächlich durch PLATO, die andere durch seinen Schüler ARISTOTELES verteidigt: ein Gegensatz, der die Geister in zwei Lager trennte, bis die moderne Physik eine Annäherung schuf. Wir hören, wie PLATO, die subjektive Seite der Empfindung hervorhebend, das Auge selbst als den Quell auffaßt, von dem Licht und Farbe ausgehen: ein inneres Feuer (Licht) strömt aus dem Auge durch die durchsichtigen Häute hervor und verbindet sich mit dem als materiell zu denkenden Tageslicht. ARISTOTELES dagegen nimmt in kühner Vorahnung ein Medium zwischen Auge und Außenwelt an. Der leuchtende Gegenstand setzt das Medium in Bewegung, diese pflanzt sich bis zum Auge fort und löst hier in der Linse ihre Wirkung aus. In dieser gleichen Weise, wie das Licht, üben die Farben, welche sich ARISTOTELES auf der Oberfläche der Objekte befindlich vorstellt, durch Vermittlung des bewegten Mediums ihren Effekt im Auge aus. Weiß und Schwarz sind die Hauptfarben. Schwarze Gegenstände besitzen diese Farben entweder schon von Natur aus, oder sie lassen sehr wenig bzw. gar kein Licht ins Auge gelangen. Die übrigen Farben sind Mischungen von Weiß und Schwarz in den mannigfaltigsten gegenseitigen Proportionen. Außerdem aber sieht eine Farbe noch verschieden aus, je nachdem sie zunächst direkt oder durch eine andere durchscheinende Farbe betrachtet wird.

Diese beiden Anschauungen fanden zahlreiche Anhänger und blieben, abgesehen von einigen Modifikationen, fast ein und einhalb Jahrtausend die herrschenden. Opposition oder Nichtbeachtung muß sich eine neue Idee gefallen lassen. Wir dürfen uns daher nicht wundern, wenn der erlösenden Entdeckung FELIX PLATERS und JOHANNES KEPLERS von der Abbildung der Außenwelt durch die Linse auf der Netzhaut anfangs ein ähnliches Schicksal beschieden ward. Aber die geniale Tat dieser Forscher gelangte doch allmählich zur Anerkennung und schuf die Grundlage für weitere wesentliche Fortschritte. Sie führte einen völligen Umschwung der Anschauungen herbei.

Die Lehre NEWTONs von der Zusammensetzung des Sonnenlichtes aus vielen einfachen (homogenen) Lichtsorten, von der verschiedenen Brechbarkeit der einzelnen Lichtarten, sowie seine Farbenmischungsgesetze sind uns heutzutage geläufig. Ihre Richtigkeit in den wesentlichen Punkten wird wohl von niemand mehr in Frage gezogen, wengleich man die Emanationstheorie, welche NEWTON seinen Thesen zugrunde legte, verlassen und durch die

HUYGHENSsche Undulationslehre und neuerdings durch die elektromagnetische Lichttheorie ersetzt hat. Gab uns somit NEWTON eine wissenschaftliche wohlbegründete Erklärung von den physikalischen Eigenschaften der Erscheinungen, die wir mit Licht und Farbe bezeichnen, so ist ebenso sein Verdienst hoch einzuschätzen, welches er sich um die Deutung in physiologisch-psychologischer Hinsicht erwarb. In seiner Definition hebt er mit allem Nachdruck hervor, daß die in unser Auge eintretenden Lichtstrahlen, die von einer Lichtquelle kommen oder von einem Gegenstand zurückgeworfen und schlechthin farbig genannt werden, nicht farbig sind, sondern die Fähigkeit besitzen, in unserem Empfindungsorgan (Netzhaut, Sehnerv) eine Erregung auszulösen, die dem Gehirn übermittelt wird und hier in Gestalt von Farben auftritt. Unverkennbar spricht aus diesem Hinweis die Wichtigkeit, die NEWTON der Funktion des Auges und des Gehirns beilegte, und die scharfe Trennung, die er zwischen physikalischem Vorgang und dessen Umwandlung in eine Vorstellung machte.

**GOETHE'S Farbenlehre.** Von ECKERMANN erfahren wir, wie hoch GOETHE sein Wissen in der Farbenlehre bewertete, weit höher als seine dichterischen Leistungen. Ja er glaubte die bereits allgemein anerkannte NEWTONSche Theorie gründlich widerlegt zu haben und seine eigene an deren Stelle setzen zu können. Indessen sie mußte versagen, war sie doch aus einer Verkenntung der physikalischen Grundlagen hervorgegangen. Andererseits aber dürfen wir die Bedeutung der GOETHESchen Farbenlehre nicht unterschätzen. Die farbigen Nachbilder und farbigen Schatten waren zwar schon vor GOETHE bekannt, aber man besaß über deren Wesen noch keine Klarheit, sondern hielt sie für zufällige oder pathologische Erscheinungen. GOETHE faßte mit der ihm eigenen bewunderungswürdigen Beobachtungsgabe das Gemeinsame zusammen und erklärte die genannten Phänomene, die wir heutzutage als simultanen und sukzessiven Kontrast bezeichnen, als auf der Tätigkeit des Auges selbst beruhend. Bedenken wir ferner, daß er bereits auf die Wichtigkeit des aktiven und ruhenden Zustandes der Netzhaut, je nachdem diese vom Lichte getroffen wird oder nicht, hinwies, so dürfen wir ihn wohl mit JOHANNES MÜLLER als den Urheber der modernen physiologischen Optik hinstellen; wir werden sehen, wie gerade bei den neueren Farbentheorien der GOETHESche Einfluß deutlich zutage tritt.

**YOUNG-HELMHOLTZsche Theorie.** Annähernd um dieselbe Zeit, in der GOETHE'S Farbenlehre ihrer Vollendung nicht mehr fern war, trat THOMAS YOUNG, auf den NEWTONSchen Farbenmischungsgesetzen fußend, mit einer neuen Hypothese hervor, die merkwürdigerweise schnell in Vergessenheit geriet. Erst durch HELMHOLTZ wieder zu Ansehen gebracht und wesentlich erweitert, hat sie heute noch Geltung, wenn auch mit Recht in manchen Punkten bestritten, unter dem Namen der YOUNG-HELMHOLTZschen Farbentheorie.

Wie sich nach dem Mischungsgesetz sämtliche Farben aus physikalischen Komponenten: den drei Grundfarben Rot, Grün und Violett herstellen lassen, so können ebenso alle Farbenempfindungen auf physiologische Komponenten: drei Grundempfindungen zurückgeführt werden. Den drei Grundempfindungen entspricht die Reizung dreier spezifisch erregbarer Nerven-elemente des Auges. Alle drei Arten dieser Endorgane werden durch sämtliche Lichter des Spektrums erregt, aber in verschiedenem Grade. Die erste Art reagiert hauptsächlich auf langwelliges Licht, weniger auf anderswelliges, die zweite Art hauptsächlich auf Licht mittlerer Wellenlänge, geringer auf die übrigen, und die dritte Art hauptsächlich auf kurze Lichtwellen und ebenfalls weniger auf die sonstigen Lichter. Als Resultat erhalten wir in der genannten Reihenfolge die Rot-, die Grün- und die Violett-Empfindung. Die Empfindungen der Zwischenfarben

kommen zustande, wenn alle drei Arten zwar gleichzeitig, aber in verschiedener Intensität erregt werden. So erzielen wir Orange, wenn die erste und zweite Art erheblich, die dritte nur in mäßigem Grade in Tätigkeit versetzt werden. Da hierbei jedoch alle drei Arten in Funktion treten, so erhält das Orange auch einen weißlichen Charakter. Infolge Mitwirkung aller drei Arten finden wir bei allen Farben keine volle Sättigung, sondern stets eine Beimischung von Weiß. Findet nämlich eine gleichstarke Erregung aller drei Arten statt, so entsteht keine bunte, sondern eine Weißempfindung. Die Schwarzempfindung dagegen beruht auf dem Fehlen jeglicher Erregung der nervösen Elemente. Die Einzelbeziehungen hat HELMHOLTZ durch drei schematische Kurven, deren Abszissenachse das Spektrum, deren Ordinaten die Erregungsintensitäten darstellen, veranschaulicht (s. Abb. 1).

Bei dem Mangel an zweifelsfreien anatomischen und physiologischen Unterlagen muß man die Beantwortung der Frage offen lassen, wie man sich die Betätigung der nervösen Endapparate in dreifacher Richtung vorstellen soll. Mögen nun lichtempfindliche Stoffe durch ihre Zersetzung auf die Nervenfasern wirken, und mag hierbei eine dreifache Funktion nur einer Nervenfasern vorliegen, oder mag der Prozeß sich in drei verschiedenen Nervenfasern abspielen.

Wenden wir die YOUNG-HELMHOLTzsche Theorie auf einen Rotblinden (Protanopen) an, so müssen wir annehmen, daß die Rot empfindenden Fasern fehlen. Wird seine Netzhaut von langwelligem Lichte getroffen, so werden nur die Grün und Violett empfindenden Fasern erregt, und zwar die ersteren stärker als die letzteren. Annähernd dieselbe Wirkung erfolgt durch Licht mittlerer Wellenlänge, und es kommt beide Male eine ähnliche Empfindung zustande, die beim Farbentüchtigen dem Grün entspricht. Der Rotblinde hat also von beiden Lichtarten denselben Farbeindruck und verwechselt sie beide miteinander, wenn ihm nicht der Helligkeitsunterschied zu Hilfe kommt. Das Spektrum erscheint ihm nach dem roten Ende zu dunkler bzw. verkürzt, entsprechend der geringen oder ganz mangelnden Fasererregung. Bei Grünblindheit (Deuteranopie) fehlt die zweite, bei der Violettblindheit (Tritanopie) die dritte Faserart. Will man beim total Farbenblinden den Ausfall zweier Faserarten zur Voraussetzung machen, so müßte immerhin doch stets eine Farbenempfindung entweder Rot, Grün oder Violett übrig bleiben. Da aber dem Achromaten die Farben nicht farbig, sondern entsprechend ihrer Verschiedenheit in farblosen Abstufungen erscheinen, so müssen wir annehmen, daß sein restierender Nervenendapparat nur Helligkeitswerte vermittelt. Bei der anomalen Trichromasie braucht nicht der völlige Mangel einer Faserart vorzuliegen, vielmehr findet die Anomalie schon ihre Erklärung in einer Veränderung der Fasererregbarkeit, derart, daß die drei Intensitätskurven sich einander nähern, teilweise berühren oder zusammenfallen.

Die positiven Nachbilder deutet HELMHOLTZ als Nachwirkung des vorher bestandenen Reizes, während er die negativen Nachbilder in einer verminderten Reizempfindlichkeit, in einem Ermüdungszustand begründet findet. Da die drei Faserarten von Licht einer bestimmten Wellenlänge in verschiedenem Grade erregt werden, so gestaltet sich auch die Ermüdung verschieden. So muß rotes Licht die rotempfindenden Elemente stärker als die grün- und violetttempfindenden ermüden, und es wird, wenn danach weißes Licht die Netzhaut trifft, der Reiz auf die Grün- und Violettfasern überwiegen, und die Blau-Grünempfindung zustande kommen. Der Wechsel der positiven und negativen Nachbilder, sowie das farbige Abklingen sind wohl teilweise in dem

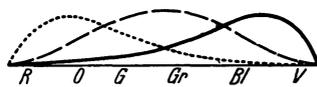


Abb. 1. Graphische Darstellung der YOUNG-HELMHOLTZ'schen Farbentheorie.

leicht sich ändernden Gleichgewicht der nachhaltigen Reizung und Ermüdung zu suchen; auch dürften hierbei Schwankungen der Aufmerksamkeit mit im Spiele sein.

Als einen rein psychischen Vorgang faßt HELMHOLTZ die Kontrasterscheinungen auf. Nach ihm handelt es sich hierbei um eine falsche Beurteilung von Sinneseindrücken, welche der Sehapparat übermittelt. Derartige Rekognitionsurteile sind von intercorticalen Vorgängen abhängig und kommen dadurch zustande, daß ein Erinnerungsbild mit einer gegenwärtigen Empfindung in Beziehung tritt bzw. gleichwertig erachtet wird. Deutlich erkannte Unterschiede werden gegenüber unsicher wahrgenommenen oder in der Erinnerung haftenden in ihrer Größe überschätzt, mag es sich um zwei benachbarte Gegenstände oder um zwei aneinander grenzende Farben handeln. Die Täuschung tritt bei kleinen Differenzen leichter als bei größeren zutage. Ferner trägt zur irrigen Beurteilung bei, daß wir eine jeweilige im Gesichtsfeld dominierende Farbe, die dem Weiß nahe kommt, für wirkliches Weiß halten und dementsprechend die übrigen Farben des Gesichtsfeldes verändert auffassen.

Die Theorie der Gegenfarben von HERING geht von der Voraussetzung aus, „daß jeder Farbe in gesetzmäßiger Weise ein ganz bestimmter Vorgang in der nervösen Substanz des Sinnesorgans (Sehsubstanz) entspricht“. Diese Sehsubstanz, die Stäbchen und Zapfenschicht, sowie alle beim Sehen tätigen nervösen Elemente umfassend, besteht aus drei Anteilen, der Weiß-Schwarz-, der Rot-Grün- und der Gelb-Blau-Substanz, und unterliegt einem Doppelprozeß in entgegengesetzter Richtung, indem entweder ein Abbau (Dissimilations-[D-]Prozeß) oder ein Aufbau (Assimilations-[A-]Prozeß) stattfindet. In der Zusammensetzung der Sehsubstanz überwiegt der Weiß-Schwarz-Anteil die beiden anderen Rot-Grün- und Gelb-Blau-Anteile. Dem Verbrauch und Ersatz entsprechen drei Empfindungspaare Weiß-Schwarz, Rot-Grün, Gelb-Blau. Sämtliche Lichter des sichtbaren Spektrums üben auf die Weiß-Schwarz-Substanz zunächst eine dissimilierende Wirkung aus, und zwar in verschiedener Stärke je nach der Lichtwellenlänge, während die Assimilation nur als Reaktion auf einen äußeren Reiz durch eine Art Selbststeuerung des Stoffwechsels eintritt (s. u. S. 366). Bei der Rot-Grün- und Gelb-Blau-Substanz haben bestimmte Strahlen einen dissimilierenden, bestimmte andere einen assimilierenden und noch gewisse andere Strahlen gar keinen Effekt. Dissimilation der Weiß-Schwarz-Substanz ruft Weißempfindung, Assimilation Schwarzempfindung hervor; halten sich D- und A-Prozeß die Waage, so resultiert ein mittleres Grau. Es wird heller, wenn der D-Prozeß, dunkler, wenn der A-Prozeß das Übergewicht erlangt. Analog erhalten wir Rotempfindung bei Zersetzung, Grünempfindung bei Regeneration der Rot-Grün-Substanz. Sind in dieser Substanz beide Prozesse im Gleichgewicht, so paralysieren sie sich gegenseitig. Für Gelb und Blau gilt sinngemäß dasselbe. Die Grundempfindungen Rot und Grün einerseits, wie Gelb und Blau andererseits können niemals zugleich in ein und derselben Gesichtsempfindung in Erscheinung treten, sie schließen sich vielmehr gegenseitig aus. Wegen dieses Antagonismus werden die beiden Farbenpaare Rot-Grün und Gelb-Blau von HERING als *Gegenfarben* bezeichnet.

Da jede Strahlenart, wie oben ausgeführt, auch auf die Weiß-Schwarz-Substanz zugleich dissimilierend wirkt, so ist ihr und demgemäß auch der jeweiligen Empfindung nicht nur eine „farbige Valenz“, sondern gleichzeitig auch eine „weiße Valenz“ eigentümlich. Sind aber z. B. in der Rot-Grün-Substanz beide Prozesse im Gleichgewicht, so heben sie gegenseitig ihre Wirkung auf, und es müßte überhaupt keine Empfindung zustande kommen. Da jedoch daneben die Weiß-Schwarz-Substanz im Abbau begriffen ist, so wird ein Weiß von bestimmter Helligkeit empfunden. Zu demselben Ergebnis

gelangen wir mit gemischtem Lichte, wenn sowohl in der Rot-Grün- als auch in der Gelb-Blau-Substanz Dissimilierung und Assimilierung gleichstark sind.

Die Lichtmischung findet in der HERINGSchen Theorie eine ausreichende Erklärung. Die Nachbilder und Kontrasterscheinungen führt HERING auf physiologische Vorgänge zurück. Dissimilierung und Assimilierung stehen in einem gewissen antagonistischen Verhältnis derart, daß der in einem bestimmten Felde vor sich gehende Prozeß zugleich einen entgegengesetzten hier und in der Umgebung zur Folge hat. Wird eine Netzhautstelle vom Lichte getroffen, und durch vorherrschende Dissimilierung, z. B. Rot erregt, so stellt sich in der Nachbarschaft ein Assimilierungsprozeß (Grünerregung) ein, der mit wachsender Entfernung in bestimmter Weise abnimmt. Die ungleiche Lichtempfindlichkeit und die verschiedene Menge der Sehsubstanzen machen es verständlich, warum bei wechselnder Intensität des objektiven Lichtes eine Änderung der Farben in Erscheinung tritt. Die am meisten empfindliche Weiß-Schwarz-Substanz reagiert schon bei sehr schwachem Lichte, bei dem die übrigen Sehsubstanzen sich noch nicht bemerklich machen. Bei zunehmender Lichtstärke tritt zunächst die Rot-Grün-, sodann die Gelb-Blau-Substanz in Aktion. Erreicht die Lichtintensität einen sehr hohen Grad, so erfolgt eine Erschöpfung der Sehstoffe, welche die Weiß-Schwarz-Substanz wegen ihres Überwiegens am wenigsten betrifft. Das Dämmerungssehen (S. 303), das PURKINJESche Phänomen (S. 304) und die auffallende Weißlichkeit der lichtstarken Farben basieren auf diesen Momenten.

Die Erscheinungen der Farbenblindheit schließlich finden in dem Fehlen beider oder einer der beiden Sehsubstanzen Rot-Grün und Gelb-Blau ihre Erklärung. So liegt im ersten Falle, wo nur noch die Weiß-Schwarz-Substanz übrig geblieben ist, totale Farbenblindheit vor. Der Rotgrünblindheit liegt der Mangel der Rot-Grün-Substanz zugrunde, so daß also nur noch die Gelb-Blau- und die Weiß-Schwarz-Substanz funktionieren. Die Unterschiede der beiden Arten der Rotgrünblindheit, Protanopie und Deutanopie, sind nach HERING zum Teil durch differente gelbliche Färbung der Linse und ferner durch eine Verschiedenheit des Maculapigmentes, das seinerseits den Durchtritt bestimmter Lichtstrahlen in stärkerem oder schwächerem Maße verhindert, bedingt. Es würde hierbei allerdings nur die zentrale Netzhautpartie in Betracht kommen, da die peripherwärts gelegene des Pigmentes ermangelt. Die Blaugelbblindheit schließlich hat ihren Grund in dem Ausfall der Gelb-Blau-Substanz.

**Kritik der Theorien von YOUNG-HELMHOLTZ und HERING.** Die Erscheinungen der normalen Farbenempfindung und die Farbensinnstörungen lassen sich mit den erörterten beiden Theorien bis zu einem gewissen Grade in Einklang bringen. Beide Anschauungen können nebeneinander bestehen und sich gegenseitig ergänzen. Aber dem Leser ist gewiß nicht entgangen, daß man über etliche Widersprüche nicht hinwegkommt, und daß manche Frage noch der Beantwortung harret. So läßt uns die HELMHOLTZsche Hypothese in mehrfacher Hinsicht im Stich. Wir erwarten nach ihr bei Erregung einer der drei Faserarten entweder eine Rot- oder Grün- oder Violettempfindung. Wir wissen aber, daß alle Lichter, wenn sie in geringer Intensität oder nur momentan auf die Netzhaut wirken, farblos erscheinen, und andererseits bei hoher Lichtstärke oder bei langdauernder Einwirkung eine Weißempfindung zustande kommt. Daß nach der HELMHOLTZschen Theorie bei der totalen Farbenblindheit durch Ausfall zweier Faserarten statt der farblosen eine farbige Empfindung erwartet werden müßte, wurde schon oben auseinander gesetzt.

Wenngleich HERING in seiner Theorie der Gegenfarben die meisten Schwierigkeiten des Problems geschickt aus dem Wege räumt, so bleiben doch mehrere

seiner Behauptungen übrig, welche der Klärung noch bedürfen. Sollte bei der Farblosempfindung lediglich nur das Verhältnis in Betracht kommen, in welchem Dissimilierung und Assimilierung sich vollziehen, und die Intensität der beiden Vorgänge keinen Einfluß haben?<sup>1</sup> Und wie soll man den Zwiespalt überbrücken, daß ein gleichzeitiger D- und A-Prozeß der Weiß-Schwarz-Substanz Empfindungen hervorruft, die eine gewisse Verwandtschaft zueinander haben, während der analoge Vorgang in der chromatischen Substanz sich gegenseitig ausschließende Empfindungen bedingt? Grau, zwischen Weiß und Schwarz stehend, hat mit beiden etwas Gemeinsames, dagegen erinnert eine farblose Empfindung einerseits zugleich weder an Rot noch Grün, andererseits zugleich weder an Gelb noch an Blau. Den Gegensatz, welcher hier in psychologischer Hinsicht zwischen Weiß-Schwarz und den (bunten) Gegenfarben besteht, auf zwei materiell gleichsinnige Prozesse zurückführen zu wollen, erscheint mindestens bedenklich. Ferner kann die Anschauung HERINGS, die beiden Arten der Rotgrünblindheit durch verschieden starke Absorption der Lichter durch das Linsen- bzw. Maculapigment zu erklären, nicht mehr als zutreffend aufrecht erhalten werden, nachdem v. KRIES erwiesen hat, daß sich Protanopen und Deutanopen unter anderem auch noch durch ein verschiedenes Verhalten gegenüber rot und gelb wirkendem Lichte charakterisieren, das vom Maculapigment kaum absorbiert wird.

**Theorie von G. E. MÜLLER.** G. E. MÜLLER schließt sich der HERINGSchen Lehre an und versucht sie weiter zu vervollkommen, indem er deren Mängel und Widersprüche durch eine Reihe zum Teil recht komplizierter Hypothesen zu beseitigen unternimmt. Nach ihm ist bei den antagonistischen Vorgängen der drei Sehsubstanzen die Differenz der Intensitäten ausschlaggebend für das Zustandekommen der Farbenempfindung. Eine gleichzeitige Rot-Grün- oder Blau-Gelb-Empfindung tritt nicht auf. Neben der peripheren, in der Netzhaut sich vollziehenden Erregung, findet zugleich eine zentrale Weiß- und Schwarzerregung statt, und zwar überwiegt bei der peripheren Dissimilierung die Weißerregung, bei der Assimilierung die Schwarzerregung mit der entsprechenden Empfindung. Sind Dissimilierung und Assimilierung im Gleichgewicht, so tritt ein mittleres Grau in Erscheinung. Die Wirkung der Sehsubstanz auf die peripheren Nerven-elemente wird nicht durch das Licht direkt, sondern indirekt durch Vermittelung gewisser Materialien (Rot-Grün-Material usw.) herbeigeführt. Jeder Sehstoff setzt sich aus zwei Materialien zusammen, und außerdem ist noch ein Nebenmaterial vorhanden, welches durch bestimmte Lichtarten alteriert wird und das Gleichgewicht der erwähnten Materialien ändert. Dieser Prozeß wirkt auf die Endorgane des Sehnerven und führt zu einer Farbenempfindung. Jedes einfache farbige Licht ruft niemals bloß eine farbige Erregung hervor, sondern immer auch eine Weißerregung. Die Nachbilder beruhen darauf, daß zur Wiederherstellung des Gleichgewichts nach Aufhören der Lichtwirkung eine bestimmte Zeit erforderlich ist. Für das Zustandekommen des simultanen Kontrastes nimmt MÜLLER Kontrastbahnen an, welche die verschiedenen Zapfen und Stäbchen miteinander verbinden.

In einer jüngeren (1924) ausführlichen Abhandlung gibt G. E. MÜLLER eine Darstellung und Erklärung der verschiedenen Typen der Farbenblindheit. Die anomalen Farbensysteme beruhen entweder auf anomaler Absorption, oder auf einem Ausfall oder auf einer Alteration.

Die anomale Absorption wird durch lichtabsorbierende Stoffe, z. B. Blut, die sich vor der Netzhaut oder in ihr befinden, verursacht. Das Ausfallssystem wird durch einen äußeren Ausfall (Fehlen bestimmter chemischer

<sup>1</sup> Man vergleiche hierzu unten S. 367.

Netzhautprozesse), oder inneren Ausfall (mangelnde Fähigkeit bzw. Leitungsunfähigkeit der nervösen Sehbahn eine chromatische Nervenirregung entstehen zu lassen und zentralwärts weiter zu vermitteln), oder durch beide Ausfallsarten zugleich bedingt. Dem Alterationssystem liegen äußere oder innere Veränderungen zugrunde. Bei den ersten besteht für die optischen Valenzen der verschiedenen Lichter eine Abweichung in der Abhängigkeit von den Wellenlängen gegenüber dem normalen Auge. Bei der inneren Alteration verlaufen zwar die chemischen Netzhautprozesse ebenso wie beim Normalen, aber die nervöse Erregbarkeit der Sehbahn ist eine andere. Endlich können Systeme vorkommen, bei denen alle drei: Absorption, Ausfall und Alteration in Erscheinung treten. Bei der Deuteranopie fällt die innere Rot- und Grünerregbarkeit aus, die Helligkeitsverteilung ist unverändert und das Spektrum unverkürzt; bei der Protanopie fehlen die inneren und äußeren Erregbarkeiten, das Spektrum zeigt am langwelligen Ende eine Verkürzung, die Helligkeitsverteilung ist verändert und die neutrale Stelle verschoben. Bei Gelb-Blau-Blindheit kann die innere Erregbarkeit allein oder zusammen mit der äußeren ausfallen. Bei der totalen Farbenblindheit ändert der Ausfall der inneren Erregbarkeit nichts an der Helligkeitsverteilung im Spektrum, dagegen tritt eine solche ein beim Ausfall der äußeren Erregbarkeiten.

**Theorie von SCHENK.** SCHENK stimmt, soweit der vollentwickelte Farbensinn in Betracht kommt, der YOUNG-HELMHOLTZschen Theorie zu, versucht aber sie zu ergänzen, indem er die dreifache Gliederung des Systems und die Abweichungen hiervon in Abhängigkeit von entwicklungsgeschichtlichen Stufen bringt. In einem frühen Stadium enthält der Zapfenapparat ebenso wie die Stäbchen nur eine für langwelliges Licht wenig empfängliche Sehschicht, deren photochemischer Umsatz eine farblose Helligkeitsempfindung auslöst. Die Zapfenschicht verändert sich allmählich (Panchromatismus) durch zunehmende Empfindlichkeit für langwelliges Licht. Sodann erfolgt durch weitere Differenzierung eine Teilung in eine die Blau- und Gelbempfindung vermittelnde Blau- und Gelbschicht; in letzterer hinwiederum vollzieht sich auf einer höheren Stufe eine nochmalige Teilung in Rot-Grün-Schicht, der Rot- und Grünempfindung dienend. Die gleichzeitige und gleichstarke Wirkung der Blau-Gelb-Schicht verursacht Weißempfindung, die der Rot-Grün-Schicht Gelbempfindung. In der normalerweise total farbenblinden peripheren Netzhautzone ist nur eine Sehschicht, die Weiß vermittelnde, vorhanden. In der anschließenden rot-grünblinden Zone finden wir nur die Gelb-Blau-Schicht vertreten, während sich in dem zentralen völlig farbentüchtigen Bezirke noch die Rot-Grün-Schicht hinzugesellt. In den drei Zonen erkennen wir die einzelnen Entwicklungsstadien der Zapfen wieder; die Teilungsvorgänge in der Sehschicht werden um so vollkommener, je mehr wir uns der Netzhautmitte nähern.

Bei den angeborenen typischen Formen der Farbenblindheit liegen Entwicklungshemmungen der Teilung vor. So wird die totale Farbenblindheit dadurch bedingt, daß die Zapfen in die Panchromatisierung nicht eingetreten sind, sondern einen stäbchenähnlichen Charakter beibehalten haben. Es können daher nur farblose Empfindungen verschiedener Helligkeit auftreten. Bei der Rot-Grün-Blindheit ist die Umwandlung der Sehschicht von der zweiten Stufe in die dritte ausgeblieben, ein Zustand, wie wir ihn analog in der rot-grünblinden mittleren Netzhautzone antreffen. Für die Erklärung der Blau-Gelb-Blindheit nimmt SCHENK ebenfalls eine Anomalie im Entwicklungsgang der Sehschicht an, und zwar stellt er sich vor, daß die zweite Teilung sich bis zu einem gewissen Grade vollzogen hat, ohne daß die erste Teilung vorausgegangen ist. Bei der anomalen Trichromasie spielt die Funktion der „Resonatoren“ eine wesentliche Rolle: Das Fehlen des Resonators für langwelliges

Licht bedingt Protanomalie, bei der Deuteranomalie hinwiederum ist der Resonator für mittelwelliges Licht stärker als in der Norm gedämpft.

In das nervöse Zentralorgan verlegt SCHENK für den Farbensinn noch besondere Einrichtungen, die man sich in einer Dreikomponentengliederung vorstellen kann.

SCHENK lehnt sich in seinen Grundgedanken, wie er selbst ausdrücklich hervorhebt, an ADOLF FICK an. Dieser Forscher gelangte, in Erwägung der Änderung der Farbenempfindlichkeit von dem Netzhautzentrum nach der Peripherie hin, zu dem Ergebnis, daß die drei farbenempfindenden Faserarten in der ganzen Netzhaut vorhanden seien, die Endapparate in den einzelnen Zonen aber verschiedene Beschaffenheit besäßen, und die Lichtstrahlen daher auch verschieden wirken. Die Valenzkurven der drei Faserarten, im Zentrum am meisten voneinander abweichend, nähern sich peripherwärts mehr und mehr, bis sie gleich werden. Haben zwei Komponenten die gleiche Valenzkurve, so resultiert ein dichromatisches System. Stimmen die Valenzkurven aller drei Komponenten überein, so liegt totale Farbenblindheit vor.

**Theorie von LADD-FRANKLIN.** In ähnlicher Weise wie SCHENK baut CHRISTINE LADD-FRANKLIN nach entwicklungsgeschichtlichen Prinzipien eine Theorie der Lichtempfindungen auf. Sie verwertet die bereits von DONDERS ausgesprochene Vermutung, daß die farblosen und farbigen Empfindungen auf völlige oder teilweise Dissoziation der Moleküle zu beziehen seien, weist aber besonders darauf hin, daß ihrer Theorie nicht wirkliche Moleküle zugrunde liegen, sondern daß es sich nur um eine bildliche Darstellung handele. In den Augen niederer Tiere, ferner in der Peripherie der normalen Retina und in der Netzhaut total Farbenblinder kommen nur die unentwickelten „Graumoleküle“ vor. Ihre photochemische Zersetzung wird durch alle sichtbaren Lichter hervorgerufen und ergibt die Grau-Weißempfindung. Die „Farbmoleküle“ sind aus den Graumolekülen hervorgegangen und zeigen eine Oberflächengruppierung ihrer Atome in drei senkrecht zueinander stehenden Richtungen. Die Zersetzungsprodukte der drei Gruppen bedingen drei farbige Grundempfindungen, aus denen sich dann alle Zwischenstufen ableiten lassen. Die gleichstarke Zersetzung aller drei Atomgruppen gleicht in ihrem Effekt demjenigen des Graumolekülzerfalles. In den Stäbchen sind nur Graumoleküle anzutreffen; sie vermitteln eine farblose Empfindung. Dagegen lösen die nur den Zapfen eigentümlichen Farbmoleküle Farben- sowie Grauempfindung aus. Sehr schwaches Licht dissoziiert nur die Graumoleküle, bei intensiver Beleuchtung werden die Farbmoleküle schneller als die Graumoleküle umgesetzt; es bleibt in beiden Fällen nur eine farblose Empfindung übrig. Die Komplementärfarbe des Nachbildes „wird durch den ähnlichen Verbrauch verstümmelter Moleküle“ hervorgebracht. Die totale Farbenblindheit, wie wir sie ebenfalls in der Netzhautperipherie finden, wird aus dem Fehlen der Farbmoleküle verständlich. Erfolgt die Differenzierung der Farbmoleküle nur nach zwei Richtungen, so entstehen dichromatische Farbensysteme.

**Weitere Theorien.** Während wir bei SCHENK und LADD-FRANKLIN als Grundlage der Farbenempfindung hypothetische Moleküle vorfinden, begegnen wir in anderen Theorien der Annahme von wirklich vorhandenen Substanzen, deren chemische Umwandlung die Voraussetzung für das farbige Sehen bildet.

So nimmt EBBINGHAUS in den äußersten Retinaschichten drei lichtempfindliche Substanzen an, die sich durch ihre verschiedene Verbreitung, Zersetzlichkeit und Absorptionsfähigkeit voneinander unterscheiden. Die erste über die ganze Netzhaut verbreitete Weißsubstanz absorbiert fast sämtliche Strahlen des sicht-

baren Spektrums und ruft durch ihre Zersetzung die Helligkeitsempfindungen (Weiß und Grau) hervor. Ferner soll der sowohl in den Zapfen wie Stäbchen vorkommende Sehpurpur bzw. das Sehgelb durch seine photochemische Veränderung die Gelb- und Blauempfindung verursachen. Außerdem existiere noch eine Grünsubstanz, die nur den Zapfen eigentümlich sei und bei ihrer chemischen Umwandlung die Rot-Grünempfindung zustande bringe. Je nach dem Fehlen der einen oder beider chromatischen Substanzen liege partielle oder totale Farbenblindheit vor.

Zunächst müßte das Fehlen des Sehpurpurs im Netzhautzentrum als erwiesen angesehen werden, außerdem ist EBBINGHAUS den Beweis für das Vorhandensein der Weiß- und Grünsubstanz schuldig geblieben. Aber auch die Theorie KÖNIGS, nach welcher die Sehpurpur führenden Stäbchen die Blauempfindung übertragen, und die der Stäbchen ermangelnde Fovea centralis daher laubblind sei, kann nicht aufrecht erhalten werden, da blaue Objekte auch mit der Netzhautgrube als blau erkannt werden, wenn die Objekte genügend hell erleuchtet und ihre Größe derart gewählt werden, daß deren Abbildung nur in der zapfenhaltigen zentralen Netzhautpartie stattfindet. KÖNIG hat sich hier durch die Absorption des kurzwelligen Lichtes durch das Maculapigment täuschen lassen.

**Theorien der primären Energieumwandlung.** Der hochdifferenzierte Bau der Nerven-elemente der Netzhaut ließ erklärlicherweise die Vermutung aufkommen, daß die verschiedenen Lichtstrahlen in jenem Nervenapparat spezifisch sortiert und zentralwärts weitergeleitet würden. Schon ZENKER und MAX SCHULTZE haben in den Plättchen der Stäbchen und Zapfenaußenglieder Reflektoren und Vermittler zur Übertragung der Energie der Lichtwellen erblickt. Auch brachte ZENKER bereits das Auftreten stehender Wellen mit der Plättchenstruktur in Zusammenhang.

RÄHLMANN greift diesen Gedanken wieder auf. Eine willkommene Unterstützung bieten ihm die analogen Verhältnisse der modernen Buntphotographie. Auch hier spielen die stehenden Wellen eine wesentliche Rolle. In den photographischen Platten sieht man, wie R. NEUHAUS 1898 mikroskopisch nachwies, entsprechend den Maximis der Wellen Zersetzungsschichten, während an den Knotenpunkten, wo keine Bewegung stattfindet, die photographische Masse unverändert bleibt.

Bei der Photographie des Spektrums lassen die Platten erkennen, daß der Abstand der zersetzten Schichten mit der halben Wellenlänge des wirkenden Lichtes übereinstimmt. RÄHLMANN betrachtet ebenfalls die Plättchen und außerdem die Innenflächen der Zapfen- und Stäbchenaußenglieder als Reflektoren. Ein Teil des eintretenden Lichtes dringt bis zum Pigmentepithel vor und verursacht dessen Wanderung längs der Außenglieder als Schutz gegen seitlich kommende Lichtstrahlen. Ein anderer Teil des zurückgeworfenen Lichtes erzeugt stehende Wellen. Unter der Lichtwirkung zieht sich das Protoplasma der Innenglieder zusammen und zwar bei langwelligen Strahlen in geringerem, bei kurzwelligen in stärkerem Grade, mit entsprechender Verkürzung der Zapfen bzw. Stäbchen. Gleichzeitig lagern sich die Stoffteilchen segmentweise an den Knotenpunkten in dünnere Schichten, an den Maximis der Schwingungen in dichtere Schichten. Es entspricht somit die Anordnung der Substanz der Wellenlänge des jeweilig wirkenden Lichtes. Im Dunkeln dehnen sich die Innenglieder wieder aus. Die mit der Umlagerung der Substanz verbundenen Druckdifferenzen werden zentralwärts weiter vermittelt und finden in der Farbenempfindung ihren Ausdruck. Im zentralen Netzhautbezirk ist die Stellung der Außenglieder derart, daß eine zu den Reflektoren senkrechte Lichtreflexion stattfindet. Die schiefe Stellung der peripheren Zapfen ermöglicht seitliche

Lichtbeimischung, wodurch die Phase der stehenden Wellen geändert wird und eine entsprechende Farbenempfindung resultiert. Die totale Farbenblindheit der Netzhautperipherie erklärt RÄHLMANN durch diese rein physikalischen Umstände. Ebenso bezieht er Farbensinnstörungen bei Krankheitsprozessen der Ader- und Netzhaut auf Lagerungsveränderungen der Außenglieder. Andererseits hält er bei angeborenen wie erworbenen Farbensinnanomalien Abweichungen der Plättchendicken für vorliegend. Die Nachbilder schließlich führt er auf ein Überdauern der Substanzkontraktion in den Netzhautelementen über den Reiz hinaus zurück.

ZOTH legt seiner kritischen Übersicht der Hypothesen über die Umwandlung der Lichtenergie in eine andere Form der Netzhauterregung das GROTHUS-DRAPERSCHE Absorptionsgesetz zugrunde, nach welchem nur das Spektralgebiet photochemisch wirksam sein kann, welches vom lichtempfindlichen Stoff absorbiert wird. Es scheiden daher die Neuroepithelhypothesen aus, und somit auch die Interferenztheorie von ZENKER und RÄHLMANN. Die primäre Energieumwandlung in der Netzhaut vollzieht sich nach ZOTH im Pigmentepithel unter Mitwirkung des Fuscins, und von hier aus erst erfolgt die Erregung der Neuroepithelelemente. Diesen Gedankengang finden wir in der Elektronenhypothese von SCHANZ vertreten: „Das Licht schleudert wie bei der lichtelektrischen Zerstreuung aus dem Pigment des Pigmentepithels Elektronen heraus, die von den Stäbchen und Zapfen aufgefangen werden. Die Zapfen und Stäbchen wirken dann wie das Drahtnetz, mit dem man bei der Prüfung der lichtelektrischen Zerstreuung die Elektronen auffängt. Dem Lichte verschiedener Wellenlänge entsprechen Elektronen verschiedener Geschwindigkeit. Von den Zapfen und Stäbchen wird die Erregung durch die Netzhaut und den Sehnerven zum Sehzentrum weitergeleitet“.

Eine neuere Theorie hat v. DUNGERN aufgestellt, die nach dem Vorbilde RÄHLMANNs auf dem histologischen Bau der Netzhautelemente beruht. Er verlegt die Energieumwandlung in die Außenendglieder der Zapfen. Hier finden sich in den einzelnen, den Plättchen entsprechenden Schichten Resonatoren für die verschiedenen Wellenlängen: auf der einen Seite Resonatoren für rotes und grünes, in der Mitte für gelbes und blaues und an dem Ende für grünes und violettes Licht. Die Resonatoren einer Schicht stehen untereinander, außerdem aber noch mit solchen für Weiß in Verbindung.

Theorie von F. W. FRÖHLICH. In einer anderen Richtung, als die zuletzt erörterten Theorien, bewegt sich die von F. W. FRÖHLICH vertretene. Die Wichtigkeit der Zapfen und Stäbchen als Licht perzipierende Elemente wird keineswegs unterschätzt. Aber es wird besonders betont, daß die spezifischen Erregungsprozesse nicht in der Netzhaut sich abwickeln, sondern daß vielmehr das im Hinterhauptlappen gelegene Sehzentrum als Sitz der Sehfunktion, alle Erscheinungen der Licht- und Farbenempfindung, des Kontrastes und der Nachbilder umfassend, betrachtet werden muß. Für die Einwirkung eines Lichtes auf das Auge ist die Intensität bzw. der Energiewert, ferner die Absorption sowie die Reizfrequenz maßgebend. Die Netzhautelemente reagieren auf Lichter verschiedener Wellenlänge mit oszillatorischen Erregungsvorgängen verschiedener Frequenz. Die Häufigkeit der Oszillationen ist für langwelliges Licht geringer als für kurzwelliges. Diese Oszillationen gelangen auf den Nervenbahnen zum Sehzentrum, führen entsprechend ihrer Intensität und Frequenz zu einer Erregung oder Hemmung des Tonus und setzen sich in die charakteristischen Licht- und Farbenempfindungen um. Für die Helligkeit ist die Amplitude der Erregungswellen von Bedeutung. Nachbilder und Kontrast erklären sich durch periodischen Wechsel antagonistischer Erregungsphasen im Sehzentrum. Die teilweise oder völlige Farbenblindheit würde einerseits in

einem Mangel der peripheren Nervenlemente, auf die einzelnen Wellenlängen entsprechend zu oszillieren, beruhen, andererseits sich erklären durch ein Versagen des Sehentrums, die Erregungswellen der Netzhaut aufzunehmen und zu differenzieren.

**Zonentheorie von v. KRIES.** Blicken wir auf die bei weitem noch nicht erschöpfte Reihe der Theorien zurück, so sehen wir, in welcher mannigfaltiger Weise die Lösung der Frage in Angriff genommen wurde. Wir finden aber auch heute noch die Grundlehren von HELMHOLTZ und HERING an führender Stelle. Die Anschauung des einen oder anderen der beiden Forscher verfechtend, bemühen sich die nachfolgenden Autoren vorhandene Mängel und Widersprüche durch neue Theorien zu beheben. Indessen diese Klärungsversuche, soweit sie sich auf divergierenden Pfaden bewegen, bringen wieder neue Schwierigkeiten mit sich. Anders gestaltet sich die Aussicht, wenn man den zwischen der HELMHOLTZschen und HERINGSchen Theorie nicht zu verkennenden Gegensatz auszugleichen unternimmt.

Eine Verbindung zwischen beiden Lehren gelingt, sobald man die Gliederung der Sehbahn gemäß ihrer Verschiedenheit bewertet. Dieser Gedanke schon vereinzelt hier und da angedeutet, so von AUBERT, DONDEES, G. E. MÜLLER wurde besonders eingehend von v. KRIES erwogen und in seiner Zonentheorie durchgeführt. Das Sehorgan wird durch verschiedene hintereinander geschaltete Abteilungen dargestellt. Der periphere im Auge beginnende Abschnitt dient der direkten Einwirkung der Lichtstrahlen, der cerebrale vollzieht den Umsatz in die einzelnen Vorstellungen. Die Dreikomponententheorie von HELMHOLTZ veranschaulicht uns die Prozesse, welche in dem peripheren Gebiete sich entwickeln. Die Vorgänge in den zentralen Regionen andererseits entsprechen der Gliederung der Gegenfarbentheorie.

Die Frage, wie man sich die Einzelheiten vorstellen soll, läßt v. KRIES offen. Soweit die Dreikomponententheorie in Betracht kommt, würde der Umsatz dreierlei lichtempfindlicher Elemente oder eines einzigen in dreifacher Richtung veränderlichen chemischen Substrates in Erwägung zu ziehen sein. Indessen soll unter Komponente nur ein Symbol verstanden werden, und es kann daher an Stelle der chemischen auch eine andere Wirkung des Lichtes gesetzt werden.

Die variable Erregung einer, zweier oder dreier Komponenten pflanzt sich auf den Nervenbahnen zum Gehirn fort und bildet sich in tonfreie oder bunte Empfindung um. Zu berücksichtigen wäre hierbei ein bestimmter Schwellenwert, innerhalb dessen Farblosigkeit bestünde, während erst beim Überschreiten desselben Farbigkeit in Erscheinung träte. Das Fehlen der einen oder anderen Komponente bedingt die verschiedenen dichromatischen Systeme. Der periphere Komponentenmangel hat zur Folge, daß die korrespondierende Erregung fehlt, und somit die zentrale Auslösung der Empfindung unterbleiben muß. Es widerspricht der Theorie nicht, wenn man annimmt, daß die Erregung einer Komponente zentralwärts ihre Wirkung in mehrfacher Richtung geltend machen kann. So wird auch der Ausfall einer Komponente seinen Ausdruck finden in dem mangelnden Effekt auf die chromatische Substanz als Rot-Grün- oder Blau-Gelbblindheit.

**Duplizitätstheorie.** Ist somit eine Annäherung der HELMHOLTZschen und HERINGSchen Theorie erzielt worden, so bleiben doch die oben angeführten Einzelschwierigkeiten der Theorien noch bestehen. Aber auch diese gelingt es zum Teil zu überwinden. Schon auf Grund vergleichend-anatomischer Untersuchungen hatte MAX SCHULTZE Anfang der Sechzigerjahre der vorigen Jahrhundert in den Zapfen den Tages-, in den Stäbchen den Dunkelapparat

erblickt. PARINAUD hat dann die gleiche Auffassung geäußert. Vor allem durch v. KRIES ist diese als Duplizitätstheorie von ihm bezeichnete Deutung weiter ausgebaut worden. Näheres siehe S. 373.

Die verschiedene Funktion der Zapfen und purpurhaltigen Stäbchen erklärt zur Genüge die farblose Empfindung bei herabgesetzter Beleuchtung bzw. im Dämmerungssehen. Hierbei treten die Stäbchen allein in Tätigkeit; sie vermitteln wohl Helligkeitsunterschiede aber keine Farbenempfindung. Das nach der Netzhautperipherie hin zunehmende Überwiegen der Stäbchen über die Zapfen macht die Verschiedenheit der Farbenempfindung bis zur Farblosigkeit in den einzelnen Retinazonen bis zu einem gewissen Grade verständlich. Ebenso können wir den Ausfall der Zapfenfunktion in den exzentrischen Netzhautpartien verantwortlich machen für die Übergänge der Farbenempfindung, sobald die farbigen Objekte unter eine gewisse Größe sinken, eine Erscheinung, welche beim anomalen Trichromaten die Netzhaut in ihrer ganzen Ausdehnung betrifft. Das mangelnde Farbenerkennen der anomalen Trichromaten bei kurz dauernder Lichtwirkung würde ebenfalls unter dem genannten Gesichtspunkte zu betrachten sein. Die Helligkeitsverschiebung nach dem kurzwelligen Spektralende hin beim PURKINJESchen Phänomen, dessen Fehlen im stäbchenfreien Fovealbezirk führen die engen Beziehungen dieser Erscheinungen mit dem Dämmerungssehen deutlich vor Augen. Schließlich lassen die gleiche Verschiebung des Helligkeitsmaximums beim Sehen des angeboren total Farbenblinden und beim Dämmerungssehen des Normalen, sowie das beiden gemeinsame zentrale Skotom vermuten, daß der völlig Farbenblinde nur auf die Funktion seiner Stäbchen angewiesen ist, und daß die sonst farbentüchtigen Elemente, die Zapfen, versagen oder mangelhaft entwickelt sind.

### Literatur.

#### *Theorien des Licht- und Farbensinnes.*

BRÜCKNER, A.: (a) Experimentelles und Kritisches zur Theorie des Farbensehens. Ber. 46. Verslg. dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg 1927, 159, 175. (b) Zur Frage der Eichung von Farbensystemen. Z. Sinnesphysiol. 58, 322 (1927).

DUNGERN, E. v.: Die Schichtungstheorie des Farbensehens. Graefes Arch. 102, 346 (1920).

EBBINGHAUS, H.: Theorie des Farbensehens. Z. Psychol. 5, 145 (1893). Ref. Nagels Jber. 1893, 47.

FICK, A.: Zur Theorie der Farbenblindheit. Pflügers Arch. 64, 313 (1896). Ref. Nagels Jber. 1896, 71. — FRÖHLICH, F. W.: Grundzüge einer Lehre vom Licht- und Farbensinn. Jena 1921. Ref. Zbl. Ophthalm. 6, 74 (1922).

GRASSMANN, H.: Zur Theorie der Farbmischung. Poggendorffs Ann. 89, 69 (1853).

KÖLLNER, H.: (a) Über Lokalisation des Simultankontrastes (und der gleichsinnigen Induktion) innerhalb der Sehbahn. Arch. Augenheilk. 80, 63 (1915). (b) Über Theorien des Farbensinnes. Münch. med. Wschr. 68, 1045 (1921). — KRIES, J. v.: (a) Die Gesichtsempfindungen. Handbuch der Physiologie des Menschen von NAGEL, Bd. 3. Braunschweig 1905. (b) Zur physiologischen Farbenlehre. Klin. Mbl. Augenheilk. 70, 577 (1923). (c) Zur Lehre von den dichromatischen Farbensystemen. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12, 1. Hälfte, Rezeptionsorgane II. Berlin 1929.

LADD-FRANKLIN, CHR.: Eine neue Theorie der Lichtempfindungen. Z. Psychol. 4, 211 (1893). — LARSEN, H.: Demonstration mikroskopischer Präparate vom monochromatischen Auge. Ber. Verh. außerordentl. Tagg. ophthalm. Ges. Wien 1921, 101.

MAXWELL, J. C.: On the theory of compound colours and the relations of the colours of the spectrum. Trans. roy. Soc. Philos. 1860 I—IV, 150. — MÜLLER, G. E.: (a) Zur Psychophysik der Gesichtsempfindungen. Z. Psychol. u. Sinnesphysiol. 10, 1, 321 (1896); 14, 1, 161 (1897). (b) Darstellung und Erklärung der verschiedenen Typen der Farbenblindheit nebst Erörterung der Funktion des Stäbchenapparates sowie der Bienen und Fische. Göttingen 1924. — MÜLLER, J. J.: Zur Theorie der Farben. Graefes Arch. 15 II, 208 (1869).

RÄHLMANN, E.: Die neue Theorie der Licht- und Farbenempfindung auf anatomisch-physikalischer Grundlage. Pflügers Arch. **112**, 172 (1906); Z. Augenheilk. **16**, 448 (1906).

SCHANZ, F.: (a) Das Sehen. Münch. med. Wschr. **68**, 1390 (1921). (b) Das Sehen der Farben. Z. Augenheilk. **46**, 311 (1921). (c) Die Entstehung der Komplementärfarben. Z. Augenheilk. **48**, 313 (1922). (d) Eine neue Theorie des Sehens. Z. Sinnesphysiol. **54**, 93 (1923). — SCHENK, F.: Theorie der Farbenempfindung und Farbenblindheit. Pflügers Arch. **118**, 129 (1907). Ref. Nagels Jber. **1907**, 65. — SCHJELDERUP, H.: Zur Theorie der Farbenempfindungen. Z. Sinnesphysiol. **51**, 19 (1920).

TSCHERMAK, A.: Licht- und Farbensinn. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12, 1. Hälfte, Rezeptionsorgane II. Berlin 1929.

WESSELY, E.: GOETHE'S und SCHOPENHAUER'S Stellung in der Geschichte der Lehre von den Gesichtsempfindungen. Berlin 1922.

YOUNG, TH.: On the theory of light and colours. Philos. trans roy. Soc. Lond. **92 I**, 12 (1802).

ZOTH, O.: Alte und neue Anschauungen über die Energieumwandlung in der Netzhaut. Erg. Physiol. **22**, 345 (1923). Ref. Zbl. Ophthalm. **12**, 59 (1924).

# Die Theorien der Adaptation.

Von

HANS KARL MÜLLER-Basel.

Mit 2 Abbildungen.

## HERINGs Theorie der Umstimmung des Sehorgans.

Es ist das Verdienst von EWALD HERING, gezeigt zu haben, daß die lebende Substanz, im besonderen die Sehsinns-substanz, von der er bei seinen allgemeinen Anschauungen in dieser Richtung ausging, nicht als etwas Stabiles anzusehen ist, sondern als höchst labil in dem Sinne einer ständigen Reaktionsbereitschaft und Reaktion auf Einflüsse der Umwelt, unter denen sie sich qualitativ und quantitativ *ändert*.

Da HERING der Ansicht war, daß die Schwarz-Weißempfindungen, gleichgültig ob das Auge vorher einer intensiveren Lichteinwirkung ausgesetzt war oder sich längere Zeit im Dunkeln aufgehalten hatte, durch Erregung ein und derselben Schwarz-Weiß-Substanz, ausgelöst würden, unterschied er nicht, wie das die neuere Forschung tut, zwischen den Vorgängen, die im Tagesapparat sich abspielen, und denen, die den Dämmerungsapparat zum Ort ihrer Entstehung haben. Dementsprechend konnte er auch die einheitlich zusammenfassende Darstellung der Adaptations- oder, wie er es nennt, Umstimmungsvorgänge geben, die im folgenden kurz referiert werden soll.

Wenn ein Lichtreiz, gleichgültig welcher Art, unser Auge trifft, und damit die Sehsinns-substanz im weitesten Sinne des Wortes erregt, so tritt sofort eine Reaktion in der lebenden Substanz ein, die durch gewisse Stoffwechselvorgänge charakterisiert ist. HERING hat bestimmte Angaben hierüber nicht gemacht, sondern nannte diejenigen Vorgänge, die mit einer Zersetzung, einem Abbau der Sehsinns-substanz einhergingen, dissimilatorisch, den Vorgang Dissimilation, im Gegensatz zu denjenigen, die zu einem Aufbau, einer Assimilation der Sehsinns-substanz führen. Das Charakteristische in den HERINGschen Vorstellungen war, daß äußere Einwirkungen des adäquaten Lichtreizes nicht nur dissimilatorische, sondern unter gewissen Umständen bzw. bei gewisser Qualität auch assimilatorische Vorgänge auslösen könnten. So nahm er mit Wahrscheinlichkeit an, daß Rot und Gelb zersetzend, dissimilatorisch, Grün und Blau aufbauend, assimilatorisch wirken. Farblos erscheinende Lichter sollten zunächst nur dissimilatorischen Einfluß haben und mit der Empfindung Weiß oder Grau einhergehen. Demgegenüber werden assimilatorische Vorgänge in der Weiß-Schwarz-Substanz als Schwarzempfindung wahrgenommen.

Wirkt eine gegebene Strahlung eine gewisse Zeit hindurch auf ein und dieselbe Stelle des somatischen Sehfeldes ein, so stellt sich schließlich ein neuer Gleichgewichtszustand dadurch her, daß entsprechend dem anhaltenden Dissimilierungsprozeß nun auch die, etwa als reparatorisch aufgefaßten Assimilationsvorgänge gesteigert werden. Auf diese Weise kommt wieder ein Gleichgewichtszustand in den Stoffwechselvorgängen zustande, den HERING als „allonomes

Gleichgewicht“ bezeichnet; ist das Auge lange von jedem Licht abgeschlossen, so stellt sich ein „autonomes Gleichgewicht“ her, indem lediglich endogen bedingt dissimilatorische und assimilatorische Vorgänge sich das Gleichgewicht halten und dementsprechend seitens der Schwarz-Weiß-Substanz die Empfindung eines mittleren Grau resultiert.

Diese sich auf die qualitativen Verhältnisse beziehenden Vorstellungen werden nun von HERING in mancher Hinsicht nach der quantitativen Seite hin ergänzt. Zunächst macht er die Annahme, daß die Quantität der Umsetzungsprozesse in der Schwarz-Weiß-Substanz unvergleichlich viel größer sei als bei den Vorgängen in den Sehsubstanzen, die den bunten Empfindungen parallel gehen. Wenn deshalb die Lichtintensität, wie bei der Dämmerung, auf eine sehr geringe Stärke herabsinkt, so werden wohl noch die durch sie ausgelösten Vorgänge in der Schwarz-Weiß-Substanz über die Schwelle treten, nicht mehr dagegen die bunten Farben. Hierdurch wollte HERING das Fehlen der bunten Farben bei Dunkeladaptation erklären und nahm eine sehr weitgehende Unabhängigkeit beiderlei Prozesse voneinander an. Er bezeichnete die Summe der in einer bestimmten Sehsinns-substanz sich abspielenden Stoffwechselforgänge wohl auch als deren „Gewicht“, mit denen entsprechend auch ein verschieden starkes „Gewicht“ der Empfindungen korrespondiert. Überdies hätten nach HERING die bunten Empfindungen ein wesentlich geringeres Gewicht als die der Schwarz-Weiß-Reihe. Im Zustande maximaler Dunkeladaptation wäre ebenfalls nach HERING ein Minimum der Stoffwechselforgänge gegeben; entsprechend hätte auch dieses mittlere Grau nur ein sehr geringes Gewicht.

Diese Ansicht von HERING, die einheitlich für sämtliche Umstimmungsvorgänge, sowohl die lokalen, als auch die das ganze Sehorgan betreffende Helldunkeladaptation, gelten sollte, hat etwas Bestechendes, läßt sich aber angesichts der neueren Ergebnisse auf dem Gebiete der Dunkeladaptation kaum in dieser Allgemeinheit aufrecht erhalten.

## Die physiko-chemischen Theorien der Dunkeladaptation.

Im Gegensatz zu HERING, der sich weder über die chemischen Vorgänge im einzelnen, die den Umstimmungserscheinungen zugrunde liegen, geäußert, noch auch Ansichten darüber ausgesprochen hat, an welcher Stelle der Sehbahn diese Vorgänge lokalisiert zu denken wären, haben mehrere Forscher ganz konkrete Vorstellungen ihren Ableitungen zugrunde gelegt. Es sollen daher im folgenden die physiko-chemischen Theorien der Dunkeladaptation, wie sie insbesondere LASAREFF und HECHT aufgestellt haben, kurz geschildert werden.

**Die Theorie von P. LASAREFF.** Auf Grund zahlreicher Untersuchungen haben P. LASAREFF und seine Schule eine Ionentheorie der Reizung aufgestellt, die zur Erklärung der Erregungsentstehung in den Nerven, Muskeln und Sinnesorganen herangezogen werden kann. Die Theorie beruht im wesentlichen auf der Anwendung der von W. NERNST und J. LOEB gefundenen Gesetze, daß jeder Reiz eine bestimmte Konzentration von Ionen im reizempfindlichen Gewebe erzeugen muß, um eine Erregung auslösen zu können.

Diese grundlegende Vorstellung der Erregungsentstehung wurde von LASAREFF auf die Lichtrezeption übertragen. Das ins Auge fallende Licht macht durch Absorption in der lichtempfindlichen Substanz Elektronen frei, die zur Ionenbildung führen und ohne weiteren Zwischenprozeß die Erregung im reizempfindlichen Gewebe bedingen. Für das Dämmerungssehen, d. h. das Sehen mit dem Stäbchenapparat ist HAMBURZEV, BELIKOV und ACHMATOV der Nachweis der Ionenbildung durch Licht insofern geglückt, als sie zeigen konnten, daß die

Ausbleichung des Sehpurpurs tatsächlich mit einer gesetzmäßigen Steigerung seiner elektrischen Leitfähigkeit einhergeht.

Der LASAREFFSchen Erklärung des Dunkeladaptationsverlaufes der Netzhautperipherie liegt die Annahme zugrunde, daß zur Erzeugung eines Schwellenreizes, unabhängig von dem Zeitpunkt der Dunkeladaptation, stets die gleiche Konzentration erregender Ionen erforderlich ist.

Da nun im Verlauf der Dunkeladaptation die Schwellenreize immer kleiner werden, und trotzdem die durch sie gebildete Konzentration der erregenden Ionen annahmegemäß stets gleich groß sein soll, müssen sich während der

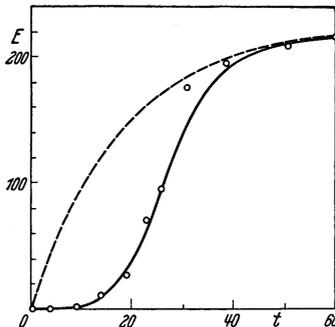


Abb. 1. Die gestrichelte Linie entspricht der Annahme, daß die reziproken Werte der Schwellenreize im Laufe der Dunkeladaptation nach den Gesetzen eines monomolekularen Vorganges zunehmen. Man sieht, daß diese zuerst von LASAREFF gemachte Annahme mit den experimentellen Werten (o o) sich nicht in Einklang bringen läßt. Die ausgezogene Linie ist auf Grund der erweiterten LASAREFFSchen Adaptationsformel berechnet, bei der vor allem die Wirkung der Vorbelichtung Berücksichtigung gefunden hat. Hier stimmen die theoretischen und faktischen Werte annähernd überein. [Aus P. LASAREFF: Pflügers Arch. 213, 258 (1926).]

Dunkeladaptation Vorgänge abspielen, denen zufolge dies möglich wird. Die Ursache dieser Erscheinung ist durch die im Dunkeln stattfindende Anhäufung des Sehpurpurs gegeben. Um in der Lage zu sein, den Adaptationsverlauf mathematisch erfassen zu können, muß also die Abhängigkeit der Bildung erregender Ionen von der Konzentration des jeweils vorhandenen Sehpurpurs und von der Intensität des Reizlichtes bestimmt werden.

Die LASAREFFSchen Untersuchungen haben nun zu dem Ziele geführt, daß jeweils die Intensität des Schwellenreizlichtes der Konzentration des vorhandenen Sehpurpurs umgekehrt proportional ist. In anderen Worten heißt dies, daß im gleichen Maße, wie die Konzentration des Sehpurpurs im Auge während der Dunkeladaptation zunimmt, die Intensität des Schwellenreizlichtes abnimmt. Demnach müßte also die Zunahme der reziproken Werte der Schwellenreizlichtstärken anzeigen, wie sich die Konzentration des Sehpurpurs im Auge während der Dunkeladaptation vermehrt. LASAREFF hat auch diese Ansicht sehr lange vertreten, und dabei die Annahme geäußert, daß die Anhäufung des Sehpurpurs im Dunkeln an-

nähernd nach den Gesetzen eines monomolekularen Vorganges erfolgt. Er betont allerdings, daß sich mit den heute zur Verfügung stehenden experimentellen Ergebnissen die Höhe der Ordnung des Prozesses nicht feststellen lasse, und sagt, daß es sich wahrscheinlich um einen komplizierten Vorgang handle, bei dem auch das Pigmentepithel eine wichtige Rolle spiele.

Die weiteren Untersuchungen haben nun gezeigt, daß die Adaptationskurven nur nach sehr geringen Vorbelichtungsstärken einen Verlauf haben, wie er einem monomolekularem Prozeß entspricht. Sowie die Vorbelichtung stärkere Grade erreicht, wie sie z. B. bei der klinischen Untersuchung allgemein verwendet wird, können die experimentell bestimmten und theoretisch berechneten Daten nicht mehr in Einklang gebracht werden (siehe Abb. 1 gestrichelte Kurve und Tabelle 1 letzte Spalte).

LASAREFF hat deshalb die ursprünglich einfache Erklärung des Adaptationsverlaufes mit Vorstellungen verbunden, in denen die Wirkung der Vorbelichtung zum Ausdruck kommt. Seiner Ansicht nach muß nämlich berücksichtigt werden, daß auch durch die Vorbelichtung erregende Ionen im Auge entstehen, deren Anwesenheit noch längere Zeit auf die Größe des Schwellenreizes von Einfluß ist. Mit Hilfe des FECHNERSchen Gesetzes kann man die Wirkung dieser durch

die Vorbelichtung entstandenen erregenden Ionen auf die Schwellenreizgröße festlegen. Bei Anwendung dieses Gesetzes müssen die Konzentrationen der schon im Auge vorhandenen Ionen und der durch den Schwellenreiz gebildeten Ionen stets in einem gleichen Verhältnis zueinander stehen.

Berücksichtigt man hierbei noch die zeitlichen Verhältnisse, d. h. daß die Geschwindigkeit der Ionenbildung sowohl der Konzentration der im Auge vorhandenen lichtempfindlichen Substanz als auch der Intensität des Reizlichtes proportional ist, und beachtet man ferner, daß stets mit der Entstehung erregender Ionen ein Vorgang einsetzen soll, der durch Diffusion die Ionen wieder wegzuräumen bemüht ist, so ergibt sich daraus unter Beibehaltung der Annahme einer monomolekularen Regeneration des Sehpurpurs die Grundlage, die LASAREFF zur Aufstellung seiner zweiten Adaptationsformel benützt hat.

Tabelle 1.

1 Zeit	2 $\frac{1}{J}$ (beob.)	3 $\frac{1}{J}$ (ber.)	4 $\frac{1}{J}$ (ber.)
0,5	0,02	0,022	6
4	0,075	0,36	44
9	1,85	1,15	88
14	10,4	9,3	121
19	26,0	30,4	146
23	69,5	64,8	162
26	94,7	97,0	171
31	174,0	148,0	184
39	195,0	191,1	199
51	208,0	210,0	211
61	215,0	217,0	217

Die erste Spalte enthält die Dunkeladaptationszeiten in Minuten, die zweite Spalte die reziproken Werte der beobachteten Schwellenreize ( $1/J$ ). In Spalte 3 sind die mit der erweiterten Adaptationsformel von LASAREFF berechneten Werte eingetragen und Spalte 4 gibt die mit der ersten Formel ermittelten Werte. Während die Zahlen von Stab 4 gar nicht mit den experimentellen Daten in Einklang gebracht werden können, stimmen die theoretischen Werte von Stab 3 mit den faktischen von Spalte 2 recht gut überein. Nur in der 4. Minute übersteigt die Differenz das erlaubte Größenmaß.

Mit Hilfe dieser Formel hat LASAREFF die von NAGEL im Handbuch der physiologischen Optik veröffentlichte Adaptationskurve analysiert und konnte damit zeigen, daß zwischen den faktischen und theoretischen Werten eine gute Übereinstimmung besteht (s. Abb. 1 ausgezogene Kurve und Spalte 2 und 3 von Tabelle 1).

Außerdem haben LASAREFF und seine Schüler in einer großen Zahl von Arbeiten über Helladaptation, Nachbilder, Verschmelzung von intermittierenden Lichtreizen, Sehpurpurbleichung, Farbsehen u. a. gezeigt, daß sich ihre Vorstellungen über die Ionentheorie der Reizung und die dazu nötigen Grundannahmen mit Erfolg anwenden lassen.

**Die Theorie von S. HECHT.** Der physiko-chemischen Theorie von S. HECHT liegt eine 3fache Gliederung rezeptorischer Vorgänge zugrunde, die für alle Sinnesorgane Gültigkeit haben soll. Die erste Phase besteht in dem Eintritt und der Aufnahme der Energie (oder des Stoffes), die den Reiz darstellt. Die zweite Phase wird durch die Umwandlung und Vergrößerung dieser Energie im Inneren der Sinneszelle gebildet. Die resultierende dritte Phase entspricht der Energieentladung aus der Zelle in die Nervenfasern.

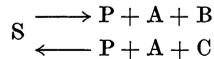
Demnach kann man sich den photoreceptorischen Vorgang ungefähr folgendermaßen vorstellen:

Das ins Auge einfallende Licht wird von einer lichtempfindlichen Substanz S absorbiert. Dadurch kommt es zu einer Spaltung dieses Stoffes S in die zunächst willkürlich angenommenen Produkte P, A und B. Diese Spaltprodukte geben auf irgendeine Weise Veranlassung, daß der im Auge stets ablaufbereite Vorgang, der durch die Zeichen  $L \longrightarrow T$  angedeutet werden soll, in Gang gebracht

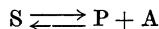
wird. Das Endresultat T dieses Prozesses ist die Ursache der Entstehung einer Potentialdifferenz in der Sinneszelle, die den Nervenimpuls bedingt.

Weiter besagt die HECHTSche Theorie, daß die Zerlegung der lichtempfindlichen Substanz S durch die Absorption des Lichtes ein teilweise reversibler Vorgang ist, d. h., daß von den Spaltprodukten P, A und B sich nur P und A unter Beziehung zu einem im Überschuß vorhandenen Stoffe C wiederum zu S vereinigen.

Dieser Auf- und Abbau von S kann durch die Formel

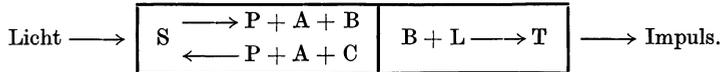


zum Ausdruck gebracht werden. HECHT betont aber, daß es im allgemeinen genügt, diesen Vorgang in der Form



wiedergeben, wobei dieser Prozeß als vollkommen reversibel anzusehen ist.

Durch ein einfaches Diagramm kann das Schema des ganzen photoreceptorischen Vorganges gekennzeichnet werden:



Daraus ist zu entnehmen, daß es sich vornehmlich um zwei Reaktionen handelt:

1. den Ab- und Aufbau von S und
2. den durch die Spaltprodukte von S ausgelösten Vorgang  $\text{L} \longrightarrow \text{T}$ , wobei die Beziehung zwischen beiden Reaktionen noch nicht näher bezeichnet werden kann.

Die Zerlegung von S in seine Spaltprodukte ist als ein photochemischer Prozeß aufzufassen. Der Wiederaufbau von S und die Reaktion  $\text{L} \longrightarrow \text{T}$  müssen aber als rein chemische Vorgänge betrachtet werden.

Demnach besteht also der photoreceptorische Prozeß aus einer teilweise reversiblen photochemischen und chemischen Reaktion, an die ein chemischer Prozeß gekoppelt ist, der den Nervenimpuls herbeiführt. Diese Zweiteilung wird von HECHT als die *Dualität* des Sehprozesses bezeichnet.

Da aus den Untersuchungen von BODENSTEIN bekannt ist, daß derartige gekoppelte photochemische Reaktionen unter Umständen die Eigenschaft haben, viel größere chemische Veränderungen auszulösen als die relativ kleine von der primären photochemischen Reaktion verbrauchte Lichtenergie erwarten läßt, so spricht vieles für die Annahme eines derartigen „Verstärkungs“-Vorganges beim Sehprozeß.

Die Zersetzung der lichtempfindlichen Substanz S durch Licht wird von HECHT als monomolekularer Vorgang aufgefaßt, während die Regeneration von S aus den Spaltprodukten einem bimolekularen Prozeß entspricht. Sowie durch Licht Spaltprodukte von S entstehen, setzt dieser bimolekulare Regenerationsprozeß ein.

Die Ergebnisse zahlreicher experimenteller Arbeiten haben HECHT veranlaßt anzunehmen, daß *bei Schwellenreizen die Konzentration des vorhandenen Sehpurpurs dem Logarithmus der Intensität des Reizlichtes umgekehrt proportional ist*. Daraus ergibt sich für die Erklärung des Dunkeladaptationsverlaufes die wichtige Folgerung, daß die im Laufe der Dunkeladaptation bestimmten Logarithmen der Schwellenreize ein Maß für die im Auge jeweils vorhandene Sehpurpurkonzentration darstellen. HECHT ist nun der Meinung, es lasse sich unter

diesen Annahmen zeigen, daß die Regeneration des Sehpurpurs am besten durch einen bimolekularen Vorgang wiedergegeben wird.

In der Tat gelingt es mit seiner auf dieser Vorstellung fußenden Formel, experimentell gewonnene Adaptationskurven gut darzustellen, wie HECHT an zahlreichen Kurven demonstriert hat. Sowohl der Adaptationsverlauf der Fovea centralis als auch der der Stäbchen und der der Zapfen der Netzhautperipherie lassen sich damit erfassen. HECHT hat auch, wie Abb. 2 zeigt, eine Adaptationskurve analysiert, bei der nach ausgiebiger Vorbelichtung am Anfang der Tages- und später der Dämmerungsapparat im Sinne von KOHLRAUSCH als Träger der Funktion angesprochen werden müssen. Den Ansichten von KOHLRAUSCH entsprechend hat HECHT die Tätigkeit der beiden Apparate durch 2 voneinander unabhängige Kurven wiedergegeben (s. Abb. 2).

An Hand zahlreicher experimenteller Ergebnisse kann HECHT weiterhin zeigen, daß seine Anschauung über den photoreceptorischen Prozeß eine Erklärung der verschiedensten Phänomene gestattet.

Insbesondere sind seine Analysen der Abhängigkeit der Unterschiedsempfindlichkeit und der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität geeignet zu zeigen, daß die dem Zerlegungs- und Wiederauf-

bauprozeß der lichtempfindlichen Substanz zugesprochene spezielle physiko-chemische Natur einen gewissen Grad von Wahrscheinlichkeit besitzt.

Bei dem Versuch, die *Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität* quantitativ zu erfassen, geht HECHT unter Anerkennung des Alles-oder-Nichts-Gesetzes von der Annahme aus, daß sowohl die Stäbchen als auch die Zapfen nicht einheitliche, sondern verschieden hohe Schwellenwerte besitzen. In seine Theorie übersetzt heißt dies, daß die Konzentration der Spaltprodukte ( $P + A$ ), die gerade imstande ist, einen Schwellenreiz für das Netzhautelement auszulösen, für die einzelnen Stäbchen und Zapfen verschieden groß ist. Eine Steigerung der Beleuchtungsintensität bedingt also eine Zunahme der Konzentration der Spaltprodukte, und durch diese Vermehrung der Spaltprodukte werden immer mehr und mehr Elemente überschwellig gereizt. Dadurch wird aber das Aufnahmeraster der Retina immer feiner und folglich die Sehschärfe immer besser.

Da anzunehmen ist, daß die Zahl der Stäbchen und Zapfen, die bei einer bestimmten Konzentration der Spaltprodukte ihren Schwellenwert besitzen, für alle Konzentrationen die gleiche ist, verändert sich bei Beleuchtungssteigerung die Zahl der über die Schwelle getretenen Elemente genau so, wie die Konzentration von  $P$  und  $A$ .

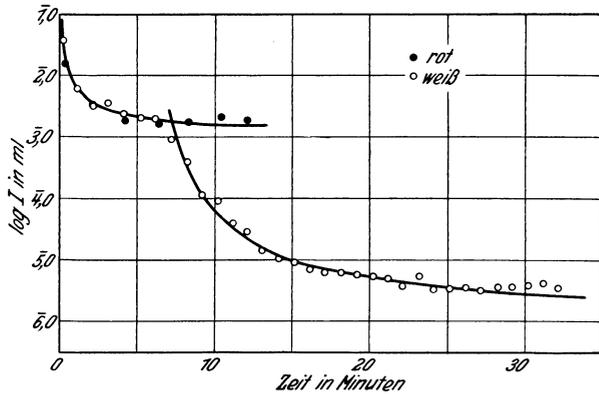


Abb. 2. Die hellen Kreise entsprechen den Logarithmen der Schwellenreize in einem Adaptationsversuch. Man sieht, daß zwischen der 5. und 10. Minute eine deutliche Umschlagsstelle vorhanden ist. Die dunklen Kreise sind die Logarithmen der Schwellenreize bei einem anderen Adaptationsversuch, bei dem nur die Zapfen der Fovea erregt worden sind. Die ausgezogenen Kurven entsprechen den von HECHT auf Grund seiner Adaptationsformel berechneten Werten. HECHT hat die Adaptationskurve zur mathematischen Analyse in zwei voneinander unabhängige Kurven zerlegt. Die eine erfährt den Adaptationsverlauf bis zur Umschlagsstelle und gibt die Dunkeladaptation des Tagesapparates wieder. Die andere entspricht der Adaptation des Dämmerungsapparates. [Aus S. HECHT: Erg. Physiol. 32, 282 (1931).]

Wie Tabelle 2 zeigt, läßt sich auf Grund dieser Vorstellungen die von KOENIG experimentell bestimmte Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität ziemlich gut quantitativ erfassen, und es kann darin ein weiterer Hinweis für die Richtigkeit der angenommenen Grundprozesse des photorezeptorischen Vorganges erblickt werden.

Tabelle 2. Beziehung zwischen Beleuchtung und Sehschärfe. Werte von KOENIG. [Aus S. HECHT, Erg. Physiol. **32**, 324 (1931).]

Beleuchtung von außen $I_0$	Pupillen- areal	Netzhaut- beleuchtung $I$	Beob- achteter Durch- schnitt	Sehschärfe $x$	
				berechnet, Stäbchen $0,794 I = \frac{(x-0,03)^2}{(0,21-x)}$	berechnet, Zapfen $0,0906 I = \frac{x^2}{1,71-x}$
0,0000297	49,6	0,00148	0,040	0,044	
0,000130	48,0	0,00625	0,068	0,058	
0,000390	46,6	0,0168	0,075	0,073	
0,000767	45,6	0,0350	0,093	0,087	
0,00269	43,5	0,117	0,13	0,12	0,13
0,00698	41,7	0,290	0,18		0,20
0,0112	40,3	0,451	0,22		0,24
0,0153	39,5	0,605	0,28		0,28
0,0214	38,5	0,826	0,31		0,32
0,0284	37,6	1,07	0,39		0,36
0,0397	36,5	1,45	0,45		0,41
0,0678	34,5	2,34	0,56		0,51
0,0826	33,8	2,79	0,61		0,54
0,137	31,9	4,36	0,72		0,65
0,215	29,8	6,68	0,75		0,76
0,585	25,4	14,9	1,00		0,99
0,980	22,7	22,2	1,00		1,10
1,47	20,7	30,4	1,12		1,19
3,57	16,5	59,0	1,30		1,38
8,93	12,9	115,0	1,44		1,49
26,6	9,3	248,0	1,61		1,62
65,9	7,1	468,0	1,69		1,65
155,0	5,4	838,0	1,68		1,66
1096,0	3,1	3400,0	1,71		1,70

Man sieht, daß die auf Grund der Annahme einer monomolekularen Zersetzung der lichtempfindlichen Substanz und eines bimolekularen Wiederaufbaues derselben berechneten Werte für die Sehschärfe eine relativ gute Übereinstimmung mit den experimentellen Befunden von KOENIG aufweisen.

**Vergleich der Theorien von LASAREFF und HECHT.** Der Vergleich der Theorien von LASAREFF und HECHT zeigt, daß beide Autoren von sehr ähnlichen Vorstellungen ausgehen, aber doch die einzelnen Teilvorgänge grundsätzlich verschieden erklären. Von beiden wird angenommen, daß das einfallende Licht zunächst eine photochemische Reaktion mit monomolekularem Charakter auslöst. Die Spaltprodukte dieses Vorganges sind nach LASAREFF Elektronen, die zur Ionenbildung führen und ihrerseits wahrscheinlich *unter Ausschluß* einer weiteren chemischen Reaktion den Nervenimpuls direkt herbeiführen. Nach HECHT aber lösen die Spaltprodukte auf noch nicht bekannte Weise eine im Auge stets ablaufbereite chemische Reaktion aus, als deren Folge erst die Nerven-erregung entsteht. Während weiterhin HECHT die Anschauung vertritt, daß nach den Gesetzen eines bimolekularen Vorganges sich die Spaltprodukte wieder zur lichtempfindlichen Substanz vereinen, meint LASAREFF, daß die Regeneration des Sehpurpurs auf komplizierte Weise erfolge und daß dieser Aufbau,

obwohl hochmolekular, doch durch einen monomolekularen Vorgang annähernd richtig wiedergegeben werden kann. LASAREFF glaubt weiterhin, daß der Sehpurpur nicht durch die Vereinigung seiner Spaltprodukte wiedergebildet wird, er bezeichnet seine Restitution als eine scheinbar reversible Reaktion, behandelt aber in seinen mathematischen Ableitungen diesen Vorgang wie einen reversiblen Prozeß. HECHT legt in dieser Beziehung seiner Theorie einen mindestens teilweise reversiblen Vorgang zugrunde und setzt in seinen mathematischen Gleichungen ihn wie einen vollkommen reversiblen Prozeß ein.

Ein wesentlicher Unterschied der Theorien besteht darin, daß unter den Bedingungen des Schwellenreizes die jeweilige Konzentration der lichtempfindlichen Substanz nach LASAREFF *der Intensität* und nach HECHT dem *Logarithmus der Intensität* umgekehrt proportional ist.

Aus den bis jetzt vorliegenden experimentellen Untersuchungen kann diese Frage nicht einwandfrei entschieden werden. Es ist weder LASAREFF noch HECHT geglückt, sichere Beweise für ihre Annahmen zu erbringen. Doch wird man zugeben, daß die Ergebnisse mancher Tierexperimente von HECHT für seine Annahmen sich verwenden lassen, womit nicht gesagt sein soll, daß diese ohne Vorbehalt auf das menschliche Auge übertragen werden können. Den HECHTSchen Anschauungen gemäß hätte man in der durch die Logarithmen der Intensitäten wiedergegebenen Adaptationskurve die Art und Weise zu erblicken, wie sich der Sehpurpur im Laufe der Dunkelanpassung regeneriert. Die Form dieser Kurve spricht sehr für einen bimolekularen Prozeß. Nach LASAREFF muß man annehmen, daß sich der Sehpurpur in der Art eines monomolekularen Vorganges restituiert.

**Beziehung von Tages- und Dämmerungsapparat.** KOHLRAUSCH konnte durch seine Untersuchungen zeigen, daß die durch die Logarithmen der Schwellenreize wiedergegebene Adaptationskurve nach genügend starker Vorbelichtung kurze Zeit nach Beginn der Dunkelanpassung einen Knick aufweist. Es nehmen nämlich in den ersten Augenblicken der Dunkeladaptation die Logarithmen der Schwellenreizintensitäten erst schnell, dann langsam ab, um darauf wieder plötzlich in einen steilen Abfall überzugehen, der allmählich asymptotisch ausläuft (s. S. 194 f. in diesem Band). Durch Prüfung mit farbigen Schwellenreizlichtern vermochte weiterhin KOHLRAUSCH darzulegen, daß der erste Kurventeil durch die Adaptation des Tagesapparates und der zweite vom Knick abwärts durch die Veränderung der Empfindlichkeit des Dämmerungsapparates bedingt ist. Den plötzlichen Abbruch der Kurve, den Kurvenknicke, erklärt KOHLRAUSCH durch das momentane Übergehen der Funktion des Sehens vom Tages- auf den Dämmerungsapparat. Sowie die Schwelle des Dämmerungsapparates, die am Anfang der Adaptation über der des Tagesapparates liegt, diese erreicht, übernimmt der Stäbchenapparat die Funktion, deren alleiniger Träger vorher der Zapfenapparat war. Diese Erklärung beruht auf der Annahme, daß immer der Apparat allein die Schwellenreize übermittelt, dessen Schwelle die niedrigere ist.

LASAREFF hat in seiner Theorie die Tätigkeit der beiden Apparate bei der Erklärung der Dunkeladaptation nicht weiter berücksichtigt, und seine Adaptationsformel befriedigt deshalb unsere modernen Kenntnisse in diesem Punkte nicht.

HECHT paßt sich in dieser Beziehung den Ansichten von KOHLRAUSCH völlig an und zerlegt, wie Abb. 2 zeigt, den Adaptationsverlauf in zwei einzelne von einander unabhängige Kurven.

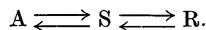
Es ist aber fraglich, ob die Adaptationskurve eine Unstetigkeit, d. h. einen echten Knick besitzt. Beobachtungen von H. K. MÜLLER weisen darauf hin, daß dieser Knick vielleicht nur eine Inflexion der Kurve ist, die er als „Umschlagstelle“ bezeichnet. Wenn man aber gelten läßt, daß die Adaptationskurve

keinen Knick, sondern eine mehr oder weniger deutliche Inflexion besitzt, so folgt daraus, daß die Funktion des Sehens im Verlaufe der Dunkeladaptation nicht plötzlich von einem auf den andern Apparat überspringt, sondern daß ein mehr allmählicher Übergang stattfindet. Dies läßt sich dadurch erklären, daß auch für Schwellenreize in der Zeit des Überganges der Funktion von einem Apparat auf den anderen ein synergisches Verhalten der Zapfen und Stäbchen angenommen werden muß, wie es für überschwellige Reize allgemein anerkannt wird.

Leider ist es experimentell nicht möglich, den strikten Beweis für die Richtigkeit der Annahme einer Unstetigkeit oder einer Inflexion der logarithmischen Adaptationskurve zu erbringen. Eines erscheint aber sicher, daß die Schwellenreizmessung im Verlaufe der Dunkeladaptation nur die Schwelle des gesamten Sehapparates festzustellen erlaubt und daß sie es nicht gestattet, die Schwelle der peripheren Apparate selbst zu ermitteln. Diese liegt wahrscheinlich niedriger als die Schwelle des gesamten Sehapparates. Ein Beweis dafür sind die verschiedenen Höhen der Reizschwellen bei monokularer und binokularer Beobachtung und bei verschieden großem Reizfeld (s. S. 196). Aus den Untersuchungen von HECHT ist es sogar wahrscheinlich, daß die Elemente jedes einzelnen peripheren Apparates nicht einmal für sich einheitliche Schwellen besitzen. Man muß daher annehmen, daß die im Verlaufe der Adaptation festgestellten Schwellenreize für den gesamten Sehapparat wohl an der Schwelle liegen, aber für die einzelnen peripheren Apparate mehr oder weniger überschwellig sind. Daher wird auch für Schwellenreize die Annahme eines synergischen Verhaltens der beiden peripheren Apparate im zeitlichen Bereich der Übergangsstelle gelten, und es wäre zu fordern, daß dieser Synergismus in der Adaptationsformel zum Ausdruck kommt.

**Die Theorie von A. PÜTTER.** PÜTTER geht von der allgemeinen Annahme aus, daß in jedem erregbaren lebenden System Stoffe vorhanden sind, deren physikalische und chemische Eigenschaften durch Reize so verändert werden, daß dadurch der Erregungsvorgang bedingt wird. Diese Stoffe bezeichnet er als sensible Stoffe oder kurz „S-Stoffe“. Neben diesen S-Stoffen müssen noch 2 andere Arten von Stoffen angenommen werden. Es sind dies erstens das Material aus dem die S-Stoffe entstehen, die A-Stoffe, und zweitens die Produkte, die aus den S-Stoffen durch die Reizwirkung gebildet und von PÜTTER Erregungsstoffe oder R-Stoffe genannt werden.

Die Zerlegung und Entstehung dieser 3 Stoffarten ist jeweils ein reversibler Vorgang, den man folgendermaßen ausdrücken kann:



Diese Annahmen führen zu folgender Erklärung des Reizvorganges durch Licht:

In der Dunkelheit laufen in dem einzelnen Stäbchen oder Zapfen der Netzhaut ständig die Vorgänge des „Grundumsatzes“ ab, d. h. es entstehen immer S-Stoffe aus A-Stoffen und es gehen dauernd S-Stoffe in R-Stoffe über und diese diffundieren ständig aus dem Außenglied der Stäbchen. (Die Außenfläche des Stäbchen oder Zapfens sei undurchlässig für die A- und S-Stoffe, dagegen durchlässig für die R-Stoffe.) Diese bei Lichtabschluß vorhandenen Prozesse des Grundumsatzes stehen untereinander im Gleichgewicht. Erst bei Zutritt von Licht wird dieses Gleichgewicht gestört, und die S-Stoffe werden jetzt mit größerer Geschwindigkeit in R-Stoffe verwandelt, wodurch es zu einer Konzentrationssteigerung der R-Stoffe kommt. Diese wiederum bedingt, daß die R-Stoffe vermehrt aus dem Stäbchen diffundieren. Durch diesen gesteigerten Abfluß der R-Stoffe wird verhindert, daß unter der Wirkung eines konstanten Reizes die Konzentration der R-Stoffe ständig steigt. Es muß sich demnach

an einen Anstieg der R-Stoffkonzentration ein neuer Gleichgewichtszustand anschließen.

Der Zustand der Erregbarkeit ist jeweils durch die vorhandene Konzentration der R-Stoffe bestimmt.

Da PÜTTER sowohl die Bildung der S- und R-Stoffe als auch ihre Weg-räumung als monomolekulare Vorgänge (Diffusion) mathematisch behandelt, ist aus dem Gesagten zu erkennen, daß seine Theorie mit der von LASAREFF große Ähnlichkeit hat; sie führt deshalb auch zur gleichen Formel, wie sie LASAREFF ursprünglich angegeben hat.

Mit Hilfe der PÜTTERSchen Gleichung gelingt es, die Adaptationskurve für die Fovea centralis, wie sie z. B. von R. DITTLER experimentell bestimmt wurde, gut wiederzugeben. Der Dunkeladaptationsverlauf der Netzhautperipherie kann damit allerdings nicht erfaßt werden.

PÜTTER ist der Ansicht, daß die hohe Steigerung der Erregbarkeit der Netzhautperipherie im Gegensatz zur geringen Erregbarkeitszunahme der Fovea centralis u. a. ihre Ursache in der Benützung relativ großer Reizfelder und der Beobachtung mit beiden Augen habe, und daß die Folge davon eine Summation der Wirkung einer großen Anzahl reizbarer Elemente sei.

Diese reizbaren Elemente gliedern sich mindestens in 3 Gruppen:

1. Die peripheren reizbaren Elemente (Stäbchen der Netzhaut).
2. Die Elemente, durch deren Vermittlung die Beeinflussung der einzelnen Teile des Körpersehfeldes zustande kommt, die man in der Wirkung der Größe des erleuchteten Feldes auf die Helligkeit erkennt.
3. Die Elemente, die die Summation der Eindrücke vermitteln, die von beiden Augen ausgehen und deren Wirkung in der verschiedenen Helligkeit monokular und binokular aufgefaßter Lichteindrücke zur Beobachtung kommt.

Jedes Element dieser 3 Gruppen befindet sich bei Beginn der Dunkeladaptation in einem Zustande herabgesetzter Erregbarkeit und gewinnt bei längerem Dunkelaufenthalt allmählich seine maximale Erregbarkeit zurück.

Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte hat PÜTTER sowohl für den monokularen als auch für den binokularen Adaptationsvorgang Formeln aufgestellt. Die diesen mathematischen Ableitungen entsprechenden Kurven haben große Ähnlichkeit mit dem Adaptationsablauf der Netzhautperipherie, wie er durch die Aufzeichnungsweise von PIPER (reziproke Schwellenreizwerte bei arithmetischer Progression) zur Darstellung kommt. Leider wurde von PÜTTER kein Vergleich mit experimentellen Daten durchgeführt.

Das Wertvolle der Theorie von PÜTTER liegt vor allem in der Tatsache, daß sie die Dunkeladaptationskurve nicht allein als Ausdruck der Erregbarkeitsänderung der peripheren Stäbchen auffaßt, sondern in die Berechnungen noch andere Faktoren — wahrscheinlich zentraler Natur — einsetzt.

**Ansicht von E. WEISS.** In diesem Zusammenhang sei auch kurz auf theoretische Überlegungen von E. WEISS hingewiesen. Seine Vorstellungen beruhen auf der Annahme, daß die Empfindungsstärke irgendwie mit der Eindringungstiefe des Reizlichtes zusammenhängt. Durch das Eindringen des Lichtes in ein absorbierendes Medium wird die Intensität des Lichtes geschwächt. Diese Schwächung erreicht je nach der ursprünglichen Lichtstärke in einer entsprechenden Schichtlage einen derartigen Grad, daß das Reizlicht nun befähigt ist, eine Wirkung auszulösen, die zur Empfindung führt. WEISS macht dann die weitere Annahme, daß die Tiefe der Schichtlage („Eindringungstiefe“), in der das Licht den nötigen Grad der Abschwächung erfährt, der Empfindungsstärke proportional ist.

Unter der Voraussetzung, daß der Absorptionskoeffizient der lichtempfindlichen Schicht mit der Tiefe der Schichtlage in bestimmter Weise wechselt und daß dieser Koeffizient sich außerdem mit dem Adaptationszustand nach den Gesetzen einer unvollständigen bimolekularen Reaktion verändert, hat WEISS eine gute zahlenmäßige Übereinstimmung zwischen experimentellem Befund und theoretisch berechneten Werten gefunden. Das entsprechende Zahlenmaterial ist leider nicht veröffentlicht.

Der WEISSsche Versuch, die Tatsachen der Adaptation durch ein optisch-mathematisches Bild zu erklären, hat wohl den Vorteil, daß man unabhängig von den Annahmen der Reizentstehung diese Probleme durchdenken kann, jedoch erscheinen die dazu nötigen Annahmen vom physiologischen Standpunkt aus zunächst als rein hypothetisch.

**Theorie von F. WEIGERT.** Kurz erwähnt seien noch die Ergebnisse von F. WEIGERTS Untersuchungen, da sie zur Erklärung des Tages- und Dämmerungssehens und somit auch für die Adaptation von Bedeutung sein können.

FRITZ WEIGERT hat eine Methode mit polarisiertem Licht ausgearbeitet, die es besser, als es bis jetzt der Fall war, gestattet, feinste durch Lichteinwirkung hervorgerufene Veränderungen lichtempfindlicher Farbstoffe festzustellen. Es zeigte sich dabei, daß diese Veränderungen für das einzelne Wellenbereich der Lichtstrahlung um so spezifischer sind, je verdünnter der verwendete Farbstoff und je kürzer die Vorbelychtung war, der er vor der Prüfung ausgesetzt worden ist. Konzentrierte Farbstoffe haben dagegen keine besondere Farbenempfindlichkeit, wohl aber vermöge ihrer hohen Absorption eine große Lichtempfindlichkeit. Aber auch diese können sie verlieren, wenn sie längere Zeit dem Licht ausgesetzt waren. Durch diese Umstände kann es dazu kommen, daß eine frische und verdünnte Farbstoffschicht nicht nur farben-, sondern auch lichtempfindlicher als eine solche von höherer Konzentration zu sein vermag.

WEIGERT macht nun die Annahme, daß nicht nur die Stäbchen sondern auch die Zapfen Sehpurpur, wenn auch in sehr geringer Konzentration, enthalten. Es ist dies eine schon von HERING ausgesprochene Vermutung. Ferner ist WEIGERT der Ansicht, daß beim Tagessehen die Zapfen sich so verhalten wie eine frische und stark verdünnte Farbstoffschicht, also den einzelnen Wellenbereichen des Reizlichtes entsprechend spezifische Veränderungen erleiden. Die Stäbchen entsprechen dabei einer Farbstoffschicht von höherer Konzentration, die schon durch stärkere Absorption ihre Lichtempfindlichkeit verloren hat. Es dominiert also die farben- und lichtempfindliche, frische, verdünnte Farbstoffschicht der Zapfen über die relativ lichtunempfindliche und farbenuntüchtige, schon teilweise verbrauchte Farbstoffschicht von höherer Konzentration. Beim Dämmerungssehen enthalten nach WEIGERT sowohl die Zapfen als auch die Stäbchen frischen Farbstoff, und hierbei beherrscht die durch die starke Absorption bedingte hohe Lichtempfindlichkeit der konzentrierteren Schicht die Situation.

Die Übertragung der Lichtwirkung auf die Nervenendigungen stellt sich WEIGERT so vor, daß mechanische Wirkungen die Erregung bedingen. Es zeigt sich nämlich, daß bei den Farbstoffuntersuchungen in mikroskopisch kleinen Teilchen je nach der Wellenlänge des verwendeten Lichtes charakteristische Dilatations- und Kompressionswirkungen auftreten. Diese den einzelnen Farben spezifischen mechanischen Wirkungen können eventuell direkt auf die Nervenendigungen übertragen werden. Die Entstehung und Rückbildung dieser mechanischen Prozesse entspricht vielleicht den HERINGschen Dissimilations- und Assimilationsvorgängen.

## Literatur.

*Theorien der Adaptation.*

BODENSTEIN, M.: Eine Theorie der photochemischen Reaktionsgeschwindigkeiten. *Z. physik. Chem.* **85**, 329 (1913).

HECHT, S.: Die physikalische Chemie und die Physiologie des Sehaktes. *Erg. Physiol.* **32**, 243 (1931). Hier finden sich sämtliche Arbeiten von HECHT zitiert. — HERING: Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn. GRAEFE-SÄEMISCH'S Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 2. Aufl., Bd. 2. 1920.

KOENIG, A.: Die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität. Sitzgsber. Akad. Wiss. Berlin **1894**, 577. — KOHLRAUSCH, A.: (a) Untersuchungen mit farbigen Schwellenlichtern über den Dunkeladaptationsverlauf des normalen Auges. *Pflügers Arch.* **196**, 113 (1922). (b) Adaptation, Tagessehen und Dämmerungssehen. BETHE-BERGMANN-EMBDEN-ELLINGER, Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12, 2, S. 1499. 1931. — KRIES, J. v.: Zur Theorie des Tages- und Dämmerungssehens. BETHE-BERGMANN-EMBDEN-ELLINGER, Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 12, 1, S. 678. 1929.

LASAREFF, P.: (a) Iontheorie der Reizung. Bern u. Leipzig 1923. (b) Théorie ionique de l'excitation des tissus vivants. Paris 1928 (s. dort. Literatur). — LOEB, J.: Vorlesungen über die Dynamik der Lebenserscheinungen, S. 112. Leipzig 1906.

MÜLLER, H. K.: (a) Zur Darstellung des Dunkeladaptationsverlaufes in Kurvenform für klinische Untersuchungen. *Graefes Arch.* **125**, 614 (1931). (b) Über den Einfluß verschieden langer Vorbelichtung auf die Dunkeladaptation und auf die Fehlergröße der Schwellenreizbestimmung während der Dunkeladaptation. *Graefes Arch.* **125**, 624 (1931).

NAGEL, W. A.: Die Lehre von den Gesichtsempfindungen. HELMHOLTZ, *Physiol. Optik*, 3. Aufl., Bd. 2, S. 271. Hamburg-Leipzig: Leopold Voß 1911. — NERNST, W.: Theoretische Chemie. Stuttgart 1913.

PIPER, M.: Über Dunkeladaptation. *Z. Sinnesphysiol.* **31**, 161 (1903). — PÜTTER, A.: (a) Studien zur Theorie der Reizvorgänge I.—IV. Mitt. *Pflügers Arch.* **171**, 201 (1918). (b) Studien zur Theorie der Reizvorgänge VI. Mitt. *Pflügers Arch.* **176**, 39 (1919). (c) Studien zur Theorie der Reizvorgänge VII. Mitt. *Pflügers Arch.* **180**, 260 (1920).

WEIGERT, F.: Ein photochemisches Modell der Retina. *Pflügers Arch.* **190**, 177 (1921). Siehe dort seine übrigen diesbezügl. Arbeiten. — WEISS, E.: WEBER-FECHNERSches Gesetz und Adaptation. Ber. 46. Zusammenk. dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1927**, 308.

# Die Physiologie des optischen Raumsinnes.

Von

RUDOLF DITTLER-Marburg.

Mit 43 Abbildungen.

## Einleitung.

Die hier gegebene Darstellung der Physiologie des optischen Raumsinnes macht es sich zur Aufgabe, die Haupttatsachen aus diesem Wissensgebiete in einer Form zusammenzufassen, die es auch demjenigen, dessen wissenschaftliche Arbeiten in anderer Richtung liegen, ermöglicht, sich eine Anschauung von der Art der in Betracht kommenden Probleme und der bis jetzt geförderten Erkenntnisse zu verschaffen. Ein erschöpfendes Eingehen auf alle Einzelfragen konnte schon deshalb nicht in ihrem Plane liegen, weil diese im weiteren Verfolg vielfach auf Gebiete übergreifen, die einer physiologischen Betrachtung unzugänglich sind und für den Leserkreis, an den dieses Werk sich wendet, daher weniger von Interesse wären. Selbst bei der hiermit getroffenen Beschränkung bleibt eine so überreiche Fülle an Stoff, daß es sich bei der Knappheit des zur Verfügung stehenden Raumes nur darum handeln konnte, die wesentlichen Züge der fertig in sich geschlossenen optischen Raumsinnlehre darzulegen und darüber hinaus höchstens gelegentlich anzudeuten, in welcher Richtung weitere fruchtbare Probleme zu suchen sind.

Die Grundlage, auf der die Lehre vom optischen Raumsinne sich heute aufbaut, bilden die Anschauungen, die EWALD HERING in einer Reihe klassisch gewordener Abhandlungen (a) zu diesem Gegenstande entwickelt hat. Diese beruhen auf der Feststellung, daß jede durch das Sehorgan vermittelte Empfindung, wie sie eine *Qualität* (Farbe) besitzt, *ebenso unmittelbar*, und zwar außerhalb unseres Körpers, immer auch einen *Ort* hat. Ein sekundäres Hinausprojizieren ursprünglich ortloser Empfindungen in den Raum, wie die Projektionstheorie dies fordert, kommt hiernach also nicht in Frage, vielmehr stellt die Lokalisierung der Gesichtsempfindungen eine *primäre*, in der physiologischen Organisation des Sehorganes begründete und in diesem Sinne *subjektive Reaktionsweise* dar. HERING hat mit Nachdruck immer wieder darauf hingewiesen, daß die Art, wie wir die Dinge *sehen*, mit ihrer „wirklichen“ Gestalt und ihrem „wirklichen“ Ort, d. h. damit, wie und wo wir sie uns auf Grund unserer sonstigen Erfahrungen *denken*, vielfach keineswegs zusammenstimmt. Es wird also zwischen dem uns umgebenden „wirklichen Raume“ und dem durch das Sehorgan uns vermittelten subjektiven „Sehraume“, desgleichen zwischen den Dingen, wie sie räumlich *sind*, und den Dingen, wie sie uns als „Sehdinge“ räumlich *erscheinen*, bei den folgenden Erörterungen durchaus zu unterscheiden sein. Ebenso werden wir das Gesichtsfeld (bzw. den Gesichtsraum) als die Gesamtheit der Außenpunkte, die sich bei gegebener Augenstellung auf funktionstüchtigen Netzhautstellen abbilden, von dem ihm entsprechenden

subjektiven „Sehfelde“ (bzw. „Sehraume“) reinlich zu trennen haben. Daß der Vergleich zwischen den räumlichen Abmessungen beider immer nur ein *relativer* sein kann und sich lediglich auf die relative Anordnung der Dinge bzw. Sehdinge erstreckt, da wir über den absoluten Maßstab des „wirklichen“ Raumes, über den wir ja nur durch die Vermittlung unserer Sinneseindrücke unterrichtet werden, niemals eine irgendwie objektiv begründete Kenntnis erlangen können, sei als erkenntnistheoretisch selbstverständlich nur beiläufig vermerkt.

Dem Studium der Beziehungen zwischen Reiz und Empfindung liegt für die physiologische Betrachtungsweise die Absicht zugrunde, über das *somatische* Geschehen im nervösen Apparate des Sehorganes näheres zu ermitteln und so zu einer Vorstellung vom funktionellen Aufbau des Sehorganes zu gelangen. Dies ist nur denkbar, wenn nach dem Prinzip des psychophysischen Parallelismus (FECHNER) als erlaubt vorausgesetzt werden darf, aus einer Verschiedenartigkeit der psychischen Regungen (Bewußtseinsvorgänge) auf eine Verschiedenartigkeit auch der Vorgänge im materiellen Substrat (dem „*somatischen Sehfelde*“ nach HERING) zurückzuschließen. Die in diesem Sinne ausgedeuteten Beobachtungsergebnisse führten unter Berücksichtigung der Eigenart des makroskopischen und mikroskopischen Baues des Sehorganes zu der Grundvorstellung, daß die Möglichkeit einer verschiedenen Lokalisierung der Gesichtseindrücke in der flächenhaften Ausbreitung der Netzhaut gegeben sei, indem den örtlich gesonderten Stellen des somatischen Sehfeldes je nach den Verhältnissen bestimmte Orte des subjektiven Sehfeldes zugeordnet seien. Den einzelnen nervösen Elementen des Sehorganes (von der Netzhaut bis zur Hirnrinde gerechnet) wird somit je ein charakteristisches „*Lokalzeichen*“ oder ein „*Raumwert*“ zuerkannt, dessen Gegebensein funktionell in der *Sehrichtung* zum Ausdrucke kommt, nach der die Empfindung, die der Regung des einzelnen Elementes parallel geht, in den Sehraum lokalisiert wird. In den folgenden Ausführungen wird zu zeigen sein, inwieweit diese Grundvorstellung sich bewährt und die Eigentümlichkeiten der funktionellen Leistung des Sehorganes zu analysieren und zu verstehen gestattet.

Der Stoff ist für die Darstellung in der hergebrachten Weise so gegliedert, daß in einem ersten Hauptteile die Leistung der Einzelnetzhaut abgehandelt wird, die sich im wesentlichen in der optischen Lokalisierung nach *Höhe und Breite* ausprägt, während in einem zweiten Hauptteil die Zusammenfassung beider Augen zu einem einheitlichen Doppelorgan und die hieraus erwachsende Erweiterung seiner Leistung, die *Tiefenlokalisierung*, zur Sprache kommt. Die Verhältnisse der Augenbewegungen sind nur so weit berücksichtigt, als sie für die Lokalisationsfragen von unmittelbarer Bedeutung sind; sie haben in einem anderen Abschnitte dieses Handbuches eine eigene Würdigung erfahren (s. Beitrag CORDS Bd. 3, S. 440 dieses Handbuches).

Zur genaueren Orientierung über gewisse Einzelfragen, die in der folgenden Darstellung nur kurz gestreift werden konnten oder ganz unberücksichtigt bleiben mußten, sei vor allem auf HERINGS Lehre vom Raumsinn (d), auf die entsprechenden Kapitel der physiologischen Optik von v. HELMHOLTZ (a), insbesondere der 3. Auflage mit den wertvollen Zusätzen von v. KRIES, sowie auf die eingehende Neubearbeitung der gesamten Materie durch F. B. HOFMANN in der 2. Auflage des GRAEFE-SÄEMISCHSchen Handbuches (e) und durch v. TSCHERMAK (e) in BETHES Handbuch der Physiologie verwiesen. Auch HOFMANN'S Lehre vom Raumsinn des Doppelauges (d) und v. TSCHERMAK'S Artikel über die Grundlagen der optischen Lokalisation nach Höhe und Breite (e) vermögen wertvolle Ergänzungen zu geben. Ein erschöpfender Literaturnachweis wurde nicht angestrebt; dieser schien angesichts der Vollständigkeit der von HOFMANN und v. TSCHERMAK gelieferten Zusammenstellung überflüssig und hätte die

geplante Darstellung der *Elemente* eines optischen Raumsinnes über Gebühr belastet. Über die einschlägigen Fragen *methodischer* Art geben die entsprechenden Abschnitte in TIGERSTEDTS Handbuch der physiologischen Methodik [F. B. HOFMANN (c)] in allen wesentlichen Punkten hinreichenden Aufschluß.

Die Nutzenanwendung der physiologischen Erkenntnisse auf pathologische Fragestellungen bleibt den einschlägigen Kapiteln dieses Handbuches überlassen.

## I. Das Sehen mit einem Auge.

### 1. Die Feinheit des Ortssinnes und die Sehschärfe.

Die Feinheit unserer Fähigkeit zu räumlicher Unterscheidung des im ebenen Sehfeld Gesehenen kann im wesentlichen nach *zwei verschiedenen Gesichtspunkten* untersucht werden; entsprechend sind es zwei im Grunde verschiedene Vermögen des Auges zu räumlicher Differenzierung, die dabei zutage treten. Dies muß betont werden, weil hierüber lange Zeit keine genügende Klarheit herrschte und auch jetzt noch häufig Verwechslungen vorkommen. Es handelt sich einmal um die allgemein als *Sehschärfe* bezeichnete Leistung der Netzhaut, die in Analogie mit den Verhältnissen bei den optischen Instrumenten auch das optische „Auflösungsvermögen“ des Auges genannt werden kann, andererseits um die Feinheit des Raumsinnes in der engeren Bedeutung des Wortes. Versteht es sich auch von selbst, daß diese beiden Vermögen am Ende auf dieselben Grundlagen zurückgehen müssen, die in den Strukturverhältnissen der Netzhaut und der funktionellen Verschiedenheit ihrer Elemente gegeben sind, so ist doch die Art der Anforderung, die bei den beiden Prüfungsverfahren an das Sehorgan gestellt wird, durchaus verschieden.

Die Frage nach der Fähigkeit des Auges, feinste Einzelheiten der Objekte zu unterscheiden und feinste Punkte oder Linien noch *getrennt* wahrzunehmen, führt zur Ermittlung der Sehschärfe oder des optischen Auflösungsvermögens, während die Frage nach der Fähigkeit, feinste *Lageunterschiede* noch richtig zu erkennen, zur Feststellung der Feinheit der Raumwertgliederung auf der Netzhaut Anlaß gibt. Die innere Verwandtschaft beider Vermögen ist ersichtlich, ebenso, daß das erste das zweite zur Grundlage hat und an dessen Grenzen folglich auch seine eigenen äußersten Grenzen finden muß. In beiden Fällen handelt es sich um eine Leistung des Einzelauges, deren Untersuchung bei *monokularer* Beobachtung zu geschehen hat.

**Lageunterschied.** Um zu ermitteln, wieweit auf der Netzhaut die Elemente mit merklich verschiedenem Lokalzeichen auseinander liegen, kann die sog. „Noniusmethode“ von WÜLFING zur Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit für Lagen verwendet werden. Bei diesem Verfahren wird untersucht, wieweit die obere und die untere Hälfte einer zunächst ungebrochen durchgeführten, etwa senkrechten schwarzen Linie auf rein weißem Grunde senkrecht zu ihrer Richtung gegeneinander verschoben werden müssen, damit die Verschiebung eben merklich wird. In gleicher Weise kann natürlich auch mit einem hellen Objekt auf weniger hellem Grunde gearbeitet werden. Als Maß für die Unterschiedsempfindlichkeit dient hierbei der Gesichtswinkel, unter dem die Distanz der beiden Halblinien an der Unterbrechungsstelle vom Beobachter gesehen wird.

HERING (e) fand es vorteilhaft, die Anordnung WÜLFINGS dahin abzuändern, daß er die gerade Trennungslinie einer halb schwarzen, halb weißen Fläche als Objekt verwendete. Unter diesen Beobachtungsbedingungen stellte BEST (a) einen Lageunterschied entsprechend einem Gesichtswinkel von 13" als noch sicher richtig erkennbar fest („100%-Schwelle“). Dieser Wert gilt freilich nur

für den Versuch bei senkrechter Einstellung der Trennungslinie; bei horizontaler oder schräger Lage wurde die Unterschiedsempfindlichkeit niedriger gefunden und entsprach einem Gesichtswinkel von 16—19". Bei der Untersuchung nach der Methode der richtigen und falschen Fälle („50%-Schwelle“) kann für das normale Auge der Wert von 7" als der durchschnittlich noch erreichbare gelten.

Alle diese Werte der Unterschiedsempfindlichkeit für Lagen beziehen sich auf Beobachtungen mit der Netzhautmitte; gegen die Peripherie hin nimmt die Empfindlichkeit stark ab, wie folgende, von BOURDON (e) bzw. F. B. HOFMANN (e) nach der WÜLFINGSchen bzw. HERINGSchen Methode gewonnenen Werte zeigen (s. Tabelle 1). Interessanterweise wird, offenbar unter der Mitwirkung *psychischer* Einflüsse, die Verschiebung der unteren Linienhälfte nach links bei schwacher Neigung der Trennungslinie mit dem oberen Ende nach rechts eher erkennbar als die Verschiebung nach rechts.

Über die Ergebnisse der Bestimmung des *eben merklichen Größenunterschiedes* kleinster Objekte, die ebenfalls hierher gehören, vergleiche man bei VOLKMANN (d, e) und BOURDON (e).

Tabelle 1.

	BOURDON	HOFMANN
zentral . . . . .	—	8—9"
bei 1° Exzentrizität . . . . .	23"	—
„ 2° „ . . . . .	—	54"
„ 5° „ . . . . .	3'57"	2'1"—2'4"
„ 10° „ . . . . .	6'53"	3'40"—3'56"
„ 20° „ . . . . .	13'56'	—

Versucht man sich aus diesen Ergebnissen ein Urteil über die Art der Raumwertverteilung auf der Netzhaut zu machen, so gelangt man zu dem Schluß, daß *jedem lichtperzipierenden retinalen Element* (zum mindesten jedem Zapfen) *ein von den Nachbar-elementen abweichender Raumwert zukommt*. Wie die rechnerische Behandlung der Befunde ergibt, entspricht dem für die Ebenmerklichkeit eines Lageunterschiedes notwendigen Gesichtswinkel eine Lageverschiedenheit der zugehörigen Netzhautbilder, die bedeutend kleiner ist als die Breite des einzelnen Netzhautelementes. Denn während diese zwischen 1,5 und 4,5  $\mu$  schwankt (FRITSCH), was einem Gesichtswinkel bis zu 60" aufwärts entspricht, kann der Lageunterschied, wie wir soeben sahen, bereits entsprechend 7" merklich werden. Genügt aber schon eine Lageverschiebung des Netzhautbildes um den Teilbetrag einer Stäbchen- oder Zapfenbreite, so muß füglich angenommen werden, daß schon das Hinübergleiten des Netzhautbildes auf eben benachbart liegende, bisher ungerreizt gebliebene Netzhaut-elemente zur Reizung von *Elementen mit andersartigem Lokalzeichen* führt.

Unter gewissen schematisierenden Voraussetzungen wird man sich die Verhältnisse der Netzhautreizung nach einer zuerst von HERING gegebenen Ableitung so vorstellen dürfen, daß die ungebrochene gerade Trennungslinie zwischen dem schwarzen und dem weißen Halbfelde sich auf einer in gerader Flucht liegenden Reihe von Elementen abbildet, und daß eine Verschiebung der einen Linienhälfte von jenem Betrage an merklich werden wird, bei dem eine überschwellige Mitreizung einer neuen Reihe von Elementen zustandekommt (s. Abb. 1a). Der hierbei mögliche, in Abb. 1b skizzierte Sonderfall dürfte für die Erklärung der großen Differenzen zwischen den Winkelwerten der 100%- und der 50%-Schwelle mit zu berücksichtigen sein, doch wird er kaum häufig in

dieser extremen Form verwirklicht sein, da schon die Schwankungen in der Fixation eine dauernd so ideale Abbildung entlang der Mitte einer Zapfenreihe vereiteln. Vor allem aber dürfte eine so geregelte Anordnung der Netzhautzapfen in Wirklichkeit überhaupt kaum anzunehmen sein (HEINE [c]). Ihr Vorkommen wird von FRITSCH sogar ausdrücklich bestritten. Dies tut dem Wesen der HERINGSchen Überlegungen keinerlei Eintrag, sondern erleichtert vielmehr das Verständnis in mancher Beziehung; man denke an die positiven Fälle herab bis zu Gesichtswinkeln von  $2,5''$ . Durch das Hineinspielen der Irradiation und des Kontrastes verlieren die Verhältnisse überdies sehr an Übersichtlichkeit.

Das optische Auflösungsvermögen des Auges wird in reinlicher Weise so bestimmt, daß man untersucht, unter welchem Gesichtswinkel die Distanz

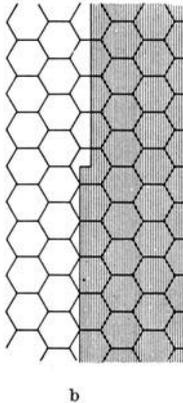
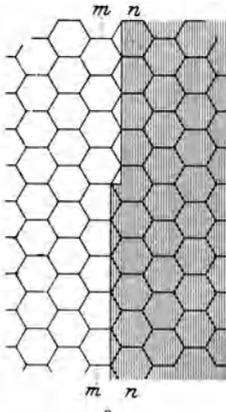


Abb. 1. Untersuchung nach der Noniusmethode. (Nach HERING.)

welchem Gesichtswinkel die Distanz zweier kleinster Flächen („Punkte“) oder parallel verlaufender feinsten Linien dem Beobachter erscheinen muß, damit diese noch eben gesondert gesehen werden. Um störende Komplikationen auszuschließen, wird auch diese Seite der Netzhautleistung bei schärfst-möglicher Abbildung der dargebotenen Objekte, und zwar monokular geprüft.

Auch unter den einfachsten Verhältnissen bleiben die Bedingungen für eine zahlenmäßige Festlegung der Feinheit des Auflösungsvermögens immer noch reichlich kompliziert, vor allem wegen des unvermeidlichen Hineinspiels der (physikalischen) Irradiation des Reizlichtes, die zu

einem Konfluieren der beiden zu sondernden Erregungen auch dann Anlaß geben kann, wenn nach der Lage der „Kernbilder“<sup>1</sup> auf dem Mosaik des Augenhintergrundes die Voraussetzung für eine getrennte Empfindung der Bilder erfüllt wäre. Das Erschwerende für die Beurteilung der Sehschärfe ist mit anderen Worten darin gegeben, daß außer der Raumsinnschwelle auch die *Unterschiedsempfindlichkeit* der Netzhaut für Helligkeiten bestimmend mitwirkt. Um das beim Auflösungsvermögen des Auges herrschende Prinzip herauszuschälen, ist es nötig, die zu den höchsten Sehschärfeleistungen führenden Bedingungen den Erwägungen zugrunde zu legen; warum bei bestimmten Änderungen der Bedingungen die optimalen Werte der Sehschärfe nicht mehr erreicht werden, ist dann meist leicht zu beurteilen.

Geht man von der Tatsache aus, daß infolge der Lichtbeugung an den Pupillenrändern, infolge des irregulären Astigmatismus des Auges sowie der chromatischen Aberration ein *absolut scharfes Netzhautbild* [„schematisches“ Netzhautbild nach HOFMANN (e)] *nie zustandekommt*, so wird man sich die Lichtverteilung bei der Abbildung zweier leuchtender Punkte auf lichtlosem Grunde nach Art der schematischen Zeichnung der Abb. 2 vorzustellen haben. Um die beiden Lichtmaxima *B* und *D* breitet sich das Licht mit steil abnehmender Intensität nach allen Seiten in die Umgebung aus, so daß in der Mitte zwischen

<sup>1</sup> Als Kernbild bezeichnet AUBERT (a), in Analogie mit dem Ausdruck Kernschatten, denjenigen Teil des Netzhautbildes, der trotz der Lichtzerstreuung infolge der physikalischen Irradiation seine volle Lichtstärke behält.

den Maxima etwa die Lichtintensität  $EG$  erreicht wird. Für die gesonderte Wahrnehmung der dargebotenen Punkte wird es nun ausschlaggebend sein, ob die beiden Netzhautstellen, die durch die Lichtreize  $AB$  und  $CD$  erregt werden, einen merklich verschiedenen Raumwert haben *und* ob zwischen ihnen eine Netzhautstelle liegt, die durch die Lichtstärke  $EG$  merklich schwächer erregt wird als sie selbst. Nur so ist eine gesonderte Wahrnehmung denkbar. Das Zusammenwirken von Licht- und Ortssinn der Netzhaut ist aus dieser orientierenden Überlegung ersichtlich. Günstig werden die Verhältnisse dann liegen, wenn das in das Zwischenbereich abirrende Licht als Reiz unerschwellig bleibt. Dies dürfte, falls  $AB$  und  $CD$  als Reiz wirksam sind, nur ausnahmsweise zutreffen, man wird vielmehr im allgemeinen damit rechnen müssen, daß auch an der Stelle  $EG$  eine Erregung zustandekommt; es ist dann eine Frage des Unterscheidungsvermögens für Helligkeiten und der Auswirkung des WEBERSchen Gesetzes, ob die Empfindung im Mittelbezirk von jenen in den Seitenbezirken unterschieden werden kann (s. Abschnitt Lichtsinn, dieser Band, S. 172). Ist

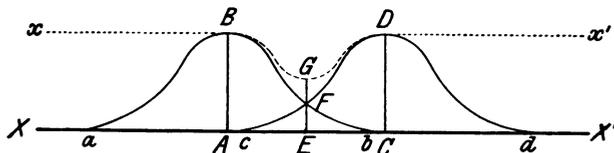


Abb. 2. Lichtstärkenverteilung bei Abbildung zweier Lichtpunkte auf der Netzhaut.  
(Nach F. B. HOFMANN.)

es aus diesem Grunde einerseits von Vorteil, wenn die dargebotenen punktförmigen Objekte gegen den Grund, auf dem sie erscheinen, gut kontrastieren, so wird andererseits durch eine zu weit getriebene Steigerung der Lichtstärke die Irradiation leicht in störender Weise verstärkt.

Es bedarf kaum einer besonderen Erwähnung, daß für die getrennte Wahrnehmung nahe beieinander liegender paralleler Linien grundsätzlich dasselbe gilt, wie für Punkte, und daß die Skizze der Abb. 2 ohne weiteres auch als Querschnitt durch zwei derartige Linienbilder deutbar ist. Auch die Verhältnisse der Wahrnehmbarkeit einer einzelnen dunkleren Linie auf gleichmäßigem lichterem Grunde sind aus dieser Skizze zu entnehmen, wenn man sich die Lichtstärke des Grundes durch die punktiert nach  $x$  und  $x'$  hingeführten horizontalen Geraden wiedergegeben denkt.

Auf die speziellen Verhältnisse der Netzhaut übertragen, führt der Vergleich der bei der Sehschärfeprüfung erforderlich gefundenen Gesichtswinkel mit den durchschnittlichen Größenverhältnissen der Netzhautelemente auf Grund der angestellten Überlegungen zu der Vorstellung, daß 2 Punkte nur dann gesondert wahrgenommen werden können, wenn *zwischen den beiden stärker gereizten Zapfen ein Zapfen liegt, der weniger stark gereizt bleibt*. Dies ist das Prinzip, nach dem die Feinheit der Sehschärfe sich zu regeln scheint, ein Prinzip, wie es von E. H. WEBER zunächst für die Verhältnisse des Tastsinnes ermittelt und dann auf das Sehorgan übertragen wurde. Es wird somit die Vorstellung des in sich nicht mehr weiter teilbaren „Empfindungskreises“, dessen Träger hier der einzelne Zapfen wäre, auf das optische Gebiet übernommen. Auf dieser Grundlage läßt sich das Auflösungsvermögen des Auges in der Tat selbst in quantitativer Beziehung hinreichend gut verstehen.

Um das Gesagte an der Hand einer Überschlagsrechnung zu erläutern, sei erwähnt, daß der Gesichtswinkel von  $60''$  einer Netzhautbildgröße von  $4,35\mu$  entspricht und daß der höchste vorkommende Wert des Zapfendurchmessers nach den Messungen von FRITSCH, wie gesagt,  $4,5\mu$  beträgt. Den tatsächlich gefundenen höheren Sehschärfeverhältnissen können unter Wahrung des Prinzipes die beobachteten niedrigeren Werte für die Zapfendicke bis herab zu

1,5  $\mu$  (näheres s. bei M. SCHULTZE, H. MÜLLER, WELCKER [zitiert nach v. HELMHOLTZ (a) II., S. 256], die 2,0—2,5 bzw. 1,5—2,0 bzw. 3,1—3,6  $\mu$  für die Zapfendicke angeben) gegenübergestellt werden.

Es darf aber keinesfalls übersehen werden, daß neben der Feinheit der Netzhautstruktur auch der Lichtsinn des Auges ein die Sehschärfe wesentlich mitbestimmender Faktor ist, und daß aus diesem Grunde der Rolle der Irradiation ganz besondere Beachtung bei der Beurteilung der jeweiligen Versuchsbedingungen gezollt werden muß.

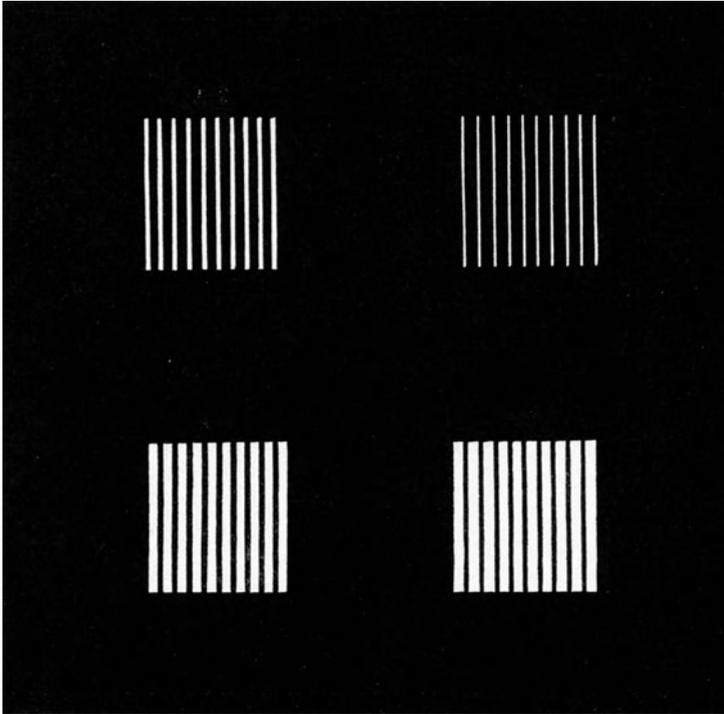


Abb. 3. Erklärung im Text S. 385. (Nach LEHMANN.)

Für eine erschöpfende Analyse liegen die Dinge in den allermeisten Fällen recht verwickelt und sind oft schwer zu übersehen. Die Netzhautperipherie bietet außerdem, entsprechend ihrer weit geringeren Unterschiedsempfindlichkeit für Lagen, besondere Verhältnisse.

Auf die neuen Bestrebungen, die Verhältnisse der Sehschärfe auf Grund der Pigmentepithel-Hypothese zu erklären, nach der als Ort der primären Lichtperzeption das retinale Pigmentepithel angesprochen wird [s. bei ZOTH (c)], sei nur kurz hingewiesen. Hiernach wäre, wie ZYKULENKO experimentell nachzuweisen sucht (a, b), als das Element für die Punkt Wahrnehmung und somit als der Träger der Sehschärfe die (in sich funktionell nicht mehr weiter gegliederte) *retinale Pigmentepithelzelle* anzusehen. Nach seinen Angaben führt die Reizung zweier benachbarter Pigmentzellen zur Empfindung der kürzesten Linie. Das Fehlen weiterer Flächengliederung der einzelnen Zelle wird von demselben Autor daraus hergeleitet, daß eine aus Weiß- und Schwarzsektoren zusammengesetzte MAXWELLSche Scheibe, deren Bild gerade das Areal einer Pigmentzelle füllt, ganz unabhängig von der Rotationsgeschwindigkeit als ein unveränderlich heller Punkt gesehen werde, während bei Übergreifen des Bildes auf Nachbarzellen sofort Flimmern auftrete. Eine kritische Stellungnahme zu dieser Auffassung ist zur Zeit noch nicht möglich.

Wegen der praktischen Wichtigkeit der Sehschärfeprüfung seien einige der *wichtigsten Einzelheiten* hier kurz aufgeführt.

Zunächst sei die wichtige Tatsache erwähnt, daß die Fähigkeit des Auges zur Sonderung zweier schmaler Striche oder anderer schmaler Flächen nicht ausschließlich von der Breite ihres Zwischenraumes abhängt, sondern auch von der Breite der Striche bzw. der Größe der zu sondernden Flächen selbst, so zwar, daß *der erforderliche Gesichtswinkel mit der Verbreiterung der Striche abnimmt*. Ein anschauliches Beispiel hierfür, das auf LEHMANN zurückgeht, entnehme ich HOFMANN'S Darstellung des optischen Raumsinnes (Abb. 3). Hier ist

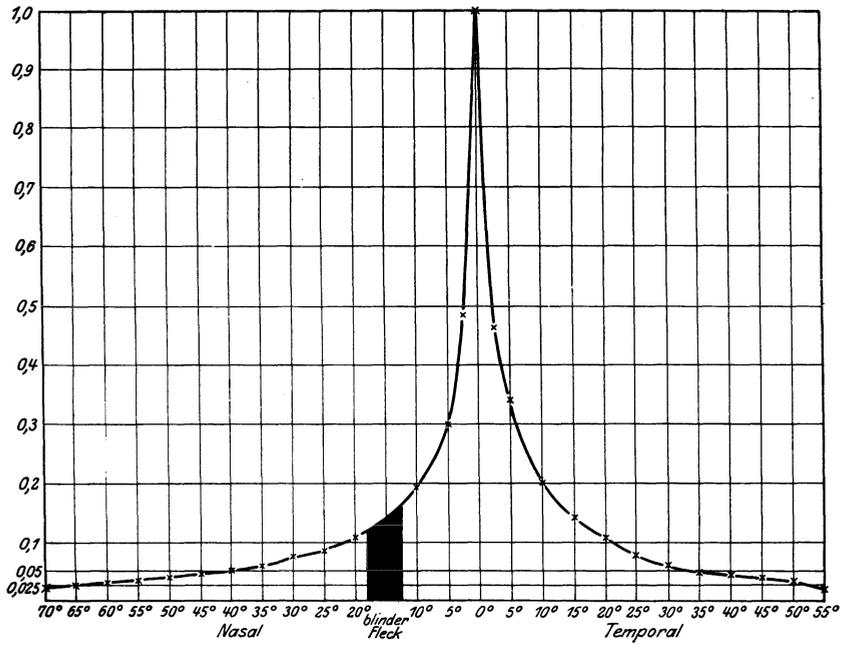


Abb. 4. Sehschärfeverteilung auf der Netzhaut. (Nach WERTHEIM.)

die Summe der Strichbreite und der Breite des Abstandes bis zum nächsten Strich in allen 4 Fällen gleich, und man kann sich leicht überzeugen, daß die Verschmelzung der weißen Striche trotz ihres verschiedenen Abstandes in allen 4 Fällen bei derselben absoluten Distanz, also bei ganz verschiedenem Gesichtswinkel eintritt. Bei kleinen Quadraten oder Kreisscheiben liegen die Verhältnisse grundsätzlich ebenso. Für die Erklärung kommt in Frage, daß es sich gerade bei den (schwarzen) Objekten mit der relativ größeren (weißen) Distanz um so kleine Objekte handelt und handeln *muß*, daß infolge der Lichtaberration *kein „Kernbild“ mehr zustande kommt*, die Objekte sich also weniger gut vom Untergrund abheben und, aus einer bestimmten Entfernung gesehen, *deshalb* verschwinden. Die Bedeutung der Lichtsinnkomponente der Sehschärfe wird also gerade aus diesem Beispiel sehr schön klar.

**Sehschärfe und Beleuchtung.** Dies führt zugleich auf die weitere Frage der Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtung. Entsprechend der Tatsache, daß sich mit zunehmender Beleuchtungsstärke die Farbe der Objekte aus dem bei schwacher Dämmerung zunächst nur wenig differenzierten mittleren Grau, gleichzeitig nach dem Weiß wie nach dem Schwarz hin, mehr und

mehr vertieft (HERING), die Kontraste also stärker werden, steigt die Sehschärfe erst rasch unter diesen Bedingungen, dann langsamer bis zu einem gewissen Optimalbetrag an, um jenseits dieser Grenze, infolge der stärker aufkommenden Irradiation, wieder abzunehmen. Diese Abhängigkeit von der Lichtstärke ist wegen des Hineinspiels einer Reihe verschiedener Faktoren (Pupillenweite, Seitenlicht, Änderung der Adaptation des Auges) sehr komplizierter Art.

Der *Einfluß der Adaptationsänderung* als solcher wurde unter Ausschluß aller störenden Nebenwirkungen von GARTEN und BLOOM (s. auch bei KÖNIG,

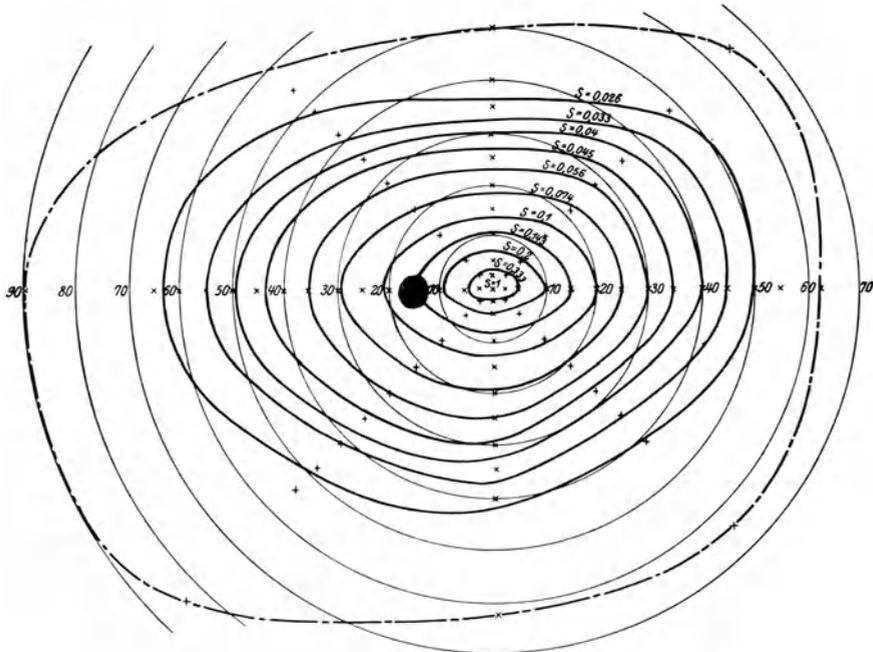


Abb. 5. Kurven gleicher Sehschärfe im linksäugigen Gesichtsfeld.  
(Nach WERTHEIM.)

SNELLEN, BULTMANN, KÖSTER, A. E. FICK) dahin bestimmt, daß die zentrale Sehschärfe des Dunkelauges bei sehr geringen Lichtstärken *höher* ist als die des Hellauges, aber bei zunehmender Beleuchtungsstärke bald deutlich hinter dem in seiner Sehschärfe rasch ansteigenden Hellauge zurückbleibt.

**Exzentrische Sehschärfe.** Zur Demonstration der steilen Abnahme der Sehschärfe vom Netzhautzentrum nach der Peripherie sei das bekannte Diagramm WERTHEIMS wiedergegeben (s. Abb. 4), das zeigt, daß die Sehschärfe bei einer Abweichung um  $10^{\circ}$  schon auf  $\frac{1}{5}$ , um  $20^{\circ}$  bereits auf  $\frac{1}{10}$  ihres Wertes im Zentrum absinkt. Diese Abnahme erfolgt auf der temporalen Netzhauthälfte steiler als auf der nasalen, und wurde überhaupt in den verschiedenen Netzhautmeridianen nicht übereinstimmend gefunden. Bemerkenswert ist, daß die Kurven gleicher Sehschärfe nach WERTHEIM (s. Abb. 5) im wesentlichen der Grenzlinie des monokularen Gesichtsfeldes parallel verlaufen. Wegen weiterer Daten zu dieser Frage sei auf die Arbeiten von GROENOUW, GULLERY (b), KÖSTER, GARTEN und BLOOM, sowie von RUPPERT verwiesen.

Als Ursache für die Abnahme der Sehschärfe in der Netzhautperipherie ist die relative Unschärfe der peripheren Netzhautbilder und die geringe Unter-

schiedsempfindlichkeit der peripheren Netzhaut für Helligkeiten in Betracht gezogen worden (DOBROWOLSKY und GAIN), doch wird hiermit die Erscheinung keineswegs erschöpft. Vielmehr muß, wie es scheint, vor allem dem Umstände Rechnung getragen werden, daß die anatomische Art der Verknüpfung der einzelnen Netzhautelemente mit den ableitenden Nervenbahnen in der Netzhautperipherie (im Gegensatz zum Zentrum) zu einer Zusammenfassung mehrerer Einzelemente des Sehepithels zu *einem* Empfindungskreise (RAMON Y CAJAL) führt. Diese Frage wird von etwas anderen Gesichtspunkten aus neuerdings auch von HARTMANN (b) in einer Kritik BARDScher Vorstellungen diskutiert. Endlich kommt die Schwierigkeit der Konzentrierung der Aufmerksamkeit auf peripher im Gesichtsfeld liegende feine Einzelheiten für das Ergebnis der Bestimmungen sicher wesentlich in Betracht<sup>1</sup>.

Zur Prüfung der Sehschärfe in der ärztlichen Praxis werden im allgemeinen Hilfsmittel verwendet, die von den beschriebenen abweichen. So benützt man die in den bekannten SNELLENSchen Quadratblock eingezeichneten Buchstaben, Haken oder Ringe. Wegen der besonderen Einrichtung dieser Untersuchungsmittel kann auf das Kapitel Untersuchungsmethoden in diesem Bande verwiesen werden. Bei der Verwendung solcher Leseprüben werden an das Auge zur Erreichung der „vollen“ Sehschärfe erfahrungsgemäß keine allzugroßen Anforderungen gestellt. Dies hat einmal in der Wahl der SNELLENSchen Einheit (mit dem Gesichtswinkel von 1'), sowie vor allem darin seinen Grund, daß die dargebotenen Buchstaben oder Ringe infolge der Mitwirkung des „Formensinnes“ schon erkannt werden, wenn die für das Sehen unter 1' bestimmten, die Buchstaben charakterisierenden Teile noch gar nicht mit jener Klarheit gesehen werden, die erforderlich sein würde, wenn die Aufgabe gestellt wäre, zwei unter demselben Gesichtswinkel dargebotene feinste Punkte oder Linien gesondert wahrzunehmen. Denn schon die verschiedene Art der Helligkeitsverteilung in den zustandekommenden Bildern gestattet vielfach ein richtiges Urteil über die Stellung des Hakens, die Öffnung des Ringes oder die Form des zu erkennenden Buchstabens. Dies illustriert auch der von GRII untersuchte Fall von Mikrographie, dessen Analyse das etwa 4fache des sonst üblichen vollen Sehschärfenwertes ergab. Es ist also sehr fraglich, ob die meistverwendete praktische Prüfungsmethode sich mit den Verfahrensweisen, die der eigentlichen Bestimmung des optischen Auflösungsvermögens dienen, so völlig deckt, wie es beabsichtigt war. Eher könnte von einer inneren Verwandtschaft mit der oben erwähnten „Noniusmethode“ (S. 380) gesprochen werden.

## 2. Das Augenmaß.

Unter dem Augenmaß versteht man die Fähigkeit, bei einfachem freitägigen Sehen ohne Zuhilfenahme besonderer Mittel die Größe oder Richtung der Sehdinge gegeneinander abzuschätzen. Bei der Beurteilung seiner Feinheit wird in der Regel die Prüfung des Vermögens, Größenunterschiede zu erkennen, zugrunde gelegt, da sich das Vermögen, Größenverhältnisse zu taxieren, auf weit komplizierteren Zusammenhängen aufbaut [HOFMANN (e) S. 91].

**Unterschiedsempfindlichkeit.** Das Hauptproblem, das man in den Untersuchungen über Feinheit und Grundlagen des Augenmaßes erörtert findet,

<sup>1</sup> Kompliziert erscheinen diese Verhältnisse weiterhin bei Gültigkeit des AUBERT-FÖRSTERSchen Phänomens, das besagt, daß die Sehschärfe der Netzhautperipherie nicht nur vom Gesichtswinkel des Objektes, sondern auch von seiner Entfernung bestimmt werde, so daß kleinere und nähere Objekte mehr peripheriewärts noch erkannt würden als größere und entsprechend fernere. Nach JAENSCH (d) sollte diese Erscheinung dadurch zustandekommen, daß wir unter demselben Gesichtswinkel gesehene fernere Dinge größer schätzten als nähere, und daß wir infolgedessen auf größere Entfernung unsere Aufmerksamkeit nur einem kleineren Ausschnitte des Gesichtsfeldes zuwendeten als auf geringere. Wie indessen KREIKER zeigte, ist bei der Prüfung unter besonderen Kautelen von dem Phänomen nichts mehr zu bemerken. Er empfiehlt das Arbeiten mit COHNSchen Ringen oder AMMONSchen Haken und fordert außerdem, daß jener Grenzwert des Erkennens aufgesucht werde, bei dem eine Täuschbarkeit des Urteiles („relatives Erkennen“) nicht mehr besteht. Nur bei Verwendung leuchtender Punkte (als zu sondernder Objekte) wird nach KREIKERs Feststellung das Phänomen beobachtet, und zwar, wenn auch in verschiedener Abstufung, sowohl im Zentrum als in der Peripherie der Netzhaut.

zielt auf die Entscheidung ab, ob hier ebenso wie bei einer Reihe anderer Sinnesleistungen die Gültigkeit des WEBERSchen Gesetzes abgeleitet werden könne, nach welchem der eben merkliche Unterschied beim Vergleich verschieden langer Strecken einen konstanten Bruchteil der Streckenlänge betragen müßte. Grundsätzlich ist in dieser Hinsicht zu bemerken, daß die Werte der Unterschiedsempfindlichkeit des Raumsinnes mit jenen beim Druck- oder Lichtsinne schon deshalb unvergleichbar sind, weil es sich beim Raumsinne nicht wie bei diesen um den Vergleich *verschieden starker* Reizungen der *gleichen* Endorgane handelt, sondern um die Beurteilung der Ausdehnung einer der Intensität nach *gleichen Reizung* auf eine *verschiedene Zahl* von Endorganen.

Erfahrungsgemäß wird das Augenmaß unter Zuhilfenahme von Augenbewegungen nutzbar gemacht; beim Streckenvergleich z. B. verfährt man instinktiv so, daß man den Blickpunkt bald auf die Mitte der einen, bald auf die der anderen Strecke verlegt und die Strecken, wenn die Verhältnisse es gestatten, nacheinander auf denselben Netzhautstellen abbildet. Entsprechend verfährt man, um den Parallelismus zweier Linien zu prüfen, indem man den Blick in der Mitte zwischen beiden Linien hingleiten läßt und ihren Abstand sozusagen in den „Zirkel der zwischen beiden Netzhautbildern liegenden Netzhautstrecke“ faßt. Wie schon HELMHOLTZ erwähnt, nimmt man die Gleichheit zweier Winkel am sichersten wahr, wenn ihre Schenkel parallel liegen.

Eine genügend lange und bestimmte Persistenz der von der ersterfolgenden Reizung herrührenden Netzhauterregung oder ihres Erinnerungsbildes vorausgesetzt, könnte unter diesen günstigsten Bedingungen des Vergleichens eine Feinheit des Augenmaßes erwartet werden, wie man sie für die Empfindlichkeit für Lageunterschiede nach der Noniusmethode findet [VOLKMANN (d)]. In der Tat trifft dies beim Vergleich ganz kurzer Strecken von etwa 40'' abwärts, d. h. beim Beobachten mit fovealen oder ganz foveanahen Netzhautstellen, auch zu. Es werden hier die absoluten Längenunterschiede wahrgenommen, und das schlechtere Ergebnis beim Vergleich längerer Strecken hat offenbar nur insofern etwas mit der zunehmenden Streckenlänge zu tun, als hierbei die Bilder aus dem fovealen Bezirk mehr und mehr auf Netzhautstellen rücken, deren Sehschärfe schon merklich geringer ist. Die Gültigkeit des WEBERSchen Gesetzes wird hier allem Anscheine nach nur vorgetäuscht. Dies Ergebnis ist bei näherer Betrachtung auch aus den Untersuchungen von MERKEL, CHODIN, R. FISCHER (a), HIGIER und WUNDT (d) zu entnehmen; doch vergleiche man hierzu auch den neuen Versuch einer Ausdeutung dieser Verhältnisse durch HOFMANN (f).

**Bedeutung der Augenbewegungen.** Darf nach dem Gesagten für den angeführten einfachsten Fall das Maß für die Feinheit des Größen- und Richtungsvergleiches bei bewegtem Blick, wenigstens grundsätzlich, in der Feinheit des Ortssinnes der Netzhaut gesucht werden, so sind die Grundlagen des Augenmaßes hiermit allerdings noch nicht erschöpft. Denn die Verhältnisse dürften gerade im täglichen Leben nur selten so einfach liegen, daß eine sukzessive Abbildung der zu vergleichenden Größen auf denselben Netzhautstellen möglich wäre. Auch wenn dies ausgeschlossen ist, pflegt der Vergleich bei bewegtem Blick gesucht zu werden, und zwar, wie FECHNER (c) und WUNDT (d, Bd. 2, S. 574) vermuten, um die Längenschätzung aus der Art der Muskelempfindungen bzw. der Innervationsanstrengungen beim Durchwandern der Vergleichsstrecken mit dem Blicke zu gewinnen.

Dieser Gesichtspunkt, dem wir bei unseren späteren Erörterungen noch mehrfach begegnen werden, hat sich in der Folge als nicht richtig erwiesen, da gezeigt werden konnte (HERING, HILLEBRAND), daß die Verhältnisse in Wirklichkeit gerade umgekehrt liegen, indem nicht die Augenbewegung die Schätzung des

Abstandes zweier Punkte ermöglicht, sondern die Innervation zur Blickbewegung vom einen Punkte zum anderen erst auf Grund der Abstandsschätzung erfolgt, *diese also der Augenbewegung vorangeht.*

Das Durchwandern der zu vergleichenden Strecken mit dem Blick muß also einen anderen Sinn haben, und dieser ist wohl darin zu suchen, daß die verschiedenen Teile der Strecken sukzessive aus der Undeutlichkeit des indirekten Sehens in die Schärfe des direkten gebracht und damit sicherer vergleichbar werden (s. z. B. BINNEFELD). In dieser Hinsicht darf auch nicht vergessen werden, daß den verschiedenen Netzhautregionen ein ganz verschiedener „Maßstab“ eigen ist, so daß der Vergleich direkt und indirekt gesehener Strecken schon aus diesem Grunde nicht nur sehr unsicher, sondern vor allem sehr ungenau ist [GUILLERY (a)].

Über diese Dinge wird weiter unten ausführlicher zu sprechen sein. Vorläufig sei nur kurz erwähnt, daß auch bei Beobachtung mit bewegtem Blick vertikale Strecken gegenüber horizontalen in ihrer Größe *überschätzt* werden, so daß bei der Einstellung auf scheinbare Gleichheit jene zu kurz ausfallen.

### 3. Die geometrisch-optischen Täuschungen.

Sehr wesentlich wird die Größe und die Richtung, in welcher wir im Sehfeld gegebene Strecken sehen, durch das gleichzeitige Wirken anderer optischer Reize beeinflusst. In ausgesprocheneren Fällen dieser Art kommt es zu sehr weitgehenden Abweichungen der subjektiven Lokalisation von der objektiv bestehenden Anordnung der Dinge, so daß man geradezu von „optischen Täuschungen“ zu reden pflegt. Die Bedingungen der Beobachtung sind dann so, daß das Augenmaß mehr oder weniger vollständig im Stiche läßt.

Die in Frage stehenden Täuschungen sind als solche wohl ziemlich allgemein bekannt. Zu ihrer Demonstration werden meist ganz einfach gehaltene flächenhafte geometrische Zeichnungen benutzt, die das Wesentliche wegen des Fehlens störender Nebeneinflüsse in besonders eindringlicher Form zeigen, daher die Bezeichnung als geometrisch-optischer Täuschungen (OPPEL [b]), doch ist nicht zu bezweifeln, daß auch unter komplexeren Verhältnissen, dann allerdings wohl meist etwas modifiziert, ähnliche Wirkungen zustande kommen.

Daß es sich um Lokalisationsänderungen handelt, die durch das Hinzutreten neuer Reize bedingt sind, kann man sich in einfachster Weise anschaulich machen, wenn man die einander beeinflussenden Teile der Zeichnungen dem Auge zunächst einzeln darbietet und sie erst dann gleichzeitig wirken läßt. Hierzu steht sowohl die Methode der Doppelprojektion [WUNDT (c)], als vor allem das Verfahren von BÜHLER zur Verfügung, die beiden Teilzeichnungen auf Vorder- und Rückseite eines durchscheinenden Schirmes anzubringen und zur Beleuchtung des Schirmes von vorne und hinten gesonderte Lichtquellen zu verwenden.

Die folgende Besprechung der geometrisch-optischen Täuschungen muß sich, unter Heranziehung einiger Beispiele, auf die Entwicklung der wichtigsten Prinzipien beschränken, nach denen die Erscheinungen verlaufen können. Zur genaueren Orientierung über das Gesamtgebiet und die Einzelheiten der bestehenden Erklärungsmöglichkeiten sei auf die ausführliche Darstellung F. B. HOFMANNs (e) verwiesen.

Man pflegt die Erscheinungen in drei Gruppen einzuteilen.

**Täuschungen über Strecken- und Winkelgrößen.** In die *erste* Gruppe gehören die Täuschungen über Strecken- und Winkelgrößen, die dadurch hervorgerufen werden, daß die eine der beiden Vergleichsdistanzen mit „Details“ gefüllt ist, die andere nicht. So wird eine mehrfach geteilte Strecke länger gesehen als eine gleich lange leere. Dasselbe gilt von einem mehrfach geteilten

Winkel, und ebenso erscheint (s. Abb. 6) das Quadrat *A* als Rechteck mit vertikaler, *B* als solches mit horizontaler langer Seite [näheres s. bei AUBERT (a, S. 266), KUNDT, KNOX, LEWIS]. Ist die Zahl der Teilstriche zu gering, so kann, wie beiläufig bemerkt sei, der Effekt auch der umgekehrte sein und die geteilte Strecke kleiner erscheinen.

**Täuschungen durch Richtungsänderung.** In eine zweite Gruppe kann man diejenigen Täuschungen zusammenfassen, die nach einer Vermutung HERINGS (a)

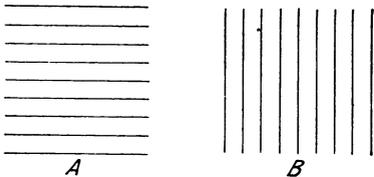


Abb. 6. Täuschung über Streckengrößen. (Nach HERING.)

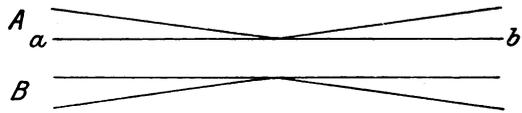


Abb. 7. Täuschung über Winkelgrößen. (Nach HERING.)

darauf beruhen, daß spitze Winkel im Vergleich zu angrenzenden stumpfen in ihrer Größe *überschätzt* werden.

Hieraus ergeben sich primär die *scheinbaren Richtungsänderungen* einzelner Linien, die dann weiterhin zur scheinbaren Größenänderung ganzer Figuren führen können.

Der einfachste Fall dieser Art ist in Abb. 7 abgebildet, wo die beiden parallelen Geraden infolge der scheinbaren Vergrößerung der spitzen Winkel

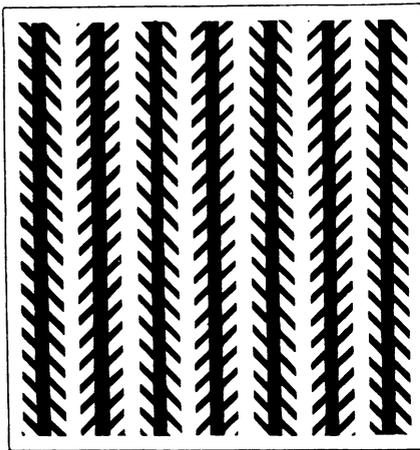


Abb. 8. ZÖLLNERSche Täuschung.

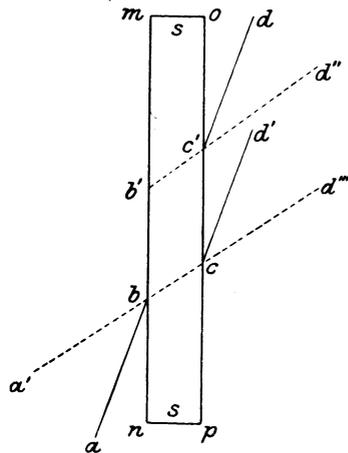


Abb. 9. POGGENDORFFSche Täuschung. (Nach HERING.)

am Winkelscheitel einen Knick zeigen. Eine ähnliche Figur, bei der durch die Häufung spitzer Winkel eine ganz eindringliche scheinbare Krümmung eines parallelen Linienpaares resultiert, ist als HERINGSche Täuschung bekannt [s. bei HOFMANN (e, S. 115f.)].

Weiterhin gehört in diese Gruppe die ZÖLLNERSche Figur (s. Abb. 8), die den vom parallelen scheinbar abweichenden Verlauf der langen schwarzen Striche besonders dann deutlich zeigt, wenn man diese schräg (um 45° geneigt) stellt [ZÖLLNER (b)]. Die gleiche Figur läßt auch die sog. POGGENDORFFSche Täuschung sehr eindringlich hervortreten, die darin besteht, daß

die schrägen kurzen „Leitersprossen“ nicht ungebrochen durch die langen Linien hindurchzugehen, sondern bajonettartig parallelverschoben weiterzulaufen scheinen. Die Täuschung, die bei vertikaler oder horizontaler Stellung der langen schwarzen Linien am zwingendsten ist, verschwindet, wenn man in der Richtung der Sprossen auf die Figur blickt [Lit. s. bei WITASEK (b)]. Der Zusammenhang dieser Täuschung mit der Überschätzung der spitzen Winkel bei  $b$  und  $c'$  ist aus der (auf HERING zurückgehenden) Abb. 9 zu entnehmen: da die Gerade  $a d$ , übertrieben gezeichnet, in der Richtung  $a' b$  gesehen wird, und ihr zweites Teilstück anstatt in der Richtung  $c' d$  in der Richtung  $c' d''$  weiterzulaufen scheint, die mit der Richtung  $a' b$  zwar parallel, ihr gegenüber aber nach oben verschoben ist, so kann die Gerade  $a d$  nicht als geradlinig durchgehend gesehen werden<sup>1</sup>.

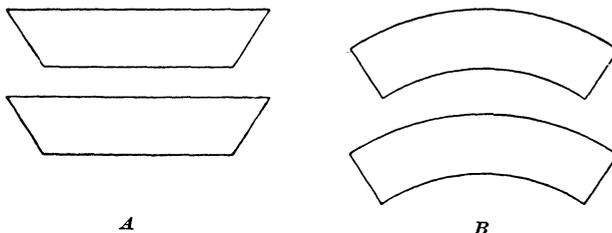


Abb. 10. Trapeztäuschung.

Daß ganze Figuren in ihrer Größe verändert erscheinen können, wenn sie in geeigneter Weise nebeneinander gelegt werden, zeigt die bekannte „Trapeztäuschung“ der Abb. 10, die sich leicht auf das Prinzip der scheinbaren Winkelvergrößerung zurückführen läßt, wenn man sich zwischen den seitlichen Spitzen der oberen und unteren Figuren die Verbindungsgeraden gezogen denkt. Diese scheinen nach dem Schema der ZÖLLNERSchen Täuschung nach oben zu konvergieren, obgleich sie in Wirklichkeit streng parallel verlaufen.

**Täuschung durch „Kontrast“ und „Angleichung“.** Zu der dritten Gruppe endlich seien einige Beispiele angeführt, die einerseits als Erscheinungen einer Kontrastwirkung, andererseits umgekehrt als die Wirkung einer Angleichung [WUNDT (d, Bd. 2, S. 589)] aufgefaßt werden können.

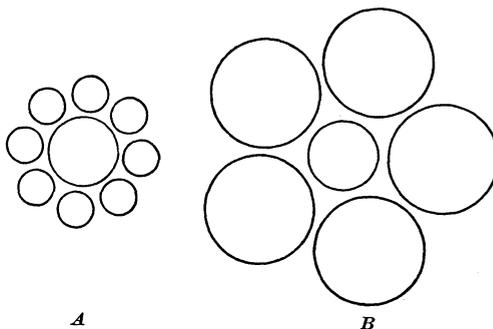


Abb. 11. Täuschung durch Kontrast.

Der erste Fall („Kontrast“) ist aus Abb. 11 ersichtlich, wo ein Kreis bestimmter Größe in der Nachbarschaft kleinerer Kreise größer erscheint als in der Nachbarschaft größerer Kreise. Mit Winkeln und Strecken läßt sich diese Kontrastwirkung ebenfalls sehr deutlich zeigen.

Das Gegenstück, die Angleichung, sei am Beispiel der Abb. 12 erläutert, wo der äußere Kreis der Teilfigur A durch den eingeschriebenen kleineren Kreis scheinbar verkleinert wird und kleiner erscheint als der ebenso große innere Kreis der Teilfigur B, der durch den umgeschriebenen größeren Kreis scheinbar

<sup>1</sup> Von VELINSKY wird diese Täuschung in Ablehnung der HERINGSchen Erklärung auf eine „Diskoordination“ der Blickbewegung zurückgeführt, die bei Schrägbewegungen der Augen bestehe und beim Überschreiten des leeren Feldes zwischen den beiden Parallelen ein Abgleiten der Blicklinie bedinge.

vergrößert wird. Die Erklärung dieser Erscheinungen wird darin gesehen, daß man in den Figuren nicht den einzelnen Kreis beachte, sondern die Kombination der beiden Kreise als *ein* in sich geschlossenes Objekt auffasse, eine Erklärung, die es auch verständlich macht, warum die Täuschung der Abb. 7 gerade umgekehrt ausfällt, wenn man den spitzen Winkel schwarz ausfüllt und die beiden Schenkel dieser Art innig zu *einem* Objekt miteinander verschmilzt.

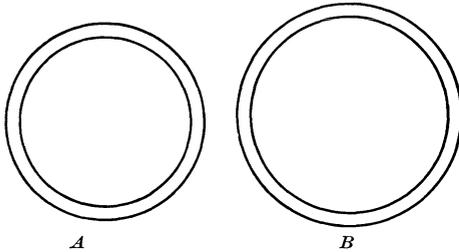


Abb. 12. Täuschung durch Angleichung.

auf die hübschen, sehr eindrucksvollen Angleichungsfiguren FRASERS. Beide finden sich in der Darstellung F. B. HOFMANNs ausführlich behandelt.

Zur Theorie der geometrisch-optischen Täuschungen sei kurz angeführt, daß für ihre Entstehung neben den peripheren Ursachen, die wenigstens für einen Teil von ihnen bereits aufgedeckt werden konnten [s. z. B. bei EINTHOVEN (c)], entschieden auch zentrale Ursachen in Frage kommen. Gegenüber dem Versuch, die Täuschungen als *reine* „Urteilstäuschungen“ hinstellen, muß

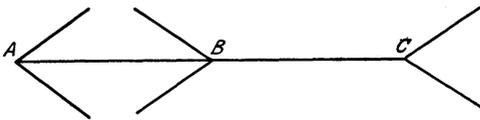


Abb. 13. MÜLLER-LYERsche Täuschung.

aber betont werden, daß es sich um solche schon deshalb nicht handeln kann, weil z. B. bei der erwähnten MÜLLER-LYERschen Täuschung in einer von BENUSSI (a) getroffenen Modifikation beim bloßen Hinzu- und Hinwegdenken der Nebenreize eine Vergrößerung bzw. Verkleinerung der Vergleichsstrecken unmittelbar *gesehen* wird. Für die meisten der sonst aufgeführten Täuschungen gilt das gleiche. Man muß also wohl annehmen, daß zentrale Einflüsse zwar sicher mitwirken, daß aber unter diesen der anschauliche Bewußtseinsinhalt selbst tatsächlich ebenfalls geändert wird. Ein ganz entsprechender Einfluß zentraler Faktoren ist, wie besonders betont sei, für die Modifizierung des primären Empfindungsinhaltes durch die sog. empirischen Motive der Tiefenlokalisierung schon längst erkannt (HERING).

#### 4. Die Grundlagen der optischen Lokalisation nach Höhe und Breite.

##### a) Die Verteilung der Raumwerte auf der Einzelnetzhaut.

**Diskrepanzen zwischen objektiver Lage und subjektiver Lokalisation.** Neben den soeben besprochenen sog. *variablen* Täuschungen über die objektive Anordnung und Größe der Außendinge, die von den im somatischen Sehfeld gleichzeitig gegebenen Erregungen abhängen, sind nun im folgenden die *dauernden* Diskrepanzen zu besprechen, die zwischen der subjektiven optischen Lokalisation der Sehdinge und der objektiv-geometrischen Anordnung der Außendinge

Das bekannteste Beispiel der hierher zu rechnenden Täuschungen ist jene von MÜLLER-LYER (a, b), in dem offenbar ebenfalls die Angleichung infolge der komplexen Gestalt- oder Formauffassung zu dem verschiedenen langen Aussehen der beiden gleichlangen Strecken AB und BC den Anlaß gibt (s. Abb. 13). Auf die große, gerade hierzu vorliegende Literatur kann an dieser Stelle ebensowenig eingegangen werden wie

ebensowenig eingegangen werden wie

bestehen. Da diese nur aus einer asymmetrischen Verteilung der Raumfunktionen auf das Mosaik der Einzelnetzhaut verständlich werden, so führt ihre Erörterung mitten hinein in das Problem der optischen Lokalisation überhaupt und liefert zu ihrer physiologischen Grundlegung ein hervorragend wichtiges Material.

Bei den in Frage stehenden Diskrepanzen zwischen objektiver Lagebeziehung und subjektiver Lokalisationsweise kommen sowohl sog. *Abstands-* oder *Streckentäuschungen* als auch *Lage-* oder *Richtungstäuschungen* in Betracht. Da es sich hierbei um den Vergleich der Funktion verschiedener Regionen der Netzhaut handelt, so ist bei der Untersuchung strenge Fixierung des Kopfes und Ruhigstellung des Auges, am besten in der Primärlage, unerläßliche Vorbedingung.

**Streckentäuschungen.** Unter den Streckentäuschungen steht der KUNDTsche Teilungsversuch im Vordergrund des Interesses. Bei der Aufgabe, eine *horizontale* Strecke nach dem Augenmaß zu halbieren, während man mit dem beobachtenden Auge dauernd die (verschiebliche) teilende Marke betrachtet, wird von der überwiegenden Mehrzahl der Menschen der temporalwärts gelegene Abschnitt *regelmäßig* etwas größer gemacht als der nasalwärts gelegene. So teilte KUNDT eine Strecke von 100 mm Länge auf 226 mm Distanz mit dem rechten Auge nach dem Verhältnis außen : innen = 50,155 : 49,845, mit dem linken Auge nach dem Verhältnis 50,33 : 49,67, was einer deutlichen Überschätzung der im Gesichtsfeld nasal gelegenen, auf der Netzhaut temporal abgebildeten Teilstrecke entspricht. Analog sind die Ergebnisse der meisten anderen Untersucher [HILLEBRAND (a), FEILCHENFELD (a), v. TSCHERMAK (e)]; nur ausnahmsweise wurde das Phänomen vermißt oder gar ein umgekehrtes Verhalten gefunden (MÜNSTERBERG, R. FISCHER). Die Konsequenzen, die sich aus dem Bestehen dieser in beiden Augen spiegelbildlichen Asymmetrie für die Lage der in beiden Netzhäuten identischen Punktpaare ergeben [HERING (a, H. 5, S. 118)], werden weiter unten (S. 415f.) erörtert werden.



Abb. 14. Erklärung im Text.  
(Nach F. B. HOFMANN.)

Ähnlich wie im horizontalen liegen die Verhältnisse in den *übrigen Meridianen* der Netzhaut. Bei der Gegenüberstellung der oberen und der unteren Netzhauthälfte (im vertikalen Mittelschnitte der Netzhaut) äußert sich die Diskrepanz zwischen subjektiver räumlicher Differenzierung und objektiv-geometrischer Anordnung der Netzhautelemente beim Versuch gleicher Streckenteilung in dem Sinne, daß der *obere*, unten abgebildete Abschnitt *kleiner* gemacht wird (z. B. von DELBOEUF, um etwa  $\frac{1}{16}$ ). Auch hier scheinen, allerdings ganz vereinzelte, Ausnahmen vorzukommen [R. FISCHER (a, b)].

Bei unseren Lettern ist auf diese Eigentümlichkeit der Überschätzung der oberen von zwei Teilstrecken Rücksicht genommen, indem der obere Bogen des S, der obere Kreis der 8, der obere Teil des B kleiner geschnitten werden als der untere, und indem Horizontalstriche, wie beim H, etwas über die Mitte gelegt werden. Wie Abb. 14 zeigt, wird dies sehr auffällig, wenn man die Buchstaben um  $180^\circ$  dreht, während es sonst die wenigsten Menschen merken.

Der Versuch, vom Fixationspunkt ausgehende vertikale und horizontale Strecken einander gleich zu machen, fällt für die meisten Beobachter so aus, daß die vertikale Strecke überschätzt, also zu klein eingestellt wird, zumal wenn sie nach oben geht. Bezieht man auch die schrägen Meridiane in die

Untersuchung ein, z. B. indem man nach v. TSCHERMAK (e) 16 weiße Scheibchen bei ruhig gehaltenem Blick auf einer schwarzen Scheibe in einen scheinbaren Kreis zu ordnen sucht, so gelangt man zu einer Anordnung, die deutlich zeigt, daß die funktionell „gleichwertigen“ Netzhautelemente in einem verschiedenen Abstände von der Netzhautmitte liegen. Das Ergebnis dreier solcher Versuche ist aus der Abb. 15 zu ersehen, in der die Netzhautstellen, die den Eindruck konzentrischer und äquidistanter Kreise vermitteln (unter Wiedergabe von allerdings nur 4 Kreisscheibchenbildern), gestrichelt miteinander verbunden sind. Es ergibt sich hieraus, daß geometrisch richtig um den Fixationspunkt gezeichnete Kreise nach unten, mehr noch nasalwärts und am meisten nach

oben ausgebuchtet erscheinen müßten.

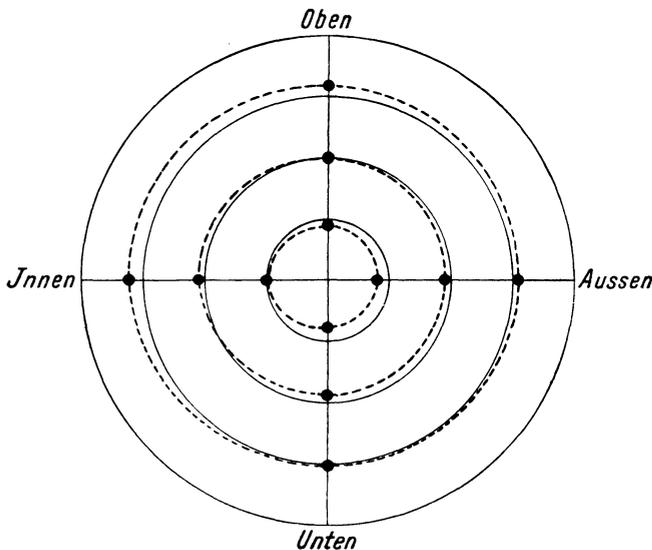


Abb. 15. Erklärung im Text S. 394.  
(Nach v. TSCHERMAK.)

**Zentrische Schrumpfung des Sehfeldes.** Da nun weiterhin auch der Maßstab des einzelnen Netzhautmeridianes in verschiedenem Abstand von der Netzhautmitte nicht gleich ist, sondern mit zunehmender Entfernung von der Fovea nachgewiesenermaßen [siehe z. B. bei AUBERT (a, S. 252)] immer kleiner wird, so folgt, daß beim Vergleich des objektiven Gesichtsfeldes und des subjektiven Sehfeldes das letztere eine *zentrische Schrumpfung* aufweist [R. FISCHER (a, b)], die nach dem Rande hin immer mehr zunimmt, nach absolutem Ausmaß und nach Art der

Abstufung freilich individuellen Schwankungen unterliegt. Daß hierfür nicht die Änderung des Gesichtswinkels der Objekte (der sog. „Tangentenfehler“) maßgebend ist, wurde besonders geprüft und konnte ausgeschlossen werden. Entsprechend erscheint von den binokularen Doppelbildern eines Objektes, z. B. des Mondes, das jeweils fixierte deutlich größer als das peripher abgebildete.

Die Beobachtung, daß auch das Gesamtgesichtsfeld beider Augen viel enger zu sein *scheint*, als es seiner objektiven Ausdehnung nach wirklich ist, war schon v. HELMHOLTZ (a, II., S. 556 bzw. 668) bekannt. Hierzu sind vor allem auch die Angaben von MORREY zu erwähnen, die beweisen, daß ein im Dunkelmzimmer peripher aufleuchtender Lichtpunkt immer viel näher an den Fixierpunkt lokalisiert wird, als es seiner tatsächlichen Lage entspricht.

Als eine unmittelbare Folge der zentrischen Schrumpfung des Sehfeldes kann die Erscheinung betrachtet werden, daß eine auf frontalparalleler Fläche in mehr oder weniger großer Entfernung neben dem Fixationspunkt vorbeilaufende gerade Linie gegen diesen konkav gekrümmt gesehen wird. Damit also eine peripher im Auge sich abbildende Linie gerade erscheint, muß ihr eine gegen den Fixationspunkt konvexe Krümmung gegeben werden, um so mehr, je peripherer sie liegt. Dieses Phänomen, das von HERING und v. HELMHOLTZ zuerst beobachtet wurde und das mit den einfachsten Hilfsmitteln reproduzierbar ist (weißer Papierstreifen, der peripher beobachtet wird), wurde von v. HELMHOLTZ zunächst mit den physikalischen Bedingungen der Beobachtung in Verbindung

gebracht und aus der Art der Projektion der kugelig gewölbten Netzhautmeridiane (d. h. der „Richtkreise“ des Blickfeldes) auf die ebene Projektionsfläche zu erklären versucht.

Dieser Überlegung ist die Konstruktion der in Abb. 16 in  $\frac{3}{16}$  der Originalgröße wiedergegebenen „verzogenen Schachbrettfigur“ entsprungen, auf der die Trennungslinien des Feldes (als Hyperbeln) der Projektion der kugeligen Richtkreise auf die frontalparallele Ebene entsprechen; aus der unter *A* gegebenen (entsprechend verkleinerten) Entfernung müßte die Zeichnung also als reguläres Schachbrettmuster gesehen werden, was für v. HELMHOLTZ Auge auch annähernd der Fall war.

Daß das Phänomen der zentrischen Sehfeldschrumpfung indessen nicht einfach aus der mit zunehmender Exzentrizität Hand in Hand gehenden Verkleinerung des Gesichtswinkels erklärt werden kann, ergibt sich aus dem genauen Studium der Abbildung selbst, in der zwar die Abstände der Hyperbelscheitel in der mittleren Horizontal- und Vertikallinie unter gleichem Gesichtswinkel erscheinen, nicht aber die Abstände der außerhalb der horizontalen und vertikalen Mittellinie gelegenen Hyperbelpunkte; die Gesichtswinkel für die tangential gerichteten Strecken im Muster nehmen vom Zentrum zur Peripherie sogar ab. Tatsächlich also ist in dem Muster der für das Phänomen *wesentlichen* Eigentümlichkeit des Sehorganes Rechnung getragen, daß die zentrische Schrumpfung des subjektiven Sehfeldes *in radiärer Richtung deutlich ausgesprochener ist als in tangentialer*. Aus diesem Grunde werden die langausgezogenen Rechtecke oben und unten in dem Muster nicht zu schmal gegenüber ihrer Höhe, sondern nach v. HELMHOLTZ sogar eher zu breit, die nach rechts und links gelegenen nicht zu niedrig gegenüber ihrer Breite, sondern eher etwas zu hoch gesehen.

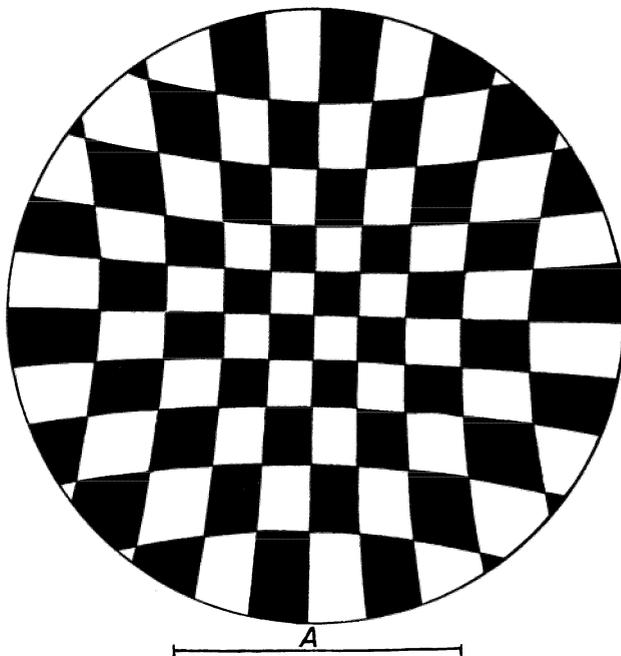


Abb. 16. Verzogene Schachbrettfigur.  
(Nach v. HELMHOLTZ.)

### Elementare Richtungstäuschungen.

Die grundlegende Beobachtung der *zweiten* Gruppe der konstanten Täuschungen, der sog. elementaren Richtungstäuschungen, ist die, daß die bei Primärlage des akkommodationslosen Auges unter Ausschluß aller empirischen Momente, die Empfindung der Vertikalen vermittelnde Netzhautpunktreihe (der sog. mittlere oder Hauptlängsschnitt nach HERING) mit dem Lotmeridian nicht übereinstimmt [HERING (a, H. 3, S. 175), v. HELMHOLTZ (g, h), VOLKMAN (c, d), BERTHOLD, DOBROWOLSKY, VAN MOLL (a, b), DONDE (b), v. TSCHERMAK (a), SACHS und MELLER (b)]. Die Abweichung hat bei fast allen Beobachtern den Sinn einer geringgradigen Divergenz der Längsmittelschnitte nach oben.

Im praktischen Versuche kommt diese Tatsache darin zum Ausdruck, daß eine in ihrer Mitte fixierte Gerade, um vertikal gesehen zu werden, mit ihrem oberen Ende um einen gewissen Winkelbetrag von der objektiven Vertikalen temporalwärts abweichen muß. Bei DONDE (b) betrug der mittlere Abweichungswinkel des Hauptlängsschnittes vom Lotmeridian  $3,304^\circ$ , zeigte aber in Abhängigkeit von einer ganzen Reihe von Faktoren (Akkommodation,

Blickrichtung, Fusionszwang) Schwankungen zwischen 4,85 und 2,6°. Ebenso sind die individuellen Abweichungen recht groß [STEVENS (a, b), HOFMANN und BIELSCHOWSKY].

Auch diese Netzhautasymmetrie kann, in seltenen Fällen, bei Akkommodationsruhe ganz fehlen, wird aber mit der Innervation von Akkommodation und Konvergenz dann nachweisbar (VOLKMANN, HERING, v. HELMHOLTZ). Derselbe Effekt einer Verstärkung der regulären Divergenz der Längsmittelschnitte tritt bei Blickhebung ein, während Blicksenkung umgekehrt eine Abnahme, schließlich einen Umschlag in Konvergenz bewirkt.

Daß es sich bei der geschilderten Diskrepanzerscheinung nicht einfach um eine habituelle fehlerhafte Orientierung der Netzhaut als Folge einer Rollung des Bulbus um die Gesichtslinie handeln kann, geht daraus hervor, daß die subjektive Horizontale unter den gleichen Bedingungen mit der objektiven Waage rechten in der Regel völlig oder fast völlig übereinstimmend gefunden wird [VOLKMANN (e); daselbst auch Zitate von WELCKER und SCHWEIGGER-SEIDEL, DASTRICH und BERTHOLD]. Die beobachteten Abweichungen haben höchstens 0,72° (WELCKER) erreicht, bleiben hinter jenen des mittleren Längsschnittes also weit zurück. Sie liegen so, daß die äußere Hälfte der scheinbaren Horizontalen etwas nach unten von der wirklichen abweicht.

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß an einem objektiv rechtwinkligen Kreuz der großen Mehrzahl der Beob-

achter der äußere obere Winkel stumpf, der innere obere erscheint und daß der senkrechte Balken nach oben innen geneigt gesehen wird.

Auch diese Tatsachen der Netzhautasymmetrie haben für die Frage der Korrespondenz beider Netzhäute im Dienste des binokularen Einfachsehens und der Tiefenwahrnehmung natürlich wichtige Folgen, über die später zu reden sein wird (s. S. 417).

Der Vollständigkeit halber muß noch angeführt werden, daß die *Abweichung des scheinbaren rechten Winkels vom wirklichen*, wie zuerst v. HELMHOLTZ fand, von der absoluten Lage der Schenkel abhängt. Für sein rechtes Auge erschien v. HELMHOLTZ der objektiv rechte Winkel richtig, wenn er ihn so drehte, daß der eine Schenkel um etwa 18° mit dem oberen Ende nach links von der Vertikalen abwich; bei einer Drehung um 45° weiter wurde dagegen ein Maximum der scheinbaren Winkelverzerrung erreicht. Die Beobachtung läßt erkennen, daß die in Frage stehende Richtungstäuschung in den verschiedenen Netzhautmeridianen verschiedene absolute Werte haben muß.

Eine erschöpfende Untersuchung dieser Verhältnisse liegt von BIHLER und insbesondere von R. FISCHER (b) vor, dessen Befunde in der Abb. 17 zusammengestellt sind. Die Aufgabe war, für einen *gestreckten* Winkel, und zwar bei den verschiedensten Einstellungen der die Winkelschenkel bildenden Geraden die Lage der Winkelhalbierenden zu suchen. Die in der Abbildung am Ende der radiären Strahlen vermerkten Zahlen geben in Prozenten die

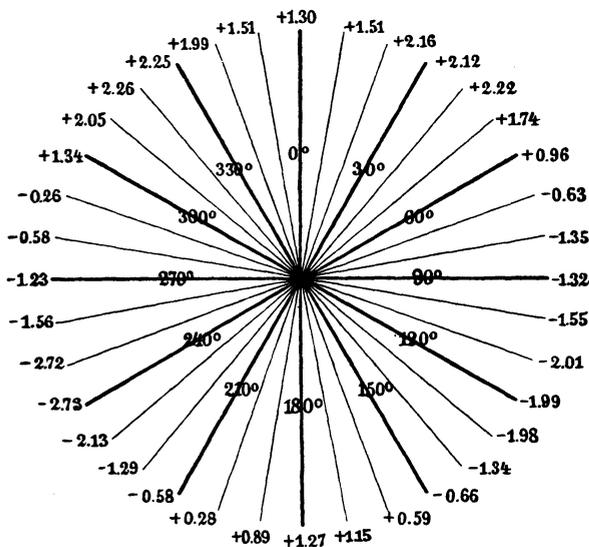


Abb. 17. Erklärung im Text S. 396 unten.  
(Nach R. FISCHER.)

Größe des konstanten Fehlers an, der gemacht wurde, wenn der betreffende Strahl die wirkliche Halbierende des gestreckten Winkels war. Ständen also z. B. die Schenkel des gestreckten Winkels entsprechend den Strahlen  $30^\circ$  und  $210^\circ$ , so wurde nicht die wirkliche Halbierende ( $120^\circ$ ) eingestellt, sondern eine um  $1,99\%$  von ihr abweichende Richtung, wobei das + Zeichen eine Abweichung im Sinne des Uhrzeigers, das — Zeichen eine solche im entgegengesetzten Sinne bedeutet. Es zeigt sich also die bemerkenswerte Tatsache, daß das Vorzeichen des Fehlers im vollen Umkreis von  $360^\circ$  viermal umschlägt, der Fehler dazwischen je ein Maximum erreicht, die Umschlagsstellen aber nur zweimal um  $90^\circ$  auseinanderliegen und die Maxima weder gleich groß sind, noch einander diametral gegenüberliegen. Dies ist wichtig, weil es zur Folgerung führt, daß die Winkelhalbierende, wenn man sie im Versuch über den Scheitel des gestreckten Winkels hindurchführt, bei gewissen Lagen im Kreuzungspunkte geknickt erscheinen muß, so oft nämlich die Richtungstäuschung in den beiden gegenüberliegenden Quadranten verschiedene Vorzeichen hat. Diese Ableitung konnte durch die Beobachtung von BERTHOLD experimentell bestätigt werden.

### b) Theoretische Folgerungen.

**Projektionstheorie.** Versuchen wir nun an der Hand der beschriebenen Erscheinungen der „Netzhautinkongruenz“, wie v. HELMHOLTZ die Abweichungen zwischen räumlich objektiv Gegebenem und subjektiv Empfundene, zwischen „Raumreizen“ und Raumempfindungen bezeichnete, die Anschauungen über die funktionelle Organisation der Einzelnetzhaut (einschließlich der ihr angeschlossenen Hirnteile) in theoretischer Hinsicht kritisch zu würdigen, so gelangen wir notwendig zu einer Ablehnung der Projektionstheorie in der Fassung, daß uns die Außendinge in der Richtung ihrer objektiven Knotenpunktstrahlen zu liegen scheinen. Da nach dieser Theorie ebenso wie nach der Lehre von der „Selbstanschauung der Netzhaut“ (JOHS. MÜLLER) volle Übereinstimmung zwischen der objektiven Lage der äußeren Reizquellen bzw. ihrer Bildpunkte auf der Netzhaut und ihrer subjektiven Lokalisation zu fordern wäre, so bedeuten die Tatsachen der retinalen Diskrepanzen für sie eine grundsätzliche Schwierigkeit.

**Einfluß des dioptrischen Apparates.** Einige der Diskrepanzerscheinungen hat man zwar, im Sinne der Projektionstheorie, aus Unvollkommenheiten des dioptrischen Apparates, z. B. aus Verzerrungen des Netzhautbildes infolge des Schiefstandes der Hornhaut (v. RECKLINGHAUSEN, S. 133) bzw. aus einer Asymmetrie im Bau des hinteren Augenpoles (A. FICK) erklären zu können geglaubt, doch sind diese Versuche aufgegeben worden, da sich die in dieser Hinsicht nachweisbaren Unregelmäßigkeiten als zu geringfügig und unsicher erwiesen, um etwa die KUNDTSCHE Teilung oder die Unterschätzung der horizontalen gegenüber den vertikalen Strecken, die doch als geradezu gesetzmäßige Eigentümlichkeiten zu bewerten sind, aus ihnen herleiten zu können [VOLKMANN (e)]. Auch die fast immer „richtige“ Lokalisation der Horizontalen mußte in dieser Hinsicht Bedenken erwecken [v. TSCHERMAK (e)].

Für die Erklärung der zentrischen Schrumpfung des Sehfeldes kann im Sinne der erwähnten Theorien geltend gemacht werden, daß unter der Annahme einer für alle Strahlenrichtungen gültigen Lage des Knotenpunktes (einige Millimeter vor dem Krümmungsmittelpunkt der sphärisch gewölbten Netzhaut) aus rein geometrischen Gründen mit einer Abnahme der Netzhautbildgröße gegen die Peripherie hin zu rechnen sei. Bleibt dies, soweit hierüber Angaben von genügender Genauigkeit überhaupt möglich sind, auch zuzugeben, so müßten zur Erklärung, z. B. der Tatsache, daß der subjektive Maßstab nicht nur im gesamten Sehfeld gleichmäßig, sondern auch lokal in recht unregelmäßiger Weise dauernden funktionellen Schwankungen unterliegt, Hilfsannahmen gemacht werden, durch die das Prinzip der Projektionslehre dem Geiste nach ohnedies durchbrochen würde.

**Theorie von HERING.** Ähnliche Schwierigkeiten haften der in Weiterbildung JOHS. MÜLLERScher Ideen von E. HERING geschaffenen umfassenden Theorie des optischen Raumsinnes *nicht* an, nach welcher dem einzelnen nervösen Element des Sehorganes (von der Netzhaut bis zur Hirnrinde gerechnet) charakteristische „Lokalzeichen“ (LOTZE) oder „Raumwerte“ zugeschrieben werden. Mit der Annahme einer besonderen physischen Beschaffenheit des einzelnen lichtempfindlichen Elementes ist für die räumlichen Qualitäten unserer Gesichtsempfindungen eine Grundlage gegeben, die geeignet erscheint, die Summe der Beobachtungstatsachen nicht nur einer logisch geschlossenen, sondern auch biologisch befriedigenden Erklärung zuzuführen.

Das *Lokalzeichen* schließt nach HERING für die Funktionsweise des Einzelelementes eine doppelte räumliche Bestimmung in sich, eine solche der Lokalisation nach der Höhe sowie nach der Breite. Es ergibt sich also je eine bestimmte „Schrichtung“, in die wir die durch die einzelnen Elemente des Netzhautmosaikos vermittelten Empfindungen lokalisieren. Die als Hauptsehrichtung bezeichnete Sehrichtung der Fovea weist auf den „*Kernpunkt*“ des Sehfeldes (HERING) hin, der bei Primärstellung des Auges in der Richtung geradeaus nach vorne liegt, und um sie gruppieren sich büschelförmig die „Nebensehrichtungen“ der exzentrischen Netzhautstellen so, daß sie insofern eine von Natur festliegende Bestimmung haben, als ein rechts neben der Fovea liegender Netzhautpunkt einen Linkswert, ein links liegender einen Rechtswert, ein über bzw. unter der Fovea gelegener entsprechend einen Tief- bzw. Hochwert besitzt. Das System der Nebensehrichtungen darf also nicht um die Hauptsehrichtung als Achse drehbar gedacht werden.

Im übrigen aber bestimmt die durch das Lokalzeichen festgelegte physiologische Qualität der Mosaikglieder, wie dies das vielfache Schwanken der Größenwerte im subjektiven Sehfeld nahelegt und v. TSCHERMAK (e) im Sinne der HERINGSchen Auffassung mit Recht hervorhebt, zunächst nur die *relative* Anordnung der durch sie vermittelten optischen Eindrücke, d. h. die *relative Lokalisation*. Die retinalen Lokalzeichen bedeuten zunächst nur Ordnungswerte, sie entsprechen an sich *nicht bestimmten absoluten* Abstands- und Größenwerten. Durch diese Feststellung soll mit allem Nachdruck gekennzeichnet werden, daß die bei der Reizung des einzelnen Sehelementes auftretende Gesichtsempfindung nach der Größe ihrer Abweichung vom fixierten Punkte weder durch die Richtung des einfallenden Knotenpunktstrahles („wie wenn dessen Richtung empfunden würde“) bestimmt wird, noch auch durch ihre (absolute) Lage in der Einzelnetzhaut, wie es der Lehre JOHS. MÜLLERS von der Selbstanschauung der Netzhaut bzw. von der „Ortsidentität“ entspräche. Während also nach dem Gesagten durch die Bestimmung von Höhen- und Breitenwert des einzelnen Sehfeldeselementes die Einstellung der „Sehfeldscheibe“ in das Koordinatensystem vertikal: horizontal, links: rechts von vorneherein gegeben ist, vermitteln die Lokalzeichen als reine Ordnungswerte innerhalb desselben Netzhautmeridians nur *relative* Größen- und Distanzwerte.

Wie man sich auf Grund der besprochenen Beobachtungstatsachen die Verteilung der Lokalzeichen auf das Mosaik des Augenhintergrundes im einzelnen zu denken hat, braucht an dieser Stelle nicht näher abgeleitet zu werden, da es sich aus den Tatsachen der Sehschärfeverschiedenheit im direkten und indirekten Sehen, aus der zentrischen Schrumpfung des Sehfeldes, aus der Inkongruenz der Netzhäute usw. von selbst ergibt. Überdies wurde bei der Besprechung dieser Einzelfragen, wenn auch kurz, hierauf bereits Bezug genommen.

**Andere Erklärungsversuche.** Es soll nicht unerwähnt bleiben, daß mehrfach versucht worden ist, die Tatsachen der Netzhautinkongruenz anders als aus einer Asymmetrie bestimmt angeordneter Lokalzeichen zu erklären.

So wollte z. B. FEILCHENFELD (a) die Überschätzung der nasalen Hälfte einer horizontalen und der oberen Hälfte einer vertikalen Strecke auf die asymmetrische Form des einäugigen Gesichtsfeldes zurückzuführen. Es sollte sich hier um eine „Kontrastwirkung“ handeln, indem neben dem temporalen bzw. dem inneren Ende der zu halbierenden Strecke ein viel größeres Stück des Gesichtsfeldes frei bleibe als neben dem nasalen und oberen Ende. Daß dieser Wirkung kein ausschlaggebender Einfluß zukommt, ist u. a. aus der Feststellung von VALENTINE zu entnehmen, nach der die Überschätzung vertikaler Strecken bei binokularem Sehen keineswegs größer wird, obgleich dies infolge der Quererweiterung des (binokularen) Gesichtsfeldes gegenüber dem monokularen nach FEILCHENFELD zu erwarten wäre. Dasselbe lehren Versuche mit röhrenförmigen Blenden.

Mehr Beachtung verdient wohl der für die ungleiche Teilung vertikaler Strecken herangezogene Gedanke, daß unter den gewöhnlichen Verhältnissen des Sehens die unteren Teile des Gesichtsfeldes meist von uns näher liegenden, die oberen von uns ferner liegenden Gegenständen gefüllt sind, so daß wir oben Erscheinendes in größere Ferne zu lokalisieren pflegten und deshalb größer sähen als unten Erscheinendes [FÖRSTER (b), v. HELMHOLTZ (a, I., S. 800), HERING (d, S. 572), FRÖHLICH, FILEHNE (c), JAENSCH (b, S. 200 f.)].

### e) Die Veränderlichkeit des subjektiven Maßstabes.

Die alltägliche Erfahrung lehrt, daß das soeben entworfene Bild der relativen Raumwertverteilung im somatischen Sehfeld weder hinsichtlich des sich ergebenden allgemeinen Maßstabes, noch hinsichtlich der örtlichen Maßstabverschiedenheiten starr und unveränderlich besteht. Neben Einflüssen, die allgemeine proportionale Maßstabveränderungen bewirken, gibt es solche, die lokale Änderungen machen und damit die an sich bestehenden Verschiedenheiten entweder verschärfen oder verwischen. Wie vor allem HERING immer wieder betont hat, belehrt uns auch diese Tatsache darüber, daß die Größe des Gesichtswinkels, unter dem ein Außending sich auf der Netzhaut abbildet, für seine scheinbare Größe nicht allein maßgebend ist [HERING (a), VOLKMANN (e), PANUM (a), G. MARTIUS].

**Beobachtungsatsachen.** Um dies näher zu belegen, seien folgende leicht reproduzierbare Versuche angeführt.

Hält man seine Hand zunächst auf Armlänge vor sich und bewegt sie dann, indem man ihr mit der Akkommodation folgt, näher und näher an das Auge heran, so ändert sich ihre Sehgröße fast nicht. *Keinesfalls* entspricht ihre scheinbare Größenänderung auch nur entfernt der sehr beträchtlichen Änderung des Gesichtswinkels. Führt man den Versuch in der Weise aus, daß man die Sehgröße festliegender ferner Objekte beachtet, die neben der bewegten (mit den Augen verfolgten) Hand sichtbar sind, so wird man sich leicht davon überzeugen, daß die Einstellung des Auges auf die Nähe mit einer Verkleinerung, die Einstellung auf die Ferne mit einer Vergrößerung des subjektiven Maßstabes verbunden ist, die alle im Sehfeld befindlichen Sehdinge gleichmäßig umfaßt. Die Maßstabänderung, die hier zutage tritt, ist nachgewiesenermaßen von weit größerem Betrage, als es der mit der Akkommodation verknüpften Änderung der Netzhautbildgröße entspräche.

Übrigens ist die verschiedene Auswertung der Bilder naher und ferner Objekte auch schon *bei ruhig gehaltenem Auge* sicher gegeben [KAILA (b)]; freilich wird sie durch Blickwechsel nach der Tiefe unter Mitgehen der Akkommodation erheblich verstärkt. Die Änderung des subjektiven Maßstabes wirkt, wie man sieht, der Verkleinerung der Netzhautbilder bei Entfernung der Objekte

entgegen und gleicht diese innerhalb gewisser (enger) Grenzen auch völlig aus (BLUMENFELD)<sup>1</sup>.

Geht man über diese Grenzen hinaus, so genügt ihre kompensierende Wirkung zunehmend weniger und erlischt schließlich ganz. Bei ausgiebiger Verlagerung des Blickpunktes kommt es also schließlich dahin, daß von zwei Körpern, die sich in verschiedener Entfernung befinden, aber den gleichen Gesichtswinkel füllen, der fernere in geringerem Verhältnis größer gesehen wird, als seiner Entfernung entspricht [HOLTZ (a, b)].

Der ganze zur Rede stehende Tatsachenkomplex ist in einfachster Weise nach WITTE (1, S. 149) mit Hilfe eines dauerhaften Nachbildes zu studieren, das man auf verschieden weit vom Auge entfernten Flächen beobachtet. Bei geringer Entfernung der Fläche nimmt die Sehgröße des Nachbildes mit wachsender Entfernung zu. Blickt man aber schließlich auf ferne Häuser oder gar gegen den Himmel, so ist höchstens noch eine ganz unbedeutende Zunahme der Sehgröße festzustellen.

Bei der mit Änderung der Sehferne sich vollziehenden Änderung der Sehgröße bleibt die oben erwähnte charakteristische scheinbare Größendifferenz zwischen zentral und peripher abgebildeten Außendingen grundsätzlich bestehen.

**Mikropsie und Makropsie.** Besonders ausgesprochene Fälle von Änderung des Gesamtmaßstabes, „nach dem wir den subjektiven Raum messen“ (HERING), sind unter der Bezeichnung der Mikropsie und der Makropsie bekannt. Jene tritt bei (unvollkommener) Akkommodationslähmung durch Mydriatica (Atropin usw.) sowie nach Überanstrengung der Akkommodation beim Sehen in die Nähe, diese bei der Wirkung von Mioticis (Pilocarpin usw.) beim Sehen in die Ferne deutlich in die Erscheinung. Das Kleinererscheinen der Sehdinge bei der Mikropsie wird [M. SACHS (a)] mit dem *übermäßigen* Impuls zum Nahesehen erklärt, der zu einer stärkeren Verringerung der subjektiven Größenwerte führt, als es der wirklichen Nähe des Objektes entspricht. Bei der Makropsie liegen die Verhältnisse umgekehrt. Wegen weiterer Einzelheiten s. S. 437.

Bei den Bewegungsnachbildern wird von einer besonderen Form der scheinbaren Größenänderung im Sehfelde die Rede sein (s. S. 409).

**Lokalisiert bleibende Maßstabänderungen.** Im Gegensatz zu den Erscheinungen der proportionalen Änderungen des subjektiven Maßstabes im gesamten Sehfelde stehen die Erscheinungen mehr oder weniger streng lokalisiert bleibender Maßstabänderungen, wie sie den sog. geometrisch-optischen Täuschungen zugrunde liegen und oben an einigen Beispielen erläutert wurden.

Hinsichtlich der *Erklärung dieser Phänomene* muß es bei den dort gegebenen kurzen Andeutungen und Literaturverweisen vorerst sein Bewenden haben, da die zugrunde liegenden funktionellen Umstellungen des Sehorganes zu komplexer Art sind, um bereits einer Analyse zugänglich zu sein.

#### d) Die absolute Lokalisation im ebenen Sehfelde.

**Egozentrische Richtungslokalisation.** Die bis jetzt besprochenen Erscheinungen betrafen ausschließlich die Verhältnisse der gegenseitigen Anordnung der Sehdinge im ebenen Sehfeld, also die Verhältnisse der *relativen* optischen Lokalisation. Es ist die Frage anzuschließen, in welcher Richtung zum eigenen Körper uns das Sehfeld, insbesondere sein markantester Punkt, die Sehfeldmitte oder der „Hauptsehpunkt“, unter den verschiedenen Bedingungen des Sehens

<sup>1</sup> Die hier bestehenden Beziehungen sind, wie besonders bemerkt sei, nicht so zu denken, als ob dem Beobachter die Änderung der Netzhautbildgröße bekannt wäre und *bewußt* ausgeglichen würde, vielmehr handelt es sich um eine mit Änderung der *Sehferne* (s. auch S. 441) verknüpfte andersartige physiologische Reaktion des Sehorganes auf den einwirkenden Reiz.

zu liegen scheint: die Frage der *egozentrischen* oder *Richtungslokalisation*. Kommen den einzelnen Netzhautpunkten, deren Lokalzeichen zunächst als reine Ordnungswerte gekennzeichnet wurden, auch in dieser Hinsicht bestimmte Daten zu? Die für solche Erörterungen von HERING geschaffene Nomenklatur ist, wie schon auf S. 398 erwähnt wurde, die, daß die Sehrichtung der Fovea centralis als die *Hauptsehrichtung* den Nebensehrichtungen der übrigen Stellen des somatischen Sehfeldes gegenübergestellt wird.

Die Antwort auf die gestellte Frage hat dahin zu lauten, daß wir bei einäugigem Sehen über die Richtung, in der die den Sehdingen entsprechenden „wirklichen“ Dinge im Verhältnis zu den Hauptschnitten unseres Kopfes liegen, *im allgemeinen richtig* orientiert werden. Insbesondere gilt dies von den Außendingen, die auf den Stellen des direkten Sehens abgebildet, d. h. fixiert werden. Bei der in der Lehre von den Augenbewegungen als „Primärstellung“ definierten Augenstellung entspricht die Hauptsehrichtung der Richtung „geradeaus nach vorne“; die foveal abgebildeten Außendinge werden bei dieser Blicklage etwa in Augenhöhe in die Medianebene des Körpers lokalisiert. Für die Sehrichtungen der radiär nach allen Seiten sich anschließenden übrigen Sehfeldstellen, die den Richtungen nach außen, innen, oben und unten entsprechen, kann das Maß der Richtigkeit der Richtungslokalisation schon wegen der zentralen Schrumpfung des Sehfeldes und der Tatsachen der Netzhautinkongruenzen nicht das gleiche sein, vor allem wird auch die Richtungsempfindung mit zunehmender Exzentrizität immer *unbestimmter*. Daß sich ferner das Wechseln des subjektiven Maßstabes in dieser Beziehung auswirken muß, ist selbstverständlich. Immerhin ergibt sich aus dem Gesagten unter Berücksichtigung der charakteristischen Anordnung der Gesichtsfeldgrenzen zum Hauptsehpunkt eine bestimmte scheinbare Lage des Gesamtsehfeldes zu unserem eigenen Körper.

**Änderung der Raumwerte bei Augenbewegungen.** Diese Richtungslokalisation des Sehfeldes bleibt nun keineswegs immer die gleiche; sie ändert sich bei jeder willkürlichen Änderung der Blickrichtung. Wie die einfache Selbstbeobachtung lehrt, gleitet das Sehfeld hierbei über die ruhig in ihrer Lage verharrenden Sehdinge hinweg, füllt sich zum Teil mit neuen Sehdingen und stellt nun sozusagen einen anderen Ausschnitt aus der uns umgebenden Welt dar: es hat im ganzen seine scheinbare Lage zu den Hauptschnitten des Kopfes geändert. Der Hauptsehpunkt, der als die Mitte des Sehfeldes jetzt von einem anderen Sehding besetzt ist, entspricht nach wie vor der Erregung der Fovea centralis, aber er wird egozentrisch anders lokalisiert als in der Ausgangsstellung des Auges. Die Richtung „geradeaus nach vorne“ entspricht nicht mehr der Hauptsehrichtung; die der Medianebene des Kopfes entsprechende Richtung ist an eine der Nebensehrichtungen übergegangen, die sich im übrigen genau wie zuvor um die Hauptsehrichtung gruppieren und ebenfalls alle in eine neue Richtung weisen.

Die Tatsache, daß die Sehdinge ihre scheinbare Lage im Raume hierbei *nicht* ändern, obgleich ihre Netzhautbilder eine Verschiebung auf andere Netzhautelemente erfahren, kann nur so umschrieben werden, daß man von einer „Umstimmung“ der im somatischen Sehfeld gegebenen Raumwerte spricht, die mit der willkürlichen Augenbewegung Hand in Hand geht. Die absolute Größe dieser Änderung der Raumwerte ist der Änderung der Blicklage immer so angepaßt, daß die Verschiebung der Netzhautbilder gerade ausgeglichen wird, eine Erscheinung, die im Interesse der Einfachheit unserer Orientierung den Außendingen gegenüber von außerordentlicher Bedeutung ist.

Zur *Erklärung* des Mechanismus dieser „kompensatorischen“ Netzhautumstimmung bei bewußten Augenbewegungen sind zunächst die Vorgänge

im neuromuskulären Apparat des Auges herangezogen worden, und es wurde von verschiedenen Seiten [FECHNER (c), Bd. 1, S. 234, Bd. 2, S. 336 (b) S. 63; WUNDT (d) Bd. 2, S. 574 u. 637] die Annahme vertreten, daß entweder mit den an die Augenmuskeln abgehenden nervösen Impulsen spezifische „Innervationsempfindungen“ verknüpft seien oder daß der periphere Kontraktionsakt selbst zu „Spannungsempfindungen“, einem sog. „Stellungsbewußtsein“ des Auges führe. Auch den in den Augenlidern auftretenden Spannungsempfindungen wurde eine wesentliche Bedeutung beigemessen.

Wie schon an anderer Stelle angedeutet wurde (s. S. 388f.), war die nähere Untersuchung der Verhältnisse dieser Auffassung nicht günstig. Es konnte nicht nur gezeigt werden, daß wir im ganz verdunkelten Raum über die Stellung unserer Augen außerordentlich schlecht unterrichtet sind [BOURDON (e), S. 340, RÄHLMANN und WITKOWSKY, SACHS und WLASSAK, MARX], sondern es stellte sich auch heraus, daß weder grobe *passive* Dislokationen des Auges noch *aktive, aber unbewußt* ablaufende Augenbewegungen großer Amplitude trotz der dabei auftretenden Spannungsänderungen im Bewegungsapparat jemals zu einer entsprechenden Umstimmung der Netzhaut im Sinne einer Sehrichtungsänderung führen (HERING). Ein viel diskutiertes Beispiel hierfür sind die nystagmischen Augenbewegungen nach kräftiger Körperrotation, während deren Ablauf dargebotene objektive Reizlichter in flimmernder Bewegung erscheinen, ein auf der Netzhaut festliegendes dauerhaftes Nachbild dagegen keinerlei Bewegung erkennen läßt [HERING, s. aber auch WITASEK (c), DITTLER, GÖTHLIN]. Ähnlich erfahren bei passiver Bulbusverlagerung die gesehenen Außendinge eine der Verschiebung ihrer Netzhautbilder entsprechende Scheinverschiebung.

Der Sachverhalt kann also nicht, wie man zunächst vermutete, der sein, daß schlechthin jeder Blicklage, einerlei wie sie zustandekommt, eine bestimmt veränderte Raumwertverteilung entspricht. Die kompensatorische Umstimmung der Raumwerte setzt vielmehr nur bei *bewußt* ausgeführten Augenbewegungen ein, bei denen die Aufmerksamkeit des Beobachters dem Wandern des Blickes auf den neugewählten Blickpunkt schon *vorangegangen* ist. Die sensorische Umstimmung der Netzhaut, die nach den erwähnten älteren Vorstellungen die *Folge* der geänderten Augenstellung war, wird so zu einem Vorgang, der die Einstellung der Fovea auf den vorbewußten neuen Zielpunkt *begleitet*. Diese HERINGSche Anschauung findet ihre Bestätigung in den Untersuchungen SUNDBERGS, der den Ablauf willkürlicher Augenbewegungen mit *objektiven* Methoden verfolgte und ihren Charakter als Zielbewegungen feststellte, für deren Innervierung die *vorherige* Abschätzung der Entfernung des neuen Zielpunktes Voraussetzung ist.

Zum selben Ergebnis führten die sinnvoll angelegten Versuche HILLEBRANDS (f), durch die das Verständnis der Vorgänge bei den bewußten Blickbewegungen wesentliche Förderung erfahren hat, wenn sie auch nicht in allen Einzelheiten haltbar erscheinen (man vgl. die ausführliche Diskussion bei F. B. HOFMANN (e), S. 371f.). HILLEBRAND geht über die HERINGSche Anschauung darin noch hinaus, daß er die Umstimmung der Raumwerte der Netzhaut mit der Verlagerung des *Deutlichkeitsmaximums* aus der Mitte des Sehfeldes auf den neuen Zielpunkt verknüpft denkt, also der Augenbewegung zeitlich *voraufliegen* läßt. Hiergegen sind bestimmte, experimentell begründete Bedenken vorhanden; vor allem sprechen die Nachbilderscheinungen, die an einem leuchtenden Punkte im dunklen Raume bei Blickbewegungen zu beobachten sind [MACH (b), PURKINJE (b), LIPPS, CORNELIUS, SCHWARZ, PRANDTL], gegen ein so frühzeitiges Eintreten der Netzhautumstimmung. Auf der anderen Seite aber leuchtet ein, daß einer rein durch die Sensibilität des motorischen Apparates vermittelten Umstimmung, wie HILLEBRAND in Übereinstimmung mit den oben erwähnten

Autoren auch experimentell gezeigt hat, jenes Hochmaß an Präzision fehlen würde, das bei willkürlichen Blickbewegungen tatsächlich besteht. Auch das Nachhinken der sensiblen Führung infolge der für die Reflexübertragung benötigten Zeit erweckt hier Bedenken (DITTLER). Mit diesen Feststellungen soll, wie z. B. v. TSCHERMAK betont (e), nicht geleugnet werden, daß das aus der jeweiligen Verteilung des Tonus auf die Augenmuskeln resultierende, aber unbewußt bleibende objektive Spannungsbild unter Umständen zu einem wichtigen Hilfsmittel für die entsprechende Einstellung der Raumwerte des somatischen Sehfeldes werden kann. Dies wird ja auch von HERING (d, S. 413), SACHS und WLISSAK, BOURDON (d, S. 181) angenommen, insbesondere für die „Bestimmung“ gewisser wichtiger Ausgangslagen des Auges, wie der Primärstellung.

**Nachbildbewegung und Nystagmus.** Ein Sonderfall, in dem eine Abhängigkeit der Raumwertverteilung vom sensomotorischen Apparat des Auges sich äußern zu können scheint, ist neuerdings von DITTLER aufgezeigt und späterhin von KÖLLNER (g, h) sowie von GÖTHLIN bestätigt und theoretisch weiterverwertet worden. Es handelt sich um die Beobachtung rhythmischer Bewegungen an einem auf der Netzhaut festliegenden Nachbilde synchron mit den (abklingenden) Nystagmusschlägen nach Rotation um die Körperlängsachse im dunklen Raum, eine Beobachtung, die mit der HERINGSchen Aufmerksamkeits-hypothese in Widerspruch steht, da die nystagmischen Bewegungen unter diesen Umständen an sich völlig unbewußt bleiben. Warum die Erscheinung in DITTLERS Versuchen nur bei *einer* von fünf Versuchspersonen positiv war (die übrigen Beobachter sahen das Nachbild ruhig in der noch zu erwähnenden „Seitenstellung“), während die genannten Nachuntersucher sie in einem weit höheren Prozentsatz (GÖTHLIN bei etwa 60%) wiederfanden, ist zur Zeit schwer zu sagen.

F. B. HOFMANN (e, S. 380—387) neigt auf Grund eigener, mit VOM HOF (a, b) bei galvanischer Reizung des Labyrinthes sowie bei (nicht willkürlich zu beeinflussendem) rotatorischem Drehnachnystagmus gesammelter Erfahrungen dazu, das Auftreten der Scheinbewegungen des Nachbildes mit einem innervatorischen Eingreifen des Beobachters in den ablaufenden Nystagmus in Verbindung zu bringen. GÖTHLIN geht bei der Erklärung seiner Befunde, entgegen der HERINGSchen Hypothese, wieder von der Annahme einer Präponderanz *nicht-visueller* Faktoren aus. Er stellt die Arbeitshypothese auf, durch die Übung des Blickes habe jede *nichtvisuelle* Empfindung oder Vorstellung von der Lage bzw. der Bewegung der Augen ihr ganz bestimmtes Korrelat in einer bestimmten *visuellen* Empfindung oder Vorstellung von der Lage bzw. der Bewegung der Augen erhalten. Infolgedessen habe man bei Augenbewegungen die Auffassung, daß in Wirklichkeit stillstehende Gegenstände auch während der Augenbewegung stillstehen, solange sich unsere nichtvisuellen Bewegungsvorstellungen mit den gleichzeitigen visuellen als übereinstimmend erweisen. Jeder Mangel dieser Kongruenz rufe dagegen den Eindruck einer Bewegung der Gegenstände oder des eigenen Körpers hervor. Zu dieser Anschauung muß bemerkt werden, daß die Umstimmung der Raumwerte durch die nichtvisuellen Empfindungen bei unwillkürlichen und unbewußt bleibenden Augenbewegungen (wie beim Nystagmus) der Deviation der Augen *nicht voll* entspricht. Es kann einerseits zu einer „Loslösung des Blickpunktes vom Zentrum des inneren Gesichtsfeldes“ kommen (GÖTHLIN), andererseits ergibt sich, daß ein objektiv ruhendes Außenfeld während des Nystagmus *ausnahmslos* in scheinbarer Bewegung gesehen wird. Die Mechanismen der Umstimmung bei Willkürbewegungen, die ja zur scheinbaren Ruhe der Objekte führen, werden in den bei unbewußten Augenbewegungen in Funktion tretenden also *keinesfalls* erschöpft. Bezüglich

der in seiner Arbeitshypothese geforderten nichtvisuellen Faktoren nimmt GÖTHLIN in erster Linie an, „daß eine tensorisch-kinästhetische Reizbarkeit der äußeren Augenmuskeln inklusive ihrer Sehnen vorliegt und daß die tensorischen Reizungen in eine komplexe Empfindung oder Vorstellung davon umgesetzt werden, daß sich das Gesichtsfeld in der Wirkungsrichtung des oder der Antagonisten des gedehnten Muskels bewegt.“

Die Scheinbewegungen des auf der Netzhaut festliegenden Nachbildes während des Nystagmus wurden neuerdings auch von M. H. FISCHER und KORNMÜLLER (b) beobachtet und im Sinne einer Netzhautumstimmung (DITTLER, KÖLLNER, GÖTHLIN) eingehend diskutiert.

#### e) Der Einfluß des Labyrinthes auf die optische Lokalisation.

**Änderung der Raumwerte bei Labyrinthreizung.** Hinsichtlich einer (vermutlich unmittelbaren) Beeinflussung der Raumwerte der Netzhaut seitens des Labyrinthes liegen Einzelangaben in größerer Zahl vor, doch sind die Verhältnisse für eine einheitliche Erörterung der Zusammenhänge noch nicht genügend geklärt. Die Bewertung der zwischen Labyrinth und optischer Lokalisation offenbar bestehenden Beziehungen ist dadurch außerordentlich erschwert, daß die Scheinbewegungen, welche feststehende Außendinge infolge nystagmischer Augenbewegungen und kompensatorischer Rollungen des Bulbus um die Gesichtslinie erfahren, leicht echte sensorische Umstimmungen mit (primärer) Änderung der Raumwertverteilung vortäuschen oder wirklich gegebene einstellen. Auch fehlen vielfach noch Vergleichsbeobachtungen an fest auf der Netzhaut liegenden Nachbildern, die über den Zustand des Auges sicheren Aufschluß bringen und die Entscheidung ermöglichen könnten, wie bestimmte, in der Literatur niedergelegte Angaben über Labyrinthwirkungen im Sehfeld zu bewerten sind. Dies gilt z. B. für die von URBANTSCHITSCH beschriebene Erscheinung ungleichmäßiger Maßstabänderungen im Sehfeld, die er nach mechanischer Reizung des inneren Ohres, etwa durch Ausspritzen, in pathologischen Fällen auftreten und zur scheinbaren Verzerrung eines rechtwinkligen Kreuzes oder zu einer auf einzelne Sektoren beschränkten „Fächerbewegung“ einer Sternfigur führen sah.

Gegenüber diesen Angaben mahnt die Tatsache der von BÁRÁNY später entdeckten gleichzeitigen Wirkungen auf den Bewegungsapparat des Auges jedenfalls zur Vorsicht beim Schluß auf unmittelbare Raumwertänderungen. Die beim gleichen Eingriffe ebenfalls von URBANTSCHITSCH beobachtete scheinbare Abweichung der Vertikalen könnte wohl durch einfache Rollung des Bulbus bedingt sein, ohne daß eine Änderung der Raumwertverteilung auf der Netzhaut einträte, so daß die Art der optischen Lokalisation mit der bei den anderen Formen unbewußter Augenbewegung auf gleiche Stufe käme. Vermutlich hat dies auch für den Fall der Verlagerung der Vertikalen bei Einwirkung der Zentrifugalkraft (bei Rotation um eine außerhalb des aufrecht gehaltenen Körpers gelegene senkrechte Achse) zu gelten; wenigstens beziehen schon BREUER und KREIDL das scheinbare Abweichen der objektiv Vertikalen mit dem oberen Ende von der Drehungsachse weg auf eine umgekehrte Rollung des oberen Endes der Längsmittelschnitte der Netzhaut. Entsprechend endlich scheinen nach den Befunden von A. NAGEL (a) die Verhältnisse bei der scheinbaren Drehung des Gesichtsfeldes bei galvanischer Querdurchströmung des Hinterkopfes zu liegen; auch hier ist eine Raddrehung des Bulbus nachgewiesen.

In diesen Zusammenhang gehört auch das sog. AUBERTSche (oder „A“-) Phänomen, das darin besteht, daß bei seitlicher Neigung des Kopfes eine schräge, von der großen Mehrzahl der Beobachter im Sinne der Kopfneigung von der Richtung der absolut Vertikalen

abweichende Richtung als vertikal empfunden wird. Bemerkenswerterweise ist diese Erscheinung *nur deutlich, solange neben der zur Prüfung dienenden Leuchtlinie nicht andere, bekannte Objekte mit vertikalen Konturen im Gesichtsfelde gegeben sind*. Sie erweist sich auch sonst als eigentümlich inkonstant, indem sie bei verschiedenen Beobachtern verschieden stark entwickelt ist und selbst bei ein und derselben Versuchsperson nicht nur keine Proportionalität zur Größe der Kopfneigung erkennen läßt, sondern auch zu verschiedenen Zeiten ganz schwankende absolute Werte aufweist. [Die in *seltenen* Fällen ebenfalls vorkommende Schrägempfindung der Vertikalen im umgekehrten Sinne wird von G. E. MÜLLER (a), im Gegensatz zum A-Phänomen, als „E-Phänomen“ bezeichnet]. Wie durch die eingehenden Untersuchungen von MULDER (a, b), DELAGE (a, b), W. A. NAGEL (a, b), SACHS und MELLER (a, c), FEILCHENFELD (b), BOURDON (d), ALEXANDER und BÁRÁNY als gesichert zu gelten hat, führt das Auge bei der Kopfneigung eine gegensinnige Rollung um die Gesichtslinie aus, die bei kleineren Neigungswinkeln die ursprüngliche Orientierung der Netzhaut den Außendingen gegenüber ganz oder nahezu ganz wiederherstellt (die Kopfneigung eventuell sogar überkompensiert, SACHS und MELLER), bei großen Neigungswinkeln dazu aber nicht hinreicht. Daß es sich hier um eine Wirkung des Labyrinthes auf den Augenbewegungsapparat handelt, hat NAGEL wahrscheinlich gemacht, auf dessen Ausführungen auch wegen einiger das Phänomen begleitender Nebenerscheinungen (vor allem der sog. „autokinetischen“ Drehbewegungen der beobachteten Leuchtlinie, s. auch S. 407) verwiesen sei.

So weit der Tatbestand des AUBERTSchen Phänomens auf Grund dieser Angaben im Lichte sonstiger Erfahrungen beurteilt werden kann, ist zu sagen, daß in den positiven Fällen offenbar eine Orientierungsänderung der Netzhaut den Außendingen gegenüber vorliegt, die *nicht* von einer solchen Netzhautumstimmung begleitet ist, um die egozentrische Orientierung der Sehdinge unverändert zu lassen. Möglicherweise tritt eine Änderung der Raumwertverteilung auf der Netzhaut in diesem Falle überhaupt nicht ein. Es würde sich dann um eine sozusagen „passive“ Dislokation des Auges den Außendingen gegenüber handeln (siehe S. 402), die durch die reflektorische Rollung (vom Labyrinth aus) nicht exakt ausgeglichen wird, so daß das Netzhautbild der dargebotenen Vertikalen sich gegenüber seiner Ausgangslage verschiebt. Da eine der neuen Netzhautlage entsprechende Umstimmung der Raumwerte aber nicht erfolgt, der Erregung des mittleren Längsschnittes vielmehr nach wie vor die Empfindung der Vertikalen entspricht, so muß eine veränderte Lokalisation der Sehdinge innerhalb des Sehfeldes resultieren, die von der wirklichen Anordnung der Dinge im Außenraum abweichende Verhältnisse vortäuscht. Nur unter der eingangs erwähnten Bedingung, daß gleichzeitig andere, ihrer Form und Orientierung nach bekannte Objekte gegeben sind, scheint die für das freie Sehen mit bewegtem Blick charakteristische „adaptive“ Umstimmung der Raumwerte einzutreten, — und das AUBERTSche Phänomen verschwindet. Daß in diesem Tatbestande ein neues Argument gegen eine Überschätzung der Bedeutung des Lagesinnes der Augen für die Anpassung der Raumwerte gegeben wäre, sei rückblickend nur kurz vermerkt.

Inwieweit diese Vorstellungen das Richtige treffen und sich späteren Erfahrungen gegenüber halten lassen, ist heute nicht zu entscheiden. Ein Versuch, die sehr verwickelt liegenden Verhältnisse zu entwirren, ist in den umfangreichen neuen Arbeiten M. H. FISCHERS (a, b, c) gegeben, in denen bei seitlicher Kopfneigung, bei Knickung des Rumpfes gegenüber dem senkrecht gehaltenen Kopfe sowie bei seitlicher Neigung des Gesamtkörpers gegenüber der Vertikalen einerseits die Richtung der scheinbaren Vertikalen, andererseits, und zwar nach der RUEFESchen Nachbildmethode, die Gegenrollung der Augen um die Gesichtslinie messend verfolgt wurden. Bei Ausschluß auxiliärer Momente wurde in allen diesen Fällen der Tatbestand des AUBERTSchen Phänomens festgestellt. Außer bei seitlichen Neigungen des Gesamtkörpers bis zu  $40^\circ$ , bei denen die Verlagerung der scheinbaren Vertikalen mit der Orientierungsänderung des Längsmittelschnittes der Netzhaut quantitativ fast völlig übereinstimmt, gehen nach FISCHERS Angaben unter allen genannten Bedingungen (auch bei Gesamtkörperneigungen höheren Grades) scheinbare Vertikale und Lage des Längsmittelschnittes keineswegs miteinander Hand in Hand. FISCHER vermutet hieraus die Mitwirkung einer *Netzhautumstimmung*, enthält sich aber in dieser Hinsicht noch jeder genaueren Ausdeutung der Befunde. Dies scheint mir bei seiner Methodik schon deshalb unbedingt geboten, weil die Folgerung einer Augenrollung aus den Ergebnissen der Nachbildbeobachtung logischerweise nur so lange schlüssig bleibt, als Umstimmungen der Netzhaut *sicher nicht* in Betracht kommen, da ihr sonst jeder Boden entzogen ist.

**Nachbildlage und Labyrintherrregung.** Viel diskutiert ist in neuerer Zeit eine zuerst von DITTLER beobachtete Änderung der Verteilung der Raumwerte auf der Netzhaut unter Labyrinthwirkung, die sich derart äußert, daß ein auf der Netzhautmitte festliegendes Nachbild während der Körperrotation bei zwangloser Primärstellung der Augen *nicht* in der Richtung „geradeaus“ gesehen wird,

sondern deutlich entgegen dem Sinne der Drehungsrichtung von der Mediane abzuweichen scheint („Seitenstellung des Nachbildes“). Mit Aufhören der Drehung schlägt die Erscheinung in das Gegenteil um. Dieser Tatbestand läßt sich dahin umschreiben, daß die Fovea unter der Wirkung der Labyrintherrregung die ihr sonst eigene Sehrichtung „geradeaus nach vorne“ verliert und an eine exzentrisch gelegene Netzhautstelle abtreten muß (von GÖTHLIN später als „Loslösung des Blickpunktes vom Zentrum des inneren Gesichtsfeldes“ bezeichnet). Diese Umstimmung erwies sich in den Versuchen DITTLERS (von der einen oben erwähnten Versuchsperson abgesehen, s. S. 403) bei allen Beobachtern als eine stetige und mit der Labyrintherrregung gleichmäßig abklingende Erscheinung und war Schwankungen durch den bestehenden Nystagmus *nicht* unterworfen. HOFMANN (e) und VOM HOFE (a), die diesen Befund bestätigten, dehnten ebenso wie GÖTHLIN die Beobachtung mit dem gleichen Erfolge auf den Fall des rotatorischen Nystagmus aus.

Die von FRUBÖSE bei elektrischer Querdurchströmung des Kopfes („galvanischem Schwindel“) beobachtete, nach der Seite der Anode erfolgende Abweichung zentral auf der Netzhaut gelegener Nachbilder dürfte mit der hier in Frage stehenden Erscheinung identisch sein. Da GÖTHLIN eine mit der Seitenabweichung des Nachbildes gleichsinnige Deviation der Augen beschreibt, so könnte auch dieser Erscheinung eine kinaesthetisch vermittelte Umstimmung der Netzhaut zugrunde liegen und für ihre Deutung (bei bestehendem Nystagmus) die von DITTLER diskutierte Trägheit des sensomotorischen Mechanismus heranzuziehen sein.

Wegen weiterer Einzelheiten über die Beziehungen des Labyrinthes zum Bewegungsapparat des Auges kann auf den Abschnitt: Auge und Ohr von BARTELS im 3. Band, S. 652 dieses Handbuches verwiesen werden.

## 5. Das Sehen von Bewegungen.

Das Sehen von Bewegungen wird gemeinhin jener Gruppe optischer Empfindungen zugerechnet, die man als Veränderungsempfindungen zu bezeichnen pflegt. Es kann grundsätzlich auf die zweifach verschiedene Art zustande kommen, daß entweder das Bild des bewegten Objektes seine Lage auf der (nach Orientierung und Stimmung unverändert bleibenden) Netzhaut ändert oder daß die Lokalisierung des festliegenden Netzhautbildes aus inneren Gründen eine andere wird. Man pflegt diese beiden Fälle als die Wahrnehmung *wirklicher und scheinbarer Bewegung* zu unterscheiden. Von Beispielen der zweiten Art war im vorigen Abschnitte schon die Rede (s. auch weiter unten S. 403f.). Da jeder optische Eindruck neben sonstigen Qualitäten als primär anschauliches Merkmal auch einen *Ort* hat, so scheint es berechtigt, schlechthin von *Bewegungsempfindungen* zu sprechen [EXNER (a), VIERORDT (b)].

**Wirkliche Bewegungen.** Von den aus dem Komplex der Empfindung *wirklicher Bewegungen* zu behandelnden Erscheinungen interessiert zunächst der elementare Fall, wie er vorliegt, wenn das Objekt, dessen Bewegung mit dem Sehorgan aufgefaßt werden soll, auf der von ihm durchlaufenen Bahn *dauernd sichtbar bleibt*, so daß sein Bild sich ohne Lücke in irgend einer Form der Bewegung auf der Netzhaut vorwärts schiebt. Das unter dieser Bedingung gegebene physiologische Problem gipfelt in den Fragen, mit welcher Mindestgeschwindigkeit die Bewegung erfolgen und welche kleinste Ortsverschiebung überhaupt stattfinden muß, damit eine Bewegung wahrgenommen wird. Und ferner: ob sich hinsichtlich des auftretenden Bewegungseindrucks die verschiedenen Netzhautstellen gleich verhalten, so daß unter gleichen physikalischen Voraussetzungen an den verschiedenen Stellen des Sehfeldes dieselbe

Bewegungsgröße und Bewegungsgeschwindigkeit empfunden wird. Die Antwort auf diese Fragen findet sich in einer ziemlich umfangreichen Literatur zerstreut, aus der als am wichtigsten die Arbeiten von AUBERT (b, c), BOURDON (e), EXNER (a, c), BASLER (a—d) herausgegriffen seien.

Hinsichtlich der *unteren ebenmerklichen Geschwindigkeitsgrenze* ergibt sich aus den vorliegenden Beobachtungen, daß eine Winkelgeschwindigkeit von 1—2' in der Sekunde nötig ist, damit die Bewegung gleich von Anfang an empfunden wird (AUBERT, BOURDON). Unterhalb einer Winkelgeschwindigkeit von 41" sah BOURDON überhaupt keine Bewegung mehr. Diese Ergebnisse beziehen sich auf Beobachtungen, die an einem bewegten Lichtpunkt angestellt wurden, neben dem sich noch andere, ruhende Objekte im Gesichtsfeld befanden. Fallen diese weg, so muß die Winkelgeschwindigkeit auf das 10—20fache vergrößert werden; auch können die sog. autokinetischen Bewegungen (s. S. 410) dann leicht sehr störend wirken. Je weiter exzentrisch das bewegte Objekt auf der Netzhaut abgebildet wird, desto höher wird in beiden Fällen die untere Geschwindigkeitsgrenze für die Wahrnehmung der Bewegung.

Für die *kleinste Ortsverschiebung*, die bei mittlerer Bewegungsgeschwindigkeit eben noch einen Bewegungseindruck gibt, waren Werte zu erwarten, die mit den Schwellenwerten des optischen Unterscheidungsvermögens für Lagen in der Größenordnung übereinstimmen. Dies ist, wie die Versuche lehren, auch nahezu der Fall: die Minimalwerte bewegen sich zwischen 15 Sek. (STERN) und 20 Sek. (BASLER). Nach der Peripherie hin nimmt die „Sehschärfe für Bewegungen“, ähnlich wie die Sehschärfe überhaupt, sehr steil ab. Auch hier besteht ein wesentlicher Unterschied, je nachdem ruhende Vergleichsobjekte im Gesichtsfelde gegeben sind (oben angegebene Werte) oder nicht.

Sehr charakteristisch ist die Verschiedenheit der *Bewegungsgeschwindigkeit*, die unter sonst gleichen Bedingungen im direkten und indirekten Sehen empfunden wird: im indirekten Sehen wird sie immer wesentlich größer eingeschätzt [EXNER (c), DRESSLAR]. Hiermit hängt mittelbar wohl auch zusammen, daß die Schätzung des von einem leuchtenden Punkte bei kurzen Rucken zurückgelegten Weges in beiden Fällen ganz verschieden ist; beim Fehlen ruhender Vergleichsobjekte wird dieser Wert im direkten Sehen immer unterschätzt, während im indirekten Sehen neben Unterschätzungen geringeren Grades sogar Überschätzungen vorkommen (FUJITA). Dies ist bemerkenswert, da die Netzhautperipherie, wegen ihrer besonders hoch entwickelten Lokaladaptation, im Sehen ruhender Objekte (Formensehen) unverhältnismäßig schlecht gestellt ist. Endlich sei noch angeführt, daß man, wie v. FLEISCHL fand, die Geschwindigkeit einer Bewegung beim Beobachten mit ruhendem Blick etwa doppelt so groß empfindet, als wenn man dem Objekt mit dem Auge folgt.

**Stroboskopie.** Für die theoretische Analyse der Bewegungsempfindungen ist es bedeutsam, daß auch die diskontinuierliche Darbietung ausgemittelter Einzelphasen eines Bewegungsvorganges eine glatte und lückenlose Bewegungsauffassung ermöglicht, wenn nur der Bilderwechsel mit passender Geschwindigkeit geschieht. Die primitive Grundbeobachtung dieser Art der Erzeugung von Bewegungseindrücken ist die, daß das alternierende Aufblitzen zweier nebeneinander liegender Punkte im dunklen Raume als sprungweises Pendeln ein und desselben Punktes empfunden wird [BOURDON (e) S. 193; LINKE (a)].

Technisch vervollkommenet finden wir dasselbe methodische Grundverfahren in der Stroboskopie und der Kinematographie. Daß für das Entstehen einer ideal glatten Bewegungsempfindung bei stroboskopischen oder kinematographischen Versuchen die Persistenz der Netzhauterregung im Verhältnis zur Zahl der Phasenwechsel die entscheidende Rolle spielt, steht außer Zweifel (O. FISCHER).

Doch hat das systematische Studium dieser Art des Bewegungssehens, dem die reiche Variabilität der Versuchsbedingungen sehr zustatten kommt, zu der (bis jetzt freilich mehr negativen) Einsicht geführt, daß man bei der Erklärung der subjektiven Überbrückung der Bewegungslücken der Zuhilfenahme noch anderer (psychischer) Faktoren bedarf, die zur Identifizierung der in den Einzelbildern in sprunghafter Veränderung dargebotenen Objekte führen (STERN) und die Grundlage für die subjektive „Produktion der wechselnden Gestaltqualitäten“ abzugeben hätten (EBBINGHAUS und DÜRR, S. 528). Interessant sind in dieser Hinsicht die Befunde, daß auch sehr wenig ähnliche Figuren wie Dreieck und Kreis oder Quadrat und Kreis bei geeigneter stroboskopischer Vorführung in der Empfindung, ohne Darbietung der Zwischenphasen, in scheinbar kontinuierlicher, gleichsam pulsierender Bewegung ineinander übergehen können [LINKE (a)].

Von der Möglichkeit einer näheren Definierung oder Lokalisierung jener nervösen Prozesse, die uns den besonderen sinnlichen Eindruck der Bewegungsempfindung vermitteln, ist man allerdings noch weit entfernt, und es muß dahingestellt bleiben, ob die Analogie mit dem Vorgange der „Gestaltproduktion“ [WITASEK (a), v. EHRENFELS] das Problem wirklich erschöpft. Als feststehend hat zu gelten, daß die Verschmelzung sich nicht in jedem Einzelauge gesondert abspielt, sondern daß diese ebenso zustandekommt, wenn die sukzessiven Einzelphasen abwechselnd dem rechten und dem linken Auge dargeboten werden [EXNER (b) S. 589].

Über die Bedeutung gleichzeitig wirkender *nicht optischer* Reize (z. B. rhythmischer Klopfgeräusche) für die Verschmelzung stroboskopisch dargebotener Einzelphasen vergleiche man WERNER.

HILLEBRAND (g) hat seine zur Erklärung der Objektruhe bei willkürlichen Blickbewegungen entwickelte Theorie der retinalen Umstimmung neuerdings auch auf die Entstehung des „stroboskopischen Elementarphänomens“ ausgedehnt und sucht die Objektidentität [LINKE (a)] und das Auftreten der die Lücken schließenden Zwischenphasen aus der allmählich, in ganz kleinen Schritten erfolgenden Umwertung der retinalen Lokalzeichen zu verstehen. Die von WERTHEIMER (a) angenommene Wechselwirkung der an der Erregung beteiligten nervösen Zentren, deren Bewußtseinskorrelat der Bewegungseindruck ist („ $\varphi$ -Phänomen“), wird für HILLEBRAND damit entbehrlich und überhaupt gelegnet [s. auch HIGGINSON (a—c)]. Wegen der an die Frage der Stroboskopie sich knüpfenden, zur Zeit noch schwebenden Polemik muß auf die Originalarbeiten, besonders von WERTHEIMER (a), LINKE (b, c), KOFFKA (a—e), KÖHLER (a, b), SCHOLZ und HILLEBRAND (g) verwiesen werden.

**Negatives Bewegungsnachbild.** Für die Charakterisierung der Erregungsvorgänge beim Bewegungssehen ist es weiterhin bemerkenswert, daß nach länger dauernder Betrachtung einer bestimmt gerichteten Bewegung eine Scheinbewegung *ruhig stehender* Objekte im *umgekehrten* Sinne, das sog. *negative Bewegungsnachbild*, auftritt: Fall des sog. rein optischen Schwindels.

Dieses Phänomen hat man mit der im Gebiete des Licht- und Farbensinnes bekanntesten Erscheinung des Sukzessivkontrastes in Analogie gebracht. Bei geeigneter Anordnung der Versuche können im gleichen Gesichtsfelde mehrere verschieden gerichtete Bewegungsnachbilder gleichzeitig erzeugt werden, deren jedes auf die entsprechend gereizten Sehfeldstellen beschränkt bleibt [EXNER (d), DVORAK, v. TSCHERMAK (f), v. SZILY (a, b), BASLER (c)]. Nach einäugiger Beobachtung bewegter Konturen ist auch mit dem anderen Auge ein Bewegungsnachbild wahrzunehmen, freilich viel schwächer als mit dem gereizten Auge.

Die bekannteste Art der Demonstration des negativen Bewegungsnachbildes ist die vermittelt der PLATEAUSCHEN Spirale (s. Abb. 18), deren längere Fixierung bei Drehung im Sinne des Uhrzeigers zu einer scheinbaren fortschreitenden Aufblähung, bei Drehung im umgekehrten Sinne zu einer scheinbaren Schrumpfung beliebiger fixierter Objekte als Nachwirkung führt.

Allbekannt ist auch die Erscheinung, daß nach längerer Betrachtung eines stark strömenden Flusses von einer Brücke aus der Boden unter den eigenen Füßen eine Scheinbewegung in umgekehrter Richtung zeigt.

Der Versuch mit der PLATEAUSchen Spirale ist mehrfach als Beleg dafür herangezogen worden, daß dem Bewegungsnachbild Augenbewegungen *nicht* zugrunde liegen, wie v. HELMHOLTZ (a, I, S. 604) zuerst annahm. Noch eindringlicher erhellt dies aus der Modifikation des Versuches von DVORAK, der auf ein und derselben Scheibe mehrere konzentrische, aber entgegengesetzt laufende Spiralen anbrachte und im Nachbilde gleichzeitig Schrumpfung *und* Blähung auftreten sah. Doch beachte man auch die gegenteilige Meinung von LEIRI [Zbl. Ophthalm. 19, 311 (1927)].

Die *Geschwindigkeit der scheinbaren Bewegung des Nachbildes* ist im allgemeinen von der Geschwindigkeit und Größe der zur Erzeugung verwendeten Vorlage abhängig. Gleich nach dem Auftreten des Nachbildes (0,5—0,8 Sek. nach Verschwinden des erregenden Vorbildes, BASLER; v. BRÜCKE und CORDS leugnen jede Latenz) ist seine Geschwindigkeit am größten und nimmt dann, in übrigens unregelmäßiger Weise, allmählich ab. Auch die Anfangsgeschwindigkeit erreicht die Geschwindigkeit des Vorbildes nie. Entsprechend steigt die Dauer des ganzen Phänomens mit wachsender Geschwindigkeit der Vorlage und Ausdehnung des Reizfeldes an.

Bei Beobachtung mit der stäbchenfreien Netzhautmitte oder deren nächster Umgebung ist das Bewegungsnachbild bei weitem am deutlichsten. Den Stäbchen kommt nach den Feststellungen GRANITS und seiner Mitarbeiter eine das Phänomen geradezu hemmende Wirkung zu (s. auch LINDROOS, v. NUMERS und STENIUS). Dunkeladaptation des Auges ist der Erscheinung infolgedessen ungünstig (JÄNTTI, PAIWIÖ, SALMENHARJU und LINDSTRÖM)<sup>1</sup>.

Die *Messung der Geschwindigkeit* des Bewegungsnachbildes ließ sich dadurch erreichen, daß der Bewegungseindruck durch die umgekehrt gerichtete meßbare Bewegung der inhomogenen Fläche, auf der man das Nachbild beobachtet, kompensiert werden kann (v. BRÜCKE und CORDS). BORSCHKE und HESCHELES verfahren so, daß sie die Bewegungsrichtung des Nachbildes mit einer dazu senkrechten der Beobachtungsfläche zu einer Diagonalebewegung kombinierten. Endlich ließ sich die Scheinbewegung des Nachbildes auch einfach mit der Hand nachahmen und so graphisch registrieren [BASLER (c)].

**Andere Scheinbewegungen.** Eine andere Gruppe von Scheinbewegungen im Sehfeld hat, summarisch gesprochen, eine vorübergehende einmalige oder periodisch wiederholte Störung der physiologischen Koordination zwischen Augenstellung und Raumwertverteilung auf der Netzhaut zur Ursache. Von Beispielen hierfür war weiter oben (S. 403f.) bereits die Rede, und es wird genügen, hier kurz darauf hinzuweisen, daß Fälle dieser Art gegeben sind einmal, wenn sich bei unbewußt ablaufenden Augenbewegungen (Nystagmus, mechanische



Abb. 18. PLATEAUSche Spirale.

<sup>1</sup> Neuerdings ist es H. K. MÜLLER gelungen, nach gegensinniger Umstimmung sich entsprechender Netzhautbezirke beider Augen an ruhig stehenden Objekten eine nach der Tiefe gehende Scheinbewegung sicher zu beobachten und damit eine schon von EXNER (d) aufgeworfene, bisher unbeantwortet gebliebene Frage zu erledigen.

Verlagerung des Bulbus) die Netzhautbilder der ruhig stehenden Außendinge verschieben, *ohne daß die kompensatorische Umstimmung der Raumwerte erfolgt* [man vgl. hierzu auch CARR (a)], oder dann, wenn sich bei willkürlichen Augenbewegungen die Raumwertverteilung ändert, ohne daß die Bilder der Außendinge eine entsprechende Verschiebung erfahren. Der letzte Fall ist im bekannten MACHSchen Versuch (a, S. 94) verwirklicht, daß man den Bulbus, am besten in extremer Seitenstellung, mit etwas festem Glaserkitt fixiert und sodann Augenbewegungen intendiert, die zwar nicht oder doch nicht in dem beabsichtigten Umfange zustandekommen, trotzdem jedoch zur vollen Änderung der absoluten Lokalisation des Hauptsehpunktes führen. Es kommt also zu einer Scheinverlagerung des Sehfeldes mit seinem gesamten Inhalt. Ganz entsprechend ist das Wandern eines auf der Netzhaut festliegenden dauerhaften Nachbildes bei willkürlichen Blickbewegungen zu bewerten.

Ein weiteres höchst wertvolles Material zu diesen Fragen liefern die Beobachtungen bei *Augenmuskelparesen* [SACHS (c), auch vgl. man bei ENGELKING sowie bei KORNMÜLLER]. Beim Nystagmus oder der passiven Verlagerung des Bulbus führen umgekehrt die gesehenen Objekte innerhalb des ruhigstehenden Sehfeldes Scheinbewegungen aus; der Tatbestand kann daher auch dahin interpretiert werden, daß die Orte des unverändert lokalisiert bleibenden Sehfeldes zum Teil mit zuvor schon gegebenen, aber anders lokalisierten, zum Teil mit neu hinzutretenden Sehdingen besetzt werden [HILLEBRAND (f), DITTLER].

Dieselben theoretischen Grundlagen besitzt die Erscheinung des „*Punktwanderns*“ [EXNER (e), AUBERT (b, c), CARR (b)], eines Spezialfalles der sog. autokinetischen Bewegungen [CHARPENTIER (d)], die darin besteht, daß ein im Dunkeln beobachteter ruhigstehender einzelner Lichtpunkt schon nach kurzer Dauer der Beobachtung in mehr oder weniger grobe Scheinbewegungen gerät. Hier liegen offenbar in gleicher Weise unbewußte kleinste Blickschwankungen zugrunde<sup>1</sup> [OEHRWALL, v. SZILY (a, S. 13), SCHILDER], wie bei der Erscheinung, daß isolierte dünne Linien bei längerer Fixierung gewellt oder perlschnurartig verdickt oder auch im ganzen gekrümmt gesehen werden [v. HELMHOLTZ (a, I., S. 217, II., S. 257) v. FLEISCHL, SCHILDER; man vgl. auch MARX und TRENDLENBURG].

Das Phänomen der „*flatternden Herzen*“, das vielfach ebenfalls beim Bewegungssehen abgehandelt wird, hat nicht eine Änderung der Raumwertverteilung im somatischen Sehfelde zur Grundlage, sondern beruht seinem wesentlichen Inhalte nach auf zeitlichen Verschiedenheiten im Anklingen der Licht- und Farbenerregung bei Einwirkung qualitativ verschiedener Lichtreize. Es muß daher aus dieser Erörterung ausscheiden.

Auf das Phänomen stetiger Scheinbewegung, in der ein auf der Netzhaut festliegendes Nachbild während der Nachdrehungsperiode nach kräftiger Körperrotation gesehen wird (DITTLER), sei ebenfalls nur kurz hingewiesen. Hier wird der ganze Organismus samt dem ihn umgebenden Sehraume in Drehung empfunden, eine Scheinbewegung, der das Nachbild einfach folgt. Bei den Fällen „optokinetisch“ ausgelösten Bewegungssehens [s. z. B. bei M. H. FISCHER und KORNMÜLLER (a)] scheinen die inneren Verknüpfungen letzten Endes ähnlich zu liegen, derart, daß die Betrachtung objektiv bewegter Objekte im Beobachter primär zur Empfindung gegensinniger Bewegung des eigenen Körpers führt und daß erst diese das Bewegtsehen ruhigstehender Außendinge bzw. des auf der Netzhaut festliegenden Nachbildes bedingt. Auf den gleichzeitig ablaufenden „optokinetischen Nystagmus“ bezogen, entspricht die

<sup>1</sup> Nach GOLDSTEIN und RIESE kommen auch Aufmerksamkeitsschwankungen in Frage.

Bewegungsrichtung des bewegt gesehenen ruhenden Objektes der Nystagmusphase, d. h. dem raschen Schlage der nystagmischen Augenbewegung.

Die bei sog. *Relativbewegungen* des Körpers gegenüber den Außendingen auftretenden Bewegungsempfindungen, insonderheit die *parallaktische* Verschiebung, die ein mehr geometrisches Problem darstellt, finden sich in HOFMANN'S Raumsinn (S. 548 f.) ausführlich behandelt, den eigenartigen parallaktischen Effekt bei stereoskopischen Bildern bespricht WEINHOLD.

**Anorthoskopische Täuschungen.** Den Problemen des Bewegungssehens sei die kurze Besprechung einer besonderen Art der Beobachtung figürlicher Objekte angereicht, die wegen ihrer inneren Verwandtschaft mit der Stroboskopie (s. o. S. 407) aus heuristischen Gründen neuerdings wieder viel studiert wird und zu eigenartigen Täuschungen über die Form der Objekte, den sog. „anorthoskopischen“ Täuschungen, führen kann. Die Beobachtung erfolgt hier durch eine relativ zum Objekt bewegte spaltförmige Öffnung, die immer nur einen kleinen Ausschnitt von jenem sichtbar werden läßt. Diese Art der Untersuchung geht auf ZÖLLNER (c) zurück und wurde insbesondere von v. HELMHOLTZ (a, I., S. 605), VIERORDT (b), GERTZ, STEWART, ROTHSCHILD und HECHT viel angewandt. Die Bedingungen können entweder so gewählt werden, daß der Spalt vor der ruhigstehenden Figur oder die Figur hinter der ruhigstehenden Spaltöffnung vorbeigeschoben wird. Oder es werden Spalt und Figur gleichzeitig bewegt, was entweder gegenseitig oder (bei verschiedener Bewegungsgeschwindigkeit) auch gleichsinnig geschehen kann. Bewegungen sich Spalt und Figur gleichzeitig, und zwar gegenseitig, so wird die Figur in der Bewegungsrichtung verkürzt gesehen (ein Kreis also als Ellipse mit aufrechter großer Achse), während bei gleichsinniger Bewegung (wenn die des Spaltes die raschere ist) die Figur in der Bewegungsrichtung ausgezogen erscheint.

Die einfache Erklärung dieser Erscheinung wurde von LINKE (b) gegeben und baut sich auf der Grundlage auf, daß die Figur unter den genannten Bedingungen als *ruhend* empfunden werde. Wie LINKE zeigte, läßt sich die resultierende Verzerrung aus den Versuchsbedingungen rechnerisch leicht quantitativ erfassen. Wird allein die Figur bewegt und durch den stillstehenden Spalt beobachtet, so erscheint sie selbst bewegt und wird bei rascher Bewegung eher etwas verlängert gesehen. Eine Eigentümlichkeit der Erscheinungsweise der durch den Spalt gesehenen Figur besteht darin, daß man die sukzessiven Teileindrücke zu einem *Simultanbild* der Gesamtfigur vereinigt, die man gleichzeitig zu sehen glaubt, und daß der Gesamteindruck die Breite des Spaltes natürlich bei weitem übertrifft.

Diese Befunde werden von den verschiedenen Autoren [WERTHEIMER (b, c), KOFFKA (a—e), LINKE (b), WITASEK (c), BENUSSI (b), KÖHLER (a, b)] je nach ihrer gestalttheoretischen Einstellung, deren Besprechung den Rahmen dieser Darstellung überschreiten würde, verschieden interpretiert. Eine große Rolle spielt hierbei (s. z. B. WENZEL) neuerdings die Berücksichtigung der Angleichungsvorgänge zwischen den Spalträndern und den mit ihnen ähnlich verlaufenden Konturteilen der dargebotenen Figur (vgl. auch SIMCHOWITZ). Bei bloßer Bewegung des Spaltes vor der stillstehenden Figur treten nur unter besonderen Bedingungen Formverzerrungen auf, insbesondere dann, wenn die Augen der Spaltbewegung folgen, bei einer Bedingung also, die für die übrigen anorthoskopischen Täuschungen, die erwähnt wurden, belanglos ist.

## 6. Die Einordnung des blinden Fleckes in das Sehfeld.

**Monokulares Gesichtsfeld.** Die Gesamtheit aller Punkte des Außenraumes, die bei bestimmter fester Lage des Auges *gleichzeitig* auf funktionstüchtigen Stellen der Netzhaut abgebildet und gesehen werden, bezeichnet man als das monokulare *Gesichtsfeld*. Dem Gesichtsfeld sind seine Grenzen gesetzt, einmal durch Teile des Gesichtes in der nächsten Umgebung des Auges, ferner durch die vordere Begrenzung der Netzhaut an der *Ora serrata*, bzw. in dem (durch die Brechkraft der Augenmedien bestimmten) Grenzwert des Einfallswinkels, bei dessen Überschreitung das Auge kein Licht mehr bekommt. Die Bestimmung der Gesichtsfeldgrenzen wird mittelst eines kleinen Objektes vorgenommen, das man an einer, am besten kugelförmig um das Auge gelegten Fläche wandern läßt, bis es dem Beobachter im peripheren Sehen verschwindet oder, bei umgekehrter Wanderungsrichtung, eben sichtbar wird.

Der zu dieser Untersuchung am meisten gebrauchte Apparat ist das Perimeter von FÖRSTER (a), dessen Wiedergabe sich an dieser Stelle erübrigt (man vgl. Kapitel Unter-

suchungsmethoden in diesem Bande). Die als Projektionsfläche für die Netzhaut dienende Kugel­fläche ist hier durch einen durch Drehung um die Gesichtslinie in die verschiedenen Meridiane einstellbaren Halbkreis ersetzt. Die Ausdehnung des Gesichtsfeldes wird durch die Größe des Winkels angegeben, den die Gesichtslinie in dem jeweils untersuchten Meridian mit dem äußersten noch zur Perception kommenden Lichtstrahl einschließt. Nach der temporalen Seite hin beträgt dieser Winkel vielfach bis zu  $100^{\circ}$ , nach unten bleibt er trotz des Fehlens äußerer Hindernisse meist unter  $75^{\circ}$ . Nach innen und oben ist das Gesichtsfeld beim Blick geradeaus durch die Nase und den Brauenbogen je nach der Gesichtsbildung mehr oder weniger eingeengt, doch findet man es auch bei passend geänderter Blicklage niemals so ausgedehnt wie nach außen. Abb. 19 stellt das Ergebnis der perimetrischen Gesichtsfelduntersuchung, in der üblichen Weise in ein flächenhaftes Schema eingetragen,

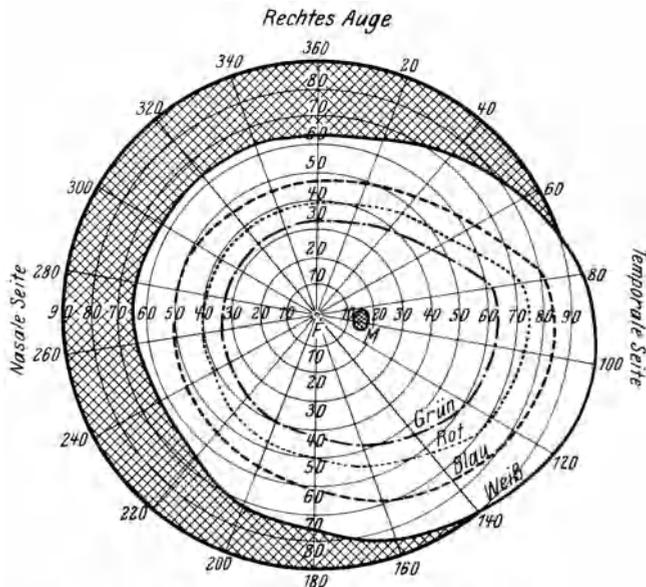


Abb. 19. Gesichtsfeld des rechten Auges nach FUCHS.

dar. Daß das dem Gesichtsfelde im subjektiven Sehraum entsprechende Gebilde in seinen Grenzen mit jenem nicht übereinstimmen kann, erhellt schon aus den oben (s. S. 394) diskutierten Verhältnissen der zentrischen Schrumpfung des Sehfeldes.

**Der blinde Fleck.** Im Rahmen der Lehre von der Lokalisation im ebenen Sehfeld verlangt die Frage noch einer besonderen Würdigung, wie die Sehnerveneintrittsstelle, an der eine Lichtperzeption bekanntlich nicht stattfindet (MARIOTTE), in das Raumwertsystem des somatischen Gesamtsehfeldes eingliedert ist.

Für uns handelt es sich hier um die Entscheidung zwischen zwei Anschauungen, von denen die eine annimmt, daß der blinde Fleck bei der Raumwertverteilung einfach übergangen sei (E. H. WEBER, WITTICH), indem einander diametral gegenüberliegende lichtempfindliche Stellen am Rande der Papille hinsichtlich ihrer Sehrichtung wie direkt benachbarte Sehfeldstellen fungierten, während die andere Anschauung gerade behauptet, daß das Gebiet des blinden Fleckes als in die Fläche des Netzhautmosaiktes vollwertig eingerechnet zu betrachten sei, indem es zwar peripherer Organe im somatischen Sehfeld entbehre, wohl aber eine zentrale räumliche Vertretung besäße. Es kann gleich vorweggenommen werden, daß nach dem heutigen Stande unseres Wissens die Entscheidung nur im Sinne der zweiten Anschauung ausfallen kann.

Zur Widerlegung der alten WEBER-WITTICHSchen Lehre ist zunächst die Tatsache anzuführen, daß einzelne Lichtpunkte, die dem Auge so dargeboten werden, daß sie sich auf diametralen Randstellen des blinden Fleckes abbilden, keineswegs als einander direkt benachbart (d. h. sich berührend oder gar miteinander verschmelzend) empfunden werden. Dies müßte der Fall sein, wenn die Raumwerte auf den die Sehnervenpapille nächst umgebenden Netzhaut-elementen so verteilt wären, daß letztere funktionell einfach die jener Stelle entsprechende Fläche des subjektiven Sehfeldes füllten. Im Gegenteil erscheinen derartig abgebildete Punkte schätzungsweise ebenso weit voneinander entfernt, als es bei der Abbildung auf anderen Netzhautstellen der gleichen Exzentrizität der Fall ist. Auch die alte WITTICHSche Angabe, daß eine geradlinige Punktreihe, die so auf der Netzhaut abgebildet wird, daß sie den Rand des blinden Fleckes tangiert, nach der Sehnerveneintrittsstelle hin konvex gekrümmt gesehen werde, ist von späteren Beobachtern nicht bestätigt worden [VOLKMANN (b), v. HELMHOLTZ (a), FUNKE (a)].

Völlig gegen die WEBER-WITTICHSche Auffassung spricht endlich die Tatsache der entoptischen Sichtbarkeit des blinden Fleckes, die von einer ganzen Reihe von Untersuchern [CHARPENTIER (d), v. TSCHERMAK (d), BRÜCKNER (a), EBBECKE (b), auch vgl. man NUSSBAUM] gefunden wurde und jederzeit leicht bestätigt werden kann. Zeigt sich die Sichtbarkeit des blinden Fleckes auch an bestimmte Beobachtungsbedingungen geknüpft und bleibt sie immer nur von recht beschränkter Dauer, so ist sie doch auf jeden Fall als zwingender Beleg gegen die Vorstellung anzuerkennen, als ob der durch das Fehlen des Sinnesepithels an der Sehnervenpapille in der Netzhaut bestehende Defekt durch eine Zusammenziehung der Raumwerte der angrenzenden Gebiete einfach geschlossen würde. Man wird sich daher nach einer anderen Erklärung dafür umzusehen haben, warum unter den gewöhnlichen Bedingungen des Sehens kein Ausfall im Sehfelde zu bemerken ist.

Da die hier vor allem in Frage kommenden Einzelheiten in das Gebiet des Licht- und Farbensinnes gehören, so genüge der kurze Hinweis darauf, daß als jenes Moment, das die Sichtbarkeit des blinden Fleckes begünstigt oder ermöglicht, der Helligkeits- und Farbenkontrast erkannt worden ist. Zum mindesten stellt sich die Erscheinungsweise des blinden Fleckes bei der entoptischen Beobachtung unter den verschiedenen Bedingungen immer so dar, daß sie als eine Wirkung des Simultankontrastes von den durch Licht primär gereizten Teilen des Sehfeldes auf die zentralen Vertretungsstellen des blinden Fleckes imponiert. Hierzu vergleiche man vor allem die erschöpfende Zusammenstellung von v. TSCHERMAK (i), die auch wesentliches neues Beobachtungsmaterial enthält. Umgekehrt scheint mir die geringe Beständigkeit des Phänomens (ebenso wie jene der PURKINJESchen Aderfigur) befriedigend erklärt werden zu können durch die Wirkung einer lokalen Adaptation bzw. einer sukzessiven Lichtinduktion, evtl. auch durch die Wirkung einer physiologischen Irradiation der zentralen Erregungen (BRÜCKNER). Bis zu einem gewissen Grade wirken hierbei auch die gleichzeitigen Vorgänge an den korrespondierenden Stellen des zweiten Auges mit [KÖLLNER (a)], doch reicht dieser Einfluß, wie die unter Umständen gleichzeitige Sichtbarkeit beider blinden Flecke entgegen der ursprünglichen Meinung lehrt, allein nicht aus, um die Dinge erschöpfend zu erklären.

Endlich muß je nach den Versuchsbedingungen bei der Überbrückung des blinden Fleckes allem Anscheine nach auch die Mitwirkung gewisser psychischer Leistungen, ähnlich der soeben schon erwähnten „Gestaltproduktion“ (s. S. 408) anerkannt werden, da die Ergänzung linearer Gebilde, deren Netzhautbild die

Stelle des blinden Fleckes überquert (von v. TSCHERMAK bestritten), in unserer Empfindung sonst unverständlich bliebe.

Daß man kleine Objekte, deren Netzhautbild bei einäugiger Beobachtung ganz auf die Sehnervenpapille fällt, verwenden muß, um die Grenzen des blinden Fleckes auf einer Beobachtungsfläche unter allen Umständen rasch und sicher aufzufinden, sei als selbstverständlich nur eben kurz erwähnt.

Die Hypothese BARDS, der die Unmerklichkeit des blinden Fleckes unter den gewöhnlichen Bedingungen des (auch einäugigen) Sehens an der Hand seiner (eigenartigen) Lokalisationstheorie aus der schräggestellten Achsenrichtung der Rezeptionselemente am Rande der Sehnervenpapille zu erklären sucht, muß, wie schon HARTMANN (a) zeigte, abgelehnt werden.

## II. Das Sehen mit zwei Augen.

### 1. Die Korrespondenz der Netzhäute.

Das Sehen mit zwei Augen bietet sein wesentliches physiologisches Problem darin, daß die beiden Augen nicht als zwei gesonderte Organe fungieren, sondern zu einem einheitlichen Organ, dem sog. *Doppelauge*, zusammengefaßt sind.

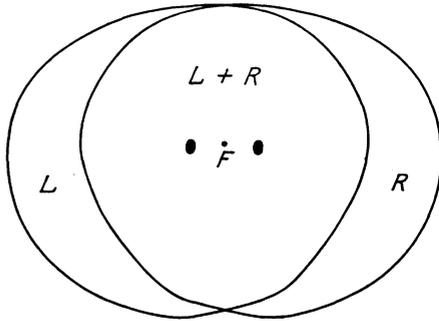


Abb. 20. Binokulares Gesichtsfeld.  
(Nach F. B. HOFMANN.)

Die beiden monokularen Gesichtsfelder haben einen großen gemeinsamen Mittelbezirk, in dem sie sich überdecken und ein *binokulares Gesichtsfeld* bilden; aus diesem empfangen beide Augen immer gleichzeitig Reize und werden zu kombinatorischer Tätigkeit angeregt. Dem binokularen Gesichtsfeld entspricht ein binokulares Sehfeld, in welches die aus den beidäugigen Regungen entspringenden Empfindungen lokalisiert werden. Finden wir hierbei in den Grundzügen auch alles das wieder, was über die Organisation und Funktionsweise des Einzelauges abgeleitet werden konnte, so stellen uns die Erscheinungen des

Binokularsehens natürlich auch wieder einer Reihe neuer wichtiger Gesetzmäßigkeiten gegenüber.

Daß die beiden monokularen Gesichtsfelder sich nicht in ihrer ganzen Ausdehnung, sondern nur in einem (allerdings verhältnismäßig großen) gemeinsamen Mittelteil überdecken („Deckfeld“ nach HERING), geht schon aus dem zum Fixationspunkte asymmetrischen Verlauf der monokularen Sehfeldgrenzen (s. S. 412) unmittelbar hervor. Wie Abb. 20 dies im Schema zeigt, ragt das Gesichtsfeld des gleichseitigen Auges mit einem „sichelförmigen“ Gebiet über das Bereich des binokularen Gesichtsfeldes heraus.

An den im binokularen Sehfelde zustande kommenden Empfindungen sind *immer* die Regungen *beider* Augen beteiligt. Dies trifft grundsätzlich selbst dann zu, wenn man versucht, durch einen deckenden Schirm oder durch Lid-schluß ein Auge vom Sehakte völlig auszuschließen. Auch das geschlossene Auge trägt zum Empfindungsinhalt des Sehfeldes bei, wenn es auch durch Ablenkung der Aufmerksamkeit auf die dem offenen Auge sich bietenden Eindrücke hinter diesem stark zurücktreten kann. Das Gesetz von der „Einheitlichkeit des Sehfeldes“ (HERING), das sich hierin äußert, wirkt sich unter den gewöhnlichen Bedingungen des „Sehens mit zwei Augen“ in der Weise aus, daß die zwei Netzhautbilder, die von ein und demselben Außending entstehen, zu *einer einheitlichen* Empfindung verschmelzen („binokulares Einfachsehen“).

**Sehrichtungsgemeinschaft „identischer“ Netzhautstellen.** Die Verschmelzung der in beiden Augen ablaufenden Einzelerregungen zu dieser einheitlichen Empfindung setzt bestimmte funktionelle Beziehungen zwischen den einzelnen Stellen der beiden somatischen Sehfelder voraus. Das erste hier herrschende Gesetz ist das von der Sehrichtungsgemeinschaft „identischer“ Netzhautstellen (HERING).

Diese Gesetzmäßigkeit prägt sich darin aus, daß jedem Punkte der einen Netzhaut ein bestimmter Punkt der anderen so zugeordnet ist, daß alle Außenpunkte, die sich auf einem solchen Paar von Netzhautstellen abbilden, *ausnahmslos* in derselben Sehrichtung erscheinen, wo immer im wirklichen Raume jene Außenpunkte liegen mögen. Die *identischen* oder *korrespondierenden* Netzhautstellen (auch *Deckstellen* genannt) sind demnach als solche zu definieren, die den gleichen Richtungswert besitzen, hinsichtlich ihrer Sehrichtung also eine für die andere *ohne Änderung der Empfindung* eintreten können. Fixieren wir (um ein von HERING in diesem Zusammenhang gebrauchtes Beispiel anzuführen) mit beiden Augen einen Stern am gestirnten Himmel, so bilden sich sämtliche Sterne auf beiden Netzhäuten ab, werden aber einfach gesehen. Schließen wir während der Fixierung abwechselnd das eine oder das andere Auge, so erscheinen uns die Sterne nach wie vor am selben Orte des Sehfeldes. Oder verdecken wir dem einen Auge durch einen nahe vorgehaltenen Schirm die eine Hälfte des Himmels bis zum fixierten Stern, dem anderen Auge die andere, so setzen sich die beiden einäugig gesehenen Hälften zu einem Ganzen zusammen, in welchem die Sterne ebenfalls dieselbe scheinbare Lage haben wie zuvor. Verschieben wir aber während der Betrachtung des Sternhimmels das eine Auge durch Fingerdruck etwas nach oben oder unten, so daß die Gesichtslinien nicht mehr parallel liegen, dann erscheinen alle Sterne doppelt.

Läßt dieser Versuch einerseits über die gegenseitige *Substituierbarkeit* je zweier sich entsprechender Punkte beider Netzhäute keinen Zweifel, so lehrt er andererseits in seinem letzten Teil, daß das binokulare Einfachsehen an die gleichzeitige Reizung ganz bestimmter Punkte der beiden somatischen Sehfelder geknüpft ist, nur jener Punkte nämlich, die durch die Identität ihrer Sehrichtungen als identische charakterisiert sind. Beim natürlichen Gebrauch unserer Augen wird es im allgemeinen ein und derselbe Außenpunkt sein, der sich in beiden Augen auf identischen Netzhautpunkten abbildet: er wird dann schlechthin einfach gesehen, weil die den Regungen beider Stellen entsprechenden Empfindungen außer der gleichen Richtung auch gleiche Entfernung haben.

Experimentell können die Bedingungen aber leicht auch so gestaltet werden, daß die Bilder zweier verschiedener Objektpunkte auf ein identisches Netzhautpunktpaar fallen: diese scheinen dann zwar in gleicher Richtung zu liegen, aber es hängt von ihrer scheinbaren Entfernung ab, ob sie auch hinsichtlich dieser koinzidieren. Auf jeden Fall kommen sie in der Empfindung wegen ihrer Richtungsgleichheit miteinander zur Deckung, so daß es berechtigt ist, hier von einem „*Einfachsehen des Doppelten*“ zu reden.

**Die Deckstellen beider Netzhäute.** Die erste weitere Aufgabe, die sich an diese Feststellungen knüpft, betrifft die genaue Bestimmung der in beiden Netzhäuten identischen oder korrespondierenden Punkte (Deckstellen).

Zu ihrer Lösung pflegt man von den beiden Netzhautmitten auszugehen, von denen ohne weiteres kenntlich ist, daß sie als ein solches Punktpaar zusammengehören. Dieses Paar ist besonders ausgezeichnet, weil in ihm die bestdifferenzierten und leistungsfähigsten Stellen beider Netzhäute funktionell zusammengefaßt sind und wir alle Außenpunkte, die unsere Aufmerksamkeit auf sich lenken, auf den Stellen des direkten Sehens zur Abbildung bringen.

Im übrigen pflegt man für die schematische Festlegung der korrespondierenden Punktpaare folgende Einteilung der Netzhäute zu treffen: jenen Meridian, in welchem die Netzhäute von der durch die horizontal- und parallelgestellten Gesichtslinien gelegten Ebene geschnitten werden, bezeichnen wir als ihren *mittleren* oder *Hauptquerschnitt*; jenen Meridian, der durch eine in jeder Gesichtslinie senkrechte Ebene auf jeder Netzhaut ausgeschnitten wird, als ihren *mittleren* oder *Hauptlängsschnitt*. Denkt man sich weiter die zu den Hauptquerschnitten führende Ebene um eine durch die Knotenpunkte gelegten Gerade um immer gleiche Winkelbeträge nach oben und unten geneigt und entsprechend die zu den Hauptlängsschnitten führenden Ebenen um die in den Knotenpunkten senkrechten Geraden um gleiche Beträge nach rechts und links gedreht, so gelangt man zu einer Schar äquidistanter sog. *Nebenquer-* und *Nebenlängsschnitte*. Ebenso nun, wie die beiden Hauptquerschnitte und die beiden Hauptlängs-

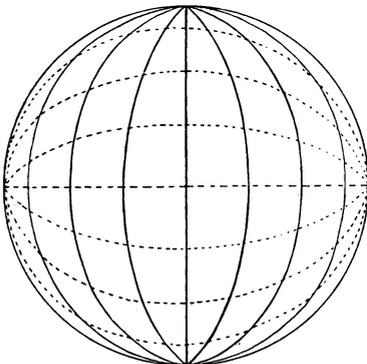


Abb. 21. Netzhautenteilung  
nach E. HERING.

schnitte je ein Paar korrespondierender Quer- bzw. Längsschnitte darstellen, so gilt dies paarweise auch von jenen Nebenquer- bzw. Nebenlängsschnitten, die in den beiden Netzhäuten eine gleiche und gleichsinnige Winkelabweichung von den Hauptschnitten haben. Je zwei Punkte beider Netzhäute endlich, die korrespondierenden Quer- und Längsschnitten *zugleich* angehören, sind korrespondierende Netzhautstellen. Auf Grund dieser Netzhautenteilung, deren Ergebnis aus der Abb. 21 zu ersehen ist, ist man in den Stand gesetzt, die Lage jedes identischen Punktpaares aus seiner Höhen- und Breitenabweichung von den Hauptschnitten eindeutig zu definieren.

Wie sich aus dem Gesagten aus geometrischen Gründen ergibt, kommen die einander korrespondierenden Punkte miteinander zur Deckung, wenn man sich die beiden Augenbecher durch Parallelverschiebung so ineinander gelegt denkt, daß ihre mittleren Quer- und mittleren Längsschnitte aufeinander zu liegen kommen. Zwei Punkte in beiden Netzhäuten, die *nicht* Deckpunkte sind, heißen *disparate* Punkte, zwei verschiedene Punkte ein und derselben Netzhaut *differente* Punkte (FECHNER). Als querdissparat bezeichnet man ein Punktpaar, das identischen Quer-, aber disparaten Längsschnitten, als längsdissparat ein Punktpaar, das identischen Längs-, aber disparaten Querschnitten angehört.

Es muß nun sogleich bemerkt werden, daß die Ermittlung der Deckpunktpaare nach dem geschilderten schematischen Verfahren nur einer vorläufigen Orientierung genügen konnte und daß es *besonderer mühsamer Versuche* bedurfte, um die Lage der Paare identischer Netzhautpunkte im einzelnen genau zu ermitteln. Diese Versuche [HERING (a, d), v. HELMHOLTZ (c, d), VOLKMANN (c), DONDERS (c)] hatten auf eine unmittelbare funktionelle Prüfung auszugehen und wurden besonders erfolgreich nach dem *haploskopischen Prinzip* [HERING (d, S. 357)], d. h. entweder in der Weise durchgeführt, daß jedem Auge gesondert in flächenhafter Zeichnung lineare Objekte dargeboten wurden, die so orientiert waren, daß sie im binokularen Verschmelzungsbilde *einfach* und gegenüber dem Blickpunkt *ohne Tiefenabweichung* gesehen wurden, oder so, daß den Augen nach dem Substitutionsverfahren [HERING (a, Heft 3, S. 73)] zusammenpassende Stücke gerader Linien in solcher Anordnung geboten wurden, daß sie dem Beschauer in gegenseitiger Verlängerung erschienen.

Um die Einrichtung und den Verlauf einer derartigen Untersuchung verständlich zu machen, sei angeführt, daß man z. B. jedem Auge bei Primärstellung in einer durch Abb. 22 veranschaulichten Anordnung eine „Halblinie“ bot, dem linken etwa eine vom fixierten Punkt nach oben, dem rechten eine nach unten gehende. Entsprachen diese Halblinien zusammen der im Außenraum absolut Vertikalen, so wurde im binokularen Sammelbilde (vgl. hierzu

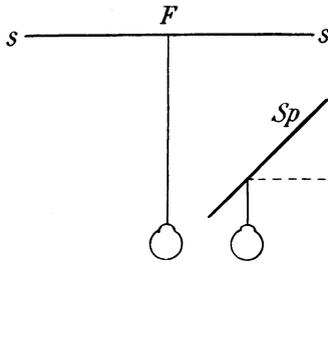


Abb. 22. (Nach HERING.)

Erklärung im Text.

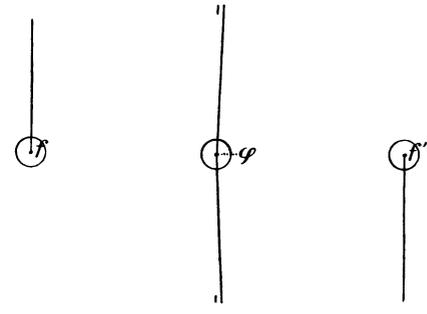


Abb. 23. (Nach HERING.)

die Skizze Abb. 23, Mitte) nicht eine gerade senkrechte Linie gesehen, sondern eine im Blickpunkt geknickte, deren obere sowohl wie untere Hälfte nach rechts von der Vertikalen abwich.

Wie man sieht, erläutert dieses Beispiel den bei Besprechung der Netzhautinkongruenz (s. S. 395f.) bereits diskutierten Fall der Abweichung des Hauptmittelschnittes der Netzhaut vom Lotmeridian und ermöglicht, den Sinn dieser

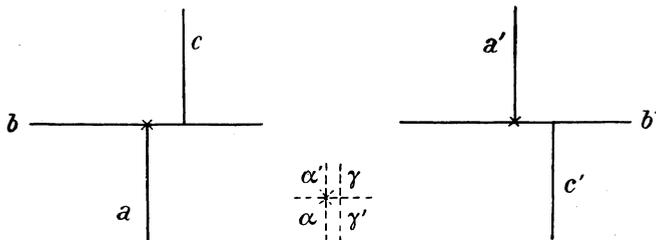


Abb. 24. Erklärung im Text. (Nach HERING.)

Abweichung im einzelnen Auge abzuleiten. In dieser Hinsicht ist aus der Beobachtung zu entnehmen, daß der bei Primärstellung die Empfindung der Vertikalen vermittelnde Längsschnitt in beiden Augen nach oben außen vom Lot abweicht. Weiter ist ersichtlich, daß die linke Halblinie etwas nach oben außen, die rechte etwas nach unten innen gedreht werden müßte, um auf dem wahren mittleren Längsschnitt abgebildet und als Senkrechte gesehen zu werden.

Um bei derartigen Beobachtungen Täuschungen über die Raumwertverteilung zu vermeiden, die durch Rollungen des Bulbus um die Gesichtslinie bedingt sein könnten, pflegt man nach der auf Abb. 24 wiedergegebenen Art auf den Halbbildern eine durch den Fixationspunkt verlaufende Horizontale anzubringen und die Augen unter der Mitwirkung des Fusionszwanges so in einer bestimmten Orientierung festzuhalten. Aus Abb. 24 ist außerdem zu ersehen, wie nach demselben Prinzip etwa vorhandene Abweichungen in der Korrespondenz äquidistanter Nebenlängs- und Nebenquerschnitte festgestellt werden konnten.

Die im KUNDTschen Teilungsversuch zum Ausdruck kommende sog. Streckendiskrepanz (s. S. 393) mußte sich natürlich auch im Substitutionsversuch nachweisen lassen als Zeichen dafür, daß das oben gegebene Schema der Netzhautkorrespondenz den wirklichen Verhältnissen nur in erster Annäherung gerecht zu werden vermag.

Zur Frage der anomalen Sehrichtungsgemeinschaft bei Schielenden vgl. man v. TSCHERMAK (a) und SCHLODTMANN (a) und dieses Handbuch, Bd. 3, Kapitel CORDS, S. 440.

## 2. Der Horopter.

**Die einfache Form des Horopters.** Als selbstverständliche Folgerung ergibt sich aus den Einzelheiten dieser Feststellungen, daß auch der Horopter nicht jene einfache Form haben dürfte, die man ihm in bewußter Schematisierung der Voraussetzungen aus didaktischen Gründen meist zuspricht. Der Horopter wird definiert als der geometrische Ort aller Punkte des objektiven Raumes, die sich bei gegebener Augenstellung auf identischen Punkten beider Netzhäute abbilden. In dieser Formulierung wird der Horopter auch als *Punkt-* oder *Totalhoropter* bezeichnet und dem vertikalen und dem horizontalen Linienhoropter, d. h. dem Längs- und dem Querhoropter als den sog. *Partialhoropteren* gegenübergestellt. Er umfaßt die gemeinsamen Punkte der für eine bestimmte Augenstellung gültigen Partialhoropter.

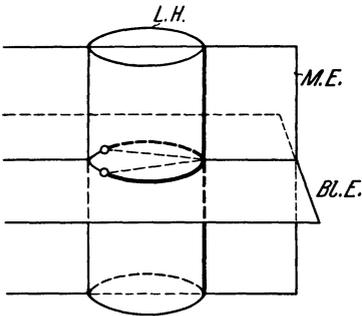


Abb. 25. Horopter bei symmetrischer Konvergenz. L.H. Längshoropter; M.E. (Medianebene), Bl.E. (Blickebene) Querhoropter.

Für die Ableitung der Form des Horopters pflegt man die geometrischen Voraussetzungen, wie gesagt, zunächst dahin zu vereinfachen, daß man von den Tatsachen der Netzhautinkongruenz und der Möglichkeit einer etwa vorhandenen Augenrollung ganz absieht und als Perspektivitätszentrum den Knotenpunkt der Augen annimmt, was die Gültigkeit der Ableitung (wegen der tatsächlichen Abweichung des Knotenpunktes vom Drehpunkt des Auges) von vorneherein auf den Fall der Primärstellung und symmetrischer Konvergenzstellungen der Augen beschränkt. Methodisch wird so vorgegangen, daß man zunächst die Partialhoropter bestimmt; man verfolgt bei der gewählten Augenstellung die je durch ein Paar identischer Längsschnitte und die Knotenpunkte gelegten Ebenen in den Außenraum und sucht ihre Schnittgeraden auf. Die Summe dieser Schnittgeraden ergibt den Längshoropter. Entsprechend verfährt man beim Aufsuchen des Querhoropters. Die gemeinsamen Punkte beider machen den Totalhoropter aus.

Aus den geschilderten geometrischen Verhältnissen folgt, daß der Horopter für jede Augenstellung ein anderer sein muß. Bei *Parallelstellung der Gesichtslinien* stellt der Längshoropter die unendlich ferne, auf den Gesichtslinien senkrecht stehende Ebene dar. Den Querhoropter bildet der gesamte binokulare Gesichtsräum: der Totalhoropter wird also von der unendlich fernen senkrechten Ebene gebildet und ist in diesem Falle mit dem Längshoropter identisch.

Für den Fall der *symmetrischen Konvergenzstellung der Augen* ergibt sich unter den gleichen vereinfachenden Voraussetzungen als Längshoropter der durch den binokularen Blickpunkt und die beiden Knotenpunkte gelegte, zur Blickebene senkrechte Zylindermantel. Der Querhoropter besteht aus der Blickebene und der Medianebene des Kopfes. Der Totalhoropter setzt sich also aus dem MÜLLERSchen Horopterkreis und einer im Blickpunkte auf der Blickebene senkrecht stehenden Geraden (PRÉVOST) zusammen (s. Abb. 25). Es ist ersichtlich, daß die Krümmung des Horopterkreises bei Minderung der

Konvergenz mehr und mehr abnimmt, um im Grenzfall, bei parallelen Gesichtslinien, in die senkrechtstehende unendlich ferne Ebene überzugehen.

**Wirkende Form des Horopters.** Kann bei der grundsätzlichen Erörterung des Horopterproblems von den Ungenauigkeiten im dioptrischen Apparate abgesehen werden, so müssen für die Einschätzung der wirklichen Verhältnisse doch die konstanten Tatsachen der Netzhautasymmetrie berücksichtigt werden. Wie schon HERING (d, S. 378) ausführte, ändert sich infolge der Abweichung des mittleren Längsschnittes vom Lotmeridian, zumal bei symmetrischer Konvergenz, die Form des Längshoropters dahin, daß er den Mantel eines Kegels mit nach unten gerichteter Spitze darstellt, der die Blickebene im MÜLLERSchen Horopterkreis, die Medianebene in einer nun nicht mehr senkrechten, sondern von unten nahe nach oben ferne verlaufenden Geraden schneidet. Wie man sieht, wird also auch die Form des Totalhoropters eine andere.

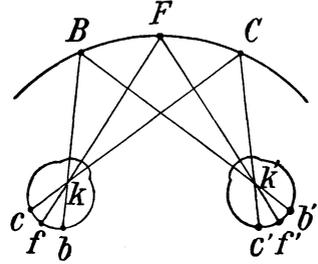


Abb. 26. Horopter bei starker Konvergenz.

Ziehen wir weiter auch die aus dem Ergebnis des KUNDTschen Teilungsversuches abzuleitende Tatsache mit heran, daß sich die Raumwerte auf der temporalen Netzhautseite in steilerem Gefälle ändern als auf der nasalen, so ergibt sich die von HERING (c, S. 82 u. 161; d, S. 401) zuerst erkannte, von HILLEBRAND (a) genau untersuchte sog. HERING-HILLEBRANDSche *Horopterabweichung*. Diese besteht darin, daß der Horopter je nach der Lage des Blickpunktes ganz verschiedene, vom MÜLLERSchen Horopterkreis abweichende Formen annimmt. Zur Veranschaulichung dieser sonst schwer

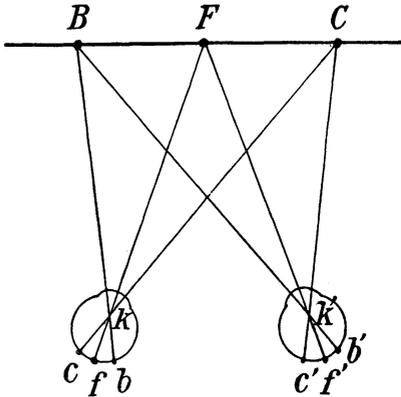


Abb. 27. Horopter bei mittelstarker Konvergenz.

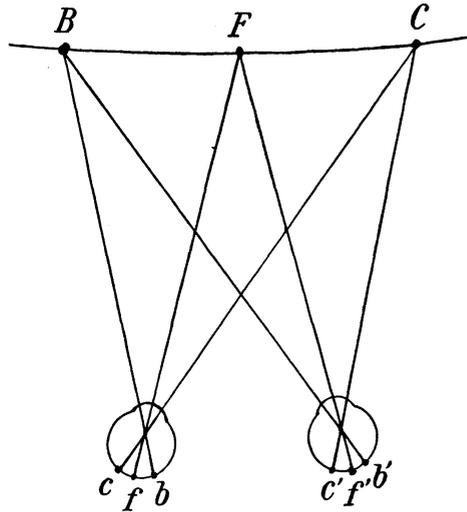


Abb. 28. Horopter bei schwacher Konvergenz.

übersehbaren Verhältnisse mögen die Abb. 26—28 dienen.  $k$  und  $k'$  seien die Knotenpunkte,  $F$  der binokulare Blickpunkt,  $b$  und  $b'$  zwei „asymmetrisch“ liegende, aber nach Maßgabe ihrer Sehrichtung korrespondierende Netzhautpunkte. Das gleiche gelte für die Punkte  $c$  und  $c'$ . Aus der Konstruktion ihrer Richtungsstrahlen ergeben sich die ihnen entsprechenden Horopterpunkte  $B$  und  $C$ . Aus den Abbildungen ist zu ersehen, daß unter Berücksichtigung der Netzhautasymmetrie schon bei starker Konvergenz der Punkthoropter eine

Kurve von deutlich geringerer Krümmung darstellt als der MÜLLERSche Kreis (Abb. 26). Mindern wir die Konvergenz, so nimmt die Krümmung des Horopters noch mehr ab, bis er bei einem bestimmten Konvergenzgrad zu einer geraden Linie wird (Abb. 27) und schließlich über diese Form hinaus sogar eine gegen den Beobachter konvexe Krümmung annimmt (Abb. 28). Der Längshoropter stellt also infolge der Netzhautasymmetrie einen Zylinder- (aber nicht Kreis- zylinder-) Mantel dar, der beim Hinzutreten der erstbesprochenen Form der Netzhautinkongruenz, wie bereits erwähnt wurde, zu einem auf der Spitze stehenden Kegel mit ebenfalls nicht mehr kreisförmiger Basis wird. Die bei Berücksichtigung beider Asymmetriefformen resultierende Gestalt des Totalhoropters ist aus dem Gesagten ohne weiteres zu entnehmen.

Demgegenüber fand v. HELMHOLTZ (a, I., S. 715) für sich und einige von ihm untersuchte emmetropische Versuchspersonen bei Primärstellung der Augen den Totalhoropter etwa entsprechend der Fläche des Fußbodens, wie er vermutet, aus Gründen der Schiefstellung der scheinbar vertikalen Netzhautmeridiane. Zur Erklärung nimmt er eine empirisch erworbene Korrespondenz der Netzhäute an, da die Objekte des Fußbodens (z. B. bei der Ortsbewegung) das Hauptaugenmerk beanspruchen. Diese Ansicht wurde von HERING (a, S. 348) ausführlich kritisiert und auch von DONDERS (d, S. 405) abgelehnt.

Für die *praktischen Verhältnisse unseres Sehens* spielt der Totalhoropter eine nur untergeordnete Rolle, da bei der Art der Anordnung unserer Augen eine längsdisparate Abbildung des einzelnen Objektpunktes ohne Bedeutung bleibt (s. hierzu S. 426). Um so wichtiger ist die für jede Augenstellung gültige Form des *Längshoropters*, da er praktisch die Rolle des Totalhoropters übernimmt. Diejenigen Außenpunkte, die den Längshoropter ausmachen, erfüllen die Bedingungen der identischen Abbildung in beiden Augen, da sie in ihrer Querlage festgelegt sind, also *nicht querdissparat* sein können. Dies aber ist deshalb das Wesentliche, weil die querdissparate Abbildung die für das Tiefsehen maßgebende Art der Abweichung von der Abbildung auf korrespondierenden Netzhautpunkten darstellt (s. S. 425f.).

### 3. Das Sehen mit identischen Netzhautstellen.

**Das Zyklopenauge.** Zur Beantwortung der Frage, wo wir im Sehraume die auf identischen Netzhautstellen abgebildeten Außenpunkte sehen, d. h. in welche Richtung die den identischen Punktpaaren gemeinsamen Sehrichtungen weisen, hat v. HELMHOLTZ die Annahme eines zwischen beiden Augen in die Gegend der Nasenwurzel zu verlegenden „Zyklopenauges“ herangezogen. Wenn diese Vorstellung insofern auch schematisch bleibt, als sie die Verhältnisse der Netzhautinkongruenzen unberücksichtigt lassen muß, so veranschaulicht sie den Tatbestand nicht nur in der Beziehung sehr gut, als die Augen beim Binokularsehen tatsächlich wie ein einziges Organ fungieren, sondern findet ihre innere Berechtigung nach HERINGS Entwicklungen vor allem auch darin, daß die Richtung, in der uns binokular fixierte Objekte, selbst bei ganz seitlicher Blicklage, d. h. bei asymmetrischer Konvergenz, zu liegen scheinen, in ihrer rückwärtigen Verlängerung immer nach der Nasenwurzel führt. Übrigens ist dies auch bei *einäugiger* Fixierung deutlich der Fall; auch hier fällt die Sehrichtung keineswegs mit der Verbindungslinie zwischen Objektpunkt und Fovea centralis des sehenden Auges zusammen, sondern zielt in die Gegend der Nasenwurzel, so daß bei Primärlage der Augen der auf der Fovea centralis abgebildete Objektpunkt auch bei einäugigem Sehen in die Medianebene des Kopfes lokalisiert wird.

**Sehrichtung und Richtungslinien.** Für das Sehen mit zwei Augen wird die Abweichung der Sehrichtung von den physikalischen Richtungsstrahlen schon aus logischen Gründen zur Selbstverständlichkeit, da für jeden identisch

abgebildeten Objektpunkt 2 Richtungsstrahlen existieren, aber nur *eine* Sehrichtung.

Um die den verschiedenen Paaren korrespondierender Netzhautpunkte eigenen Sehrichtungen, wenigstens in erster Annäherung, zu finden, denke man sich die Netzhautbilder beider wirklichen Augen nach HERING so in das Zyklopaugauge übertragen, daß sie in Beziehung zum vertikalen und horizontalen Mittelschnitt seiner Netzhaut ebenso angeordnet sind wie in den Einzel-äugen: die *Richtungslinien* des imaginären Einauges entsprechen dann annähernd den *Sehrichtungen der Deckstellen*.

Abb. 29 veranschaulicht diese Verhältnisse; die beiden Augen sind auf den Punkt *A* gerichtet, der sich also in beiden foveal abbildet und somit in der Hauptsehrichtung ( $\alpha$ ), entsprechend der Medianebene des Kopfes, gesehen wird. Der im Punkthoropter seitlich

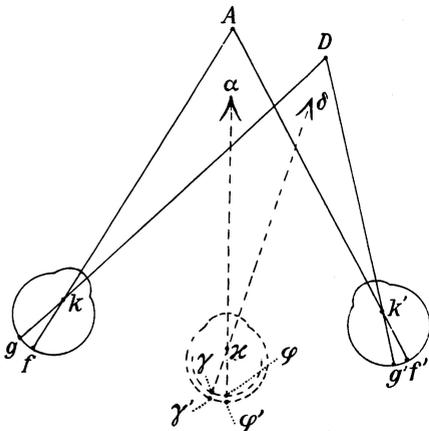


Abb. 29. Zyklopaugauge.

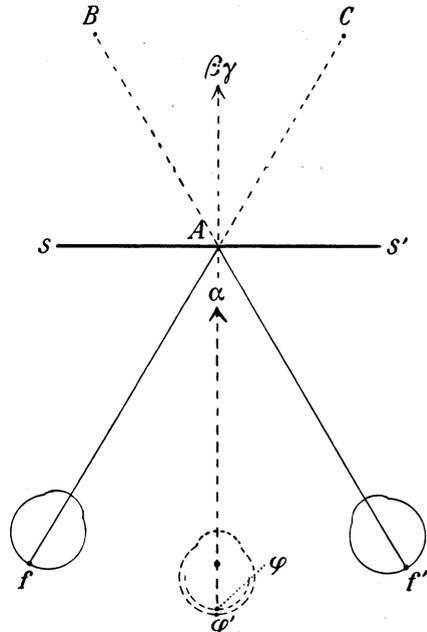


Abb. 30. Sehrichtungsgemeinschaft identischer Netzhautstellen.

gelegene Punkt *D* kommt auf den identischen Punkten *g* und *g'* zur Abbildung, deren gemeinsame Sehrichtung der punktierten Richtung  $\delta$  entspricht. Die Sehrichtungen  $\alpha$  und  $\delta$  fallen mit den Richtungslinien der Fovea und des von *D* gereizten Punktpaares im Einauge zusammen. Für eine größere Anzahl von Deckstellenpaaren ausgeführt, ergibt sich ein ganzes Büschel von Sehrichtungen, für die der Knotenpunkt des Zyklopaugauges das „Sehrichtungszentrum“ darstellt (vgl. hierzu auch MILUTIN).

Daß die skizzierte Art der Ableitung der gemeinsamen Sehrichtungen nur cum grano salis zu verstehen ist und den wirklichen Verhältnissen nur ungefähr und unter besonderen Voraussetzungen gerecht wird, ergibt sich schon aus der Tatsache des subjektiven Maßstabwechsels im Sehfelde, die für das binokulare Sehen in ganz der gleichen Weise besteht wie für das monokulare (s. o. S. 399 f.).

Ein sehr eindrucksvolles Beispiel dafür, daß Sehrichtung und Richtungslinien scharf auseinander zu halten sind und daß die wirkliche Lage der Dinge im Verhältnis zur Medianebene des Kopfes für die scheinbare Lage der entsprechenden Sehdinge nicht allein bestimmend ist, lehrt folgender einfacher Versuch, den HERING (d, S. 386) zur Demonstration der Sehrichtungsgemein-

schaft identischer Netzhautstellen angegeben hat. Ordnet man, wie Abb. 30 es zeigt, ein Objekt *B* so an, daß es für das rechte Auge in derselben Richtung erscheint wie der auf der frontalparallelen Glasplatte *s s'* liegende Punkt *A*, und symmetrisch dazu ein Objekt *C* so, daß es für das linke Auge diese gleiche Bedingung erfüllt, und fixiert man nun den Punkt *A* mit beiden Augen, so rücken die Bilder von *B* und *C* momentan in die Medianebene zusammen und werden beide mit dem Punkte *A* in gleicher Richtung gesehen. Die Richtung „geradeaus nach vorne“ als die Sehrichtung der beiden Netzhautmitten und zugleich die Richtungslinie der Fovea des imaginären Einauges ist auf der Abbildung eingetragen.

Dieser Versuch stellt einen der entscheidenden Belege gegen die zuletzt noch von A. NAGEL vertretene Hypothese dar, die Netzhautindrücke würden entlang den Richtungslinien beider Augen „nach außen projiziert“. Von der Unzulänglichkeit dieser „Projektionshypothese“ kann man sich nach HERING (a, S. 150) auch in der Weise einfach überzeugen, daß man sich binokular zunächst ein dauerhaftes

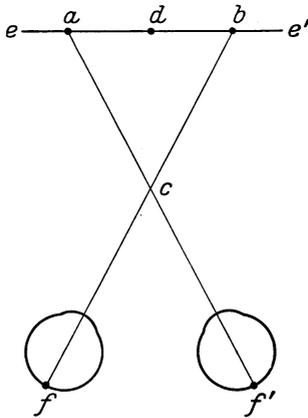


Abb. 31. Erklärung im Text.

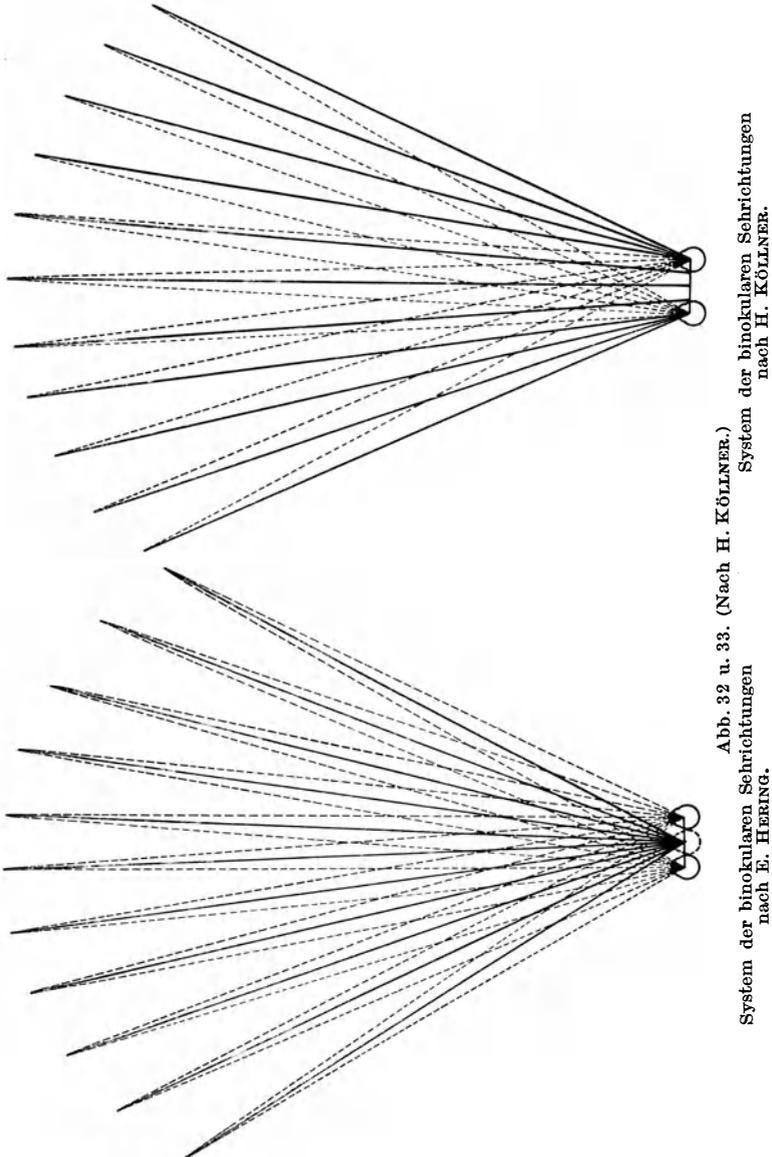
zentrales Nachbild eines leuchtenden Punktes erzeugt und sodann mit beiden Augen den *vor* einer (etwa in der Ebene *ee'* liegenden) Papierfläche angeordneten Punkt *c* (siehe Abb. 31) fixiert: das Nachbild wird dann weder einfach in *c*, noch doppelt in *a* und *b*, sondern entsprechend der Sehrichtung beider Foveae *hinter* dem Fixationspunkt *c* in *d* auf der Papierfläche gesehen und ändert bei Änderung des Abstandes der Papierfläche seine scheinbare Größe. Die Projektionstheorie geht von der offenbar fehlerhaften Vorstellung aus, der Mensch empfinde primär die Netzhautbilder gesehener Objekte an der Stelle ihres Entstehens und projiziere sie nachträglich irgendwie in den Raum, während der tatsächlich gegebene Tatbestand doch umgekehrt so ist, daß jede optische Empfindung von vorneherein ihren Ort im Sehraume *hat*, zu dessen wissenschaftlicher Bestimmung erst die Vorstellungen von Sehrichtungen, Sehrichtungsgemeinschaft usw. entwickelt wurden.

**Abweichungen vom HERINGSchen Schema.** Während nun das HERINGSche Schema ein Zusammenlaufen *aller* (sowohl der Haupt- wie der Neben-) Sehrichtungen im hypothetischen Zyklopenauge annimmt, also sozusagen mit einer im gesamten binokularen Sehfeld e völlig gleichmäßigen Art der Bewertung der rechts- und linksäugigen Seheindrücke rechnet, hat neuerdings KÖLLNER (c, d, i) auf Grund eigener Untersuchungen die Meinung vertreten, diese Annahme treffe nur für die zentralen Teile des Sehfeldes zu. Hier liegen auch nach seinen Beobachtungen die Verhältnisse tatsächlich so, daß die Sehrichtungen auf einen mitten zwischen beiden Augen liegenden Punkt (eben auf die Nasenwurzel) hinzielen. Seiner Meinung nach sei dies streng jedoch nur für die Hauptsehrichtung und ein ziemlich enges Büschel ihr benachbart liegender Nebensehrichtungen gültig. Dagegen sollen mit zunehmender Abweichung von der Hauptsehrichtung, wenigstens bei der Mehrzahl der Menschen, die Nebensehrichtungen aus der rechten und der linken Hälfte des Sehfeldes sehr bald auf einen asymmetrisch nach der gleichen Seite zu gelegenen Punkt, schließlich auf das rechte bzw. das linke Auge selbst zustreben<sup>1</sup>.

Aus KÖLLNERS Befunden ergibt sich ein System der binokularen Sehrichtungen, das von den auf der Idee des imaginären Einauges aufgebauten (s. Abb. 32) nicht unwesentlich abweichen und die in Abb. 33 schematisch wiedergegebene Form zeigen müßte. Theoretisch wären seine Befunde dahin

<sup>1</sup> Die Existenz eines einheitlichen punktförmigen Zentrums der Sehrichtungen hatten zuvor schon HILLEBRAND (d, S. 49) und SCHÖN geleugnet.

auszulegen, daß nur die dem Hauptsehpunkte und seiner nächsten Nachbarschaft zugehörigen Sehrichtungen auf ein völlig gleichwertiges Eingehen der rechts- und linksäugigen Erregungen in das binokulare Verschmelzungsbild



System der binokularen Sehrichtungen  
nach H. KÖLLNER.

Abb. 32 u. 33. (Nach H. KÖLLNER.)

System der binokularen Sehrichtungen  
nach E. HERING.

hindeuten, während der Verlauf der mehr exzentrischen Sehrichtungen als der Ausdruck einer Präponderanz der Erregung im gleichseitigen Auge anmutet.

Diese Feststellung hätte, falls sie sich bestätigt, rein biologisch betrachtet insofern nicht unwesentliches Interesse, als sie zeigte, daß es auch beim Menschen trotz der so innigen anatomischen und funktionellen Koppelung der korrespondierenden Sehelemente, wie sie der Entwicklung des binokularen Sehaktes

zugrunde liegt, noch nicht zu einer in allen Teilen des Sehfeldes vollkommenen Verschmelzung der beidäugigen Gesichtseindrücke gekommen wäre (KÖLLNER). Praktisch aber bliebe sie für die Art unserer Lokalisierung immerhin verhältnismäßig bedeutungslos, weil wir beim freien doppeläugigen Sehen ganz vorwiegend die Mittelbezirke unserer Netzhäute verwenden, deren gemeinsame Sehrichtung auch nach KÖLLNERS Meinung einer streng „symmetrischen Bewertung“ der Seheindrücke beider Augen entspringt und auf das imaginäre Einauge des HERINGSchen Schemas hinzielt.

Die Angaben KÖLLNERS, die sich zum Teil auf Versuche mit haptischer Verzeichnung der empfundenen Richtungen (mit verdeckter Hand), zum Teil auf rein optische Bestimmungen stützen, sind von F. B. HOFMANN (e, S. 391) nicht bestätigt worden. HOFMANNs Beobachtungen laufen auf die Feststellung hinaus, daß die nach WEINBERG verzeichneten binokularen Sehrichtungen sich in einem kleinen Gebiete treffen, das etwa in der Mediane (bei HOFMANN mit schwacher Abweichung nach rechts) und etwas *hinter* den Augen liegt. *Sicher* streben bei ihm die Sehrichtungen der linken Seite *nicht* dem Knotenpunkt des linken, die der rechten *nicht* dem Knotenpunkt des rechten Auges zu. Die Annahme des Sehrichtungszentrums *hinter* den Augen entspricht den neueren Angaben von ROELOFS und DE FAUVAGE-BRUYEL sowie einer alten Vermutung von v. HELMHOLTZ (a, Bd. 1, S. 556), der den Eindruck hatte, „als blicke man aus der Tiefe des Kopfes hervor in die Außenwelt“ (man vgl. die zentrische Schrumpfung des Sehfeldes). FUNAISHI (a—c) gibt auf Grund von Zeigeversuchen unter Führung des Auges neuerdings das Sehrichtungszentrum ebenfalls nach *hinten und unten* von den Augen, entsprechend dem „Drehpunkte bei Seitenwendung des Gesichtes“, an.

„**Äugigkeit**“. In jüngster Zeit mehrten sich die Angaben über das Vorherrschen *eines* Auges im binokularen Sehakte, so daß dieses bei sonst bilateral gleicher Funktion das „*führende*“ wird („Äugigkeit“). Wie insbesondere CUFF (aber auch HILLEMANNs) hervorhebt, ist hierbei neben der Rechts- bzw. Linksäugigkeit auch der Fall der Wechseläugigkeit mit *abwechselnder* Bevorzugung des einen und des anderen Auges festzustellen. Die Erscheinungen werden in einem großen Teil der Fälle (nicht immer) mit entsprechender „Händigkeit“ gepaart gefunden (man vgl. z. B. bei ESSER, der die Abhängigkeit zwischen beiden Erscheinungen auch experimentell belegt). Die zahlenmäßigen Befunde über das Vorkommen der Rechts- und Linksäugigkeit gehen einigermaßen auseinander (MILES, KURODA, DOWMY, SOULD). LITINSKY findet unter 601 Personen 343mal (bei 57%) Rechts-, 178mal (bei 29%) Linksäugigkeit, nur 80mal keine Präponderanz eines der beiden Augen. Nach HILLEMANNs wird das Vorherrschen eines Auges individuell von früher Jugend an erworben, wie er meint, unter dem Einflusse der Händigkeit (doch vgl. man bei WOO und PEARSON), von Störungen des Muskelgleichgewichtes der Augen sowie von bestehender Anisometropie. So bringt er die bei Nahearbeitern zu 74% vorkommende Rechtsäugigkeit mit der meist größeren Kurzsichtigkeit des rechten Auges, die zu bevorzugter Benutzung beim Nahesehen führe, in Beziehung (bei Bauern 8% Rechtsäugigkeit, meist Mitteläugigkeit). Der Nachweis der Prävalenz geschieht mittels des ROSENBAChschen Visierversuches bzw. durch den Versuch mit farbigen Gläsern; KURODA schlägt den Farbtonwechsel binokularer Farbmischungen beim Vertauschen der Farben als Kriterium vor (vgl. auch S. 444f.).

Hinsichtlich der *Richtungslokalisierung* bei bestehender Äugigkeit hat die Untersuchung ergeben, daß die binokular gleichzeitigen Gesichtswahrnehmungen *nicht* entsprechend der Sehrichtung eines imaginären Nasenwurzel Auges, sondern *in die des prävalierenden Auges* lokalisiert werden. Angesichts des häufigen Vorkommens der Äugigkeit gelangt HILLEMANNs nach seinen Feststellungen zu dem Schluß, daß für die meisten Menschen das Zentrum der Sehrichtungen in *einem*, dem führenden, Auge liege. Im übrigen stellt er den individuellen Erwerb einer Äugigkeit den ähnlich liegenden Erscheinungen in anderen bilateral symmetrisch angelegten Organgebieten (Suprematie der linken motorischen Rindenfelder, BROCA'sches Sprachzentrum) als gleichartig an die Seite.

**Kernfläche des Sehraumes.** Wurde die Frage nach der Lokalisation der auf korrespondierenden Netzhautstellen abgebildeten Außenpunkte bisher lediglich mit Rücksicht auf die *Richtung*, in der die Sehdinge zu liegen scheinen, diskutiert, so bleibt nun zu erörtern übrig, *in welcher relativen Entfernung* auf

dem Punkthoropter angeordnete Lichtpunkte bei ruhiggehaltenem Blick gesehen werden. Es ist also festzustellen, welches Gebilde des Sehraumes der Gesamtheit jener Außenpunkte entspricht, die sich bei gegebener Augenstellung auf identischen Netzhautstellen abbilden. Dieses Gebilde hat HERING als die *Kernfläche* des Sehraumes bezeichnet.

Die auf die Bestimmung der Kernfläche zielenden Versuche wurden meist so eingerichtet, daß eine größere Anzahl vertikaler Nadeln oder Fäden entlang dem Längshoropter verteilt und nun ermittelt wurde, in welcher Anordnung sie dem Beobachter erschienen. Von einem Teil der Forscher (HERING) wird die Kernfläche auf Grund solcher Beobachtungen als eine zur Blickebene senkrechte *ebene* Fläche, von anderen (v. HELMHOLTZ) als *Zylinderfläche* angegeben. Im letzten Falle würde sie in ihrer Form also mit dem mathematischen Längshoropter zusammenstimmen, wie es nach der Projektionstheorie, allerdings nur unter Vernachlässigung der HERING-HILLEBRANDSchen Horopterabweichung, gefordert werden muß. Legen wir hier die von HERING vertretene Ansicht zugrunde, so kann man, ohne hinsichtlich der scheinbaren *absoluten* Entfernung der Kernfläche etwas zu präjudizieren, sagen, daß alle dem Horopter angehörigen Punkte in scheinbar die *gleiche* Entfernung lokalisiert werden und daß durch die von ihnen gebildete ebene Fläche der Sehraum in einen vorderen und einen hinteren Abschnitt geteilt wird.

#### 4. Das Sehen mit disparaten Netzhautstellen.

**Abbildung auf disparaten Netzhautstellen.** Bezüglich der Art, wie die auf *nicht identischen* Netzhautstellen abgebildeten Außenpunkte im Sehraume erscheinen, ergibt sich in folgerichtiger Anwendung des Gesetzes von der Sehrichtungsgemeinschaft korrespondierender Netzhautpunkte, daß sie *doppelt* gesehen werden müssen, da den von ihnen besetzten *disparaten* Netzhautpunkten eine verschiedene Sehrichtung eigen ist. Bei höheren Graden disparater Abbildung ist die Richtigkeit dieser Folgerung meist ohne weiteres nachzuweisen, und zwar liegen die auftretenden Doppelbilder, da wegen der anatomischen Anordnung der Augen im aufrechtgehaltenen Kopf und der Art der normal koordinierten Augenbewegungen, wie schon oben erwähnt wurde, lediglich eine Querdisparation in Frage kommt, ein für allemal in größerem oder geringerem Abstände seitlich nebeneinander: „Doppeltsehen des Einfachen“.

Wie sich gezeigt hat, sind diese Doppelbilder in physiologischer Beziehung danach wohl zu unterscheiden, ob es sich um sog. gleichnamige (ungekreuzte) oder um ungleichnamige (gekreuzte) Doppelbilder handelt. Bei ungekreuzten Doppelbildern entspricht jedes der beiden Einzelbilder der Regung des gleichseitigen Auges, so daß es beim Verdecken dieses Auges verschwindet; bei gekreuzten Doppelbildern dagegen gehört das einzelne Bild dem gekreuzt liegenden Auge zu. Diese beiden möglichen Fälle sind in den Abb. 34 und 35 wiedergegeben; es ist leicht aus ihnen zu ersehen, daß im ersten Falle der von dem disparat gesehenen Punkte *B* im rechten Auge gereizte Netzhautpunkt den größeren „Rechtswert“, der im linken Auge gereizte den größeren „Linkswert“ hat, während im zweiten Falle die Verhältnisse gerade umgekehrt liegen. Man spricht in diesem Sinne auch einfach von einer Abbildung unter ungekreuzter oder gekreuzter Disparation.

Die *physiologische Bedeutung* dieser zwiefach verschiedenen Art der disparaten Abbildung liegt darin, daß es für die räumliche Gestaltung der zustandekommenden Empfindung einen wesentlichen Unterschied macht, je nachdem ein Außenpunkt unter gekreuzter oder ungekreuzter Disparation gesehen wird. Die bei disparater Abbildung im allgemeinen auftretenden Doppelbilder werden beim gewöhnlichen Sehen als solche zumeist gar nicht beachtet, da sie als Gegen-

stand unserer Aufmerksamkeit völlig in den Hintergrund treten. Regelmäßig aber wirkt die gleichzeitige Reizung zweier querdissparater Netzhautpunkte mit voller Eindringlichkeit und Eindeutigkeit dahin, daß alle disparat abgebildeten Außenpunkte in einer von der Kernfläche abweichenden Tiefe des Sehraumes erscheinen und somit nach vorne oder hinten mehr oder weniger stark aus der Kernfläche heraustreten. Die Art der Querdissparation erweist hierbei ihre besondere Bedeutung darin, daß jede Abbildung unter *gekreuzter* Dissparation zwangsläufig zum Eindruck *größerer Nähe* führt, während jede *ungekreuzte* Dissparation umgekehrt den zwangsläufigen Eindruck *größerer Ferne* erzeugt.

Wieweit die Sehdinge nach hinten oder nach vorne aus der Kernfläche heraustreten, ist je nach den Verhältnissen durch die Größe der bestehenden Dissparation sowie durch den Abstand des Fixationspunktes vom Auge (s. S. 429 f.) bestimmt.

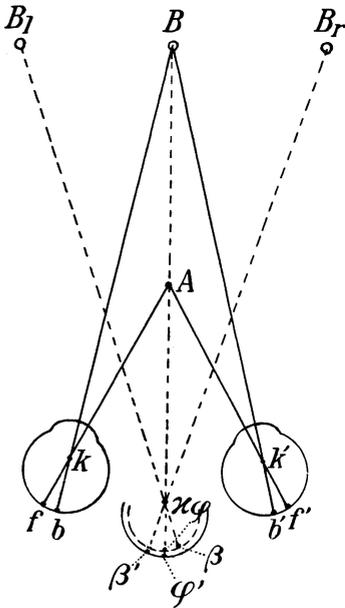


Abb. 34. Ungekreuzte Doppelbilder.

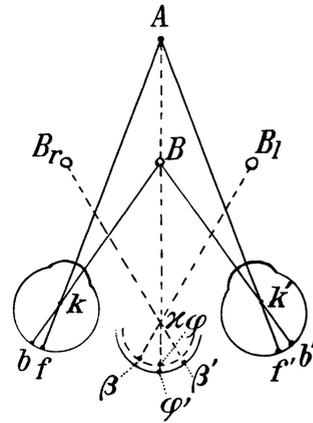


Abb. 35. Gekreuzte Doppelbilder.

HEINE (a, S. 166) hat versucht, einen Tiefeneffekt in der Weise zu erzeugen, daß er *ein und demselben* Auge in rascher Folge abwechselnd zwei stereoskopische Teilbilder (s. S. 432 f.) darbot. Der Versuch blieb absolut ergebnislos, was beweist, daß die *querdissparat* Abbildung gewisser Objektpunkte in beiden Augen die alleinige physiologische Grundlage für das „stereoskopische“ Sehen abgibt, während ihrer *differenten* Abbildung (im gleichen Auge) eine solche Wirkung gänzlich fehlt. Ebenso wenig kann reine *längsdissparat* Abbildung eines Punktes, wie zuerst v. HELMHOLTZ experimentell sicherstellte, jemals zu einem Tiefeneffekt führen (s. hierzu S. 420).

**Tiefenwerte der Netzhautstellen.** Der Versuch einer Erklärung dieser eigenartigen und auffallend bestimmten Wirkung der disparaten Abbildung ist in der durch Beobachtungen gestützten Annahme HERINGS (a, S. 142 f.) gegeben, daß jedes Netzhautelement außer mit dem schon (S. 398) erwähnten Lokalzeichen der Sehrichtung noch mit einem Lokalzeichen anderer Art begabt sei, welches die Empfindung der *Tiefendistanz* relativ zur Kernfläche vermittele.

Die Verteilung dieser „Tiefenwerte“ auf der Netzhaut ist nach HERING so zu denken, daß jeder auf der nasalen Seite gelegene Nebenlängsschnitt einen relativen „Fernwert“, jeder temporalwärts gelegene umgekehrt einen relativen „Nahwert“ besitzt, die um so größer sind, je weiter die Nebenlängsschnitte vom mittleren Längsschnitt abliegen. Trifft dies zu, so finden sich auf der

Doppelnetzhaut Stellen identischen Tiefenwertes, die, im Unterschied zu den Stellen gleicher Sehrichtung, symmetrisch zu den mittleren Längsschnitten angeordnet sind. Aus einem Zusammenhalt der Verteilung beider Arten korrespondierender Stellen ergibt sich weiter, daß nur die beiden Foveae sowie die übrigen Punkte der mittleren Längsschnitte Stellen identischer Sehrichtung *und* identischen Tiefenwertes *zugleich* sind. Das funktionelle Zusammenwirken würde sich dann in der Weise regeln, daß bei gleichzeitiger Reizung zweier Nebelängsschnitte mit Tiefenwerten verschiedener Größe und verschiedenen Vorzeichens die Tiefendaten sich algebraisch summieren und das Sehding in dem einen oder anderen Sinne aus der Kernfläche heraustritt. Nebelängsschnitte mit Tiefenwerten gleicher Größe, aber verschiedenen Vorzeichens ergeben nach diesem Prinzip eine in der Kernfläche liegende Empfindung, wie es ja für korrespondierende Längsschnitte zu fordern ist.

Kommt es in einem Falle disparater Abbildung zum Auftreten von Doppelbildern, so werden interessanterweise auch diese, wenigstens zunächst, nach Maßgabe der Tiefenwerte der betreffenden Netzhautstellen mit Bestimmtheit vor bzw. hinter die Kernfläche lokalisiert [v. HELMHOLTZ (a u. e), v. KRIES und AUERBACH, v. TSCHERMAK und HÖFER, HEINE (g), PFEIFER (a)], eine Beobachtung, auf welche HERING seine Anschauungen in erster Linie aufbaute.

HERINGS Annahme einer Ausstattung der Netzhautelemente mit besonderen Tiefenwerten ist nicht unbestritten geblieben (s. u.). HILLEBRAND (e) bemerkt sehr zutreffend, daß sie bei der Lage der Dinge auch wohl entbehrlich wäre. Denn die für die Wahrnehmung der dritten Dimension an sich bestehende Schwierigkeit, daß das Empfangsorgan flächenhaft gebildet ist und daher eine Variabilität des Reizes nur nach zwei Dimensionen gestattet, daß also auf dem Wege vom Außenobjekt bis zur Empfindung zunächst eine Variable verloren geht, könnte auch auf die Weise behoben sein, daß jede denkbare, durch die Reizung der Doppelnetzhaut herstellbare Kombination disparater Stellen einen *Reiz eigener Qualität* darstellte. Da diese „Reizkombination“ eine eigene Variabilität besitzt, so käme zu der an sich schon gegebenen Variabilität nach zwei Dimensionen eine weitere hinzu, und es wäre dann so, als wenn das Empfangsorgan selber *dreifach* ausgedehnt wäre.

v. HELMHOLTZ (a, I., S. 816) hat gegen die Annahme der Ausstattung der einzelnen Netzhautelemente mit eigenen Tiefenwerten z. B. den Versuch herangezogen, daß man vor die in die Ferne blickenden Augen ein schwarzes Kartonstück hält, das für das rechte Auge nur die rechte, für das linke Auge nur die linke Hälfte des Gesichtsfeldes freiläßt. Eine dahinter befindliche frontalparallele Wand wird unter diesen Umständen nicht in Form zweier geneigter Flächen gesehen, die median in einer dem Beobachter zugekehrten Schneide zusammenstoßen, sondern sie erscheint ganz eben. Ob dieser Versuch wirklich gegen HERINGS Auffassung verwertet werden kann, muß wegen des Mitwirkens der zahlreichen sonstigen Motive der Tiefenwahrnehmung dahingestellt bleiben. Dasselbe gilt bezüglich der Tatsache, daß uns eine frontalparallele Ebene bei monokularer Betrachtung nicht schräg von vorn nach hinten zu verlaufen scheint, wie dies nach HERING erwartet werden müßte.

An diese Stelle gehört auch der sog. PANUMSche Versuch (a, S. 76), der darin besteht, daß dem einen Auge im Stereoskop eine vertikale Gerade, dem anderen (in geringem gegenseitigem Abstände) deren zwei geboten werden. Bei binokularer Verschmelzung der einzelnen Geraden mit einer der beiden anderen kommt es zu Tiefeneffekten, die voll im Sinne der HERINGSchen Anschauung zu sprechen scheinen und auch so aufgefaßt wurden. Die weitere Diskussion des Versuches [JAENSCH (b, S. 46), HENNING (a), KAILA (a)] hat aber auch andere Möglichkeiten der Auslegung aufgedeckt, so daß er für eindeutig klare Schlußfolgerungen heute kaum geeignet erscheint.

Als Beleg für die HERINGSche These vom Tiefenwert der Netzhautelemente ist das im allgemeinen strenge Zusammengehen der KUNDTschen Streckendiskre-

panz mit der Abweichung des Horopters von der MÜLLERSchen Kreisform viel diskutiert worden. HILLEBRAND (a), der diese Übereinstimmung für seine Augen feststellen konnte, schloß hieraus auf eine Verquickung von Breiten- und Tiefenwerten der Netzhautelemente im Sinne HERINGS. Eine Konstanz der relativen Tiefenwerte auch bei Änderung des Konvergenzgrades und der scheinbaren Entfernung der dargebotenen Objekte („Stabilität der Raumwerte auf der Netzhaut“), wie sie HILLEBRAND behauptete, konnte von v. LIEBERMANN allerdings nicht bestätigt werden, da dieser die Verschmelzung der identisch gesehenen Objekte (vertikaler Fäden) in der „abathischen“ Fläche (= Kernfläche) des Sehraumes je nach ihrer Entfernung unter verschiedener binokularer Parallaxe eintreten sah. Auf der anderen Seite wieder stimmt LAU den HILLEBRANDSchen Angaben für Entfernungen zwischen 240 und 1440 mm im allgemeinen zu. Man vergleiche auch die Ergebnisse von v. TSCHERMAK (h) und F. P. FISCHER (b) bei Verwendung verschieden gefärbter Objekte und verschiedener Expositionszeiten.

Zur Frage der *Ursache und Konstanz* der HERING-HILLEBRANDSchen Horopterabweichung liegen von JAENSCH und seinen Schülern einige wichtige Feststellungen vor. JAENSCH und REICH fanden unter 24 Versuchspersonen nur 11, die die Horopterabweichung\* in der aus der Asymmetrie der Netzhäute sich herleitenden Art zeigten, bei etwa der Hälfte der Beobachter war das Phänomen geradezu umgekehrt. Die Verfolgung dieses Widerspruchs an Eidetikern [JAENSCH (c)], die die entsprechenden Erscheinungen im *Anschauungsbilde*<sup>1</sup> in 10—50facher Deutlichkeit sehen, so daß sie einer Analyse leichter zugänglich werden, führte zur Herausarbeitung eines wesentlichen *Aufmerksamkeitsfaktors*, unter dessen Wirkung „durch einen psychischen dynamischen Akt“ sogar bestimmte scheinbare *räumliche Verlagerungen* der dargebotenen Fäden eintreten sollen (s. bei JAENSCH). Damit erscheint das Wesen des Phänomens von Grund aus verändert, zumal da von JAENSCH und KRÖNCKE eine Bestätigung genannter Befunde auch an notorisch nicht eidetischen Erwachsenen vorliegt (vgl. auch ZEMAN). HOFMANN (e, S. 425) konnte für seine Person die mit der Aufmerksamkeitsverteilung wechselnde Tiefenauslegung dagegen nicht bestätigen, sondern fand trotz planmäßiger Verlegung des Aufmerksamkeitsortes die HERING-HILLEBRANDSche Form der Horopterabweichung in ganz typischer Weise. Daß eidetisch veranlagte Personen zu der von JAENSCH beschriebenen Art des räumlichen Sehens neigen, scheint auch aus den von VOM HOFE (c) erhobenen Befunden an einem erwachsenen Eidetiker hervorzugehen<sup>2</sup>.

**Querdisparation und Tiefensehen.** Trotz allem Für und Wider der Einzelbefunde kann ein Zweifel daran nicht bestehen, daß die Querdisparation die unerläßliche Voraussetzung für das plastische binokulare Tiefensehen bildet. Dem tut auch die auf HERING zurückgehende Beobachtung von POPPELREUTER (b) und JAENSCH (b, S. 92 f.) keinen Eintrag, daß bei längerer Fixierung eines Punktes mit ruhiggehaltenem Blick zunächst gegebene Tiefenunterschiede verflachen und die Sehdinge mehr und mehr in die Kernfläche zusammenrücken. Schon HERING betont, daß erst die Durchmusterung des Bildes mit willkürlicher Bewegung des Blickes „die volle Ausnützung und Verwertung unseres auf der Disparation der Netzhautbilder beruhenden Vermögens der Tiefenwahrnehmung ermöglicht“ (s. hierzu S. 440). Daß wir gerade bei momentaner Exposition zu sehr feiner Tiefenempfindung fähig sind, lehrt schon der von HERING (c) angegebene Fallversuch, bei dem vor den stillgestellten Augen kleine

<sup>1</sup> Man vergleiche hierzu S. 177 in diesem Bande.

<sup>2</sup> Eine andere im Anschauungsbilde der Eidetiker deutlich hervortretende Erscheinung ist von JAENSCH, FREILING und REICH als „*Kovariantenphänomen*“ bezeichnet worden. Geht man von einer Anordnung dreier vertikaler Fäden aus, bei der diese in einer frontoparallelen Ebene gesehen werden, und verschiebt einen der Seitenfäden nach vorne oder hinten, so erfährt auch der andere Seitenfaden eine scheinbare Verlagerung, zumeist im gleichen Sinne. Auch hierfür macht JAENSCH eine (durch die objektive Änderung der Fadenanordnung ausgelöste) Änderung der Aufmerksamkeitsverteilung verantwortlich. In wesentlich abgeschwächtem Maße scheint dieses Phänomen auch bei Nichteidetikern vorzukommen (VOM HOFE), ist aber selbst bei Eidetikern nicht konstant zu finden.

Kugeln in verschiedener Tiefenlage herunterfallen. Eine Abwandlung des Versuches mit Dauerexposition ist im HERINGSchen Stäbchenversuche gegeben (PFALZ). Man vergleiche hierzu auch Bd. 3.

Geht die Disparation der Abbildung dargebotener Objekte unter ein gewisses Mindestmaß herab, so gelingt es in vielen Fällen auch dem im Beobachten Geübten trotz geeigneter Wahl der Objekte nur unter bestimmten Bedingungen oder auch gar nicht, die theoretisch zu fordernden Doppelbilder zu sehen. Trotzdem ist die charakteristische Wirkung gekreuzter oder ungekreuzter Disparation hierbei nicht nur qualitativ dieselbe wie bei Disparationen höheren Grades, sondern sie führt ausnahmslos sogar zu einer größeren Bestimmtheit der Tiefenempfindung. Es handelt sich bei diesen Verhältnissen des Sehens um eine gleichzeitige Reizung *disparater* Stellen, die von der Lage korrespondierender *nur ganz wenig abweichen* und funktionell dadurch ausgezeichnet sind, daß sie trotz der grundsätzlichen Verschiedenheit ihrer Sehrichtungen das *Merkmal des Einfachsehens* tragen. Dieses Merkmal liefert also, im Unterschied zu den durch gleiche Sehrichtung ausgezeichneten korrespondierenden Netzhautpunkten, „korrespondierende Empfindungskreise“, wie PANUM (a) jene engen Bezirke disparater Stellen genannt hat. Soweit ich sehe, sind zu dieser Frage noch weitere Untersuchungen erwünscht.

Eine gewisse Bestätigung der PANUMSchen Befunde hat neuerdings die Untersuchung von TRENDLENBURG und DRESCHER gebracht, insofern sie zeigt, daß für größere, mannigfach gegliederte Gegenstände, aber auch für feinste Nadelspitzen als Beobachtungsobjekte der Disparationsgrenzwinkel für die Wahrnehmung von Doppelbildern und für die Tiefenempfindung verschieden ist. Bei *Nadelspitzen* wurde er für Doppelbilder bei 4', für Tiefenempfindung bei 15—40' gefunden. Dagegen fallen die Grenzwinkelwerte bei Beobachtung eines sagittal ausgespannten *Fadens*, der den Augen kontinuierlich von Null zu höheren Werten fortschreitende Grade der Querdisparation bietet, für Doppelbilder und Tiefenempfindung *streng zusammen*: es werden, wie schon HERING (a, S. 328) beschreibt, zwei im Fixierpunkte sich kreuzende Fäden gesehen (wobei bemerkenswert ist, daß bei gleichzeitiger Darbietung der Nadeln (ober- und unterhalb des Fadens) in der für eine Tiefenempfindung erforderlichen Distanz auch das zwischen den Nadelspitzen gelegene Fadenstück *einfach* gesehen wird.

## 5. Die Tiefensehschärfe.

Da die räumliche Gestaltung der Empfindung, wie gezeigt wurde, an ein bestimmtes Nebeneinander identischer und disparater Abbildung gebunden ist, so können Tiefeneffekte nur zustande kommen, wenn die beiden Netzhautbilder infolge der binokularen Parallaxe hinreichend verschieden sind, um neben der identischen Abbildung gewisser Objektpunkte andere zu noch merklich disparater Abbildung zu bringen. Es leuchtet ein, daß hier eine Grenze des Tiefenunterscheidungsvermögens gegeben sein muß, die einerseits in der Feinheit der Strukturelemente der Netzhaut und ihrer Raumwertabstufung, andererseits in der Pupillardistanz der Augen, d. h. in der Größe der Beobachtungsbasis, ihre Ursache hat. Für die physiologische Betrachtungsweise ist die Feststellung der hier geltenden Grenzwerte von besonderem Interesse.

Hierauf zielende Versuche haben, wie wohl zu erwarten war, für die Feinheit des Tiefenunterscheidungsvermögens zu Werten geführt, die sich (unter Berücksichtigung der Beobachtungsbasis) innerhalb derselben Grenzen bewegen, wie sie für das nach der Noniusmethode gemessene Unterscheidungsvermögen für Breiten- und Höhenlagen im Einzelauge gelten [WÜLFING, HEINE (a),

BOURDON (d), STRATTON, PULFRICH (a), HERING (e)] (s. S. 380f.). Methodisch wurde meist so vorgegangen, daß dem Beobachter die Aufgabe gestellt wird, eine senkrechte Nadel in die von zwei anderen Nadeln von wechselndem Tiefenabstände markierte frontoparallele Ebene einzustellen. Man hat gefunden, daß es noch zu einer Disparation kommt, die zum Auftreten sicher erkennbarer räumlicher Effekte führt, wenn der Winkel, den die Richtungsstrahlen des fraglichen Objektpunktes miteinander einschließen, von dem der Gesichtslinien um 13—14" abweicht. BOURDON gibt sogar den Wert von nur 5", ANDERSON einen noch niedrigeren Wert an. FRUBÖSE und P. A. JAENSCH fanden bei 6 m Beobachtungsdistanz und 1° seitlichem Abstände der Fäden je nach der Beleuchtung neuerdings Winkelwerte zwischen 10,3 und 6,6".

Tabelle 2.

Entfernung der Ebene	Entfernung des Punktes	Tiefenunterschied
∞	2642 m	∞
2000 m	1138 m	862 m
1000 m	726 m	274 m
500 m	421 m	79 m
200 m	186 m	14 m
100 m	96,3 m	3,7 m
50 m	49 m	1 m
20 m	19,85 m	15 cm
10 m	9,96 m	4 cm
5 m	4,987 m	3 mm
2 m	1,9985 m	1,5 mm
1 m	0,9996 m	0,4 mm
50 cm	49,99 cm	0,1 mm
20 cm	19,998 cm	0,017 mm

Die eben noch erkennbaren absoluten Differenzen der Tiefenlage, die sich bei verschiedener Lage des binokularen Blickpunktes aus diesen Winkelwerten berechnen, sind aus den Werten obenstehender von BOURDON stammender Tabelle 2, denen der für das Netzhautzentrum gültige Grenzwert von 5" zugrunde gelegt ist, ohne weiteres zu erkennen. Doch vergleiche man hierzu auch die Ausführungen von v. ROHR (a), v. KRIS [v. HELMHOLTZ (a, III., Bd. 3, S. 309)].

In der *Netzhautperipherie* werden, entsprechend dem geringeren Unterscheidungsvermögen für Breitenlagen, erheblich geringere Werte für die Tiefensehschärfe gefunden (HEINE). Nach v. KRIS (b) beträgt sie in 5° Abstand von der Fovea nur noch  $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{20}$ , in 10° Distanz  $\frac{1}{15}$ — $\frac{1}{30}$  des Wertes im Zentrum. Ferner ist sie natürlich um so geringer, je unschärfer die Abbildung auf der Netzhaut ist (HEINE). Auch der Einfluß der Dunkeladaptation [W. A. NAGEL (c)] äußert sich, ebenso wie bei der Sehschärfe im ebenen Sehfeld, im Sinne einer Verminderung. Form und Farbe der Objekte sollen dagegen ohne Einfluß auf die Tiefensehschärfe sein [PULFRICH (a), WÄCHTER]. Von LANGLANDS wurde neuerdings auch der Einfluß der Belichtungsdauer, insonderheit die Leistung bei Momentanbelichtung mit Funken, in den Rahmen der Untersuchung mit einbezogen.

Die Gültigkeit des WEBERSchen Gesetzes wirkt sich in der Tiefensehschärfe in charakteristischer Weise aus, indem diese unter sonst gleichen Bedingungen, d. h. vor allem bei gleicher Entfernung des binokularen Blickpunktes, um so feiner gefunden wird, je näher dem Längshoropter die Prüfungsobjekte liegen [v. HELMHOLTZ (a, I., S. 721)]. Methodisch ist diese Tatsache mit gutem

Erfolg von v. TSCHERMAK (c) bei Horopterbestimmungen nutzbar gemacht worden. Daß das Tiefenunterscheidungsvermögen, geprüft mit linearen Objekten (Testnadeln), ebenfalls um so mehr leisten wird, je genauer diese sich in ihrer Längsrichtung auf einzelnen Nebenlängsschnitten abbilden, liegt im Wesen der Tiefenwahrnehmung als einer Wirkung der Querdisparation begründet, die bei dieser Anordnung der Objekte ihr praktisches Maximum erreicht. Das bekannte Abflauen von Tiefeneffekten bei seitlicher Neigung des Kopfes gegenüber vertikalen Konturen ist, wenigstens zum Teil, hieraus zu verstehen (LINKSZ). Man vergleiche auch v. HELMHOLTZ (a. a. O.).

Diese Zusammenhänge werden am einfachsten verständlich bei Zugrundelegung der extremsten Bedingung, wie das in anderem Zusammenhang durch GARTEN geschehen ist. Bietet man den Augen eine Anzahl schwarzer Fäden vor einem frontalparallelen weißen Hintergrunde, von dem sie ungleich weit abstehen, *in reiner Querlage*, so vermögen wir von ihrer Tiefendifferenz *gar nichts* zu bemerken. Schlechthin vom Fehlen einer Querdisparation bei der Abbildung der Fäden zu sprechen, ist nicht angängig, denn eine solche ist für die einzelnen *Punkte* der jeweils nicht im Querhoropter gelegenen Fäden an sich zweifellos gegeben. Da sich diese Fäden aber in ihrer ganzen Länge auf korrespondierenden Querschnitten abbilden und das Bild des einzelnen Fadenpunktes dem der übrigen völlig gleicht, so werden vom Sehorgan bei der Verarbeitung des Eindruckes *nicht* die vom selben Objektpunkte gereizten *querdisparaten* Netzhautpunkte zusammengefaßt, sondern paarweise immer zwei, von völlig gleichartigen Bildern belegte *identische* Netzhautpunkte. Es kommt also zu einer „Täuschung“ des Sehorgans über die Zusammengehörigkeit der vom selben Objektpunkt herrührenden Bildpunkte, und es muß wohl als eine besondere Art der Auswirkung einer „Fusionskraft“ des Doppelauges angesprochen werden, daß gerade die Auslegung im Sinne einer *identischen* Abbildung bevorzugt wird. Die Beobachtungen von LINKSZ und von v. HELMHOLTZ können nach diesem Gesichtspunkte dahin verstanden werden, daß bei bloßer Schräglage (nicht Querlage) der Fadenbilder auf den Netzhäuten die Zusammenfassung gleichreizter Netzhautpunkte immer im Sinne *möglichst geringer* Querdisparation erfolgt.

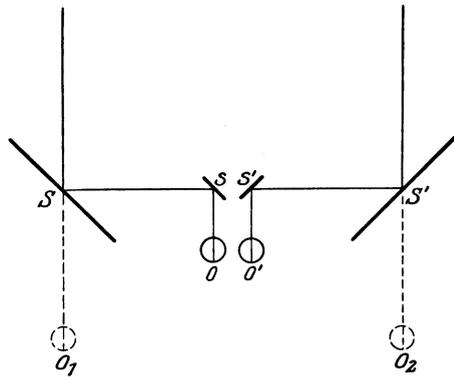


Abb. 36. Schema des Telestereokops.  
(Nach v. HELMHOLTZ.)

Die in der Tabelle 2 gegebenen Werte lehren weiter, daß von einer gewissen Entfernung der Objekte an das Tiefenunterscheidungsvermögen des Doppelauges seine natürliche Grenze findet. Rücken die Objekte so weit von den Augen des Beschauers ab, daß die von den einzelnen Objektpunkten ausgehenden Strahlen zu wenig von der Parallelrichtung abweichen, um nichtidentische Elemente beider Netzhäute zu treffen, so müssen Tiefendifferenzen in der zustande kommenden Empfindung fehlen: das Gesehene erscheint uns dann rein flächenhaft. Hierfür gibt die alltägliche Erfahrung zahlreiche Belege, man denke nur an den gestirnten Himmel, in dessen Fläche uns trotz ihrer nach vielen Millionen von Kilometern sich berechnenden Tiefendifferenzen alle Himmelskörper zu liegen scheinen. Für geeignete terrestrische Objekte (ferne Gebirgszüge usw.) ist dasselbe festzustellen. Die stereoskopische Grenze liegt also in gar nicht sehr großer endlicher Entfernung. Bei einer durchschnittlichen Pupillendistanz des Menschen von 66 mm und einer Tiefensehschärfe von 10'' wird sie z. B. schon bei einer Objektdistanz von etwa 1350 m erreicht, kann aber durch künstliche Hilfsmittel, wie durch den Kunstgriff des v. HELMHOLTZschen Telestereokops (Vergrößerung der Pupillendistanz durch Spiegelung, s. Abb. 36), auf ein Vielfaches dieser Entfernung hinausgeschoben werden.

Beim Prismenfeldstecher und dem sog. Scherenfernrohr findet dasselbe Prinzip, kombiniert mit linearer Bildvergrößerung, Verwendung (s. S. 435).

## 6. Die Stereoskopie.

**Allgemeines.** Ist schon in diesen Tatsachen ein Hinweis auf die Richtigkeit der entwickelten Anschauung vom Zustandekommen der optischen Tiefenempfindung gegeben, so gilt dies in erhöhtem Maße von der sog. *Zweibildstereoskopie* (WHEATSTONE), die eine für das allgemeine Verständnis außerordentlich anschauliche Nutzenanwendung der von der Natur gegebenen Gesetzmäßigkeiten darstellt. Ihr Wesen besteht darin, daß mit oder ohne technische Hilfsmittel zwei gesonderte flächenhaft gezeichnete, nicht in allen Einzelheiten identische Halbbilder durch binokulare Verschmelzung zu einem räumlichen Sammelbilde vereinigt werden. Der Vorgang der Netzhautreizung kann hierbei dem bei freiäugigem Binokularsehen voll entsprechen, wenn jedem Auge unter gleichzeitiger Erfüllung gewisser weiterer Bedingungen (s. u.) jenes Bild dargeboten wird, das sich bei perspektivischer Projektion der zur Anschauung zu bringenden wirklichen Objekte auf eine in bestimmter Entfernung vor den Augen befindliche frontalparallele Ebene mit dem Drehpunkte des Auges als perspektivischem Zentrum ergibt. Es ist ersichtlich, daß sich die auf den flächenhaften Projektionsbildern wiedergegebenen Linien und Punkte unter diesen Umständen in genau derselben Weise auf den Netzhäuten abbilden, wie wenn die Objekte selbst gesehen würden; es kommt zu derselben Art identischer und disparater Abbildung und, ebenso wie bei freiäugigem Sehen der Außenobjekte selbst, bedingt auch hierbei eine gekreuzte Disparation den Eindruck größerer Nähe, eine ungekreuzte den Eindruck größerer Ferne gegenüber den identisch abgebildeten Linien und Punkten. Bei Erfüllung der genannten Voraussetzungen ist die Gleichheit der räumlichen Empfindung in beiden Fällen grundsätzlich eine absolute, d. h. sie erstreckt sich auf die *absoluten* Maße, auch auf die Tiefenmaße. Die praktische Verwirklichung dieses idealen Falles einer sog. *tautomorphen* (objektgleichen) oder auch nur *homoiomorphen* (objektähnlichen) Wiedergabe der wirklichen Objekte stellt hinsichtlich der theoretisch und technisch einwandfreien Handhabung der Methodik bei der Herstellung und Darbietung der stereoskopischen Bilder allerdings besondere Anforderungen.

Die hierzu erforderlichen Entwicklungen finden sich bei v. ROHR (a, b) und v. KRIES [v. HELMHOLTZ (a, III., Bd. 3, S. 534)] niedergelegt; auch vergleiche man die Darstellung von F. B. HOFMANN (e, S. 525). An dieser Stelle sei nur vermerkt, daß schon bei *einäugigem* Sehen (wegen der Wirksamkeit monokularer Motive der Tiefenlokalisation, insbesondere der Linearperspektive) der Eindruck richtiger Proportionen, d. h. des richtigen Verhältnisses der Breiten zur Tiefenerstreckung, nur zustande kommen kann, wenn die bildmäßige, etwa photographische, Wiedergabe aus einem bestimmten Abstände betrachtet wird, der dem Maße der Verkleinerung oder Vergrößerung bei Herstellung des Abbildes genau Rechnung trägt. Wird das Bild aus zu großem Abstände angesehen, so überwiegt der Eindruck der Tiefe, umgekehrt verflacht das Bild bei Betrachtung aus zu geringer Entfernung, oder es resultieren in den beiden Fällen falsche Größenverhältnisse für verschieden entfernt erscheinende Objektteile.

Bei *binokularer* Betrachtung stereoskopischer Halbbilder, bei deren „Verarbeitung“ neben den Motiven der Perspektive die zwingenderen der binokularen Parallaxe zur Auswirkung gelangen, tritt als wesentlich vor allem die Einhaltung des richtigen *Hauptkonvergenzwinkels* (unter Berücksichtigung der Aufnahmebasis) hinzu. Doch spielen auch jetzt noch die für das einäugige Tiefensehen als maßgebend erwähnten Momente eine nicht zu vernachlässigende Rolle.

Dies lehrt ein Versuch GRÜTZNERS, in dem die Perspektive offensichtlich modifizierend in die Wirkung der Querdisparation eingreift [Verflachung des Tiefeneindrucks bei relativ zu geringer Betrachtungsdistanz; s. auch v. HELMHOLTZ (a, I., S. 668)].

Grundsätzliche Schwierigkeiten können, wenigstens in extremen Fällen, aus dem Umstande erwachsen, daß bei der binokularen Durchmusterung stereoskopischer Bilder die Akkommodation der Änderung der Konvergenz beim Erfassen verschieden fern erscheinender Punkte wegen der Bildschärfe nicht folgen darf. In der Tat konnte O. WEISS durch Beobachten des Pupillenspieles feststellen, daß die Akkommodation sich in solchen Fällen von der Konvergenz freimacht; es ist mehrfach nachgewiesen, daß dies zu fehlerhafter Abstandslokalisation („Sehferne“) und damit zu einer Änderung der „Plastik“ führen kann (v. ALBADA). Die hiermit gegebenen kurzen Hinweise für die Handhabung der praktischen Stereoskopie haben ihre

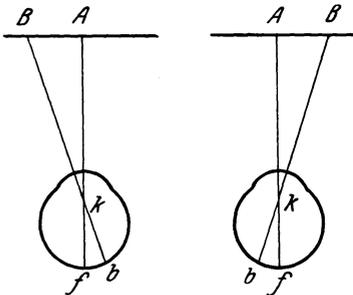


Abb. 37.

Erklärung im Text.

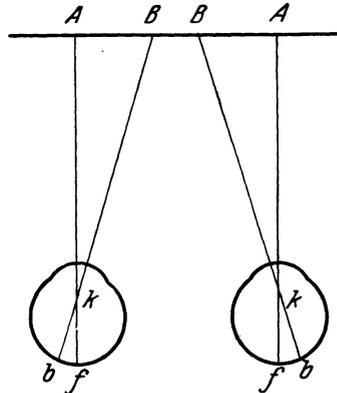


Abb. 38.

Gültigkeit natürlich sowohl für das freiäugige wie für das Stereoskopieren mit Hilfe der zu diesem Zweck gebräuchlichen Apparate.

**Freiäugiges Stereoskopieren.** Zum Studium der grundsätzlichen Bedingungen für das Zustandekommen der binokularen Tiefenwahrnehmung bietet das freiäugige Stereoskopieren die übersichtlichsten Verhältnisse und sei unter den Methoden der Stereoskopie daher an erster Stelle genannt. In geeigneten Fällen (nach Art der dargebotenen Objekte, Refraktionseinstellung der Augen usw.) vermag es naturgemäß dasselbe zu leisten wie die komplizierteren sonstigen Verfahren. Es wird ganz einfach so gehandhabt, daß man die Halbbilder in passendem gegenseitigem Abstände den Augen gegenüberhält, so daß die Gesichtslinie jedes Auges auf die Mitte des ihm entsprechenden Bildes gerichtet ist. Ist unter der selbsttätigen Mitwirkung des Fusionszwanges auf diese Weise eine haploskopische Verschmelzung der identischen Bildanteile erreicht, so treten im binokularen Sammelbilde auch die räumlichen Effekte der disparat gesehenen Bildanteile zwangsläufig hervor („Steroskopisches Sehen“).

Um an zwei ganz einfach gewählten Beispielen zu erläutern, welche Beschaffenheit flächenhaft gezeichnete Halbbilder haben müssen, um bei freiäugigem Stereoskopieren einen vorbestimmten räumlichen Effekt zu geben, seien die Abb. 37 und 38 beigelegt. Diese sind den Verhältnissen der Abb. 34 und 35 genau angepaßt und wurden so hergestellt, daß die Art der identischen und disparaten Abbildung, wie sie für die Punkte *A* und *B* in den Abb. 34 und 35 besteht, hier bei parallel gestellten Gesichtslinien einfach nachgeahmt wurde. Die Richtungsstrahlen der gereizten Netzhautpunkte bezeichnen auf den in der

Entfernung des früheren Blickpunktes  $A$  frontalparallel angebrachten Flächen die Stellen, wo in den Teilbildern die Punkte  $A$  und  $B$  angezeichnet werden mußten. Es ist klar, daß die aus den Halbbildern der Abb. 37 und 38 sich ergebenden Verschmelzungsbilder ganz dem optischen Eindrücke entsprechen müssen, wie ihn die Augen bei den Abb. 34 und 35 hatten. Zugleich ist leicht zu ersehen, daß die im Stereoskopversuch der Abb. 37 und 38 dargebotenen Teilbilder, wie dies oben als das Wesen der Zweibildstereoskopie gekennzeichnet wurde, in der Anordnung der Punkte  $A, B$  der perspektivischen Projektion der in den Abb. 34 und 35 wirklich gesehenen, räumlich verteilten Objektpunkte  $A$  und  $B$  auf eine in der Entfernung des Blickpunktes  $A$  angebrachte frontalparallele Projektionsfläche entsprechen. Im übrigen bedarf es keiner Erwähnung, daß die Ableitung unter bewußter Vernachlässigung aller die Raumempfindung komplizierenden Momente durchaus schematisch gehalten ist.

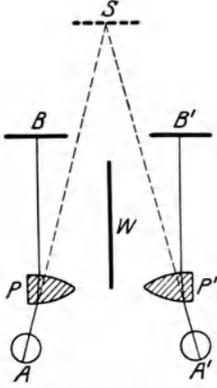


Abb. 39. BREWSTER'SCHES Stereoskop. (AUS ZOTH: Nagels Handbuch der Physiologie, Bd. 3, S. 424.)

**Stereoskopische Betrachtungsverfahren.** Die für die Betrachtung stereoskopischer Aufnahmen angegebenen besonderen Apparate haben den Zweck, dem im bewußten Gebrauch seiner Augen wenig Geübten die richtige Einstellung der Gesichtslinien gegenüber den dargebotenen Halbbildern zu erleichtern und zugleich die für eine richtige Anschauung der Raum- und Körperformen erforderlichen optischen Bedingungen zu schaffen. Über ihre Einrichtung ist aus den ausführlichen Darstellungen von F. B. HOFMANN (c), v. KRIES [bei HELMHOLTZ (a)], v. ROHR (b) das wesentliche zu entnehmen.

Das meistverbreitete und wohl auch handlichste (BREWSTER'sche) Stereoskop ist in der schematischen Abb. 39 wiedergegeben. Die den Augen vorgeschaltete Optik („Konvexprismen“) hat den Sinn, die Akkommodation des Beobachters auf die in ziemlich kurzer Entfernung dargebotenen Bilder zu unterstützen und den von den Bildmitten ausgehenden Strahlen trotz der schwachen

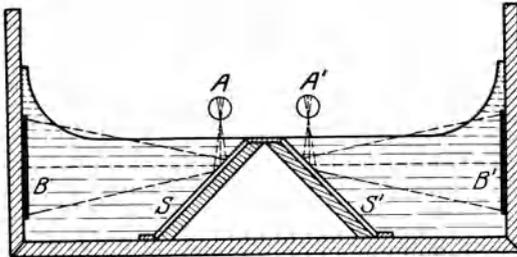


Abb. 40. WHEATSTONE'SCHES Stereoskop. (AUS ZOTH: Nagels Handbuch der Physiologie, Bd. 3, S. 423.)

Konvergenz der Augen die auf die Netzhautmitten zielende Richtung zu geben. Beim WHEATSTONE'schen Stereoskop (Abb. 40), dessen Prinzip auch dem HERING'schen Haploskop zugrunde liegt, wird auf derartige optische Hilfsmittel verzichtet; es ist einfach mit zwei senkrecht oder auch unter leicht spitzem Winkel zueinander gestellten Planspiegeln ausgestattet. Ferner sei auf das Linsenstereoskop der Firma ZEISS mit den VERANT-Linsen nach v. ROHR [Lit. auch für das folgende s. bei v. ROHR (c)] verwiesen. Es ist dies der exakt arbeitende Stereoskopapparat für Fernaufnahmen, deren

Betrachtung er in einer nach den oben angegebenen Gesichtspunkten einwandfreien Art bei parallel gestellten Gesichtslinien unter Ausschaltung jeder Akkommodation ermöglicht.

Zur Darbietung stereoskopischer Aufnahmen verwendet man ferner vielfach unmittelbar aufeinander gedruckte, gegenfarbig gehaltene Halbbilder, die durch Brillen mit ebenfalls gegenfarbigen Gläsern betrachtet werden, so daß jedes Auge nur das ihm zugehörige Halbbild sieht, sog. *Anaglyphen* (ROLLMANN, D'ALMEIDA). Von HERING wurde dieses Verfahren vor allem für die stereoskopische Projektion weiterentwickelt. Ferner hat man vorgeschlagen, die beiden Halbbilder senkrecht zueinander zu polarisieren und ihre Trennung mittelst zweier Nicols vorzunehmen.

Zum Zwecke der Projektion ist die von BERTHIER 1896 und IVES 1902 beschriebene, auf ein Rasterverfahren sich gründende sog. *Parallaxstereoskopie* geeignet. Das projizierte Bild ist aus lauter ganz schmalen senkrechten Bildstreifen zusammengesetzt, von denen abwechselnd immer einer dem rechtsäugigen, einer dem linksäugigen

Bilde angehört. Die Trennung der Halbbilder geschieht hier in der Weise, daß man das dargebotene Bild durch entsprechend gebaute und angeordnete Raster betrachtet (hierher gehört auch das W. R. HESSsche Verfahren zur Herstellung und Darbietung von Stereoskopbildern). Endlich kann die Trennung der Halbbilder z. B. auch so vorgenommen werden, daß das rechte und das linke Halbbild abwechselnd zu kurzem Aufleuchten gebracht werden, und immer gleichzeitig das entsprechende Auge zum Sehen freigegeben wird („*Strobostereoskopie*“; d'ALMEIDA). Wie ohne weiteres ersichtlich ist, sind die erwähnten Methoden zum Teil auch zur Darbietung stereoskopischer kinematographischer Aufnahmen brauchbar. Über den Versuch einer Stereoskopie *ohne* Trennung der Halbbilder vgl. man bei GILLET.

**Wirkungsweise der binokularen Instrumente.** Zur Frage der physikalisch-geometrischen Wirkungsweise der Binokularinstrumente, die nach Art des v. HELMHOLTZschen Telestereoskopes mit einer Vergrößerung der Beobachtungsbasis arbeiten, liegen Berechnungen von v. ROHR (b) vor, die von v. KRIES bestätigt wurden und zu der von GRENOUGH [s. v. ROHR (a, S. 284)] aufgestellten Regel passen, nach der die Proportionen eines gesehenen Objektes unverändert bleiben, wenn Beobachtungsbasis, tatsächliche Größe des Objektes und Entfernung des Objektes proportional geändert werden. Doch gilt dies *nur* für binokulare Instrumente *ohne* Fernrohrvergrößerung.

Für das Telestereoskop ohne Fernrohr und mit parallel gestellten Spiegeln ergibt sich hieraus (v. KRIES), daß das tatsächlich gegebene Objekt bei einem auf das  $\delta$ -fache vergrößerten Augenabstand sich geometrisch so verhält, wie ein  $\delta$ -fach verkleinertes Modell des Objektes bei  $\delta$ -mal kleinerer Entfernung für die Beobachtung mit normalem Augenabstande sich verhielte. Gewisse physiologische Abweichungen von dieser Folgerung, die die Beobachtung unter den genannten Bedingungen entgegen der Meinung von v. HELMHOLTZ und A. NAGEL erkennen läßt, indem das Maß der Verkleinerung hinter der zu erwartenden zurückbleibt (GRÜTZNER) und die Erstreckung nach der Tiefe übertrieben hervortritt (Lit. s. bei ERGGELET), haben ihre Ursache in der subjektiven Empfindung der Ferne, in die die Objektmodelle lokalisiert werden, und in dem hierdurch bestimmten Maße der Ausnützung der Disparation. Da das übertriebene Hervortreten der Tiefenerstreckungen mit zunehmendem Objektabstande geringer wird und sich in bestimmter Entfernung gegenüber der scheinbaren Breite der Objekte völlig ausgleicht, so kann die Wirkung des Telestereoskopes nach einer von F. B. HOFMANN (e, S. 534) gegebenen Formulierung als eine Hinausverlegung des orthoskopischen Bereiches (s. S. 438 f.) in die Ferne charakterisiert werden. Tritt zu der Basisvergrößerung eine lineare Bildvergrößerung durch Fernrohr hinzu, so resultiert bei den Binokularapparaten infolge meist mangelnder Übereinstimmung beider Wirkungen, wenn die Basisvergrößerung, was wohl meist zutrifft, überwiegt, die bekannte scheinbar kulissenartige Flachheit („porrhallaktische“ Wirkung nach v. ROHR) der in räumlicher Verteilung gesehenen Objekte.

**Pseudoskopie.** Kehren wir zur Frage der physiologischen Wirkung disparater Abbildung zurück, so läßt sich ihre bestimmende Rolle beim Tiefensehen mit den Mitteln der Zweibildstereoskopie vielleicht am allereindrucksvollsten so zeigen, daß man die beiden stereoskopischen Halbbilder gegeneinander vertauscht und damit die zuvor gekreuzte Disparation in ungekreuzte, die ungekreuzte in gekreuzte umwandelt („Pseudoskopie“). Die Wirkung ist die, daß der Tiefenwert der einzelnen Linien und Punkte gegenüber der Kernfläche sich nun zwangsmäßig umkehrt, in vielen Fällen selbst dann, wenn die Erfahrung hinsichtlich der Form und der Größenverhältnisse der dargestellten Objekte einer solchen „Invertierung“ absolut zuwiderläuft.

Wegen der Technik des Pseudoskopierens und einiger besonders eindrucksvoller Einzelversuche kann auf F. B. HOFMANN (c, S. 162), v. ROHR (b), MACH (a, S. 403), außerdem auf HYSLOP, EWALD sowie GROSS und SCHRIEVER verwiesen werden. Das Prinzip des EWALDSchen Pseudoskopes ist aus Abb. 41 zu ersehen und ohne weitere Erklärung verständlich. Bei freiäugigem Stereoskopieren ist die Invertierung durch Kreuzung der Gesichtslinien vor der Ebene der Halbbilder immer rasch zu erreichen.

**Binokulare Betrachtung identischer Halbbilder.** Daß andererseits das Fehlen von disparat sich abbildenden Punkten auch unter den Bedingungen der Zwei-

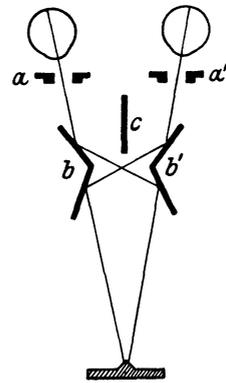


Abb. 41. EWALDSches Pseudoskop. (Aus HOFMANN, Raumsinn, S. 451.)

bildstereoskopie das Fehlen jeglicher räumlicher Effekte zur Folge hat, ist leicht zu zeigen, wenn man den beiden Netzhäuten zwei völlig identische Drucke, etwa zwei Banknoten derselben Art, zur Verschmelzung darbietet. Das Sammelbild bleibt in solchen Fällen auf eine einfache Fläche, die Kernfläche, beschränkt, wie wir es entsprechend bei der binokularen Betrachtung des gestirnten Himmels gefunden hatten (Prinzip der Haploskopie).

Auf derselben Grundlage wird auch verständlich, warum ein einfaches, flächenhaft gemaltes Bild, selbst wenn es in der Perspektive und in der Verteilung von Licht und Schatten usw. starke Momente für eine Tiefenauslegung enthält, beim Betrachten mit zwei Augen meist ziemlich flach und in der Tiefenwirkung matt erscheint. Es kommt hier zu einem Konkurrieren zwischen der Wirkung der völlig identischen Abbildung des Bildes in beiden Augen und der Wirkung der von dem Künstler in das Bild gelegten auxiliären Motive einer Lokalisation nach der Tiefe, wobei unter dem Zwange der physiologischen Einrichtung des Sehorganes das erste Moment das Übergewicht behält. Schaltet man diesen Wettstreit durch Schließen eines Auges aus, so kommen die vom Künstler angestrebten Wirkungen voll zur Entfaltung und das Bild gewinnt sofort außerordentlich an Tiefe. Nach v. VAIDA (a, b) soll die Verflachung des Bildes auch vom Belichtungsgrade des zweiten Auges abhängen, einerlei ob dieses die Vorlage selbst sieht oder nicht (bestritten von STREIFF). AMMANN zieht ein Ungünstigerwerden der Helligkeitsdifferenzen im Bilde bei binokularer Betrachtung für die Erklärung der Verflachung mit heran. Man vergleiche weiterhin JAENSCH (b, S. 165), der es, nach seiner Angabe durch Übung, dahin gebracht hat, einfache Bilder mit perspektivischen Motiven auch bei binokularer Betrachtung dauernd in voller Plastik zu sehen.

**PULFRICHs Stereoeffekt.** Endlich sei noch ein Sonderfall kurz diskutiert, der lehrt, daß eine zu zwingender Tiefenempfindung führende Querdisparation, wo sie in der räumlichen Anordnung der beobachteten Objekte im Verhältnis zur Augenstellung an sich *nicht* gegeben ist, aus anderen in der Funktionsweise des Sehorganes liegenden Ursachen *entstehen* kann. Beobachtet man binokular eine in der Frontalebene hin und her pendelnde kleine Kugel bei ruhiggehaltenem Blick aus nicht zu kurzer Entfernung, so daß die von ihr durchlaufene ebene Bahn praktisch im Längshoropter liegt, so sieht man sie, ganz der Wirklichkeit entsprechend, in einer ebenen Bahn schwingen. Wie nun PULFRICH (c) theoretisch entwickelt und experimentell bestätigt gefunden hat, scheint die pendelnde Kugel eine nach der Tiefe sich erstreckende Kreisbahn oder Ellipse zu durchlaufen, sowie man die Helligkeit des rechts- oder linksäugigen Netzhautbildes, etwa durch Vorhalten eines Rauchglases oder einer stenopäischen Lücke vor das eine Auge, dem anderen gegenüber schwächt. Der hier auftretende „Stereo-Effekt“ hat seine Ursache in dem deutlich rascheren Anklingen der Erregung in der stärker gereizten Netzhaut: die gleichzeitig zum *Bewußtsein* kommenden Bilder beider Augen entsprechen, von ihren Umkehrpunkten abgesehen, also nicht mehr der gleichen Stellung der bewegten Kugel und liegen infolgedessen nicht mehr auf identischen, sondern auf querdisparaten Netzhautstellen mit (je nach der Bewegungsrichtung der Kugel) wechselndem Sinn und (je nach ihrer Bewegungsgeschwindigkeit) wechselnder Größe der Disparation. Es ist dann so, wie wenn die pendelnde Kugel in zwei auf verschiedener Bewegungsphase pendelnde Kugeln zerlegt wäre, deren jede, wie bei einer kinematographisch-stereoskopischen Vorführung, nur von einem Auge gesehen wird. Aus dem wechselnden Zusammentreffen identischer und gekreuzt oder ungekreuzt disparater Abbildung leitet sich die scheinbare Abweichung der Schwingungsbahn aus der Kernfläche her. Die *Zeitdifferenz* im Anklingen der beiden verschieden starken Lichterregungen setzt sich hier, wie man sieht,

kurz gesagt, in eine Raumdifferenz um. Die methodische Ausnützung dieser Erscheinung zu photometrischen Zwecken führt über den Rahmen des hier zu Erörternden hinaus; man vergleiche hierüber die PULFRICHSche Originalmitteilung.

## 7. Relative und absolute Tiefenlokalisation.

**Allgemeines.** In ähnlicher Weise, wie es oben (S. 400 f.) hinsichtlich der optischen Lokalisation nach der Höhe und Breite geschah, ist nun auch hinsichtlich der Lokalisation nach der Tiefe zu fragen, inwieweit die räumlichen Empfindungen, die uns das Doppelauge vermittelt, die „wirklichen“ Verhältnisse „richtig“ wiedergeben, d. h. mit unseren sonstigen Erfahrungen der Größen- und Raumverhältnisse der „wirklichen“ Welt übereinstimmen. Auch hier handelt es sich wieder um die doppelte Frage nach der Anordnung der Sehdinge untereinander, sowie nach ihrer scheinbaren Lage dem beobachtenden „Ich“ gegenüber, also um die Erörterung der relativen und der absoluten („egozentrischen“) optischen Lokalisation. Wie wir sehen werden, greifen diese beiden Äußerungen der Funktion so eng ineinander, daß ihre gemeinsame Besprechung naheliegt.

Daß der binokulare Sehraum in seiner Tiefengliederung der wirklichen Anordnung der Außendinge in der Mehrzahl der Fälle *keineswegs* entspricht, ist eine dem Laien vielleicht überraschende, bei genauerer Prüfung aber ohne weiteres erkennbare Tatsache. Sie ist gegenüber anderslautenden Ansichten zuerst von HERING in seinen klassisch gewordenen Beiträgen zur Physiologie (a, Heft 2, S. 133), in denen er die Grundlagen der heutigen Raumsinnlehre gab, ausdrücklich betont und im einzelnen begründet worden. Aus seiner Widerlegung der Projektionstheorie, nach der wir alle Außendinge in den Durchschnittspunkten ihrer Richtungslinien, also an ihrem richtigen Orte sehen müßten, stammt folgende treffende Darstellung: „Wenn jeder beliebige sichtbare Punkt im Durchschnittspunkt seiner Richtungslinien erschiene, so müßten die räumlichen Verhältnisse der Sehdinge genau dieselben sein wie die der wirklichen Dinge. Der Sehraum müßte bis ins einzelne den wirklichen Raum, jedes Sehding das entsprechende wirkliche Ding decken. Statt dessen lehrt uns jeder Blick in die Außenwelt, daß fast alle Dinge in ihrer Erscheinung andere Raumverhältnisse haben als in der Wirklichkeit, und wenn man gleich weiß, daß die fernerer Bäume einer Allee dieselbe Größe und Distanz haben wie die näheren, so sieht man sie dennoch kleiner und näher aneinander gerückt. Unsere Anschauung der Außenwelt deckt fast nie die Wirklichkeit, weil die Tiefenauslegung des Netzhautbildes stets eine unvollkommene ist und auf halbem Wege zwischen dem flachen Netzhautbilde und der körperlichen Wirklichkeit stehen bleibt. Unsere Anschauung ist gleichsam ein Relief, das zwischen Planbild und voller Körperlichkeit die Mitte hält. Daraus folgt, daß höchstens einige wenige Punkte am richtigen Ort erscheinen können“. Diesen Ausführungen ist, um Mißverständnisse auszuschließen, erläuternd nur hinzuzufügen, daß in ihnen lediglich davon die Rede ist, wie wir die Dinge in ihrer räumlichen Verteilung *sehen*, d. h. sie sinnlich empfinden, *nicht*, wie wir ihre wirkliche Lage im Raume auf Grund unserer allgemeinen Erfahrung, zumal mit Hilfe etwa gegebener unterstützender Momente, durch nachträgliche Überlegung *beurteilen*. Die neueren messenden Versuche v. STERNECKS enthalten eine volle Bestätigung dieser Entwicklung HERINGS.

Der reliefartige Charakter ist den einzelnen Teilen des Sehraumes keineswegs in gleichem Maße eigen, vielmehr tritt er mit der zunehmenden Tiefe des Bildes immer deutlicher hervor, während die dem Beobachter zunächst gelegene Zone

des subjektiven Raumes in ihrer Körperlichkeit mit dem wirklichen Raume sich völlig oder doch annähernd deckt. Das Ergebnis messender Versuche, die zu diesem Gegenstande vorliegen [v. HELMHOLTZ (a, I., S. 550), HERING (d, S. 414), BOURDON (e), ELSCHNIG, HEINE (d), v. LIEBERMANN], besagt, daß der Kernpunkt bis zu Entfernungen von etwa 2 m in Beziehung zu dem (als richtig angenommenen) Vorstellungsbilde unseres Körpers ganz angenähert dieselbe Lage hat wie der Blickpunkt zum wirklichen Körper und daß seine Lokalisierung auch mit großer Bestimmtheit geschieht. Mit wachsender Entfernung geht die Koinzidenz von Blickpunkt und Kernpunkt immer mehr verloren, und Hand in Hand damit nimmt auch die Bestimmtheit der Lokalisation ab. Wie für den Kernpunkt, gelten diese Angaben natürlich auch für die übrigen Punkte der Kernfläche und in gleicher Weise auch für die Lokalisation relativ zur Kernfläche, also für disparat abgebildete Objektpunkte.

Die Überlegenheit der Nähe gegenüber der Ferne, die sich hierin ausprägt, hat, wie leicht ersichtlich ist, ihren Grund darin, daß die, gleichen Tiefenunterschieden entsprechenden, Disparationswerte mit zunehmender Entfernung immer geringer werden. Nun haben eingehende Untersuchungen, vor allem von HEINE (d) und von HILLEBRAND [(d), „Alleeversuche“, s. S. 441] zwar gelehrt, daß der einer bestimmten Disparationsgröße entsprechende Tiefenwert mit jeder Verlagerung des Blickpunktes in sagittaler Richtung eine Umwertung erfährt. Diese kann mit der Änderung der Sehgröße bei Akkommodation auf gleiche Stufe gestellt werden und verläuft in dem Sinne, daß die Disparation mit wachsender Entfernung des Blickpunktes, um einen Ausdruck von HEINE zu gebrauchen, „immer besser ausgenützt wird“. Deshalb machen wir bei ferneren Objekten erheblich geringere Lokalisationsfehler, als es ohne diesen Umschaltungsmechanismus der Fall wäre. Der „Maßstab des Sehfeldes“ ändert sich also nicht nur nach der Höhe und Breite, sondern analog auch nach der Tiefe.

In sehr eindrucksvoller Weise geht dies auch aus den neueren Versuchen von ISSEL hervor, sowie aus den Befunden von AALL und PFEIFER (a, b), die nicht nur zeigen, daß die gleichnamige Querdisparation besser ausgenützt wird als die gekreuzte, sondern daß auch bei gleichnamigen Doppelbildern sagittal angeordneter linearer Objekte die vom Fixationspunkte entferntere Teilstrecke gegenüber der näheren überschätzt wird. Weiterhin vergleiche man die Fortführung der HILLEBRANDSchen Versuche durch POPPELREUTER (b), BLUMENFELD und KÖLLNER (i), durch die ein wesentlicher Fortschritt indessen kaum erzielt zu sein scheint.

Eine volle Korrektur der perspektivischen Verkürzung sagittal verlaufender Strecken wird durch die bessere Ausnützung der Disparation bei weitem nicht erreicht, vielmehr bleibt die von HERING aufgezeigte, mit der Tiefe zunehmende Reliefartigkeit des subjektiven Raumes deutlich bestehen. Wichtig erscheint, daß mit zunehmender Entfernung vom Auge, wie von FRUBÖSE und P. A. JAENSCH unter F. B. HOFMANN nachgewiesen werden konnte, auch das ebenmerkliche Disparationsminimum nachweisbar kleiner wird. Auch diese Feststellung hat natürlich lediglich für die Verhältnisse innerhalb der stereoskopischen Grenze Gültigkeit, da jenseits von ihr die Querdisparation keine Rolle mehr spielt, sondern für die Tiefenwahrnehmung bloß noch die empirischen Motive in Betracht kommen.

**Scheinbare Größe der Sehdinge. Orthoskopie.** Durch das Gesagte sind die komplizierenden Momente übrigens keineswegs erschöpft. So ist vor allem anzuführen, daß natürlich auch die oben erörterte Veränderlichkeit des „subjektiven Maßstabes des Sehfeldes“ und die sich ergebende scheinbare Größe der Sehdinge („Sehgröße“) die Tiefenlokalisierung mitbestimmen. Es sind dies Beziehungen, die schon dadurch sehr verwickelt werden, daß Gesichtswinkel

und Disparationswinkel mit zunehmender Entfernung der Objekte aus rein geometrischen Gründen sich nicht in gleicher Progression ändern. Während die Querdisparation kurzer Tiefenstrecken proportional dem Quadrat der Entfernung abnimmt [v. KRIES bei v. HELMHOLTZ (a), III., Bd. 3, S. 310], verringert sich der Gesichtswinkel einfach proportional derselben.

Die Art der subjektiven „Verwertung“ dieser Größen vermag dieses ungünstige geometrische Verhalten zwar zu mildern (s. o. S. 438), daß der Ausgleich aber kein vollkommener ist, lehrt die Tatsache, der zufolge wir körperliche Gebilde nur aus einer bestimmten, verhältnismäßig kurzen Entfernung in ihren relativen Abmessungen wirklich „richtig“ sehen („*orthoskopischer Bereich*“), während uns ihre Tiefenerstreckung unterhalb dieser Grenze zu groß, oberhalb dagegen zu klein erscheint.

Für die *Lage des orthoskopischen Bereiches* absolute und allgemein gültige Werte zu geben, ist, wie HEINES Beobachtungen (b) lehren, unangänglich, da nicht die objektive Entfernung der Objekte, sondern die (subjektive) Sehferne sie bestimmt, was zu individuellen Schwankungen sowie zur Abhängigkeit von allerlei Einzelheiten der Versuchsbedingungen führt. In Dunkelzimmerversuchen wurde die Sehferne von HEINE regelmäßig etwas unterschätzt, der orthoskopische Bereich lag dann unter  $\frac{1}{3}$  m; im Hellen wurde er von ihm und anderen oberhalb jener Grenze (bis zu 1 m) gefunden.

**Absolute Tiefenlokalisation.** Wir haben oben gesehen, daß das einzige in der physiologischen Organisation des Doppelauges gegebene Mittel zur Ermöglichung einer Gliederung der Gesichtseindrücke nach der Tiefe die eigenartige Verknüpfung *querdisparater* Netzhautstellen ist. Da das räumliche Sehen hiernach, man kann sagen ausschließlich, auf dem Nebeneinander identischer und disparater Abbildung beruht und sich hierbei nur relative Tiefenunterschiede ergeben, so ist die Lokalisierung der Sehdinge von Hause aus eine *relative*. Was wir primär empfinden, ist lediglich die *Tiefendifferenz* der einzelnen Sehdinge, bezogen auf die Kernfläche. Auf dieser Stufe bleibt die individuelle Entwicklung aber nicht stehen: für das Sensorium, für das die Scheidung zwischen dem „Ich“ und den „anderen Sehdingen“ sich vollzogen hat, eine Entwicklung, die F. B. HOFMANN (e, S. 466 f.) überzeugend mit dem Bewußtwerden der Eigenbeweglichkeit (der willkürlichen Motilität) in Zusammenhang bringt, bildet im allgemeinen nicht mehr der Kernpunkt, sondern der Ort des eigenen Körpers den Ausgangspunkt der optischen Lokalisation. An die Stelle der relativen tritt die *egozentrische* Lokalisation. Es ergibt sich somit der eigenartige Zusammenhang, daß die absolute Tiefenlokalisation der Kernfläche auf dem Umwege über die relativ zu ihr lokalisierten disparat gesehenen Dinge zustande kommt und daß auch für die absolute Lokalisation des Kernpunktes selbst die erste und wichtigste Grundlage die Querdisparation der Netzhautbilder ist. Bei diesem Sachverhalt wird es verständlich, welche große Bedeutung den im peripheren Sehfelde auftretenden Doppelbildern der sichtbaren Teile des eigenen Körpers beizumessen ist und warum die absolute Tiefenlokalisation bei Ausschaltung dieser Bilder (z. B. beim Gebrauch eines Feldstechers oder Vorhalten einfacher röhrenförmiger Blenden) so auffallend falsch und unbestimmt wird [HILLEBRAND (c), E. R. JAENSCH (b)].

**Grundlagen der absoluten Tiefenlokalisation.** Diese Auffassung vom Mechanismus der absoluten Lokalisation der Kernfläche sieht also wiederum (man vergleiche hierzu die Diskussion der Fragen ähnlichen Charakters S. 388 u. 402) von einer wesentlichen Beteiligung des sog. Stellungsbewußtseins (Muskelgefühles) der Augen ab. Wie es für den Fall der Blickverlegung nach der Höhe oder Breite eingehend erörtert wurde, so wird auch für die Verlegung des Blickpunktes nach der Tiefe angenommen, daß sie auf Grund einer *bereits*

*vollzogenen* Tiefenauslegung der Empfindung erfolgt und ein *primäres* Wandern der Aufmerksamkeit voraussetzt (HERING). Die bereits erwähnte Umstimmung der Tiefenwerte, die mit der bewußten Verlegung des Blickpunktes einhergeht, ist ebenfalls an diese Voraussetzungen gebunden.

Die Versuche, durch welche die vornehmlich von WUNDT (a) mit Nachdruck verfochtene Vorstellung einer entscheidenden Mitwirkung des Konvergenz- und Akkommodationsgeföhles widerlegt wurde, gehen in erster Linie auf HILLEBRAND (b, c) zurück. Es handelt sich einmal um den viel diskutierten „Zweikantenversuch“, bei dem die relative Lage der haarscharf geschnittenen Ränder zweier schwarzer Schirme, die in verschiedener Entfernung vor weißem Grunde nacheinander dargeboten wurden, bei einäugiger Beobachtung anzugeben war, was nicht gelang. Erst bei plötzlichen Akkommodationsprüngen im Betrage von etwa 2 Dioptrien wurden Tiefenunterschiede, wenn auch unsicher [ASCHER (a—c)], erkannt. Oder es wurde eine dieser Kanten auf sagittal angeordneter Gleitschiene dem Beobachter genähert oder von ihm entfernt: bei Verschiebungen in einem Akkommodationsbereich von etwa 5 Dioptrien (zwischen 22 cm und 2 m Entfernung) wurden weder die Richtung noch der Anfang oder das Ende der Bewegung richtig angegeben [HILLEBRAND (c), BAPPERT; s. auch die Bemerkungen bei ARRER, DIXON, BAIRD, HERBERTZ, PETER]. Der Einfluß des Akkommodationsgeföhles kann also von nur untergeordneter Bedeutung sein. Im gleichen Sinne spricht die Beobachtung, daß man die Entfernung einer isoliert sichtbaren Scheibe im dunklen Raume bei einäugiger Beobachtung schlechterdings nicht angeben kann (PETERMANN).

Auch bei zweiäugigem Sehen wechseln bei Ausschluß disparat gesehener anderer Objekte (Sehen durch zwei Röhren) Über- und Unterschätzungen der Entfernung in ziemlich regelloser Weise [BOURDON (e, S. 288), DONDEES (a), WUNDT und v. HELMHOLTZ (a, Bd. I, S. 650)]. Bei alledem ist an der S. 428 bereits erwähnten, von E. v. BRÜCKE zuerst erkannten und von HERING erneut diskutierten Tatsache allerdings festzuhalten, daß bei binokularer Durchmusterung des Sehraumes in der Richtung der Tiefe „alles nicht allzufern Liegende deutlich und der Wirklichkeit viel entsprechender nach der Tiefe auseinander rückt“, und daß uns erst hierbei „die volle Ausnützung und Verwertung unseres auf der Disparation der Netzhautbilder beruhenden Vermögens der Tiefenwahrnehmung möglich wird“. Diese Erscheinung hat aber offenbar nicht in dem durch das Spiel der Konvergenz und Akkommodation geweckten Lagegeföhle der Augen ihren hauptsächlichsten Grund, sondern vermutlich darin, daß die Unterschiede der Tiefendistanz vieler Sehdinge, die bei ruhig gehaltenem Blick mehr oder weniger weit exzentrisch abgebildet werden, infolge der sukzessiven Abbildung auf den zentralen und parazentralen Netzhautpartien viel bestimmter und mit ungleich größerem Gewicht empfunden werden.

Hierbei dürfte vor allem auch das Sehen mit Netzhautstellen, die „identischen Empfindungskreisen“ angehören (s. S. 429), eine bedeutsame Rolle spielen. Dies scheint aus der schon erwähnten, von HERING zuerst beschriebenen und später von JAENSCH und POPPELREUTER (a) bestätigten Beobachtung hervorzugehen, daß beim Beobachten mit ruhendem Blick die Tiefenunterschiede zunehmend geringer werden und die Sehdinge um so mehr in die Kernfläche zusammenrücken, je länger und fester man fixiert und *je größere Übung im Doppeltsehen man hat*; schließlich erscheinen nur noch die mit sehr geringer Querdisparation abgebildeten Dinge vor und hinter jener Fläche. Offenbar hängt auch die Erscheinung, daß wir eine Tiefenerstreckung beim Vorhandensein von Zwischenobjekten ausgedehnter sehen als beim Fehlen solcher [JAENSCH (b, S. 345 f.)], zum Teil wenigstens, ebenfalls mit diesen Tatsachen zusammen.

**Sehferne und Sehgröße.** Die Frage der Beziehung zwischen Sehferne und Sehgröße, die soeben gestreift wurde und in verwickelter Weise in die Verhältnisse der Tiefenlokalisierung hineingreift, ist vielfach experimentell angegangen worden. Ihr Mitwirken beim Tiefensehen ist deshalb schwer zu erfassen, weil die Sehferne, wie schon S. 399 ausgeführt wurde, die Sehgröße bestimmend beeinflusst, die resultierende Sehgröße (auf Grund von Erfahrungsmotiven, s. S. 442f.) aber auch umgekehrt auf die räumliche Auslegung der Gesichtseindrücke zurückwirkt. Die hieraus erwachsenden Schwierigkeiten sind beim Versuch einer rechnerischen Formulierung der Messungsergebnisse nicht immer in vollem Umfange berücksichtigt worden. Die ältere hierher gehörige Literatur findet sich bei MARTIUS, v. KRIES (a), HOLTZ (a), HOFMANN (e, S. 311 f.), BLUMENFELD zusammengestellt.

Von neueren Versuchen, diese Verhältnisse zu klären, sind vor allem die schon erwähnten „Alleeversuche“ HILLEBRANDS (d) zu nennen, die darauf ausgingen, eine Anzahl senkrecht herabhängender Fäden, die in paarweise gleicher Entfernung von der Versuchsperson angebracht waren, so anzuordnen, daß der Eindruck einer symmetrisch zur Medianebene in die Tiefe laufenden Allee entstand. HILLEBRAND gelangte zu dem (mit Recht bestrittenen) Schluß, verschieden weit vom Beobachter entfernte Objekte erschienen dann gleich groß, wenn die Unterschiede ihrer Gesichtswinkel den Unterschieden ihrer Sehfernen proportional seien (vgl. hierzu POPPELREUTER [b]). Die für solche Versuche bestehenden grundsätzlichen Schwierigkeiten werden vielleicht am besten illustriert durch die Feststellung BLUMENFELDS, daß die Allee-Einstellungen zu ganz verschiedenen experimentellen Ergebnissen führen, je nachdem man die Augen während der Einstellung der Fäden auf einen etwa in der Ebene z. B. des hintersten Fadenpaares liegenden Punkt gerichtet hält oder sukzessive die Mitte jedes Fadenpaares fixiert und so die Seitenabstände auf scheinbare Gleichheit zu bringen versucht. Es ist ersichtlich, daß im letzten Falle die bei Verlegung des Blickpunktes nach der Tiefe eintretende Änderung des subjektiven Maßstabes modifizierend eingreifen und die Sehgröße in viel höherem Maße beeinflussen wird, als es [KAILA (b)] die verschiedene Sehferne bei festgehaltenem Blickpunkte schon an sich tut (s. S. 399 f.)<sup>1</sup>.

Ebenso wie die Maßstabänderungen im Sehfeld, treten auch die Erscheinungen ausgesprochener Mikropsie und Makropsie beim beidäugigen Sehen in ganz entsprechender Weise auf wie beim einäugigen. Beim Sehen mit zwei Augen erhält man diese Erscheinung besonders deutlich bei der Lösung der Assoziation zwischen Konvergenz und Akkommodation, d. h. bei Beanspruchung der relativen Konvergenz- (bzw. Fusions-) und Akkommodationsbreite. Vor allem die Änderung der Konvergenz bei feststehender Akkommodation erweist sich in dieser Hinsicht als sehr wirksam, und zwar führt Verstärkung der Konvergenz zu Mikropsie, Verminderung zu Makropsie. Dies ist in einfacher Weise mit Hilfe geeignet orientierter Prismen sowie auch (exakter) am WHEATSTONESCHEN Stereoskop oder HERINGSCHEN Haploskop (s. S. 434) zu demonstrieren (H. MEYER, KOSTER). Beim Gebrauch mancher stereoskopischer Apparate (wie am v. HELMHOLTZSCHEN Telestereoskop, s. S. 431) treten derartige Wirkungen unbeabsichtigt auf und sind wohl schwer zu vermeiden. Der Wechsel der Akkommodation bei gleichbleibender Konvergenz ergibt im Gegensatz zu dem Vorerwähnten nur geringfügige Effekte (VAN ALBADA).

Wegen der an diese Tatsachen geknüpften Theorien sei besonders auf die Arbeiten von CARR und ALLAN, HOROVITZ und v. STERNECK aufmerksam gemacht, desgleichen auf die zusammenfassende Darstellung von v. KRIES [v. HELMHOLTZ (a, III., Bd. 3, S. 323)]. Über ungleichmäßige Änderung der Sehgröße in den verschiedenen Teilen des Sehfeldes bei

<sup>1</sup> Der Versuch KÖLLNERS (i), die Einstellung zweier zur Medianebene symmetrischer Sagittalebene mit den Sehrichtungen der exzentrischen Netzhautteile (s. S. 422f.) in Beziehung zu bringen, dürfte, so feinsinnig er angelegt ist, als gescheitert zu erachten sein. Wie F. B. HOFMANN (e, S. 500f.) ausführt, enthält die Überlegung KÖLLNERS schon in der Voraussetzung einen Fehler, indem zwei in divergente (und als solche anerkannte) Sehrichtungen eingestellte Ebenen niemals den Eindruck sagittal-paralleler Ebenen machen können.

Nah- und Ferninnervation berichtet SITTIG. Auch bei zentralen Störungen sind solche Wirkungen beobachtet (s. z. B. GOLDSTEIN und GELB, PFISTER, HEILBRONNER, UHTHOFF).

Die Abhängigkeit der Sehgröße von der Sehferne spielt, wie beiläufig bemerkt sei, allem Anscheine nach bei der scheinbaren Vergrößerung, die Sonne, Mond und Sterne in der Nähe des Horizontes erfahren, eine Rolle. Hierzu vergleiche man vor allem die von A. MÜLLER durchgeführten Bestimmungen der scheinbaren Form des Himmelsgewölbes als der „Referenzfläche“ der Gestirne. Allerdings dürfte das Problem, wie die Ausführungen von REIMANN, ZOTH (a, b), FILEHNE (a—g), BEST (c) lehren, in seinen offenbar sehr verwickelten Einzelheiten hiermit nicht voll erschöpft sein.

### 8. Der Einfluß der Erfahrung auf die Tiefenlokalisierung.

Die vorangehenden Ausführungen waren bestimmt, die physiologische Organisation zu entwickeln, durch die das Doppelauge *primär* befähigt ist, uns eine nach der dritten Dimension gegliederte Gesichtsempfindung zu geben, und es wurde versucht, die Leistungen des Sehorganes rein auf Grund der ihm *angeborenen* Raumqualitäten zu charakterisieren<sup>1</sup>. Hierbei kam bereits zum Ausdruck, daß die optischen Raumdaten keineswegs starr und unveränderlich sind, sondern vielfachen funktionellen Umstimmungen unterliegen. Dem Gesagten bleibt hinzuzufügen, daß auch die mannigfaltigen Einflüsse der *Erfahrung*, denen der Mensch während seiner individuellen Entwicklung ausgesetzt ist, für die qualitative Ausgestaltung der Gesichtsempfindungen bestimmend werden. Wir finden, daß beim räumlichen Sehen schließlich zahlreiche Erfahrungsmotive mitwirken, die, und zwar oft sehr wesentlich, zu einer Verbesserung der optischen Lokalisierung beitragen.

**Erfahrungsmotive bei monokularem Sehen.** Zu diesen Erfahrungsmotiven sind in erster Linie alle diejenigen Faktoren zu rechnen, die uns auch unter Ausschluß jeglicher Querdissipation, also schon beim Sehen mit *einem* Auge, dazu befähigen, nicht nur gewisse relative Tiefenerstreckungen zu empfinden, sondern selbst absolute Tiefendifferenzen räumlich verteilter Objekte unter Umständen richtig zu beurteilen („monokulare Motive der Tiefenlokalisierung“). Die wichtigste Rolle in dieser Hinsicht spielen zweifellos die *Linearperspektive* und die Verteilung von *Licht und Schatten*, aus deren Wirkung die vielfach außerordentlich zwingenden Tiefeneffekte in flächenhaft gemalten oder gezeichneten Bildern entspringen. Daß es sich hier um Erfahrungsmotive handelt, geht daraus hervor, daß wir selbst lineare Zeichnungen *ohne* Perspektive (wie

<sup>1</sup> Die Annahme angeborener Raumqualitäten charakterisiert den von dritter Seite auch als „Nativismus“ gekennzeichneten Standpunkt, den HERING gegenüber dem „individuellen Empirismus“ von v. HELMHOLTZ eingenommen hat und der darin gipfelt, daß *die Raumfunktion des Sehorganes in ihren integrierenden Stücken dem Einzelindividuum angeboren sei und nicht erst im Laufe der individuellen Entwicklung erworben werde*. Dabei handelt es sich nach HERINGS Auffassung nicht um einen starren, unwandelbaren Besitz, der der Menschheit von Anbeginn in seiner jetzigen Form eigen gewesen wäre, sondern um einen solchen, den der Mensch in jahrtausendelanger Entwicklung erworben und in Form einer sich immer höher differenzierenden Anlage weiter vererbt hat. Daß diese Anlage zur vollen Betätigung eines gewissen speziellen Ausbaues durch die individuelle Erfahrung bedarf und unter ihrem Einfluß tatsächlich einer dauernden Modifizierung unterliegt, entspricht, wie die folgenden Ausführungen erweisen mögen, durchaus dem Geiste der HERINGSchen Auffassung. Im „Nativismus“ HERINGS etwas dem „a priori“ KANTS Wesensgleiches zu vermuten, wäre also verfehlt, auch deshalb, weil er Verhältnisse betrifft, die gar nicht Gegenstand der KANTSchen Lehre sind. Wie v. KRIES [v. HELMHOLTZ (a, III., Bd. 3, S. 523f.)] hervorhebt, läßt der von HERING vertretene Standpunkt andererseits unschwer erkennen, daß zwischen den allgemeinen Anschauungen KANTS und HERINGS eine innere Gegensätzlichkeit besteht. Übrigens hat HERING den Ausdruck „Nativismus“ für die von ihm vertretene Auffassung nicht für glücklich gehalten und auch nie selbst gebraucht.

zwei sich kreuzende Gerade, s. Abb. 42) räumlich auszulegen geneigt sind oder daß wir (in anderen Fällen) bei einfacher Täuschung über die Einfallsrichtung des Lichtes zu einer von der Wirklichkeit abweichenden Empfindung der Plastik eines beobachteten Objektes geführt werden (Umkehrung der Matrize in die Patrize; SCHROEDER, MOUSSARD).

Im Zusammenwirken mit der Linearperspektive kommt weiterhin insbesondere die *Sehgröße* der gesehenen Objekte in Betracht (s. S. 441), außerdem die *Luftperspektive*, die uns zwischen dem Auge und fernen Objekten ein körperliches Medium empfinden läßt [v. HELMHOLTZ (a) I., S. 629], das sich wie beim Rot der untergehenden Sonne, dem Blau der Berge allerdings als Farbe auf die Objekte selbst legen kann. Mit geringerer Bestimmtheit als Lokalisationsmotiv wirkt die verschiedene scheinbare Helligkeit bzw. verschiedene Eindringlichkeit der Objekte [B. FRÖHLICH, BOURDON (a), PETERMANN, ASHLEY, SCHUMANN (b), HENNING (c), G. E. MÜLLER (b), JAENSCH (b)]. Wegen der Verschiedenheit der Lokalisation verschiedenfarbiger Objekte nach der Tiefe (GOETHE, BREWSTER) vgl. man vor allem EINTHOVEN (a, b). Als sehr eindringlich endlich sind die Wirkungen der Parallaxe [v. HELMHOLTZ (a, I., S. 635), REIMAR, s. auch HEINE (h)] und der gegenseitigen teilweisen Überdeckung der Objekte [v. HELMHOLTZ (a, I., S. 624)] an dieser Stelle anzuführen.

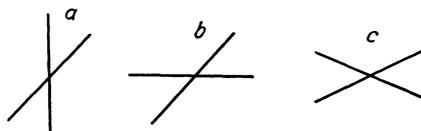


Abb. 42. Erklärung im Text S. 442.

Die Feinheit des (monokular) durch diese Motive vermittelten Tiefenempfindungsvermögens bleibt hinter der binokularen Tiefenwahrnehmung weit zurück, wie schon der HERINGSche Stäbchen- und Fallversuch (s. S. 428 f) lehrt, und sich weiterhin aus den Messungsversuchen von CORDS, ASCHER u. a. ergibt. Dasselbe gilt, wie die an Flächenzeichnungen (s. z. B. bei BURMESTER) und an körperlichen Prüfungsobjekten [DOVE (b), McDOUGALL, VICHOLKOWSKA] bei monokularer Beobachtung eintretenden Invertierungen beweisen, hinsichtlich der Bestimmtheit und des Zwanges der räumlichen Auslegung [s. auch SCHUMANN (b)]. Im Vordergrund der Erscheinungen jedenfalls steht hier die Tendenz der Produktion räumlicher Gestalten überhaupt.

**Erfahrung und „wirklicher“ Raum.** Diese monokularen Lokalisationsmotive greifen auch in den binokularen Sehakt modifizierend ein und führen, wie bereits erwähnt wurde, vielfach zu einer der „Wirklichkeit“ besser entsprechenden räumlichen Lokalisation der Sehdinge. Wird auch ein Ausgleich der mangelnden Koinzidenz zwischen Sehraum und wirklichem Raum hierdurch nicht erreicht, so bleibt ihre Beteiligung am Zustandekommen unserer Gesichtsempfindungen dennoch praktisch und theoretisch bedeutungsvoll. Dies ergibt sich schon daraus, daß die Erfahrung, wo sie als Lokalisationsmotiv in Frage kommt, nicht bloß zu einem *Wissen* von den wirklichen Raumverhältnissen, sondern zu einem veränderten räumlichen *Sehen* führt, also tief in die physiologische Reaktionsweise des Sehorganes eingreift.

Wir haben uns diesen Einfluß der Erfahrung als eine besondere Art physiologischer Umstimmung der Sehsinns substanz zu denken, in welcher zweifellos das von HERING als „Gedächtnis“ bezeichnete Reproduktionsvermögen der lebendigen Substanz zum Ausdruck kommt [HILLEBRAND (e)]. Die erörterten Grundtatsachen der Raumfunktion des Sehorganes bleiben hierbei wohl unberührt, nur erfahren die für den Aufbau der Empfindung maßgebenden Raumqualitäten der Netzhautelemente eine andere funktionelle Einstellung. Die Lokalisierung der Sehdinge in den Sehraum scheint unter diesen Einflüssen im allgemeinen so zu erfolgen, daß die einzelnen Punkte der Sehdinge auf den durch die Netzhautbilder ihnen angewiesenen Sehrichtungslinien verbleiben und daß

durch die Reproduktion der Erinnerungsbilder lediglich die Entfernung, in der wir sie sehen, modifiziert wird („sekundäre Lokalisationsmotive“).

Hiermit steht nicht in Widerspruch, daß die Erfahrungsmotive zum Teil eine so starke sinnliche Anschaulichkeit der Wirkung besitzen, daß sie, wie wir sahen, unter Umständen selbst bei einäugigem Sehen eine zwingende Tiefenempfindung hervorbringen. Auf der anderen Seite ist festzustellen, daß keineswegs jedes beliebige Erfahrungsmoment zu einem das Sehen modifizierenden sekundären Lokalisationsmotiv werden kann. Bezeichnenderweise verhilft uns ein bloßes abstraktes *Wissen* vom wirklichen Verlauf von Linien oder der wirklichen Anordnung von Objekten in einer großen Zahl von Fällen *nicht* zu dem entsprechenden sinnlichen Eindruck. Daß wir die Sonnenstrahlen oder ein Paar von Eisenbahnschienen gegen unser besseres Wissen mit wachsender Entfernung konvergieren sehen, sind bekannte Beispiele dieser Art.

Durch ihren Einfluß auf Ort und Gestalt der Empfindung führen die sekundären Lokalisationsmotive also in allen Tiefen des Sehraumes zu einer mit der Wirklichkeit besser übereinstimmenden Anordnung der Sehdinge. Gleichzeitig ergibt sich aus ihrer Mitwirkung der Gewinn, daß wir eine Anschauung der Tiefengliederung des Raumes vielfach auch noch auf Entfernungen erhalten, in denen das auf die perspektivische Parallaxe sich gründende Tiefenunterscheidungsvermögen an sich versagen würde.

Daß trotzdem, besonders in den größeren Tiefen, weitgehende Unstimmigkeiten zwischen Sehraum und wirklichem Raum bestehen bleiben, kommt unter anderem in unserem Unvermögen zum Ausdruck, außerhalb gewisser, ziemlich eng gezogener Grenzen die *absolute* Entfernung der Kernfläche richtig zu empfinden und zahlenmäßig anzugeben. Was durch planmäßige Übung im *Entfernungsschätzen* über diese Grenzen hinaus geleistet wird, ist wohl weniger auf eine noch weiter getriebene Ausnützung der sekundären Lokalisationsmotive zu beziehen, die wirklich zu einem verfeinerten Sehen führte, als auf eine verstandesmäßige Auswertung des Geländes auf Grund der allgemeinen Erfahrung und gehört nicht in diesen Zusammenhang. Es ist charakteristisch, daß zwar das Tiefenunterscheidungsvermögen unseres Sehorganes, wie oben erwähnt wurde (s. S. 431), durch optische Hilfsmittel sehr wesentlich gehoben werden kann, daß aber eine Verbesserung der *absoluten* Tiefenlokalisation im Sinne einer *verbesserten unmittelbaren Empfindung der absoluten Tiefenerstreckungen* mit künstlichen Mitteln nicht zu erreichen ist. Die für die Messung absoluter Entfernungen entwickelten, zum Teil höchst leistungsfähigen Methoden machen sich die eigenartige Organisation unseres Auges zwar in geschicktester Weise zunutze, bedeuten aber im erwähnten Sinne lediglich eine physikalische, *nicht* eine physiologische Erweiterung seiner Leistungen. Zur näheren Orientierung über die Frage der stereoskopischen Messung vergleiche man die einschlägigen Arbeiten von v. ROHR (a, b), v. KRIES bei HELMHOLTZ (a), TRENDLENBURG (a), HASSELWANDER, PULFRICH (b, c).

## 9. Theoretisches. Wettstreit der Sehfelder.

**Komplementärer Anteil beider Netzhäute.** An unserem Sehakte beteiligen sich grundsätzlich *immer beide* Augen. Allerdings ist der Anteil, mit dem ihre Erregungen in die resultierende Empfindung eingehen, je nach den Verhältnissen sehr verschieden. Man ist daher praktisch wohl berechtigt, ein monokulares und binokulares Sehen zu unterscheiden. Daß auch beim Sehen mit zwei offenen Augen, selbst unter beiderseits ganz gleichen objektiven Bedingungen, die beiden einäugigen Eindrücke keineswegs immer gleich stark verwertet werden, ist lange bekannt und nach PASCAL z. B. mit Hilfe des Kunstgriffes leicht zu

zeigen, abwechselnd vor das eine und das andere Auge ein farbiges Glasfilter zu setzen und die Farbtonsättigung des Verschmelzungsbildes zu vergleichen. Bei wechselndem *Verhältnis* der Anteile beider Augen am gemeinsamen Bilde scheint indessen die resultierende Erregungssumme wesentlich konstant zu sein.

Die eigenartigen Beziehungen, die hier bestehen, hat HERING in die Form des Satzes vom „*komplementären Anteil*“ der beiden Netzhäute am Sehfelde gebracht, in dem ausgesprochen wird, daß beim Binokularsehen beide Netzhäute sich im gemeinsamen Sehfelde gleichsam nur mit einem Bruchteil der ihnen zugehörigen Empfindung geltend machen können, und zwar so, daß diese Bruchteile sich immer zu Eins ergänzen. Der wesentliche Inhalt dieses Satzes ist z. B. aus der Tatsache zu entnehmen, daß man im allgemeinen die Dinge mit beiden Augen nicht heller sieht als mit einem; ist das eine geschlossen, so hat es nur sehr wenig Anteil an den Vorgängen im Mittelstück des Sehfeldes und diese werden zum größten Teil vom anderen, offenen Auge bestritten. Sind dagegen beide Augen geöffnet, so partizipieren sie zu gleichen Teilen, aber nur mit je etwa der Hälfte ihrer Erregungsstärke am Sehfelde.

Kennzeichnet dieser Satz, wie aus den Feststellungen PIPERS (a, b) am dunkeladaptierten Auge hervorzugehen scheint, die quantitativen Verhältnisse vielleicht auch nicht für alle Fälle ganz zutreffend<sup>1</sup>, so stellt er doch die völlig verschiedene Art der Erregungssummierung bei Doppelreizung ein und desselben Auges und bei gleichzeitiger Reizung beider Augen mit dem gebührenden Nachdrucke fest. Es läuft durchaus im Sinne der HERINGschen Auffassung, wenn TOMLINSON bei vergleichender Bestimmung der monokularen und binokularen Unterschiedempfindlichkeit neuerdings zu dem Ergebnis gelangte, daß das Doppelauge nur etwa um  $\frac{1}{7}$  empfindlicher ist als das einzelne Auge. Im übrigen ist nicht zu verkennen, daß es in erster Linie Probleme des Licht- und Farbensinnes sind, für die der Satz vom „*komplementären Anteil*“ bedeutsam ist. In gewissem Sinne reicht er indessen reicht er entschieden auch an die Fragen der Vereinigung und des Wettstreites der Sehfelder heran, die uns im Rahmen der Raumsinnprobleme zu beschäftigen haben.

**Anatomische Grundlagen des Binokularsehens.** Was die anatomische Grundlage der im Binokularsehen eintretenden Verschmelzung der beiden einäugigen Eindrücke anbelangt, so sind für das Zusammenwirken identischer Netzhautpunkte (die sog. *Netzhautkorrespondenz*) in neuerer Zeit insbesondere die Verhältnisse der Sehnervenkreuzung, d. h. die Vermutung herangezogen worden, daß die zentralen Vertretungsstellen identischer Punkte mit wahrscheinlich innigen anatomischen Verbindungen nahe benachbart in derselben Hemisphäre liegen [RAMON Y CAJAL (a, b)]. Auch BÁRÁNY ist auf Grund der histologischen Feststellungen MINKOWSKIS geneigt, den die gekreuzten und ungekreuzten Fasern in der Rinde zusammenführenden Elementen des GENNARischen Streifens eine Rolle bei der Verknüpfung der beiden monokularen Erregungsvorgänge zuzuerkennen. Daß diese Art der Betrachtung zu enge ist, lehrt jedoch schon der Umstand, daß Tiere mit sicher großen gemeinsamen Gesichtsfeldanteilen, wie die Eulen, noch die totale Sehnervenkreuzung aufweisen (ROCHON-DUVIGNEAUD),

<sup>1</sup> In diesem Zusammenhang ist auch kurz der sog. „*paradoxe Versuch*“ FECHNERS zu erwähnen, der in seinem Ergebnis den Forderungen des HERINGschen Satzes ebenfalls nicht entspricht: blickt man mit beiden Augen gegen den Himmel oder sonst eine weiße Fläche und schließt nun das eine Auge, so scheint im Moment des Schlusses die Fläche etwas weniger hell. Hält man dagegen vor das eine Auge ein graues Glas, das das in dieses Auge gelangende Licht deutlich abschwächt, und schließt nun dieses Auge, so wird das Sehfeld umgekehrt *heller*. Die Erklärung dieses eigentümlichen Phänomens steht bis jetzt noch aus. Es scheint auch hiernach, als ob in dem HERINGschen Satze die quantitativen Verhältnisse der binokularen Bildhelligkeit nicht für alle Fälle, insbesondere nicht während des Ablaufes einäugiger sukzessiver Kontrastwirkungen, voll erschöpft würden.

desgleichen die Beobachtung assoziierter Augenbewegungen bei Tieren mit totaler Sehnervenkreuzung [v. TSCHERMAK (g, k), BARTELS, M. LANDOLT], bei denen übrigens [nach v. TSCHERMAK (g)] auch nicht unbedeutliche Teile des Gesichtsfeldes gemeinsam zu sein scheinen. Der NEWTON-MÜLLER-GUDDENSsche Satz, wonach der Zunahme der ungekreuzten Fasern im Chiasma ein Fortschreiten des Binokularsehens in der Wirbeltierreihe entspräche, wird also abgelehnt [v. TSCHERMAK (k)].

Hierzu stimmt, daß beim binokularen Sehakt des Menschen funktionelle Beziehungen ja ebenso zwischen disparaten Netzhautpunkten, und zwar auch dann angenommen werden müssen, wenn diese eine spiegelbildliche Lage auf beiden Netzhäuten haben, also nicht in derselben Hemisphäre vertreten sind. Aus diesem Gesichtspunkte heraus sind die aus dem Symptombild der Hemi-anopiker von HEINE (a) und G. LENZ gezogenen Folgerungen zu bewerten, die auf die Forderung inzwischen von R. A. PFEIFER (c) im hinteren Balken anatomisch sichergestellter Verbindungsfasern zwischen den optischen Rindenfeldern beider Hemisphären hinauslaufen [vgl. hierzu auch BEST (b)].

Hiermit ist die Grundlage für das Verständnis der verschiedensten Möglichkeiten funktionellen Zusammengehens beider Netzhäute gegeben, ohne daß deshalb eine unabänderlich starre Verknüpfung der Erregungen korrespondierender Stellen oder das Fehlen der Selbständigkeit der einzelnen Netzhautstelle angenommen werden müßte. An Beispielen für ein Abweichen von der gewöhnlichen Art der funktionellen Beziehung ist oben das Einfachsehen mit *disparaten* Netzhautstellen („korrespondierende Empfindungskreise“, s. S. 429) sowie der Sonderfall des GARTENSchen Versuches (s. S. 431) bereits erwähnt. Ein anderer in dieser Hinsicht wertvoller Fall ist in einem von WHEATSTONE, von v. HELMHOLTZ (a, I., S. 736) und HERING (a, S. 81 u. 108) modifizierten und ausführlich diskutierten Versuche gegeben, der ebenfalls auf den Nachweis eines atypischen Zusammenwirkens disparater Netzhautstellen hinausläuft. Weiteres findet sich hierzu bei HÖFER, HENNING (c), KAILA (a), PICKLER, v. HELMHOLTZ (a, Bd. I, S. 407 u. 781).

Die Selbständigkeit der Erregungen *korrespondierender* Stellen kommt andererseits in der Konstanz der Flimmergrenze zum Ausdruck, wenn periodische Lichtreize beiden Augen einmal streng gleichzeitig, einmal genau alternierend zugeführt werden [SHERRINGTON (a, b); EXNER (b, S. 586)].

**Anomale Netzhautkorrespondenz.** In diesem Zusammenhang sei auch an die Ausbildung „anomaler Netzhautbeziehungen“ erinnert, wie sie z. B. bei konkometierendem Schielen zwischen disparaten Netzhautstellen zustande kommen können. Da es sich hier um pathologische Vorgänge handelt, die in anderen Kapiteln des Handbuches eine eingehende Würdigung finden (Bd. 3), so sei auf diese Verhältnisse hier nur so weit eingegangen, als sie unsere physiologischen Anschauungen zu ergänzen oder zu stützen vermögen. Für die anomale Netzhautkorrespondenz ist es charakteristisch, daß sie insbesondere hinsichtlich der Tiefenwahrnehmung immer sehr viel weniger leistet als die normale. Dies liegt allem Anscheine nach darin begründet, daß sich ihre Entwicklung im Gegenspiel innerer Hemmung (Unterdrückung der Doppelbilder) und adaptativer Umwertung (Verknüpfung disparater Stellen zur Sehrichtungsgemeinschaft) vollzieht, so daß schließlich Netzhautstellen ganz ungleicher aktueller Leistungsfähigkeit verbunden sind (ALFRED GRAEFE). Diese neu hergestellte Beziehung ist meist keine festbestimmte, sondern zeigt [v. TSCHERMAK (a)] große Wandelbarkeit; vor allem bleibt wohl immer die Neigung zum Rückschlag in die normale Korrespondenz erhalten (A. BIELSCHOWSKY). Vielfach ist *neben* der erworbenen anomalen Beziehung die normale sogar dauernd nachweisbar, ein Fall, in dem dieselbe Netzhautregung in zwei verschiedene Richtungen lokalisiert, d. h. monokular doppelt gesehen werden kann (BIELSCHOWSKY). Weisen schon diese Zeichen festerer Verankerung auf eine *angeborene* Anlage der physiologischen Netzhautkorrespondenz hin, gegen die eine erworbene Beziehung sich überhaupt nur in gewisser Minderwertigkeit durchzusetzen vermag, so läßt die Tatsache, daß selbst in einem Falle angeborenen Schielens unzweifelhaft die normale Netzhautbeziehung nachgewiesen werden konnte, hierüber wohl keinen Zweifel bestehen [F. B. HOFMANN (a, S. 845)]. Auch vergleiche man bei ENGELKING.

**Wettstreit der Sehfelder.** Befinden sich in den Gesichtsfeldern beider Augen Objekte von einer Form oder in einer Anordnung, daß keine Vereinigung zum Sammelbilde eines körperlichen Dinges möglich ist, so bleiben die Inhalte beider Gesichtsfelder ebenfalls mehr oder weniger gesondert bestehen und es tritt jener eigenartige Zustand ein, der als der „Wettstreit der Sehfelder“ bezeichnet wird. Der optische Eindruck ist dann unruhig und wechselnd, indem, zum Teil wohl unter Mitwirkung von Aufmerksamkeitsschwankungen [FECHNER und v. HELMHOLTZ (a), I., S. 769)], bald das Sehfeld des einen, bald das des anderen Auges die Vorherrschaft erlangt, bald Anteile aus beiden Sehfeldern zum Bewußtsein kommen. Dieser Wettstreit kann sich sowohl auf die in den einäugigen Sehfeldern gegebenen *Konturen* (Figuren, „Gestalten“), als auf die *Farben* erstrecken. Für die Herstellung der geeigneten Bedingungen bedient man sich am einfachsten der Hilfsmittel der Zweibildstereoskopie.

Zu den Erscheinungen beim *Wettstreit der Konturen* sei erwähnt, daß die Anwesenheit von Konturen dem einen Sehfelde immer das Übergewicht über

das mehr oder weniger homogen gefüllte zweite gibt. Man sieht in diesem Falle die von den Konturen begrenzten Figuren meist ebenso deutlich, als wenn sie sich zugleich auf der anderen Netzhaut in korrespondierender Weise abbil-

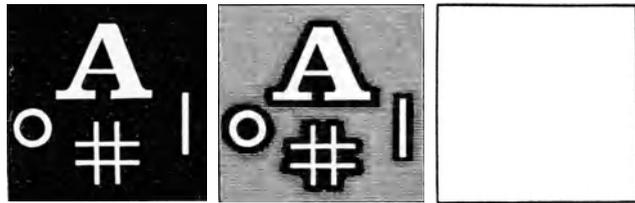


Abb. 43. Wettstreit der Sehfelder. (Nach HERING.)

deten. Auf diesem praktisch so gut wie vollkommenen Zurücktreten des homogen gefüllten Sehfeldes beruht die Möglichkeit, die Korrespondenz der Netzhäute nach der Methode der gegenseitigen Substitution im haploskopischen Versuch (s. S. 417) zu untersuchen. Bei einseitiger Darbietung von Konturen besteht die weitere Eigentümlichkeit, daß diese das sie zunächst begrenzende Stück des Grundes, auf dem sie liegen, unverändert in das gemeinsame Sehfeld mitnehmen („physiologische Kohärenz“, G. E. MÜLLER, S. 24), während in den entfernteren Teilen des Sehfeldes die Wettstreiterscheinungen auftreten, falls daselbst nicht Gleichheit der Reizung besteht oder binokulare Farbmischung zustandekommt. Ein Beispiel hierfür bietet Abb. 43; an Stelle von Schwarz und Weiß können auch beliebige andere Farbenpaare mit entsprechendem Erfolge miteinander kombiniert werden. Enthalten beide Gesichtsfelder Konturen von etwa der gleichen Eindringlichkeit, so kommt es entweder zu einer Durchflechtung derselben im gemeinsamen Sehfelde oder zu einem wechselnden Überwiegen der Konturen bald des einen, bald des anderen Sehfeldes (FECHNER und v. HELMHOLTZ a. a. O.), wieder unter Mitnahme des Grundes, auf dem sie liegen.

Die Darbietung gleichmäßig verteilter Farben auf korrespondierenden Flächen beider Netzhäute führt zu einem entsprechenden *Wettstreit der Farben* und dabei häufig auch zu den Erscheinungen der *binokularen Farbmischung*. In Übereinstimmung mit dem soeben über die Konturen Gesagten verhalten hierbei selbst unscheinbare Ungleichmäßigkeiten in der Färbung der dargebotenen Flächen dem betreffenden Sehfeld leicht zu einer Prävalenz über das andere [HERING (d), S. 592 f.]; daselbst siehe auch die weiteren Einzelheiten]. Die Möglichkeit binokularer Farbmischung, die von einer Reihe von Autoren lange Zeit bestritten wurde [H. MEYER, VOLKMANN (a), FUNKE (b), v. HELMHOLTZ (a)], muß als tatsächlich bestehend anerkannt werden [E. v. BRÜCKE (a), PANUM (b), HERING (d)]; sie ist bei Verwendung nicht zu gesättigter Farben und guter binokularer Deckung der ideal homogenen Farbenflächen besonders leicht zu erreichen, während bei gesättigten Farben der Farbenwettstreit und bei einseitigem Überstehen schmaler Randteile die Prävalenz

der entsprechenden Farbe im *ganzen* gemeinsamen Sehfeld begünstigt ist. Hinsichtlich des Mischungsergebnisses bei Darbietung zweier verschiedener bunter Farben ist grundsätzlich das Gleiche zu sagen, was auf S. 444f. über die Helligkeit des binokularen Eindruckes im allgemeinen bemerkt wurde, nämlich daß die resultierende Mischfarbe, mag sie sich nun aus gleichen Anteilen der beiden Komponenten zusammensetzen oder mehr der einen von ihnen nahestehen, der dargebotenen Einzelfarbe nur immer ungefähr gleich hell erscheint. Wegen der Qualität der resultierenden Mischfarbe, sowie wegen der zu bestimmtem Mischungserfolg benötigten Mengen beider Komponenten vergleiche man die neuen Untersuchungen von TRENDLENBURG (b).

**Stereoskopischer Glanz.** Besonderer Erwähnung bedarf noch die Erscheinung des stereoskopischen Glanzes, die von DOVE (a), BREWSTER (b), OPPEL (a), E. v. BRÜCKE (b), ROOD, WUNDT (b) näher studiert wurde und zunächst mit dem unsteten Wechsel im Überwiegen des rechts- und linksäugigen Eindruckes in Zusammenhang gebracht wurde. Bietet man im Stereoskop dem einen Auge die Fläche eines dargestellten Objektes hell, dem anderen Auge dieselbe Fläche dunkel dar, so erscheint sie im binokularen Sammelbilde deutlich *glänzend*. v. HELMHOLTZ (a, I., S. 782) hat die optische Beschaffenheit der gesehenen „Substanz“ wegen ihres charakteristischen matten Glanzes mit der des Graphits verglichen.

Die an sich gewiß naheliegende Erklärung dieser Erscheinung aus einem Wettstreit der Sehfelder kann in dieser Form wohl kaum aufrechterhalten werden, da ähnliche optische Wirkungen auch bei ganz kurzer Beleuchtung der Bilder durch einen elektrischen Funken sicher beobachtet wurden. Man muß sich nach v. HELMHOLTZ (vgl. hierzu auch KIESOW) also vorerst mit der Feststellung abfinden, daß selbst zwei *momentane* heterogene Lichtwirkungen auf korrespondierende Netzhautstellen leicht einen durchaus anderen sinnlichen Eindruck hervorrufen können als zwei ebensolche Einwirkungen auf ein und dieselbe Stelle. Freilich liegt die Angabe vor, daß die Erscheinung des Glanzes an geeigneten Objekten dem Charakter nach auch monokular wahrgenommen werden kann [HERING (d, S. 237)]. Dies wird so gedeutet, daß die Helligkeit der einzelnen Punkte und Flächen infolge der unvermeidlichen kleinsten Blickbewegungen rasch aufeinanderfolgende Veränderungen erfährt. Es hat den Anschein, als ob das simultane Bestehen ungleicher Helligkeiten auf identischen Netzhautstellen dieselbe optische Wirkung haben könnte, wie im monokularen Versuch eine rasche Folge sukzessiver Helligkeitswechsel.

**Binokularer Kontrast.** Daß die Beziehungen zwischen den Erregungen des rechten und des linken Auges sich auch in ganz anderer Art, nämlich im Auftreten eines *simultanen Kontrastes* äußern können, ist, wie schon FECHNER (a) bekannt war, nach verschiedenen Verfahren zu demonstrieren. Am einfachsten verfährt man wohl so, daß man zunächst ein Auge schließt und mit dem anderen nach einer homogenen bunten Fläche blickt. Öffnet man dann das geschlossene Auge und erzeugt sich binokulare Doppelbilder eines weißen Papierstreifens auf schwarzem Grunde, so erscheint das Nachbild des chromatisch verstimmtten Auges in der Komplementärfarbe, das des geschlossen gewesenen Auges dagegen, im Kontrast hierzu, in der Farbe des zuvor vom anderen Auge betrachteten Grundes (binokularer Kontrast).

Neuerdings hat sich GELLHORN (a, b) einer derartigen „indirekten“ Umstimmung des Auges mehrfach zum Studium der zentralen Verknüpfungen beider Augen bedient. In unserem Zusammenhang interessiert aus seinen Ergebnissen erstens der Befund einer Beeinflussung der Gesichtsfeldgrenzen vom zweiten Auge aus, die je nach der Art der Vorbereitung dieses Auges verschiedenes Vorzeichen besitzen kann. Zweitens sind gewisse Feststellungen über den binokularen Wettstreit beachtenswert, die neben physiologischen Faktoren der Förderung und Hemmung einen starken Einfluß der Gestaltwahrnehmung ergaben.

Daß die Wettstreiterscheinungen im *Nachbild* vielfach deutlich eindringlicher sind als während der Beobachtung der Reizfelder selbst, wird von demselben Autor (b) angeben und dieses Verfahren der Wettstreitbeobachtung daher besonders empfohlen (s. auch DIAZ-CANEJA).

An die Erscheinungsweise des binokularen Wettstreites mit dem wechselnden Überwiegen bald des einen, bald des anderen Sehfeldes knüpft BOSE mit seiner Theorie von der „*Alternance binoculaire*“ an, einer Lehre, nach der die Netzhäute bei jedem binokularen Sehakt grundsätzlich in Wechselerregung fungieren sollen derart, daß die helle Phase des einen jeweils mit der dunklen des anderen zusammenfällt. Gewisse Anhaltspunkte für diese Anschauung glaubt BOSE im Verhalten der rechts- und linksäugigen, „rhythmisch alternierenden“ Netzhautströme bei binokularer Reizung gefunden zu haben. Diese Lehre trifft, wie DIAZ-CANEJA (man vgl. auch ROELOFS) zeigte, offenbar nicht zu. DIAZ-CANEJA bediente sich einer stereoskopischen Vorlage, deren rechtes Halbbild in der rechten Hälfte horizontale *rote Streifen*, in der linken Hälfte konzentrische *grüne Halbkreise*, beides auf schwarzem Grunde, aufweist, das linke Halbbild umgekehrt. Bei binokularer Betrachtung ergibt sich, daß der Wettstreit keineswegs so verläuft, wie BOSE annimmt, indem ein alternierendes Überwiegen bald des *gesamten* rechtsäugigen, bald des *gesamten* linksäugigen Eindruckes zustandekommt, sondern daß auch die einzelnen Teile des Einzelgesichtsfeldes auf verschiedene, ja auf direkt entgegengesetzter Phase der Erregung sich befinden können. Ferner erscheint wichtig, daß von den *beiden* Netzhäuten besonders leicht gerade jene Teile sich auf Phasengleichheit einstellen, deren Rindenfelder verschiedenen Hemisphären angehören; das wird bei der gegebenen Beschaffenheit der Vorlage allerdings dadurch begünstigt, daß ihre Regungen zu einer geschlossenen Figur (im Sinne der Gestalttheorie) sich ergänzen.

**Unterscheidung rechts- und linksäugiger Eindrücke.** Endlich bedarf noch die Frage einer Erörterung, ob wir in der Lage sind, rechts- und linksäugige Gesichtseindrücke aus einer ihnen selbst innewohnenden Eigentümlichkeit voneinander zu unterscheiden [v. HELMHOLTZ (a, I., S. 743); HERING (d, S. 141)]. Die Frage wurde vielfach weiter geprüft [SCHÖN, v. FLEISCHL, BOURDON (c), HEINE (e, f)] und von den Autoren zum Teil bejaht, zum Teil verneint. Alles in allem kam man zu einer Bestätigung der schon von v. HELMHOLTZ vertretenen Meinung, daß wir an sich keinerlei bestimmtes Bewußtsein davon haben, welche Eindrücke dem rechten oder dem linken Auge angehören, und daß eine Unterscheidung, wo sie einmal möglich wird, lediglich aus gewissen Neben Umständen sich ergibt. Ein eigenes „Organgefühl“ des Auges in diesem Sinne wird also abgelehnt.

An „Neben Umständen“, die uns unter bestimmten Bedingungen in den Stand setzen können, das „sehende“ Auge richtig anzugeben, kommen im wesentlichen das temporale Überstehen des monokularen Gesichtsfeldes über das binokulare („temporale Sichel“, s. Abb. 20, S. 414) und die höhere Erregbarkeit der nasalen Netzhautpartien gegenüber den temporalen in Frage (SCHÖN). WESSELY (a, b) entnimmt dieses neuerdings daraus, daß der bei diffuser Belichtung *einer* Netzhaut durch das geschlossene Augenlid wahrgenommene Lichtschein im allgemeinen nach der temporalen Seite lokalisiert wird (s. auch O. VERAGUTH, F. DIMMER, BIRNBACHER). Doch bleibt zu erwägen, ob hieran nicht eine unbewußte, unter den geschlossenen Lidern unkontrollierbare Konvergenzstellung der Augen die Schuld trägt. Im Sinne ungleicher Erregbarkeitsverteilung spricht allerdings auch die Angabe KÖLLNERS (b, e), daß beim Versuch der binokularen Farbmischung das Sehfeld, bevor der Wettstreit einsetzt, für kurze Zeit durch eine den Blickpunkt schneidende Vertikale in zwei Halbfelder geteilt gesehen werde, deren jede gleichmäßig in der dem gleichseitigen Auge gebotenen Farbe gefärbt erscheine. Dies würde eine (nur die Sehfeldmitte freilassende) Präponderanz jedes Auges in der *ganzen* gleichnamigen Hälfte des Sehfeldes bedeuten, die sich, wie S. 422 erwähnt wurde, nach KÖLLNERS Meinung auch im Verlauf der exzentrischen Sehrichtungen äußert.

Ein besonderer Fall, in dem bei binokularem Sehen rechts- und linksäugige Regungen unterscheidbar zu werden pflegen, ist gegeben, wenn die Verschiedenheit der Helligkeit oder Deutlichkeit (Schärfe) beider Netzhautbilder ein gewisses Maß überschreitet. Wie vor allem BRÜCKNER und v. BRÜCKE (a—c) hervorhoben, tritt in jenem Auge, dessen Bilder in irgendeiner Beziehung „minderwertig“ sind, ein eigentümliches Gefühl von Unbehagen auf, das als „Abblendungsgefühl“ bezeichnet wird und z. B. dann sehr deutlich ist, wenn man beim Mikroskopieren ein Auge durch das helle Objektfeld geblendet und so für die Wahrnehmung schwacher Helligkeiten unempfindlich gemacht hat. Dieselbe Erscheinung hat man (HERING), wenn man nach einseitiger Dunkeladaptation mit beiden Augen beobachtet. Die Beziehung des „Abblendungsgefühles“ auf das richtige Auge wird hierbei aller Wahrscheinlichkeit nach durch die Vorgänge in dem seitlichen monokularen Sehfeldanteil, der von den binokularen Verschmelzungsvorgängen unberührt bleibt, wesentlich unterstützt [F. B. HOFMANN (e, S. 256)]. Daß hierin aber nicht die alleinige Ursache der Unterscheidungsmöglichkeit liegt, scheint aus der Angabe von v. HELMHOLTZ (a, I., S. 744) hervorzugehen, nach der entsprechende Wirkungen auch bei ganz lokaler Trübung des Bildes einer Seite (etwa bei einseitigem Fleck in der Optik binokularer Instrumente) zustande kommen können. Eine erschöpfende Erklärung dieser Erscheinung steht noch aus (vgl. hierzu JAVAL, LOHMANN).

#### Literatur.

- AALL, A.: Über den Maßstab beim Tiefsehen in Doppelbildern. Bathoskopische Untersuchungen mit einer Figur. *Z. Psychol.* **49**, 108 u. 161 (1908). — ALBADA, L. E. W. VAN: Der Einfluß der Akkommodation auf die Wahrnehmung von Tiefenunterschieden. *Graefes Arch.* **54**, 430 (1902). — ALEXANDER, G. u. R. BÁRÁNY: Psychophysiologische Untersuchungen über die Bedeutung des Statolithenapparates für die Orientierung im Raum an Normalen und Taubstummen. *Z. Psychol.* **37**, 321 u. 414 (1904). — D'ALMEIDA, J. C.: Nouvel appareil stéréoscopique. *C. r. Acad. Paris* **47**, 61 (1858). — AMMANN, E.: Die binokuläre Verflauung von Bildern. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **76**, 537 (1926). — ANDERSON, E. and FR. W. WEYMOUTH: Visual perception and the retinal mosaic. I. Retinal mean local sign, an explanation of the fineness of binocular perception of distance. *Amer. J. Physiol.* **64**, 561 (1923). — ARBER, M.: Über die Bedeutung der Konvergenz- und Akkommodationsbewegungen für die Tiefenwahrnehmung. *Wundts philos. Stud.* **13**, 116 (1897). — ASCHER, K. W.: (a) Zur Frage nach dem Einfluß von Akkommodation und Konvergenz auf die Tiefenlokalisation und die scheinbare Größe der Sehdinge. *Z. Biol.* **62**, 508 (1913). (b) Versuche zu einer Methode, die sekundären Motive der Tiefenlokalisation messend zu beobachten. *Graefes Arch.* **94**, 275 (1917). (c) Zur Frage der Gewöhnung an das einäugige Sehen. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **71**, 322 (1923). — ASHLEY, L.: Concerning the significance of intensity of light in visual estimates of depth. *Psychol. Rev.* **5**, 595 (1908). — AUBERT, H.: (a) Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865. (b) Die Bewegungsempfindung. *Pflügers Arch.* **39**, 347 (1886). (c) Die Bewegungsempfindung. 2. Mitt. nebst Nachtrag. *Pflügers Arch.* **40**, 459 (1887). — BAIRD, J. W.: The influence of accommodation and convergence upon the perception of depth. *Amer. J. Psychol.* **14**, 150 (1903). — BAPPERT, J.: Neue Untersuchungen zum Problem des Verhältnisses von Akkommodation und Konvergenz zur Wahrnehmung der Tiefe. *Z. Psychol.* **90**, 167 (1922). — BÁRÁNY, R.: La bipartition de la couche moléculaire des grains de l'écorce visuelle et son importance pour la vue binoculaire. *Riv. otol. ecc.* **4**, 141 (1927). — BARD, L.: Le problème de la tâche aveugle et son importance en physiologie générale. *Arch. d'Ophtalm.* **44**, 5 (1927); s. auch *J. Physiol. et Path. gén.* **1919**, 295. — BARTELS, M.: Aufgaben der vergleichenden Physiologie der Augenbewegungen. *Graefes Arch.* **101**, 299 (1920). — BASLER, A.: (a) Über das Sehen von Bewegungen. 1. Mitt. Die Wahrnehmung kleinster Bewegungen. *Pflügers Arch.* **115**, 582 (1906). (b) Über das Sehen von Bewegungen. 2. Mitt. Die Wahrnehmung kleinster Bewegungen bei Ausschluß aller Vergleichsgegenstände. Nach gemeinsam mit stud. med. H. SCHLOSSBERGER ausgeführten Untersuchungen. *Pflügers Arch.* **124**, 313 (1908). (c) Über das Sehen von Bewegungen. 3. Mitt. Der Ablauf des Bewegungsnachbildes. *Pflügers Arch.* **128**, 145 (1909). (d) Über das Sehen von Bewegungen. 4. Mitt. Weitere Beobachtungen über die Wahrnehmung kleinster Bewegungen. *Pflügers Arch.* **128**, 427 (1909). (e) Eine Versuchs-anordnung, die es ermöglicht, die Wahrnehmbarkeit kleiner Bewegungen direkt zu

vergleichen mit der sog. Sehschärfe. Zbl. Physiol. **23**, 284 (1909). (f) Über das Sehen von Bewegungen. 5. Mitt. Untersuchungen über die simultane Scheinbewegung. Pflügers Arch. **132**, 131 (1910). (g) Über das Sehen von Bewegungen. 6. Mitt. Der Beginn des Bewegungsnachbildes. Pflügers Arch. **139**, 611 (1911). — BENUSSI, V.: (a) Zur Psychologie des Gestalt-auffassens. MEINONGS Untersuchungen zur Gegenstandstheorie und Psychologie. Leipzig 1904. (b) Stroboskopische Scheinbewegungen und geometrisch-optische Gestalttäuschungen. Pflügers Arch. **24**, 31 (1912). (c) Über Scheinbewegungskombinationen. Pflügers Arch. **37**, 233 (1918). — BERTHOLD, E.: Über die Bewegungen des kurzsichtigen Auges. Graefes Arch. **11** (3), 107 (1865). — BEST, F.: (a) Über die Grenze der Erkennbarkeit von Lageunterschieden. Graefes Arch. **51**, 453 (1900). (b) Hemianopsie und Seelenblindheit bei Hirnverletzten. Graefes Arch. **93**, 49 (1917). (c) Die Form des Himmelsgewölbes und verwandte Fragen. Die Helligkeit als sekundäres Moment bei der Tiefenschätzung. Zbl. Ophthalm. **7**, 449 (1922). — BIELSCHOWSKY, A.: Untersuchungen über das Sehen der Schielenden. Graefes Arch. **50**, 406 (1900). — BIHLER, W.: Beiträge zur Lehre vom Augenmaß für Winkel. Diss. Freiburg 1896. Vgl. auch die Besprechung von WITASEK, Z. Psychol. **14**, 391. — BINNEFELD, M.: Experimentelle Untersuchungen über die Bewegungsempfindungen des Auges bei Vergleichung von Streckengrößen im Hellen und Dunklen. Arch. f. Psychol. **37**, 129 (1918). — BIRNBACHER, TH.: Die Lichtprojektion bei geschlossenen Lidern. Graefes Arch. **110**, 37 (1922). — BLOOM, S. u. S. GARTEN: Vergleichende Untersuchung der Sehschärfe des hell- und des dunkeladaptierten Auges. Pflügers Arch. **77**, 372 (1898). — BLUMENFELD, W.: Untersuchungen über die scheinbare Größe im Sehraume. Z. Psychol. **65**, 241 (1913). — BORSCHKE, A. u. L. HESCHELES: Über Bewegungsnachbilder. Z. Psychol. **27**, 387 (1901). — BOSE, J. CH.: Réactions de la matière vivante et non vivante. Paris 1926. — BOURDON, R.: (a) La perception monoculaire de la profondeur. Rev. Philos. **43**, 29 (1897). (b) L'acuité stéréoscopique. Rev. Philos. **25**, 74 (1900). (c) La distinction locale des sensations correspondantes des deux yeux. Bull. Soc. Sci. méd. Ouest. **9**, No 1. Rennes 1900. (d) La perception visuelle de l'espace. Bibl. de Pédag. et de Psychol. par ALFRED BINET. Paris 1902. (e) La perception visuelle de l'espace. Paris 1903. (f) Sur la distinction des sensations des deux yeux. L'année Psychol. **1903**, 41. — BREUER, J. u. A. KREIDL: Über die scheinbare Drehung des Gesichtsfeldes während der Einwirkung der Zentrifugalkraft. Pflügers Arch. **70**, 494 (1898). — BREWSTER, C.: (a) Description of several new and simple stereoscopes etc. Philosophic. Mag., 4. März 1852, 16. (b) Notice of a chromatic stereoscope. Philosophic. Mag., 4. März 1852, 31. — BRÜCKE, E. v.: (a) Über die Wirkung komplementär gefärbter Gläser beim binokularen Sehen. Poggendorffs Ann. **90**, 606 (1853). (b) Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. III **43** (2), 177; IV **79** (1866). — BRÜCKNER, A.: (a) Über die Sichtbarkeit des blinden Fleckes. Pflügers Arch. **136**, 610 (1910). (b) Zur Lokalisation einiger Vorgänge in der Sehsinnssubstanz. Pflügers Arch. **142**, 241 (1911). — BRÜCKNER, A. u. E. TH. v. BRÜCKE: (a) Zur Frage der Unterscheidbarkeit rechts- und linksäugiger Gesichtseindrücke. Pflügers Arch. **90**, 290 (1902). (b) Über ein scheinbares Organgefühl des Auges. Pflügers Arch. **91**, 360 (1902). (c) Nochmals zur Frage der Unterscheidbarkeit rechts- und linksäugiger Eindrücke. Pflügers Arch. **107**, 263 (1905). — BÜHLER, K.: Die Gestaltwahrnehmungen. I. Stuttgart 1913. — BULTMANN, H.: Untersuchungen über Sehschärfe. Diss. Freiburg 1896. — BURMESTER, L.: Theorie der geometrisch-optischen Gestalttäuschungen. Z. Psychol. **41**, 321 (1906); **50**, 219 (1908).

CARR, H.: (a) A visual illusion of motion during eye closure. Psychologic. Rev. Mon. Suppl. 7 (ganze Reihe Nr 31), 3 (1906). (b) Apparent control of the visual field. Psychologic. Rev. **14**, 357 (1907). — CARR, H. and J. B. ALLAN: A study of certain relations of accommodation and convergence to the judgement of the third dimension. Psychologic. Rev. **13**, 258 (1906). — CHARPENTIER, A.: (a) Mouvements apparents d'un petit objet faiblement éclairé dans le champ visuel obscure. C. r. Acad. Sci. Paris **102**, 1025. (b) Sur une illusion visuelle. C. r. Acad. Sci. Paris **102**, 1155 (1886). (c) Nouveaux faits à propos du balancement des étoiles. C. r. Acad. Sci. Paris **102**, 1462 (1886). (d) Visibilité de la tâche aveugle. C. r. Acad. Sci. Paris **126**, 1634. — CHODIN: Ist das WEBER-FECHNERSche Gesetz auf das Augenmaß anwendbar? Graefes Arch. **23** (I), 92 (1877). — COMBERG: Zur Psychologie der Tiefenauffassung. Z. Augenheilk. **52**, 183 (1924). — CORDS, R.: Bemerkungen zur Untersuchung des Tiefenschätzungsvermögens. I. Z. Augenheilk. **27**, 346 (1912); II. (mit BARDENHEWER) **30**, 1 (1913); III. **32**, 34 (1913). — CORDS, R. u. E. TH. v. BRÜCKE: Über die Geschwindigkeit des Bewegungsnachbildes. Pflügers Arch. **119**, 54 (1907). — CORNELIUS, C. S.: Zur Theorie des räumlichen Vorstellens mit Rücksicht auf eine Nachbildlokalisierung. Z. Psychol. **2**, 164 (1891). — CUFF, NOEL B.: A study of eyedness and handedness. J. of exper. Psychol. **14**, 164 (1931).

DELAGE, Y.: (a) Etudes exp. sur les illusions statiques et dynamiques de direction. Archives de Zool., II. s. **4**, 535 (1886). Vgl. AUBERT: Physiologische Studien über die Orientierung. Tübingen 1888. (b) Les méridiens des l'oeil. Rev. gén. Sci. **3**, 114 (1892). — DELBOEUF: Note sur certaines illusions d'optique. Essai d'une théorie psychophysique

sur la manière dont l'oeil apprécit les distances, les angles et les grandeurs. Bull. Acad. Méd. Belg. 19, 195 (1856); 20, 70 (1865). Vgl. auch: Sur une nouvelle illusion d'optique. Rev. scient. 51, 238 (1893). — DIAZ-CANEJA, E.: Sur l'alternance binoculaire. Annales d'Ocul. 165, 721 (1928). — DIMMER, F.: Über die Lichtempfindung bei geschlossenen Lidern. Graefes Arch. 105, 794 (1921). — DITTLER, R.: Über die Raumfunktion der Netzhaut in ihrer Abhängigkeit vom Lagegefühl der Augen und vom Labyrinth. Z. Sinnesphysiol. 52, 274 (1921). — DIXON, E. T.: On the relation of accommodation and convergence to our sense of depth. Mind, N. s. Tome 4, 195, 1895. — DOBROWOLSKY, W.: Beiträge zur physiologischen Optik. Über Rollung der Augen bei Konvergenz und Akkommodation. Graefes Arch. 18 (1), 53 (1872). — DOBROWOLSKY, W. u. A. GAINÉ: Über die Sehschärfe (Formsinn) an der Peripherie der Netzhaut. Pflügers Arch. 12, 411 (1876). — DONDEES, F. C.: (a) Die Projektion der Gesichterscheinungen nach den Richtungslinien. Graefes Arch. 17 (II), 1 (1871). (b) Die korrespondierenden Netzhautmeridiane und die symmetrischen Rollbewegungen (Isoskop). Graefes Arch. 21 (3), 100 (1875). (c) De corresponderende Netvlies-meridianen en de symmetrische rollbewegingen. Onderzoekingen physiol. Labor. Utrecht 3, 2, 45 (1875). (d) Versuch einer genetischen Erklärung der Augenbewegungen. Pflügers Arch. 13, 373 (1876). — DOUGALL, MAC: Physiological factors of the attention-process. Mind, N. s. 15, 329 (1906). DOVE, H. W.: (a) Über die Ursache des Glanzes und der Irradiation, abgeleitet aus chromatischen Versuchen mit dem Stereoskop. Poggendorffs Ann. 83, 169 (1850). Siehe auch: Berl. Mber. 1851, 252; 1861, 522. (b) Über die Unterschiede monokularer und binokularer Pseudoskopie. Poggendorffs Ann. 101, 302 (1857). — DOWNEY, JUNE E.: A note on an attempt at judging ocular dominance from photographs. J. of exper. Psychol. 13, 268 (1930). — DRESSLAR, F. B.: A new and simple method for comparing the perception of rate of movement in the direct and indirect fields of movement. Amer. J. Psychol. 6, 312 (1894). — DVORAK, V.: Versuche über Nachbilder von Reizveränderungen. Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien., Math.-naturwiss. Kl. II, 61, 257 (1870).

EBBECKE, U.: (a) Über das Sehen im Flimmerlicht. Pflügers Arch. 185, 196 (1920). (b) Der farbenblinde und schwachsichtige Saum des blinden Flecks. Pflügers Arch. 185, 173 (1920). — EBBINGHAUS u. DÜRR: Grundzüge der Psychologie, Bd. 1. Leipzig 1911; Bd. 2. 1913. — EHRENFELS, CHR. v.: Über „Gestaltsqualitäten“. Vjschr. wiss. Philos. 14, 249 (1890). — EINTHOVEN, W.: (a) Stereoskopie durch Farbendifferenz. Graefes Arch. 31 (3), 211 (1885). (b) On the production of shadow and perspective effects by difference of colour. Brain 1893, 61/62. Stück, 191. (c) Eine einfache physiologische Erklärung für die verschiedenen geometrisch-optischen Täuschungen. Pflügers Arch. 71, 7 (1898). Auch in Onderzoek., Physiol. Labor. Leyden (holl.) 2. R., 3, 133; Arch. néerl. Physiol., II. s. 3, 103 (1899). — ELSCHNIG: Zur Kenntnis der binokularen Tiefenwahrnehmung. Graefes Arch. 52, 214 (1901); 54, 411 (1902). — ENGBELKING, E.: Netzhautort und Stellungsfaktor. Eine interessante klinische Demonstration ihrer lokalisatorischen Bedeutung. Klin. Mbl. Augenheilk. 78, 546 (1927). — ERGÄLETER, H.: Versuche zur beid-äugigen Tiefenwahrnehmung bei hoher Ungleichsichtigkeit. Klin. Mbl. Augenheilk. 66, 685 (1921). — ESSER, A. ALBERT M.: Äugigkeit und Händigkeit. Klin. Mbl. Augenheilk. 78, 332 (1927). — EWALD, J. R. u. O. GROSS: Über Stereoskopie und Pseudoskopie. Pflügers Arch. 115, 514 (1906). — EXNER, S.: (a) Über das Sehen von Bewegungen und die Theorie des zusammengesetzten Auges. Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. III, 72, 156 (1876). (b) Experimentelle Untersuchungen der einfachsten psychischen Prozesse. IV. Die Empfindungszone des Sehnervenapparates. Pflügers Arch. 11, 589 (1876). (c) Ein Versuch über die Netzhautperipherie als Organ zur Wahrnehmung von Bewegungen. Pflügers Arch. 38, 217 (1886). (d) Einige Beobachtungen über Bewegungsnachbilder. Zbl. Physiol. 1, 135 (1888). (e) Über autokinetische Empfindungen. Z. Psychol. 12, 313 (1896).

FECHNER, A. TH.: (a) Über einige Verhältnisse des binokularen Sehens. Ber. sächs. Ges. Wiss. 1860, 337; 1862, 27. (b) In Sachen der Psychophysik, S. 63. Leipzig 1877. (c) Elemente der Psychophysik, 2. Aufl. Leipzig 1889. — FEILCHENFELD, H.: (a) Über die Größenschätzung im Sehfeld. Graefes Arch. 53, 401 (1901). Ref. in Z. Psychol. 30, 149 (1902) von CRZELLITZER. (b) Zur Lageschätzung bei seitlichen Kopfnegungen. Z. Psychol. 31, 127 (1903). — FICK, A.: De errore quodam optico asymmetria bulbi effecta. Inaug.-Diss. Marburg 1851. Siehe Gesammelte Schriften, Bd. 3, S. 281. — FICK, A. E.: Über Stäbchen- und Zapfensehschärfe nach Versuchen von F. KÖSTER. Graefes Arch. 45 (II), 336 (1898). — FLEHNE, W.: (a) Die Form des Himmelsgewölbes. Pflügers Arch. 59, 279 (1894). (b) Über die Rolle der Erfahrungsmotive beim einäugigen perspektivischen Fernsehen. Rubners Arch. f. Physiol. 1910, 392. (c) Über die Betrachtung der Gestirne mittels Rauchgläser und über die verkleinernde Wirkung der Blickerhebung. Rubners Arch. f. Physiol. 1910, 523. (d) Über eine dem BRENTANO-MÜLLER-LYERSCHEN Paradoxon analoge Täuschung im räumlichen Sehen. Rubners Arch. f. Physiol. 1911, 273. (e) Die mathematische Ableitung der Form des scheinbaren Himmelsgewölbes. Rubners Arch. f. Physiol. 1912, 1. (f) Über die scheinbare Form der sog. Horizontalebene. Rubners Arch.

f. *Physiol.* **1912**, 461; siehe auch **1915**, **373**; **1917**, 197. (g) Absolute Größeneindrücke und scheinbare Himmelsform. *Rubners Arch. f. Physiol.* **1918**, 183; *Z. Sinnesphysiol.* **54**, 1 (1923). — FISCHER, F. P.: (a) Über Asymmetrien des Gesichtsinnes, speziell des Raumsinnes beider Augen. *Pflügers Arch.* **204**, 203 (1924). (b) Experimentelle Beiträge zum Begriff der Schrichtungsgemeinschaft der Netzhäute usw. *Pflügers Arch.* **204**, 234 (1924). — FISCHER, O.: Psychologische Analyse der stroboskopischen Erscheinungen. *Wundts philos. Stud.* **3**, 128 (1886). — FISCHER, M. H.: (a) Messende Versuche über die Gegenrollung der Augen und die Lokalisation der scheinbaren Vertikalen bei seitlicher Neigung (des Kopfes, des Stammes und des Gesamtkörpers). I. Neigungen bis zu 40°. *Graefes Arch.* **118**, 633 (1927). (b) II. Untersuchungen an Normalen. *Graefes Arch.* **123**, 476 (1930). (c) III. Untersuchungen an einem Ertaubten mit Funktionsuntüchtigkeit beider Vestibularapparate und einem einseitig Labyrinthlosen. *Graefes Arch.* **123**, 509 (1930). (d) Egozentrische Lokalisation. I. Optische egozentrische Richtungslokalisierung. *Z. Sinnesphysiol.* **61**, 87 (1930). — FISCHER, M. H. u. A. E. KORNMÜLLER: (a) Egozentrische Lokalisation. I. *Mitt. J. Psychol. u. Neur.* **41**, 273 (1930); II. Optische Richtungslokalisierung beim vestibulären Nystagmus. *J. Psychol. u. Neur.* **41**, 383 (1931). (b) Optokinetisch ausgelöste Bewegungswahrnehmungen und optokinetischer Nystagmus. *J. Psychol. u. Neur.* **41**, 273 (1930). — FISCHER, R.: (a) Größenschätzungen im Gesichtsfeld. *Graefes Arch.* **37** (1), 97 (1891). (b) Weitere Größenschätzungen im Sehfeld. *Graefes Arch.* **37** (3), 55 (1891). — FLEISCHL v. MARXOW, E.: Physiologisch-optische Notizen. *Sitzgs.ber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. III*, **86**, 8 (1882). Abgedruckt ges. Abh. 164. Leipzig 1883. — FÖRSTER: (a) Das Perimeter. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **1869**, 411. (b) Ophthalmologische Beiträge. Berlin. Zitiert nach JAENSCH, *Z. Psychol., Erg.-Bd.* **6** (1911). — FRASER, J.: A new visual illusion of direction. *Brit. J. med. Psychol.* **2**, 397 (1908). — FRITSCH, G.: Über Bau und Bedeutung der Area centralis beim Menschen. Berlin 1908. Vgl. auch *Zbl. Physiol.* **24**, 796 (1910). Ferner: Vergleichende Untersuchung der Fovea centralis des Menschen (vorl. Mitt.). *Anat. Anz.* **30**, 462 (1907). — FRÖHLICH, B.: Unter welchen Umständen erscheinen Doppelbilder in ungleichem Abstand vom Beobachter? *Graefes Arch.* **41** (IV), 134 (1895). — FRUBÖSE, A.: Zur Analyse des galvanischen Schwindels. *Z. Biol.* **76**, 267 (1922). — FRUBÖSE, A. u. P. A. JAENSCH: Der Einfluß verschiedener Faktoren auf die Tiefensehschärfe. *Z. Biol.* **78**, 119 (1923). — FUJITA, T.: Die Schätzung der Bewegungsgröße bei Gesichtsobjekten. *Z. Psychol.* **44**, 35 (1909). — FUNAISHI, SH.: (a) Weiteres über das Zentrum der Schrichtungen. *Graefes Arch.* **117**, 296 (1926). (b) On the subjectiv cyclopic eye (the third eye). *Arch. of Ophthalm.* **56**, 328 (1927). (c) Über die falsche Lichtlokalisierung bei geschlossenen Lidern sowie über das subjektive Cycloperauge. *Graefes Arch.* **119**, 227 (1927). — FUNKE, O.: (a) Zur Lehre vom blinden Fleck. *Ber. Naturforsch.verslg. Freiburg* **3** (1863). (b) *Lehrbuch der Physiologie*, 1. Aufl., Bd. 2, S. 875 (1857).

GARTEN, S.: Die Bedeutung unserer Sinne für die Orientierung im Luftraum. Leipzig 1917. — GELLHORN, E.: (a) Experimentelle Untersuchung über den Ablauf der Stoffwechselprozesse in der Retina und in der Sehsphäre. Zugleich ein Beitrag zur Kenntnis der intracorticalen Erregungsvorgänge. *Graefes Arch.* **116**, 379 (1926). (b) Über den Wettstreit im Nachbild. VI. Über intracorticalen Erregungsvorgänge in der Schrinde des Menschen. *Pflügers Arch.* **218**, 54 (1927). — GERTZ, H.: Untersuchungen über ZÖLLNERS anorthoskopische Täuschung. *Skand. Arch. Physiol.* **10**, 53 (1899). — GILLET: Die Röntgenstereoskopie mit unbewaffnetem Auge und ihre Anwendung für die stereometrische Messung. *Fortschr. Röntgenstr.* **10**, 109 (1906/07). — GIEL, D. V.: A case of extreme micrography, with comments on its physiological optics. *Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd.* **47**, 369 (1927). — GÖTHLIN, G. FR.: Die Bewegungen und die physiologischen Konsequenzen der Bewegungen eines zentralen optischen Nachbildes in dunklem Blickfeld bei postrotatorischer und calorischer Reizung des Vestibularapparates. *Nova acta regal. Soc. scient. Upsaliens.*, Sonderh. **1927**. — GOLDSTEIN, K. u. GELB: Zur Frage nach der gegenseitigen funktionellen Beziehung der geschädigten und ungeschädigten Sehsphäre bei Hemianopsie. *Psychol. Forschg* **4**, 187 (1924). — GOLDSTEIN, K. u. RIESE: Über induzierte Veränderungen des Tonus usw. II. Blickrichtung und Zeigerversuch. *Klin. Wschr.* **2**, 2338 (1923). — GRAEFE, ALFRED: *Motilitätsstörungen im Handbuch der Augenheilkunde von GRAEFE-SÄEMISCH*, 2. Aufl., Bd. 8, 1898. — GRANIT, R. u. T. JÄNTTI, S. LINDSTRÖM, P. PÄIWIÖ u. L. SALMENHARJU: Über eine Hemmung der Zapfenfunktion durch Stäbchenenergie beim Bewegungsnachbild. *Z. Psychol.* **58**, 95 (1927). — GROENOUW: Über die Sehschärfe der Netzhautperipherie und eine neue Untersuchungsmethode derselben. *Arch. Augenheilk.* **26**, 85 (1893). — GRÜTZNER, P.: Einige Versuche über stereoskopisches Sehen. *Pflügers Arch.* **90**, 525 (1902). — GULLERY, H.: (a) Über das Augenmaß der seitlichen Netzhautteile. *Z. Psychol.* **10**, 83 (1896). (b) Über die Empfindungskreise der Netzhaut. *Pflügers Arch.* **68**, 120 (1897).

HARTMANN, E.: (a) Le problème de l'effacement de la tâche aveugle dans le champ visuel. *Annales d'Ocul.* **164**, 329 (1927). (b) La localisation des images visuels et la

théorie des l'indice local de Bard. *Annales d'Ocul.* **164**, 412 (1927). — HASSELWANDER, A.: Beiträge zur Methodik der Röntgenographie. II. *Fortschr. Röntgenstr.* **24**, 345 (1916). — HECHT, H.: Neue Untersuchungen über die ZÖLLNERSCHEN anorthoskopischen Zerrbilder. Von F. SCHUMANN. I. Die simultane Erfassung der Figuren. *Z. Psychol.* **94**, 153 (1924). — HEILBRONNER, K.: Über die Mikropsie und verwandte Zustände. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* **27**, 414 (1904). — HEINE, L.: (a) Sehschärfe und Tiefenwahrnehmung. *Graefes Arch.* **51**, 146 (1900). (b) Über „Orthoskopie“ oder über die Abhängigkeit relativer Entfernungsschätzungen von der Vorstellung absoluter Entfernung. *Graefes Arch.* **51**, 563 (1900). (c) Demonstration des Zapfenmosaikens der menschlichen Fovea. *Ber. ophthalm. Ges. Heidelberg* **1901**, 265. (d) Über Orthostereoskopie. *Graefes Arch.* **53**, 306 (1901). (e) Die Unterscheidbarkeit rechts- und linksäugiger Wahrnehmungen und deren Bedeutung für das körperliche Sehen. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **39**, 615 (1901). (f) Zur Frage der Unterscheidbarkeit rechts- und linksäugiger Gesichtseindrücke. *Pflügers Arch.* **101**, 67 (1904). (g) Zur Frage der binokularen Tiefenwahrnehmung auf Grund von Doppelbildern. *Pflügers Arch.* **104**, 316 (1904). (h) Über Wahrnehmung und Vorstellung von Entfernungsunterschieden. *Graefes Arch.* **61**, 484 (1905). — HELMHOLTZ, H. v.: (a) *Handbuch der physiologischen Optik*, I. Aufl., 1856/1866; II. Aufl., 1885/1896; III. Aufl., 1909/1911, zitiert unter I., II., III. (b) Das Telestereoskop. *Poggendorffs Ann.* **102**, 167 (1857). (c) *Verh. naturwiss.-med. Ver. Heidelberg*, 3. Mai 1863. (d) Über die normalen Bewegungen des menschlichen Auges. *Graefes Arch.* **9** (II), 153 (1863). (e) Über den Horopter. *Graefes Arch.* **10** (I), 1 (1864). (f) Über die Bewegungen des menschlichen Auges. *Verh. naturwiss.-med. Ver. Heidelberg* **3**, 66 (1865). (g) Über den Horopter. *Verh. naturwiss.-med. Ver. Heidelberg* **3**, 122 (1865). — HENNING, H.: (a) Das PANUMSche Phänomen. *Z. Psychol.* **70**, 373 (1915). (b) HERINGs Theorie des Tiefensehens, das PANUMSche Phänomen und die Doppelfunktion. *Fortschr. Psychol.* **5**, 143 (1918). (c) Die besonderen Funktionen der roten Strahlen bei der scheinbaren Größe von Sonne und Mond am Horizont usw. *Z. Sinnesphysiol.* **50**, 275 (1919). — HERBERTZ, R.: Überblick über die Geschichte und den gegenwärtigen Stand des psychophysiologicalen Problems der Augenbewegungen. *Z. Psychol.* **46**, 123 (1908). — HERING, E.: (a) Beiträge zur Physiologie. 5 Hefte. Leipzig 1861—1864. (b) Die sog. Raddrehung des Auges in ihrer Bedeutung für das Sehen bei ruhendem Blick. *Reichert-Du Bois-Reymonds Arch. f. Physiol.* **1864**, 278. (c) Die Gesetze der binokularen Tiefenwahrnehmung. *Reichert-Du Bois-Reymonds Arch. f. Physiol.* **1865**, 82 u. 161. (d) Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges. *Hermanns Handbuch der Physiologie*, Bd. 3 (1), S. 343. 1879. (e) Über die Grenzen der Sehschärfe. *Ber. sächs. Ges. Wiss., Math.-physikal. Kl.* **51**, 16 (1899). (f) Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn. *Handbuch der gesamten Augenheilkunde v. GRAEFES-SAEMISCH*, 2. Aufl., Leipzig 1905—1920. — HESS, W. R.: Direkt wirkende Stereoskopbilder. *Z. Photogr.* **14**, 33 (1914). — HIGGINSON, G. L. D.: (a) Apparent visual movement and the Gestalt. *J. of exper. Psychol.* **9**, 228 (1926). (b) The visual apprehension of movement under successiv retinal excitation. *Amer. J. Psychol.* **37**, 63 (1926). (c) The place of ocular movement in stroboscopic perception. *Amer. J. Psychol.* **37**, 408 (1926). — HIGIER, H.: Experimentelle Prüfung der psychophysischen Methoden im Bereich des Raumsinnes der Netzhaut. *Wundts philos. Stud.* **7**, 232 (1892). — HILLEBRAND, F.: (a) Die Stabilität der Raumwerte auf der Netzhaut. *Z. Psychol.* **5**, 1 (1893). (b) Das Verhältnis von Akkommodation und Konvergenz zur Tiefenlokalisation. *Z. Psychol.* **7**, 97 (1894). (c) In Sachen der optischen Tiefenlokalisation. *Z. Psychol.* **16**, 71 (1898). (d) Theorie der scheinbaren Größe bei binokularem Sehen. *Denkschrift d. math.-naturwiss. Kl. Akad. Wien* **1903**, S. 72. (e) EWALD HERING. Ein Gedenkwort der Psychophysik. Berlin 1918. (f) Die Ruhe der Objekte bei Blickbewegungen. *Jb. Psychiatr.* **40**, 213 (1920). (g) Zur Theorie der stroboskopischen Bewegungen. *Z. Psychol.* **99**, 209 (1926); **104**, 129 (1927). — HILLEMANN, M.: Die funktionelle Asymmetrie der Augen, die Vorherrschaft eines derselben und die binokulare Richtungslokalisation. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **78**, 737; **79**, 17 (1927). — HOFFER, P.: Beitrag zur Lehre vom Augenmaß bei zweiäugigem und bei einäugigem Sehen. *Pflügers Arch.* **115**, 483 (1906). — HOFMANN, F. B.: (a) Die neueren Untersuchungen über das Sehen der Schielenden. *Erg. Physiol.* **1** (2), 801 (1902). (b) Einige Fragen der Augenmuskelninnervation. I. Die motorische Anpassung des Auges. *Erg. Physiol.* **2** (2), 799 (1903). (c) Untersuchungsmethoden für den Raumsinn des Auges. *TIGERSTEDTs Handbuch der physiologischen Methoden*, Bd. 3 (1), S. 177. 1914. (d) Die Lehre vom Raumsinn des Doppelauges. *Erg. Physiol.* **15**, 238 (1916). (e) Die Lehre vom Raumsinn des Auges. *Handbuch der gesamten Augenheilkunde von GRAEFES-SAEMISCH*, 2. Aufl. Berlin 1920—1925. (f) Zur Deutung des WEBERSchen Gesetzes beim Augenmaß. *Z. Biol.* **80**, 73 (1924). — HOFMANN, F. B. u. A. BIELSCHOWSKY: Über die der Willkür entzogenen Fusionsbewegungen der Augen. *Pflügers Arch.* **80**, 1 (1900). — HOLTZ, W.: (a) Über den unmittelbaren Größeneindruck in seiner Beziehung zur Entfernung und zum Kontrast. *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl.* **1893**, 159. (b) Über den unmittelbaren Größeneindruck bei künstlich erzeugten Augentäuschungen. *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl.* **1893**, 496. — HOROVITZ, K.: Größenwahrnehmung und Schraumrelief.

Pflügers Arch. 194, 629 (1922). — HYSLOP, J. H.: On WUNDT's theory of psychic synthesis in vision. Mind 13, 499 (1888).

ISSEL, E.: Messende Versuche über binokulare Entfernungswahrnehmung. Diss. Freiburg 1907.

JAENSCH, E. R.: (a) Zur Analyse der Gesichtswahrnehmungen. Z. Psychol. Erg.-Bd. 4 (1909). (b) Über die Wahrnehmung des Raumes. Z. Psychol. Erg.-Bd. 6 (1911). (c) Über die subjektiven Anschauungsbilder. Ber. 7. Kongr. exper. Psychol. Marburg 1921. (d) Über Raumverlagerung und die Beziehung von Raumwahrnehmung und Handeln. Z. Psychol. 89, 116 (1922). — JAENSCH, E. R. u. FREILING: Der Aufbau der räumlichen Wahrnehmungen. Z. Psychol. 91, 321 (1923). — JAENSCH, E. R., FREILING u. REICH: Das Kovariantenphänomen usw. Z. Sinnesphysiol. 55, 47 (1923). — JAENSCH, E. R. u. REICH: Über die Lokalisation im Sehraum. Z. Psychol. 58, 278 (1921). — JÄNTTI, T., P. PÄRWÖ, L. SALMENHARJU u. S. LINDSTRÖM: Bewirkt eine Reizung der Netzhautstäbchen eine Hemmung der Zapfentätigkeit? Duodecim (Helsingfors) 43, 116 (1927). — JAVAL, E.: Manuel théorique et pratique du strabisme. Paris 1896.

KAILA, E.: (a) Versuch einer empirischen Erklärung der Tiefenlokalisierung von Doppelbildern. Z. Psychol. 82, 129 (1919). (b) Eine neue Theorie des AUBERT-FÖRSTERSchen Phänomens. Z. Psychol. 86, 193 (1921). — KIESOW, F.: Über Metallglanz im stereoskopischen Sehen. Arch. f. Psychol. 43, 1 (1922). — KNOX, H. W.: On the quantitative determination of an optical illusion. Amer. J. Psychol. 6, 413 (1894). — KÖHLER, W.: (a) Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand. Braunschweig 1918. (b) Zur Theorie der stroboskopischen Bewegung. Psychol. Forsch. 3, 397 (1923). — KÖLLNER, H.: (a) Der blinde Fleck im binokularen Sehfeld. Arch. Augenheilk. 71, 306 (1912). (b) Das funktionelle Überwiegen der nasalen Netzhauthälften im gemeinsamen Sehfeld. Arch. Augenheilk. 76, 153 (1914). (c) Die Schichtungen. Arch. Augenheilk. 89, 67 (1920). (d) Die haptische Lokalisation der Schichtungen, sowie über die Schichtung von Doppelbildern. Arch. Augenheilk. 89, 121 (1920). (e) Über das Problem der Unterscheidbarkeit rechts- und linksäugiger Eindrücke. Sitzsber. physik.-med. Ges. Würzburg 1920. (f) Wie wir rechts- und linksäugige Eindrücke unterscheiden. Naturwiss. 1922, 512. (g) Über die Abhängigkeit der räumlichen Orientierung von den Augenbewegungen. Klin. Wschr. 2 (1), 482 (1923). (h) Scheinbewegungen beim Nystagmus und ihr diagnostischer Wert. Arch. Augenheilk. 93, 130 (1923). (i) Über die Lage scheinbar parallel nach der Tiefe verlaufender Linien und ihre Beziehung zu den Schichtungen. Pflügers Arch. 197, 518 (1924). — KÖNIG, A.: Die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität. Sitzsber. Berl. Akad. 1897, 559. — KOESTER, F.: Über Stäbchen- und Zapfensehschärfe. Zbl. Physiol. 9, 433 (1896). — KOFFKA, K.: (a) Beiträge zur Psychologie der Gestalt- und Bewegungserlebnisse. Einleitung. Z. Psychol. 67, 353 (1913). (b) Zur Grundlegung der Wahrnehmungspsychologie. Z. Psychol. 73, 11 (1915). (c) Zur Theorie einfachster gesehener Bewegungen. Z. Psychol. 82, 257 (1919). (d) Über den LNKESchen Kreisbogenversuch. Psychol. Forsch. 2, 148 (1922). (e) Zur Theorie der stroboskopischen Bewegung. Psychol. Forsch. 3, 397 (1923). — KORNMÜLLER, A. E.: Eine experimentelle Anästhesie der äußeren Augenmuskeln am Menschen und ihre Auswirkungen. J. Psychol. u. Neur. 41, 354 (1931). — KOSTER, W.: Zur Kenntnis der Mikropsie und Makropsie. Graefes Arch. 42 (III), 134 (1896). Nachtrag dazu. Graefes Arch. 45 (I), 90 (1898). — KREIKER, A.: Über das AUBERT-FÖRSTERSche Phänomen auf Grund experimenteller Untersuchung, nebst einigen Bemerkungen über die Eigenschaften des Gesichtsfeldes. Graefes Arch. 118, 292 (1927). — KRIES, J. v.: (a) Beiträge zur Lehre vom Augenmaß. Festschrift für H. v. HELMHOLTZ, 1891. S. 175. (b) Über das Binokularesehen exzentrischer Netzhautteile. Z. Psychol. 44, 165 (1909). (c) Zur Theorie der binokularen Instrumente. Handbuch der physiologischen Optik von v. HELMHOLTZ, 3. Aufl., Bd. 3, S. 534. 1910. — KRIES, J. v. u. AUERBACH: Die Zeitdauer einfachster psychischer Vorgänge. Du Bois-Reymonds Arch. f. Psychol. 1877, 344. KRÖNCKE, K.: Zur Phänomenologie der Kernfläche des Sehraumes. Z. Sinnesphysiol. 52, 217 (1921). — KUNDT, A.: Untersuchungen über das Augenmaß und optische Täuschungen. Ann. Physik 120, 118 (1863). — KURODA, G.: Right- and left-predominance in binocular vision. Proc. roy. Soc. Med. 20, Nr 10, sect. ophthalm., 57, 13. Mai 1927.

LANDOLT, M.: Chiasma et vision binoculaire. Arch. d'Ophtalm. 41, 193 (1924). — LANGLANDS, N. M. S.: Contributions to the theory of stereoscopic vision. Trans. opt. Soc. Lond. 28, 83 (1927). — LAU, E.: Neue Untersuchungen über das Tiefen- und Ebenensehen. Z. Sinnesphysiol. 53, 1 (1922). — LEHMANN, A.: Versuch einer Erklärung des Einflusses des Gesichtswinkels auf die Auffassung von Licht usw. Pflügers Arch. 36, 580 (1885). — LEIRI: Über visuelle Täuschung durch Augenbewegungen („Bewegungsnachbilder“). Finska Läk.sällsk. Hdl. 69, 409 (1927) (schwed.). Ref. Z. Ophthalm. 19, 311. — LENZ, G.: Zur Pathologie der zentralen Sehbahn usw. Graefes Arch. 72, 1 u. 197 (1909). — LEWIS, E. O.: The effect of practice on the perfection of the MÜLLER-LYER illusion. Brit. J. med. Psychol. 2, 294 (1908). — LIEBERMANN, P. v.: Beitrag zur Lehre von der binokularen Tiefenlokalisierung. Z. Sinnesphysiol. 44, 428 (1910). — LINDROOS, A., C. v. NUMERS u. ST. STENTUS:

Über die hemmende Wirkung der Stäbchenerrregung auf die Funktion der Zapfen. *Finska Läk.sällsk. Hdl.* **69**, 419 (1927). Ref. *Zbl. Ophthalm.* **19**, 299 (1927). — LINKE, P.: (a) Die stroboskopischen Täuschungen und das Problem des Sehens von Bewegungen. *Wundts philos. Stud.* **3**, 393 (1908). (b) Meine Theorie der stroboskopischen Täuschungen und KARL MARBE. *Z. Psychol.* **47**, 203 (1908). (c) Grundfragen der Wahrnehmungslehre. München 1918. — LINKSZ, A.: Über Stereoskopie bei seitlicher Neigung des Kopfes. *Pflügers Arch.* **205**, 669 (1924). — LIPPS, TH.: Über eine falsche Nachbildlokalisation. *Z. Psychol.* **1**, 60 (1890). — LITINSKY, G.: Die funktionelle Asymmetrie der Augen. *Russk. oftalm. Ž.* **9**, 450 (1929). Ref. *Zbl. Ophthalm.* **21**, 809. — LOHMANN, W.: Zur experimentellen Zerfallbarkeit des binokularen Seheindrucks. *Arch. Augenheilk.* **85**, 95 (1919).

MACH, E.: (a) Über die physiologische Wirkung räumlich verteilter Lichtreize. *Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. II*, **54**, 393 (1866). (b) Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen, 2. Aufl. S. 94. Jena 1900. — MARTIUS, G.: Über die scheinbare Größe der Gegenstände und ihre Beziehungen zur Größe der Netzhautbilder. *Wundts philos. Stud.* **5**, 601 (1889). — MARX, E.: Untersuchungen über Fixation unter verschiedenen Bedingungen. *Z. Sinnesphysiol.* **47**, 79 (1913). — MARX, E. u. W. TRENDELENBURG: Über die Genauigkeit der Einstellung des Auges beim Fixieren. *Z. Sinnesphysiol.* **45**, 87 (1911). — MERKEL, J.: Die Methode der mittleren Fehler, experimentell begründet durch Versuche aus dem Gebiet des Raummaßes. *Wundts philos. Stud.* **9**, 53, 176 u. 400 (1893/94). — MEYER, H.: Über einige Täuschungen in der Entfernung und Größe der Gesichtsobjekte. *Arch. f. physiol. Heilk.* **1**, 316 (1842). Siehe auch Graefes *Arch.* **2** (II), 77 (1856). — MILES, WALTER R.: Ocular dominance in human adults. *J. gen. Psychol.* **3**, 412 (1930). — MILUTIN, E.: Untersuchungen über das Gesetz der identischen Sehrichtungen. *Z. Biol.* **60**, 41 (1913). — MNKOWSKI: Über den Verlauf, die Endigung und die zentrale Repräsentation von gekreuzten und ungekreuzten Schnervenfasern bei einigen Säugetieren und beim Menschen. *Schweiz. Arch. Neur.* **6**, 201 u. **7**, 268 (1920). — MOLL, F. D. A. C. VAN: (a) Über die normale Inkongruenz der Netzhäute. *Unters. physiol. Labor. Utrecht*, **3**, Reihe, **3**, 39 (1875). (b) Ober ofzweigheid van rollbewegingen bij zijdelingsche blickrichtung. *Festbundel F. C. DONDEERS Jubil.* Amsterdam 1888. — MORREY, C. B.: Die Präzision der Blickbewegung und der Lokalisation an der Netzhautperipherie. *Z. Psychol.* **20**, 317 (1899). — MOUSSARD, E.: Appareil d'optique au moyen duquel on voit en relief et dans leur sens normal les objets moulés ou gravés en creux. *C. r. Acad. Sci. Paris* **114**, 182 (1897). — MULDER, M. E.: (a) Über parallele Rollbewegungen der Augen. *Graefes Arch.* **21** (I), 68 (1875). Siehe auch: De la rotation compensatoire de l'oeil en cas d'inclination a droite ou a gauche de la tête. *Arch. d'Optalm.* **27**, 465 (1897). (b) Ons ordeel over vertical, bij neiging van het hoofd naar rechts of links. *Festbundel F. C. DONDEERS Jubil.* Amsterdam 1888. Siehe auch: Unser Urteil über Vertical bei Neigung des Kopfes nach rechts oder links. Groningen 1898. — MÜLLER, A.: Die Referenzflächen des Himmels und der Gestirne. *Die Wissenschaften*, Bd. 62. Braunschweig 1918. Siehe auch: *Physik. Z.* **21**, 497 (1920); *Arch. f. Psychol.* **41**, 47 (1921). — MÜLLER, G. E.: (a) Über das AUBERTSCHE Phänomen. *Z. Sinnesphysiol.* **49**, 109 (1916). (b) Komplextheorie und Gestalttheorie. Göttingen 1923. — MÜLLER, H. K.: Die Beobachtung von Tiefeneffekten bei binokularen Bewegungsnachbildern. *Z. Sinnesphysiol.* **59**, 157 (1928). — MÜLLER, J.: Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. Leipzig 1826. — MÜLLER-LYER, F. C.: (a) Optische Urteilstäuschungen. *Du Bois-Reymonds Arch. f. Physiol.* **1889**, Suppl., 263. (b) Zur Lehre von den optischen Täuschungen über Kontrast und Konfluxion. *Z. Psychol.* **9**, 1 (1896); **10**, 421 (1896). — MÜNSTERBERG, H.: „Augenmaß“. *Beitr. exper. Psychol.* **H. 2**. Freiburg 1889.

NAGEL, A.: Das Sehen mit zwei Augen. Heidelberg 1861. — NAGEL, W. A.: (a) Über kompensatorische Raddrehungen der Augen. *Z. Psychol.* **12**, 346 (1896). (b) Über das AUBERTSCHE Phänomen und verwandte Täuschungen über die vertikale Richtung. *Z. Psychol.* **16**, 373 (1898). (c) Stereoskopie und Tiefenwahrnehmung im Dämmerungssehen. *Z. Psychol.* **27**, 264 (1901). — NUSSBAUM, F.: Über die Raumwerte in der Umgebung des blinden Fleckes. *Arch. Augenheilk.* **87**, 142 (1921).

OEHRWALL, H.: Über einige visuelle Bewegungstäuschungen. I. CHARFENTIER'S Täuschung, II. EXNERS Punktschwanken. *Skand. Arch. Physiol.* **27**, 33 u. 50 (1912). — OPPEL, J. J.: (a) Über die Entstehung des Glanzes bei zweifarbigem, insbesondere bei schwarzen und weißen stereoskopischen Bildern. *Jber. phys. Verslg Frankfurt a. M.* **1853**, 52; **1854/55**, 33; **1856/57**, 56. Siehe auch Poggendorffs *Ann.* **100**, 462 (1857). (b) Über geometrisch-optische Täuschungen. *Jber. phys. Verslg Frankfurt a. M.* **1854/55**, 37.

PANUM, P. L.: (a) Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen. Kiel 1858. (b) Über die einheitliche Verschmelzung verschiedenartiger Netzhautindrücke beim Sehen mit zwei Augen. Reicherts und Du Bois' *Arch. f. Physiol.* **1861**, 63. — PASCAL, J. L.: The chromatic test for the dominant eye. *Amer. J. Ophthalm.* **9**, 357 (1926). — PETER, R.: Untersuchungen über die Beziehungen zwischen primären und sekundären Faktoren der

Tiefenwahrnehmung. Arch. ges. Psychol. **34**, 515 (1915). — PETERMANN, B.: Über die Bedeutung der Auffassungsbedingungen für die Tiefen- und Raumwahrnehmung. Arch. ges. Psychol. **46**, 351 (1924). — PFALZ, G.: Ein verbesserter Stereokoptometer zur Prüfung des Tiefenschätzungsvermögens. Klin. Mbl. Augenheilk. **45**, 85 (1907). — PFEIFER, R. A.: (a) Über Tiefenlokalisierung von Doppelbildern. Wundts philos. Stud. **2**, 129 (1908). (b) In Sachen der optischen Lokalisation von Doppelbildern. Wundts philos. Stud. **3**, 299 (1908). (c) Myelogenetisch-anatomische Untersuchungen über den zentralen Abschnitt der Sehbahn. Berlin 1925. — PFISTER: Zur Kenntnis der Mikropsie und der degenerativen Zustände des Zentralnervensystems. Neur. Zbl. **1904**, 242. — PICKLER, J.: Sinnesphysiologische Untersuchungen. Leipzig 1917. — PIPER, H.: (a) Über Dunkeladaptation. Z. Sinnesphysiol. **31**, 161 (1903). (b) Über das Helligkeitsverhältnis monokular und binokular ausgelöster Lichtempfindungen. Z. Sinnesphysiol. **32**, 161 (1903). — POPPELREUTER, W.: (a) Über die Bedeutung der scheinbaren Größe und Gestalt für die Gesichtsraumwahrnehmung. Z. Psychol. **54**, 311 (1909). Siehe auch: JAENSCH u. POPPELREUTER, Z. Psychol. Erg.-Bd. **6**, 99 (1911). (b) Beiträge zur Raumpychologie. Z. Psychol. **58**, 200 (1911). — PRANDTL: Eine Nachbilderscheinung. Z. Psychol. **42**, 175 (1906). — PULFRICH, C.: (a) Über eine Prüfungstafel für stereoskopisches Sehen. Z. Instrumentenkd. **21**, 249 (1901). (b) Über neuere Anwendungen der Stereoskopie und über einen hierfür bestimmten Stereokomparator. Z. Instrumentenkd. **22**, 33; **65**, 133; **178**, 229 (1912). (c) Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie. Naturwiss. **10**, 553 (1922). — PURKINJE, J.: (a) Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne. I. Beiträge zur Kenntnis des Sehens in subjektiver Hinsicht, 2. Aufl. Prag 1823. (b) Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne. II. Neue Beiträge zur Kenntnis des Sehens in subjektiver Hinsicht. Berlin 1826.

RAEHLMANN, E. u. L. WITKOWSKI: Über atypische Augenbewegungen. Du Bois-Reymonds Arch. f. Physiol. **1877**, 454. — RAMON Y CAJAL: (a) Die Struktur des Chiasma opticum. Deutsch von BRESLER. Leipzig 1900. (b) Studien über die Hirnrinde des Menschen. I. Die Sehrinde. Deutsch von BRESLER. Leipzig 1900. — RECKLINGHAUSEN, F. v.: Netzhautfunktionen. Graefes Arch. **5** (II), 133 (1859). — REIMANN, E.: Die scheinbare Vergrößerung der Sonne und des Mondes am Horizont. Z. Psychol. **30**, 161 (1902); **37**, 250 (1905). — REIMAR: Über parallaktische und perspektivische Verschiebung zur Erkennung von Niveaudifferenzen bzw. das monokulare körperliche Sehen im Auge. Arch. Augenheilk. **41**, 163 (1900). — ROCHON-DUVIGNEAUD: La situation des foveae simples et doubles dans la rétine des oiseaux et le probleme de leur relation fonctionelle. Annales d'Ocul. **157**, 673 (1920). — ROELOFS, O.: Über die Lokalisation mittels des Gesichtssinnes. Graefes Arch. **113**, 239 (1924). — ROELOFS, R. u. DE FAVAUGE-BRUYEL: Über das Zentrum der Sehrichtungen. Arch. Augenheilk. **95**, 111 (1924). — ROHR, M. v.: (a) Das Sehen. WINKELMANN'S Handbuch der Physik, 2. Aufl., Bd. **6**, S. 270. 1906. (b) Die binokularen Instrumente. Berlin 1907. (c) Abhandlungen zur Geschichte des Stereoskopes. Ostwalds Klassiker, Nr. 168. Leipzig 1908. — ROLLMANN, W.: Zwei neue stereoskopische Methoden. Poggendorffs Ann. **90**, 186 (1853); **134**, 615 (1868). — ROOD, O. N.: Upon some experiments connected with DOVE'S theory of lustre. Amer. J. med. Sci. **31**, 339 (1861). — ROTHSCHILD, H.: Untersuchungen über die sog. ZÖLLNER'Schen anorthoskopischen Zerrbilder. Z. Psychol. **90**, 134 (1920). — RUPPERT, L.: Ein Vergleich zwischen dem Distinktionsvermögen und der Bewegungsempfindlichkeit der Netzhautperipherie. Z. Sinnesphysiol. **42**, 409 (1908).

SACHS, M.: (a) Zur Erklärung der Mikropsie (nebst Bemerkungen über die geschätzte Größe gesehener Gegenstände). Graefes Arch. **44** (I), 87 (1897). (b) Weitere Bemerkungen zur Mikropsiefrage. Graefes Arch. **46** (III), 621 (1898). (c) Zur Frage der Lokalisation bei beschränkter Beweglichkeit und anomaler Stellung der Augen. Zbl. Physiol. **18**, 161 (1904). — SACHS, M. u. J. MELLER: (a) Über die optische Orientierung bei Neigung des Kopfes gegen die Schulter. Graefes Arch. **52**, 387 (1901). (b) Über einige eigentümliche Lokalisationsphänomene in einem Fall von hochgradiger Netzhautinkongruenz. Graefes Arch. **57**, 1 (1903). (c) Untersuchungen über die optische und haptische Lokalisation bei Neigungen um eine sagittale Achse. Z. Psychol. **31**, 89 (1903). — SACHS, M. u. R. WLAŚAK: Die optische Lokalisation der Medianebene. Z. Psychol. **22**, 23 (1900). — SCHILDER, P.: Über autokinetische Empfindungen. Pflügers Arch. **25**, 36 (1912). — SCHLODTMANN, W.: (a) Studien über anomale Sehrichtungsgemeinschaft bei Schielenden. Graefes Arch. **51**, 256 (1900). (b) Ein Beitrag zur Frage der optischen Lokalisation bei Blindgeborenen. Graefes Arch. **54**, 256 (1902). — SCHÖN, W.: Zur Lehre vom binokularen Sehen. Graefes Arch. **22** (IV), **31** (1876); **24** (I) **27** u. (IV) **47** (1878). — SCHOLZ, W.: Experimentelle Untersuchungen über die phänomenale Größe von Raumstrecken, die durch Sukzessivdarbietung zweier Reize begrenzt werden. Psychol. Forschg **5**, 219 (1924). — SCHRIEVER, W.: Experimentelle Studien über stereoskopisches Sehen. Z. Psychol. **96**, 113 (1924). — SCHROEDER, H.: Über eine optische Inversion bei Betrachtung verkehrter, durch optische Vorrichtung entworfener physischer Bilder. Poggendorffs Ann. **105**, 298 (1858). —

SCHUMANN, F.: (a) Beiträge zur Analyse der Gesichtswahrnehmungen. *Z. Psychol.* **23**, 1; **24**, 1; **30**, 241 u. 321; **36**, 161. (b) Die Dimensionen des Sehraumes. *Z. Psychol.* **86**, 253 (1922). — SCHWARZ, O.: Bemerkungen über die von LIPPS und CORNELIUS besprochene Nachbilderscheinung. *Z. Psychol.* **3**, 398 (1892). — SHERRINGTON, C. S.: (a) On binocular flicker and the correlation of activity of „corresponding“ retinal points. *Brit. J. med. Psychol.* **1**, 26 (1904). (b) The integrative action of the nervous system. London 1911. — SIMCHOWITZ, H.: Über die ZÖLLNERSCHEN anorthoskopischen Zerrbilder. *Arch. ges. Psychol.* **56**, 1 (1926). — SITTIG, O.: Zur Kasuistik der Dymegalopsie. *Mschr. Psychiatr.* **33**, 361 (1913). — SNELLEN, H.: Notes on vision and retinal perception. *Ophthalm. Rev.* **1896**, 176. — SOULD: Right-eyedness and left-eyedness. *Science (N.Y.)* **19**, 591 (1904). — STERN, L. W.: Die Wahrnehmung von Bewegungen vermittelt des Auges. *Z. Psychol.* **7**, 321 (1894). — STERNECK, R. v.: Der Sehraum auf Grund der Erfahrung. Leipzig 1907. — STEVENS, G.: (a) Die Richtungen der scheinbar vertikalen und horizontalen Netzhautmeridiane und ihre physiologischen und pathologischen Verschiedenheiten, nebst einer Beschreibung des Klinokopes. Deutsch von ABELSDORFF. *Arch. Augenheilk.* **37**, 275 (1898). (b) Some new methods of examination of the position of the vertical meridians of the retina. *Ophthalm. Rev.* **7**, 220 (1898). — STEWART, C. C.: ZÖLLNERS ANORTHOSKOPISCHE ILLUSION. *Amer. J. Psychol.* **11**, 340 (1900). — STRATTON, G. M.: A mirror pseudoscope and the limit of visible depth. *Psychol. Rev.* **5**, 632 (1898). — STREIFF, J.: Bemerkungen zu GEZA V. VAIDAS „Beiträgen zur Physiologie des Körperlichsehens“. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **75**, 620 (1925). — SUNDBERG, C. G.: Über die Blickbewegung und die Bedeutung des indirekten Sehens für das Blicken. *Skand. Arch. Physiol.* **35**, 1 (1917). — SZILY, A. v.: (a) Bewegungsnachbild und Bewegungskontrast. *Z. Psychol.* **38**, 81 (1905). (b) Zum Studium des Bewegungsnachbildes. *Z. Psychol.* **42**, 109 (1907).

TOMLINSON, J. H.: A further note on the comparative brightness-values of the two eyes and the single eye. *Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd.* **46**, 203 (1926). — TRENDELENBURG, W.: (a) Stereoskopische Raummessung an Röntgenaufnahmen. Berlin 1917. (b) Weitere Versuche über binokulare Mischung von Spektralfarben. *Pflügers Arch.* **201**, 235 (1923). TRENDELENBURG, W. u. K. DRESCHER: Über die Grenzen der beidäugigen Tiefenwahrnehmung und Doppelbilderwahrnehmung. *Z. Biol.* **84**, 427 (1926). — TSCHERMAK, A. v.: (a) Über anomale Scherichtungsgemeinschaft der Netzhäute bei einem Schielenden. *Graefes Arch.* **47** (III), 508 (1899). Vgl. das Autorreferat: *Zbl. prakt. Augenheilk.* **1899** sowie die Besprechung. *Zbl. prakt. Augenheilk.* **1900**, 209. (b) Beitrag zur Lehre vom Längshoropter. (Über die Tiefenlokalisierung bei Dauer- und bei Momentanreizen. Nach Beobachtungen von Dr. KIRIBUCHI-Tokio.) *Pflügers Arch.* **81**, 328 (1900). (c) Über einige neuere Methoden zur Untersuchung des Sehens Schielender. *Zbl. pr. Augenheilk.*, Nov./Dez. **1902**. (d) Über Kontrast und Irradiation. *Erg. Physiol.* **2** (2), 726 (1903). (e) Über die Grundlagen der optischen Lokalisation nach Höhe und Breite. *Erg. Physiol.* **4**, 517 (1905). (f) Über Simultankontrast auf verschiedenen Sinnesgebieten (Auge, Bewegungssinn, Geschmacksinn, Tastsinn und Temperatursinn). *Pflügers Arch.* **122**, 98 (1908). (g) Studien über das Binokularsehen der Wirbeltiere. *Pflügers Arch.* **91**, 1 (1902). Siehe auch: Das Sehen der Fische. *Naturwiss.* **1915**, 14. (h) Über Farbenstereoskopie. *Pflügers Arch.* **204**, 177 (1924). (i) Über Merkllichkeit und Unmerklichkeit des blinden Fleckes. *Erg. Physiol.* **24**, 330 (1925). (k) Binokularsehen und Sehnervenkreuzung. *Z. Augenheilk.* **61**, 205 (1927). (l) Optischer Raumsinn. *Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie*, Bd. 12 II, S. 834. 1930. — TSCHERMAK, A. v. u. P. HÖFER: Über binokulare Tiefenwahrnehmung auf Grund von Doppelbildern. *Pflügers Arch.* **98**, 299 (1903).

UHTHOFF, W.: Die Augenveränderungen bei Erkrankungen des Gehirns. *Handbuch der gesamten Augenheilkunde von GRAEFE-SÄEMISCH*, 2. Aufl., Bd. 11, Abt. 2 B. Berlin 1915. — URBANTSCHITSCH, V.: Über Störungen des Gleichgewichtes und Scheinbewegungen. *Z. Ohrenheilk.* **21**, 234 (1897).

VAIDA, G. v.: (a) Beiträge zur Physiologie des Körperlichsehens. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **75**, 612 (1925). (b) Bemerkungen zur „binokularen Verflauung von Bildern“. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **77**, 336 (1927). — VALENTINE, C. W.: Psychological theory of the horizontal-vertical illusion. *Brit. J. Psychol.* **5**, 21 u. 308 (1912). — VELINSKY, ST.: Explication physiologique de l'illusion de Poggendorff. *Ann. psychol.* **26**, 107 (1926). — VERAGUTH, O.: Die Verlegung diascleral in das menschliche Auge einfallender Lichtreize in den Raum. *Z. Psychol.* **42**, 162 (1906). — VICHOLKOWSKA, A.: Illusions of reversible perspective. *Psychologic. Rev.* **13**, 276 (1906). — VIERORDT, K.: (a) Zeitsinn. Tübingen 1868. (b) Die Bewegungsempfindung. *Z. Biol.* **12**, 226 (1876). — VOLKMANN, A. W.: (a) Über die Empfindung, die entsteht, wenn verschiedenfarbige Lichtstrahlen auf identische Netzhautstellen fallen. *Arch. f. Anat.* **1838**, 373. (b) Über einige Gesichtssphänomene, welche mit dem Vorhandensein eines unempfindlichen Fleckes im Auge zusammenhängen. *Ber. sächs. Ges. Wiss.* **1853**, 27. (c) Mitteilung über identische Netzhautstellen. *Mber. Berl. Akad.* **1863**, 394. (d) Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik, H. 1. Leipzig 1863. (e) Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik, H. 2. Leipzig 1864. — vom Hofe, K.:

(a) Über die absolute Lokalisation bei willkürlichen Augenbewegungen. Arch. Augenheilk. **96**, 85 (1925). (b) Augenbewegungen und Lokalisation im Sehraume. Klin. Mbl. Augenheilk. **77**, 410 (1926). (c) Beitrag zur Frage der eidetischen Anlage. Graefes Arch. **117**, 40 (1926).

WAECHTER, F.: Über die Grenzen des telestereoskopischen Sehens. Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. **105**, 856 (1896). — WEBER, E. H.: Über den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge. Verh. sächs. Ges. Wiss., Math.-naturwiss. Kl. **1**, 85 (1852). — WEINBERG, E.: Über individuelle Verschiedenheiten im Verlaufe der Sehrichtungen und ihre Feststellung. Pflügers Arch. **198**, 421 (1923). — WEINHOLD, M.: Zur Erklärung der paradoxen parallaktischen Verschiebung der Stereographenbilder. Graefes Arch. **58**, 202 (1904); **63**, 460 (1906). — WEISS, O.: Das Verhalten der Akkommodation beim stereoskopischen Sehen. Pflügers Arch. **88**, 79 (1901). — WENZEL, E. L.: Die sukzessive Erfassung der Figuren. Z. Psychol. **100**, 298 (1926). — WERNER, H.: Studien über Strukturgesetze. VI. H. WERNER u. H. CREUZER: Über einen Fall von „Schichtspaltung“ beim Bewegungssehen. Z. Psychol. **102**, 333 (1927). — WERTHEIM, TH.: Über die indirekte Sehschärfe. Z. Psychol. **7**, 177 (1894). — WERTHEIMER, M.: (a) Untersuchungen über das Sehen von Bewegungen. Z. Psychol. **61**, 161 (1912). (b) Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. I. Psychol. Forsch. **1**, 47 (1921); **4**, 301 (1923). (c) Bemerkungen zu HILLEBRANDS Theorie der stroboskopischen Bewegungen. Psychol. Forsch. **3**, 106 (1923). — WESSELY, K.: (a) Zur Unterscheidung rechts- und linksäugiger Eindrücke. Verh. 85. Verslg dtsh. Naturforsch. Wien **1914 II**, 687. Siehe auch Klin. Mbl. Augenheilk. **1913**, 596. (b) Physiologische falsche Lokalisation. Sitzgsber. physik.-med. Ges. Würzburg **1914**. — WHEATSTONE, C.: Beiträge zur Physiologie der Gesichtswahrnehmungen. I. Über einige bemerkenswerte und bisher nicht beobachtete Erscheinungen beim beidäugigen Sehen. Philos. Trans. **2**, 371 (1838). — WITASEK, ST.: (a) Beiträge zur Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane. Z. Psychol. **14**, 401 (1897). (b) Über die Natur der geometrisch-optischen Täuschungen. Z. Psychol. **19**, 81 (1899). (c) Psychologie der Raumwahrnehmung des Auges. Heidelberg 1910. (2. Bd. d. „Psychologie in Einzeldarstellungen“, herausgeg. von EBBINGHAUS u. MUSMANN.) — WITTE, H.: Über den Sehraum. Physik. Z. **19**, 142 u. **20**, 61, 114, 126, 338, 389, 439, 470 (1919). — WITTICH, v.: Studien über den blinden Fleck. Graefes Arch. **9** (III), 1 (1863). — WOO, T. L. and K. PEARSON: Dextrality and sinistrality of hand and eye. Biometrika (Lond.) **19**, 165 (1929). Ref. Zbl. Ophthal. **19**, 398. — WÜLFING: Über den kleinsten Gesichtswinkel. Z. Biol. **11**, 199 (1893). — WUNDT, W.: (a) Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung. III. Über den Einfluß der Akkommodation auf die räumliche Tiefenwahrnehmung. Z. ration. Med., 3. Reihe, **7**, 279 (1859). (b) Über die Entstehung des Glanzes. Poggendorffs Ann. **116**, 627 (1862). (c) Die Projektionsmethode und die geometrisch-optischen Täuschungen. Psychol. Stud. **2**, 493 (1907). (d) Grundzüge der physiologischen Psychologie, 6. Aufl. Leipzig 1908/11.

ZEMAN, K.: Verbreitung und Grad der eidetischen Anlage. Z. Psychol. **46**, 208 (1924). — ZÖLLNER, F.: (a) Über eine neue Art Pseudoskopie. Poggendorffs Ann. **110**, 500 (1860). (b) Über die Abhängigkeit pseudoskopischer Ablenkung paralleler Linien von dem Neigungswinkel der sie schneidenden Querlinien. Poggendorffs Ann. **114**, 587 (1861). (c) Über eine neue Art anorthoskopischer Zerrbilder. Poggendorffs Ann. **117**, 477 (1862). — ZORN, O.: (a) Über den Einfluß der Blickrichtung auf die scheinbare Größe der Gestirne und die scheinbare Form des Himmelsgewölbes. Pflügers Arch. **78**, 363 (1899). (b) Bemerkungen zu einer alten „Erklärung“ und zu zwei neuen Arbeiten, betreffend die scheinbare Größe der Gestirne und die Form des Himmelsgewölbes. Pflügers Arch. **88**, 201 (1901). (c) Alte und neue Anschauungen über die Energieumwandlung in der Netzhaut. Erg. Physiol. **22**, 245 (1923). — ZYKULENKO, K.: (a) Über die Punkt-wahrnehmung. Russk. oftalm. Ž. **5**, 149 (1926). Ref. Zbl. Ophthalm. **17**, 500. (b) Über Bewegungswahrnehmung. Russk. oftalm. Ž. **5**, 325 (1926). Ref. Zbl. Ophthalm. **18**, 507.

# Die Refraktion und die Akkommodation mit ihren Störungen.

Von

H. ERGGELET-Jena.

Mit 202 Abbildungen.

## I. Zur geometrischen Optik.

Im folgenden sollen die geometrisch-optischen Grundlagen so weit behandelt werden, als sie in den Rahmen des kurzen Handbuches passen und für den Augenarzt nötig sind, und zwar wird sich die Darstellung hauptsächlich auf den GAUSSISCHEN Raum beschränken. Damit wird, um es sogleich deutlich hervorzuheben, ein, übrigens nicht einmal zu verwirklichender, Einzelfall in den Vordergrund gerückt, ein Vorgehen, das in den Lehrbüchern die Regel ist und dazu geführt hat, Abweichungen von diesem als begehrenswertes Ziel betrachteten Strahlenverlauf *Abbildungsfehler* zu nennen.

A. GULLSTRAND (ff) hat vor nicht gar langer Zeit die Unrichtigkeit dieser Lehrweise gegeißelt. Jetzt, wo seine ganz allgemeine Lehre von der optischen Abbildung auf Grund des Studiums der Wellenflächen seit Jahrzehnten veröffentlicht ist, wäre es folgerichtig, vom Allgemeinen zum Besonderen zu gehen und die GAUSSISCHEN Bedingungen als letzte einer Reihe von immer weitgreifenden Einschränkungen der Bedingungen zu behandeln. Wenn das gerügte Vorgehen gleichwohl heute noch geübt wird, so liegt das daran, daß das Verständnis für die allgemeine Lehre so viel mathematische Kenntnisse erfordert, wie sie eben nur bei besonders geschulten Fachleuten vorauszusetzen sind. Um diese Klippe auch im Unterricht auf der niedrigsten Stufe zu vermeiden, geht W. VOLKMANN vom bisher üblichen Weg der Darstellung ab und baut seine für die Schule bestimmte optische Versuchsreihe so auf, daß nach der Vorführung einiger Linsenleistungen die Abbildungsgesetze entlang der Achse „im GAUSSISCHEN RAUM“ unter besonders deutlicher Hervorhebung der über die Grenzen der Wirklichkeit hinausgehenden Einschränkungen abgeleitet werden. Auf diese Versuche sei für den Anschauungsunterricht besonders hingewiesen.

Trotz jenem Einwand gegen den Weg vom einzelnen zum allgemeinen Fall werden wir auch im folgenden aus leicht verständlichen Gründen von den vereinfachten Vorstellungen ausgehen. Nur solche sind unseren Lesern zugänglich, die in physikalisch-optischer Hinsicht nicht weiter als zur Ablegung der ärztlichen Vorprüfung geschult sind, und wir werden uns auf das Allereinfachste beschränken. Für weitergehende Wünsche steht heute, abgesehen von den ursprünglichen Werken A. GULLSTRANDS (a—gg) eine Reihe vorzüglicher Schriften zur Verfügung: A. BERLINER, H. BOEGEHOLD (a, c, d), A. BRÜCKNER, S. CZAPSKI und O. EPPENSTEIN (1924), F. C. DONDEERS, J. FÖRSTERLING, A. GLEICHEN (a), H. HARTINGER (b), C. HESS, J. B. LISTING, W. MERTÉ, M. VON ROHR (a, b, d, f, i, k, l, p, q, r, s, u), M. SUNDQUIST (a u. b).

Schon mit dieser Namenreihe erweist sich die technische Optik auch als Hauptpflegestätte der wissenschaftlichen Forschung. Ihre großen Erfolge

im Bau optischer Geräte hat sie nicht zum mindesten dieser Vorarbeit zu danken. Es sei nur an die Vervollkommnung erinnert, die J. FRAUNHOFER dem Fernrohr, J. PETZVAL der Bildnislinse und E. ABBE dem Mikroskop zuteil werden ließen. Das sind Erfolge, die eben auf dem angeedeuteten, von GULLSTRAND verlassenen Weg errungen worden sind, Erfolge, die GULLSTRAND voll anerkannt hat.

### A. Die Spiegelung.

Das Licht ist eine Wellenbewegung. Wenn wir das Flächenlot auf einer Wellenfläche Lichtstrahl nennen, so müssen wir uns klar sein, daß es sich dabei um einen rein geometrischen Begriff handelt, wir nur eine Bewegungsrichtung des Lichtes damit meinen und es einen sich mit ihm deckenden physikalischen Vorgang, einen Einzelstrahl von Licht, gar nicht gibt. Daß sich gleichwohl in der Arbeit

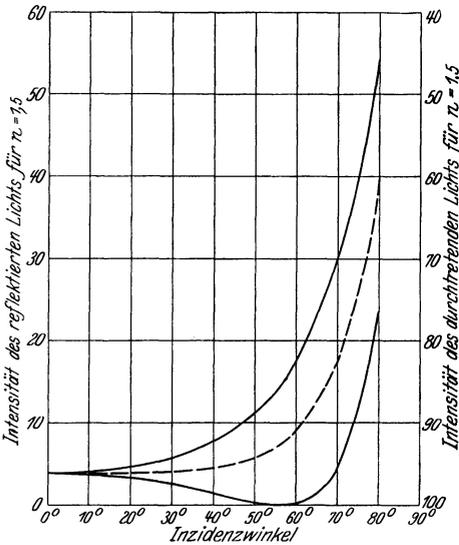


Abb. 1. Reflexion und Polarisation. An einer glatten Fläche, die zwei Mittel von verschiedenem Brechungsindex voneinander trennt, wird ein Teil des auffallenden Lichtes zurückgeworfen. Die Stärke des zurückgeworfenen Anteils hängt u. a. ab vom Einfallswinkel. Im Bild gibt die Ordinate die Stärke des zurückgeworfenen Lichtes an (gestrichelte Linie), die Abszisse den Einfallswinkel. Die obere (untere) ausgezogene Linie zeigt die Stärke des in der Einfallsebene (senkrecht hierzu) polarisierten Anteils des natürlichen Lichtes an. (Nach M. VON ROHR.)

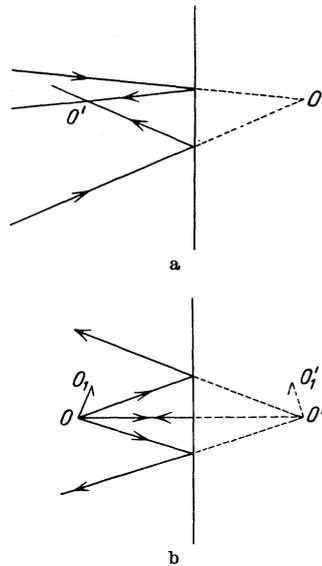


Abb. 2. Die Spiegelung an einer ebenen Fläche. a Abbildung eines Punktes (O), b einer Linie (Dingoberfläche) (O'O').

mit diesem Begriff eine ansehnliche Höhe der Optik hat erreichen lassen, wird man nicht bestreiten können.

Ein regelmäßig zurückgeworfener, gespiegelter Lichtstrahl bleibt in der Einfallsebene, und der Einfallswinkel, der Winkel mit dem Flächenlot, ist gleich dem Ausfallswinkel. Je nach der Größe dieses Winkels ist der Grad der dabei dem natürlichen Licht verliehenen Polarisation verschieden (siehe Abb. 1 v. ROHR [b], S. 530). Die Menge des zurückgeworfenen Lichtes hängt von der Oberflächenbeschaffenheit und dem Brechungsindexunterschied der in ihr aneinandergrenzenden Mittel ab. Bei senkrechtem Einfall auf eine gut bearbeitete optische Fläche beträgt der zurückgeworfene Anteil  $\left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$  nach FRESNELS Gesetz. Für die Hornhautvorderfläche sind es etwa 2,5%,

für die Linsenvorderfläche im Auge 0,034%, für Glasflächen ( $n = 1,52$ ) gegen Luft 4,26%; der gebrochene Anteil beträgt  $\frac{4n}{(n+1)^2}$  der auffallenden Lichtstärke.

An einer ebenen Spiegelfläche wird wegen der Gleichheit der Winkel zum Unterschied von der Brechung ein Dingpunkt streng als Punkt, eine Dingoberfläche gleichgeformt abgebildet (s. Abb. 2). Handelt es sich um ein schnittflüchtiges (divergentes) Strahlenbündel wie bei wirklichen Gegenständen, so ist das Bild natürlich nicht auffangbar, es ist virtuell. Schnittstrebige (konvergente) Bündel, die einen nichtwirklichen (virtuellen) Dingpunkt bestimmen, gelangen nach der Spiegelung zum Schnitt und lassen (Abb. 2a) ein wirkliches (reelles) Bild entstehen.

Über die Abbildung an gekrümmten Flächen, insbesondere Kugelspiegeln, gibt die auf S. 469 für die Brechung abgeleitete Formel  $B = A + D$  Auskunft, wenn der Brechungsindex nach der Spiegelung negativ gerechnet wird. So wirken Hohlspiegel wie Sammellinsen und erhabene (konvexe) Spiegel wie Zerstreuungslinsen.

## B. Die Lichtbrechung.

### 1. Die Lichtbrechung an ebenen Flächen, Platten und Keilen (Prismen).

Trifft Licht auf die Grenze zweier durchsichtiger Mittel von verschiedenem Brechungsindex<sup>1</sup>  $n$   $n'$ , so wird ein Teil zurückgeworfen, der Rest dringt ein und erleidet dabei verschiedenartige Veränderungen nämlich hinsichtlich seiner Geschwindigkeit, seiner Richtung, seiner Zusammensetzung, seines Polarisationszustandes, seiner Stärke u. a. Das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeiten  $c$  in verschiedenen optischen Mitteln verhält sich umgekehrt wie deren Dichten (Brechungsindices):

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Wird der Vergleich mit dem leeren Raum oder (angenähert) mit Luft durchgeführt, so erhält man die absolute Brechzahl. Sie ist für verschiedene Wellenlängen  $\lambda$  des Lichts verschieden, weil  $c = \lambda N$ , worin die Schwingungszahl  $N$  in verschiedenen Mitteln unverändert

bleibt. Die Brechzahl wird in der Regel für das gelbe Licht der Natriumlinie D angegeben.  $n_D$  für Glas = 1,49 bis 1,65, für Wasser = 1,333.

Aus dem **SNELLIUSCHEN Brechungsgesetz**  $n \sin i = n' \sin i'$  ( $i$  Einfallswinkel zwischen dem einfallenden Strahl und dem Lot;  $i'$  Brechungswinkel) ergibt sich die Richtung eines Strahles nach der Brechung, s. Abb. 3. Dabei ist eine gleichmäßige Beschaffenheit der beiden Mittel vorausgesetzt, stetige Änderung der Brechzahl und Doppelbrechung sind ausgeschlossen. Ist die Brechzahl des zweiten Mittels größer (kleiner) als die des ersten, so wird der Strahl nach der Brechung zum Lot hin (vom Lot weg) gebrochen. Der Strahl bleibt in der Einfallsebene, die bestimmt ist durch den Strahl und das Flächenlot im

<sup>1</sup> Der Brechungsindex der Luft kann für unsere Behandlung immer gleich 1 gesetzt werden.

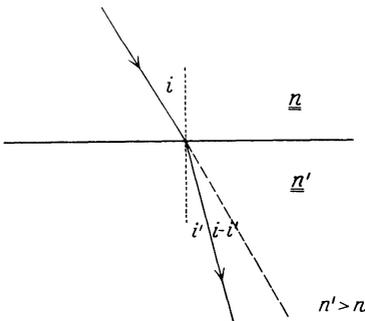


Abb. 3. Zum SNELLIUSCHEN Brechungsgesetz. Ein Strahl mit der Neigung  $i$  zum Flächenlot wird gebrochen und in dichteren Mittel zum Lot abgelenkt.

Einfallspunkt: der Richtungsunterschied ( $i - i' = \epsilon$ ) hängt von der Einfallsrichtung ab (H. HARTINGER [b]).

**Die Farbenzerstreuung.** Die Ablenkung eines Lichtstrahles, dessen Einfallswinkel nicht gleich Null ist, hängt gemäß dem Brechungsgesetz von der Brechzahl des Mittels ab, in das er eindringt. Dieses ist aber für verschiedene Wellenlängen verschieden groß. Der Strahl wird zerlegt, es tritt Farbenzerstreuung auf, und zwar wird im allgemeinen kurzwelliges Licht stärker abgelenkt als langwelliges. Mit der Änderung der Wellenlänge ändert sich aber die Brechzahl in verschiedenen Stoffen nicht in gleichem Maße. Sie haben verschiedenes Farbenzerstreuungsvermögen.

Dieses wird meist durch die Beziehung

$$\frac{n_F - n_C}{n_D - 1} = \frac{1}{\nu}$$

angegeben, wobei  $\nu$  auch als ABBESche Zahl bekannt ist<sup>1</sup>. Wie man gerade auf diese Zahl kam, wird aus S. 477 klar werden, wo kurz über die farbenlosen (achromatischen) Zwillinglinsen gehandelt werden wird. Während bei den gebräuchlichen Glasarten die Brechzahlen zwischen 1,49 und 1,65 schwanken, liegen die Grenzen der ABBESchen Zahlen etwa zwischen 65 und 34: das entsprechende Zerstreungsvermögen schwankt also zwischen  $1/65$  und  $1/34$ . Für die Brech- und Zerstreungszahlen folge die kurze Zusammenstellung.

	$n_D$	$n_F - n_C$	$\nu$	$n_D - n_A'$	$n_F - n_D$	$n_G' - n_F$
1. Wasser bei 20° C . .	1,3334	0,00601	55,5	0,00408 <sup>2</sup> 0,679	0,00416 0,692	0,00323 0,537
2. Quarz $\omega$ (ord. Strahl)	1,5442	0,00778	70,0	0,00519 0,667	0,00543 0,698	0,00432 0,555
3. F.	1,5101	0,00839	60,8	[0,00539] 0,642	0,00590 0,703	0,00475 0,566
Kronglas: Spiegelglas verschiedener Herkunft	4. M.	1,5230	59,5		0,00620 0,706	0,00500 0,569
	5. Gr.	1,5229	58,8		0,00628 0,706	0,00501 0,564
6. Gewöhnlicher Silikat-Flint . . . . .	1,6202	0,01709	36,2	0,01034 0,605	0,01220 0,714	0,01041 0,609

Die Wahl der 6 verschiedenen Mittel (Medien) ist so getroffen, daß der Leser einen Begriff von wichtigen Möglichkeiten erhält. 1 und 2 sind von der Natur gegebene Stoffe. Bei niedriger Brechung hat Wasser mit  $\nu = 55,5$  ein merkbar größeres Zerstreungsvermögen  $1 : \nu$  als das zu Brillengläsern verwandte Spiegelglas (3, 4, 5). Beim Quarz ist die Brechung ziemlich hoch, aber das Zerstreungsvermögen ist bemerkenswert niedrig.

Wendet man sich nun zu den künstlichen Mitteln, den Glasarten, so wurden zunächst 3 verschiedene Arten Spiegelglases aufgeführt; die häufigste Brechzahl für D ist 1,523, die Farbenzerstreuung ist ziemlich gering. Die Zerstreuung für rotes Licht ist nicht gemessen; um einen Begriff zu geben, wurde sie bei 3 nach dem Muster eines naheliegenden und gut bekannten Kronglases berechnet.

<sup>1</sup> Die Wellenlängen in  $m\mu$  sind (nach MERTÉ [139/40]) für die hier verwandten Farben

A	C	D	F	G'
768,5	656,3	589,3	486,1	434,1

<sup>2</sup> Die kleinen, nautischen Dezimalbrüche unter den Teilerstreuungen sind deren Verhältniszahlen zur Grundzerstreuung  $n_F - n_C$ . Auch diese Form stammt von E. ABBE, der sie zum ersten Male im Jahre 1886 veröffentlichte.

Aus der Ähnlichkeit der Verhältniszahlen der Teilzerstreuungen für den mittleren und den kurzwelligen Teil des Spektrums erkennt man die nahe optische Verwandtschaft dieser Glasarten. Unter 6 ist ein gewöhnliches Silikatflint aufgeführt, wie es mit einer der Kronarten zu einer farbenlosen (achromatischen) Verbindung verwandt werden könnte. Die Brechung ist stärker und namentlich

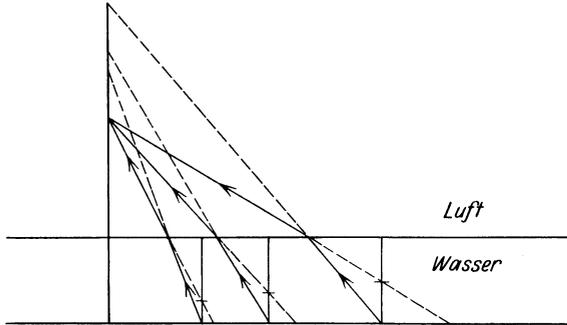


Abb. 4. Die Brechung eines aus der Luft kommenden Strahlenkegels endlicher Öffnung an einer ebenen Fläche. Scheinbare Verminderung der Wassertiefe eines überall gleich tiefen Beckens für einen einäugigen Beobachter oberhalb des Wasserspiegels.

das Zerstreuungsvermögen. Vergleicht man etwa für 3 und 6 die Verhältniszahlen der Teilzerstreuungen, so erkennt man deutlich die verhältnismäßige Dehnung des roten Endes im Kron, der beim Flint eine entsprechende Dehnung im Blau gegenübersteht. Schreiben wir diese Verhältniszahlen noch einmal untereinander

3 : 0,642	0,703	0,566
6 : 0,605	0,714	0,609,

so stellt sich uns der abweichende Gang der Teilzerstreuungen deutlich dar: je verschiedener die äußeren Glieder sind, um so stärker treten in einer farbenlosen (achromatischen) Doppellinse die Restfarben (das sekundäre Spektrum) auf.

so stellt sich uns der abweichende Gang der Teilzerstreuungen deutlich dar:

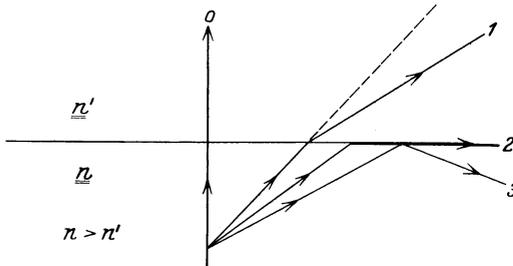


Abb. 5. Die Brechung eines aus dem Wasser kommenden Strahlenkegels endlicher Öffnung an der ebenen Wasseroberfläche. Totalreflexion.

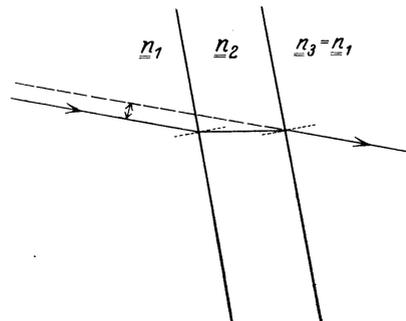


Abb. 6. Die seitliche Versetzung eines Strahles beim Durchtritt durch eine Platte.

Die Abhängigkeit der Brechzahl von der Wellenlänge hat man häufiger in eine Formel zu kleiden versucht. Hier sei ein neuerer Ausdruck nach J. HARTMANN (a, b) angegeben in der Form

$$n = n_0 + \frac{C}{(\lambda - \lambda_0)^\alpha}$$

**Die Brechung kegelförmiger (homozentrischer) Bündel.** Fällt ein ganzes Strahlenbündel, ein räumliches Gebilde, gleichgerichteter paralleler Strahlen auf eine ebene brechende Fläche, so ist die Ablenkung aller Strahlen gleich. Handelt es sich aber um ein kegelförmiges (konvergentes oder divergentes) Bündel, dessen Spitze nicht im Unendlichen, sondern im Endlichen liegt, so sind die Einfallswinkel und damit auch die Brechungswinkel und der Ablenkungsbetrag für die Einzelstrahlen im allgemeinen verschieden. Daher erscheint aus der Luft betrachtet die Wassertiefe an einer und derselben Stelle verschieden groß, je nach dem Augenort bezüglich des Gegenstandes (Abb. 4). Bei der

umgekehrten Anordnung, wenn etwa ein Taucher aus dem Wasser heraus beobachtet, kommt noch die *Totalreflexion* hinzu, sobald vom einfallenden Strahl der Grenzwinkel  $i$  überschritten wird, dessen Sinuswert gleich  $\frac{n'}{n}$ ; ( $n' < n$ ).

Dieser *Grenzwinkel* beträgt etwa  $49^\circ$  bzw.  $41^\circ$  beim Übergang von Wasser ( $n = \frac{4}{3}$ ), bzw. leichtem Kronglas ( $n = 1,52$ ), nach Luft (s. Abb. 5).

**Die Brechung an Platten.** Trifft ein Strahl, der mit einem endlichen Einfallswinkel von einem optisch dünneren Mittel ( $n_1$ ) in ein optisch dichteres ( $n_2$ ) durch eine ebene Fläche (1) eingetreten ist, auf eine weitere ebene Fläche (2), in der sich das 2. Mittel gegen eine dritte (von der Brechzahl  $n_3 = n_1$ ) abgrenzt, so erfolgt die Ablenkung um den gleichen Betrag in entgegengesetztem Sinne, wenn die zweite Ebene, wie bei einer Platte, der ersten gleichgerichtet ist (Abb. 6). Das Ergebnis ist eine seitliche Versetzung des Strahles. Ist das einfallende Licht aus verschiedenen Wellenlängen gemischt, so werden die verschiedenfarbigen Strahlen zwar nach dem Austritt aus der zweiten Fläche ebenfalls parallel, sind aber um verschiedene Beträge seitlich versetzt.

Ihr Betrag hängt ab von der Brechzahl und Dicke der Platte und dem Einfallswinkel (Verwendung im HELMHOLTZ'schen Ophthalmometer). Strahlen verschiedener Wellenlänge werden zwar nach dem Austritt aus der zweiten Fläche wieder parallel, sind aber dann in verschiedenem Maße seitlich versetzt.

**Die Brechung an Prismen.** Ist die zweite Fläche der ersten nicht gleichgerichtet wie bei einem *Keil* (Abb. 7

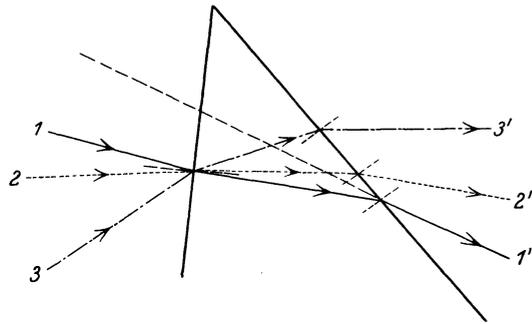


Abb. 7. Die Strahlenbrechung am Keil bei verschiedenen Einfallswinkeln in einem Hauptschnitt.

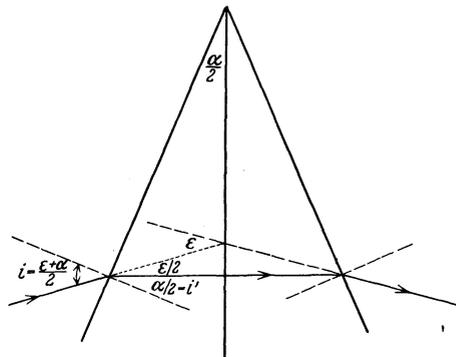


Abb. 8. Die Strahlenbrechung bei symmetrischem Durchgang am Keil.  $\alpha$ ,  $\epsilon$ ,  $i$  Kanten-, Ablenkungs- Einfallswinkel.

u. 8), so ist der Betrag der Ablenkung im allgemeinen nicht gleich der an der ersten Fläche. Steht die zweite Fläche senkrecht auf der Einfallsbzw. Brechungsebene des Strahles an der ersten Fläche, so bleibt der Strahl auch nach seiner zweiten Brechung wenigstens in dieser Ebene, der Hauptebene des Keils. Wenn der Strahl im zweiten Mittel im gleichen Winkel auf die zweite Fläche trifft, unter dem er die erste verlassen hat, dann liegen symmetrische Verhältnisse in bezug auf die Winkelhalbierende des Keiles vor (Abb. 8). Die Ablenkung an der zweiten Fläche hat die gleiche Größe wie an der ersten, aber auch den gleichen Sinn, so daß sich beide summieren. Die gesamte Ablenkung ( $\epsilon$ ) des Strahles hat in dieser Anordnung ihre Mindestgröße<sup>1</sup>. Die

<sup>1</sup> Als Gedächtnisregel für den Sinn der Ablenkung durch einen brechenden, optisch dichteren Keil mag man sich den Lichtstrahl durch einen gespannten Gummifaden veranschaulicht denken, gegen den man mit der Kante des Keils von der Seite vorgeht, so daß er aus seiner geradlinigen Lage verdrängt und gleichsam geknickt wird.

Abhängigkeit der Ablenkung ( $\varepsilon$ ) von den Brechzahlen ( $n, n'$ ) des zwischen beiden Flächen liegenden Mittels bzw. seiner Umgebung und dem Winkel zwischen den beiden brechenden Flächen, dem Kantenwinkel  $\alpha$  des Keiles, lautet für ein Prisma in Luft

$$n \sin \frac{\varepsilon + \alpha}{2} = n \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Beschränkt man sich, wie es in der Augenheilkunde in der Regel geschieht, auf kleine Kantenwinkel bis etwa  $5^\circ$ , so kann statt des Sinus der Bogen gesetzt werden. So erhält man die einfache Überschlagsformel  $\varepsilon = \alpha (n - 1)$ . Wird überdies angenommen, daß das Glas meist etwa die Brechzahl  $n = 1,5$  habe, so kommt man zu der groben Regel  $\varepsilon = \frac{\alpha}{2}$ . Die Ablenkung des Keiles beträgt dann ungefähr die Hälfte seines Kantenwinkels. (Wegen der Bezeichnung der Keile s. u. S. 531).

Hat man nicht Licht einer einzigen Wellenlänge, sondern gemischtes, z. B. weißes, so wird natürlich die an *einer* brechenden Fläche auftretende Farbenzerlegung (vgl. S. 477) gesteigert.

Liegt der Einfallstrahl nicht in der Hauptebene des Keiles, so fallen die Brechungsebenen an den beiden Keilflächen nicht miteinander zusammen, der gebrochene Strahl tritt nach der zweiten Brechung aus seiner 1. Brechungsebene heraus und verläuft windschief zu seiner ursprünglichen Richtung im ersten Mittel. Er folgt einer Regel gleicher Form, wie die für die Hauptebene geltende, nur tritt anstatt  $n$  als Brechzahl  $n \frac{\cos \vartheta'_1}{\cos \vartheta_1}$  ein; nämlich

$$\sin \frac{\varepsilon + \alpha}{2} = n \cdot \frac{\cos \vartheta'_1}{\cos \vartheta_1} \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

( $\vartheta\vartheta'$  Neigung der Strahlprojektion gegen den Hauptschnitt). (Siehe H. BOEGEHOLD [c], CZAPSKI-EPPENSTEIN, H. HARTINGER [b], S. 234, O. LUMMER, Bd. 3, S. 108.)

## 2. Die Brechung an einer und mehreren Kugelflächen.

### a) Die Brechung an Kugelflächen mit Beschränkung auf den GAUSSISCHEN RAUM.

#### a) Die Einzelfläche.

Geht man von der heute fast jedem bekannten Vorrichtung einer Lichtbildkammer aus, so wird an und für sich die Frage nach dem Abbildungsvorgang keiner besonderen Begründung bedürfen, und es seien die Bedingungen einmal obenhin betrachtet, die in dieser Aufgabe liegen, wenn man ihr allein mit dem Brechungsgesetz gegenübertritt. Zunächst geht von einem jeden Punkt eines Gegenstandes ein Strahlenbündel aus, von dem nur ein Teil, ein Strahlenkegel, die wohl meist kreisförmig begrenzte brechende Fläche endlicher Öffnung treffen kann. Gleichviel ob eine Ebene oder Kugelfläche vorliegt, so hat im allgemeinen jeder Strahl eine andere Neigung zu seinem Einfallslot als die übrigen. Da der Gegenstand ebenfalls meist von endlicher Ausdehnung sein wird, so stehen auf der brechenden Fläche unendlich viele derartige Kegel mit verschiedenen Neigungswinkeln ihrer Achsen zueinander. Die Gesamtheit der einzelnen Bündelachsen, die Leit- oder Hauptstrahlen, bilden wieder ein Bündel, das Hauptstrahlenbündel (s. S. 489 u.). Selbst wenn die brechende Fläche stetig gekrümmt und dazu noch so einfach gestaltet ist wie eine Kugelfläche, so sieht man ohne weiteres ein, daß eine ungeheure Arbeit zu leisten wäre, um nur zu jedem Strahl die zugehörige Richtung nach der Brechung zu bestimmen. Doch wäre noch

nicht viel erreicht, wenn man sich die mühsame Arbeit ausgeführt denkt. Um etwas mit diesen Kenntnissen anfangen zu können, müßte zunächst wieder untersucht werden, ob und wie sich diese Richtungen ordnen. Ob sich ursprünglich zusammengehörige Strahlen etwa schneiden oder nicht, bzw. wo usw. Es ergibt sich angesichts dieser Lage von selbst der Wunsch nach allgemeinen Gesetzen, die erlauben, aus dem Aufbau der einfallenden Bündel auf Grund der Eigenschaften der brechenden Fläche Aussagen über den Aufbau des gebrochenen Bündels zu machen. Wie eingangs angedeutet, verdanken wir A. GULLSTRAND die bahnbrechenden Arbeiten hierzu, die aber, um den Forscher selbst reden zu lassen „zu große Ansprüche an die mathematischen Kenntnisse des Lesers stellen, um meinen ophthalmologischen Kollegen genießbar zu erscheinen“ (gg, 28).

Soll nun ein gewisser Einblick in die optischen Wirkungen zunächst kugelförmig gekrümmter Flächen vermittelt werden, so wird man, wie es geschichtlich auch tatsächlich der Fall gewesen ist, zur Annahme wesentlicher Vereinfachungsbedingungen geführt, die in der folgenden Form bekannt sind: Unter den unendlich vielen Strahlen, die, von einem Gegenstandspunkt ausgehend, die Fläche treffen, wird ein ebenes Büschel ausgesondert, das durch den Krümmungsmittelpunkt der brechenden Fläche geht. Dann liegt das Flächenlot überall in dieser Ebene und die gebrochenen Strahlen ebenfalls.

Zu einer mit der üblichen Verwertung übereinstimmenden Bezeichnung sind die folgenden<sup>1</sup> Überlegungen anzustellen:

**Die Lagengleichung (Formel für den Bildort).** Der Verlauf eines Einzelstrahles innerhalb dieses Bündels wird auf folgende Weise mit Hilfe des SNELLIUSCHEN Gesetzes bestimmt. Es gilt (s. M. v. ROHR [b 36, 43]) nach der Zeichnung (Abb. 11)  $\frac{n}{n'} = \frac{\sin i'}{\sin i} = \frac{\sin(180^\circ - i')}{\sin(180^\circ - i)}$ . Aus den Dreiecken CTO' und CTO gibt der Sinussatz  $\frac{\sin(180^\circ - i')}{\sin u'} = \frac{CO'}{TC}$ ;  $\frac{\sin(180^\circ - i)}{\sin u} = \frac{CO}{TC}$ . Nach Einsetzen in den vorigen Bruch erhält man

$$\frac{n}{n'} = \frac{CO' \cdot \sin u'}{TC} \cdot \frac{TC}{CO \cdot \sin u} = \frac{(CS + SO') \sin u'}{(CS + SO) \sin u}$$

$$\frac{n}{n'} = \frac{(SO' - SC) \sin u'}{(SO - SC) \sin u} = \frac{(s' - r) \sin u'}{(s - r) \sin u}$$

<sup>1</sup> Eine Strecke hat nicht nur einen Längen-, sondern auch einen Richtungswert (Abb. 9).

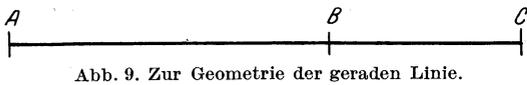


Abb. 9. Zur Geometrie der geraden Linie.

$$AB = AC + CB = -BA = -(BC + CA) = -BC - CA.$$

Als positive Richtung der Achse gilt die Lichtrichtung. In den Zeichnungen wird sie von links nach rechts angenommen. Senkrecht zur Achse ist die Richtung von unten nach oben positiv. Die Krümmungshalbmesser werden von der Peripherie zum Mittelpunkt durchgemessen (Abb. 10). Der Halbmesser  $S_1 C_1 = r_1$  hat einen positiven Wert, da er von links nach rechts, also in der Lichtrichtung, gemessen wird. Der Halbmesser  $S_2 C_2 = r_2$  hat einen negativen Wert, da er von rechts nach links, also entgegen der Lichtrichtung, gemessen wird. Über die Vorzeichen der Winkel mit der Achse s. später S. 470, 472.

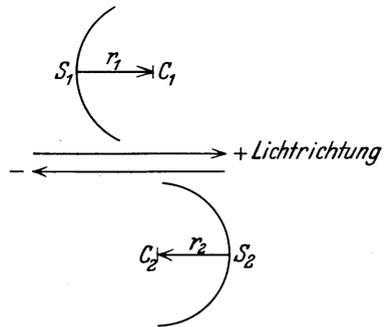


Abb. 10. Zur Bezeichnung der Flächenkrümmungen.

die Vorzeichen der Winkel mit der Achse s. später S. 470, 472.

Daraus ist folgendes zu ersehen: Der Abstand, in dem ein Strahl ein ausgewähltes Flächenlot vor und nach seiner Brechung schneidet, d. h. seine Schnittweiten  $s$  und  $s'$ , sind nicht nur von den unveränderlichen Bestimmungsstücken der brechenden Fläche, nämlich ihrem Halbmesser  $r$  und den Brechzahlen  $n$  und  $n'$  ihrer beiden Grenzmittel abhängig, sondern auch von der Neigung der Strahlen zu dem ausgewählten Flächenlot, ihren *Öffnungswinkeln*  $u$  und  $u'$ . Die eine der beiden Schnittweiten  $s'$  läßt sich hiernach und mit einigen ganz einfachen Hilfsformeln berechnen, wenn die andere  $s$  und die Öffnungswinkel gegeben sind (Näheres s. A. BRÜCKNER, S. 25). Bei verschiedenen

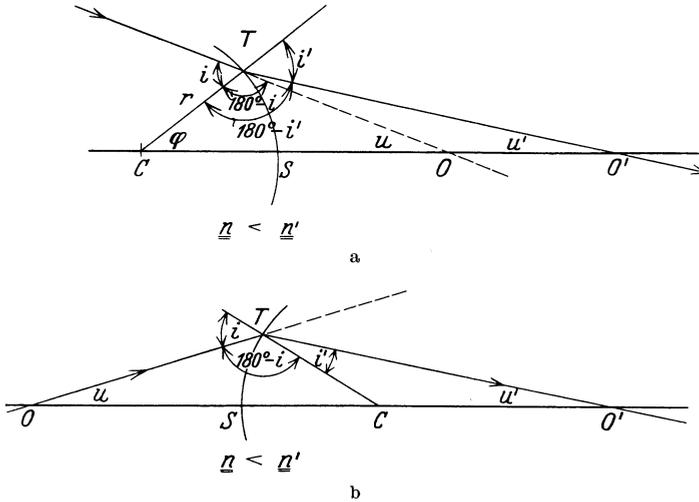


Abb. 11 a u. b. Die Brechung an einer Kugelfläche.

großen Öffnungswinkeln gehören verschiedene Schnittweiten  $s'$  zu einer gegebenen  $s$  (s. u. S. 487 sphärische Aberration).

Wird der Sinus wieder nach dem Sinussatz aus dem Dreieck  $OTO'$  ersetzt, so bleibt die Formel streng richtig:

$$\frac{n}{n'} = \frac{TO(s' - r)}{TO'(s - r)} = \frac{t(s' - r)}{t'(s - r)}$$

Läßt man die Öffnungswinkel  $u$  und  $u'$  kleiner und kleiner werden, so vermindert sich auch der Längenunterschied zwischen  $s$  und  $t$  bzw. zwischen  $s'$  und  $t'$ , bis schließlich, wenn Winkel  $u$  und Winkel  $u'$  zu Null<sup>1</sup> übergehen,  $t = s$  und  $t' = s'$  werden. Ersetzt man so  $t$  und  $t'$  in der letzten Gleichung, dann gilt

$$\frac{n}{n'} = \frac{s(s' - r)}{s'(s - r)}$$

Hierin ist die Schnittweite der Strahlen von ihrem Neigungswinkel zum ausgewählten Flächenlot unabhängig geworden: *Nullstrahlenrechnung*.

Sind die eine Schnittweite und die festen Werte der brechenden Fläche gegeben, so ist die andere durch die Gleichung bestimmt und aus ihr nach folgender Umformung leicht zu entnehmen.

$$\begin{aligned} nss' - ns'r &= n'ss' - n'sr \\ n'sr &= ns'r + n'ss' - nss' \end{aligned}$$

<sup>1</sup>  $\sin 2^\circ = 0,0349$   
 $\sin 3^\circ = 0,0523$

$\text{tg } 2^\circ = 0,0349$   
 $\text{tg } 3^\circ = 0,0524$

$\sin 5^\circ = 0,0872$   
 $\sin 10^\circ = 0,1736$

$\text{tg } 5^\circ = 0,0875$   
 $\text{tg } 10^\circ = 0,1763$

Teilt man die ganze Gleichung durch  $s s' r$ , so hat man  $\frac{n'}{s'} = \frac{n}{s} + \frac{n' - n}{r}$ , und wenn die Glieder in ihrer Reihenfolge nach GULLSTRAND (1; m 50) mit B, A und D bezeichnet werden, so erscheint die bekannte bequeme Formel oder die *Lagengleichung*

$$B = A + D; \tag{1}$$

genauer

$$B = \frac{n'}{s'} = \frac{1}{s'/n'}$$

$$A = \frac{n}{s} = \frac{1}{s/n} \tag{1a}$$

$$D = \frac{n' - n}{r}.$$

Die Ableitung auf S. 467 mit den allgemeinen Größen  $CO, CO', SO, SO'$  hat zur Folge, daß ihr Ergebnis auch allgemein ist, d. h. daß die Formel (1) auch dann gilt, wenn  $r = CS$  oder  $s = SO$  ein anderes Vorzeichen hat, als auf der Zeichnung angenommen war.

Die zur Formel (1) führenden Überlegungen gelten natürlich unverändert, wenn man die Zeichnung (Abb. 11) um den gewählten Halbmesser  $CS$  bzw. das Flächenlot  $CSOO'$  eine volle Umdrehung machen läßt. Dann geht von dem Achsenpunkt  $O$  nicht nur ein Strahl, sondern ein Kegelmantel von Strahlen aus mit der Öffnung  $u$ , und diese Strahlen schneiden sich nach

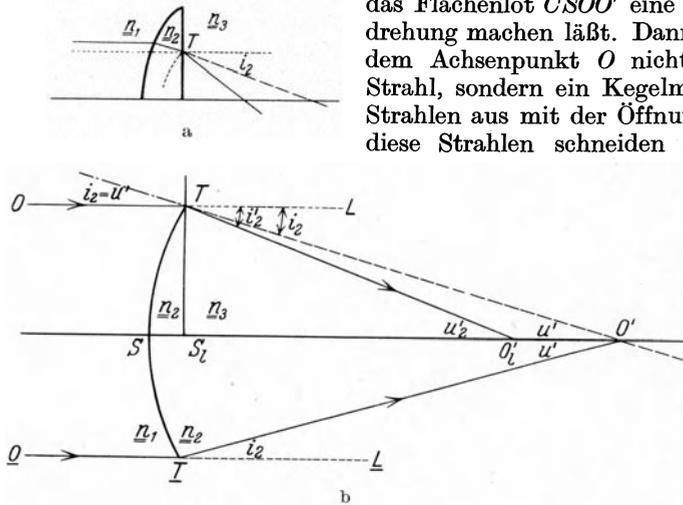


Abb. 12 a u. b. Zur Einführung der Luftwerte in dichteren Mitteln durchlaufener Längen. a gibt eine Vorstufe des obersten Teils von b wieder, wenn man den achsenparallelen Strahl weiter und weiter von der Achse abrücken läßt (s. Text).

der Brechung alle im Achsenpunkt  $O'$ . Die Punkte  $O$  und  $O'$ , die Spitzen der Kegel, sind einander als *Ding- und Bildpunkt* in Beziehung zu der brechenden Umdrehungsfläche nach Maßgabe der obigen Lagengleichung zugeordnet. Die Wirkung der Brechung besteht in der Änderung des Öffnungswinkels dieses Kegels, der *Konvergenz* des Bündels.

Für die *Nullstrahlen* (den paraxialen Raum) wird diese Änderung in der Formel durch das dritte, nur feste (konstante) Größen enthaltende Glied angegeben. Zu dem zweiten Glied, das die *Konvergenz des dingseitigen Bündels* angibt, hinzugefügt, mehrt oder mindert es diesen Wert, ihn der bildseitigen Konvergenz gleichmachend, die durch das erste Glied angegeben ist. Aus dieser Sachlage heraus folgt ohne weiteres, daß auch das dritte Glied das Maß einer Konvergenz sein bzw. eine Konvergenz bedeuten muß. Darauf ist sogleich noch zurückzukommen.

Was den Ausdruck für die Konvergenz angeht, so wird die Konvergenz durch den Tangentenwert des Konvergenzwinkels  $u$  bzw.  $u'$  ausgedrückt:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} u &= \frac{h}{s} \\ \operatorname{tg} u' &= \frac{h}{s'} . \end{aligned}$$

Da nun die beiden Schnittweiten  $s$  und  $s'$  in verschiedenen Mitteln liegen, so sind sie nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar. Sie lassen sich aber, wie eine einfache geometrische Überlegung verständlich machen soll, auf eine vergleichbare Größe bringen. Man denke sich (Abb. 12), unendlich nahe hinter der brechenden Kugelfläche soll eine ebene achsensenkrechte Fläche das zweite Mittel wiederum begrenzen, so daß der Strahl  $OT$  unmittelbar nach seiner ersten Brechung bei  $T$  an der ersten Fläche durch die angenommene zweite in Luft austritt.

Im Mittel mit der Brechzahl  $n_1$  werde ein Strahl  $OTL$  wie der ihm symmetrische  $OTL$  an der Kugelfläche  $TST$  bei  $T$  bzw.  $T$  gebrochen und verlaufe im dichteren Mittel von der Brechzahl  $n_2$  unter dem Winkel  $u'$  durch den Achsenpunkt  $O'$ . Man denke sich (obere Bildhälfte) unmittelbar nach dieser Brechung grenze eine achsensenkrechte Ebene  $S_1T$ , das Mittel  $n_2$  gegen ein drittes  $n_3$ , nämlich Luft, ab. Der Strahl trifft sie im Einfallswinkel  $i_2 = u'$ . Hier erfolgt sogleich eine zweite Brechung vom Lot weg und der Strahl fährt unter dem Brechungswinkel  $i'_2 = u'_2$  nach  $O'_1$  in Luft weiter (obere Bildhälfte von b). Nach dem Brechungsgesetz ist

$$\begin{aligned} n_2 \sin i_2 &= n_3 \sin i'_2 \\ n_2 \sin u' &= n_3 \sin u'_2 . \end{aligned}$$

Da die Überlegung für die Nullstrahlen im GAUSSISCHEN Raum gelten soll, sind die Winkel  $u'$   $u'_2$  so klein, daß die Sinus- und Tangentenwerte (s. S. 468 Anm.) ohne Fehler einander gleichgesetzt werden können.

$n_2 \operatorname{tg} u' = n_3 \operatorname{tg} u'_2$ . Es sei  $S_1T = h$ , dann ist

$$n_2 \frac{h}{S_1O'} = n_3 \frac{h}{S_1O'_1} .$$

Im GAUSSISCHEN Raum ist weiter das wirksame Kugelflächenstückchen unendlich klein und daher die Pfeilhöhe im Scheitel gleich Null, so daß die gedachte ebene Fläche unmittelbar an die erste anschließt und  $S_1$  mit  $S$  zusammenfällt. Also  $n_2 \frac{1}{SO'} = n_3 \frac{1}{SO'_1}$ ; und  $SO'_1 = \frac{n_3}{n_2} \cdot SO'$ .

Da das dritte Mittel Luft sein soll, also  $n_3 = 1$ , so folgt

$$SO'_1 = \frac{SO'}{n_2} \text{ oder } s' = \frac{f}{n_2} .$$

**Die Luftlängen (die Reduktion auf Luft).** Diese Überlegung kann nach jeder Brechung in irgendeinem von Luft verschiedenen Mittel angestellt werden, so daß danach die Brechungen an den verschiedensten brechenden Flächen miteinander vergleichbar werden. Man erhält dann auf Luft gebrachte Schnittweiten, Luftlängen, dadurch, daß man die in den verschiedenen Mitteln gemessenen Längen  $f$  durch die zugehörigen Brechzahlen teilt (W. SCHOEN [c, 270/2]). [Aus den Gleichungen (1a) sind natürlich die wirklichen Längen  $s$  und  $s'$  ohne weiteres zu berechnen.]

Rechnerisch sind diese Luftlängen bereits oben unter (1a) auf S. 469 eingeführt worden, doch wird die soeben eingeschobene geometrische Überlegung zur Anschaulichkeit beigetragen haben.

Man hat also jetzt auf Luftwert gebrachte Schnittweiten, die miteinander vergleichbar sind, die Luftlängen, dadurch erhalten, daß die in den verschiedenen Mitteln gemessenen Längen durch die zugehörigen Brechzahlen geteilt werden. Die Kehrwerte (reziproken Werte) dieser Luftlängen sind nach (1a) die Größen, die als Ausdrücke der Bündelkonvergenz in der Lagengleichung vorkommen. Erinnern wir uns, daß das dritte Glied  $D = \frac{n' - n}{r}$  der Gleichung ebenfalls einen Konvergenzwert, um den ja die dingseitige Konvergenz bei der Brechung verändert wird, darstellt, und zwar eine schon auf Luft gebrachte, da sie ja als Summand auftritt. Man könnte sie also auch in die gleiche Form kleiden, wie die anderen beiden, etwa nach der Begriffsbestimmung:  $\frac{n' - n}{r} = \frac{n'}{\bar{f}'} = \frac{1}{f'}$

= D, wenn  $\bar{f}'/n' = f'$  gelten soll (Abb. 13).

Eine Anschauung von der Größe dieser Konvergenz erhalten wir, wenn wir einmal die dingseitige Konvergenz gleich Null setzen. Dann ist  $B = D$   
 $\frac{n'}{s'} = \frac{n' - n}{r} = \frac{n'}{\bar{f}'}$   
 $\frac{n}{s} = 0$  heißt aber  $s = \infty$  (da  $n = 0$  nicht vorkommt).

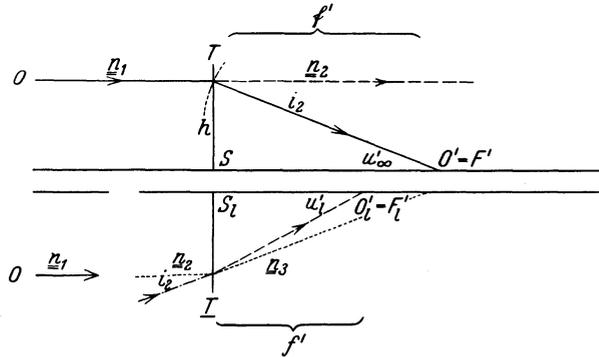


Abb. 13. Brennweite in Luft ( $f'$ ) bzw. in dichterem Mittel ( $f$ ).

Der Strahl fällt also achsenparallel ein. Dann ist  $s' = \bar{f}'$ . Das heißt, die bildseitige Schnittweite ist gleich der bildseitigen Brennweite und die Wirkung der brechenden Fläche ist dann gleich dem Konvergenzwert  $1/f'$  der bildseitigen auf ihren Luftwert gebrachten Brennweite (natürlich bei gleicher Öffnung  $h$  wie oben). Die Konvergenz würde also entsprechen der oben erwähnten ding- und bildseitigen Konvergenz, angegeben durch den Wert der Winkel-tangente  $\text{tg } u' = \frac{h}{SF}$ . Aus einer Gleichung, in der diese Größen vorkommen, fällt natürlich das allen Gliedern gemeinsame  $h$  heraus, welcher Größe es auch sei. Diese von der Strahlenrichtung unabhängige Wirkung  $D$  der brechenden Fläche heißt **Brechkraft**. Das ist also *der Kehrwert der auf Luft gebrachten bildseitigen Brennweite*. Die anderen Konvergenzwerte heißen zum Unterschied von diesem besonderen Fall **Brechwerte**.

Gibt man dem zweiten Glied den Wert 0, so ist  $s' = \infty$  und  $A = -D$  bzw.  $\frac{n}{s} = -\frac{n' - n}{r} = \frac{1}{-f'} = \frac{1}{f}$ . Das ist die dingseitige Konvergenz, die dingseitige Schnittweite.  $s = -\frac{r}{n' - n} \cdot n = -nf' = nf = f = SF$  ist also gleich der dingseitigen Brennweite. Gilt  $n < n'$ , so ist die dingseitige Brennweite kürzer als die bildseitige; ist  $n = 1$ , so ist die dingseitige der auf Luft gebrachten bildseitigen negativ gleich (s. Abb. 14).

**Die Dioptrie.** Die Maßeinheit für jede Konvergenz, also für den Brechwert wie die Brechkraft, ist die Dioptrie<sup>1</sup>. Das ist die Einheit für die in Meter gemessenen und auf Luft gebrachten Schnitt- oder Brennweiten. (Ein Versuch, diesen Begriff anschaulich zu machen, soll später mitgeteilt werden, S. 479/480.)

<sup>1</sup> Als Abkürzung wird *dp*tr gebraucht, in Anlehnung an andere Abkürzungen von Maßeinheiten wie *kg*, *km*, *cm*, *cbm*, klein geschrieben ohne Punkt.

**Dingraum und Bildraum.** Das erste (ebenso wie das zweite) Glied kann jeden Wert von Null bis  $+$  oder  $- \infty$  annehmen, denn sein Zähler ist unveränderlich und positiv, während der Nenner, die Strecke  $SO$  (bzw.  $SO'$ ) von  $-\infty$  über Null bis  $+\infty$ , jede Größe haben kann.

Diese Strecken werden von dem Flächenscheitel  $S$  aus gemessen. Sowohl  $O$  wie  $O'$  kann vor und hinter  $S$  liegen. Denn diese Lage ist nur ein Ausdruck der Strahlneigung vor oder nach der Brechung.

Sowohl vor wie nach der Brechung können ja schnittflüchtige (divergente) wie schnittstrebige (konvergente) Bündel vorkommen. Ob der von ihnen durchlaufene Weg länger oder kürzer ist, ob sie ihren Schnittpunkt erreichen oder nicht, bedeutet für ihren Aufbau gar nichts. Der Kreuzungspunkt ihrer Richtungen bleibt der gleiche. Da nun die Kegelspitze des gebrochenen Bündels der Bildpunkt ist, so ist ohne weiteres klar, daß der Dingpunkt auf der ganzen Länge der Achse zwischen  $-\infty$  und  $+\infty$  liegen kann, ebenso der Bildpunkt. Es gibt also im Hinblick der Abbildung wirkliche (reelle) und nicht wirkliche (virtuelle) Gegenstandspunkte, wie es auffangbare und nicht auffangbare Bildpunkte gibt, je nachdem die für den betreffenden Punkt bestimmenden Strahlen

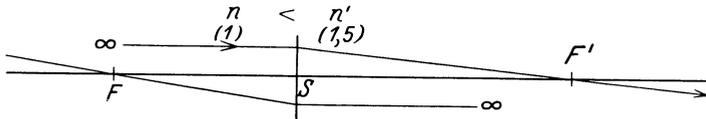


Abb. 14. Die ding- und die bildseitige Brennweite.

wirklich von dem Dingpunkt ausgehen oder nicht bzw. den Bildpunkt erreichen oder nicht. Der *Dingraum* beschränkt sich also keineswegs auf die eine Seite der brechenden Fläche und der *Bildraum* auf die andere, sondern beide *durchdringen sich gegenseitig von  $-\infty$  bis  $+\infty$* , ohne daß sie etwa irgendeinen Punkt wirklich gemeinsam haben müßten.

Eine gute Anschauung von diesen für den Anfänger meist etwas fremdartigen Tatsachen gibt die Verwendung des Zeichenverfahrens nach SAMPSON, das auch sonst viele Überlegungen und Rechnungen durchsichtiger machen hilft und sich zu verschiedenerelei Abbildungsaufgaben, Zusammensetzung von Flächenfolgen, Brennweiten, Grund- (Kardinal-) Punktermittlung, wie zur Ableitung der allgemeinen Formeln als sehr nützlich erwiesen hat (H. ERGGELET [a]).

In Abb. 11a haben wir z. B. einen nicht wirklichen Dingpunkt  $O$  in ein auffangbares Bild  $O'$  abgebildet.  $SO$  ist positiv,  $SO'$  ebenfalls. In 11b ist von einem wirklichen Dingpunkt  $O$  ( $SO$  ist negativ) ein auffangbares Bild entworfen worden ( $SO'$  positiv). Die entsprechenden Bildabstände haben also das gleiche Vorzeichen.

Da nach den Verhältnissen der Zeichnung  $n' > n$ , so ist  $n' - n$  positiv.  $r = SC$  ist in Abb. 11a gegen die Lichtrichtung gemessen negativ. Das ganze Glied ist also auch negativ. Der Kehrwert dieses Gliedes hat natürlich das gleiche Vorzeichen und stellt bei  $A = 0$  die Brennweite der Fläche dar. Sie ist also von  $S$  entgegen der Lichtrichtung also nach links zu messen. Die zerstreue Wirkung ist dadurch gekennzeichnet. In Abb. 11b ist  $r$  positiv, also auch das ganze dritte Glied. Der Kehrwert dieser Glieder behält natürlich das Vorzeichen und damit auch (siehe  $A = 0$ ) die bildseitige Brennweite. Ein *negativer Wert* dieser vom Scheitel der brechenden Fläche aus entgegen der Lichtrichtung gemessenen Strecke (Abb. 15b) kennzeichnet sie als *zerstreue Fläche*, ein *positiver*, der mit der Lichtrichtung gemessenen Strecke, als *sammelnde* (s. auch Abb. 15a).

**Die Größenbeziehung (Formel für die Bildgröße).** Hier sei nochmals mit dem größten Nachdruck auf die Voraussetzung zurückverwiesen, durch die man zu der Formel gelangt ist. Daß die Öffnungswinkel  $u$  und  $u'$  klein seien und sich dem Werte Null nähern, ist eine bloße, nie zu verwirklichende Annahme. Und nur für sie gilt die Gleichung der Lagenbeziehung der als Ding und Bild einander zugeordneten Achsenpunkte  $O$  und  $O'$ , in der sie allein abhängig sind von der Brechkraft und unabhängig vom Neigungswinkel der Strahlen.

Sie gilt also nur für den „fadenförmig“ das ausgewählte Flächenlot, die Achse, umhüllenden GAUSSSISCHEN Raum. Das bedeutet, daß zulässig sind nur kleine Strahlachsenneigungen, nur ein unendlich kleines Stückchen der brechenden Fläche um die Achse herum, unendlich kleine Einfallswinkel und entsprechend dem Brechungsgesetz gleichmäßig brechende Mittel, d. h. daß ausgeschlossen sind Doppelbrechung und Stoffe mit stetig zunehmender Brechzahl.

Man rüttelt tatsächlich nicht an dieser Voraussetzung, wenn man die Zeichnung (Abb. 11a oder b) in ihrer Ebene eine unendlich kleine Drehung um den

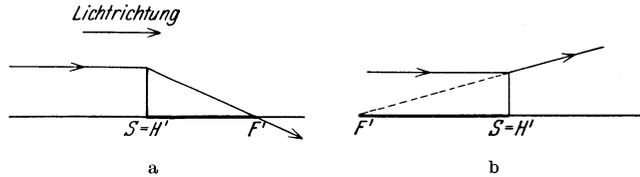


Abb. 15 a u. b. Bildseitiger Brennpunkt ( $F'$ ) und Hauptpunkt ( $H'$ ) bei einer Sammellinse a und einer Zerstreuungslinse b.

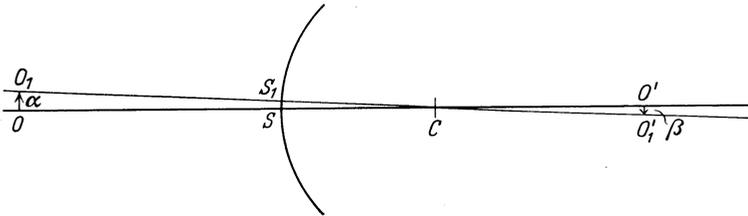


Abb. 16. Die Abbildung einer unendlich kleinen achsensenkrechten Strecke.

Mittelpunkt  $C$  der Fläche machen läßt. Dann beschreiben der Scheitelpunkt  $S$  der Fläche, der Dingpunkt  $O$  und sein Bildpunkt  $O'$  jeweils unendlich kleine Bogenlinien (s. Abb. 16). Diese sind, wenn die Voraussetzung der unendlich kleinen Drehung eingehalten wird, von achsensenkrechten Geraden nicht zu unterscheiden. Es würde danach einem unendlich kleinen achsensenkrechten Streckenstückchen  $OO_1$  der Dingseite ein achsensenkrecht Streckenstückchen  $O'O'_1$  auf der Bildseite in bezug auf die brechende Fläche zugeordnet sein.

Läßt man das Ganze jetzt wiederum eine volle Umdrehung um das ursprünglich ausgewählte Flächenlot bzw. den Krümmungshalbmesser  $OSCO'$  als Achse ausführen, so ändert man nichts an der Anlage, sieht aber, daß jetzt auch einem unendlich kleinen achsensenkrechten Ebenenstück der Dingseite ein entsprechendes auf der Bildseite zugeordnet ist.

Das Größenverhältnis beider ergibt sich, wenn  $\alpha$  und  $\beta$  die zugeordneten achsensenkrechten Strecken bedeuten, folgendermaßen:

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{CO'}{CO} = \frac{CS + SO'}{CS + SO} = \frac{s' - r}{s - r}.$$

Übernehmen wir von Seite 468 die Gleichung

$$\frac{n}{n'} = \frac{s(s' - r)}{s'(s - r)},$$

so folgt wegen

$$\frac{s' - r}{s - r} = \frac{n s'}{n' s}$$

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{n}{s} : \frac{n'}{s'}$$

Nach Seite 469 (1a) ist das aber

$$\beta : \alpha = A : B$$

und man erhält

$$\alpha A = \beta B \tag{2}$$

als Gleichung für die Größenbeziehung.

β) Die Brechung an zwei Kugelflächen.

Die Gleichungen für die Lagen- und Größenbeziehungen sind abgeleitet worden für den Fall einer einzigen brechenden Fläche, ferner befinden sich die Strahlen nach der Brechung und damit ihr Bild in einem anderen Mittel als vorher. Diese letzte Besonderheit treffen wir z. B. beim Auge an, das Bild liegt im Glaskörper. In der Regel ist sonst nicht nur eine einzige brechende Fläche wirksam, sondern mehrere hintereinander, und das Bild liegt schließlich

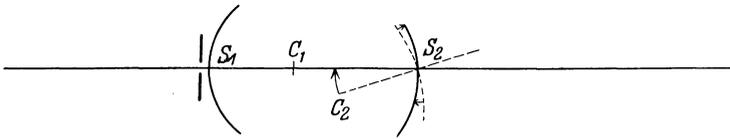


Abb. 17. Die Ausrichtung (Zentrierung) zweier brechender Kugelflächen und einer Blende. Optische Achse.

wieder im gleichen Mittel wie das Ding, in Luft. Halten wir an den GAUSSSISCHEN Bedingungen fest, so können wir dadurch zur Aussage über Lage und Größe des Bildes nach der Strahlenbrechung der letzten Fläche gelangen, daß wir die soeben abgeleitete Gleichung nacheinander auf die an der vorhergehenden Fläche gebrochenen Strahlen anwenden, das bildseitige Strahlenbündel einer Fläche als das dingsseitige für die folgende betrachtend. Beschränken wir uns zunächst auf zwei Flächen, die sich in einem endlichen Abstand folgen und ein optisch dichteres Mittel von Luft abgrenzen.

Bei der Brechung an einer einzigen Kugelfläche war die Wahl des Flächenlotes, längs dem die Abbildung stattfinden sollte, ganz dem Belieben freigestellt. Für die zweite Fläche ist das nicht mehr der Fall, wenn die GAUSSSISCHEN Bedingungen weiterhin gelten sollen. Wollte man die 2. Kugelfläche in beliebiger Anordnung hinter der ersten anbringen, in Abb. 17 gestrichelt, so wäre der Rahmen dieser Bedingungen überschritten, auch wenn man sich auf ein unendlich kleines Flächenstück beschränkte. Denn schon für den in der ausgewählten Nullrichtung laufenden Strahl wäre der Einfallswinkel an der 2. Fläche endlich groß,  $C_1S_2C_2$ . Verkleinert man diesen Winkel, indem man das Lot  $S_2C_2$  der Richtung  $S_2C_1S_1$  zudreht, bis er Null wird, so rückt der Krümmungsmittelpunkt  $C_2$  der zweiten Fläche auf den ausgewählten Halbmesser der ersten Fläche. Die Einhaltung der GAUSSSISCHEN Bedingungen bei der Brechung an mehreren Flächen schließt also die Forderung ein, daß ihre Krümmungsmittelpunkte auf einer Geraden liegen, daß die Flächenfolge *ausgerichtet (zentriert)* sei, einschließlich, das mag hier vorausgenommen werden, etwa vorhandener Blenden<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Diese Darstellung wurde unter der Annahme gegeben, daß die Wahl des Flächenlotes entlang dem ersten Strahl endgültig sein sollte. Dadurch wird die Möglichkeit offen gelassen, daß die betrachtete Fläche selbst schon ein Glied einer vorhergehenden Flächenfolge

Von der Wirkung zweier in einem endlichen Abstand voneinander stehenden brechenden Flächen gewinnt man am bequemsten eine Anschauung an Hand einer Zeichnung (Abb. 18). Wir haben drei Mittel, deren Brechzahlen  $n_1 n_2 n_3$  zunächst einmal derart verschieden angenommen seien, daß sie mit den zwei Kugelflächen  $S_1$  und  $S_2$ , in denen sie aneinander grenzen, eine sammelnde Wirkung ausüben. Ein von dem unendlich fernen Achsenpunkt  $O_1$  kommender Strahl wird an der Fläche 1 gebrochen und zielt nach  $O'_1 = F'_1$ . Der so gebrochene Strahl erfährt an der Fläche 2 eine weitere Brechung, meist, bevor er die Achse schneidet, nach dem Achsenpunkt  $O'_2 = (O'_{12} = F'_{12})$ . Dieser Punkt ist der zu  $O'_1 = O_2$  bezüglich der zweiten Fläche zugeordnete Bildpunkt  $O'_2$ . In bezug auf die Gesamtwirkung der beiden Flächen aber ist er als Bildpunkt  $O'_{12}$  dem unendlich fernen Dingpunkt ( $O_1 = O_{12}$ ) zugeordnet, und er ist daher der bildseitige Brennpunkt  $F'_{12}$  der Gesamtlinsenfolge  $S_1 S_2$ .

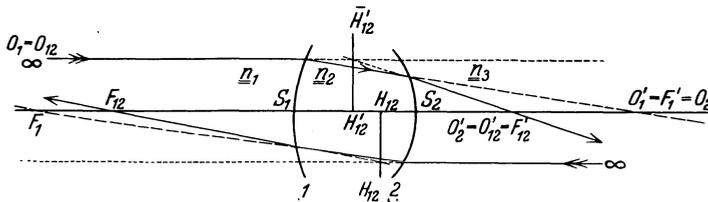


Abb. 18. Die Brechung an einer zweigliedrigen Flächenfolge. Brennweite. Hauptpunkte.

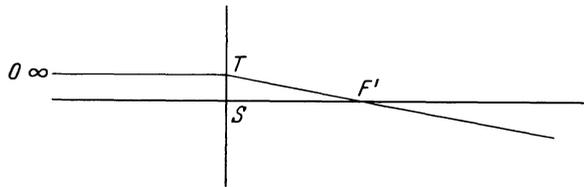


Abb. 19. Die Brennweite bei der Brechung an einer Einzelfläche im GAUSSISCHEN RAUM.

**Die Brennweite.** Welches ist ihre Brennweite? Ihr eines Ende  $F'_{12}$  ist bekannt. Wo ist ihr Anfang? Bei der einzelnen brechenden Fläche, die wir uns in der Zeichnung 19 als Gerade  $ST$  andeuten müssen, findet die Ablenkung in der Fläche statt, die bildseitige Brennweite ist  $SF'$ . Auch für die zweiteilige Folge ist die Frage eindeutig zu beantworten, wenn man als Ausgangspunkt der Brennweitenmessung wieder denjenigen Punkt maßgebend sein läßt, in dem sich die ursprüngliche Richtung des Strahles mit der Richtung schneidet, die er nach der letzten Brechung hat. W. VOLKMANN spricht von einem Knickpunkt. Eine achsensenkrechte Ebene durch diesen Punkt liefert die bildseitige Hauptebene  $\bar{H}'_{12} H'_{12}$  (Abb. 18). Auf ihrem Schnittpunkt mit der Achse liegt der bildseitige Hauptpunkt  $H'_{12}$ . Von diesem aus wird die bildseitige Brennweite  $H'_{12} F'_{12}$  gemessen (im Bild positiv; sammelnde Folge). Wohlverstanden gehören diese letzten Punkt-lagen, Schnitt- und Brennweiten dem letzten, nach Voraussetzung von Luft verschiedenen, brechenden Mittel an. Führt man die Brennweite auf Luft

ist oder noch eine weitere Fläche nachfolgt. Handelt es sich tatsächlich nur um zwei Flächen, so wäre keine Umlagerung der zweiten Fläche mit Bezug auf die erste nötig, was ja bei der Linsenherstellung auf eine neue Bearbeitung und die Herstellung einer neuen Fläche hinausläufe. Vielmehr genügt alsdann eine solche Schwenkung des ganzen Stückes um den Krümmungsmittelpunkt der ersten Fläche, daß die Verbindungsgerade der beiden Krümmungsmittelpunkte an die Stelle des zuerst ausgewählten Flächenlotes tritt. Grundsätzlich läßt sich eine von zwei Kugelflächen gebildete Linse eben immer zentrieren, wenn (bei sammelnder Wirkung) ihre Mitteldicke groß genug gewählt ist.

zurück, so wird sie kürzer, und zwar durch Verlagerung ihrer *beiden* Endpunkte, sowohl des Brennpunktes  $F'_{12}$  (nach links), als auch des zugehörigen Hauptpunktes  $H'_{12}$  (nach rechts). Das zeigt ein Blick auf die Zeichnung Abb. 20 ohne weiteres. In der oberen Hälfte sind die Verhältnisse der Abb. 18 noch einmal eingetragen. Die Achse ist nun zu sich parallel nach unten verschoben, und in der unteren Hälfte, symmetrisch zur oberen, sind die Flächen samt dem Strahlengang bis zur 2. Fläche wiederholt. Dann aber ist die Rückführung auf Luft vorgenommen. Die Neigung wächst, und es bleibt als Drehpunkt des Strahles nur sein Einfallspunkt in der 2. Fläche bestehen. Ihr Schnittpunkt mit der Achse rückt daher also um die, im Zwischenraum der beiden Achsen angegebene Pfeillänge nach links, zugleich aber auch der Schnittpunkt seiner Verlängerung mit der des ursprünglichen achsenparallelen dingseitigen Strahls um die wiederum angegebene Pfeillänge nach rechts. Die beiden Brennweiten, die dem Mittel  $n_3$  zugehörige  $H'_{12}F'_{12}$  und ihr Luftwert  $\mathcal{X}'_{12}F'_{12}$  sind durch eine starke Gerade jeweils auf der zugehörigen Achse hervorgehoben.

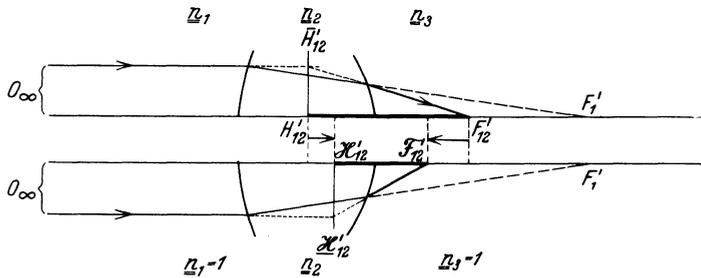


Abb. 20. Die Rückführung der Brennweite einer zweigliedrigen Folge mit verschiedenen brechenden Mitteln auf Luft. Die dabei erfolgende Haupt- und Brennpunktverschiebung.

Will man also eine Flächenfolge durchrechnen, so vergesse man nicht, daß sich nicht nur der Brennpunkt, sondern auch der Hauptpunkt verschiebt, wenn man an eine gegebene Fläche ein dichteres Mittel als Luft fügt. Dieses alles ergibt sich natürlich streng zahlenmäßig aus der Formelbewertung (s. u. S. 478). Will man sich die Wirkung der soeben betrachteten Flächenfolge ersetzt denken durch die einer Einzelfläche, so müßte sie an der Stelle  $\mathcal{X}'_{12}$  stehen, sammelnde Wirkung und die gleiche Luftbrennweite haben.

Denkt man sich jetzt das Licht einen Augenblick von rechts nach links laufend (s. Abb. 18 unten), so kann man für einen rechts von der Flächenfolge im Unendlichen liegenden Achsenpunkt und einen von ihm ausgehenden paraxialen Strahl die gleiche Überlegung durchführen. Hierbei gelangt man auf einen anderen Hauptpunkt  $H_{12}$  und einen anderen Achsenschnittpunkt  $F_{12}$ , die *dingseitigen Grundpunkte* der Folge.

Auch hier ist auf die Rückführung der dingseitigen Brennweite auf Luft zu achten. Will man sich die Wirkung der Flächenfolge auf den von rechts herkommenden achsenparallelen Strahl ebenfalls ersetzt denken durch eine Einzelfläche, so müßte sie an die Stelle  $H_{12}$  gebracht werden und die gleiche Luftbrennweite  $H_{12}F_{12}$  haben.

Ist so der Strahlenweg bekannt, so kann man zur ursprünglichen von links nach rechts verlaufenden Lichtrichtung zurückkehren; man läßt den Lichtstrahl von  $F_{12}$  ausgehen, in seiner Bahn von links nach rechts die beiden Flächen durchsetzen und achsenparallel nach rechts austreten.  $F_{12}$  ist also der dingseitige Brennpunkt der Flächenfolge.

**Die Linse in Luft.** Sind die Brechzahlen des ersten und des letzten Mittels  $n_1 = n_3 = 1$ , und ist die des mittleren  $n_2 > 1$ , so haben wir eine Linse in Luft

vor uns. Ihre bildseitigen und dingseitigen Brennweiten sind ohne weiteres gleich. (Wegen der Verschiedenheit der ding- und der bildseitigen Brennweite s. oben S. 470, 475.)

Eine dünne Linse hat nach S. 478, wenn in (4) das  $\delta = 0$  gesetzt wird, die Brechkraft  $D = D_1 + D_2 = \frac{n_2 - n_1}{r_1} + \frac{n_3 - n_2}{r_2}$ .

Ist wie bei einer Linse in Luft  $n_1 = n_3 = 1$ , so mag statt  $n_2$  stehen  $n$ , und man hat  $D = \frac{n-1}{r_1} + \frac{1-n}{r_2}$ . Multipliziert man das zweite Glied in Zähler und Nenner mit  $-1$ , so ist

$$D = \frac{n-1}{r_1} - \frac{n-1}{r_2} = (n-1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right). \quad (3)$$

Bezeichnet man den Klammerfaktor mit  $K$ , so ergibt sich:  $D = (n-1) K$ .

Berücksichtigt man jetzt *Licht verschiedener Wellenlänge*, etwa die Linien C D F (s. S. 463), so hat man verschiedene Brechzahlen  $n_C$ ,  $n_D$ ,  $n_F$ , und für sie entsprechend verschiedene Brechkraften der gleichen Linse, nämlich  $D_D = (n_D - 1) K$  usw. Der größte Unterschied besteht hier zwischen Rot und Blau, danach  $D_F - D_C = (n_F - 1) K - (n_C - 1) K = (n_F - n_C) K$ . Ersetzt man hierin  $K$  nach der vorigen Gleichung, so ist der Brechkraftunterschied zwischen Blau und Rot

$$D_F - D_C = (n_F - n_C) \frac{D_D}{n_D - 1} = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1} D_D.$$

$$D_F - D_C = \frac{1}{\nu} \cdot D_D,$$

worin  $1/\nu =$  Farbenzerstreuungsvermögen (s. S. 463).

Ein Starglas von  $+10$  dptr war angefertigt aus dem auf S. 463 angegebenen Glas 4. Es wird danach einen Brechkraftunterschied für die beiden Farben Rot und Blau im Betrag von  $\frac{10}{59,5}$  dptr =  $0,168$  dptr aufweisen. Die gleich starke Linse aus Flintglas 6 mit seinem hohen Zerstreungsvermögen zeigt natürlich einen größeren Unterschied, nämlich einen von  $\frac{10 \text{ dptr}}{36,2} = 0,276$  dptr.

Die Aufgabe, eine Linse von diesem Farbfehler zu befreien, so daß  $D_F = D_C$  ist, kann in bekannter Weise mit Hilfe zweier Linsen aus zwei Glasarten mit verschiedenem Farbenzerstreuungsvermögen erfolgen. Diese Linsen seien wiederum als dünn angenommen, und ihre einander zugewandten Scheitel sollen sich berühren. Die Brechkraften sind folgende:

$$D_I = n_I \left( \frac{1}{r_I} - \frac{1}{r_{II}} \right);$$

$$D_{II} = n_{II} \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right).$$

Die Gesamtwirkung für das Licht der Natriumlinie ist dann  $D = D_I + D_{II}$ . Der Unterschied der Brechkraften für das genannte Rot und Violett ergibt sich genau wie oben:  $D_F - D_C = D_{IF} - D_{IC} + D_{IIF} - D_{IIC} = \frac{D_I}{\nu_I} + \frac{D_{II}}{\nu_{II}}$ . Diese Summe soll den Wert Null erhalten. Also gilt

$$D_I = -\frac{\nu_I}{\nu_{II}} D_{II}; \quad D_{II} = -\frac{\nu_{II}}{\nu_I} D_I.$$

$$D = D_I - \frac{\nu_{II}}{\nu_I} \cdot D_I = D_I \frac{\nu_I - \nu_{II}}{\nu_I} \quad \text{und} \quad D_I = D \frac{\nu_I}{\nu_I - \nu_{II}};$$

ganz entsprechend erhält man:  $D_{II} = D \frac{\nu_{II}}{\nu_{II} - \nu_I}$ .

Um die bequeme Anwendung dieser Formeln zu zeigen, sei die Aufgabe gestellt, aus den oben ausgeführten Glasarten

$$\begin{aligned} 4: n_D &= 1,5230; \nu = 59,5, \\ 6: n_D &= 1,6202; \nu = 36,2 \end{aligned}$$

eine verkittete, farblose Starlinse von 11 dptr mit Kron voraus und ebener Endfläche zu berechnen.

Da  $\nu_I - \nu_{II} = 59,5 - 36,2 = 23,3$  gilt, so ist  $D_I = \frac{59,5}{23,3} \cdot 11 \text{ dptr} = 28,1 \text{ dptr}$ ;  $D_{II} = \frac{36,2}{23,3} \cdot 11 \text{ dptr} = -17,1 \text{ dptr}$ .  $K_I = \frac{28,1}{0,523} = 53,8 \text{ dptr}$ ;  $K_{II} = \frac{-17,1}{0,6202} = -27,6 \text{ dptr}$ .

Läßt man die Tatsache der Verkittung  $r_2 = r_3$  und der ebenen Endfläche  $r_4 = \infty$  heraustreten, so ist

$$K_I = \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}; \quad K_{II} = \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}$$

$$\frac{1}{r_2} = -27,6 \text{ dptr}; \quad r_2 = -0,0363 \text{ m} = -36,3 \text{ mm} \quad \left( \begin{array}{c} 38,1 \\ 4 \\ 6 \end{array} \right) \begin{array}{c} \infty \\ \underline{\underline{6}} \\ \underline{\underline{6}} \end{array}$$

$$K_I = \frac{1}{r_1} + 27,6 \text{ dptr} = 53,8 \text{ dptr}; \quad \frac{1}{r_1} = 26,2 \text{ dptr}; \quad r_1 = 38,1 \text{ mm}.$$

Tatsächlich ist auch

$$D = (n_I - 1) K_I + (n_{II} - 1) K_{II} = (0,523 \times 53,8 - 0,6202 \times 27,6) \text{ dptr} = (28,1 - 17,1) \text{ dptr} = 11 \text{ dptr}.$$

### γ) Die mehrteiligen Flächenfolgen.

Für die Wirkung einer solchen zweiteiligen und auch mehrteiligen Folge läßt sich genau das gleiche Formelpaar ableiten wie oben für eine Einzelfläche. Die darin enthaltenen Größen sind mit der Flächenfolge in genaue Beziehung zu bringen. Es ist zunächst nötig, aus den Bestimmungsstücken der Flächenfolge, hier einer Linse, d. h. aus den Krümmungshalbmessern der Flächen, ihrem gegenseitigen Abstand und den Brechzahlen des eingeschlossenen zweiten Mittels die Gesamtbrechkraft und die Lagen der Grundpunkte zu bestimmen. Diese Angabe gewinnen wir mit Hilfe der GULLSTRANDSchen Formeln, die sich auf ganz einfache Weise auf verschiedenen Wegen herleiten lassen (H. BOEGEHOLD [c], A. BRÜCKNER, H. ERGGELET [a], A. GULLSTRAND [l, m], M. VON ROHR [k]).

Die Brechkraft einer Folge aus zwei Gliedern ist (GULLSTRAND [m, 52])

$$D_{12} = D_1 + D_2 - \delta D_1 D_2. \tag{4}$$

Der Abstand des bildseitigen Hauptpunktes  $H'_{12}$  einer Linse vom hinteren Linsenscheitel ist  $h'_{12} = -\frac{\delta D_1}{D_{12}}$  (bildseitiger Hauptpunktverschub) (5), der des dingseitigen Hauptpunktes  $H_{12}$  vom vorderen Linsenscheitel  $h_{12} = \frac{\delta D_2}{D_{12}}$  (dingseitiger Hauptpunktverschub) (6).  $D_1, D_2 =$  Brechkraft der ersten, zweiten Fläche,  $\delta$  der durch Teilung mit der Brechzahl des zweiten Mittels auf Luftlänge gebrachte Scheitelabstand der brechenden Flächen,  $\delta = \left(\frac{d}{n}\right)$ . Alle Größen der Formel (3) sind also Luftwerte.

Ebenso wie aus Einzelflächen kann eine Folge auch aus Linsen aufgebaut werden. Dann erhalten  $D_1$  und  $D_2$  die Bedeutung der einzelnen Linsenbrechkräfte.  $\delta = \frac{d}{n}$  bezieht sich auf den Abstand des ersten Hauptpunktes der zweiten Linse vom zweiten Hauptpunkt der ersten. Hat man es mit drei brechenden Flächen zu tun, so kann man zwei benachbarte Werte in der soeben angegebenen Weise

zusammenfassen und dann diese mit der letzten wieder als zweigliedrige Folge. Die Einführung der dritten Fläche (s. Abb. 21) verlangt also zunächst die Bestimmung des Abstandes des Scheitels der dritten Fläche vom zweiten Hauptpunkt der vorhergehenden zweigliedrigen Verbindung. Nämlich

$$\begin{aligned} H'_{12} S_3 &= H'_{12} S_2 + S_2 S_3, \\ \delta_{12} &= -h'_{12} + \delta_2, \\ \delta_{12} &= -h'_{12} + \frac{d_2}{n_3} = \frac{d_2}{n_3} + \frac{\delta_1 D_1}{D_{12}}. \end{aligned}$$

Jetzt kann die Brechkraft der dreigliedrigen Folge nach  $D_{13} = D_{12} + D_3 - \delta_{12} D_{12} D_3$  berechnet werden und dann die Hauptpunktverschiebe

$$h_{13} = \frac{\delta_{12} D_3}{D_{13}} \text{ bzw. } h'_{13} = -\frac{\delta_{12} D_{12}}{D_{13}}.$$

Läßt man die Dicke zu Null werden, so verschwindet in der allgemeinen Formel das dritte Glied auf der rechten Seite ( $-\delta D_1 D_2$ ), und die Brechkraft der Folge wird gleich der Summe der einzelnen Flächen bzw. Glieder. Die Hauptpunkte fallen in einen Punkt zusammen, wie sie sich bei der Einzelfläche im Flächenscheitel treffen.

Am ehesten können Zerstreuungslinsen diesem Zustand wirklich nahe kommen. Sammellinsen haben fast immer eine endliche Dicke, zumal bei großer Stärke, die meist durch die starke Flächenwölbung und nur selten durch eine hohe Brechzahl des Glases erzielt wird (s. Brillenlehre).

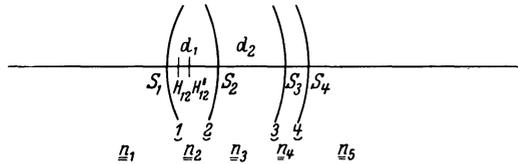


Abb. 21. Die Verbindung einer durch ihre Grundpunkte vertretenen Folge mit einer weiteren brechenden Fläche oder Folge.

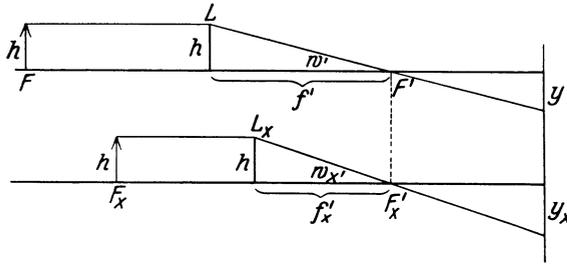
**Beziehung auf ein beliebiges Paar zugeordneter (konjugierter) Punkte.** Mit den bisher abgeleiteten Formeln  $B = A + D$  und  $\alpha \cdot A = \beta \cdot B$  haben wir stillschweigend die Beziehung der Abbildung auf ein besonderes Punktepaar, die Hauptpunkte, gewählt, nämlich die Beziehung gerade auf das Paar einander als Ding und Bild zugeordneter Punkte, in denen das Vergrößerungsverhältnis  $+ 1$  herrscht. Der allgemeine Fall, nämlich die Beziehung auf ein beliebiges Paar zugeordneter Punkte sei aber wenigstens hier erwähnt. Für ihn gilt die Formel (GULLSTRAND, s. 25):

$$A_1 = B_1 K_0 k \text{ und } B_1 K_0^2 = A_1 + D K_0. \tag{7 und 8}$$

Diese Beziehung wird wichtig, weil die Messung von den Hauptpunkten aus nicht mehr möglich ist, wenn diese wie beim Fernrohr im Unendlichen liegen. Dann mißt man von den Pupillen aus, was sich auch als nötig erweist, wenn man Punkte außerhalb der Einstellungsebene untersucht, wie beim undeutlichen Sehen.  $K_0$  ( $k$ ) ist das Vergrößerungsverhältnis in den beiden als Bezugspunkte gewählten zugeordneten Punkten (in den beiden untersuchten Ding- und Bildpunkten). Für  $K_0 = 1$  gehen die Formeln über in die bekannten  $B = A + D$  und  $k = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{A}{B}$  (GULLSTRAND, s. 27).

**Vergrößerungswirkung und Dioptrie.** Mit Hilfe der Vergrößerungswirkung kann man zu einer *Erklärung der Dioptrie* gelangen, die manchem Lernenden vielleicht eine Erleichterung bietet und sich auch auf dem Schirm vorführen läßt. Man denke sich, man entwerfe mit einer Sammellinse, in deren Brennpunkt eine kleine Strecke, etwa ein Maßstabstück  $h$ , aufgestellt ist, ein fernes

Bild. Es erscheint unter dem Winkel  $w'$  (Abb. 22)  $\text{tg } w' = \frac{h}{f'}$ . Eine andere fremde Linse soll mit dieser hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit verglichen werden. Unter der gleichen Bedingung liefert sie das Bild des gleichen Maßstabes unter dem Winkel  $w'_x$ ;  $\text{tg } w'_x = \frac{h}{f'_x}$ . Die Vergrößerungsleistungen  $L$  und  $L_x$  beider verhalten sich wie die scheinbaren Bildgrößen oder die Winkeltangenten



$$\frac{L_x}{L} = \frac{\text{tg } w'_x}{\text{tg } w'} = \frac{h}{f'_x} \cdot \frac{f'}{h} = \frac{f'}{f'_x}$$

Soll die erste Linse  $L$  (die etwa dauernd zur Verfügung stehe) als Vergleichsgerät die Leistung = 1 besitzen, so wird

$$\frac{L_x}{1} = L_x = \frac{f'}{f'_x}$$

Abb. 22. Zum Begriff der Dioptrie. Erklärung durch den Vergleich der Vergrößerungsleistung zweier (Sammelgläser) Lupen.

Besitzt also die Linse  $L$  eine Brennweite von  $f' = 10$  cm, während  $f'_x = 7,5$  cm gilt, so wird

$$L_x = \frac{10}{7,5} = 1,33 \text{ Einheiten.}$$

Nach NAGELS und MONOYERS Vorgang ist aber auch die Einheit der Konvergenz mit dem Metermaß in Einklang gebracht worden, und man hat als Einheit die Brennweite von 1 m gewählt. Mit dieser Brennweite ist die Linse  $L_x$  zu vergleichen, und man hat  $\frac{f'}{f'_x} = \frac{1 \text{ m}}{0,075 \text{ m}} = 13,3$ . Die Stärke  $D_x$  der Linse  $L_x$  von 0,075 m Brennweite ist 13,3 mal so groß als die der Einheitslinse von 1 m Brennweite. Die Einheit heißt *Dioptrie* (dptr, s. S. 471 Anm.). Die untersuchte Linse  $L_x$  hat eine Brechkraft  $D_x$  von 13,3 dptr.

**Andere wichtige Formeln.** Ist die Rechnung mit Konvergenzen und die Hauptpunktsformel für viele Fälle außerordentlich bequem, so kann gelegentlich die unmittelbare Kenntnis von Strecken erwünscht sein. Dann ist die *Brennpunktsformel von NEWTON*  $ll' = ff'$  sehr nützlich (9). Statt von den Hauptpunkten werden die Ding- (Bild-) Weiten von den zugehörigen Brennpunkten aus gemessen. Z. B. kann man damit die Verschiebung des Einstellpunktes bei Änderung der Augenlänge bequem überblicken.

Für gewisse Aufgaben sei schließlich auch die *HUYGENS-HELMHOLTZISCHE Formel*  $nyu = n'y'u'$  erwähnt (10). Darin bedeuten  $nn'$  die Brechzahl des ersten und letzten Mittels,  $yy'$  Ding- (Bild-) Größe und  $uu'$  den Öffnungswinkel im Ding- (Bild-) Raum. Vgl. H. BOEGEHOLD (c), HESS, M. v. ROHR (k).

#### δ) Das Zeichenverfahren.

Statt mit Hilfe der Nullstrahlenrechnung kann man sich auch durch ein Zeichenverfahren nach J. B. LISTING über die Lage und Größenbeziehung zwischen Ding und Bild wie über Strahlenrichtungen Auskunft verschaffen (Abb. 23). Doch sei nicht versäumt ausdrücklich zu betonen, daß auch mit ihrem Ergebnis der GAUSSISCHE Raum nicht überschritten wird, daß es sich um eine rein geometrische Aufgabenlösung handelt, bei der man sich die der Erzeichnung bequemen Strahlen aussucht, Strahlen, wie sie in Wirklichkeit meist gar nicht in die brechende Fläche eintreten. Dabei werden Flächenfolgen

zeichnerisch durch eine Hauptebene und ein Brennpunktspaar ersetzt, statt daß man die Abbildungen an den einzelnen Flächen nacheinander abmacht. Kurz ausgedrückt macht man eine quer zur Achse überhöhte Zeichnung. Das Ganze beruht auf der Regel, daß zur Achse gleichgerichtete Strahlen nach der Brechung an der oder den ausgerichteten Flächen den bildseitigen Brennpunkt durchsetzen und die aus dem dingseitigen Brennpunkt nach der Brechung

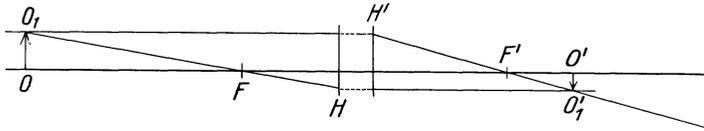


Abb. 23. Die Bildfindung mit dem Zeichenverfahren nach J. B. LISTING.

achsenparallel weiter fahren. Handelt es sich um Folgen, deren Hauptebenen nicht zusammenfallen, so beachte man, daß die Bilder in den Hauptebenen gleich groß und gleichgerichtet sind, dementsprechend auch die Durchstoßungspunkte irgendwelcher Strahlen in ihnen in gleicher Höhe liegen. Schließlich kann es nützlich sein zu wissen, daß die Hauptpunkte in beiderseits an Luft

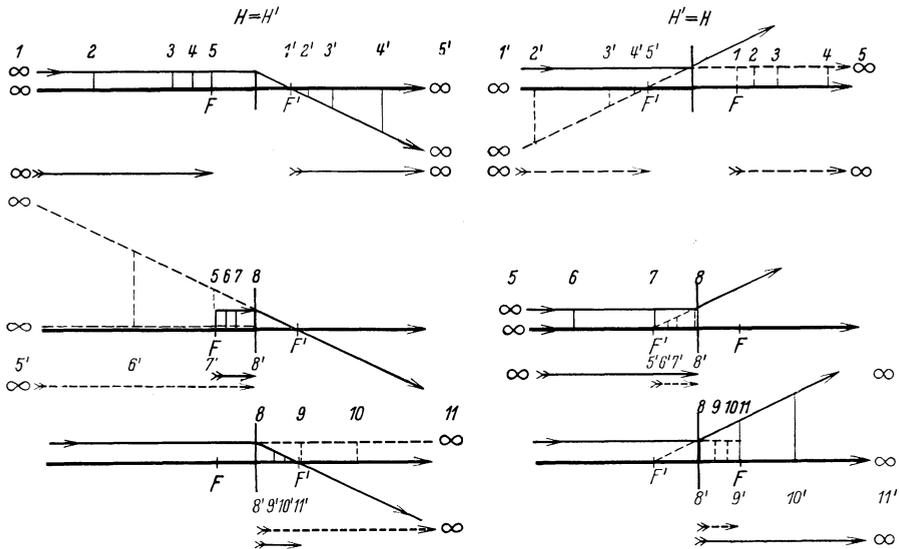


Abb. 24. Die Lagen- und Größenbeziehung von Ding und Bild bei sammelnden (links) und zerstreuen Folgen (rechts) für die Wanderung eines Gegenstandes (blau 1–11) und des Bildes (rot 1' bis 11') von  $-\infty$  bis  $+\infty$  dargestellt mit dem LISTING'schen Verfahren. Ding-(Bild-)Raum: blau (rot). Reelle (virtuelle) Strahlen; Dinge; Bilder: ausgezogene (gestrichelte) Linien. Die zwei Pfeile unter jeder Zeichnung zeigen den vom Ding bzw. seinem Bild durchlaufenen Weg an.

grenzenden Folgen Knotenpunkteigenschaften haben, d. h. Strahlen, die nach dem einen Hauptpunkt zielen, den anderen mit der gleichen Neigung durchfahren.

Mit diesem Zeichenverfahren kann man sich auch bequem Rechenschaft über die Lagen- und Größenbeziehung zwischen Ding- und Bildraum geben, sowie über die Leistung der Linsen. Aus der Abb. 24 ist auch die nicht näher berührte Abhängigkeit zu übersehen, in der die Achsenlängen zugeordneter Gebiete im Ding- und Bildraum stehen (Longitudinalvergrößerung).

Ferner ist durch die Pfeile entlang der Achse darauf aufmerksam gemacht, daß einer Verschiebung des Dinges eine gleichsinnige des Bildes entspricht (*Rechtläufigkeit der Abbildung*).

ε) Die Strahlenbegrenzung und Strahlungsvermittlung.

**Die Eintritts- und die Austrittspupille.** Im vorigen wurde, wenn auch unter erheblich einschränkenden Bedingungen von einer Abbildung gesprochen und auf Fehler der Strahlenvereinigung hingedeutet, die auftreten, wenn man sich den Bedingungen der Wirklichkeit auch nur nähert. Es erhellt, daß es im all-

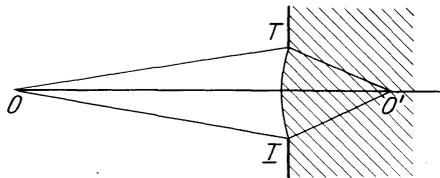


Abb. 25. Die Strahlenbegrenzung durch den Flächenrand.

gemeinen gar kein Bild gibt, in dessen einzelnen Punkten sich sämtliche von dem entsprechenden Dingpunkt ausgehenden Strahlenbündel wieder vereinigen. Auch werden die Strahlenbündel nicht immer nur gerade am vorgeschriebenen Ort aufgefangen werden. Es ist also nötig, die Lichtverteilung auf dem Schirm an verschiedenen Stellen nach der Brechung zu

betrachten. Hierbei spielt aber die Strahlenbegrenzung die maßgebende Rolle, und man gelangt zur Untersuchung der Projektion an Stelle der Abbildung, bzw. es treten Zerstreungskreise an die Stelle der Bildpunkte.

Die Lehre von der Strahlenbegrenzung ist, abgesehen von gelegentlichen Beobachtungen, wie dem Versuch CH. SCHEINERS, bei dem er die Pupille durch zwei oder mehrere Blendenöffnungen ersetzte, grundsätzlich von E. ABBE auf-

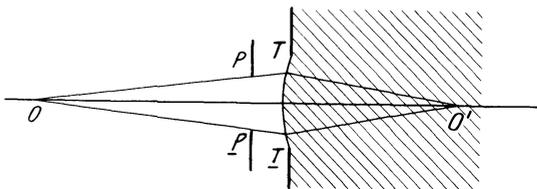


Abb. 26. Die Strahlenbegrenzung durch eine Vorderblende PP.

gebaut worden und hat durch M. VON ROHR (p) Erweiterungen erfahren. Auf seine ganz einfache, aber umfassende Darstellung sei hiermit verwiesen (m, w, y).

Jedes optische Gerät besitzt eine Blende, da, wenn andere Blenden nicht vorhanden sind, mindestens die bre-

chende Fläche oder Linse ihre endliche Begrenzung hat, durch die auch notwendig das eintretende oder austretende Bündel begrenzt wird. Wenn in Abb. 25  $OO'$  Ding und Bild sind, so hat das eintretende Bündel den Öffnungswinkel  $TOT = 2u$ , das austretende die Öffnungswinkel  $TO'T = 2u'$ .  $TT$  ist Öffnungsblende (und zugleich Ein- und Austrittspupille, s. u.).

Liegt eine Blende  $PP$  vor der brechenden Fläche (in der Lichtrichtung gerechnet, s. Abb. 26) und erscheint sie vom Dingpunkt  $O$  aus unter einem kleineren Winkel als der Flächenrand  $TT$ , so begrenzt  $PP$  das eintretende Bündel.  $PP$  ist jetzt Öffnungsblende. Liegt die Blende *hinter* der brechenden Fläche im Mittel  $n'$  (Abb. 27 obere Hälfte), — wir bezeichnen sie deshalb mit  $P'$  — so ist sie von  $O$  aus gar nicht unmittelbar zu sehen, sondern nur ihr in rückkehrender Strahlrichtung im Mittel  $n$  entworfenes Bild. Dieses Bild  $P$ , die *scheinbare Blende*, wirkt im Dingraum wie eine wirkliche Blende und begrenzt das eintretende Bündel. Dieses nicht auffangbare (virtuelle) Bild  $PP$  bei  $P$  (das  $P$  ist nicht gezeichnet) ist die Eintrittspupille als die dem Dingpunkt am kleinsten erscheinende Öffnung (untere Hälfte der Abb. 27). Wollte man, da doch die große brechende Fläche von  $O$  aus zunächst frei zugänglich ist,

einmal ein Bündel mit der Öffnung  $TOO'$  eintreten lassen, so würde es in voller Ausdehnung anlangen und jeder Strahl nach Voraussetzung in der Richtung auf  $O'$  gebrochen. In der Ebene  $P'$  stößt aber ein großer Teil der Strahlen in den Seitenteilen des Bündels gegen die Blende  $P'$  an und wird zurückgehalten. Man ist indessen von vornherein über die Bündelöffnung unterrichtet, wenn man sich die Blenden in den Dingraum abbildet. Daß diesem Blendenbild die Rolle einer strahlenbegrenzenden Blende im Dingraum zukommt, versteht man leicht, wenn man daran denkt, daß ein Beobachter in  $O$  die hinter der brechenden Fläche  $TT$  in  $n'$  liegende Blende gar nicht sehen kann, sondern nur ihr von der brechenden Fläche entworfenes Bild. Er sieht in der Richtung  $OP$  (untere Bildhälfte Abb. 27) den Öffnungsrand  $P$ .

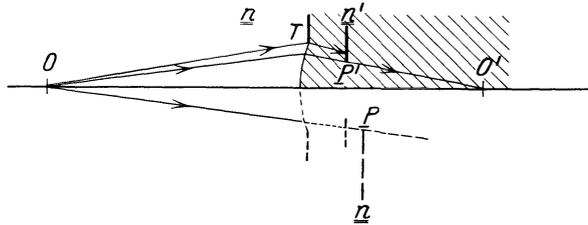


Abb. 27. Die Strahlenbegrenzung durch eine Hinterblende  $P'$ .

Diese Verhältnisse entsprechen durchaus denen an unserem Auge, bei dem hinter der Hornhaut im Kammerwasser die Regenbogenhaut mit ihrem Loch als Blende folgt. Der Betrachter sieht nicht die Regenbogenhaut mit ihrem Loch, sondern das Bild der Regenbogenhaut, entworfen von der an das Kammerwasser grenzenden Hornhaut, und dieses virtuelle Bild nennen wir *Pupille*. Da es mit rückkehrendem Licht im Außenraum, in Luft, entworfen ist, so gehört es dem Gegenstandsraum an. Die von außen sichtbare Pupille ist also eigentlich virtuelles Ding für die ganze Flächenfolge des Auges. Bei seiner Abbildung durch diese mit auffallendem Licht entsteht ein Bild  $P'$  im letzten Mittel. Dort wirkt es seinerseits ebenso als Begrenzung des austretenden Bündels wie oben geschildert. Haben wir es mit einem linsenlosen

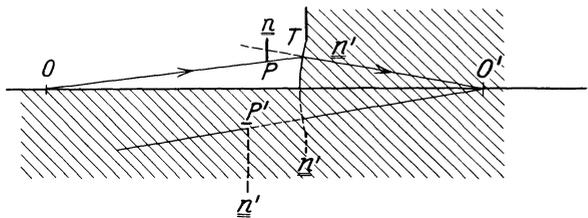


Abb. 28. Das Bild  $P'$  einer Vorderblende  $P$  als Austrittspupille.

Auge zu tun, bei dem wir uns die Hornhaut als eine einzelne brechende Fläche denken können, so fällt die Abbildung endgültig mit dem Regenbogenhautloch selbst zusammen. Hinter ihr folgt ja keine brechende Fläche mehr. [(Wir haben den Fall einer Hinterblende, s. o. Abb. 27). Bei einem Vollauge aber liegt hinter der Regenbogenhaut noch die Linse. Für sie allein wäre die Regenbogenhaut als Vorderblende zu behandeln. Sie würde ähnlich wie in Abb. 28 nur ein engeres Bündel durchtreten lassen, als es der Umfang der Linse selbst zu fassen imstande wäre. Das austretende Bündel würde durch das Bild der Blende  $P'$  im Bildraum  $n'$  für einen dort etwa bei  $O'$  zu denkenden Beobachter begrenzt, wie es in der unteren Hälfte der Zeichnung (Abb. 28) angedeutet worden ist.

Die beiden Fälle einer brechenden Fläche mit Hinterblende und einer Linse mit Vorderblende geben ohne weiteres aneinandergesetzt die Verhältnisse des Vollauges wieder. Wir haben eine Flächenfolge mit einer Mittelblende, die weder vom Dingraum noch vom Bildraum unmittelbar zugänglich ist. Das eintretende Bündel wird von der „Pupille“  $P$  begrenzt, die der Optiker Eintrittspupille, das austretende vom Pupillenbild  $P'$ , das der Optiker Austrittspupille

nennt. Sind beide, die Eintritts- und Austrittspupille, zugänglich, so könnte man an den Ort dieser Bilder wirkliche Blechblenden setzen und die Mittelblende weglassen, im Strahlengang wird dadurch nichts verändert.

Voraussetzung bei unserer Überlegung war, daß keine *sphärische Aberration* besteht (s. u.). Denn nur dann ist der hier vereinfacht vorausgesetzte Strahlengang umkehrbar, und der Punkt O entspricht eindeutig dem Punkt O' und umgekehrt. Wenn aber sphärische Aberration vorhanden ist, so kann es sein, daß eine Blende im Dingraum Strahlen ausschließt, die auf der Bildseite nicht am Rand des Bündels laufen, sondern irgendwo unter geringerer Neigung als die anderen im Inneren des Bündels ihren Weg haben. Sie fehlen dann an diesen Stellen, und das verursacht eine Verdunkelung im Inneren des Lichtbündelquerschnittes. Diese Verhältnisse sieht man gelegentlich beim Bildwurf [Projektion] auf dem Schirm. Sie spielen aber für das Auge eine große Rolle bei der Schattenprobe, die ja optisch nichts anderes ist als eine Aufgabe der Strahlenbegrenzung. Hinsichtlich der Brille und ähnlicher Geräte s. u. S. 779.

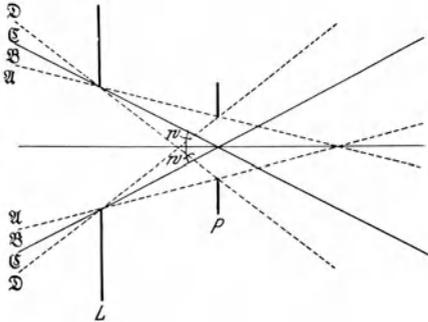


Abb. 29. Zwei Blenden, die Eintrittspupille P und die Eintrittsluke L, grenzen im Dingraum vier Gebiete A, B, C, D ab, von denen aus Strahlenbündel mit voller Öffnung (A), mit geringerer bis zu halber (B), von halber und geringerer Öffnung (C) oder überhaupt nicht in die Folge eintreten. (Nach M. v. ROHR.)

Sind mehrere Blendenöffnungen vorhanden, so ist die vom Dingpunkt aus unter dem kleinsten Winkel erscheinende die Öffnungsblende, die Pupille. Sie bestimmt die eintretende Lichtmenge.

Bestimmt man von der *Mitte* der *Eintrittspupille* aus die scheinbare Größe aller übrigen scheinbaren Blenden, so nennt man die unter dem kleinsten Winkel erscheinende die *Eintrittsluke* und

diesen Winkel den *Gesichtsfeldwinkel*. Der Eintrittsluke entspricht irgendwo eine greifbare Blende, die *Gesichtsfeldblende*, und auf der Bildseite die *Austrittsluke*. Sie erscheint von der Mitte der Austrittspupille unter dem *scheinbaren Gesichtsfeldwinkel*. Die Eintrittsluke grenzt mit der Eintrittspupille zusammen im Dingraum vier Gebiete voneinander ab, von denen aus Strahlenbündel mit voller, mit geringerer bis zu halber, mit kleinerer als halber Öffnung und schließlich überhaupt nicht mehr eintreten. Das ist aus dem ROHRschen Bild (Abb. 29) leicht zu erkennen.

Die in die brechende Folge eintretende Lichtmenge, die Anzahl der vom eingestellten Achsenpunkt ausgehenden und in die Eintrittspupille eintretenden Strahlen, ist im LAMBERTSchen Gesetz durch  $\sin^2 u$  gegeben.  $u$  ist die halbe scheinbare Größe der Eintrittspupille vom Ding-Achsenpunkt aus, wenn der Dingraum in der Luft liegt. Damit ist also die relative Lichtstärke der Folge bestimmt.

Doch erleidet die Leuchtkraft der diese Kegel aufbauenden Strahlen regelmäßig noch dadurch Verluste, daß Licht an den brechenden Flächen gespiegelt und in den brechenden Mitteln verschluckt wird. So ist die absolute Lichtstärke, von der die Helligkeit des Bildes bestimmt wird, kleiner als die relative.

Wenn man von ungewöhnlich großen Einfallswinkeln (über 45—50°) absehen darf, so kann man den Verlust durch die Spiegelung mit Hilfe der für Einfallswinkel  $i = i' = 0$  geltenden Formel angeben  $I_1 = \left(\frac{n - n_1}{n + n_1}\right)^2 I$ . Darin ist I die Stärke des

einstrahlenden Lichtes,  $I_1$  die des zurückgeworfenen Anteils,  $n$ ,  $n_1$  sind die Brechzahlen der in der Fläche aneinander grenzenden brechenden Mittel. Für freie, an Luft grenzende Flächen ist  $I_1 = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 I$ . Handelt es sich um Glas von der Brechzahl  $n = 1,52$ , so ergibt sich (s. a. S. 461) der Verlust zu  $I_1 = 0,042 I$ . An den zwei Flächen einer dünnen Linse beläuft sich die Einbuße infolge der zweimal eintretenden Spiegelung auf  $8\frac{1}{3}\%$ . Für die Hornhaut mit  $N = 1,376$  wird  $I_1 = 0,025 I$  (s. v. ROHR [b]).

**Der Entwurf oder das Abbild.** Wenn Strahlen bei der Abbildung eines Punktes als Punkt — meist wird ohne weiteres entgegen den GAUSSISCHEN Bedingungen eine endliche Blendenöffnung angenommen — nicht im Bildort, sondern davor oder dahinter auf eine senkrechte Ebene treffen, so entsteht ein Zerstreuungsfleckchen, da die Strahlen noch nicht vereinigt oder schon wieder auseinandergefahren sind. Die Form des Fleckchens ist der Form der Linsenöffnung einigermaßen ähnlich. Seine Größe hängt ab vom Öffnungswinkel des Bündels und von der Strecke, um die der Schirm aus dem Bildort herausgerückt ist. Der Grad der Undeutlichkeit, mit der ein Linien- oder Flächenstückchen wiedergegeben wird, würde dieser Größe des Zerstreuungsfleckchens des einzelnen Punktes entsprechen, wenn

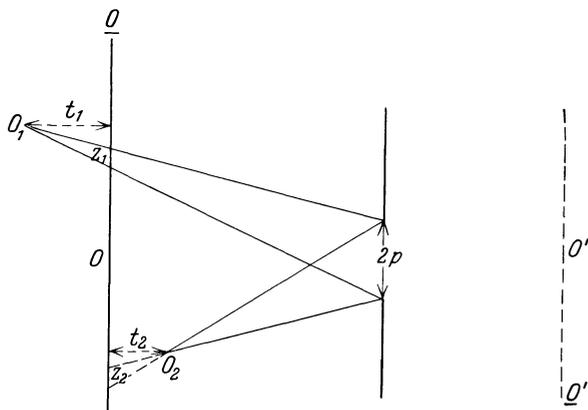


Abb. 30. Die dingseitige Projektion der Eintrittspupille  $2p$  in die Einstellebene  $OO$  von zwei außerhalb liegenden Dingpunkten  $O_1, O_2$  aus: Der dingseitige Entwurf oder das Abbild.

das gebrochene Bündel wirklich rein kegelförmig (homozentrisch) wäre. Das ist aber tatsächlich, wie später gezeigt sei, nicht der Fall. Vielmehr erscheint statt einer gleichmäßig hellen Scheibe ein sehr ungleich helles Fleckchen. Daher ist es viel wichtiger, als die Größe des Zerstreuungsfleckchens zu ermitteln, die Lichtverteilung darin kennenzulernen. Darauf hat A. GULLSTRAND mit Nachdruck aufmerksam gemacht. Da indessen sehr häufig die tatsächliche Wirkungsweise der abbildenden Folge nicht bekannt sein dürfte, so kommt man schon mit Hilfe der einfacheren Vorstellung von dem dingseitigen Abbild in der Einstellebene, wie sie v. ROHR (a, b, w, x, y) entwickelt hat, zu einer Beurteilung von Bildeigenschaften (der Perspektive und der Abbildungstiefe), die aus der Beschaffenheit des Gegenstandes selber und der Blendenlage folgen. Hat man, um ein ganz einfaches Beispiel zu geben, 3 Punkte eines Gegenstandes, die nicht in einer achsensenkrechten Ebene liegen, abzubilden, so sendet jeder ein kegelförmiges Bündel zur Öffnung der Flächenfolge. Ist durch sie (Abb. 30) ein senkrechtes Ebenenstückchen  $OO$  der Dingseite einem Ebenenstückchen der Bildseite  $O'O'$  zugeordnet, so durchsetzt das von  $O_1$  ausgehende Bündel die Einstellebene  $OO$  in einem Kreislein, das in der Ebene  $OO$  bei ihrer Abbildung nach  $O'O'$  einen nicht in ihr liegenden Punkt  $O_1$  als Ding vertritt. In entsprechender Weise wird der Punkt  $O_2$  in der Einstellebene  $OO$  durch ein Kreislein als Ding vertreten. Es entsteht wie das andere als Projektion der wirksamen Öffnung der brechenden Fläche auf

die Einstellebene  $OO$  durch den Dingpunkt. Die Gebilde der Ebene  $OO$  werden jetzt der brechenden Folge als Ding dargeboten, ganz gleichgültig, welcher Art diese Folge ist. Wie die Brechung dann auf die Abbildung dieses Abbildes (Entwurfs) wirkt, davon ist gar nichts vorausgenommen, denn mit dieser Überlegung bleibt man streng im Dingraum.

### b) Die Brechung an Kugelflächen ohne Beschränkung auf den GAUSSISCHEN Raum.

**Die Abbildung bei endlich geöffneten Bündeln.** Hat die Annahme der GAUSSISCHEN Bedingungen die Aussage erlaubt, daß aus einem kegelförmigen Bündel nach der Brechung an einer Kugelfläche wiederum ein kegelförmiges Bündel hervorgeht, von einem Dingpunkt ausfahrende Strahlen sich nach der Brechung in einem Punkt, dem Bildpunkt, schneiden, so trifft das natürlich nicht mehr zu, sobald wir über die Grenze dieser Bedingungen hinausgehen. Und das ist ja, wie schon angedeutet, in Wirklichkeit immer der Fall. Die Folgen sind nur zu übersehen, wenn man einmal einen Lichtverlauf in Wirklichkeit untersucht.

Das Überschreiten der Grenzen kann in verschiedener Weise geschehen. Zunächst hat man nie unendlich kleine Öffnungen, sondern ein endlich geöffnetes Bündel, endliche Neigung zur Achse und endliche Einfallswinkel schon innerhalb eines von einem Achsenpunkt ausgehenden Bündels. Sodann ist aber das Dingfeld auch nicht etwa auf ein unendlich kleines ebenes Stückchen um den Durchstoßungspunkt der Achse herum beschränkt, sondern der Gegenstand hat eine endliche Ausdehnung. Jedenfalls fallen dann unendlich viele Bündel annähernd von der endlichen Öffnung des die Achse umgebenden unter endlichem Winkel von vielen Richtungen her auf die brechende Fläche auf. Ob hierbei wieder etwas wie ein Bild entsteht oder nicht, das zu prüfen, sei die nächste Aufgabe.

Man entwerfe nur einmal nach dem Vorschlag von GULLSTRAND (ff) mit einer großen gleichseitigen Sammellinse ein Bild der Außenwelt etwa im Hintergrund eines Zimmers auf einem Schirm. Es wird im Vergleich mit der Leistung einer Lichtbildkammer mangelhaft ausfallen. Man wird den Ausfall eines Versuches besser verstehen, wenn man die Aufgabe einfacher stellt und prüft, wie ein einzelner Dingpunkt oder etwas ihm Ähnliches, ein feiner hell leuchtender Fleck oder Strich, abgebildet wird. Als Ding diene etwa das glänzend helle Bild der Sonne, die sich in einer Thermometerkugel spiegelt, oder der feine Faden einer Glühlampe. Man merkt beim Versuch alsbald, daß die Abbildung am wenigsten ungünstig ist, wenn die Linsenachse auf den Dingpunkt gerichtet ist. Immer aber bleibt das Ergebnis weit entfernt von einer eindeutigen Schärfe oder deutlichen Abbildung. Da die Linse für Licht verschiedener Wellenlänge eine verschiedene Brechkraft besitzt, so wird ein gemischtes, weißes Licht aussendender Dingpunkt mehrfach, in verschiedenen Entfernungen, abgebildet werden, auch bei der Annahme einer sonst die GAUSSISCHE Abbildung leistenden Linse. Selbst wenn man den Farbenfehler (s. u.) mit Hilfe eines engen Farbfilters so gut wie wirkungslos macht, behält das Bild grobe, ohne weiteres sichtbare Fehler. Ist das Punkt- oder Fadenbild am deutlichsten, so ist es von einem großen Lichthof umgeben. Man kann ihn verkleinern und schließlich verschwinden lassen, wenn man den Schirm näher an die Linse rückt. Dann aber wird das Bild viel schlechter.

Vermindert man die Öffnung der Linse durch Abdecken großer Randgebiete, so vermindert sich der Hof um das Bild erheblich.

Man mache die gleiche Prüfung, während man die Linse stärker und stärker seitwärts neigt, so daß ihre Achse mehr und mehr an dem Dingpunkt vorbei zeigt. Dann sieht man bei weiter Öffnung den hellen Bildfleck sich in einer eigentümlichen Weise einseitig ausdehnen, eine Erscheinung, die meist Koma genannt wird. Bei enger Blende können jeweils zwei Schirmabstände gefunden werden, in welchen ein rundlicher Lichtfleck zu einem mehr oder weniger schmalen Streifen in der Richtung der Ablenkung bzw. senkrecht zu ihr ausgezogen wird (Astigmatismus schiefer Bündel). Sehen wir hier von den Farbenfehlern ab, so sind die auch im einfarbigen Licht als Folge der Flächengestalt auftretenden, monochromatischen Aberrationen wenigstens etwas näher zu betrachten.

**Die sphärische Aberration.** Läßt man ein weitgeöffnetes Bündel zunächst einmal von einem fernen Achsenpunkt ausgehen und durch eine sammelnde

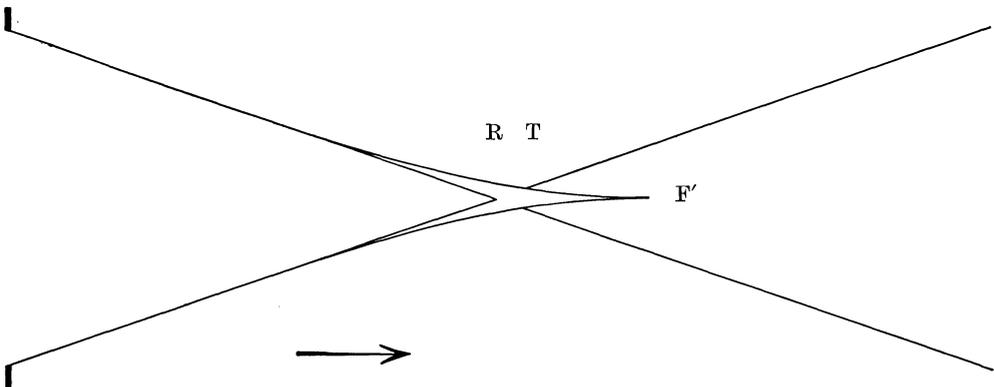


Abb. 31. Ein Achsenschnitt durch die als Folge der sphärischen Längsaberration auftretende kaustische Fläche. (Nach H. ERGGELET.)

Kugelfläche oder Linse hindurchtreten, so zeigt das gebrochene Bündel, immer einfarbiges Licht vorausgesetzt, die Abweichung wegen der Flächenform, die sphärische Aberration. Die Verfolgung der einzelnen Strahlen ergibt in einem Achsenschnitt folgendes. Bei sammelnden Flächen wird die Ablenkung achsenparallel gerichteter Strahlen um so stärker, d. h. ihr Schnittpunkt mit der Achse nähert sich den brechenden Flächen um so mehr, und die Schnittpunkte benachbarter gebrochener Strahlen einer ausgewählten Achsenebene (etwa der Papierebene) liegen der brechenden Fläche um so näher, je weiter seitlich von der Achse sie die Fläche treffen. Die Strecke, auf der die Strahlen die Achse schneiden, ist die sphärische Längsabweichung. In einer Achsenebene berühren alle gebrochenen Strahlen eine Kurve, die kaustische Linie,  $TF'T$ , die Schnittlinie der kaustischen Fläche des Gesamtbündels, das ja zur Achse symmetrisch ist. Als Beispiel sei in Abb. 31 die Schnittlinie der kaustischen Fläche abgebildet, die man erhält, wenn man eine asphärische Ophthalmoskopierlinse in verkehrter Richtung verwendet. Alle Strahlen gehen durch eine engste Einschnürung  $TT$ , bestimmt durch den Schnittpunkt der Randstrahlen mit der Kaustik jenseits der Achse, also hier innerhalb der Strecke der sphärischen Längsabweichung. Bei gewöhnlichen Sammellinsen kehrt die Kaustik ihre Spitze von der brechenden Fläche ab (Unterkorrektion; *positive* sphärische Abweichung). Bei Zerstreuungslinsen liegt die Kaustik, gebildet durch eine gekrümmte, die Verlängerung der gebrochenen Strahlen nach rückwärts berührende Linie, umgekehrt mit der Spitze nach links gegen das Licht gerichtet (Überkorrektion; *negative* sphärische Abweichung).

Für photographische Linsen hat M. v. ROHR (a, 31) eine eigene Darstellung dieses Fehlers entwickelt. In seinem Bild wird auf der Abszissenachse die Schnittweite bzw. der Abstand des Strahlenschnittpunktes mit der Achse vom Schnittpunkt der Nullstrahlen und auf der Ordinatenachse die Einfallshöhe in der brechenden Fläche aufgetragen.

Als ein Beispiel sei in Abb. 33 die sphärische Längsabweichung einer kugelflächigen, eben-erhabenen (plankonvexen) Sammellinse (Abb. 32) mitgeteilt. Ihr Krümmungshalbmesser 7,8 mm und ihre Brechzahl 1,376 ahmen die Verhältnisse

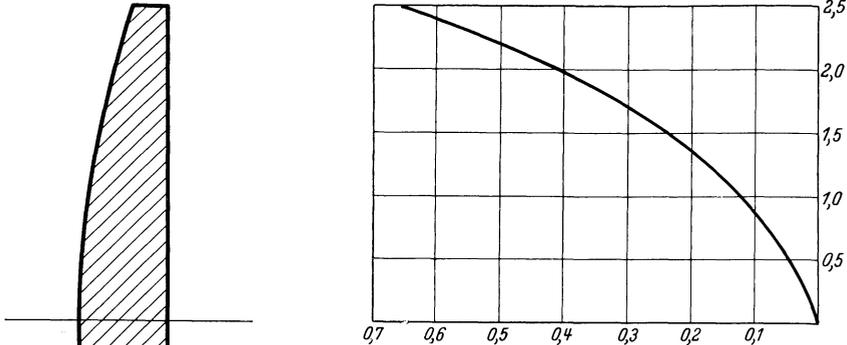


Abb. 33. Die sphärische Abweichung der Linse 32 nach M. v. ROHR dargestellt. Die Ordinaten sind die Einfallshöhen der dingseitigen Strahlen in Millimetern, die Abszissen die Abstände der Schnittpunkte ursprünglich achsenparalleler Strahlen der zugehörigen Einfallshöhe mit der Bündelachse.

Abb. 32. Eine eben-erhabene (plankonvexe) Linse, deren Krümmungshalbmesser 7,8 mm und Brechzahl 1,376 die Verhältnisse der optischen Zone der Menschenhornhaut nachahmen. (Vergrößert dargestellt im gleichen Maßstab wie Abb. 33.)

im Scheitel der Hornhaut nach; sie soll mit Einfallshöhen bis zu 2,5 mm benutzt werden. Im Auge würde eine solche durchschnittliche Pupillenweite nur eben die optische Zone der Hornhaut überschreiten (s. S. 499/500). Man sieht am Bild, daß die Schnittweite mit steigender Einfallshöhe immer kürzer wird (positive Abweichung).

Liegt der leuchtende Achsenpunkt nicht im Unendlichen, so bleibt die kaustische Fläche zwar drehrund (achsensymmetrisch), aber sie ändert sich hinsichtlich der Längenverteilung.

Es gibt an Kugelflächen einen bestimmten Achsenpunkt, dem auch bei endlicher Öffnung ein Bildpunkt so zugeordnet ist, daß alle selbst unter großen Winkeln zur Achse von ihm ausfahrenden Strahlen nach der Brechung streng durch den anderen hindurchgehen (aplanatisches Punktpaar)

$$\left( \text{Bedingung } s = \frac{r(n' + n)}{n} ; s' = \frac{r(n' + n)}{n'} ; \frac{s'}{s} = \frac{n}{n'} \right),$$

dem aber für uns hier wenig Bedeutung zukommt, weil eben die Verhältnisse des Strahlenverlaufs in seiner Nachbarschaft sofort ganz anders werden und andere Fehler nicht beseitigt sind.

Läßt man ein Bündel unter sich gleichgerichteter Strahlen nun nicht wie soeben entlang der Glasachse, sondern *unter einem endlichen Winkel* zur Glasachse eintreten, so ändert sich die Kaustik. Sie wird *asymmetrisch* (Koma) (s. Abb. 34). Wir haben einen Einzelfall gewählt, um die Abweichung von der erwünschten Strahlenvereinigung bei endlich geöffnetem Bündel

zu erläutern, nämlich die Kugelfläche, weil an dieser weitaus am häufigsten vorkommenden Form einer brechenden Fläche die Abweichung zuerst untersucht und daher seit langem bekannt ist. Tatsächlich kommen aber sehr viele von dieser einfachen Form verschiedene Flächen vor, die dem ursprünglich von

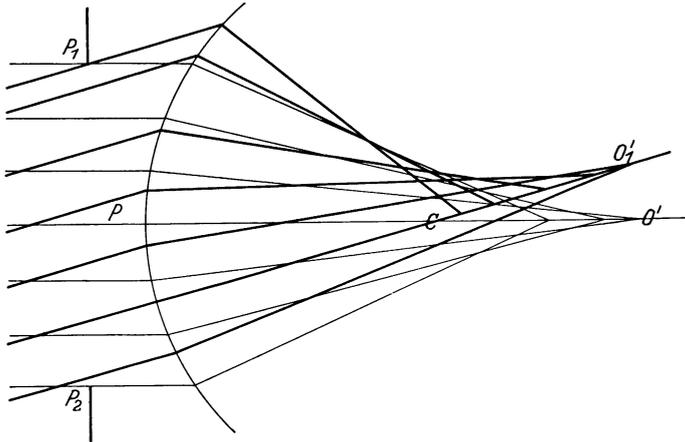


Abb. 34. Die Entstehung der Koma in einem weiten Bündel gleichgerichteter Strahlen, das mit endlicher Neigung zur Achse  $PC$  durch eine Blende  $P_1, P_2$  tritt und an der Kugelfläche gebrochen wird. (Stark ausgezogene Geraden.) Das entlang der Achse eintretende (schwach gezeichnete Bündel) zeigt positive sphärische Aberration. (Nach CZAPSKI-EPPENSTEIN.)

einem Dingpunkt ausgehenden Licht eine ganz andere Wellenflächenform erteilen, als sie oben für das von weit geöffneten Bündeln entworfene Bild eines Achsenpunktes geschildert worden ist. Davon unten mehr (S. 493 f.).

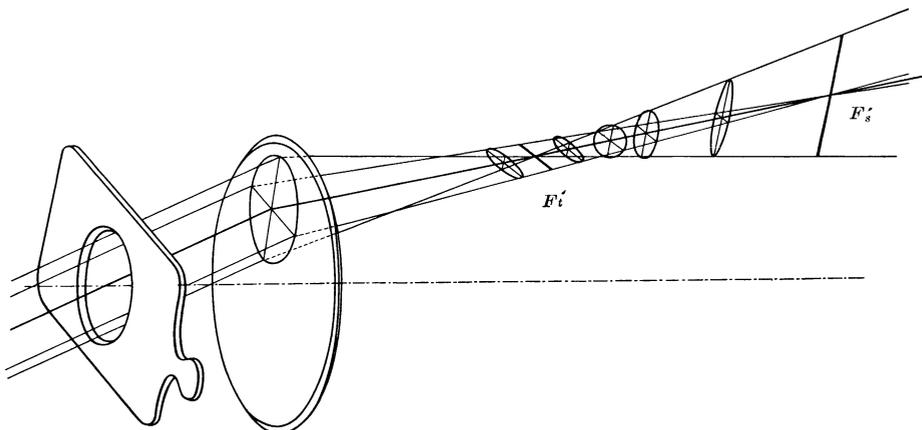


Abb. 35. Ein in einer Achsenebene verlaufendes, schief durch eine Linse durchtretendes ursprünglich spitzes Bündel wird durch die Brechung astigmatisch eingestellt. Ausgerichtete Vorderlinse. (Nach M. v. ROHR.)

**Der Astigmatismus schiefer Bündel.** Kehrt man noch einmal zum Ausgangspunkt der Betrachtungen zurück und bleibt bei der Voraussetzung unendlich dünner kegelförmig von einem Punkt ausgehender Bündel, läßt aber die Grenzen der GAUSSISCHEN Abbildungsbedingungen dadurch überschreiten, daß die Strahlenbündel nicht entlang der Glasachse, sondern in einem endlichen Winkel zu ihr auf die brechende Fläche treffen, so büßt das einzelne dünne Bündel seine Kegelform ein. Es wird *astigmatisch eingestellt*.

Die gesetzmäßige Veränderung sei im Anschluß an die anschauliche Darstellung M. v. ROHR'S (w 426, y 105 f.) kurz behandelt (Abb. 35). Man geht von der ursprünglichen Annahme aus, daß das Bündel durch eine in endlicher Entfernung vor der Fläche angebrachte ganz enge, zur Achse ausgerichtete Blende seine Begrenzung erfährt. Der durch die Mitte der Blende führende Strahl des Bündels, sein Haupt- oder Leitstrahl, verläuft dann in einem Achsenschnitt. In ihm erfolgt die Brechung, mit der die Neigung des Hauptstrahls zur Achse verändert wird. Auch die benachbarten Strahlen des Bündels, die in diesem seinem „speichenrechten“<sup>1</sup> (tangentialen) Hauptschnitt verlaufen, verlassen die Ebene bei der Brechung nicht. Sie schneiden den Hauptstrahl in einem gemeinsamen Punkte, dem Teilbrennpunkt  $F'_t$ . Das ebene Strahlenbündel, das senkrecht zu diesem den Hauptstrahl des Bündels enthält, wird mit ihm um den gleichen Betrag geknickt. Die dem Hauptstrahl benachbarten Strahlen dieses „felgenrechten“ (sagittalen) Büschels werden gleichzeitig aber auch in ihrer Ebene abgelenkt und schneiden ebenfalls den Hauptstrahl, aber nicht an der

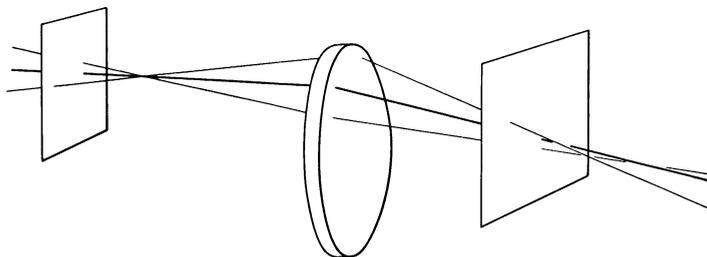


Abb. 36. Zwei beliebige Strahlen außerhalb der Hauptschnitte eines dünnen, ursprünglich spitzen schiefen Bündels schneiden den (stark gezeichneten) Hauptstrahl nach der Brechung nicht, sondern laufen nahe an ihm windschief vorbei. (Nach M. v. ROHR.)

gleichen Stelle wie die des speichenrechten Büschels, sondern an einer anderen, nämlich im Teilbrennpunkt  $F'_s$ . Da am Ort des ersten Teilbrennpunktes  $F'_t$  das felgenrechte Büschel noch nicht zum Schnitt gekommen ist, so entsteht dort eine enge felgenrecht liegende Einschnürung am Bündel, die tangentielle Brennlinie. Entsprechend entsteht im 2. Teilbrennpunkt  $F'_s$ , wo die Strahlen des ersten speichenrechten Hauptschnittes schon wieder auseinandergefahren sind, eine speichenrechte Einschnürung, die sagittale Brennlinie. Die weitaus überwiegende Menge der außerhalb der Hauptschnitte verlaufenden Strahlen schneidet den Hauptstrahl gar nicht, sondern verläuft zu ihm windschief (Abb. 36). Je dünner die Bündel, desto deutlicher werden die engen Einschnürungen der Brennlinie; sind sie dicker, so werden sie dank der viel größeren Menge der außerhalb der Hauptschnitte hinzukommenden windschiefen Lichtstrahlen mehr und mehr verschwommen.

**Die Bildschalen der  $f$ - und  $t$ -Bündel.** Gibt man einem dünnen Bündel, ausgehend von der Achsenrichtung, wo sich alle Strahlen im Hauptbrennpunkt schneiden, in einem ausgewählten Achsenschnitt allmählich stärkere und stärkere Neigungen, so treten aus dem Hauptbrennpunkt die *Teilbrennpunkte* auf zwei zur brechenden Fläche hohlen (konkaven) Kurven verschieden starker Krümmung heraus (Abb. 37). Dementsprechend wächst ihr Abstand, die *astigmatische Strecke*

<sup>1</sup> Diese Benennung läßt sich dadurch rechtfertigen, daß eine achsensenkrechte Ebene von diesem Hauptschnitt in einer kurzen Geraden geschnitten wird, deren Richtung auf die Achse zugeht oder speichenrecht ist. Es sei gleich hier darauf hingewiesen, daß der den tangentialen Hauptschnitt längs dem Hauptstrahl unter rechtem Winkel durchdringende sagittale Hauptschnitt auf jener achsensenkrechten Ebene eine kurze Gerade ausscheidet mit einer zum Achsenpunkt felgenrechten Richtung.

auf dem Hauptstrahl mit der Bündelneigung zur Achse. Haben wir es mit achsensymmetrischen brechenden Flächen, etwa Kugelflächen, zu tun, so beschreiben die Kurven der Teilbrennpunkte bei einer vollen Umdrehung der ganzen Anlage um die Achse die astigmatischen Bildschalen der speichen- (tangentialen) und der felgenrechten (sagittalen) Büschel, entsprechend den Verhältnissen, wie sie vorliegen, wenn man ausgedehnte Dingflächen abzubilden sucht.

Für Kugelflächen wird die Brechung im sagittalen, felgenrechten Büschel, d. h. die Lage der Brennpunkte auf dem Hauptstrahl, bestimmt durch die Formel

$$\frac{n'}{f'} = \frac{n}{f} + \frac{n' \cos i' - n \cdot \cos i}{r},$$

im tangentialen, speichenrechten durch:

$$\frac{n' \cdot \cos^2 i'}{t'} = \frac{n \cdot \cos^2 i}{t} + \frac{n' \cos i' - n \cos i}{r},$$

die für Umdrehungsflächen gelten, wenn die Hauptkrümmungshalbmesser des jeweiligen Hauptschnittes an die Stelle des Kugelhalbmessers gesetzt werden.

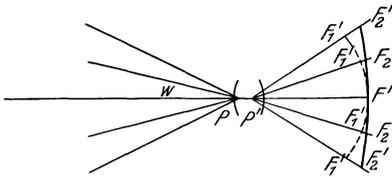


Abb. 37. Die astigmatischen Bildschalen, auf denen jeweils die beiden Teilbrennpunkte  $F_1'$  und  $F_2'$  einiger durch ihren Hauptstrahl angedeuteter, schiefer durch eine Linsenfolge hindurchtretender Bündel verschiedener Neigung liegen (gestrichelt die Orte der speichenrechten [tangentialen], ausgezogen die der felgenrechten [sagittalen] Büschel). (Nach M. v. ROHR.)

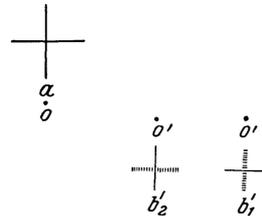


Abb. 38. Von einem seitlich der Achse 0 stehendem Kreuz, dessen Stamm in der Achsenebene liegt, erscheint der Stamm in der Schale des felgenrechten Büschels  $b'_2$ , der Arm in der Schale der speichenrechten  $b'_1$  deutlich, der andere Teil jeweils undeutlich. (Nach M. v. ROHR.)

$nn'$  sind die Brechzahlen,  $ff'$   $tt'$  die Schnittweiten,  $ii'$  Einfallswinkel des Hauptstrahls [H. BOEGEHOLD (c, 328), M. v. ROHR (b, 159f.)].

**Abbildbare Linien.** Ein Punkt wird also durch ein zur Achse geneigtes dünnes Bündel im allgemeinen nicht mehr als Punkt abgebildet werden. Je weiter seitlich der Achse die Dingpunkte liegen, ein um so stärker verwischter Fleck wird an seiner Stelle auf einem Schirm erscheinen. In der Bildschale des speichenrechten Büschels tritt ein felgenrechter Strich auf, in der Schale des felgenrechten Büschels ein speichenrechter Strich (Abb. 35). Bringt man ein rechtwinkliges kreuzförmiges Ding seitlich der Achse mit dem Kreuzesstamm in eine Achsenebene, während der Querbalken senkrecht zu ihr steht, so wird es Punkt für Punkt auf der Bildschale des speichenrechten Büschels in einen felgenrechten Strich ausgezogen (Abb. 38  $b'_1$ ). Im gleichgerichteten Querbalken decken sie sich, es kommt scheinbar zu einer Abbildung; der Stamm, wo sich die Striche nicht decken, sondern nebeneinander aufreihen, erscheint verwischt. Das Umgekehrte findet in der Bildschale des anderen Büschels  $b'_2$  statt. In der angenommenen Lage des Kreuzes war immer einer seiner beiden Balken ein Teil einer *abbildbaren Linie*. Diese Erscheinung spielt unter anderem bei der Brille eine große Rolle.

**Bündel mit 2, 1 und keiner Symmetrieebene.** Ein *astigmatisches Bündel mit 2 Symmetrieebenen* entsteht, wenn ein kegelförmiges Bündel eine astigmatische Fläche (zylindrische, torische) oder eine Sattelfläche entlang der Schnittgeraden der Symmetrieebenen, der Glasachse, durchsetzt. Es hat zwei zur Achse und

zueinander senkrechte Brennlinien. Das im Auge gebrochene Bündel gehört in der Regel nicht hierher, sondern zu der zweiten Form.

Anstatt einer Kugelfläche kann übrigens auch, um einmal für einen Augenblick von unserer Annahme abzugehen, irgendeine Umdrehungsfläche ein solches Bündel erzeugen. Das unendlich dünne astigmatische Bündel der betrachteten Art hat nur *eine* Symmetrieebene, die Einfall- bzw. Achsen-ebene, mit der die speichenrechte Hauptebene des Bündels ja zusammenfällt. Von dieser Tatsache überzeugt man sich ohne weiteres, wenn man sich denkt, man lasse diese Ebene um die Achse eine unendlich kleine Pendelbewegung um die Ausgangslage machen. Die andere Hauptebene des Bündels, die felgenrechte, ist keine Symmetrieebene in dem schiefen Bündel. In der speichenrechten Ebene sind schon die Einfallswinkel zum Leitstrahl gleich stark geneigter Strahlen an der brechenden Fläche verschieden groß, also auch die Brechungswinkel. Das entlang der Visierlinie entstehende und im Auge gebrochene Bündel gehört zu dieser Art.

Kehren wir wieder zur Kugelfläche zurück, so führt eine letzte Änderung unserer Ausgangsbetrachtung in einer anderen Richtung zu einem astigmatischen Bündel, dem gar *keine Symmetrie* mehr zukommt. Es entsteht, wenn der Haupt- oder Leitstrahl des dünnen von einem seitlich gelegenen Dingpunkt ausgehenden Bündels die Linsenachse nicht trifft (A. GULLSTRAND [e, 293 f]).

Die drei Arten von astigmatischen Bündeln unterscheiden sich des weiteren noch dadurch, daß die Brennlinien bzw. die engsten Einschnürungen verschiedene Neigung zum Leitstrahl haben.

**Das STURMSche Konoid.** Die Vorstellungen, die man sich im Anschluß an die STURMSchen Untersuchungen (STURMSche Konoid) lange Zeit gemacht hatte, daß nämlich sämtliche Strahlen eines astigmatischen Bündels näherungsweise durch zwei gegeneinander senkrechte Brennlinien gingen, sind, wie GULLSTRAND zeigt, grundfalsch. Denn die Voraussetzungen STURMS, daß, wie auf S. 490 angegeben, die Blendenöffnung ganz eng, also auch unendlich klein im Verhältnis zum Abstand der Brennlinien und zur Brennweite sein soll, sind in Wirklichkeit, insbesondere auch für das Auge, nicht gegeben. Erst GULLSTRAND gab die Lösung der gleichen Aufgabe für eine endliche beliebige Öffnung. Erweitert man die Bündelöffnung, so bleibt die Brennlinie im Schnittpunkt des Sagittal- oder felgenrechten Büschels als eine Linie erhalten, aber sie erhält eine andere, manchmal sehr schiefe Neigung gegen den Hauptstrahl. Die Brennlinie im Schnittpunkt des Tangential- oder speichenrechten Büschels bleibt nicht scharf, sondern wird zu einer nur engeren Einschnürung, die freilich senkrecht zur Richtung des Hauptstrahls bleibt. Hier sei ein sprechendes Beispiel mitgeteilt: Nach GULLSTRANDS Angaben (e, 345) hat für das Bündel um die Visierlinie im Auge (s. S. 500) der dünnste Querschnitt am 1. Brennpunkt des speichenrechten Büschels das Verhältnis 76 : 100 und die 2. Brennlinie eine Neigung von nur  $2^{\circ} 42' 52''$  gegen den Leitstrahl. Die Pupillenweite zu 1 mm angesetzt. Bei weiter Pupille wird die Breite der 1. Brennlinie größer als ihre Länge.

Gleichwohl hat, wie GULLSTRAND selbst sagt, die unzutreffende Annahme zur Vermittlung der Kenntnisse vom Astigmatismus wesentlich beigetragen.

**Die Brennflächen bei endlich geöffneten Bündeln.** Gibt man die Beschränkung auf unendlich dünne Bündel auf, geht von dem ursprünglichen Hauptstrahl zu anderen nächstliegenden und anderen Hauptstrahlen über und bestimmt auf einem jeden die beiden Teilbrennpunkte des ihn umhüllenden unendlich dünnen Bündels, so bildet die Gesamtheit der verschiedenen Lagen eines jeden Brennpunktes eine gekrümmte Fläche, kaustische oder Brennfläche genannt. Auf Schnitten durch das Bündel geben sie sich als helle Linien zu erkennen, weil in einem jeden Punkt der Brennfläche mehr Strahlen zusammentreffen als in ihrer

Nachbarschaft. Als ein Beispiel sei auf die Schnitte der Brennflächen eines zweifach symmetrischen astigmatischen Bündels mit ihren Symmetrieebenen hingewiesen, die A. GULLSTRAND (o S. 192) entworfen hat. Im ersten Hauptschnitt (Abb. 1) zeigt die Linie  $s$ , wie der Schnittpunkt der in dieser Ebene selbst verlaufenden, jeweils einem Hauptstrahl benachbarten Strahlen wandert, wenn man von einem ausgewählten Hauptstrahl zu anderen und anderen übergeht. Auf der Linie  $t$  liegen die Schnittpunkte der den verschiedenen Hauptstrahlen benachbarten, aber in einer zu ihrer Symmetrieebene senkrechten Ebene liegenden Strahlen. Im zweiten Hauptschnitt (Abb. 2) entspricht die Linie  $s$  ebenfalls den Schnittpunkten in ihr verlaufender Strahlen  $t$ , den  $t$ -Schnittpunkten der Strahlen, die einer zu diesem Hauptschnitt senkrechten Ebene angehören. Auf der Schnittgeraden der beiden Symmetrieebenen fallen natürlich die beiden Teilbrennpunkte jeweils auf den gleichen Punkt, d. h. die Schnittpunkte der  $s$ -Linie der einen Symmetrieebene mit denen der  $t$ -Linie der anderen fallen zusammen.

Eine Vorstellung davon, wie die Brennflächen ungefähr gestaltet sind, kann man nach GULLSTRAND dadurch gewinnen, daß man die  $s$ -Linie des einen Hauptschnittes mit ihrer Spitze entlang der  $t$ -Linie des anderen gleiten läßt, während „sowohl die Ebene, in welcher die Kurve liegt, wie ihre Tangente in der Spitze, zur ursprünglichen Lage parallel bleibt“.

**Der Ausgleich der Abbildungsfehler.** Die Erscheinungen, die im oben angegebenen Versuch beobachtet werden können, und uns bisher beschäftigt haben, sind lange bekannt, und man ist ihnen mit Hilfe der Strahlendurchrechnung nachgegangen, indem man den Verlauf einer Anzahl von Strahlen durch die Fläche oder Flächenfolge einzeln auf Grund des Brechungsgesetzes bestimmte. Bei einem gegebenen optischen Gerät wird tatsächlich die Berechnung meist so ausgeführt. Verlangen Abweichungen von dem gewünschten Strahlenverlauf Verbesserungen, so werden bestimmte Änderungen in der Anlage angenommen, etwa hinsichtlich der Krümmung einer Fläche, und die Wirkungen dieser Abwandlung wiederum an der Durchrechnung von einzelnen Strahlen untersucht. Man kann sich vorstellen, daß sich entweder aus der Erfahrung oder aus der planmäßigen Untersuchung gewisse allgemeine Regeln dafür ergeben haben, welche bestimmte Maßnahmen für diese oder jene unerwünschten Eigenschaften des Strahlenverlaufs besser sind, bzw. von welchen Bedingungen oder welchen Bestimmungsstücken einer Anlage diese Fehler abhängen. Man ist auch durch Reihenentwicklungen zu einigen Aussagen gelangt, in denen man gewisse Eigenschaften des Strahlenverlaufs als Fehler von einem, wie GULLSTRAND sagt, erträumten Abbildungsvorgang hinstellte. Diese Art der Abbildung ist auf Grund rein geometrischer Überlegung gekennzeichnet worden, ohne jede Rücksicht auf die Mittel zu einer Verwirklichung oder auf optische Vorgänge. Es sollte ein Raum einem anderen Punkt um Punkt und Gerade um Gerade zugeordnet werden. So käme man dazu, die Beziehung einzufordern, wie sie bei der Abbildung im gedachten GAUSSSISCHEN RAUM unter den genannten Bedingungen gelten, in einem wirklich endlichen Raum aber bei der Abbildung durch Brechung nicht oder nur in einzelnen ganz bestimmten Punkten, sonst tatsächlich nur für die Spiegelung an Ebenen möglich sind (s. S. 488, *aplanatische Punkte* an der Kugel).

**Die GULLSTRANDSCHEN ABLEITUNGEN.** Das Bemühen, die sog. Fehler auch außerhalb des GAUSSSISCHEN RAUMES für ein allgemeines Gerät zu heben, ist ein Streben nach einem grundsätzlich gar nicht erreichbaren Ziel. Das hat A. GULLSTRAND mit besonderem Nachdruck auf Grund seiner Forschung immer wieder betont. Er ging bei seinen im höchsten Grade erfolgreichen Forschungen einen ganz anderen Weg, als man ihn in der rechnenden Optik verfolgt hatte,

einen Weg, den er sich erst selbst durch den Ausbau der Flächenlehre schaffen und bahnen mußte. Er geht nicht von Vorstellungen und vom Ziel aus, sondern von den tatsächlichen Verhältnissen, indem er die kaustischen Flächen bzw. den Aufbau gegebener gebrochener Strahlenbündel untersucht, um schließlich daraus auch Folgerungen auf die Art der brechenden Flächenfolgen zu gewinnen.

GULLSTRANDS Ableitungen haben nur zwei Erfahrungstatsachen zur Voraussetzung, die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes und das Brechungsgesetz. Dieses erhält eine aus dem MALUSSCHEN Satz zu beweisende Form und besagt dann, daß durch einen jeden Punkt auf einem beliebigen Strahl eines ursprünglich homozentrischen Strahlenbündels eine Fläche, Wellenfläche, gelegt werden kann, auf der sämtliche Strahlen senkrecht stehen, und daß die optische Länge eines Strahles<sup>1</sup> zwischen zwei solchen Flächen im ganzen Strahlenbündel konstant sei. So gilt das allgemeine Brechungsgesetz auch für Mittel von nicht überall gleichmäßigem Brechungsindex. Diese zog GULLSTRAND in den Kreis seiner Untersuchungen, weil das Menschenaug, das den Anstoß zu den Forschungen gab, in seiner Kristalllinse ein derartiges Mittel enthält. In solchen treten an Stelle der Strahlen gekrümmte Linien, *Trajektorien*. Die Untersuchung der Strahlenvereinigung wird also durchgeführt durch die Ermittlung des Aufbaues eines Normalenbündels, das seinerseits durch die Form der zugehörigen Wellenfläche bestimmt ist. Diese Fläche muß jeweils in der Nachbarschaft eines ausgewählten Punktes untersucht werden bzw. die Strahlenbündel in der Nachbarschaft eines ausgewählten Strahles. Unter Umständen ist so über eine große Fläche fortzuschreiten.

Beschränkt sich die Untersuchung auf die allerengste Nachbarschaft des ausgewählten Punktes oder Strahles und berücksichtigt den 1. und 2. Differentialquotienten der Flächengleichung, so erhält man die Abweichung von der homozentrischen Brechung in der 1. Stufe, die allgemeine Lehre vom Astigmatismus (s. oben S. 488 f.).

Irgendeine krumme Linie auf einer Wellenfläche bestimmt eine Anzahl von Flächenloten und diese bilden eine geradlinige Fläche, eine *Strahlenfläche*. Eine schmale Tangentialebene, die man quer an einen ausgewählten Strahl und an diese Strahlenfläche nacheinander von  $-\infty$  bis  $+\infty$  fortschreitend anlegt, macht auf diesem Wege 180° Drehung. In den Teilbrennpunkten auf dem ausgewählten Strahl errichtete senkrechte Ebenen schneiden die Strahlenfläche in Bogen, die von den Brennlinien berührt werden. Wenn die Tangente im Durchstoßungspunkt des ausgewählten Strahles mit der Wellenfläche in die Hauptschnitte fällt, so ist diese „fokale Strahlenfläche“ dadurch ausgezeichnet, daß die sie berührende Ebene an den verschiedenen Stellen des ausgewählten Strahls ihre Richtung nicht ändert, d. h. immer in dem einen Hauptschnitt gleichgerichtet bleibt. Die fokalen Strahlenflächen werden von den Brennlinien berührt.

Im allgemeinen muß demnach auf die strenge Abbildung von Punkten als Punkte bis auf die angedeuteten bestimmten Einzelfälle verzichtet werden. Hingegen ist es möglich, in gewissen Richtungen verlaufende Linienstückchen (s. S. 491) als Linienstückchen abzubilden. Das ist der Fall, wenn jede den Hauptstrahl enthaltende Strahlenfläche nach der Brechung die Bildlinie berührt. Für einen besonderen Fall ist oben (S. 487) das Nötigste angedeutet.

Die Grundgesetze der allgemeinen optischen Abbildung faßt GULLSTRAND (s. 19; v. 233) wie folgt zusammen:

<sup>1</sup> Das ist die Summe der Lichtwege in den verschiedenen Mitteln jeweils multipliziert mit der zugehörigen Brechzahl  $\Sigma n l$ .

„Auf einer beliebigen Objektfläche gehen durch jeden Punkt, in welchem dieselbe unter endlichem Winkel vom Hauptstrahl geschnitten wird, zwei, einen endlichen Winkel miteinander bildende Linien, welche unter vollständiger Strahlenvereinigung erster Ordnung, jedes System auf einer anderen Bildfläche, im Bildraume abgebildet werden.

„Die Tangenten der abbildbaren Linien liegen überall in den Normalebenen derjenigen Strahlenflächen, welche im Bildraume die Hauptschnitte des gebrochenen Strahlenbündels berühren. Die Tangenten der Bildlinien liegen in den auf diesen Hauptschnitten senkrecht stehenden Hauptschnitten derselben Strahlenbündel.

„Eine andere Abbildung unter vollständiger Strahlenvereinigung erster Ordnung gibt es nicht. Nur die singulären Punkte der Systeme abbildbarer Linien werden in Punkten abgebildet. Diese Systeme haben nur dort singuläre Punkte, wo das Strahlenbündel nach der Brechung im Bildraume längs dem Hauptstrahl anastigmatisch ist und die beiden Bildflächen einen Berührungspunkt haben.

„Die Vergrößerung kann nur durch das Verhältnis der Abstände der Bildlinien und der entsprechenden abbildbaren Linien ausgedrückt werden. In den singulären Punkten kann jedoch das erste Glied der Vergrößerung durch das Verhältnis der Linienelemente einer Bildlinie und einer abbildbaren Linie ausgedrückt werden, und die Vergrößerung einer aus singulären Punkten bestehenden Linie kann durch das Längenverhältnis der Bild- und Objektlinie dargestellt werden.

„Das Produkt des relativen Brechungsindex des optischen Systems mit dem bezüglichen angulären Projektionskoeffizienten und dem Vergrößerungskoeffizienten ist stets gleich der Einheit.

„In jedem Punkt sind die Vergrößerungskoeffizienten und die Richtungen der Tangenten der abbildbaren Linien von der Lage der Blende auf dem Hauptstrahl unabhängig.

„Abbildungen können im allgemeinen Falle nicht zusammengesetzt werden. Wenn ein anderes Medium als Bildraum gewählt wird, so ändern sich dabei die abbildbaren Linien. Dasselbe ist der Fall, wenn der Abstand des Objektpunktes vom optischen System verändert wird.

„Die Abbildungen sind bedingungslos umkehrbar. Bei der Umkehrung des Strahlenganges stellen die früheren Bildlinien das eine System der auf der betreffenden Fläche verlaufenden abbildbaren Linien dar, und die Tangenten der entsprechenden früheren abbildbaren Linien liegen in den bezüglichen Hauptschnitten der gebrochenen Strahlenbündel.“

**GULLSTRAND'S MONOCHROMATISCHE ABERRATIONEN.** GULLSTRAND führte seine Forschung weiter, so daß er schließlich auch die Abbildungsgesetze der 2. und 3. Ordnung angeben konnte (nämlich der 2. Ordnung in einfach asymmetrischen Systemen, der 3. Ordnung in symmetrischen Systemen ( $r, ee$ ). Unter geeigneten Voraussetzungen konnten die Gesetze dabei so zusammengesetzt werden, daß die Abbildung nicht mehr auf die einzelnen Flächen einer Folge bezogen zu werden brauchte, sondern daß sie durch die Aufnahme der Systemkonstanten ausgesprochen werden konnte, was für die erste Stufe der Abbildung von GAUSS durchgeführt worden war.

Wenn man ein homozentrisches Strahlenbündel, d. h. ein Bündel, dessen sämtliche Strahlen auf einen und denselben Punkt gerichtet sind, als Ausgangspunkt der Untersuchung nimmt, so ist der Aufbau des in optischen Geräten gebrochenen ursprünglich homozentrischen Bündels nach der Brechung i. a. mit GULLSTRAND als Abweichung von der Homozentrität zu bezeichnen. Zwei Arten der Abweichung sind zu unterscheiden. Die eine beruht auf der verschiedenen Brechbarkeit der Lichtstrahlen verschiedener Wellenlänge, die anderen

erscheinen auch dann, wenn nur einfarbiges Licht verwendet wird. Diese nennt GULLSTRAND monochromatische Aberrationen im weitesten Sinn. Um ihre verschiedenen Formen kurz anzugeben, unterscheidet er monochromatische Aberrationen von verschiedener Ordnung, je nach dem bestimmten Grad der mathematischen Anforderungen. Die Aberration 1. Ordnung ist der Astigmatismus. Die Aberrationen höherer als der 1. Ordnung sind die monochromatischen Aberrationen im engeren Sinn. Die von der 2. Ordnung werden von den

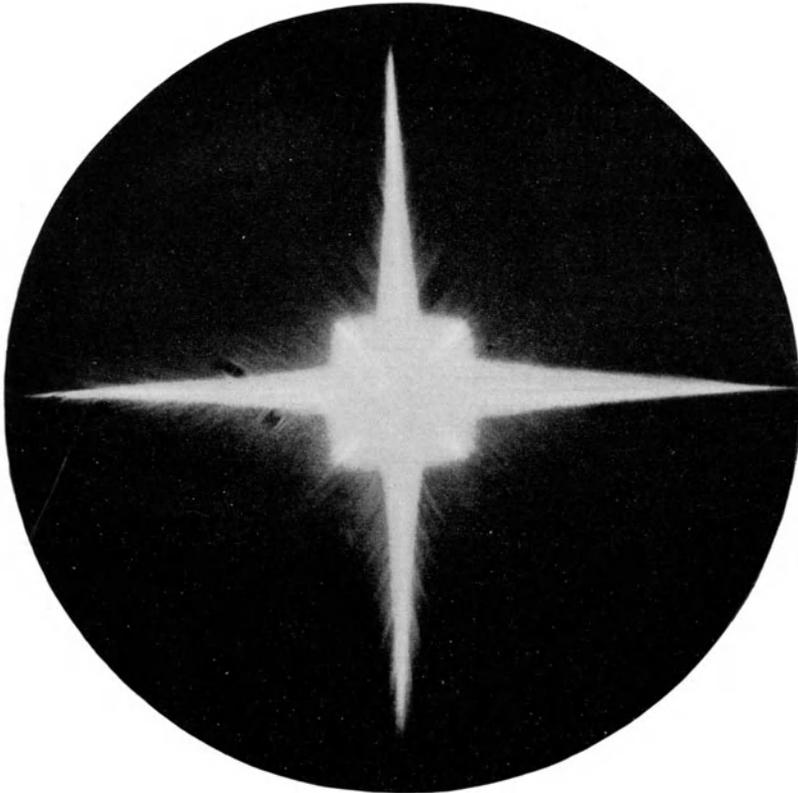


Abb. 39. Querschnitt eines ursprünglich von einem leuchtenden Punkt ausgehenden, mit einer Folge sammelnder, paarweise senkrecht gekreuzter eben-erhabener (plankonvexer) Zylinderlinsen erzeugten anastigmatischen Bündels, das Diagonal-Astigmatismus der Aberration aufweist, an der Stelle der deutlichsten Abbildung. Trotzdem die zylindrischen Glieder der abbildenden Linsenfolge ihren Astigmatismus gegenseitig aufheben, wird der leuchtende Dingpunkt nicht als Punkt abgebildet. (Nach A. GULLSTRAND.)

Asymmetriewerten (o, 189) bestimmt, wobei es sich um die Unterschiede der Brennweitenabstände zwischen den nächstliegenden Strahlen auf der einen Seite des Hauptstrahles und den nächstliegenden Strahlen auf der anderen Seite handelt.

Die Aberrationen von der 3. Ordnung sind die Aberrationen schlechthin, von denen wir ein Beispiel für ausgerichtete Folgen von Kugelflächen als sphärische Aberration S. 487/488 gestreift haben. Als Aberrationswerte bezeichnet GULLSTRAND Unterschiede der Brennweitenabstände zwischen dem Hauptstrahl einerseits und den beiderseitig nächstliegenden Strahlen andererseits. Sie werden gemessen durch die Krümmungshalbmesser der Linien, die als Evolute der Kaustik erhalten werden. Aberrationen höherer Ordnung sind bei Umdrehungsflächen als Zonenfehler bekannt.

Fallen einmal die beiden Teilbrennpunkte eines ausgewählten Bündels in einen zusammen, so ist das Bündel zwar nicht mehr astigmatisch, aber noch keineswegs homozentrisch. GULLSTRAND nannte es deshalb anfänglich quasi-homozentrisch, um den anderweitig belegten Ausdruck anastigmatisch zu vermeiden, den er aber später in Übereinstimmung mit der technischen Optik doch aufnahm.

Ein homozentrisches, also wirklich spitzes Bündel würde auf einer ebenen Fläche außerhalb des Schnittpunktes eine gleichmäßig helle Fläche bieten müssen. Wie dagegen der Querschnitt eines ursprünglich von einem leuchtenden Punkt ausgehenden, im eben angedeuteten Sinn nicht mehr astigmatischen Bündels an der Stelle deutlichster Abbildung aussehen kann, hat GULLSTRAND (p. v, 359) durch ein Lichtbild gezeigt (Abb. 39). Den ausgewählten Strahl werden alle andern ringsum in allerengster Nachbarschaft in einem Punkt schneiden, daneben aber bleiben Abweichungen außerhalb dieses Kreises genug bestehen. (Der solchem ausgewählten Strahl zugehörige Punkt der Wellenfläche heißt ein Kreispunkt.)

## II. Die Dioptrik des Menschauges.

Gehen wir nach diesem Ausschnitt aus der geometrischen Optik zur Betrachtung des Auges über, so empfiehlt es sich vielleicht, den naheliegenden und vielfach gebrauchten Vergleich des Auges mit einer Lichtbildkammer etwas näher zu betrachten. Der Vergleich trifft zu, insofern eine sammelnde Flächenfolge vorhanden ist, die ein Bild auf einem lichtempfindlichen Schirm, der Netzhaut, entwirft. Daneben aber bestehen ganz erhebliche Unterschiede, die meist nicht hervorgehoben werden. In erster Linie ist der Umstand zu nennen, daß das Auge zwar ein ungeheuer großes Gesichtsfeld besitzt, größer als jede Lichtbildkammer, daß aber nur ein sehr kleines Mittelgebiet des großen Feldes wirklich deutliche Bilder vermittelt; die Netzhautmitte ist in der räumlichen Unterscheidungsfähigkeit ihrer Umgebung der lichtempfindlichen Platte weit überlegen, die in ihrer ganzen Ausdehnung gleiche Güte, gleiche Korngröße und gleiche Empfindlichkeit besitzt. Diesem Unterschied entspricht auch die Beschaffenheit der Bilder, die von den beiden brechenden Folgen geliefert werden. Die Bildgüte fällt beim Auge von der Mitte nach der Seite sehr rasch und stark ab, während sie bei der Linse einer neuzeitlichen Lichtbildkammer nach dem Rand des Feldes hin nicht merklich abnehmen soll.

Diese Eigenheit des Auges ist von grundsätzlicher Bedeutung, weil sie die Entwicklung einer weiteren Leistung des Auges nach sich gezogen hat, von der der Gebrauch der Kammer nicht so unbedingt abhängt, die der Eigenbeweglichkeit. Wohl kann natürlich eine veränderte Aufstellung der Kammer für eine Vergrößerung des Feldes Ersatz bieten, wie er für das Auge eintritt, wenn der Träger seinen Ort oder Stellung wechselt. Dieser kommt oft ohnedies mit Bewegungen des Oberkörpers oder des Kopfes allein aus. Nebenher aber gehen immer Bewegungen des Augapfels in seiner Höhle. Das Wesentliche dieser letzten Eigenbeweglichkeit des Augapfels ist grundsätzlich anderer Art. Die Lichtbildkammer entwirft in einer bestimmten Stellung ein Bild der Außenwelt in der ganzen Ausdehnung ihres Gesichtsfeldes in beliebig kurzer Zeit in gleicher Deutlichkeit wieder, das Auge braucht eine Mehrzahl von „Augenblicken“ dazu, um auch nur einen Ersatz dafür zu leisten.

Man kann den ganzen Sehvorgang kaum besser wiedergeben als mit den Worten EPPENSTEINS (s. CZAPSKI, 2. Aufl. 1904, S. 268):

„Da der Blick übrigens keinen Teil des Blickfeldes vollständig und stetig durchläuft, so kann kein Teil der Umgebung vollkommen, Punkt für Punkt, direkt gesehen werden. Das Bild setzt sich vielmehr aus den nacheinander gesehenen Stücken mosaikartig zusammen, während in den einzelnen Stücken das indirekte Sehen zur Geltung kommt. Es gleicht also einer aus einzelnen Blättern zusammengesetzten Zeichnung; und diese Blätter sind von verschiedenen, aber einander sehr nahe gelegenen Punkten aufgenommen (den verschiedenen Orten, die die Pupille bei der Drehung nacheinander einnahm) und nacher so nebeneinander gelegt worden (wobei sie sich vielfach überdecken), daß die wichtigsten Punkte des Ganzen (die eben Blickpunkte gewesen sind) von einem anderen nahe gelegenen Punkte (dem Augendrehpunkte) als Zentrum der Perspektive aufgenommen erscheinen.“

Ferner ist auf die eigentümliche Art der Einstelländerung für die Nähe aufmerksam zu machen, die vom Auge bei feststehender Schirmfläche durch eine Wölbungsmehrung und eine Brechzahlsteigerung geleistet wird. Diese beruht wieder auf der Besonderheit der Linse, aus Schichten allmählich nach innen zunehmender Brechzahl aufgebaut zu sein. Wenn wir schließlich noch bemerken, daß beim Auge das Bild in einem dichteren Mittel liegt als der Gegenstand, nicht in Luft, sondern im Glaskörper, und daß sein Bildschirm eine gekrümmte Fläche ist, so ist das wesentliche Physikalische erwähnt.

## A. Die Bestimmungsstücke (Konstanten) der brechenden Flächenfolge.

Betrachten wir das Auge mit Beziehung auf den Inhalt des 1. Teiles, so können wir die erste, auch durch den Vergleich mit der Lichtbildkammer naheliegende Frage, die nach der Brennweite oder nach den Grundpunkten, nicht ohne weiteres beantworten. Wir haben kein Verfahren, diese Größe am lebenden unmittelbar zu messen, und die Messung am herausgenommenen, toten Auge ist sehr unsicher wegen der Änderung, die mit der Unterbrechung des Flüssigkeitswechsels und mit jeder mechanischen Beanspruchung der Flächen verbunden ist.

Die zweite Frage, die nach der Einstellung, ist meist verhältnismäßig einfach, wird sie doch tagtäglich zu unzähligen Malen in der Aufgabe der Brillenbestimmung gestellt und gelöst. Sie sagt allerdings über die eigentlichen optischen Teile des Auges so gut wie nichts aus. Gerade die Einzelheiten des Aufbaues der brechenden Flächenfolge im Auge sind es, die wir kennen müßten, um aus ihnen, nach den Regeln der Dioptrik aufbauend, wenn möglich zur Beantwortung der scheinbar so einfachen Frage nach den Brennweiten und genauer nach den Grundpunkten der Gesamtfolge zu kommen.

Wir brauchen also die Kenntnis der einzelnen *Bestimmungsstücke* (der sog. Konstanten) der Folge, nämlich die Kenntnis der Form und des Ortes der einzelnen brechenden Flächen und der Brechzahlen der in ihnen zusammenstoßenden Mittel. Die Aufgabe wird sehr schwierig, weil die inneren Flächen nicht unmittelbar zugänglich sind, sondern durch die der vorliegenden hindurch beobachtet werden müssen, während deren Wirkung und Eigenschaft noch nicht restlos ermittelt sind. Die Brechzahlen können wir ja am Lebenden nicht messen außer vielleicht, wenn auch nur theoretisch, an der Hornhaut. Somit ist ein Ergebnis auch in mühsamer Arbeit am lebenden Einzelauge gar nicht zu erwarten. Man ist auf die Bestimmung von Häufigkeitswerten angewiesen, um aus ihnen ein Übersichtsauge zu entwerfen.

Im groben gesehen finden wir 4 Flächen, die vordere und die hintere Hornhautfläche und zwei Linsenflächen, die alle Mittel mehr oder weniger verschiedener Dichte scheiden.

### 1. Die Konstanten der Hornhaut.

**Die Hornhautvorderfläche.** Zur Ermittlung der Flächenform können natürlich nur ophthalmometrische Verfahren gebraucht werden. Berührung verändert die Form sofort. Die meisten Messungen sind denn auch so ausgeführt worden, daß man an der zu untersuchenden Fläche gespiegelte Bilder eines nach Größe, Form und Abstand bekannten Gegenstandes ausmaß. Unter der Voraussetzung, daß es sich um eine Kugelfläche handle, hat schon CH. SCHEINER die Aufgabe in einer sehr anziehenden Art angegriffen [s. M. v. ROHR (g 38)]. Er hielt hart neben die Hornhaut eine Glaskugel, in der sich der gleiche Gegenstand wie in der Hornhaut spiegelte. Hatte er aus einer Reihe verschiedener Kugeln gerade die gefunden, die ein gleich großes Bild gab wie die Hornhaut, so schloß er darauf auf einen gleichen Krümmungshalbmesser der spiegelnden Flächen, der sich aus der unmittelbar zu messenden Dicke der Glaskugel ergab.

Soll Genaueres über die Form ermittelt werden, so ist die Krümmung an verschiedenen Stellen zu messen. M. BLIX (a, b) hat den Krümmungshalbmesser jeweils am eingestellten Punkt bestimmt. Mit dem HELMHOLTZischen Ophthalmometer hingegen erhält man als Krümmungsmittelpunkt den Schnittpunkt der Flächenlote zweier voneinander entfernter Hornhautstellen. In dem von E. JAVAL und H. SCHIÖTZ umgearbeiteten, für die Sprechstundenarbeit sehr handlichen Gerät beträgt ihr Abstand 2,94 mm. Um bei der Messung in zwei verschiedenen Meridianen, die nacheinander erledigt werden müssen, von Fehlern durch Lagenveränderung unabhängig zu werden, hat J. H. SUTCLIFFE ein Gerät gebaut, das gleichzeitig zwei zueinander senkrechte Schnitte einzustellen erlaubt (s. diesen Band S. 959). Noch unabhängiger und umfassender gestaltet GULLSTRAND (l; m S. 48) die Messung mit Hilfe der Aufnahme des Spiegelbildes, das die Hornhautoberfläche von einem nach Größe, Form und Abstand bekannten regelmäßigen Gegenstande liefert. Mit einer einzigen Aufnahme sind alle Meßstellen im gleichen Augenblick erfaßt. Durch die nachträgliche Vermessung gewinnt er die Bildgrößen, die mit der Größe und dem Abstand des gespiegelten Gegenstandes der Halbmesserberechnung zugrunde liegen.

Schließlich hat ERGGELET einen dritten Weg eingeschlagen, nämlich die Ermittlung der drei Raumkoordinaten für eine beliebig große Zahl von einzelnen Flächenpunkten durch die Ausmessung eigenartiger Raumbildaufnahmen mit dem Stereokomparator (s. Abb. 170, S. 667). Wissenschaftlich am wertvollsten ist das Ophthalmometer von HELMHOLTZ. Näheres siehe bei J. W. NORDEENSON (f).

In jüngster Zeit hat sich F. BERG (a, b, c, d) bemüht, das ophthalmometrische wie das photographische Verfahren zu verbessern und hat dabei das Ophthalmometer mit einer größeren Genauigkeit für die Durchuntersuchung ausgedehnter Hauptschnitte hergerichtet.

Es steht fest, daß die Hornhaut keine Kugelfläche ist, sondern nach dem Rand zu in den verschiedenen Richtungen mehr oder weniger schnell flacher wird. Zuerst hatte ihr H. HELMHOLTZ etwa die Gestalt eines zweiachsigen Umdrehungsellipsoids zugeschrieben, dessen Längsachse von der Gesichtslinie etwas, um den Winkel  $\alpha$ , abweiche. Dann sollte es ein dreiachsiges sein. Eingehende und genauere Messungen von M. BLIX widerlegten diese Ansicht. H. AUBERT (a, 609/620) unterschied ein optisches Gebiet, das man als

Kugelfläche ansehen dürfe, und ein Randgebiet abweichender flacherer Form. Später wurde das mittlere Gebiet in der waagrechten Richtung auf etwa 4 mm bzw.  $2 \times 15^\circ$  angegeben.

GULLSTRANDS Messungswerte (i, k, 35) sind im dioptrischen Diagramm nach ERIKSEN wiedergegeben (vgl. Abb. 40). Darin würde die Krümmung einer Kugelfläche als gerade senkrechte Linie erscheinen. Als Nullpunkt ist der ophthalmometrische Achsenpunkt, wie ihn A. GULLSTRAND (v, 270) nennt, benutzt worden. Es ist der Punkt, in dem die Flächennormale zur Visierlinie<sup>1</sup> parallel ist.

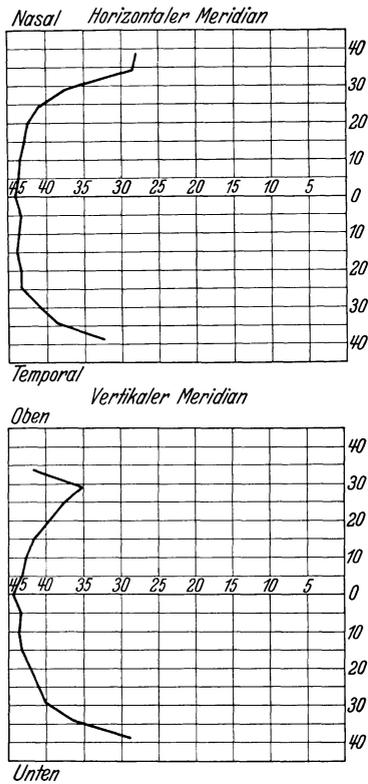


Abb. 40. Schichtenbild der Krümmungsänderung der Vorderfläche einer typisch normalen Hornhaut im waagrechten und senkrechten Meridian. Abszissen: Brechkraft, Ordinate: Winkel der Lote in der Mitte des jeweils gemessenen Flächenstückchens. (Nach GULLSTRAND.)

„Von diesem Punkte ausgehend, kann man am besten die *Form der normalen Hornhaut* dadurch charakterisieren, daß eine zentrale optische Zone besteht, in welcher die Krümmung annähernd sphärisch ist, deren Ausdehnung in horizontaler Richtung etwa 4 mm, in vertikaler etwas weniger beträgt und welche nach außen, gewöhnlich auch etwas nach unten dezentriert ist, und daß die peripheren Teile eine starke Abflachung zeigen, welche nasalwärts stärker ausgeprägt ist als temporalwärts, nach oben gewöhnlich mehr hervortritt als nach unten“ (GULLSTRAND v, 270).

Daß am senkrechten Schnitt die Abflachung oben früher beginnt als unten, ist nach A. GULLSTRAND (v, 275) durch den Lidddruck bedingt. Dieser wirkt übrigens mit optisch bei klinischer Untersuchung bemerkbarer Folge auch umschrieben auf das Epithel ein (M. HANDMANNsche Linie). Diese Unstetigkeit und Asymmetrie hat F. BERG (d) in seinen Messungen nachweisen können und im dioptrischen Bild dargestellt (c, d); eine umschriebene Änderung der Flächenform von einer größeren Einwirkung, nämlich einem Chalazion hervorgerufen, ist von ihm (a, 234) ebenfalls mitgeteilt.

Ob die Asymmetrie nach oben und nasal durch die Dezentration allein bedingt ist, oder ob der Fläche noch eine eigene Asymmetrie zukommt, ist indessen noch eine offene Frage. Sie zu beantworten hat F. BERG 50 waagrechte und 50 senkrechte Hornhautschnitte nach seinem Verfahren gemessen und aus den Ergebnissen die Mittelwerte zusammengestellt. Dabei erhielt er für die waagrechten eine Kurve (s. Abb. 41), die zwar nicht zur ophthalmometrischen Achse, der waagrechten Geraden  $0^\circ$ , wohl aber zu einer anderen, mit ihr einen Winkel von ungefähr  $4^\circ,5$  einschließenden Geraden symmetrisch ist. Jedoch enthalten diese 50 Augen zwei etwa gleich zahlreiche Gruppen mit asymmetrischen Hornhäuten, deren eine im nasalen, deren andere im temporalen Teil des Schnittes eine raschere Krümmungsabnahme aufweist. In Abb. 42 sind die Mittelwerte von 6 Augen der ersten, in Abb. 43 die von 8 Augen der zweiten Art wiedergegeben. Der senkrechte Schnitt (Abb. 44) ist nicht symmetrisch; er flacht sich oben stärker ab als unten. Die Dezentration des Mittelstücks ist geringer als beim waagrechten. Die Variationen sind größer als beim waagrechten.

<sup>1</sup> Visierlinie heißt die Schwerlinie des Bündels, das von dem ins Auge gefaßten Dingpunkt in die Pupille gesandt wird. Sie ist also der dingsseitige Hauptstrahl des Zielpunktes (s. S. 512).

Stirnrechte (frontale) Schnitte durch die vordere Hornhautfläche eines Auges dieser Form mit 0,5 dptr Astigmatismus nach der Regel zeigen noch 0,95 mm hinter dem ophthalmometrischen Achsenpunkt größere Breite als Höhe. Die von GULLSTRAND bei einer ähnlichen Berechnung gewonnenen entgegengesetzten Ergebnisse beruhen nach BERG darauf, daß die dort untersuchte Hornhaut nicht die hier erläuterte Mittelform gehabt habe.

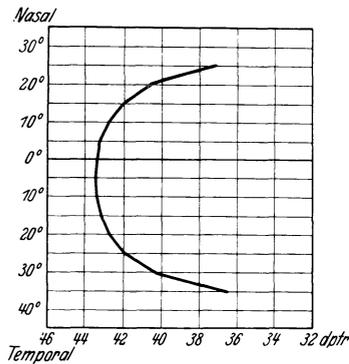


Abb. 41.

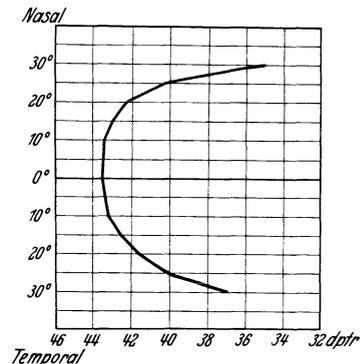


Abb. 42.

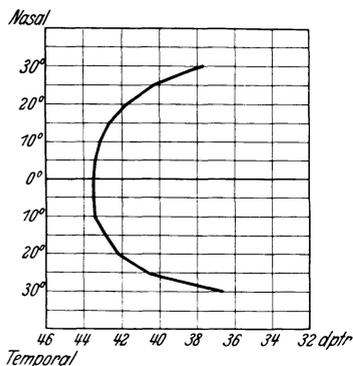


Abb. 43.

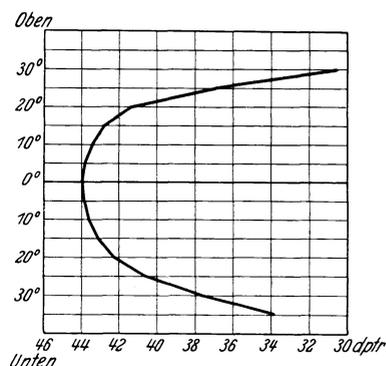


Abb. 44.

Abb. 41. Die mittlere Form der Hornhaut im *waagrechten* Schnitt, dargestellt durch das dioptrische Diagramm nach der Messung von 50 Hornhäuten. Die verschiedenen absoluten Größen sind vergleichbar gemacht, indem man der zentralen Refraktion in jeder gemessenen Hornhaut den gleichen Wert gab. Die übrigen längs dem Schnitt gemessenen Werte sind hiernach umgerechnet. (Nach F. BERG.)

Abb. 42. Die mittlere Form der Hornhäute, deren Krümmung nasal schneller abnimmt als temporal, gewonnen aus den Werten von 6 Hornhäuten. (Nach F. BERG.)

Abb. 43. Die mittlere Form der Hornhäute, deren Krümmung temporal schneller abnimmt als nasal, gewonnen aus den Werten von 8 Hornhäuten. (Nach F. BERG.)

Abb. 44. Die mittlere Form der Hornhaut im *senkrechten* Schnitt nach der Messung von 50 Hornhäuten ohne Oberlidrandlinie. Die Krümmung nimmt oben schneller ab als unten. Die Dezentrierung des mittleren Teils ist geringer als im *waagrechten* Schnitt. (Nach F. BERG.)

Um auch ohne zeitraubende Meß- und Rechenarbeit einige Auskunft über die Hornhautform zu erhalten, hat GULLSTRAND (i, k 48, Abb. 7) ein Prüfzeichen entwickelt, das in Abb. 45 wiedergegeben ist. Es wird, in geeigneter Größe dargeboten, von einer Kugelfläche als Quadrat gespiegelt. Abweichungen des Spiegelbildes von der Quadratform verraten Abweichungen der spiegelnden Fläche von der Kugelform (Abb. 46). Das AMSLER-HARTINGERSCHE Gerät hält solche Befunde fest (Abb. 161 u. 162, S. 649 und Abb. 171 u. 172, S. 668). An Augen, die in klinischer Hinsicht regelrecht beschaffen waren, hat GULLSTRAND (k, S. 51) folgende drei Typen gefunden:

1. In den regelmäßigsten Fällen nur die normale horizontale Asymmetrie.
2. In den weniger regelmäßigen Fällen eine solche Kombination von vertikaler und horizontaler Asymmetrie, daß das Bild einer normalen Asymmetrie in schiefer Richtung entsteht.

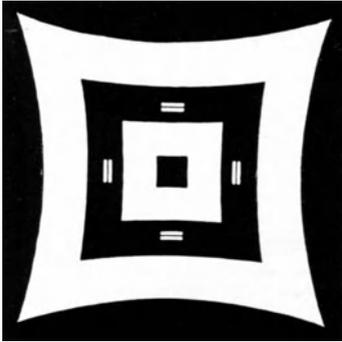


Abb. 45. Das GULLSTRANDSche Prüfzeichen für die Keratioskopie, das in geeigneter Entfernung und Größe an einer Kugel­fläche als Quadrat gespiegelt wird. (Nach GULLSTRAND).

3. In unregelmäßigeren Fällen normale Asymmetrie des horizontalen Meridians, kombiniert mit ausgeprägter abnormer Asymmetrie des vertikalen Meridians, jedoch mit vertikaler Verschiebung der Pupille in der Richtung nach der kleinsten Abflachung.

Schließlich haben neuerdings J. AEBLY und L. KOEPPE (d) eine transzendente Kurve, eine Kettenlinie (gleichen Widerstandes) für den Hornhautschnitt als wahrscheinlich erklärt.

Andere noch feinere Einzelheiten der Oberfläche sind durch die Spiegelungserscheinungen aufgedeckt worden, die F. P. FISCHER untersuchte, indem er ein sehr helles dünnes Bündel gleichgerichteter Strahlen auf die Hornhaut schickte und das zurückgeworfene Licht auf einem Schirm auffing. Daß die Tränenflüssigkeit, mit der das Gewebe benetzt ist, wesentlich an der optischen Beschaffenheit der Hornhautoberfläche beteiligt ist, wurde mehrfach erwähnt.

Als physiologisch ist von E. NORDENSON ein Hornhautastigmatismus von  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{3}{4}$  dptr erkannt worden, wenn die üblichen Ophthalmometermessungen

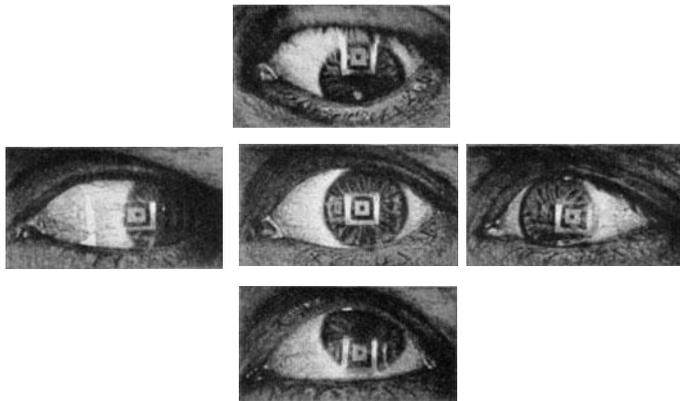


Abb. 46. Das Prüfzeichen GULLSTRANDS in 5 Stellungen des Augapfels auf der regelrechten Hornhaut gespiegelt. (Nach HELMHOLTZ.)

zugrunde gelegt werden. Das stimmt zu STEIGERS Zahl von 0,70 dptr für physiologische Augen. Nach BERG (d) ist die natürliche Form der Hornhaut im optischen Gebiet nicht astigmatisch, sondern fast genau eine Umdrehungsfläche.

Über das Verhalten der Krümmung im mittleren optischen Hornhautgebiet hat A. STEIGER (a, b) mit besonders sorgfältigen Messungen wertvolle Aufschlüsse gebracht. STEIGER fand den Krümmungshalbmesser beim Mann und im Alter länger als beim Weib und in jungen Jahren, auch länger bei größerem

als bei kleinerem Augenabstand. Die Schwankungen liegen zwischen  $41\frac{1}{2}$  und 45 dptr. Schließlich gehören größere Krümmungshalbmesser zu größeren Kopfumfängen und Körperlängen. In Sammlungen von Messungen, die dem üblichen Sprechstundenbetrieb zu dienen hatten, prägen sich die von ihm nachgewiesenen Abhängigkeiten oft nicht aus. Die Genauigkeit der Messungen mit dem Ophthalmometer nach JAVAL und SCHIÖTZ ist nicht immer dem Grad gleich, der dem Gerät nach seinem Plan zugeschrieben werden mag, und die GULLSTRAND (v, 270) auf weniger als  $\frac{1}{4}$  dptr schätzt. Im allgemeinen rechnet er allerdings mit einem möglichen Fehler von  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{2}$  dptr. Nach SALZMANN genügt schon eine Bewegung von  $2-3^\circ$ , um Störungen zu machen. Hier von abgesehen aber ist ein weiterer Fehler in Betracht zu ziehen bei Messungen, die nicht nur auf den Vergleich hinzielen, etwa auf den Vergleich der beiden Hauptschnitte einer Hornhaut, oder auf den Vergleich einer Anzahl von Hornhäuten eines Krankenbestandes, wobei sämtliche Messungen mit einem und demselben Gerät ausgeführt werden. Messungen der gleichen Fläche mit verschiedenen JAVALSchen Ophthalmometern können nämlich merklich voneinander abweichende Ergebnisse haben. Dies hat der Verfasser festgestellt, als ihm Gelegenheit gegeben war, mit drei aus verschiedenen Werkstätten stammenden JAVALSchen Ophthalmometern eine Reihe von Glaskugeloberflächen zwischen etwa 6 und

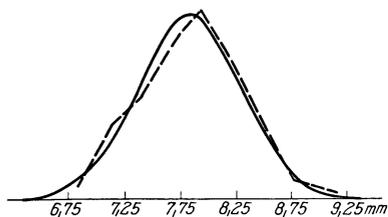


Abb. 47. Die Häufigkeitsverteilung von 200 Augen nach dem Krümmungshalbmesser ihrer Hornhaut. (Nach E. TRON.)<sup>1</sup> Die ausgezogene Kurve bedeutet wie in den Abb. 49–51, 56, 57 u. 92 die Binomialkurve.

9 mm Halbmesser zu untersuchen. Die Flächen waren optisch einwandfrei bearbeitet und ihre Krümmungshalbmesser genau bekannt [s. a. TREUTLER Z. Augenheilk. 3, 489 (1900)].

Die Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Krümmungshalbmesser von 200 Hornhäuten hat E. TRON (a u. b) in Abb. 47 mitgeteilt<sup>1</sup>. Für die Krümmung bzw. Brechkraft stellt sie M. LEIBOWICZ, der allerdings nur den schwach gekrümmten Schnitt astigmatischer Augen verwendete, aus 20000 Augen in

<sup>1</sup> Diese, wie einige andere seiner Variationskurven seien hier wiedergegeben, wenn auch schon der kleinen Zahl und der Zusammensetzung aus verschiedenen Quellen wegen Einwände dagegen zu machen sind.

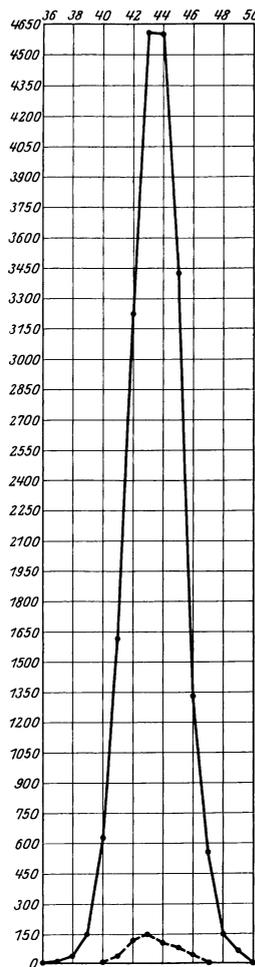


Abb. 48. Die Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Krümmungen im schwächer brechenden Meridian von 20 551 astigmatischen Hornhäuten gestrichelt CZELTZERS Zahlen. (Nach M. LEIBOWICZ.)

Abb. 48 zusammen. Unten sind auch die Messungen von A. CZELLITZER eingetragen. Die größte Häufigkeit liegt bei 43,5 dptr des JAVALSchen Maßes. Das entspricht einem Halbmesser von  $r = 7,76$  bzw. 48,5 dptr wirklicher Brechkraft (s. u.). Den ophthalmometrischen Mittelwert der Krümmungshalbmesser im optischen Gebiet der Hornhaut als Durchschnitt vieler Messungen setzt GULLSTRAND (t, v, 266) zu 7,8 mm an.

Beziehungen zur Einstellung des Auges s. S. 562; zur Anisotropie siehe P. J. WAARDENBERG.

Die Brechzahl der Hornhaut schwankt sehr wenig. L. MATTHIESSEN (c) fand bei einem 50jährigen 1,3771, bei einem 2 Tage alten Kind 1,3721, später als Mittelwert aus zahlreichen Messungen 1,3763. A. GULLSTRAND nimmt 1,376 an. Für die Vorderfläche der Hornhaut erhält man also eine Brechkraft von + 48,83 dptr, wenn  $r = 7,7$  und  $n = 1,376$  gesetzt wird, während sich nach der JAVALSchen Annahme ( $n = 1,3375$  für das Ophthalmometer) 43,8 dptr ergibt. (Die Wahl geschah so, daß auf 7,5 mm Radius 45 dptr Brechkraft traf.) Die Hornhaut ist doppelbrechend. Bestimmung der Größen teilt J. W. NORDENSON (e) mit; s. auch A. KÖHLER und A. F. TOBGY.

Die Hornhautdicke. Genaue Messungen stammen von M. BLIX und von F. LINDSTEDT (a, b), der unter GULLSTRANDS Leitung ein Meßverfahren ausarbeitete. GULLSTRAND setzte danach 0,5 mm Dicke als Übersichtswert ein. Die festgestellten Maße stimmen darin überein, daß die Dicke nach dem Rand hin zunimmt, was auch von J. W. NORDENSON (b) angenommen wird. An drei Augen fand er die Werte 0,481, 0,558 und 0,551 mm nach GULLSTRANDS Verfahren bestätigt.

Der Krümmungshalbmesser der hinteren Hornhautfläche ist ebenfalls an ihrem Spiegelbild ermittelt worden: von M. TSCHERNING (a) zu 6,22 bzw. (b) zu 6,5 mm und von GULLSTRAND (v, 283/4) zu 6,6 bzw. 6,57 bis 6,83 mm, einem ophthalmometrischen Mittelwert von 6,7 mm entsprechend. GULLSTRAND setzte im Übersichtsauge 6,8 mm an. Nach J. W. NORDENSON (b) kann die Form als sphärisch betrachtet werden. Aus dem Index des Kammerwassers folgt die Brechkraft von 5,88 dptr.

## 2. Die Vorderkammer.

Der Brechungsindex des Kammerwassers ist 1,336 (v. HELMHOLTZ, G. FREYTAG).

Die Tiefe der Vorderkammer ist vielfach bestimmt worden. Man hat dazu eine Reihe verschiedener Verfahren ausgearbeitet (A. CONTINO, V. GRÖNHÖHM,

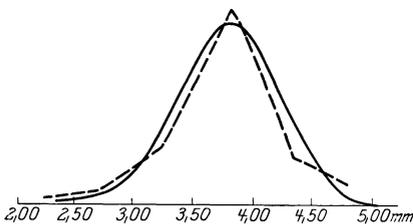


Abb. 49. Die Häufigkeitsverteilung von 200 Augen nach der Tiefe ihrer Vorderkammer. (Nach E. TRON.) (S. Erklärung zu Abb. 47.)

H. v. HELMHOLTZ (a), F. C. DONDEES, L. MANDELSTAMM und H. SCHÖLER, M. TSCHERNING, E. HEGG (a, b), F. LINDSTEDT (a, b), J. G. RAEDER, H. ULBRICH, A. VOGT, H. WEVE (zur Beurteilung s. auch H. HARTINGER). Über Messungsergebnisse berichten J. H. KNAPP, C. HORSTMANN, H. PLANTENGA, M. REICH, ADAMÜK und WOINOW, M. TSCHERNING, A. STADFELDT, M. AWERBACH, E. F. FINCHAM, B. ROSENGREN. Wir beschränken uns

auf die Wiedergabe weniger Zahlenzusammenstellungen, die, jeweils mit dem gleichen Verfahren und vom gleichen Untersucher gewonnen, den Vorzug der Vergleichbarkeit haben.

Die Tiefe ist bei verschiedenen Menschen außerordentlich verschieden (siehe B. ROSENGREN'S Streuungsbilder); sie nimmt wegen des Linsenwachstums mit

dem Alter ab, zumal bei Myopie, und ob des Formwechsels bei der Akkommodation. Von der Myopie zu Emmetropie bzw. Hyperopie findet man immer niedrigere Werte. E. TRONS Häufigkeitskurve der Kammertiefe s. Abb. 49, s. a. Abb. 101, S. 588.

F. LINDSTEDTS Zusammenfassung der Messungen der Vorderkammertiefe bei verschiedenen Refraktionszuständen. (In Klammern die Anzahl der Fälle.)

Refraktion	Alter				
	0—12	15—30	31—50	51—80	Summa
Myopen . . . . .	3,130 (1)	3,857 (32)	3,846 (5)	3,673 (3)	3,831 (41)
Hochgradige Myopen (10 dptr)	3,540 (1)	3,970 (1)	—	3,648 (4)	3,683 (6)
Emmetropen . . . . .	3,683 (9)	3,704 (72)	3,564 (25)	3,213 (8)	3,637 (114)
Hypermetropen . . . . .	3,494 (4)	3,412 (33)	3,114 (36)	3,283 (20)	3,272 (93)
Summa	3,585 (15)	3,675 (138)	3,340 (66)	3,342 (35)	3,537 (254)

Als Entfernung zwischen dem vorderen Hornhaut- und dem vorderen Linsenscheitel fand J. G. RAEDER mit

15	25	35	45	55	65	Jahren
3,69	3,57	3,42	3,27	3,15	3,04	mm

Eine große Anzahl von Messungen hat B. ROSENGREN mit LINDSTEDTS Gerät ausgeführt und Sorgfalt auf die Auswahl der Prüflinge sowie auf die Ausrechnung der Ergebnisse verwendet (s. a. ZEEMAN).

Die Schwankung um die Altersmittelwerte beträgt etwa 25% nach oben oder unten. Die Abflachung der Kammer infolge Vorrückens der Linse wirkt im Sinne einer Zunahme (Abnahme) der Myopie (Hyperopie) und umgekehrt die Vertiefung. GULLSTRAND setzt für den Abstand der vorderen Linsenfläche von der Hornhautvorderfläche 3,6 mm an. Als Folge der brechenden Wirkung der Hornhaut erscheint die Vorderkammer tiefer, als sie ist. Dadurch kann bekanntlich der Anfänger beim Starschnitt verleitet werden, im Ziliarkörper zu weit nach hinten auszustechen.

### 3. Die Konstanten der Linse.

**Die Krümmungshalbmesser der Linsenflächen.** Messungen liegen vor von C. ADAMÜK und WOINOW, AWERBACH, E. BERLIN, H. HELMHOLTZ, J. H. KNAPP, L. MANDELSTAMM und H. SCHÖLER, M. REICH, A. v. REUSS, B. ROSOW, M. TSCHERNING, A. STADFELDT, G. STRAWBRIDGE. Von den Bestimmungen am toten Auge sei abgesehen.

Für die *Vorderfläche* schwanken die Werte zwischen 7,9 und 12,7 mm. Das Mittel der HELMHOLTZischen Angaben beträgt 10,4 mm; STADFELDT fand im Mittel 10,9 und AWERBACH 10,4 mm. Eine Häufigkeitskurve hat E. TRON (s. Abb. 50) mitgeteilt.

Nach J. W. NORDENSON (a, c, d) ist die Fläche am Scheitel stärker gekrümmt als nach den Seiten hin; dort nimmt die Krümmung ab, aber in weit geringerem Maß, als es M. TSCHERNING angibt. Der Schnittspur bei Akkommodationsruhe schmiegt sich eine Parabel befriedigend an (a, 68).

Läßt sich der Halbmesser der vorderen Linsenfläche noch mit ziemlicher Genauigkeit ermitteln, so wachsen die Schwierigkeiten für den der *hinteren Fläche* sehr wegen der nicht mit Bestimmtheit zu fassenden Wirkung der Linse selbst, durch die hindurch, abgesehen von Hornhaut und Vorderkammer die Messung am Lebenden erfolgen muß (s. u.), und der erheblichen Dicke wegen. So lag es nahe, daß man hier die Messung am toten Auge zu Hilfe nahm. Doch

dürften die Fehler dabei noch größer sein als bei den Annahmen, die in die Messungen am Lebenden eingehen. Die älteren Angaben wechseln denn auch nicht unerheblich. Sie schwanken zwischen 5,13 mm (H. HELMHOLTZ) und 9,05 mm (VON REUSS); nach C. ADAMÜK und M. WOJNOW 6,06 (7,6) in Ruhe bzw. 4,69 (6,38) mm in kürzester Naheinstellung. Die Werte von A. STADFELDT und

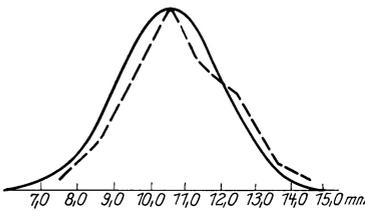


Abb. 50.

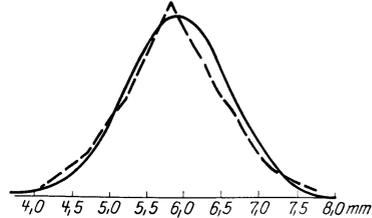
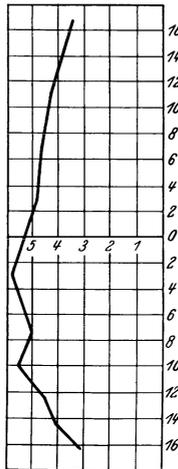


Abb. 51.

Abb. 50 u. 51. Die Häufigkeitsverteilung von 200 Augen nach dem Krümmungshalbmesser ihrer vorderen (Abb. 50) und hinteren (Abb. 51) Linsenfläche. (Nach E. TRON.) (S. Erklärung zu Abb. 47.)

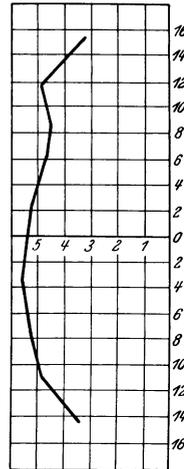
von M. AWERBACH sind 6,0 bzw. 6,1 mm. Von den neuen Messungen sind die von J. W. NORDENSON (c) und E. F. FINCHAM (a, b) zu erwähnen. A. GULLSTRAND setzt mit HELMHOLTZ als Übersichtswert 6 mm. Die Variation des Halbmessers ist wieder aus E. TRONS Abbildung zu ersehen (s. Abb. 51).

Meridian 15° nasal



temporal  
Abb. 52.

Meridian 105° oben



unten  
Abb. 53.

Abb. 52 u. 53. Dioptrische Diagramme der vorderen Linsenfläche. (Nach J. W. NORDENSON.) Ordinaten: Winkelabstände der Normalen der Mittelpunkte der gemessenen Flächenelemente. Abszissen: Krümmung in dptr.

J. W. NORDENSON (a) betrachtet auf Grund eingehender messender Untersuchungen die Form der optischen Zone der vorderen Linsenfläche als Paraboloid, die der hinteren als Ellipse, deren Achse mit der ophthalmometrischen Achse der betreffenden Fläche zusammenfällt. Das dioptrische Diagramm für zwei Schnitte der Vorder- und der Hinterfläche bei 15° und 105° einer Linse aus NORDENSON (a, 68) seien hier wiedergegeben (Abb. 52—55). Sie stammen von dem rechten emmetropischen Auge einer 28jährigen Frau mit der Sehschärfe 6/6. Die Hornhaut wies, am Keratometer gemessen, 0,5 dptr Astigmatismus nach der Regel auf; die Symmetrieebene lag bei 15°.  $\beta = 1^{\circ} 10'$ .

Die Linsendicke ist früher nach ophthalmometrischen Messungen am lebenden Auge mit Werten zwischen 3,44 mm (H. HELMHOLTZ) und 4,433 mm (E. BERLIN) angegeben. Mittelwerte aus Messungen von H. HELMHOLTZ 3,59 mm, von L. MANDELSTAMM und H. SCHÖLER 3,75 mm

und von M. TSCHERNING 4,09 mm. F. LINDSTEDT (b) findet die Linsendicke um 0,1 mm geringer als HELMHOLTZ und GULLSTRAND, also statt 3,6 nur 3,5 mm. Die Dickenzunahme beim Akkomodieren, die sich nur in einem Vortreten des vorderen Pols geltend macht, wird von H. HELMHOLTZ auf 0,4 mm beziffert (E. F. FINCHAM). Eine Variationskurve für die Linsendicke hat E. TRON (Abb. 56) veröffentlicht. Die am toten Auge gewonnenen Werte liegen höher. Sie können aber noch weniger als andere am toten Auge erhaltene Maße Bedeutung beanspruchen.

Nach dem von A. VOGT (a, 5, b, 180, d) stammenden Meßverfahren an der Spaltlampe hat sich die Dickenzunahme mit dem Alter, d. h. mit dem Linsenwachstum, bestätigt. A. VOGT und J. GALATTI haben eingehende Messungen über das Dickenverhältnis zwischen Rinde und Kern angestellt. Dabei wird eine optisch eindeutige Grenze, die Alterskernoberfläche, beobachtet, so daß Kern und Rinde etwas ganz anderes sind als die bisher gleich benannten Teile. Diese unterscheiden sich durch ihre verschiedene Härte oder Weichheit und ihre Grenze hängt daher vom Alter ab. Die VOGTsche Grenze ist beständig.

**Der Brechungsindex der Linse.**

Die größte Schwierigkeit bei der Untersuchung der optischen Flächenfolge im Auge bereitet die Linse ohne Zweifel wegen ihres eigentümlich geschichteten Baues. Die anatomisch-mikroskopischen Forschungen RABLS lehren, daß die Entwicklung und das Wachstum innerhalb der Kapsel durch Auflagerungen von der Oberfläche her geschieht, und Querschnitte durch die Linse lassen schichtenweis andere und andere

Zellen- bzw. Faserquerschnitte erkennen. Daß diesem geschichteten Aufbau auch optische Verschiedenheiten der einzelnen Schalen entsprechen, beweist das Aussehen des optischen Schnittes durch die Linse, wie es die Spaltlampe im engen Bündel liefert. Die doch im lebenden Auge sichtbaren Streifen lassen noch viel eindringlicher und eingehender erkennen, daß einerseits eine Verschiedenheit in der Beschaffenheit der einzelnen Schichten, andererseits aber eine weitgehende Gleichmäßigkeit des Stoffes innerhalb der einzelnen Schichten besteht. Die Gleichmäßigkeit wird u. a. auch durch die Eigentümlichkeit angedeutet, die Form und Aussehen von Trübungen in den verschiedenen Schichten vor einander auszeichnen. Beides paßt zu der schon längst bekannten Tatsache, daß die Brechzahl an einzelnen Stellen der Linse verschieden ist und daß sie im allgemeinen von der Oberfläche der Linse nach innen hin zunimmt. Diese Zunahme geht offenbar nicht überall ganz stetig vor sich, vielmehr deutet die Sichtbarkeit, z. B. eines Alterskernreliefs, das VOGT nachgewiesen hat, darauf hin, daß dort eine Grenze zwischen zwei Schichten liegt, deren Brechzahlen einen größeren Unterschied aufweisen als anderwärts, daß eine sprunghafte Änderung statthat (s. hierzu auch die Kernbildchen von C. v. HESS). Die unmittelbare Bestimmung der Brechzahl an ganz bestimmten verschiedenen Stellen der Linsen ist nicht genügend sicher, um daraus nach MATTHIESSENS Vorgehen die Gesamtwirkung der Linse auf rechnerischem Wege zu gewinnen. Beschränken wir uns auf die sorgfältigen

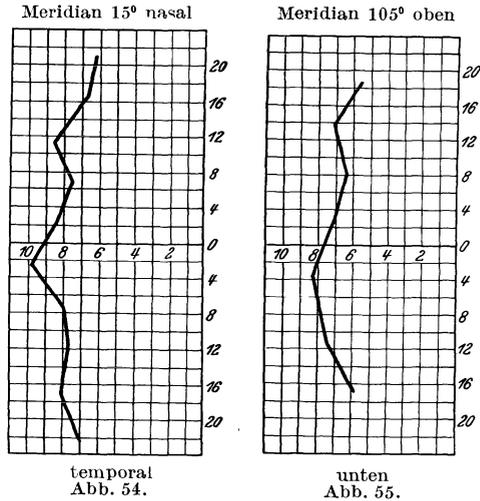


Abb. 54 u. 55. Dioptrische Diagramme der hinteren Linsenfläche. (Nach J. W. NORDENSON.) Es zeigt wie Abb. 52 u. 53 die Krümmungsänderung in den verschiedenen Teilen der untersuchten Schnittlinie durch die Fläche. (Die beiden seitlichsten nasalen Werte sind im Urtext mit 7,6 und 7,2 dptr vermerkt!)

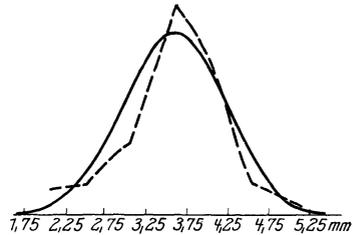


Abb. 56. Die Häufigkeitsverteilung von 200 Augen nach der Dicke ihrer Linse. (Nach E. TRON.) (S. Erklärung zu Abb. 47.)

Messungen von G. FREYTAG (dort auch ältere Quellen zu finden), so kann folgendes als gültig erwähnt werden: Vom Pol zum Äquator soll die Brechzahl der Oberflächenschichten abnehmen, und zwar unabhängig vom Alter. Als Mittelwert der 6 jüngsten und 6 ältesten Linsen gibt FREYTAG an:

	Vorderer Pol	Äquator	Hinterer Pol
9 Monate alte Feten und Neugeborene . . . . .	1,3858	1,37318	1,38275
Erwachsene vom 51. bis zum 80. Jahr . . . . .	1,38464	1,37495	1,38294

Die Brechzahl des Kernes hängt ein wenig vom Alter ab. Als Mittelwert der Brechzahl in der Kernmitte hat G. FREYTAG an den 10 jüngsten Linsen 1,40256 an den 11 ältesten 1,40965 gefunden, also eine geringe Zunahme mit dem Alter. Die entsprechenden, nach dem HALBENSCHEN Verfahren gewonnenen Zahlen FREYTAGS sind für die 10 jüngsten Linsen 1,40559 und für die 10 ältesten 1,40835.

GULLSTRAND hält sich an FREYTAGS Zahlen und nimmt als Mittelwert des Index der oberflächlichsten Schicht für Menschaugen bis zum 30. Lebensjahr 1,387, 1,375, 1,385 und für das Linsenzentrum 1,406 an.

Wir sind also zwar über die Verteilung der Brechzahl auf die verschiedenen Örtler des Linsenkörpers durch örtliche Einzelmessung nicht unterrichtet. Doch ist vielleicht der Schluß erlaubt, daß sich die Brechungszahl innerhalb jeder einzelnen Schicht einigermaßen gleich halten mag ähnlich wie die Durchsichtigkeitsgrade innerhalb der einzelnen Schichten im Spaltlampenbild. Man kann an diesem Durchsichtigkeitswechsel den Krümmungsgrad der einzelnen Schichten erkennen, worauf A. VOGT aufmerksam gemacht hat. Diese Schichten sind im allgemeinen um so stärker gekrümmt, je näher der Linsenmitte zu sie liegen und umgekehrt, um so flacher, je weiter von der Mitte sie entfernt sind, also auch wieder, je geringer ihr Alter ist. — Der *Glaskörperindex* ist 1,336.

**Der Totalindex der Linse.** Da es nicht mit der genügenden Sicherheit möglich ist, die Brechzahl an genügend vielen und genügend genau bestimmten Einzelstellen in der Linse zu messen, so sind wir, wenn wir eine vollständige Kenntnis der Flächenfolge wünschen, auf das Aushilfsmittel angewiesen, die Gesamtwirkung der Linse zunächst zu ermitteln. Am sichersten ist der hierzu von K. BJERKE begangene Weg, die Refraktion eines Auges vor und nach der Entfernung der Linse zum Ausgangspunkt zu wählen, um die gesamte Brechkraft der Linse zu messen. (Sie beträgt nach A. GULLSTRAND nicht zu knapp gerechnet 19,1 dptr. Im Glaskörper entspricht dem eine Brennweite von 60,908 mm.) Daraus ergibt sich die Berechnung des *Totalindex*. Das ist somit die gedachte Brechzahl, die einer Linse von dem Krümmungs- und Dickenmaß der Augenlinse die gleiche Brechkraft verleiht, wie sie die lebende Linse im Auge besitzt. Die Berechnungsweise ist bei A. GULLSTRAND (v, 296) zu finden.

Der Totalindex ist größer als der Höchstwert der Brechzahl für die Einzelstelle der wirklichen Linse. Von M. TSCHERNING wird er mit 1,42 bzw. 1,41 angegeben, von A. GULLSTRAND mit 1,4085. [Er wächst überdies mit der Akkommodation (nach A. GULLSTRAND auf 1,426).] Für die Pole ist dabei  $n = 1,386$ , für einen 4,2 mm seitlich davon liegenden Punkt mit 1,376 und für das Kernzentrum  $n = 1,406$  gesetzt.

Der Vorteil der Schichtung beruht nach A. GULLSTRAND darauf, daß der Totalindex bei der Akkommodation zunimmt, so daß ein bestimmter Brech-

kraftzuwachs mit einer geringeren Formveränderung der Linse erzielt wird als bei einem gleichmäßigen Stoff.

Damit im Übersichtsauge die Hauptpunkte dieser Linse mit denen der wirklichen Linse zusammenfallen, und nicht wie beim Ersatz des geschichteten Linseninhalts durch ein gleichmäßiges Mittel von der Brechzahl des Totalindex verlagert werden, hat A. GULLSTRAND (v, 298/9) darin die äquivalente Kernlinse eingeführt. Das ist eine Linse aus einem gleichmäßigen Mittel, „mit dem Brechungsindex des Linsenzentrums in einem Medium mit dem Brechungsindex der Linsenpole suspendiert, welche dieselbe Brechkraft und dieselben Hauptpunkte hat wie die reelle Kernlinse und deren Brechkraft auf die beiden Flächen in demselben Verhältnisse verteilt ist, wie in der reellen auf die beiden vor und hinter dem Linsenzentrum belegenen Teile der Linsensubstanz“.

**Die Kernlinse.** Die *Lens crystallina* ist somit optisch eine Drillingslinse, dessen erstes und letztes Glied durch ihre beiden in der bekannten Weise wirkenden und bestimmten Linsenoberflächen bzw. deren Brechkräfte dargestellt sind, während der Kapselinhalt selbst das mittlere Linsenglied mit einer eigenen Brechkraft bildet, eine weitere brechende Fläche vertretend. Dieses eigentümliche Mittelglied ist ein Umdrehungssystem mit stetig sich ändernder Brechzahl und wird von A. GULLSTRAND (u) nach MATTHIESSENS Vorschlag (c, 24) Kernlinse genannt.

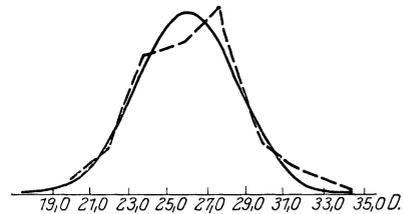


Abb. 57. Die Häufigkeitsverteilung von 200 Augen nach der Brechkraft ihrer Linse. (Nach E. TRON.) (S. Erklärung zu Abb. 47.)

Wenn man die von TRON beigebrachten Angaben über die Linsenbrechkraft (Abb. 57) betrachtet, so fällt einmal ihre ungewöhnlich große Stärke von rund 26 dptr (Mittelwert) auf und dann die große Schwankungsbreite. Diese letzte Angabe würde mit der früher von CZELLITZER aus seinen Messungen gezogenen Folgerung im Einklang stehen.

**Astigmatismus der Linse.** Daß die Linse wie die Hornhaut nicht genau achsensymmetrisch, sondern astigmatisch ist, beweist häufig genug das Ergebnis der Bestimmung des Brechungszustandes des Gesamtauges im Vergleich mit der Ophthalmometrie der vorderen Hornhautfläche, wofür neuerdings wieder von CZELLITZER Belege beigebracht wurden. Der Linsenastigmatismus muß meist dem der Hornhaut entgegengesetzt gerichtet sein. Daß die Oberflächen die Träger dieses Astigmatismus seien, ist durch unmittelbare Messung noch nicht erwiesen worden, indessen als wahrscheinlich anzunehmen u. a. auf Grund von Rechnungen von K. PEARSON und M. MOUL über die Größe der Schiefstellung, die nötig wäre, um die entsprechenden Grade von Astigmatismus zu verursachen. Nach A. GULLSTRAND kann auch die Kernlinse dabei beteiligt sein, ohne daß ihre Flächen von der Umdrehungsform abzuweichen brauchten.

## B. Das schematische Auge.

**Das schematische Auge von GULLSTRAND.** Unter der Annahme, daß die Flächen ausgerichtet (zentriert) wären, stellt GULLSTRAND (t, 27, 35; v) aus den folgenden Bestimmungsstücken (Konstanten) sein schematisches Auge in Akkommodationsruhe zusammen (s. Zusammenstellung auf S. 511). Die Abb. 58 zeigt einen vergrößerten Achsenschnitt dieser Folge. Es beruht vor allem auf der gemessenen Hornhautbrechkraft und dem mittleren Brechungszustand des linsenlosen Auges. Die hier ausgewählten beiden Werte führen auf eine Achsenlänge von 24 mm, was mit den vorliegenden unmittelbaren Messungen

herausgenommener Augen im Einklang steht. Für das Nullstrahlengebiet erhält dieses Auge eine Übersichtigkeit von 1 dp<sub>tr</sub>, während sich bei einer Untersuchung für eine natürliche Pupillenweite also mit Berücksichtigung der Aberration Emmetropie finden müßte (v, 334/5).

GULLSTRAND hat ferner ein *vereinfachtes schematisches Auge* berechnet, bei dem keine Rücksicht auf die Aberration genommen worden ist, die Zerstreuungswirkung der Hornhauthinterfläche vernachlässigt und die Linse als nicht geschichtet angesehen wird. Diese letzte Annahme verlegt allerdings die Linsen Hauptpunkte von ihrem richtigen Ort weg. An Stelle dieser beiden Punkte kann dann auch ein Einzelpunkt, das optische Linsenzentrum, eintreten (v, 302, s. S. 511). Frühere schematische Augen haben BECKER, HELMHOLTZ, STADTFELDT angegeben.

**Das reduzierte Auge.** Für gewisse Überlegungen genügt es, statt mit dem exakten schematischen Auge zu rechnen, die Flächenfolge durch eine einzige brechende Fläche vertreten zu lassen. Sie trennt Luft, das erste Mittel der Folge, von einem Mittel höherer Brechzahl und entwirft ihr Bild auf einem in bestimmtem Abstand folgenden Schirm. Man erhält so ein *reduziertes Auge*. Solche sind von F. C. DONDERS, J. v. HASNER, J. B. LISTING, L. MATTHIESSEN angegeben worden. Dem exakten schematischen Auge GULLSTRANDS würde als reduziertes Auge eine Fläche mit dem Krümmungshalbmesser 5,7 mm und eine Brechzahl von  $\frac{4}{3}$  entsprechen. Von W. K. WERBITZKY ist ein reduziertes Auge mit einem  $r = 6,8$  und einem  $n = 1,4$  vorgeschlagen worden, dem die

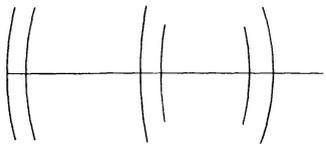


Abb. 53. Achsenschnitt durch die Flächenfolge des schematischen Auges nach A. GULLSTRAND. Flächen kugelförmig angesetzt.

Brechkraft des exakten schematischen Auges von GULLSTRAND zugrunde lag, das sich aber der Akkommodation dadurch anpassen läßt, daß für jede Dioptrie Akkommodation der Krümmungshalbmesser der Fläche um 0,04 mm vermindert und die Brechzahl um 0,004 vermehrt wird. Die Ausgangsbrechzahl hat sich ergeben durch die Forderung, daß der engste Querschnitt der Kaustik für eine Pupille von 4 mm Durchmesser 0,087 mm vom Brennpunkt der Nullstrahlen entfernt sein sollte, daß der Astigmatismus schiefer Bündel für den Winkel  $\alpha = 5^\circ$  so groß sei, wie WERBITZKY ihn im schematischen Auge nach GULLSTRAND berechnet hat, und daß die Augenlänge möglichst gleich sei wie beim exakten.

**Die Pupille im schematischen Auge.** Wenn die Pupille des Auges auch von endlicher Weite ist, so daß sie nicht mehr in den GAUSSISCHEN Bereich gehört, so kann man doch ihren Achsenort in die Nullstrahlenrechnung einschließen. Nur muß man sich bewußt sein, daß die wirkliche Öffnung bei der Abbildung durch endliche Bündel mit Aberration behaftet ist, so daß man nicht zu dem gleichen Bild- und Dingort gelangt, wenn man sie durch Strahlen verschiedener Neigung abbildet. Bleibt man aber einmal bei der Nullstrahlenrechnung, so wird der Achsenort der Regenbogenhautebene durch die Hornhaut scheinbar nach vorn verlagert auf 3,047 (3,048) mm [exaktes (vereinfachtes) schematisches Auge], wenn der anatomische Abstand zu 3,559 mm hinter dem Hornhautscheitel angenommen wird. Das ist der Achsenort der Eintrittspupille.

Auf der andern Seite findet eine Abbildung durch die Linse in den Glaskörper hinein statt, und zwar auf 3,667 (3,518) mm hinter dem Hornhautscheitel [H. BOEGEHOLD (c, 215)]. Das ist der Achsenort der Austrittspupille.

Da die beiden Abbildungen nicht in gleichem Vergrößerungsverhältnis erfolgen, so ergibt sich ein von 1 verschiedenes Vergrößerungsverhältnis auch in diesen beiden bezüglich des Gesamtauges einander als Ding und Bild zugeordneten Punkten des Luft- oder des Glaskörperaumes. Dieses Vergrößerungsverhältnis

## Schematisches Auge nach GULLSTRAND.

	Exakt		Vereinfacht	
	Akkommo- dations- ruhe	Max. Akkommo- dation	Akkommo- dations- ruhe	Max. Akkommo- dation
<b>Brechungsindex:</b>				
Hornhaut . . . . .	1,376	1,376		
Kammerwasser und Glaskörper	1,336	1,336	1,336	1,336
Linse . . . . .	1,386	1,386	1,413	1,424
Äquivalente Kernlinse . . . . .	1,406	1,406		
<b>Ort:</b>				
Vordere Hornhautfläche . . . . .	0	0	0	0
Hintere Hornhautfläche . . . . .	0,5	0,5		
Vordere Linsenfläche . . . . .	3,6	3,2		
Vord. Fläche der äquivalenten Kernlinse . . . . .	4,146	3,8725		
Hint. Fläche der äquivalenten Kernlinse . . . . .	6,565	6,5275		
Hintere Linsenfläche . . . . .	7,2	7,2		
Optisches Zentrum der Linse . . . . .			5,85	5,2
<b>Krümmungsradius:</b>				
Vordere Hornhautfläche . . . . .	7,7	7,7		
Hintere Hornhautfläche . . . . .	6,8	6,8		
Äquivalente Hornhautfläche			7,8	7,8
Vordere Linsenfläche . . . . .	10	5,33	10	5,33
Vord. Fläche der äquivalenten Kernlinse . . . . .	7,911	2,655		
Hint. Fläche der äquivalenten Kernlinse . . . . .	— 5,76	— 2,655		
Hintere Linsenfläche . . . . .	— 6	— 5,33	— 6	— 5,33
<b>Brechkraft:</b>				
Vordere Hornhautfläche . . . . .	48,83	48,83		
Hintere Hornhautfläche . . . . .	— 5,88	— 5,88		
Äquivalente Hornhautfläche			43,08	43,08
Vordere Linsenfläche . . . . .	5	9,375	7,7	16,5
Kernlinse . . . . .	5,985	14,96		
Hintere Linsenfläche . . . . .	8,33	9,375	12,833	16,5
<b>Hornhautsystem:</b>				
Brechkraft . . . . .	43,05	43,05	43,08	43,08
Ort des 1. Hauptpunktes . . . . .	— 0,0496	— 0,0496	0	0
Ort des 2. Hauptpunktes . . . . .	— 0,0506	— 0,0506	0	0
Vordere Brennweite . . . . .	— 23,227	— 23,227	— 23,214	— 23,214
Hintere Brennweite . . . . .	31,031	31,031	31,014	31,014
<b>Linsensystem:</b>				
Brechkraft . . . . .	19,11	33,06	20,53	33
Ort des 1. Hauptpunktes . . . . .	5,678	5,145	5,85	5,2
Ort des 2. Hauptpunktes . . . . .	5,808	5,255	5,85	5,2
Brennweite . . . . .	69,908	40,416	65,065	40,485
<b>Vollsystem:</b>				
Brechkraft . . . . .	58,64	70,57	59,74	70,54
Ort des 1. Hauptpunktes . . . . .	1,348	1,772	1,505	1,821
Ort des 2. Hauptpunktes . . . . .	1,602	2,086	1,631	2,025
Ort des 1. Brennpunktes . . . . .	— 15,707	— 12,397	— 15,235	— 12,355
Ort des 2. Brennpunktes . . . . .	24,387	21,016	23,996	20,963
Vordere Brennweite . . . . .	— 17,055	— 14,169	— 16,740	— 14,176
Hintere Brennweite . . . . .	22,785	18,930	22,365	18,938
Ort der Netzhautfovea . . . . .	24	24	24	24
Axiale Refraktion . . . . .	+ 1,0	— 9,6	0	— 9,7
Ort des Nahpunktes . . . . .		— 102,3		— 100,8

beträgt 0,909 (0,916) in Akkommodationsruhe und 0,941 (0,943) bei 10 dptr Akkommodation, im exakten (vereinfachten) schematischen Auge nach A. GULLSTRAND (t, 29 u. 36). Es sei noch darauf aufmerksam gemacht, daß die Pupillen also nicht mit den Hauptpunkten zusammenfallen.

### C. Die Ausrichtung (Zentrierung) der Flächenfolge und die Strahlenbegrenzung.

Sind die Glieder (Konstanten) der Flächenfolge gekennzeichnet, so fragt es sich, ob die Flächen und die Blenden auch ausgerichtet (zentriert) sind.

**Die Zentrierung der Flächen.** Was die Flächen angeht, so sagt J. W. NORDENSON (d), daß strenggenommen eine gemeinsame Normale der brechenden Flächen des Auges nicht vorhanden zu sein scheint. Die als *optische Achse* bezeichnete Normale zur vorderen Hornhautfläche, welche durch die Mitte der scheinbaren Pupille geht, liegt von den gemeinschaftlichen Normalen der Flächen derjenigen der vorderen Hornhaut- und scheinbaren hinteren Linsenfläche am nächsten. Mit der Linsenachse bildet sie einen Winkel von etwa 2—3°.

**Die Zentrierung der Blenden.** Die Blende des Auges, die Pupille, ist meist nicht zentriert, sondern mit Bezug auf den ophthalmometrischen Achsenpunkt der Hornhaut nach außen und unten verlagert wie das optische Hornhautgebiet auch (s. oben, S. 500), und zwar in etwa gleichem Betrage wie diese.

Im ganz engen, buchstäblichen Sinne besitzt das Auge nur eine Blende, die Regenbogenhaut mit ihrer Pupillenöffnung, wenn man von den Begrenzungen der brechenden Flächen absieht und sich auf das in seiner Höhle ruhende und geradeaus blickende Auge in Primärstellung beschränkt. Als Feld begrenzend kommen daneben noch, wenigstens nach oben und nasenwärts, die vorspringenden Gesichtsteile, die Nase und der obere Augenhöhlenrand in Betracht, während auf der Schläfenseite und wohl meist auch nach unten hin das Ende der lichtempfindenden Netzhaut an ihre Stelle tritt. Hiermit ist das Gesichtsfeld begrenzt.

Im übertragenen Sinn aber haben wir mit einer weiteren Blende zu rechnen. Wenn wir nämlich allein das Gebiet des deutlichsten, direkten Sehens untersuchen, so spielt die Netzhautgrube als die eng begrenzte Stelle höchster Ausbildung der Netzhaut vor allem hinsichtlich der räumlichen Unterscheidungsfähigkeit die Rolle einer Blende, einer *Luke*, also einer Feldblende.

**Die Visierlinie.** Die beste Stelle der Netzhaut, ihre fovea, bestimmt mit der Mitte der Austrittspupille eine ausgezeichnete Richtung im Bildraum. Ihr ist im Dingraum wieder eine Richtung zugeordnet, die von der Mitte der Eintrittspupille zum Zielpunkt. Diese letzte Richtung ist die *Visierlinie* (s. S. 500).

Diese müßte, wenn man von einer strengen Ausrichtung (Zentrierung) sollte sprechen können, mit der optischen Achse zusammenfallen. Das ist aber nicht der Fall. Vielmehr bildet die Visierlinie einen Winkel mit der Richtung der optischen Achse, und zwar geht die Visierlinie meist nach innen von der optischen Achse vorbei. Da die Pupille sich wohl nicht immer konzentrisch verengt, so schwankt dieser Winkel gelegentlich mit der Pupillenweite. Zwar besitzen die verschiedenen brechenden Flächen kein allen gemeinsames Lot, doch kann ein solches durch dasjenige Flächenlot der Hornhaut, das durch die Mitte der Eintrittspupille gerichtet ist, mit hinreichender Genauigkeit vertreten werden. Da die Visierlinie mit der optischen Achse einen Winkel bildet<sup>1</sup>, so ist die

<sup>1</sup> Der Einfallswinkel der Visierlinie beträgt 0—6° und kann auch negativ werden. Die Einfallsebene liegt bei großen Einfallswinkeln etwa um 30° zur Waagrechten geneigt von oben innen nach unten außen. Der Winkel zwischen Visierlinie und optischer Achse ist meist über 1½mal so groß als der Einfallswinkel. [A. GULLSTRAND (e, S. 357 u. 358).]

optische Abbildung schon in der Zielrichtung mit Astigmatismus schiefer Bündel behaftet. GULLSTRAND berechnet ihn für  $5^\circ$  Neigung auf  $\frac{1}{10}$  dptr.

**Der Astigmatismus schiefer Bündel.** Für seitlich gelegene Gebiete haben sich schon vor über hundert Jahren TH. YOUNG, jede Augenfläche als kugelig nehmend, rechnerisch und später andere im Weg des Versuchs um die Ermittlung der astigmatischen Bildschalen gekümmert. Da die Brechung in der Linse nicht genau bekannt war, insbesondere auch die Form ihrer Hinterfläche nicht, so sind die Ergebnisse mit einer großen Unsicherheit behaftet. Daher sind unmittelbare Bestimmungen wertvoll, wie sie A. DRUAULT (b) mit Hilfe der Schattenprobe ausgeführt hat. Es scheint, daß die Netzhaut zwischen den beiden astigmatischen Bildschalen liegt, und zwar der hinteren näher als der vorderen.

Bemerkenswert ist die Feststellung GULLSTRANDS an seiner errechneten Krystalllinse mit stetig nach innen wachsender Brechzahl und parabolischer Hinterfläche, daß der Astigmatismus entlang einem Strahl, der in der Mitte der Vorderfläche unter einem Winkel von  $25^\circ$  einfällt, größer ist als in einer Linse mit gleichmäßiger Brechzahl von der Größe des Totalindex.

**Die Visierlinie.** Der Visierlinie kommt für die Abbildung im Auge bzw. für das Sehen eine maßgebende Bedeutung zu (A. GULLSTRAND [v, 270/271]), und zwar ihrem Einfallswinkel und ihrem Winkel mit der optischen Achse. Der Begriff *Gesichtslinie* und ihre Beziehungen sind entbehrlich geworden. Da sie aber in vielen früheren Arbeiten vorkommen, so seien sie kurz berührt. Eine von einem Dingpunkt durch den ersten Knotenpunkt gehende Gerade verläuft vom zweiten Knotenpunkt zu ihrer ursprünglichen Richtung parallel weiter zum zugehörigen Bildpunkt. Das sind die erste und zweite Richtungslinie. Das dem Zielpunkt oder der Netzhautgrube zugehörige Paar von Richtungslinien heißt Gesichtslinie, und da die Knotenpunkte nahe beisammen liegen, im reduzierten Auge (s. S. 510) in einen zusammenfallen, so bilden die beiden Gesichtslinien (die ding- und die bildseitige) eine einzige Gesichtslinie als Verbindung zwischen dem Dingpunkt und der Mitte der Netzhautgrube. Die Gesichtslinien und Visierlinien schließen für weit entfernte Dingpunkte nur einen sehr kleinen Winkel ein, somit kann man für gewöhnlich beide zusammenfallen lassen. Da HELMHOLTZ die Hornhautform als ein Ellipsoid betrachten konnte, dessen große Achse zugleich die Achse des Auges abgab, so wurde die Richtung der Gesichtslinien auf diese Gerade bezogen und durch den Winkel  $\alpha$  gemessen. Nicht streng, aber für weit entfernte Zielpunkte wenigstens angenähert kann dieser Winkel für die Neigung der Visierlinie zur optischen Achse eingesetzt werden, da auch die Hauptachse des gedachten Ellipsoides einigermaßen der von uns oben (S. 512) angeführten optischen Achse nahekommt, wenn auch das Ellipsoid als Hornhautform nicht zutrifft.

**Die Blicklinie.** Ein häufig vorkommender Winkel  $\gamma$  mißt die Neigung der *Blicklinie* zu der Hornhautnormalen, die durch die Mitte der Hornhautgrundfläche geht. Die Blicklinie ist die Verbindungsgerade zwischen dem Drehpunkt und dem Zielpunkt. (Des Augendrehpunkts wegen siehe unten S. 777/778).

## D. Die Sehschärfe.

Die Lichtstrahlen treffen im Auge auf einen Schirm, die Netzhaut. In ihrem durch Licht reizbaren Teil, der musivischen Schicht, ist sie aus einzelnen Gebilden von endlichem Durchmesser aufgebaut, den Stäbchen und Zapfen (Abb. 59). Von anderen Unterscheidungsmerkmalen abgesehen, haben sie, je nach dem Netzhautort, verschiedene Größe und verschiedene gegenseitige Abstände. (Siehe die Flächenschnitte der Netzhaut von L. HEINE, Abb. 60/61.) Als

Grundeinheiten der Reizaufnahme bestimmen sie, vergleichbar der Korngröße einer Lichtbildplatte oder dem Raster einer Autotypie, die untere Grenze der Größe derjenigen Feinheiten im Bild, die der Mensch wahrnimmt. Bildeinheiten, die sich innerhalb des Bereiches eines einzelnen solchen Empfangsstückes halten, werden nicht unterschieden. Sollen zwei Reize getrennt wahrgenommen werden, so muß zwischen den von ihnen getroffenen Empfindlichkeitseinheiten eine dritte ungereizt bleiben. In der Netzhautgrube (Fovea centralis) sind nun die Einheiten, die Außenglieder der dort allein vertretenen Zapfen, am dünnsten und die räumliche Unterscheidungsfähigkeit des Auges am größten (Abb. 60 von L. HEINE). Im Dingraum ist dem Aufnahmebereich dieser Seheinheiten ein gewisser Größen- oder Winkelbereich zugeordnet, innerhalb dessen Einzelheiten des Gegenstandes für das Auge sozusagen nicht vorhanden sind, vielmehr in einen physiologischen Punkt verschmelzen. Erfahrungsgemäß beträgt im regelrechten Auge dieser Winkel für die Unterscheidung zweier Punkte reichlich gerechnet  $1^{\circ}$ .



Abb. 59. Zapfenlängsschnitte. (Nach EISLER.) Retina von einem 24jährigen Hingerichteten; Area centralis; Färbung mit molybdänsaurem Hämatoxylin. 1 Pigmentepithel der Retina, links mit Herabsteigen der Pigmentkörner in die langen Protoplasmafortsätze, 2 Stäbchen und Zapfen, die Außenglieder dunkel gefärbt, 3 Faserkörbe, 4 Membrana limitans externa, 5 Zapfenkörner, 6 Stäbchenkörner. Zwischen den Körnern zur Limitans ext. aufsteigende Stützfasern. (Präparat von HELD.) (Nach EISLER.)

Dieser Winkelgröße läßt sich eine gewisse Netzhautstrecke gemäß der Abbildung im GAUSSSICHEN Raum zuordnen, wenn nach der üblichen Darstellungsweise an der Grenze der Unterscheidbarkeit des Abstandes zweier Punkte ein ungereizter Zapfen zwischen den zwei durch die Punktbilder gereizten liegen soll. Das kann etwa in der folgenden Weise durch die

Zeichnung (Abb. 62) angedeutet werden. Läßt man den von dem einen Punkt kommenden Strahl entlang der Achse ins Auge eintreten, so geht er ohne Ablenkung zur Netzhaut; der vom anderen kommende soll durch den vorderen dingseitigen Augenbrennpunkt  $F$  fahren. Dann verläuft er im Glaskörper achsenparallel. Der Durchstoßungspunkt in der Netzhaut begrenzt eine Strecke, den Durchmesser der Aufnahmeeinheiten der Netzhaut. Einem Hinweis von ROHR'S entsprechend stimmen die drei hierbei in Beziehung tretenden anatomischen, physiologischen und optischen Werte wenigstens ihrer Größenordnung nach nicht ganz schlecht überein, wenn man in der Gleichung  $\operatorname{tg} \omega_f = \frac{h}{f}$  setzt  $\omega = 1'$  und  $f = -17$  mm.

**Absolute und natürliche Sehschärfe.** Wenn es sich nunmehr bei der Bestimmung der Sehschärfe um die Messung eines Winkels handelt, so ist unter allen Umständen der Ort seines Scheitels am oder im Auge festzulegen. Zwei

<sup>1</sup> Man vergleiche dazu auch die Darstellung von DITTLER in diesen Band S. 380.

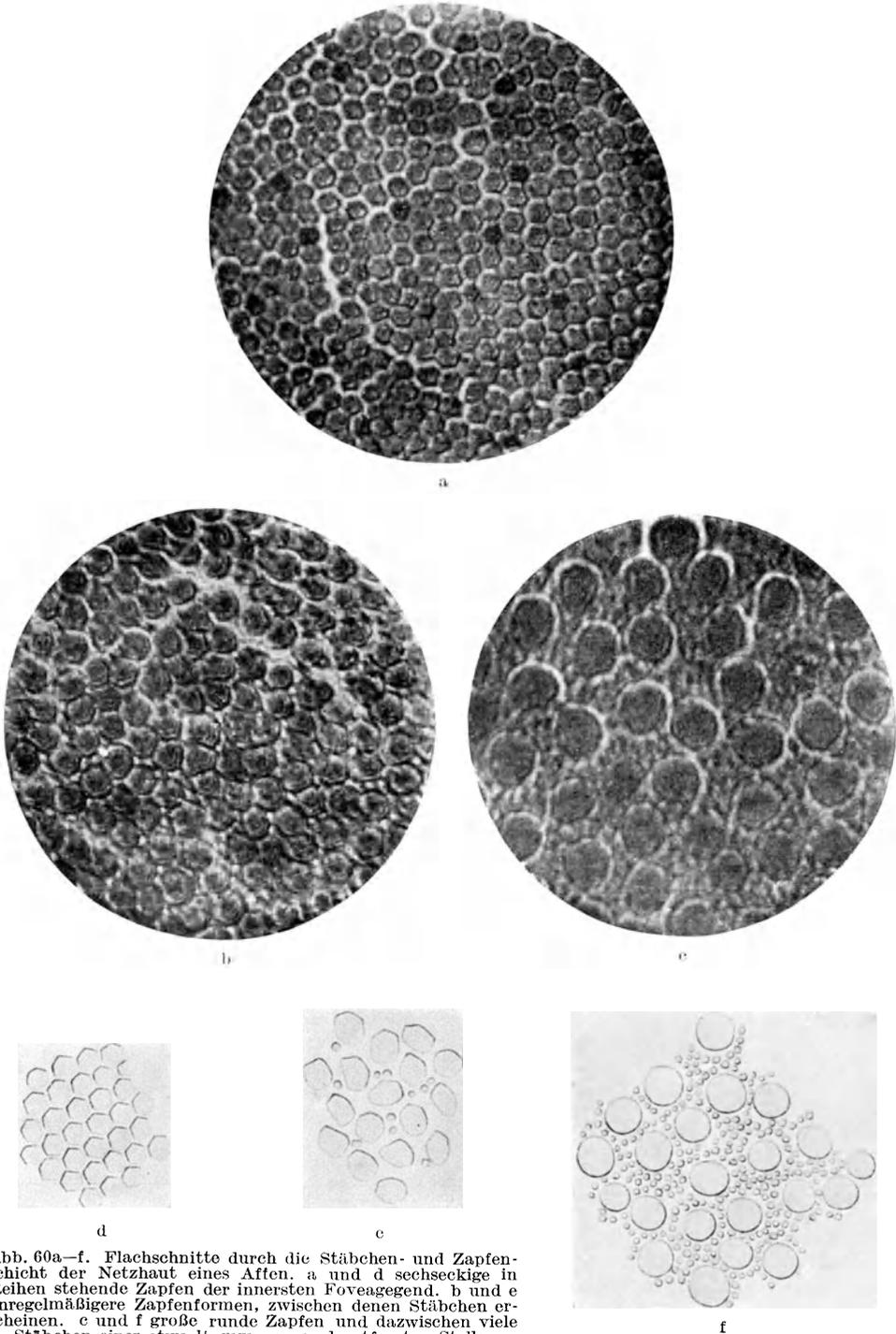
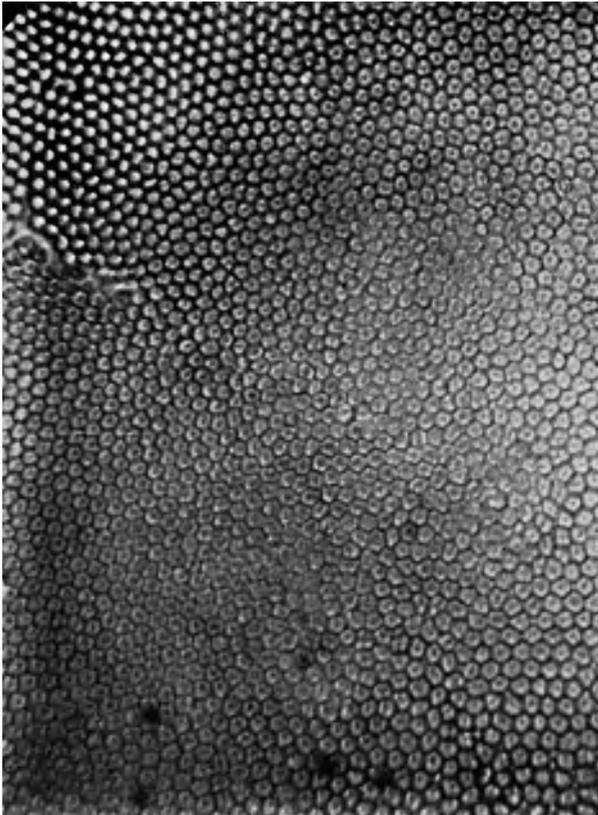


Abb. 60a-f. Flachschnitte durch die Stäbchen- und Zapfenschicht der Netzhaut eines Affen. a und d sechseckige in Reihen stehende Zapfen der innersten Foveagegend. b und e unregelmäßigere Zapfenformen, zwischen denen Stäbchen erscheinen. c und f große runde Zapfen und dazwischen viele Stäbchen einer etwa  $\frac{1}{2}$  mm von a, d entfernten Stelle.  
(Nach L. HEINE.)

Möglichkeiten ergeben sich als besonders gerechtfertigt, je nachdem man einmal die Leistungsfähigkeit von Augen verschiedener Beobachter vergleichen, oder ferner die Leistungsfähigkeit eines und desselben Auges bei verschiedenen Akkommodationszuständen zueinander in Beziehung setzen will.



g

Abb. 61. Flachschnitte durch die Stäbchen- und Zapfenschicht der Netzhaut eines Menschen. (Nach L. HEINE.)

Legt man im ersten Falle (Abb. 63) den Winkelscheitel für  $\omega_f$  nach F, den vorderen Brennpunkt des Auges, so verläuft der schiefe Strahl im Glaskörper der Augennachse parallel und man erhält

$$\text{aus } \text{tg } \omega_f = \frac{y'}{\mathbf{HF}} = \frac{-y'}{\mathbf{f}}$$

$$\text{in } y' = -\mathbf{f}' \text{tg } \omega_f$$

diesen Achsenabstand oder die Bildgröße auf der Netzhaut genauer in der Berührungsebene der Netzhautgrube.

Aus dem Winkel  $\omega_f$  bestimmt man nach DONDERS (164/166) die absolute Sehschärfe S zu

$$S = \frac{c}{\text{tg } \omega_r} = \frac{c}{\omega_r},$$

wo c eine Konstante ist und  $\text{tg } \omega_f$  bei den kleinen Winkeln unbedenklich durch  $\omega_f$  ersetzt wird.

Für den zweiten Fall (Abb. 64) wird

man von der Tatsache Gebrauch machen, daß der Ort des Augenhauptpunktes H von der Akkommodationsspannung (für die geringe Genauigkeit

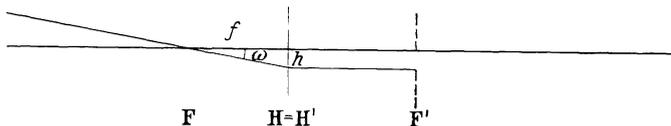


Abb. 62. Die Beziehung zwischen dem Grenzwinkel der Sehschärfe, der Augenbrennweite und der Zapfengröße der Netzhaut.

physiologischer Messungen) als unabhängig anzusehen ist, und man verlegt den Winkelscheitel  $\omega_h$  nach H.

Nach GULLSTRAND setzt man die natürliche Sehschärfe  $S_n$  an mit

$$S_n = \frac{c}{\omega_n}.$$

Beachtet man die Zeichnung für kleine Winkel, so ist wegen

$$\begin{aligned} \text{OF} &= \text{OH} + \text{HF} \\ &= -a - f' \end{aligned}$$

$$\omega_f = \frac{-y}{a + f'}; \quad \omega_h = \frac{-y}{a}$$

schließlich

$$\frac{S}{S_n} = \frac{\omega_h}{\omega_f} = \frac{a + f'}{a} = 1 + \frac{f'}{a} = 1 + f' A.$$

Man erkennt also, daß diese beiden Bestimmungen der Sehschärfe nur für  $a = \infty$ ,  $A = 0$  (also für rechtsichtige Augen) übereinstimmen, für endlichen Abstand der Sehprobe (also für fehlsichtige Augen) auseinanderfallen.

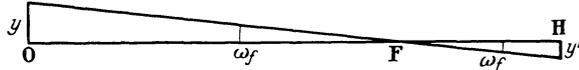


Abb. 63. Der Brennpunktswinkel  $\omega_f$  bestimmt die absolute Sehschärfe. F (H) der vordere Augenbrenn(haupt)punkt.

Sind die Bezirke der räumlichen Empfindungseinheit in einer Netzhaut

größer, so ist auch der Grenzwinkel  $\omega_f$  und die räumliche Unterscheidungsfähigkeit geringer. Man mißt diese Eigenschaft des Auges, indem man es mit einem Auge von durchschnittlicher Sehschärfe vergleicht. Je kleiner der erwähnte Grenzwinkel, desto größer die Sehschärfe

$$\frac{S_x}{S_d} = \frac{\text{tg } \omega_d}{\text{tg } \omega_x}.$$

Als Einheit ist von SNELLEN die Sehschärfe desjenigen Auges gewählt worden, dessen Grenzwinkel der räumlichen Unterscheidung eine Minute beträgt. Daher wird  $\frac{S_x}{1} = \frac{\text{tg } 1'}{\text{tg } \omega_x} = \frac{0,000293}{\text{tg } \omega_x}$ .

Bequemer als mit den Tangentenwerten selbst arbeitet man mit dem Verhältnis der Katheten des Winkels, die man in folgender Weise den üblichen



Abb. 64. Der Hauptpunktswinkel  $\omega_h$  bestimmt die natürliche Sehschärfe. H der vordere Augenhauptpunkt.

Sehprobentafeln entnehmen kann. Diese enthalten eine größere Anzahl von Zeichen abgestufter Größe, beziffert mit der Entfernung  $e_1 e_2 e_3 \dots$ , in der

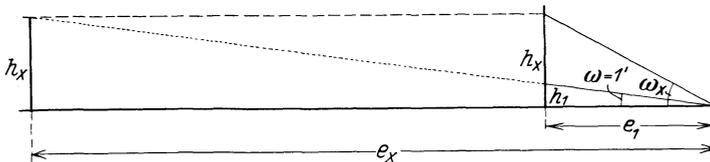


Abb. 65. Zur Bezeichnungsweise der Sehprobentafeln nach SNELLEN und zum Ausdruck für das SNELLENSCHE Sehschärfeßmaß.

jeweils das unterscheidende Merkmal von der Ausdehnung  $h_1 h_2 h_3 \dots$  unter dem Winkel von einer Minute erscheint. Leistet das Auge die Unterscheidung an der Größe  $h_x$  (Abb. 65) nicht in der Entfernung  $e_x$ , sondern in der kürzeren Entfernung  $e_1$ , so ist seine Sehschärfe

$$S_x = \frac{\text{tg } 1'}{\text{tg } \omega_x} = \frac{h_x}{e_x} \cdot \frac{e_1}{h_1} = \frac{e_1}{e_x}.$$

**Sehschärfe und Abbildungstiefe.** Im Fall, daß die Netzhaut nicht im Bildort steht, treten Zerstreungsfleckchen an die Stelle der Bildpunkte, und die Sehschärfe sinkt, weil nach der oben eingeführten Anschauung der bisher freie Zwischenraum zwischen den Bildpunkten durch die Lichtflecken verschmälert oder gar bis zu ihrer Überschneidung bedeckt wird. Vielfach spricht man dann wie H. TRIEPEL in Übereinstimmung mit der deutschen Marineordnung vom 4. 12. 1883 und 19. 11. 1889 von Sehleistung im Gegensatz zur Sehschärfe. Man kann unter der Annahme, es finde im Auge eine homozentrische Strahlenbrechung statt, die Größe dieser Zerstreungsfleckchen berechnen und in Beziehung zur Sehschärfe bringen, wie es M. SALZMANN und später A. GLEICHEN getan haben. Für eine Pupille (Weite  $p$ ), die mit dem vorderen wie die Austrittspupille mit dem hinteren Hauptpunkt zusammenfällt, gibt M. VON ROHR (c, 553) in einer schließlich rein auf die Dingseite beschränkten Ableitung den Durchmesser  $z$  des Zerstreungskreises an zu  $z = p \frac{o}{n} (A - A_1)$  bezüglicherweise  $z = p \frac{o}{n} (A_2 - A)$ , wenn der nicht eingestellte Punkt  $O_1$  ( $O_2$ ) näher (weiter) entfernt liegt als der der Einstellebene angehörende  $O$ .  $z = p \frac{o}{n} (A - A_1)$  bzw.  $z = p \frac{o}{n} (A_2 - A)$ . Darin bedeuten  $A$   $A_1$   $A_2$  die dingseitigen Brechwerte der Punkte  $O$   $O_1$   $O_2$ ;  $o$  die Bildweite,  $n$  die Brechzahl. Für  $p = 2$  mm,  $o = 22,4$  mm und für eine Größe des Zerstreungsscheibchens  $z = 0,00487$  mm, die einem Grenzwinkel  $\zeta = \frac{y}{o}$  von der Größe der Durchschnittssehschärfe entspricht, findet VON ROHR (c, 556) folgende Abbildungstiefen, die sich aus der Vordertiefe

Dingweite cm	Vordertiefe cm	Hintertiefe cm	Gesamtiefe cm
— 10	0,14	0,15	0,29
— 20	0,57	0,60	0,17
— 30	1,25	1,37	2,62
— 40	2,20	2,47	4,67
— 50	3,39	3,92	7,31
— 60	4,82	5,73	10,55
— 70	6,47	7,93	14,40
— 80	8,34	10,53	18,87
— 90	10,42	13,55	23,97
— 100	12,70	17,02	29,72
— 500	210,5	1333,0	1543,5
— 1000	407,4	— 2200,5	

von der Vordertiefe  $t_v = o_1 - o$  und der Hintertiefe  $t_h = o - o_2$  zusammensetzen.

Dies sind also die bei der angenommenen Sehschärfe noch nicht bemerkbaren Abweichungen von der genauen Einstellung. Werden die Abweichungen größer, so sinkt die Sehschärfe. Um die Beziehungen zwischen dieser Abweichung und der Sehschärfe haben sich M. SALZMANN und später A. GLEICHEN in eingehenden Ableitungen bemüht.

Wir werden später zu erörtern haben, ob diese Darstellung Berechtigung hat oder nicht (S. 532f.). Schon jetzt sei bemerkt, daß sie sich von der Wirklichkeit weit entfernt.

**Die Bestimmung der Sehschärfe.** Die eben kurz angedeutete gegenseitige Beeinflussung der Sehschärfe und der Einstellungsgenauigkeit bzw. -abweichung wird im Verfahren von F. C. DONDERS zur gleichzeitig erfolgenden Bestimmung beider ausgenützt.

Setzen wir ein Auge voraus, dessen Brechkraft unveränderlich bleibe, und bestimmen wir seine Sehleistung bzw. Sehschärfe etwa zu  $S$ , so ist uns zunächst, da wir die Netzhaut von außen gar nicht beobachten können, unbekannt, ob das Bild, auf Grund dessen der Wert  $S$  gefunden worden ist, auf der Netzhaut liegt und deutlich ist, oder ob es davor oder dahinter steht, also auf der Netzhaut nur in Zerstreungsfleckchen erscheint. Läßt sich durch Verschieben des

Bildes in der einen oder anderen Richtung — das kann unter gewissen Bedingungen durch vorgesezte Zerstreungs- oder Sammellinsen ohne Bildgrößenänderung geschehen — eine Erhöhung des Sehschärfenwertes erzielen, so ist damit bewiesen, daß jetzt ein deutlicheres Bild auf der Netzhaut liegt als vorher, und daß vorher das Bild eben nicht in der Netzhaut oder mindestens ihr nicht ebenso nahe gelegen hat. Mit zunehmenden Glasstärken fährt man so fort, bis der Höchstwert der Sehschärfe erreicht ist. Man ist jetzt, Abwesenheit von Astigmatismus u. dgl. vorausgesetzt, über die höchste Leistungsfähigkeit der Netzhaut unterrichtet. Gleichzeitig aber hat man in der für diese Sehschärfe erforderlichen Glasstärke ein Maß für die vom Bildort des freien Auges abweichende Stellung des Schirmes gefunden, bzw. ein Maß zur Kennzeichnung des Augenbaues (s. u. Refraktion S. 525).

Wegen der Einzelheiten über diese höchst verwickelt zusammengesetzte Leistung des Auges, die wir in der Sehschärfe zusammenfassen, und über die Verfahren zu ihrer Prüfung wird auf den Abschnitt Untersuchungsmethoden in diesem Band (S. 835) verwiesen. Nur eines sei hier noch hervorgehoben, daß sich je nach der Art der Prüfzeichen ganz beträchtlich verschieden große Grenzwinkel der „Sehschärfe“ beim gleichen Auge finden.

Zumal für die *Breitenwahrnehmung* (E. A. WÜLFING, E. HERING), d. h. für die Feststellung, ob die eine von zwei senkrechten Geraden die Richtung der anderen fortsetzt, so daß sie beide eine gemeinsame Richtung miteinander bilden, oder ob sie lediglich parallel sind, aber seitlich gegeneinander ein wenig versetzt, finden sich weit kleinere Grenzwinkel, bis zu wenigen Sekunden scheinbarer Lagenverschiedenheit (F. B. HOFMANN, S. 55 f.; s. auch in diesem Band S. 381).

## E. Die optische Einstellung des Auges, die Refraktion.

### 1. Allgemeines.

Aus der Lage des bildseitigen Brennpunkts  $F'$  zur Netzhaut ergibt sich die Einstellung des Auges, die man eigentümlicherweise *Refraktion*<sup>1</sup> nennt. Der dingseitige Achsenpunkt, der mit Bezug auf die Flächenfolge des Auges der Mitte der Netzhautgrube zugeordnet ist, mag *Einstellungspunkt* heißen. Ist die noch (S. 522 f.) zu besprechende Akkommodation nicht in Tätigkeit, so heißt der Einstellungspunkt *Fernpunkt* des Auges  $R$ , ist dagegen die Akkommodation auf ihre Höchstleistung gebracht, so heißt er *Nahpunkt*  $P$  (Abb. 66). Mißt man die Entfernung des Einstellungspunktes oder der Netzhaut von den zugehörigen Hauptpunkten  $H$  bzw.  $H'$  aus, so ergibt sich die Beziehung zwischen diesen beiden Punkten  $R$  und  $N$  bzw.  $P$  und  $N$  aus der eingangs eingeführten Formel  $B = A + D$  [(1) s. S. 469] oder mit Hilfe der Zeichenverfahren nach B. LISTING und nach SAMPSON.

<sup>1</sup> Man hat dies aus dem Zeitwort refrango gebildete Hauptwort weiter verarbeitet zu einem neuen Zeitwort *refraktionieren* und meint damit etwa die Tätigkeit, einem Auge eine bestimmte vorgeschriebene Einstellung zu geben, sondern seine zunächst unbekanntere Einstellung zu ermitteln. Das Bedürfnis nach der Bezeichnung eines so tätigen Menschen wurde ebenso bequem wie unschön befriedigt, indem man zu dem Wort *Refraktionist* gelangte. Damit ist wiederum nicht ein Mensch gemeint, der Augen mit einem Brechzustand gewissermaßen nach Maß und Bestellung versieht, sondern den im gegebenen Auge vorhandenen Zustand berufsmäßig bestimmt. Diese Ausdrücke scheinen sich in Optikerkreisen besonderer Beliebtheit zu erfreuen. Daß auch ein entsprechend gebildeter lateinisch-griechischer Wechselbalg nicht fehlt, darf heute nicht wundernehmen. Mit *Refraktometer* bezeichnet man nicht nur das Gerät, mit dem man Brechungsindices mißt, sondern auch andere, die zur Ermittlung der Einstellung, der Refraktion dienen; man wünscht dabei anscheinend den Ausdruck *Refraktometer* zu vermeiden (s. S. 771).

Als *Einstellung*, *Refraktion*, bezeichnet man den Kehrwert der Entfernung des eingestellten Achsenpunktes, die vom dingseitigen Augenhauptpunkt aus in Metern gemessen ist. Man spricht von *statischer Refraktion*<sup>1</sup>  $1/HR = A$ , wenn sich das Auge in Akkommodationsruhe befindet, somit auf seinen Fern-

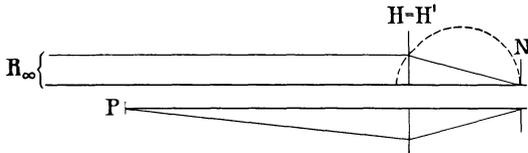


Abb. 66. Die Rasteinstellung eines rechtsichtigen Auges auf den unendlich fernen Achsenpunkt  $R_\infty$ , den Fernpunkt, statische Krasteinstellung auf den Nahpunkt P, und dynamische Refraktion.

punkt, und von *dynamischer Refraktion*<sup>1</sup>  $1/HP = P$ , wenn es dank einer gewissen Akkommodationsanspannung auf einen anderen Achsenpunkt eingestellt ist. Rechnerisch ist der Ausdruck für die Refraktion also der dingseitige Konvergenzwert des Einstellungspunktes mit dem für die

optische Abbildung oben gewählten Vorzeichen<sup>1</sup>. Das hat den Vorzug, daß der Refraktionsfehler und das ihn ausgleichende Glas das gleiche Vorzeichen tragen.

Man denke sich einmal die für Akkommodationsruhe in Betracht kommenden Möglichkeiten der Augeneinstellung in einem Versuch erläutert (s. Abb. 67).

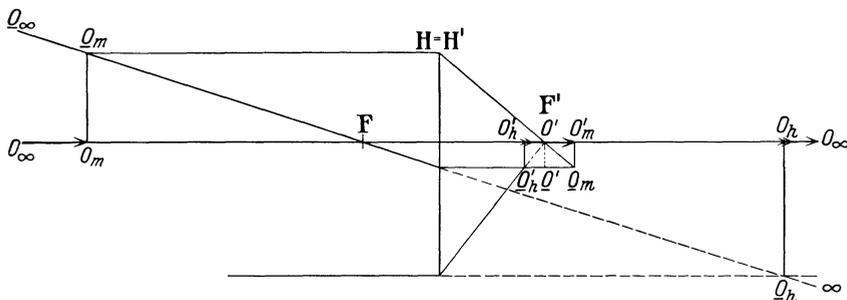


Abb. 67. Wird ein Schirm von  $O_h$  durch den bildseitigen Brennpunkt  $F'$  nach  $O_m$  verschoben, so ergibt das Listing'sche Zeichenverfahren die einer jeden Schirmstellung im Dingraum zugeordneten Achsenkrechten. Sie liegen in zwei Gebieten, deren erstes sich von  $O_h$  nach rechts hin bis  $+\infty$  und deren zweites von  $-\infty$  bis  $O_m$  erstreckt, Übersichtigkeit und Kurzsichtigkeit des Auges veranschaulichend.

Die brechende Flächenfolge sei durch eine Sammellinse H, H' und die Netzhaut durch einen hinter ihr stehenden Schirm  $O'O'$  vertreten. Dieser soll ausgehend von der kürzesten am Auge beobachteten Entfernung von der brechenden Folge, also von einer vor dem bildseitigen Brennpunkt liegenden Stelle  $O_h O'_h$  weiter bis zum größten beobachteten Abstand  $O_m O'_m$  abgerückt

<sup>1</sup> Als deutsche Bezeichnung für Refraktion liest man in Gutachten oder in gemeinverständlichen Schriften vielfach *Brechungszustand*, ein Wort, dem als einer einfachen Übersetzung derselbe Vorwurf zu machen ist, wie seinem Vorbild, eigentlich gleichzeitig einerseits zu farblos andererseits zu eng zu sein (s. S. 519). Statt dessen wird hier vorgeschlagen, *Einstellung* zu sagen und zu unterscheiden zwischen der statischen, der Einstellung in Ruhe, und der dynamischen, der Einstellung mit Kraft (*Rasteinstellung*, *Krafteinstellung*). Weiter ist zu unterscheiden *Rechtsichtigkeit* (*Emmetropie*) und *Fehlsichtigkeit* (*Ametropie*), unter die zunächst die *Übersichtigkeit* und die *Kurzsichtigkeit* fallen. Nach ihrer Grundlage mögen unter den Fehlsichtigkeiten, Ametropien, zwei Gruppen zusammengefaßt sein, die *Längenfehler* und die *Brechkraftfehler*. Dieser letzte Ausdruck soll dann die bisher übliche Bezeichnung *Krümmungsametropie* ersetzen, denn da die fehlerhafte Brechkraft der Flächenfolge nicht allein ein Ergebnis abweichender Flächenkrümmung, sondern auch von Abweichungen in Dicke, Flächenabständen und Brechungsindices („Indexametropie“) der durchsichtigen Mittel ist, so enthält die alte Bezeichnung in Wahrheit mehr, als ihr Name besagt. Herkömmlicherweise zählt auch der Astigmatismus als Ametropie.

werden. Er durchläuft dabei zwei Gebiete, eines  $O'_h O'$  vor und eines  $O' O'_m$  hinter dem bildseitigen Brennpunkt  $F'$ , in dem sie aneinanderstoßen, den sie also gemein haben oder der, wenn man will, beiden angehört<sup>1</sup>. Mit Bezug auf die brechende Fläche sind diesen beiden bildseitigen Gebieten dingseitige  $O_h O_\infty$  und  $O_\infty O_m$  zugeordnet, die in einem Sonderpunkt, dem unendlich fernen Achsenpunkt, zusammenstoßen.

Dementsprechend haben wir, vom optischen Standpunkt aus betrachtet, zwei Gruppen von Augeneinstellungen zu unterscheiden, eine, bei der der Fernpunktsabstand einen positiven, und eine, bei der er einen negativen Wert hat, welche beide im Wert  $\pm 0$  ineinander übergehen (s. Abb. 68). Im ersten Fall liegt daher der Fernpunkt im Endlichen hinter dem Auge. Es ist der Fall der *Übersichtigkeit*, der *Hypermetropie* oder *Hyperopie*. Im zweiten liegt der Fernpunkt im Endlichen vor dem Auge. Es ist der Fall der *Kurzsichtigkeit* oder

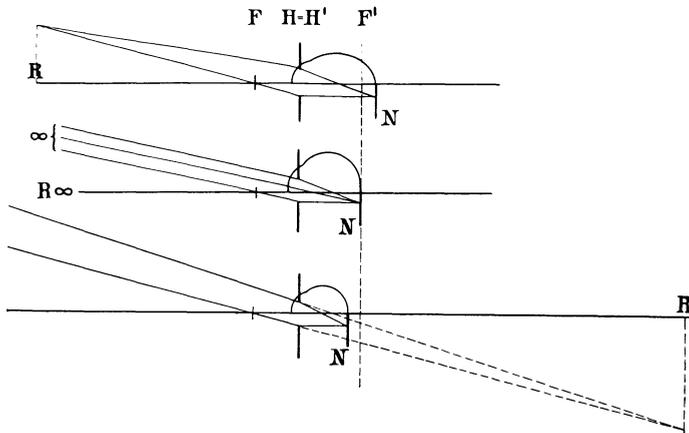


Abb. 68. Die beiden Einstellungen (Refraktionen) des Auges, Übersichtigkeit (Hyperopie) und Kurzsichtigkeit (Myopie), mit dem Grenzfall der Rechtsichtigkeit (Emmetropie).

*Myopie*. Nehmen beide bis zum Wert  $\pm 0$  ab, so liegt der Fernpunkt im Unendlichen. Man nimmt ihn als Sonderfall, der Rechtsichtigkeit oder *Emmetropie*. Er entspricht im soeben angegebenen Versuch dem Augenblick, wo der Schirm (die Netzhaut) durch den bildseitigen Brennpunkt hindurch geht. Diesen Zustand hat man als den wünschenswerten angesehen, die anderen als fehlerhaft ihm gegenüber gestellt und als *Ametropie*, *Fehlsichtigkeit*, bezeichnet, worin noch ein Fehler der brechenden Flächenfolge anderer Art, der *Astigmatismus*, eingeschlossen wird (s. S. 530 u. 645f.). Im ruhenden emmetropischen Auge werden ohne Glas ferne Dinge deutlich in der Netzhautgrube erscheinen, in ametropischen, fehlsichtigen Augen jedoch nicht, weil dort statt eines Punktes ein *Zerstreuungsfleckchen* auftritt. Im kurzsichtigen Auge erscheinen in bestimmter endlicher Entfernung vor dem Auge liegende Dinge deutlich, denn von dem betreffenden dingseitigen Achsenpunkt ausgehende Strahlen gelangen in der Netzhautgrube zum Schnitt; es vereinigt also schnittflüchtige (*divergente*) Strahlen eines bestimmten Konvergenzgrades auf seiner Netzhaut. Im übersichtigen Auge erscheint weder der Fernpunkt noch irgendein im Endlichen

<sup>1</sup> Hiermit sind die *Längenfehler* veranschaulicht. — Die gleichen Verhältnisse können statt durch eine Änderung des Schirmabstandes von einer gegebenen unveränderlichen Linse auch dadurch herbeigeführt werden, daß man bei unverändert festgehaltenem Schirmabstand Linsen immer kürzerer Brennweite einsetzt. Dadurch würden die *Brechkraftfehler* veranschaulicht.

vor dem Auge liegender Achsenpunkt deutlich, es vereinigt nur schnittstrebige (konvergente) Bündel auf seiner Netzhaut, Bündel, wie sie im allgemeinen von wirklichen Dingen nicht ausgehen.

### 2. Die Akkommodation.

Wie jeder Emmetropische weiß, ist sein Auge unterhalb eines gewissen Lebensalters imstande, seine Einstellung, bei der es in die Ferne deutlich sieht, in eine Einstellung auf die Nähe umzuändern. Diese Änderung heißt *Akkommodation*. Meist wird das Wort allein für die Einstellungsänderung im eben genannten Sinn gebraucht, für die Einstellung von der Ferne auf die Nähe und nicht umgekehrt, obwohl wörtlich und ursprünglich beides gemeint war.

Betrachten wir kurz die Wirkung dieser Akkommodationsanspannung auf die Refraktion (s. Abb. 69). Man kann sie sich bei einem emmetropischen

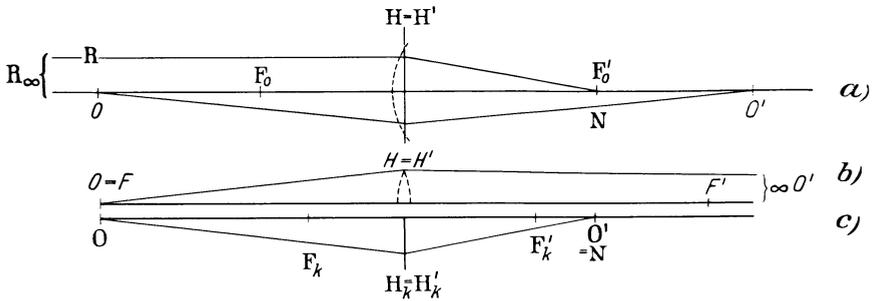


Abb. 69a - c.

- a) Der ferne Achsenpunkt  $R$  des ruhenden rechtsichtigen Auges wird auf seiner Netzhaut  $N$  abgebildet, der nahe Punkt  $O$  dahinter in  $O'$ , so daß auf der Netzhaut ein Zerstreuungsflecken erscheint.
- b) Eine am Augenhauptpunkt gedachte Sammellinse  $H H'$ , deren dingseitiger Brennpunkt mit dem Punkt  $O$  zusammenfällt, bildet ihn im Unendlichen als  $\infty O'$  ab.
- c) Dieser unendlich ferne Bildpunkt würde vom rechtsichtigen Auge deutlich gesehen werden, indem er für das Auge einen fernen Dingpunkt vertritt. Vermehrt das Auge seine eigene Brechkraft um den Betrag dieser Linsenstärke  $1/H' F' = 1/-H F$  von  $\frac{1}{H' F'_o}$  auf  $\frac{1}{H' F'_k}$ , so wird der Punkt  $O$  unmittelbar von der Augenfolge auf der Netzhaut deutlich abgebildet. Das Auge hat den Brechkraftzuwachs  $\frac{1}{H' F'_k} = \frac{1}{H' F'_o} - \frac{1}{H' F_o}$  (s. Abb. 69a), aufgebracht, und der Erfolg ist die Herstellung einer Kurzsichtigkeit  $\frac{1}{H O}$ .

Auge ersetzt denken durch eine Linse, die die von dem nahen Punkt ausfahrenden schnittflüchtigen (konvergenten) Strahlen in gleichgerichtete (parallele) verwandelt. Das muß eine Sammellinse sein, deren dingseitiger Brennpunkt mit dem Dingpunkt zusammenfällt. Die so von ihr ausgehenden gleichgerichteten Strahlen vereinigt das ruhende emmetropische Auge auf seiner Netzhaut zu einem deutlichen Bildpunkt ebenso, wie wenn sie von einem wirklich fernen Ding kämen. Um das emmetropische Auge also auf die Nähe einzustellen, ist ein Zusatz von Brechkraft nötig. Diesen bringt das Auge beim Akkommodieren selbst auf. Die Akkommodation vermehrt somit die Brechkraft der Flächenfolge, verkürzt also die Brennweite. Das kommt, um bei unserem oben (S. 520) angedeuteten Versuch zu bleiben, auf die dem Sinn nach gleiche, dem Umfang nach aber enger begrenzte Bewegung hinaus, wie sie der Schirm ausgeführt hat. Die beiden oben unterschiedenen Gebiete haben jetzt eine andere Ausdehnung; das zweite Gebiet hat sich auf Kosten des ersten vergrößert. Damit ändert sich jede der beiden Einstellungen, Refraktionen (die Übersichtigkeit wie die Kurzsichtigkeit) in gleichem Sinn.

Man erkennt die Wirkung deutlicher, wenn man einen Einzelfall betrachtet. Beim statisch emmetropischen Auge (s. Abb. 70 b) rückt der Brennpunkt  $F'_0$  aus der Netzhaut  $N$  hinein in den Glaskörper, so daß die Netzhaut jetzt hinter dem bildseitigen Brennpunkt liegt, das Auge ist also dynamisch kurzsichtig geworden. Im schwach übersichtigen Auge (Abb. 70 a), dessen Brennpunkt  $F'_0$  hinter seiner Netzhaut liegt, rückt der Brennpunkt bei der Verkürzung der Brennweite näher an die Netzhaut heran, der Fehler vermindert sich also. Reicht die akkommodative Brechkraftvermehrung, die Brennweitenverkürzung aus, so mag der Brennpunkt  $F'$  die Netzhaut ganz erreichen. Der Fehler ist gehoben. Dann ist aus der statischen Übersichtigkeit eine dynamische Emmetropie geworden. Bei noch stärker wirkender Akkommodation kann auch der Brennpunkt noch weiter vor, d. h. in den Glaskörper hineinrücken, so daß die Netzhaut jetzt hinter dem bildseitigen Brennpunkt  $F'$  liegt. Das gleiche

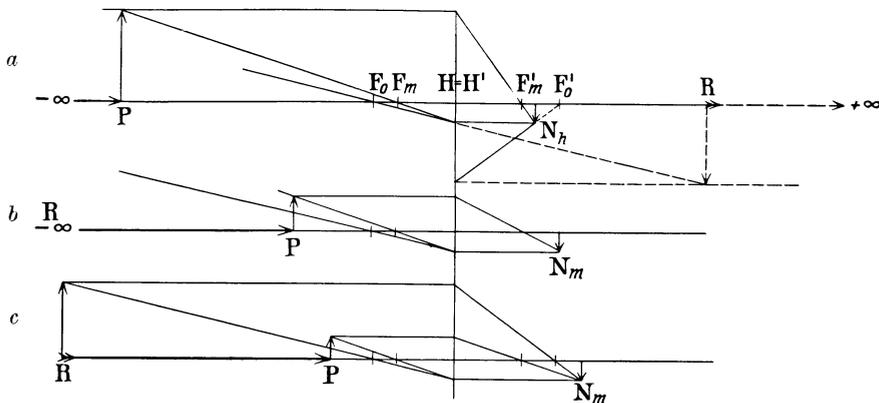


Abb. 70. Die Akkommodationswirkung bei verschiedenen Refraktionen, dargestellt mit Hilfe des LISTINGSchen Zeichenverfahrens.  $HH'$  die Hauptebene der Flächenfolge dreier verschieden langer Augen, deren Brennweite gleich sei und durch Akkommodation um den gleichen, hier übertrieben groß gewählten, Betrag verkürzt werde. Bei dieser gleichen Akkommodationsbreite ergeben sich sehr verschieden große und verschieden brauchbare Akkommodationsgebiete  $RP$ , abnehmend vom Übersichtigen zum Kurzsichtigen.

ursprünglich übersichtige Auge ist danach dynamisch kurzsichtig geworden. Ein statisch kurzsichtiges Auge dagegen (Abb. 70 c), dessen Netzhaut hinter dem bildseitigen Brennpunkt liegt, wird durch die Akkommodationstätigkeit dynamisch noch stärker kurzsichtig. Wenn wir die Rasteinstellung mit dem Konvergenzwert des vom Einstellpunkt ausgehenden Bündels bezeichnen, wobei die statische Kurzsichtigkeit durch eine negative Zahl ausgedrückt wird, so ist es folgerichtig, den Erfolg der Akkommodationsanstrengung, der bei einem statisch emmetropischen Auge eine dynamische Kurzsichtigkeit ist, ebenso mit einer negativen Zahl anzugeben.

Man kommt dazu auf folgende Weise:

In Akkommodationsruhe ist  $B = R + D$ . ( $B$  = Kehrwert der auf Luft gebrachten Bildweite im Auge,  $R$  = statische Refraktion,  $D$  = Brechkraft.) Bei einer Brechkraftsteigerung durch Akkommodieren gilt  $B = P + (D + D_k)$ , wenn man einmal unveränderte Hauptpunktlagen, somit gleiche Bildweite im Auge annimmt,  $P$  = dynamische Refraktion und  $D_k$  der Zuwachs an Brechkraft ist. Zieht man die erste Gleichung von der zweiten ab, so ist:

$$\begin{aligned} 0 &= P - R + (D + D_k) - D \\ P - R &= -D_k \\ A_k &= -D_k. \end{aligned}$$

Aus den Einstellungsermittlungen ohne und mit Akkommodation erhält man dann nach DONDERS  $A_k = P - R$  als Begriffsbestimmung;

(z. B. $R = 0$ (Emmetropie)	$P = -5$ dptr	$A_k = -5$ dptr
$R = -2$ dptr (Myopie)	$P = -7$ „	$A_k = -5$ „
$R = +2$ „ (Hyperopie)	$P = -3$ „	$A_k = -5$ „).

**Die Akkommodationsbreite.** Der Unterschied zwischen der statischen und der höchsten dynamischen Refraktion heißt die Akkommodationsbreite. Ihre Größe hängt im wesentlichen vom Alter ab (s. u.). Man kann sie sich wie im obigen Beispiel für den Emmetropen in jedem Fall ersetzt denken durch eine Sammellinse, die gemäß der letzten Formel den Nahpunkt in den Fernpunkt abbildet.

**Das Akkommodationsgebiet.** Die Strecke, die der eingestellte Achsenpunkt vom Fernpunkt zum Nahpunkt durchläuft, wenn die Brechkraft des Auges durch allmählich zunehmende Akkommodation bis zur Grenze gesteigert wird, ist das Akkommodationsgebiet. Es ist nicht einfach gleich dem Abstand der

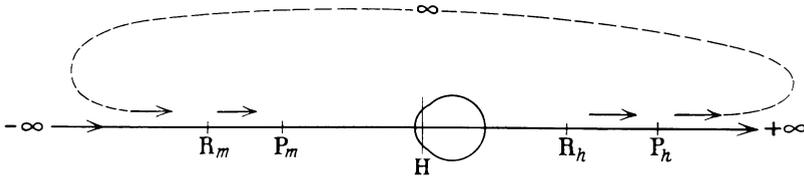


Abb. 71. Bei der Anspannung des Ciliarmuskels verschiebt sich der eingestellte Punkt immer in der Lichtrichtung vom Fernpunkt  $R_m$  ( $R_h$ ) zum Nahpunkt  $P_m$  ( $P_h$ ) des myopischen (hyperopischen) Auges und durchläuft bei übersichtigen Augen mit ausreichender Akkommodationsbreite auch den unendlich fernen Punkt.

beiden Punkte. Vielmehr ist zu beachten, auf welchem Weg der Übergang von einem Punkt zum anderen zu erfolgen hat. Das ergibt sich leicht, wenn man sich der Rechtläufigkeit des Bildes mit dem Ding erinnert und sich vergegenwärtigt, daß die Wanderung des bildseitigen Augenbrennpunktes während der Akkommodation einer Verschiebung der Netzhaut, d. h. der Bildfläche bei ruhendem gedachtem Brennpunkt gleichkommt. Die Bildflächenverschiebung hat also den Sinn einer Vermehrung der Bildweite. In unserer üblichen Bezeichnungsweise hat man sich also eine Bildverschiebung von links nach rechts vorzustellen. Der zugeordnete Dingpunkt wandert dabei (s. Abb. 71) im gleichen Sinn, also ebenfalls von links nach rechts. Beim emmetropischen Auge kommt der Einstellpunkt von minus Unendlich ins negative Endliche; beim myopischen läuft er im gleichen Sinn noch näher an das Auge heran. Der in einem positiven Abstand, also hinter dem Auge liegende Einstellpunkt eines übersichtigen Auges wandert ebenfalls nach rechts in größere Entfernung, unter Umständen nach plus Unendlich oder, wenn es möglich ist, gar noch weiter, von minus Unendlich her auf das Auge zu, ähnlich etwa wie beim Rechtsichtigen.

Bei gleicher Brechkraftzunahme hängt Lage und Länge des Akkommodationsgebietes von der *Refraktionsart* ab. Im oben angeführten Beispiel erstreckt es sich beim emmetropischen Auge von  $-\infty$  bis auf  $-0,2$  m, beim kurzsichtigen von  $-0,50$  cm bis auf  $-14,3$  cm ( $-$  ist also hier nur  $35,7$  cm lang  $-$ ). Beim Übersichtigen ist es am längsten. Es reicht von  $+50$  cm über  $+\infty$  und  $-\infty$  heran auf  $-33$  cm (Abb. 70).

### 3. Zur Bestimmung der Refraktion<sup>1</sup>.

Woran erkennt und wie mißt man die Einstellungsart (Refraktion) eines Auges, dessen Netzhaut ja nicht unmittelbar zugänglich ist, und dessen Brennweite und Augenlänge am lebenden Auge nicht gemessen werden können, so daß eine Berechnung der Einstellung daraus gar nicht möglich ist?

Am nächsten liegt das Verfahren, die Deutlichkeit des Bildes auf der Netzhaut eines gegebenen Auges zu beurteilen und die Entfernung des Achsenpunktes zu messen, der dort am deutlichsten abgebildet wird (Scharfeinstellung wie bei der Lichtbildkammer).

**Objektive und subjektive Verfahren.** Entweder man bietet dem untersuchten Auge einen wirklichen Gegenstand (Schrift- oder Sehzeichen) dar, was nur beim kurzsichtigen Auge angeht, oder das von einer Hilfslinse entworfene Bild eines solchen, was beim Übersichtigen der einzige Weg ist, und läßt die Deutlichkeit des Bildes vom Prüfling beurteilen. In der Regel genügt es nicht, vom Prüfling zu hören, mit einem vorgelegten Glas sehe er besser oder schlechter. Vielmehr bedarf der Untersucher dringend eines Mittels, um sich von der Zuverlässigkeit der vom Prüfling mitgeteilten Beobachtungen überzeugen oder Ungenauigkeiten erkennen zu können. Dazu zieht man die Sehschärfeprüfung heran. Zeigt der Prüfling beim Vorsetzen eines Glases eine bessere Sehschärfe, als er sie zuvor erreicht hatte, so kann auf eine Verbesserung der Bildschärfe geschlossen werden, besonders wenn Gegenproben und Wiederholungen keine Unstimmigkeiten ergeben. Dadurch gewinnt dieses *subjektive Verfahren* der gleichzeitigen Bestimmung der Sehschärfe und der Refraktion einen gewissen objektiven Zug. Doch steht dem Untersucher auch frei, die Bildgüte in rein *objektiven Verfahren* allein zu beurteilen. In rückläufiger Strahlenrichtung können hierbei auch Einzelheiten des Augenhintergrundes, etwa feine Netzhautgefäße, die Rolle des Gegenstandes übernehmen, und der Untersucher beobachtet das von der brechenden Fläche des Auges entworfene, meist mit Hilfs-linsen in eine ihm geeignete Entfernung gebrachte Bild, sei es im umgekehrten etwa nach SCHMIDT-RIMPLER, sei es im aufrechten Bild mit BURCHARD u. a. Da die Scharfeinstellung schwer zu beurteilen ist, hat O. HENKER statt dessen die Parallaxe herangezogen, die zwischen dem im Fernpunkt liegenden Netzhautbild und einem nicht im Fernpunkt stehenden Meßzeichen vorhanden ist, wenn Beleuchtungs- und Beobachtungsrichtung einen Winkel miteinander bilden. Im Bild erscheint neben dem Meßzeichen sein Schatten, der erst verschwindet, wenn das Meßzeichen wirklich im Fernpunkt und sein Bild in der Netzhaut liegt. (Näheres s. Kapitel Untersuchungsmethoden in diesem Band S. 835.)

Als ein Hauptvorteil ist an den objektiven Verfahren die weitgehende Unabhängigkeit des Untersuchers vom Untersuchten hervorzuheben. Stellen doch alle subjektiven Verfahren Anforderungen an die Beobachtungsgabe, die Aufmerksamkeit, die Geisteskraft und den guten Willen eines Prüflings, und müssen daher bei vielen Kindern, Analphabeten, Geisteskranken und Bewußtlosen versagen. Andererseits sind in der Regel die subjektiven Verfahren bei geeigneten Leuten den objektiven an Genauigkeit überlegen. So muß auch heute noch das alte DONDERSSISCHE Prüfungsverfahren mit Hilfe der Sehschärfe im allgemeinen die oberste Entscheidung in Zweifelsfällen bringen.

Die hohe Bewertung dieses klassischen DONDERSSISCHEN Vorgehens, für die sich auch GULLSTRAND bekennt, muß vor einer Überschätzung objektiv arbeitender Meßgeräte warnen.

**Benützung der Strahlenbegrenzung.** Sodann nimmt man die Vorgänge bei der Strahlenbegrenzung zu Hilfe. Man findet hierbei besonders gut erkennbare

<sup>1</sup> Man vergleiche hierzu die Darstellung auf S. 957 in diesem Band.

Erscheinungen, wenn keine deutliche Abbildung auf der Netzhaut statthat, sondern Bündelquerschnitte vor oder hinter dem Strahlenkreuzungspunkt auftreten. Diese beiden Fälle erweisen sich als grundsätzlich verschieden, wenn man die Lichtverteilung im Bündelquerschnitt prüft. Man kann dazu die Eintrittspupille durch geeignete Blenden nach CH. SCHEINER aufteilen und findet Vervielfachung der Bilder im Sinne der Blendenanordnung oder umgekehrt (s. S. 963 in diesem Band). Oder man sondert aus dem weißen Licht durch geeignete Farbenfilter zwei im Spektrum weit auseinanderliegende Strahlenarten aus und findet dann dank der verschiedenen großen Brechbarkeit dieser Strahlen in der nicht von Farbenfehlern freien Augenfolge das Bild eines leuchtenden Dingpunktes von einem Hof der einen oder der anderen Farbe umgeben (s. S. 962 in diesem Band).

**Schattenprobe.** Statt daß man sich die Strahlenanordnung im Bündelquerschnitt gleichzeitig vor Augen führt, kann man sie auch zeitlich nacheinander im Feld erscheinen lassen, d. h. statt des Nebeneinander der Lage Bewegungsvorgänge beobachten, sei es in der Form der Schattenprobe oder der Velonon(skias)skopie (TRANZAS, HOLTH) oder Streifenprobe (RAUBITSCHKE).

Grundsätzlich kann fast jede dieser Proben sowohl objektiv als subjektiv verwendet werden. Als Beispiel für ein objektives Verfahren sei die Grundlage der Schattenprobe von CUIGNET von 1873 angegeben. Wirft man mit einem Spiegel das Licht einer Lampe ins Prüflingsauge, so daß seine Pupille rot aufleuchtet, und läßt man durch eine Spiegeldrehung das Licht über das Auge hinweglaufen, so sieht man das Licht innerhalb der Pupille im allgemeinen im entgegengesetzten oder gleichen Sinn zum Rand wandern, bevor es ganz verschwindet. Dieser Lichtlauf zeigt beim ebenen Spiegel Kurzsichtigkeit über einem gewissen Betrag an oder das Gegenteil, d. h. Hypermetropie, Emmetropie oder Myopie niedrigeren Grades. Nähert sich der Prüfer dem untersuchten Auge, so kann er eine Stelle erreichen, an der eine Aussage über den Sinn der Lichtwanderung in der Pupille nicht möglich ist. Befindet sich dabei die Akkommodation des geprüften Auges in Ruhe, so ist hiermit der Fernpunkt erreicht, und sein Abstand kann gemessen werden. Bei weiterer Annäherung wird die Schattenwanderung gleichsinnig.

Der in Wirklichkeit recht verwickelte Vorgang erklärt sich, stark vereinfacht, verhältnismäßig leicht. Allerdings wird dabei mit den GAUSSISCHEN Abbildungsregeln gearbeitet, im Widerspruch mit der zur Ausführung notwendigen Voraussetzung einer endlichen Öffnung. Ferner müßte die Lichtquelle punkt- oder linienförmig sein. Neben dem Prüflingsauge P stehe die Lampe L (Abb. 72 a). Der ebene Spiegel S, der mit dem Orte der Beobachterpupille zusammenfallen möge, etwa eine ebene Glasplatte, werde aus der Stellung 1 in die Stellung 2 gedreht. Der Spiegel entwirft in seinen beiden Endstellungen von der Lampe jeweils ein nicht auffangbares (virtuelles) Bild I und II: die Lichtwirkung für das Auge läßt sich jetzt durch die beiden Bilder I und II ersetzen, d. h. die Spiegeldrehung wirkt ebenso, als ob eine wirkliche Lampe von I nach II geführt würde. Der Spiegel ist jetzt für unsere Betrachtung entbehrlich. Die brechende Flächenfolge des Auges entwirft (Abb. 72 b) von der Lampe bei I und II je ein deutliches umgekehrtes und auffangbares Bild I' und II', das sich auf verschiedene Weise, etwa durch Benützung des Knotenpunktes, ermitteln ließe. Ist die Netzhaut des Auges weiter entfernt (näher), so erscheint auf ihr jeweil sein Zerstreungsfleckchen  $I'_m$   $II'_m$ , Abb. 72 d ( $I'_h$   $II'_h$ , Abb. 72 e), wenn wir die Lampe als punktförmige Lichtquelle und eine endliche Blendenweite annehmen.

Auf dieser Stufe der Betrachtung könnten wir den ganzen Vorgang dadurch nachahmen, daß wir etwa das leuchtende Ende einer Durchleuchtungslampe auf der Lederhaut eines herausgenommenen kurzsichtigen Auges von unten nach

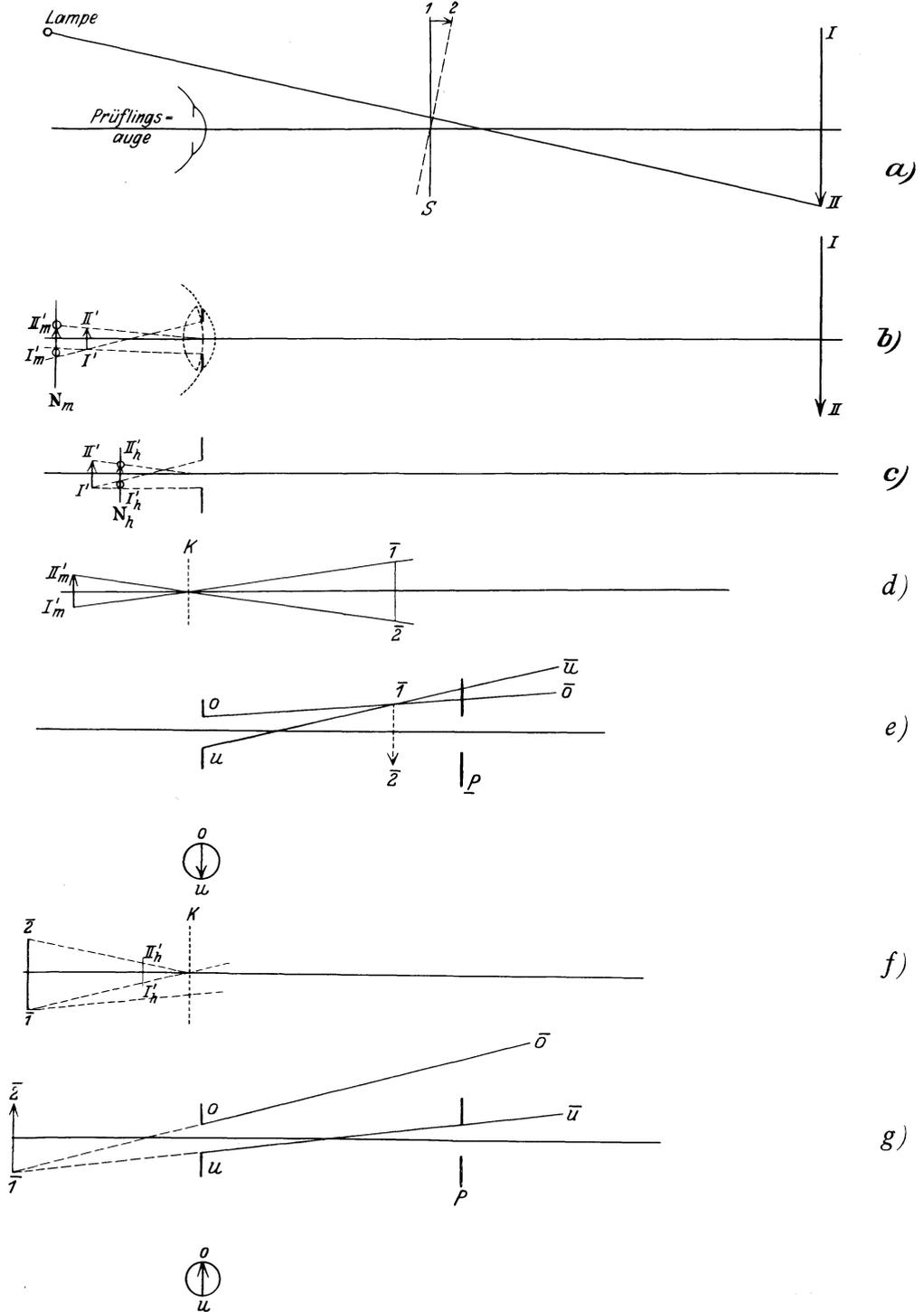


Abb. 72a-g. Zur Erläuterung der Schattenprobe. a-c) Der Lichtweg bis zur Netzhaut des Prüflings (Beleuchtung); d-g) der Lichtweg von der Netzhaut des Prüflings zurück (Beobachtung); d), a), e) der Fall der Myopie; f), g), der Hyperopie.

oben führten. Diese Lichtfleckbahn würde (Abb. 72d) von der brechenden Flächenfolge wiederum nach außen als umgekehrtes auffangbares reelles Bild entworfen, dessen Lage mit Hilfe eines Zeichenverfahrens rasch zu finden wäre. Es stehe in der Ebene 1 2, der Fernpunktsebene des untersuchten Auges. Wieder beschränken wir uns auf die Betrachtung jeweils eines Punktes der leuchtenden Netzhautstellen. Von jedem Punkt würde somit ein Strahlenbündel durch die Pupille austreten, dessen Strahlen sich in 1 bzw. 2 schneiden. Wir können jetzt also auch das untersuchte Auge weglassen und durch eine wirkliche Blende  $o$  u ersetzt denken (Abb. 72 e), aus der Strahlenbündel zum Schnitt zuerst am Punkt 1 sodann am Punkt 2 austreten. Was sieht jetzt der Beobachter, dessen Auge nunmehr allein durch seine Pupille  $\underline{P}$  angegeben zu werden braucht? Sie wird in der Stellung 1 des Spiegels (vgl. Abb. 72 a) bzw. 1 des Bildes in der Fernpunkt-

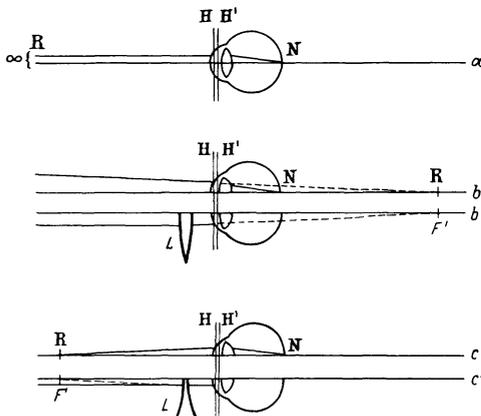


Abb. 73. Der Ausgleich der fehlsichtigen Augen.

ebene (Abb. 72 e) von Licht überhaupt nicht getroffen. Für ihn ist die Pupille des untersuchten Auges noch schwarz. Im weiteren Verlauf der Spiegeldrehung bzw. des leuchtenden Bildchens 1 nach 2 ist der erste Strahl, der in die Beobachterpupille eintritt, ein Strahl  $o$ , der vom oberen Pupillenrand des Prüflings stammt. Da der Beobachter die Pupille des Untersuchten ins Auge faßt, so verlegt er die Lichterscheinung dorthin. Dort oben leuchtet also jetzt diese Prüflingspupille für den Beobachter auf. Man sieht ohne weiteres, der letzte Strahl, der auf dem Wege des gezeichneten Bündels über die

Beobachterpupille hinweg noch Licht ins Beobachteraue geschickt hat, stammt vom unteren Pupillenrand des Prüflingsauges. Der Beobachter sieht während der Spiegeldrehung Licht von oben nach unten durch die Prüflingspupille wandern, d. h. im umgekehrten Sinn, wie die Spiegeldrehung das Lampenlicht über das Gesicht des Untersuchten streifen läßt. Für das kurzgebaute (hypermetropische) Auge ergibt sich aus den Bildern c, f und g ohne weiteres die entsprechende Ableitung mit dem Ergebnis, daß die gleiche Spiegeldrehung bei diesem übersichtigen Auge dem Beobachter eine Lichtwanderung vom unteren nach dem oberen Pupillenrand des Prüflingsauges erscheinen ließ, also im gleichen Sinn wie die Spiegeldrehung erfolgt war.

Läßt man im Bild (Abb. 72 e) die Kurzsichtigkeit abnehmen, so wandert die Fernpunktebene 1 2 vom Prüflingsauge weg auf den Beobachter zu. Fällt 1 in die Ebene  $\underline{P}$ , so läßt die Wanderung des Lichtbildes 1 nach 2 im ersten Berühren der Beobachterpupillen die Spitze des Strahlenkegels eintreten, d. h. es tritt Licht gleichzeitig von der ganzen Pupillenfläche ein. Die Prüflingspupille leuchtet plötzlich im Ganzen auf, und bleibt so bis zum letzten Augenblick, wo überhaupt Licht eintritt; es stammt von der ganzen Fläche, um dann im nächsten Augenblick ganz zu verschwinden, ohne daß eine Wanderungsrichtung zu bemerken wäre. Der (L.) neutrale Punkt ist erreicht, indem der Fernpunkt des untersuchten Auges in die Eintrittspupille des Beobachteraues fällt. Mit der Messung seines Abstandes vom Prüflingsauge ist die Fernpunktsbestimmung erledigt. In Wirklichkeit ist der ganze Vorgang sehr verwickelt, weil sowohl das Prüflings- als das Beobachteraue mit Aberrationen behaftet ist.

**Einfluß des Abstandes der Sehzeichen.** Ohne hier weiter im einzelnen auf die zahlreichen objektiven und subjektiven Verfahren zur Bestimmung der Refraktion einzugehen, die an anderer Stelle (siehe S. 960 f. in diesem Band) abgehandelt werden, müssen wir mit Rücksicht auf die später zu pflegenden Überlegungen wenigstens einiges Grundsätzliche erwähnen. Bei dem auf S. 517 gestreiften Verfahren zur Bestimmung der Refraktion nach F. C. DONDERS mit Hilfe der Sehschärfe werden die Sehzeichen meist in 4 bis 6 m Abstand aufgestellt. Der diesen Entfernungen entsprechende Brechwert von  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{6}$  dptr ist bei genauer Untersuchung zu berücksichtigen, d. h. eine Kurzsichtigkeit ist um diesen Betrag größer, eine Übersichtigkeit um den gleichen kleiner als das im Brillengestell verwendete Glas.

**Einfluß der Akkommodation.** Die Voraussetzung der Akkommodationsruhe, die wir oben (S. 526) machten, trifft allerdings nur im hohen Alter des Untersuchten zu. Sie läßt sich aber bei jungen Leuten durch ausreichende Einträufelung einer  $\frac{1}{2}$ –1%igen Lösung von Atropin verwirklichen (siehe S. 701

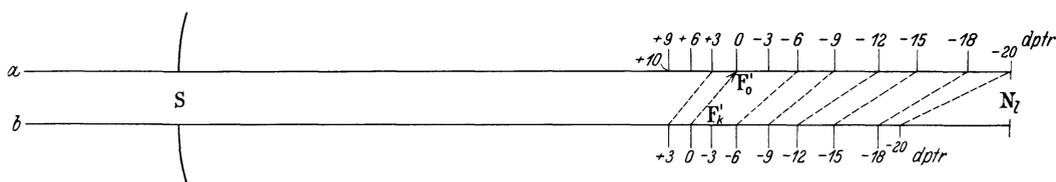


Abb. 74. Die Änderung der Refraktion durch die Akkommodation erfolgt immer im gleichen Sinn von der Übersichtigkeit zur Kurzsichtigkeit hin und täuscht unter Umständen ein längeres Auge (*a*) vor, als tatsächlich vorhanden ist (*b*). (In der Zeichnung ist ein Betrag von 6 dptr angenommen.) In der umgekehrten Richtung muß die wahre Einstellung gesucht werden, wenn nicht sicher ist, daß der Ziliarmuskel ruht.

in diesem Band). Wegen der noch zu besprechenden Aberrationen im Auge sollte dabei allerdings der Einfluß der Pupillenerweiterung durch eine geeignete Blende ausgeschaltet werden.

Besitzt der Untersuchte aber noch eine merkliche Akkommodation, so kann sie — und das geschieht fast immer ganz unbewußt — in Tätigkeit kommen, die Brechkraft des Auges vermehren und die Refraktion verändern, so daß nicht ohne weiteres klar sein wird, ob man die Rasteinstellung, die statische Refraktion, gefunden hat, die man natürlich sucht, oder ob eine Krafeeinstellung, die dynamische Refraktion, vorgelegen hat. Eine Täuschung ist um so eher möglich, als die Verengerung der Pupille während der Akkommodation den Anschein einer Besserung der Sehschärfe beim Untersuchten erwecken, ja auch eine Hebung wirklich herbeiführen kann (s. unten S. 537). Da erfahrungsgemäß ein Nachlassen der Akkommodation über ein bestimmtes Maß hinaus nicht vorkommt, so kann das Ergebnis einer Refraktionsbestimmung nur in einer Richtung von dem wahren Wert, von der statischen Refraktion, abweichen; d. h. statt einer Emmetropie erscheint eine Myopie, oder eine Myopie täuscht einen höheren Grad vor, als er in Akkommodationsruhe vorliegt, oder eine Hyperopie einen niedrigeren und unter Umständen eine Emmetropie oder gar eine Myopie.

In der umgekehrten Richtung hat man also nach dem wahren Wert zu suchen, wenn die ermittelte Refraktionshöhe zu prüfen ist (Abb. 74). Von verschiedenen Ergebnissen liegt bei Hyperopie die größte, bei Myopie die kleinste Ziffer der Wahrheit am nächsten. Das stärkste Sammellglas gibt bei Übersichtigkeit, das schwächste Zerstreungsglas bei Kurzsichtigkeit das Maß der Refraktion ab. Der Gegensatz in dieser Regel ist nur scheinbar. Beurteilt man den Sinn des Suchens unter verschiedenen Ergebnissen an den wahren Größen

der Zahlenreihe ( $-1 < 0 < +1$ ), so ist er in beiden Gruppen gleich (Abb. 74). Der scheinbare Gegensatz der Ziffer kommt nur von der Wahl der Emmetropie als Nullwert. Könnte man vom kürzesten oder längsten Auge ausgehen, so lautete die Regel für unsere beiden Gruppen gleich.

#### 4. Der Astigmatismus.

Ist eine brechende Fläche nicht drehrund, sondern zweifach symmetrisch, torisch, eine Form, die man erhält, wenn man einen Kreisbogen sich um eine in seiner Ebene liegende, aber nicht durch seinen Krümmungsmittelpunkt gehende Achse drehen läßt, so hat ihre Brennweite bzw. Brechkraft in zwei aufeinander senkrechten Ebenen, den Symmetrieebenen Hauptschnitten, einen höchsten bzw. niedrigsten Wert, ein unendlich dünnes, entlang der Schnittgeraden der beiden Symmetrieebenen einfallendes Bündel vorausgesetzt. Beim Übergang von einem zum anderen dieser Hauptschnitte wechselt die Brechkraft gesetzmäßig aber nicht proportional dem Drehungswinkel. Ein Punkt wird nicht mehr als Punkt abgebildet. Man erhält ein astigmatisches Bündel mit Eigenschaften, die schon S. 488f., insbes. S. 492 gestreift sind.

Auch die brechende Flächenfolge des Auges liefert in vielen Fällen ein astigmatisches Bündel, das wir zunächst einmal der Einfachheit halber als zweifach symmetrisch annehmen wollen. Auch für den günstigen Fall, daß das Auge gerade die für den einen Hauptschnitt gehörige Länge besäße, der Aufgangsschirm, die Netzhaut, also in dem einen der beiden Teilbrennpunkte stehe, ist der andere mit einem Einstellungsfehler behaftet. In diesem Sinn kann man auch das astigmatische Auge unter den Einstellungsfehlern erwähnen. Es hat also immer einen wirklichen Brechungsfehler, zu dem allerdings nicht selten noch ein Längenfehler hinzukommt.

Beschränkt man die Betrachtung einmal auf die Ebene der beiden Hauptschnitte des astigmatischen Bündels, so läßt sich für eine jede die Einstellung, Refraktion, des Auges in der gleichen Weise bestimmen wie für jeden Meridian des achsensymmetrischen Auges (s. S. 525). Dabei ergeben sich für jedes astigmatische Auge zwei voneinander verschiedene Fernpunkte.

Fällt der bildseitige Brennpunkt des schwächer (stärker) brechenden Hauptschnittes in die Netzhaut, so liegt der zugehörige Fernpunkt auf diesem Hauptschnitt im Unendlichen, dieser ist rechtsichtig (emmetropisch), der andere ist daher notwendigerweise kurz- (über-)sichtig: Einfacher, kurz- (über-)sichtiger Astigmatismus. — Liegt die Netzhaut jedoch weiter von der brechenden Folge entfernt als der Brennpunkt des schwächer brechenden Hauptschnittes, so ist das Auge in beiden Hauptschnitten kurzsichtig: zusammengesetzter kurzsichtiger Astigmatismus; liegt sie näher an der Folge als der Brennpunkt des stärker brechenden Hauptschnittes, so sind beide übersichtig: zusammengesetzter übersichtiger Astigmatismus. — Liegt die Netzhaut zwischen den beiden Teilbrennpunkten, so ist der stärker brechende Hauptschnitt kurzsichtig, der schwächer brechende übersichtig: gemischter Astigmatismus.

Die Bezeichnung dieser Fehlsichtigkeit geschieht mit Ziffer und Vorzeichen der Einstellung (Refraktion) des Auges in seinen beiden Hauptschnitten. Dazu gehört noch die Angabe der Hauptschnittlage, des Azimutes, wenn man das Auge als Kugel und den Durchstoßungspunkt der Visierlinie als Pol annimmt.

Hat bisher trotz manchen Bemühungen jede Einheitlichkeit in der Bezeichnungweise des Meridians gefehlt (JESSOP), so scheint sich jetzt allmählich der Vorschlag des technischen Ausschusses für Brillenoptik (*Tabo*) (R. GREEFF, O. HENKER [a, b], E. WEISS) durchzusetzen. Man wählt als Nullrichtung den Meridian, der bei aufrecht gehaltenem Kopf waagrecht liegt, und zählt in

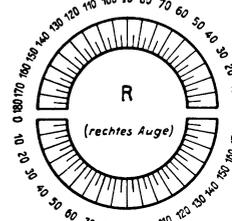
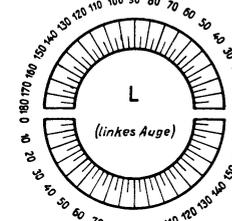
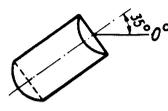
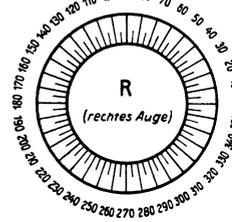
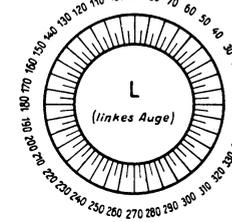
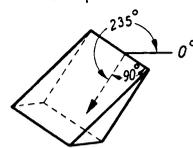
<b>Gradbogenschema</b>	<b>DIN</b> <b>TABO 1</b>
Brillenoptik	
<p><b>Bei Astigmatismus der Augen</b></p> <p>Zur Bezeichnung der Hauptschnittlage (Zylinderachse) eines Brillenglases mit zylindrischer Wirkung</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p style="text-align: center;">Beispiel</p>  <p style="text-align: center;">Zylinder, Achse 35°</p> <p style="text-align: center;">Es wird empfohlen, bei Verordnungen nur die oberen Halbkreise vorzudrucken.</p> <p><b>Beistellungsfehlern der Augen</b></p> <p>Zur Bezeichnung der Hauptschnittlage (Basislage) eines Prismas</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p style="text-align: center;">Beispiel</p>  <p style="text-align: center;">Prisma, Basis 235°</p> <p style="text-align: center;">Die Hauptschnittlage eines Prismas wird durch eine Kantensenkrechte in Richtung zur Basis bestimmt.</p>	
Februar 1931	Technischer Ausschuß für Brillenoptik (TABO)

Abb. 75. Die Meridianbezeichnung nach dem Vorschlag des technischen Ausschusses für Brillenoptik (Tabo). (Nach DIN Tabo<sup>1</sup>.)

<sup>1</sup> Die Wiedergabe erfolgt mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses. Verbindlich ist die jeweils neueste Ausgabe des Normblattes im Dinformat A 4, das durch den Beuth-Verlag G.m.b.H., Berlin S 14, zu beziehen ist.

Winkelgraden im rechten sowohl als im linken Auge entgegen dem Sinn der Uhrzeigerumdrehung, wobei der Beobachter dem Prüfling Gesicht zu Gesicht gewendet gegenübersteht. (Man vergleiche die Abbildung 75 des Normenblattes DIN Tabo 1 des Deutschen Normenausschusses e. V. Berlin NW 7, Dorotheenstraße 47, vom Februar 1931.)

Man bezeichnet nur die Richtung des schwächer brechenden Hauptschnittes ( $-1,0$  ist kleiner als  $+1,0$ ). Sie ist unter dem Namen Achsenrichtung bekannt. Dieser rührt von der in der Augenheilkunde allgemein üblichen Bezeichnung der astigmatischen Einstellungswerte her. Man nennt dabei die Probiergläserzusammenstellung, mit der man den Fehler ausgleicht. Diese enthält ein Zylinderglas. Seine Stellung wird durch die Richtung seines nichtbrechenden Hauptschnittes angegeben, also durch die Richtung der die Zylinderfläche erzeugenden Geraden oder seiner Achse.  $-2,0 + 2,0 55^\circ$  ist also gleichbedeutend mit der ärztlichen Glasvorschrift Zylinder  $-4,0$  dptr Achse  $145^\circ$  kombiniert mit  $+2,0$  dptr sphärisch, bzw. Zylinder  $+4,0$  dptr Achse  $55^\circ$  kombiniert mit  $-2,0$  dptr sphärisch oder kürzer  $-4,0$  zyl. Achse  $145^\circ - 2,0, +4,0$  zyl. Achse  $55^\circ + 2,0$ . Damit ist auch der Weg für den Fehlerausgleich klar. Man kann sich also, wie es in einem vielfach gebräuchlichen Verfahren auch wirklich geschieht, einen Hauptschnitt nach dem anderen in der für die achsensymmetrische Fehlsichtigkeit angedeuteten Weise ausgleichen, wenn man mit Hilfe schlitzförmiger Blenden schmale „ebene“ Bündel in der Richtung des einen und dann des anderen Hauptschnittes aus der Pupillenöffnung herausgenommen hat.

## F. Der Strahlenverlauf im Auge und seine Abweichung von der homozentrischen Brechung.

Die bisher in Kapitel E S. 519 gepflogenen Überlegungen galten unter der Voraussetzung einer engen Blende und homozentrischer Strahlenbrechung. Sie trifft für die Wirklichkeit nicht zu, wo im Verein mit einer meist endlich weiten Pupille eine Reihe von Einflüssen wirksam wird, um auch in der Ebene des Brennpunktes der Nullstrahlen (statt von einem leuchtenden Punkt einen Bildpunkt, einen gemeinsamen Schnittpunkt aller Strahlen eines jeden Bündels, zu liefern), eine mehr oder minder (bis  $60^\circ$ ) große Fläche mit Licht zu beschießen. So kommt es, daß die kleinsten Bilder auf der Netzhaut wesentlich größere Ausdehnung haben als Zapfenquerschnitte, auch wenn die größten anatomisch ermittelten Maße angenommen werden. Daran sind vor allem die Folge der eigentümlichen Flächenform für die Brechung, der ungenügenden Ausrichtung (Zentrierung) der Flächen und Blenden, sowie die endliche Bündelöffnung schuld. Ungleichmäßigkeiten der brechenden Oberflächen und der durchsichtigen Mittel in Gestalt von Unebenheiten bzw. des unregelmäßigen Wechsels der Brechzahl sprechen natürlich sehr mit. Die Beugung beteiligt sich. Alle diese Abweichungen treten auch an Strahlen einer einzigen Wellenlänge auf. GULLSTRAND nennt sie daher *monochromatische Abweichungen* im weitesten Sinn (s. o. S. 496). Neben diesen Abweichungen spielt die Zuspiegelung und Zustrreuung falschen Lichtes eine gewisse Rolle. Zu ihnen kommen noch die Erscheinungen hinzu, die auf der verschiedenen Brechbarkeit der Lichtstrahlen verschiedener Wellenlängen beruhen, die *Farbenfehler (chromatische Aberration)*.

### 1. Die monochromatischen Abweichungen im weiteren Sinn.

Über die Strahlenbrechung im Auge etwas Genaueres auf Grund der Untersuchung der brechenden Flächenfolge selbst auszusagen, ist nur in beschränktem Maß möglich. Es gilt, den Bau des im Auge gebrochenen Strahlenbündels zu

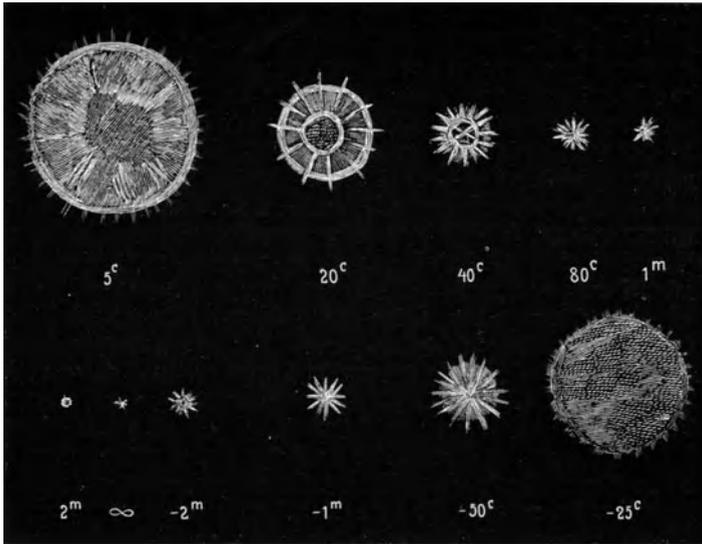


Abb. 76. Die Lichterscheinung eines leuchtenden Punktes, der aus großer Nähe immer weiter vom Auge entfernt wird (die Ziffern bedeuten Zentimeter; die Vorzeichen würden heute umgekehrt lauten s. S. 467). Emmetropisches Auge. (Nach O. M. REE.)

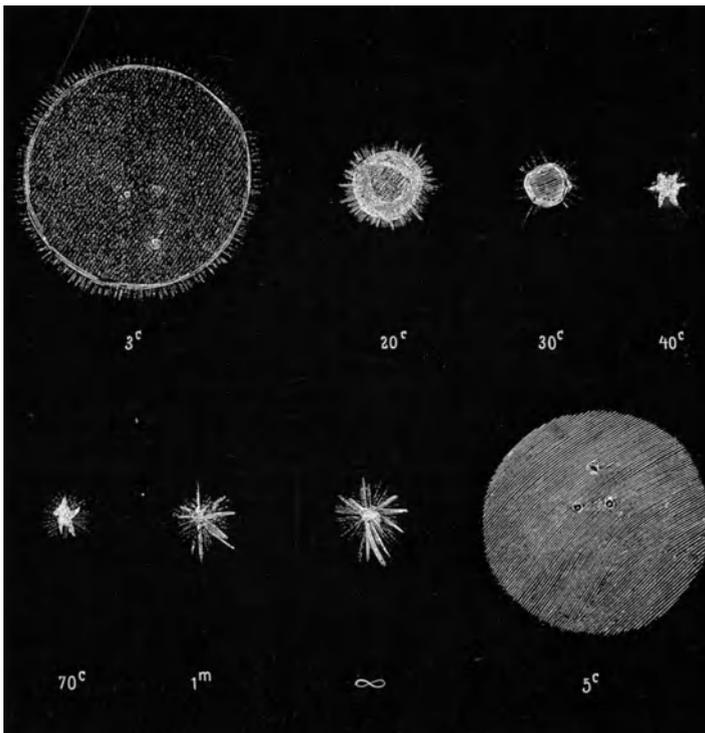


Abb. 77. Dasselbe wie Abb. 76 für ein mit  $-1,5$  dptr (Achse  $110^\circ$ ) voll ausgeglichenes astigmatisches Auge (die letzte Entfernung von 5 cm bedeutet eine hyperopische Einstellung des Punktes). (Nach O. M. REE.)

untersuchen. Die Anfänge dazu sind durch Beobachtungen von TH. YOUNG, F. C. DONDEERS, M. TSCHERNING (a, b) und O. M. RÉE gemacht worden.

Man hat einen leuchtenden Punkt bei unveränderter Einstellung des Auges aus größter Nähe immer weiter vom Auge entfernt bis über den Einstellungspunkt hinaus oder umgekehrt und hat die dabei auf der Netzhaut erscheinenden Lichtflecken beobachtet und zu deuten versucht. Es zeigte sich, daß die Größe der Zerstreungsfleckchen offenbar nicht die Rolle spielt, die man ihnen lange zugeschrieben hat. Vielmehr kommt der Lichtverteilung in den Flecken, wie A. GULLSTRAND (v, 368) betont, die ausschlaggebende Bedeutung zu. Es war ihm vorbehalten, auf dem bis dahin ganz unklaren Gebiet, die Forschung durch bahnbrechende mathematische Behandlung gewisser Gebiete der Flächen-theorie auf eine überragende Höhe zu bringen. Er verschaffte sich eine genaue Kenntnis der Eigentümlichkeiten, die einem ursprünglich homozentrischen Strahlenbündel nach seiner Brechung an bestimmten Flächenarten zukommen. Erst auf Grund dieses Wissens konnten die Gesetzmäßigkeiten in den scheinbar unregelmäßigen Lichtgebilden, die man bei der oben ange-deuteten Untersuchung gesehen hatte, erkannt und weiter ihre Grundlagen in bestimmten Eigenschaften der Flächenfolge entdeckt werden.

**Die Aberration im engeren Sinn** (S. 487) fällt unter die regelrechten (physiologischen) Erscheinungen. Um die durch sie bedingten Eigenschaften des Bündels kennenzulernen, hat GULLSTRAND (o, 220 f.; v, 358; y, 118) als zweckmäßigstes und wertvollstes Verfahren die planmäßige und vollständige Durchmusterung der Querschnitte eines ursprünglich homozentrischen, im Auge gebrochenen Bündels mit einer Schirmfläche, nämlich mit der Netzhaut als *subjektive Stigmatoskopie* entwickelt. Auch ein Verfahren in Form der *objektiven Stigmatoskopie* ist ausgebildet worden (v, 369; y, 103).

*Subjektive Stigmatoskopie.* Dem Untersuchten wird ein hinreichend kleiner Lichtfleck geeigneter Helligkeit, etwa eine von hinten beleuchtete kreisförmige Blende von 2 mm Durchmesser oder die von  $\frac{1}{2}$  bzw.  $\frac{3}{4}$  mm Durchmesser der Blendenlampe (x, y) in 4 m Entfernung dargeboten. Während ältere Autoren die Änderung der Netzhautstellung zu diesem Bündel dadurch herbeiführten, daß sie den leuchtenden Fleck bei festgehaltener Einstellung des Auges die ganze Strecke zwischen dem Brennpunkt des Auges und mehreren Meter Abstand durchlaufen ließen, verändert GULLSTRAND die Einstellung des Auges mit Hilfe von Brillengläsern, deren Stärke von halber zu halber Dioptrie vermindert bzw. vergrößert wird, während der Abstand des Lichtfleckes und damit seine scheinbare Größe unverändert bleibt. In einem Einstellungsbereich, das sich nur um wenige Dioptrien von der deutlichen entfernt, erkennt der Untersuchte mit seiner im Sinne der Lichtbildplatte hart arbeitenden Netzhaut innerhalb der Zerstreungsfleckchen starke Lichtansammlungen als helle Stellen, insbesondere die Schnittlinien mit den kaustischen Flächen (s. a. die Besprechung der sphärischen Aberration der gewöhnlichen Linsen S. 486 und 492 f.). Ihre Gesamtform ergibt sich aus der Zusammensetzung der nacheinander beobachteten Querschnitte ähnlich, wie bei den oben (S. 486) angeführten Linsenversuchen. Der Einfluß der Pupillenweite auf die Querschnittverhältnisse gibt Aufschlüsse über den Bündelaufbau. Ob gewisse helle Stellen von Strahlen beleuchtet werden, die die Achse schon gekreuzt haben oder nicht, erkennt man beim Abdecken der Pupille von der Seite oder beim Vorsetzen einer Scheibe von Kobaltglas, das nur rotes und blaues Licht durchläßt.

Bei der *objektiven Stigmatoskopie* wird ein hinreichend lichtstarker und hinreichend kleiner Lichtfleck, den die Blendenlampe (x, y) liefert, dem zu untersuchenden Auge mit Hilfe eines nicht belegten ebenen Spiegels so dargeboten, daß der Beobachter sein Auge an den scheinbaren Ort des leuchtenden

„Punktes“ bringen kann. Das von der beleuchteten Netzhautstelle des untersuchten Auges ausgeschickte und aus der Pupille austretende Strahlenbündel wird vom Beobachter durchmustert, indem er sein Auge von der genannten Stelle ausgehend senkrecht zu dessen auf den Lichtpunkt gerichteten Blick verschiebt. Dabei werden Stellen, an denen sich zwei oder mehrere Strahlen schneiden, durch ihre größere und andere, wo keine Kreuzungen statthaben, durch ihre geringere Helligkeit nacheinander erkannt. Diese Unterschiede stellen sich bei der subjektiven Stigmatoskopie in eindrucksvoller und übersichtlicher Weise gleichzeitig nebeneinander dar. Die Lage der Strahlenkreuzungsstellen verrät sich bei der objektiven Untersuchung durch die Richtung ihres parallaxtischen Auswanderns mit Bezug auf die Pupille des Untersuchten.

Auch die *Beobachtung im aufrechten Bild* wird nutzbar gemacht. Man bestimmt an geeignet gerichteten Linien, etwa feinen Netzhautgefäßen, die senkrecht zu dem zu untersuchenden Meridian verlaufen, durch eine kleine 1,5—2 mm breite Bohrung des Spiegels die Einstellung (Refraktion) an verschiedenen Stellen des Pupillengebietes. Wenn man sich damit begnügen will, bloß festzustellen, daß sich beim Übergang von einer zur anderen Pupillenstelle die Refraktion ändert, so erkennt man dies wieder, bei feinen Spiegelbohrungen, an der Formveränderung der Sehnervenscheibe.

Die **Asymmetrie** wird ebenfalls mit Hilfe der subjektiven Stigmatoskopie in der Weise untersucht, daß man sich auf das optische Zentrum der Pupille bezieht; das ist der Punkt, in dem die Pupille eben von dem die Spitze der kaustischen Fläche berührenden Strahl, dem zentralen Strahl, durchstoßen wird.

Die **Ergebnisse der Stigmatoskopie**. Auch nur einigermaßen auf die Beschreibung der Erscheinungen, des Vorganges zu ihrer Deutung und ihre Ergebnisse einzugehen, verbietet sich hier. Wir müssen uns auf einige Andeutungen beschränken und verweisen auf die zahlreichen Arbeiten GULLSTRANDS selbst, insbesondere auf seine Zusammenfassung (o). Siehe auch den Bericht von M. v. ROHR (c).

Einige Schlüsse GULLSTRANDS aus seinen Untersuchungen seien kurz vorweg genommen. Die Linse ist mit positiver Aberration behaftet. Nur die mit dem am stärksten brechenden Hauptschnitt parallele Linie der Sternfigur heben sich bei Astigmatismus mehr hervor als die anderen, so daß damit manchmal nur leicht myopisch gemachte Augen als astigmatisch erkannt werden können. Es erklären sich einige Formen einäugigen Doppelsehens, „die Verschiedenheit im klinischen Verhalten des oft mit vertikaler Asymmetrie verbundenen inversen und des direkten, die Unmöglichkeit bei pathologischer Asymmetrie mit irgendwelcher Cylinder correction mehr als eine und dieselbe Linie der Sternfigur scharf zu sehen“. „Ebenso wie die vertikale Asymmetrie finden wir auch, daß ein Astigmatismus der Aberration einen Wechsel des bei der klinischen Untersuchung zu findenden Astigmatismus mit der Pupillengröße erklären kann.“ Die Verschiedenheit im Aussehen der Zerstreuungsfleckchen bei verschiedenen Akkommodationszuständen dürfte die zum Nahsehen nötigen raschen Änderungen der Akkommodation erleichtern, dank der monochromatischen und chromatischen Aberration.

Werfen wir einen Blick auf die Abbildungen verschiedener Bündelquerschnitte, die O. M. RÉE in großer Zahl veröffentlicht hat (Beispiele Abb. 76 u. 77, S. 533). Man erkennt daran, daß weder irgendwo ein Bildpunkt erscheint, noch sich eines unter den verschiedenen, dem Bündel eines und desselben Auges angehörenden Zerstreuungsfleckchen findet, das man ohne weiteres als seinen Ersatz annehmen müßte.

Ist die regelrechte Hornhautvorderfläche mit physiologischem Astigmatismus behaftet und wird dieser durch einen entgegengesetzt gerichteten der nach-

folgenden Glieder der brechenden Teile des Auges ausgeglichen, so folgt, daß das im normalen Auge gebrochene Strahlenbündel nicht homozentrisch, sondern anastigmatisch ist und als solches die Spuren seiner Herkunft trägt.

Schon auf S. 512<sup>1</sup> ist als ein Ergebnis der Ophthalmometrie der schiefe Einfall der Visierlinie erwähnt worden. Er bedingt einen geringen Astigmatismus gegen die Regel, ist also dem physiologischen der Hornhaut entgegengerichtet. Trotzdem nun aber endliche Asymmetrienwerte entlang der Visierlinie vorhanden sind, einfache Asymmetrie des gebrochenen Bündels bedingend, sind bei der tatsächlichen Abbildung keine solchen wirksam. Das Bündel ist nämlich längs einem anderen, der Visierlinie nahen, aber nicht mit ihr verlaufenden Strahl anastigmatisch und dort nicht mit Asymmetrie behaftet. Die Strahlenvereinigung entlang diesem Strahl genügt hohen mathematischen Anforderungen und gibt daher den Ausschlag für die Abbildung im Auge. Abweichungen von den S. 500 als regelrecht gekennzeichneten Hornhautformen, insbesondere senkrechte oder ungewöhnlich große waagrechte Asymmetrie der Hornhaut, bedingen meist einfache Asymmetrie des im Auge gebrochenen Bündels mit Minderung der Sehschärfe. Sie sind als pathologisch anzusehen, was in noch höherem Maße bei schiefer oder doppelter Asymmetrie gilt.

Wird für diese Überlegung nur eine Öffnung von der Größe der optischen Zone der Hornhaut und ihre sphärische Aberration berücksichtigt, so zeigt sich, daß diese durch die Aberration der Linse vermehrt wird, was eine Folge ihres geschichteten Aufbaus ist.

Nach GULLSTRAND (z. B. o, 202, 221, 226) entspricht das im Auge gebrochene Bündel in einem Meridianschnitt dem Bild (o, 196, Fig. 3, v, 254, Fig. 120) (Abb. 78).

Abb. 78. Übersichtsbild des Meridianschnittes des im regelrechten Auge gebrochenen, ursprünglich homozentrischen Strahlenbündels. (Nach A. GULLSTRAND.)

Sind größere Pupillenweiten zugelassen, so kommen die oben S. 500 erwähnten Abweichungen der Hornhaut von der Kugelgestalt, ihre Abflachung nach den Seiten hin, obendrein zur Wirkung. Herrschte bis dahin positive sphärische Aberration, bei der Strahlen größerer Einfallshöhe die Achse in immer kürzerer Entfernung von der brechenden Fläche schnitten, eine kaustische Fläche bzw. in der Achsenebene eine kaustische Kurve mit einer Spitze in der Lichtrichtung bildend, so treten mit zunehmender Einfallshöhe wieder längere Schnittweiten auf. Die positive Aberration schlägt jetzt ins Negative um. Es erscheinen zwei neue, dem Licht entgegengerichtete Spitzen an der Schnittlinie der kaustischen Fläche. Vergleicht man die Schnittweite des in der Abb. 79 am zweitstärksten geneigten Strahls mit der der Nullstrahlen, welchen Unterschied GULLSTRAND als die *periphere Totalaberration* bezeichnet, so bleibt das positive Vorzeichen erhalten, der Umschlag ist zunächst noch mit positiver peripherer Totalaberration verträglich. Der nächste in der Abbildung der größten Öffnung entsprechende Strahl schneidet seinen weniger geneigten Nachbar sehr viel weiter entfernt, stark negative Aberration bedingend. Sein Schnittpunkt mit der Achse ist der Brennpunkt der Nullstrahlen, womit die *periphere Totalaberration* Null geworden ist. Sie kann dann bei noch größerer Öffnung auch negativ werden.

Geht man nun zu anderen und anderen Meridianen über, so wird der Abstand der beiden symmetrischen von der auf der Achse liegenden Spitzen abwechselnd größer und kleiner. In diesen Grenzlagen befinden sich die Kanten der zweiten kaustischen Fläche. Ähnlich wie in dem oben erwähnten Fall des Diagonalastigmatismus der Aberration die strahlenförmigen Vorsprünge, die Meridiane mit Höchstwerten der Aberration und in den Ecken die Schnitte mit der Kante der zweiten kaustischen Fläche erscheinen, zeigen sich bei der subjektiven Stigmatoskopie im Auge die strahlenförmigen Ausbuchtungen und dazwischen liegenden radiären Lichtflecken in allerdings größerer Zahl von meist 8 und in geringer Regelmäßigkeit. Auch bei scharfer Einstellung auf einen recht hellen Lichtfleck verschwindet es nicht ganz.

An diesem Verhalten, mit dem ein entsprechendes der Wellenfläche einhergehen muß, ist nach GULLSTRAND eine gewisse Eigentümlichkeit der Oberfläche der Linse beteiligt und, da diese allein zur Erklärung nicht ausreicht, besonders auch der Bau ihrer Isoindizialflächen. Diese Oberfläche muß eine Fältelung aufweisen, was auch aus anderen Gründen zu verlangen ist. Letzten Endes sprechen sich in dieser Beschaffenheit der Linse die Kraftlinien des Zuges der Zonula (0, 224/5) aus. Das anatomisch dreistrahliges Gefüge der Linse kommt als Grundlage nicht in Frage, da der achtstrahlige Bündelaufbau damit in Widerspruch steht. Mit seinen Feststellungen hat GULLSTRAND den Beweis dafür geliefert, wie das strahlige Aussehen der Sterne zustande kommt, nachdem HELMHOLTZ auf den Ursprung in der Linse hatte hinweisen können.

Die Ausdehnung zwischen den beiden symmetrischen Spitzen und der auf der Achse liegenden hat GULLSTRAND in seinem rechten Auge durch die mit den Gläsern bewerkstelligte Einstellungsänderung zu 4 dptr gemessen. Er betrachtet diesen Wert als Mindestgröße auf Grund von weiteren Beobachtungen.

**Der Einfluß der Pupillenweite.** Wird die Pupille durch eine Blende so verengt, daß die zackige Schnittlinie der kaustischen Fläche in ihrem vordersten Schnitt mit der Bündelgrenze zusammenfällt, so hat diese Blende den Durchmesser 4 mm. Diese *optische Zone* der Pupille, wie sie GULLSTRAND bezeichnet, fällt annähernd mit dem durch die optische Zone der Hornhaut begrenzten Gebiet zusammen. Die Aberration ist darin, wie S. 536 gesagt, immer positiv. Sie kann durch die Refraktion in den verschiedenen Punkten der genannten Pupillenöffnung veranschaulicht werden. Dabei ist der Schnittpunkt eines ausgewählten Strahles mit seinem benachbarten, nicht der mit der Achse maßgebend. Die Refraktion sinkt von der Mitte aus ab<sup>1</sup>, um am Rande der optischen Zone einen Unterschied von 4 dptr zu erreichen.

Erweitert man die Pupille, so nimmt der i. a. allen Strahlen außer der Achse eigene Astigmatismus<sup>2</sup> ab, bis er für eine gewisse Strahlenachsenneigung (außerhalb der optischen Gebiete) Null wird, dann nämlich, wenn der Strahl im Schnittpunkt mit der Achse die kaustische Fläche berührt. Dabei liegt eben der Brennpunkt des speichenrechten Bündels auf der Achse. Das gilt für jeden Meridianchnitt. Somit wird durch diese Strahlen ein sehr guter, heller Bildpunkt geliefert.

Die Einstellung bei erweiterter Pupille erfolgt nach dem Ergebnis der subjektiven Stigmatoskopie auf diesen, der brechenden Flächenfolge näher liegenden Querschnitt des gebrochenen Bündels als bei mäßiger Pupillenweite (v, 365). Diese Aussage beruht auf dem gemessenen Höchstwert der Aberration, der nur in einer Reihe von Meridianebenen gilt, während sie in den dazwischen-

<sup>1</sup> Damit ist eine Änderung in der Richtung von Übersichtigkeit zu Kurzsichtigkeit gemeint im Gegensatz zu der bis dahin üblichen Ausdrucksweise.

<sup>2</sup> Das felgenrechte (sagittale) Bündel hat dank seiner Symmetrie zur Meridianebene seinen Schnittpunkt immer auf der Achse; im speichenrechten (tangentialen) liegt er jedoch im Bereich der positiven Aberration der brechenden Folge näher.

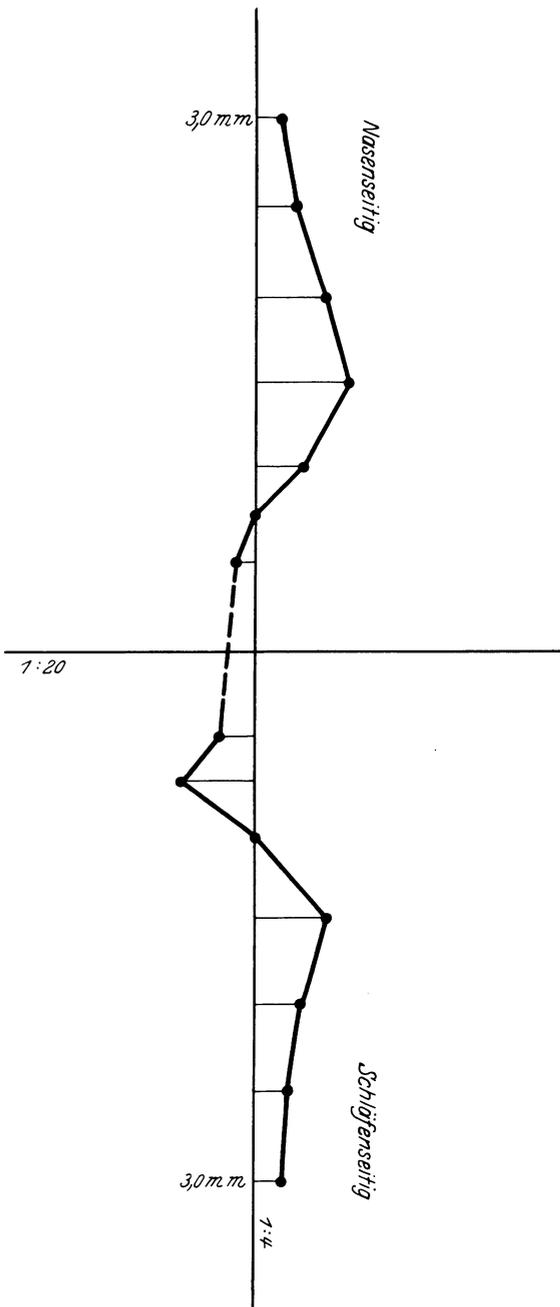


Abb. 79. Der Verlauf der sphärischen Abweichung für gelbes Licht aus den Werten von A. AMES und C. A. PROCTOR (S. 39) nach der ROHRSCHEM Art dargestellt.

liegenden einen kleineren und in einzelnen einen Mindestwert aufweist, der aber nicht gemessen werden konnte. Für diese letzten ist der Punkt günstiger Strahlenvereinigung weiter von der brechenden Flächenfolge entfernt und ein durch diesen Punkt gehender Strahl durchstößt die Pupillenöffnung näher ihrer Mitte. Dieser Punkt wird zur scharfen Abbildung verwendet, wenn die Pupillengröße die optische Zone nicht überschreitet. Bei sehr enger Pupille vermutet GULLSTRAND eine Einstellung auf einen der Spitze der kaustischen Fläche noch näher liegenden Querschnitt des gebrochenen Bündels.

**Die Einstellung des Auges** erfolgt also jedenfalls nach den Ergebnissen der subjektiven und der objektiven Stigmatoskopie nicht auf die Spitze der kaustischen Fläche, sondern auf ihren *kleinsten Querschnitt*.

Zwischen dem Punkt günstigster Strahlenvereinigung und der Spitze der kaustischen Fläche besteht nach der stigmatoskopischen Untersuchung GULLSTRANDS ein Unterschied von 1,5 dptr. Für das schematische Auge setzt er 1,0 dptr an, d. h. ein für mäßige Pupillenweite emmetropisches Auge würde um 1 dptr übersichtig werden, wenn man es auf die Nullstrahlen beschränken könnte. Die Erweiterung der Pupille bedingt bei emmetropischen Augen eine geringe Kurzsichtigkeit, die allerdings mit den üblichen Bestimmungsverfahren nicht immer nachgewiesen werden kann. Im normalen Auge bleibt die Aberration innerhalb des positiven Gebietes auch bei erheblicher Akkommodation positiv.

Was die physiologische Bedeutung dieses angedeuteten Aufbaues des im Auge gebrochenen Strahlenbündels angeht, so bemerkt GULLSTRAND (v, 368):

„Die Größe der Zerstreuungskreise, welche durch die um einen leuchtenden Punkt sichtbaren Strahlen repräsentiert werden, würde nämlich eine optische Abbildung von der Güte, welche durch die Sehschärfe des normalen Auges bezeugt wird, vollkommen vereiteln, wenn die Zerstreuungskreise die denselben zugeschnittene Bedeutung für die Abbildung hätten. Da an Stelle derselben die Schnittlinien mit der kaustischen Fläche treten, so wird jeder Widerspruch zwischen dem Grad der Sehschärfe und dem Bau des Strahlenbündels von selbst gelöst.“

Neue Untersuchungen zur Aberration von A. AMES jr. und C. A. PROCTOR (a, b, s. auch BOEGEHOLDS Besprechung [b]) führten zu einem anderen Ergebnis hinsichtlich der Einstellung des Auges. In einem farbigen Licht erschienen dargebotene Punkte dann am schärfsten, wenn die engste Stelle des Zerstreuungsfleckchens auf die Netzhaut fiel.

Die sphärische Aberration ist von PI, allerdings mit einem anderen Verfahren, der Schattenprobe, bei 50 Augen bestimmt worden. Nur in einem ist sie negativ gefunden worden, obwohl die Pupille stets erweitert gewesen sei. Der häufigste Wert der peripheren Totalaberration ist etwas größer als der von AMES und PROCTOR und immer noch kleiner als der von GULLSTRAND angegebene. In Abb. 79 ist der Verlauf der sphärischen Abweichung im Menschaugen für gelbes Licht aus den Werten von A. AMES und C. A. PROCTOR (S. 39) in der ROHRschen Art (vgl. S. 488) dargestellt. Die Kurve ist nicht ohne weiteres mit den für andere optische Folgen bekannten Bildern vergleichbar, weil es sich beim Auge um Längen im Glaskörper handelt, die nicht auf Luft gebracht sind, während bei anderen, beiderseits von Luft begrenzten Flächenfolgen Luftlängen gelten und in den Kurven ihrer sphärischen Abweichung eingetragen sind. Würde man in dem vorliegenden Bild die Rückführung auf Luft vornehmen, so würde sich die Abweichung noch günstiger ausnehmen als so schon, was aber in der Wirklichkeit ja nicht der Fall ist. Denn auf der Netzhaut sind eben nur die Querschnitte der im Glaskörper verlaufenden Strahlenbündel zu beobachten.

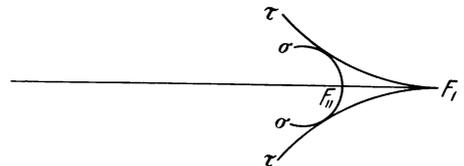


Abb. 80. Übersichtsbild des Meridianschnittes der Brennfläche eines im astigmatischen Auge gebrochenen, ursprünglich spitzen (homozentrischen) Bündels. (Nach A. GULLSTRAND.)

Der Zweck der Pupillenverengung bei der Akkommodation bzw. beim Nahsehen ist nicht eine Minderung der Aberration, wie GULLSTRAND zeigt, denn sie ist schon in Akkommodationsruhe unschädlich und wird bei der Akkommodation an und für sich geringer.

Bietet man einem Auge, das nach einem fernen Punkt zielt, in der gleichen Richtung einen näheren, so erfolgt mit der Akkommodation auf diesen eine Änderung der Achsenrichtung nach der Schläfenseite zu. Zwar wird bei der Akkommodation der Winkel zwischen der Visierlinie und der optischen Achse vergrößert, die Hauptursache liegt aber nach A. GULLSTRAND an der gleichzeitig mit der Akkommodation auftretenden Veränderung der Asymmetriewerte längs der Visierlinie (v, 374).

In den **praktisch wichtigsten Fällen** von Astigmatismus hat das gebrochene Bündel nach GULLSTRAND (v, 369) den in Abb. 80 erkennbaren Aberrationszustand. Ist der Astigmatismus nicht größer als 4 dptr, so können Schnittlinien beider Kaustiken gleichzeitig auf die Netzhaut erscheinen. Durch die mittlere Pupille laufen 2 Strahlen, längs denen der Astigmatismus aufgehoben ist. Ein Beispiel, wie sich die Querschnitte eines solchen Bündels verhalten, hat GULLSTRAND an einem Bild (Abb. 81) gegeben, das mit einer geeigneten Linsenfolge gewonnen ist. Ihre Größen sind nicht vergleichbar. Im 4. Bild

erscheint das pfeilspitzenähnliche Aussehen, in dem sich in den zwei einander gegenüberliegenden Stellen die anastigmatischen Punkte finden. Im Auge

macht sich zum Unterschied von diesen regelmäßigen Formen natürlich wieder die Faltenbildung der Wellenfläche geltend.

**Die Lichtverteilung in dem Zerstreuungsflecke auf der Netzhaut.** Der Darstellung vom Aufbau des im Auge gebrochenen Strahlenbündels liegen die am regelmäßigsten gebauten Augen zugrunde und die mathematische Behandlung setzt stetige und gesetzmäßige Formen der Wellenfläche voraus. Im einzelnen Auge kommen Abweichungen im Bündelaufbau vor. Die Art der Lichtverteilung in den Zerstreuungsflecken, wie sie bei der subjektiven Stigmatoskopie gesehen werden, hat von Auge zu Auge ihre Besonderheiten, nicht bloß in dem Sinn, daß die Flächenformen und die Flächenaufstellung Eigenheiten des Bündelaufbaues bedingen, sondern auch dadurch, daß Unregelmäßigkeiten und Unstetigkeiten mitwirken.

Die Grundlagen mancher dieser Einflüsse lassen sich zum Teil unschwer nachweisen, sei es im subjektiven oder sei es im objektiven Verfahren. Im ersten verwendet man einen leuchtenden Punkt in der Nähe des vorderen Augenbrennpunktes und erhält dann die entoptischen Erscheinungen, die hauptsächlich durch J. B. LISTING (a) bekannt geworden sind. Würden die vom Brennpunkt ausgehenden Stellen im Glaskörper streng gleichgerichtet verlaufen, so erschiene auf der Netzhaut ein gleichmäßig beleuchtetes Feld von der Form und Größe der Austrittspupille des Auges. Statt dessen heben sich tatsächlich in diesen großen Zerstreuungsflecken zahlreiche hellere und dunklere Stellen als Flecken, Streifen und andere Formen heraus. Sie rühren teils von den Unregelmäßigkeiten der die Hornhautoberfläche bedeckenden Tränenflüssigkeit mit ihren

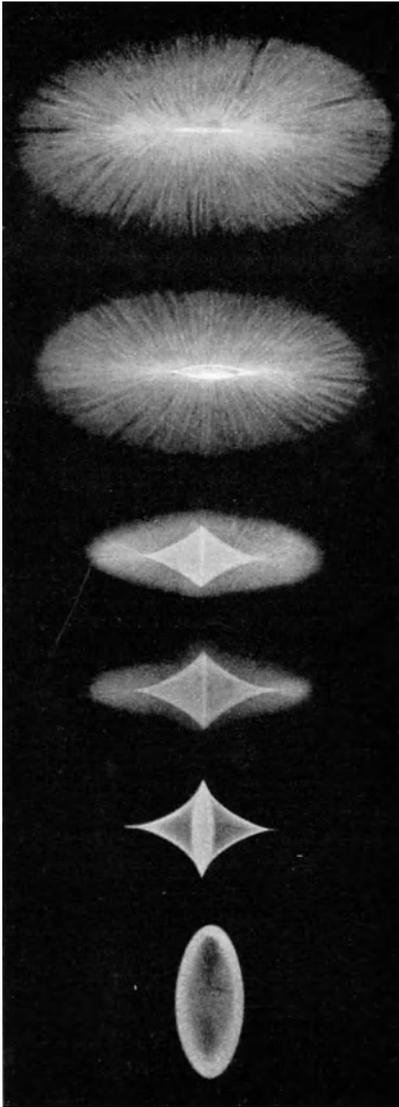


Abb. 81. Querschnitte durch ein astigmatisches Bündel, das für die Lichtbildaufnahme mit einer geeigneten Linsenfolge erzeugt worden ist. (Nach A. GULLSTRAND.)

Schleimflöckchen, von Unebenheiten der Deckschicht der Hornhaut, streifigen Bildungen bei umschriebenem Druck auf die eine oder andere Stelle, teils von Eigenheiten im Linsenaufbau, teils von Gebilden im Glaskörper her.

In objektiven Verfahren, von denen heute die Untersuchung an der Spaltlampe in erster Linie steht, sieht man eine Menge dieser Gebilde unmittelbar und genau. Es sei nur an die Linsennähte, an die eigentümliche Anordnung der

Linsenfasern selbst, an die Reste der embryonalen Gefäßhülle der Linse, die Reste der Glaskörpergefäße und an das Glaskörpergerüst selbst erinnert. Auch die Grundlage der als fliegende Mücken bekannten, sehr häufig ohne besondere Hilfsmittel zu beobachtenden Erscheinung ist wohl mit der KOEPPESchen Anordnung dann und wann zu sehen in Gestalt kugelförmiger oder ballonähnlicher glasigheller scharfbegrenzter Gebilde (s. auch die bei HESS (c, 132) mitgeteilte Beobachtung AMBRONNS).

Die Folge der Abweichung von der homozentrischen Brechung für das Sehen hat C. v. HESS (s. S. 131) an Hand der Erscheinungen, die seine Augen darboten, verständlich zu machen gesucht. Er spricht von Sonderbrennpunkten im gebrochenen Bündel. Sie bedingen unter Umständen Mehrfachsehen in einem Auge. So kommt es, daß manche Alterssichtige, auch ohne daß der Star in ihrer Linse beginnt, ihre Störungen als Doppeltsehen beschreiben. C. v. HESS fand, daß durch Abdecken gewisser Pupillenteile das eine oder andere dieser mehrfachen Bilder hervorgehoben und deutlicher gemacht oder unterdrückt wurde. Da diese Sonderbrennpunkte sehr dünnen Bündelteilen zugehören, so ist die Abbildungstiefe in ihnen oft sehr groß, und da die Sonderbrennpunkte in verschiedenen Entfernungen von der brechenden Fläche liegen, so kann ihr Einfluß bei der Ermittlung der Einstellung des Auges, sei es des Fernpunktes sei es des Nahpunktes merklich groß werden. Auch aus diesen Gründen wird man allzu genauen Angaben über die Messung des Brechungszustandes oder der Akkommodationsbreite mit einer gewissen Vorsicht gegenüberstehen dürfen.

**Das Auge mit doppelter Refraktion.** Gelegentlich kann sich aber der Umfang der einen solchen Sonderbrennpunkt bedingenden Stelle in der brechenden Folge der Größenordnung der ganzen Pupillenfläche nähern, und es kann in ihrem Bereich eine gewisse Einheitlichkeit bestehen, ähnlich wie im Rest des Pupillengebietes. Dann setzt sich unter Umständen das etwa auf die Netzhaut entworfenen Bild des einen Teiles dank seiner Lichtstärke gegen das von dem anderen stammenden zerstreuten, also schädlichen Licht durch. Man findet dann zwei, manchmal voneinander sehr verschiedene Einstellungsentfernungen eines und desselben Auges. Solches ist bei großen Hornhautnarben, bei beginnendem Star, Linsenflächenverbiegungen oder Veränderungen im Inneren der Linse beschrieben worden. Hierher gehören die Fälle von doppelter und mehrfacher Refraktion, die AXENFELD, HALBEN, BOHNENBERGER u. a. bei umschriebenen Veränderungen der Hornhaut, A. VOGT (c) und L. D. BALABONINA bei Veränderungen der Linse gesehen haben. Ferner ist hier an die Erscheinungen von Mehrfachsehen zu erinnern, die durch Vorschalten von Zylindergläsern hervorgerufen werden und neuerdings wieder von W. COMBERG untersucht worden sind.

Die sphärische Aberration im GULLSTRANDSchen schematischen Auge hat A. WHITWELL berechnet. Er gibt eine Unterkorrektion von 2,8259 dp<sub>tr</sub> und eine Längsabweichung von 1,3772 mm an. (Siehe auch W. SWAINE.) Um die Brechung bei schiefem Strahleneinfall ins Auge und den Astigmatismus im indirekten Sehen kümmern sich A. AMES und C. A. PROCTOR und G. LO CASCIO u. a. siehe S. 547.

## 2. Die Beugungserscheinungen.

Die Beugungserscheinungen im Auge rühren von verschiedenen Gebilden her. Meist werden sie als mehr oder weniger *helle Farbringe* um kleine leuchtende Gegenstände, leuchtende Punkte oder Flecken wahrgenommen. Sie sind von BEER, DONDERS, A. DRUAULT (a, c), HAFFMANS, H. MEYER, HIRSCHBERG, SALOMONSOHN, L. KOEPE (a, b, c), ELLIOT beobachtet und untersucht worden.

Der Nachweis ihres Entstehungsortes beruht auf der rechnerischen Prüfung der Beugungswirkung, die von einzelnen Gewebsbestandteilen als Gitter

ausgeübt werden kann. Die Lehre von der Beugung geht (man vergleiche die neuen Lehr- und Handbücher der Physik, GEIGER-SCHEEL, MÜLLER-POUILLET 11. Aufl., Kap. 15) zurück auf FRESNEL und J. FRAUNHOFER und ist u. a. von F. M. SCHWERD, A. GULLSTRAND (z), v. LAUE für verschiedene Arten von Gittern weiter fortgeführt worden. Wegen der Anwendung auf das Auge wird auf H. SALOMONSOHN, A. DRUAULT, SHEARD, L. KOEPPE verwiesen.

Die Oberfläche der Hornhaut, ihr Schleimüberzug oder auch eine Salbenschicht, ihr Deckzellenbelag liefern Farbringe von  $1\frac{1}{4}$  bis  $2,5^{\circ}$  scheinbarem Halbmesser, d. h. von einer anderen Größe und von anderer Breite als das vom Gitter der Linsenfasern, die Farbenringe mit  $3,5^{\circ}$  bis  $4^{\circ}$  scheinbarem Halbmesser verursachen (BEER, DONDEERS, A. DRUAULT, MEYER, GULLSTRAND, SALOMONSOHN). Das Endothel soll nach KOEPPE einen Ring von  $11^{\circ}$  Halbmesser bedingen, während es nach A. DRUAULT einen von etwa  $1^{\circ}$  Halbmesser erzeugt. Viel bekannter als die von den gesunden Geweben herrührenden Beugungserscheinungen sind die auch in ihrem Verhalten von ihnen verschiedenen Farbenringe bei der Drucksteigerung ( $5\frac{1}{2}$  bis  $8^{\circ}$  Halbmesser).

Auch der *Pupillenrand beugt Licht ab*, so daß ein leuchtender Punkt von abwechselnd hellen und dunklen Ringen umgeben erscheint. Das Ausmaß dieser Beugung hängt natürlich vom Durchmesser der Pupille ab. Der scheinbare Abstand des ersten dunklen Zwischenraumes von der Achse ist gegeben durch die Formel  $\sin \varphi = 1,22 \frac{\lambda}{2R}$ . Darin ist  $\lambda$  die Wellenlänge, R der Pupillenhalmesser. Für kleine Winkel und  $\lambda = 0,00058$  mm wird, wenn R ebenfalls in Millimetern und  $\varphi$  in Minuten ausgedrückt ist,  $\varphi = \frac{1,22'}{R}$ . Der Durchmesser würde durch den Wert  $2\varphi$  angegeben und damit die vom Auge gesehene ins Unendliche des Dingraumes entworfene Scheibe. In dieser Größe müßte ein feiner heller Punkt für das reduzierte Auge erscheinen, wenn ihn nicht der Helligkeitsabfall nach dem Rande hin kleiner erscheinen ließe. Man bezeichnet deshalb mit dem einfachen  $\sphericalangle \varphi$  das Auflösungsvermögen des reduzierten Auges bzw. eines abbildenden Gerätes. Dieser Wert ist von der Strahlenbrechung und -vereinigung wie von der Vergrößerung abhängig (GULLSTRAND, HELMHOLTZ). Bei 4 mm Pupillenweite ergibt sich nach BOEGEHOLD etwa  $36''$ , für 6 mm etwa  $24''$  als Grenzwert der Erkennbarkeit kleiner Abstände.

Für das Auflösungsvermögen des Auges mit 1 (bzw. 1,5) mm Pupillenhalmesser gilt 1,22 (bzw. 0,82) Min. bei gelbem Licht. Vergleicht man diese Werte mit dem bekannten Durchschnittswert der Sehschärfe, so gilt nach GULLSTRAND, „daß die durch die Diffraktion gesetzte Grenze der Leistungsfähigkeit des Auges, soweit dieselbe berechnet werden kann, bei der einer guten Beleuchtung entsprechenden Pupillengröße von der Sehschärfe des normalen Auges erreicht wird“. Über die Grenzen der Sehschärfe s. auch W. THORNER.

Von *weiteren derartigen Lichterscheinungen*, wie dem HAIDINGERSchen Polarisationsbündel, der Kegelwelle (SIEDENTOPF und L. KOEPPE) u. a., kann hier abgesehen werden, da ihnen kaum Bedeutung für das Sehen zukommt (PURKINJE, GERTZ, ZEEMAN).

### 3. Falsches Licht auf der Netzhaut.

Nach GULLSTRAND (v, 192) kann unter gewissen Umständen ein Lichtfleck im Auge beobachtet werden, der seine Entstehung der Spiegelwirkung der brechenden Flächen im Auge verdankt (s. a. O. BECKER).

Die sehr lichtstarke Spiegelung an der Hornhautvorderfläche, „das Glanzlicht der Hornhaut“, ist wie die an der vorderen und hinteren Linsenfläche, vor anderen besonders bekannt. Das Licht dieser PURKINJE-SANSONSchen

Bildchen kehrt in den Dingraum zurück. Es bedeutet lediglich einen kleinen Helligkeitsverlust, der für das Auge ganz belanglos ist. Nun wird aber das von der hinteren Linsenfläche gespiegelte, nach vorn umkehrende Licht an der Luft-Hornhautgrenze zum Teil noch einmal zurück ins Auge gespiegelt. Da die spiegelnden Flächen gekrümmt werden, so liefern sie mit Hilfe des zurückgeworfenen Lichtes Bilder. Liegen sie — die Gegenstandsweite bestimmt natürlich den Bildort (s. KRÄMER) — nicht weit von der Netzhaut entfernt, so ist ihre Form zu erkennen. Auch von der Linsenvorderfläche gespiegeltes und von der Hornhaut zurückkehrendes Licht ist an solchen Bildern erkannt worden. So gelangt Licht an Stellen, die im regelrechten unbeeinträchtigten Bild dunkel wären. Da der Bruchteil des Lichtes, das die brechenden Flächen, besonders die nicht an Luft grenzenden zurückwerfen, verhältnismäßig niedrig ist (s. S. 461/462), so fallen nur solche Bilder auf, die von sehr hellen Dingen (Flammen, Glühfäden) in dunkler Nachbarschaft herrühren; für gewöhnlich aber stört dieses falsche Licht nicht.

Treten diese Strahlen so, wie die zahlreichen der rein dioptrischen Netzhautbilder vereinigt durch die Pupille ins Auge, so kann eine Netzhautstelle auch dadurch falsches Licht erhalten, daß in hellen Bildstellen das einfallende Licht im Gewebe zerstreut wird und die dunkle Nachbarschaft beleuchtet. Schließlich dringt auch ein guter Teil Licht außerhalb des Pupillengebietes durch die Augenhaut hindurch und lagert sich gleichmäßig über das ganze Netzhautbild. Doch soll von diesem letzten nicht nur keine Störung, sondern sogar ein gewisser Nutzen für das Sehen gebracht werden.

#### 4. Die Farbenabweichung (chromatische Aberration).

Die Abweichungen von der homozentrischen Brechung sind für Strahlen verschiedener Wellenlänge im allgemeinen verschieden. Zu den monochromatischen Abweichungen kommen also noch die chromatischen hinzu in einer ähnlichen Weise wie bei den gewöhnlichen Linsen. Zunächst ist die Brennweite dünner Bündel in der Achsenrichtung für die verschiedenen Wellenlängen verschieden, für langwelliges Licht ist sie länger als für kurzwelliges (chromatische Längsabweichung) und dementsprechend ist auch die Bildgröße verschieden (chromatische Vergrößerungsunterschiede). Die verschiedenfarbigen Bilder des gleichen Dingpunkts liegen an verschiedenen Achsenpunkten, auf einem Schirm ist streng genommen nur eines scharf. Da sich die von den verschiedenen Farben herrührenden ungleich großen und ungleich deutlichen Bilder weißer Gegenstände überlagern, so bleibt nur am Rand ein farbiger Saum übrig. Diesen bemerkt die Netzhaut des Auges meist nicht, weil ihre Empfindlichkeit für die verschiedenen Farben sehr ungleich groß ist mit dem Höchstwert im Gelben etwa bei  $580 \mu$ . Nach beiden Seiten des Spektrums nimmt sie rasch ab. Deckt man die Pupille von einer Seite her ab, so wird der Farbensaum deutlich (s. Abb. 83), besonders wenn die Pupille erweitert worden ist und die Grenzlinie zwischen einer schwarzen und weißen Fläche beobachtet wird.

Entsprechend der für verschiedene Farben verschieden großen Brennweite des Auges ist auch seine Refraktion verschieden. Ist ein Auge für rotes Licht auf Unendlich eingestellt, so besitzt es für blaues Licht einen gewissen Grad von Kurzsichtigkeit. Ein sehr eindrucksvoller Versuch [HELMHOLTZ (147)] zum Nachweis des Farbenfehlers im Auge ist die Vorführung eines sehr niedrigen, aber breiten und hellen Spektrums. Je nach der Refraktion des beobachtenden Auges erscheint der tatsächlich rechteckige Streifen keil- oder schwalbenschwanzförmig. J. FRAUNHOFER (217/8) bestimmt den Einstellungsunterschied

des Auges zwischen Licht der Wellenlänge C ( $\lambda = 656 \text{ m}\mu$ ) und G ( $\lambda = 431 \text{ m}\mu$ ): aus seinen Werten erhält M. v. ROHR (c, 572) im Mittel einen Refraktionsunterschied von 1,81 dptr; ähnlich HELMHOLTZ (147/148). Aus den Angaben von J. J. KUNST über die Farbenzerstreuung in den verschiedenen Augenmitteln berechnet M. v. ROHR im GULLSTRANDSchen Übersichtsauge ( $r = 7,8 \text{ mm}$ ) einen Einstellungsunterschied zwischen D ( $\lambda = 589 \text{ m}\mu$ ) und F ( $\lambda = 486 \text{ m}\mu$ ) von 0,95 dptr; s. auch W. EINTHOVEN (a, b). Mit Hilfe eines roten Lichtfilters kann ein

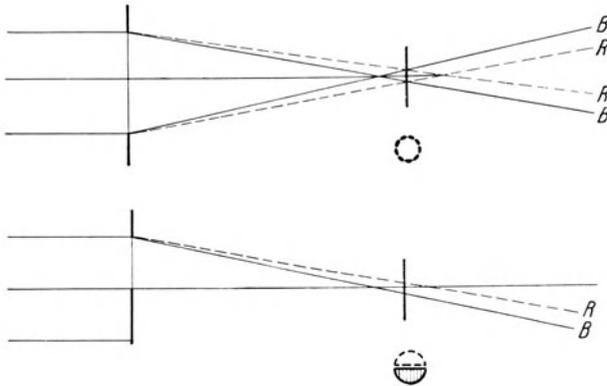


Abb. 82. Zur chromatischen Aberration im Auge. B ausgezogene (R gestrichelte) Linien; blaue (rote) Strahlen. Die halbe Abdeckung einer zentrierten kreisförmigen Blendenöffnung läßt auf dem ange-deuteten Querschnitt oben rote und unten blaue Ränder erscheinen.

schwach kurzsichtiges Auge bis zu etwa 1,8 dptr für die Ferne ausgeglichen werden. Nach TIGERSTEDT beträgt der Refraktionsunterschied zwischen Rot und Blau 1 bis 1,75 dptr.

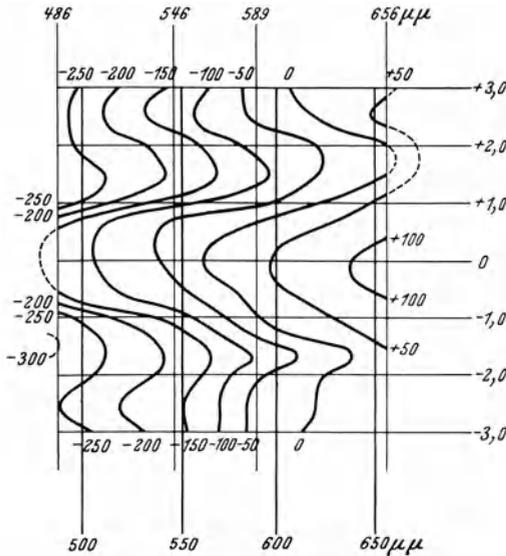


Abb. 83. Die sphärische und die chromatische Aberration im Menschenauge nach M. VON ROHR'S Darstellung der von AMES und PROCTOR angestellten Messungen. Die Kurven sind Schichtenlinien gleicher Schnittweiten in Abhängigkeit von Wellenlängen (Abszissen) und Einfallshöhen (Ordinaten) in Millimetern. Nasenseite positiv.

Dingweite wie AMES und PROCTOR keine, bei  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{2}{3}$  m wie NUTTING eine gewisse Farbfehlerhebung um 500 bis 650 m.

GULLSTRAND macht darauf aufmerksam, daß die Erscheinung der Farbenabweichung im Auge als Unterschied der Brennweiten farbiger Strahlen und als Vergrößerungsunterschied wirksam sind. Die letzte verhält sich für ferne

Mit der Erfahrungstatsache, daß wir von den Farbenfehlern unseres Auges für gewöhnlich überhaupt nichts bemerken und mit der Feststellung, daß sie die Sehleistungen nicht schädigen, steht der Ausfall der Gegenprobe [v. HELMHOLTZ (157)] im Einklang, daß die Sehschärfe nicht steigt, wenn die Farbenfehler des Auges mit einem geeigneten Glas ausgeglichen werden.

Zu diesem Fehler auf der Achse kommen noch in jeder Farbe die monochromatischen Abweichungen endlich geöffneter Bündel von Pupillenweite. Nach AMES und PROCTOR verhalten sich in dieser Beziehung die verschiedenen Farben gleichartig, wie besonders aus dem übersichtlichen Schichtenbild von M. v. ROHR zu sehen ist [H. BOEGEHOLD (b)]. Nachprüfungen sind nötig. CH. SHEARD findet durch Velonoskiaskopie bei 5 m

Dinge wie der Unterschied der Brennweiten. Für seitlich der Achse liegende Bildpunkte sind die verschieden großen farbigen Zerstreungsfleckchen nicht mehr konzentrisch. Wegen der für die Wahrnehmung dieser Erscheinung maßgebenden Verhältnisse sehe man GULLSTRAND (v, 158/160).

Wenn das im Auge gebrochene Lichtbündel derart einfach astigmatisch ist, wie es GULLSTRAND gezeigt hat, so muß sich das in Farbenercheinungen äußern, und zwar in einer asymmetrischen Verteilung der farbigen Strahlen. Daß dies tatsächlich der Fall ist, geht aus W. EINTHOVENS Darlegung über die exzentrische Lage farbiger Zerstreungskreise hervor, als deren Folge er in einer außerordentlich eindrucksvollen Weise die Farbenstereoskopie vorführt. Die meisten Menschen sehen von den roten und blauen Buchstaben einer frontal-parallel gehaltenen Tafel die roten in einer näheren, die blauen in einer weiter als die Tafel entfernten Fläche. Auf einen Versuch von GUILD<sup>1</sup> ist noch zu verweisen.

### 5. Die Strahlungsvermittlung.

Geben wir als Maß der relativen Lichtstärke, wie es für die Linsen unserer Lichtbildkammern üblich ist, das Öffnungsverhältnis, d. h. den Bruch  $\frac{\text{Durchmesser der Eintrittspupille}}{\text{Brennweite}}$  auch für das Auge an, so erhalten wir für die etwa

vorkommenden Grenzen der Pupillenweiten von 2—8 mm Werte von  $\frac{2}{17,055} = \frac{1}{8,5} = 0,117$  und  $\frac{8}{17,055} = \frac{1}{2,13} = 0,469$ .

Das Quadrat dieses Verhältnisses gibt die Beleuchtungsstärke im Bild eines fernen Dingflächenstückchens an.

Hinsichtlich der wirklichen Lichtstärke ist das Auge sehr gut gestellt, da nur *eine* brechende Fläche an Luft grenzt. Der Spiegelungsverlust beträgt dort etwa 2,5% des auffallenden Lichtes, während die an anderen Flächen entstehenden viel geringer sind, z. B. an den Linsenoberflächen nur 0,034% ausmachen. Zu diesem Verlust kommen noch die von den Gewebsbestandteilen der brechenden Teile verursachten hinzu. Der Hauptteil geht hier auf Rechnung der Linse. Mit zunehmendem Alter gesellt sich hierzu noch der Einfluß ihrer gelben Färbung.

## III. Die Verwirklichung eines optischen Empfangsgerätes im Menschaugen.

### A. Allgemeines.

Die vorangehenden Abschnitte haben sich im wesentlichen vom rein optischen Standpunkt mit den Einzelheiten der brechenden Teile des Auges und mit den Eigenschaften des in ihnen gebrochenen Strahlenbündels, also mit den bildentwerfenden Teilen, befaßt. Nur ganz kurz, soweit es eben für das Verständnis der Einstellungsmöglichkeiten nötig war, ist von dem wichtigsten bildempfangenden Teil, der Netzhaut, die Rede gewesen.

Im folgenden sollen nun die tatsächlichen Verbindungen einer brechenden Flächenfolge mit einem bildempfangenden, in bestimmter Anordnung befindlichen Teil, eben das *Auge als ganzes Körperglied*, betrachtet werden. Die verschiedenen Gebilde, die die Natur schafft, aus unzähligen Möglichkeiten bestimmte auswählend andere vermeidend, lassen sich in folgende Gruppen ordnen. Abwandlungen der Einstellung, entsprechend den verschiedenen Lagen der

<sup>1</sup> GUILD: Proc. physiol. Soc. **29**, 311 (1927).

Netzhaut zum bildseitigen Augenbrennpunkt, bedingen verschiedene *Refraktionen*. Die häufigste Abweichung von der regelrechten Strahlenbrechung ist der *Astigmatismus*. Schließlich sind die Mittel und Wege zu betrachten, die zur Brechkraftsteigerung, zur *Akkommodation*, benutzt werden, und ihre Störungen.

## 1. Der Auffangschirm des Auges, die Netzhaut.

Die in das Auge eintretenden Strahlenbündel müssen einen Teil ihrer Energie in einen physiologischen Reizvorgang umsetzen, wenn das Auge zu einem Sehwerkzeug werden soll. Die Umschlagstelle, an der dies geschieht, ist die musivische Schicht der Netzhaut. Einesteils von der Lichtverteilung auf diesem Schirm, anderenteils von den Eigentümlichkeiten des für das Licht empfindlichen Schirmes und seiner Verbindung mit dem Gehirn hängt es ab, was für einen Eindruck das Auge dem Träger von dem eintretenden Bündel vermittelt.

Für die Lichtverteilung auf dem Schirm ist natürlich zuerst der Aufbau des im Auge gebrochenen Bündels maßgebend. Hiervon ist schon oben die Rede gewesen. Sodann bestimmt bei einem gegebenen Bündel der Ort des Schirmes darüber, was für ein Querschnitt dieses Bündels sichtbar wird. Auch hierüber ist oben schon soweit gesprochen worden, als zur Erklärung der verschiedenen Einstellungen (Refraktionen) erforderlich war. Das konnte ausreichend mit der Beschränkung auf ein ganz enges Feld, streng genommen auf eine einzige Richtung, geschehen.

In Wirklichkeit hat das Auge aber ein recht beträchtliches endliches Feld, dessen Ausdehnung — sehen wir von den früher schon behandelten Blendwirkungen der Gesichtsteile ab — in jedem Fall von der Größe des Schirmes, d. h. von der durch Licht reizbaren Netzhaut und den von ihr abhängigen Teilen der Sehbahn, begrenzt wird. Dieser Schirm ist keine Ebene, sondern hat entsprechend der Form des Augapfels im groben die Gestalt einer Kugelhaube. Je nachdem ihr Krümmungsmittelpunkt auf der Richtung des gewählten Hauptstrahles liegt oder nicht, besteht abgesehen von dem Aufbau des Bündels selbst Achsensymmetrie oder zweifache Symmetrie oder Asymmetrie für die Querschnitte zur Achse geneigter Bündel. Das innere Feingefüge des Auffangschirmes und der mit ihm verbundene höhere Teil der Sehbahn ist nun durchaus ungleich in seinen verschiedenen Gebieten, und so folgt eine je nach der Richtung außerordentlich große Verschiedenheit der Sehleistungen. Von anderen Eigenschaften abgesehen ist die Netzhautgrube (*Fovea centralis*) durch die Feinheit der räumlichen Unterscheidungsfähigkeit der übrigen Netzhaut weit überlegen (s. o. S. 497), nach den Seiten hin nimmt die Leistung sehr rasch ab. Hand in Hand damit geht die Änderung im Aufbau dünner Bündel gemäß ihrer Neigung zum ausgewählten Hauptstrahl, zur Achse, um die endgültige Beschaffenheit des einem seitlich gelegenen Dingpunkt zugeordneten Bündelquerschnittes und die Sehschärfe an dieser Stelle zu bestimmen.

Nehmen wir eine ausgerichtete, achsensymmetrische Flächenfolge an, so weisen dünne, zur Achse geneigte Strahlenbündel Astigmatismus auf. Dieser wächst mit zunehmender Neigung der dünnen Bündel. Hierfür kann auf die früher auf S. 490 gegebene Schilderung verwiesen werden. Es treten demnach für beide Hauptschnitte eines jeden dünnen Bündels zwei nicht miteinander zusammenfallende Teilbrennpunkte auf. Sie liegen jeweils auf einer Schale, die ihre Hohlseite den brechenden Flächen zukehrt und die sich im Scheitel, im Brennpunkt der Nullstrahlen, berühren. Nehmen wir eine achsensymmetrische Folge an, und fällt der Brennpunkt der Nullstrahlen in die Netzhautgrube, so sind Bündel endlicher Neigung auf jeden Fall astigmatisch. Ist das Auge also in der Netzhautgrube geprüft, demnach im direkten Sehen rechtsichtig, so ist es

in anderen Teilen des Hintergrundes, im indirekten nicht rechtsichtig, irgendwie astigmatisch. Was für eine Art von astigmatischer Refraktion dort herrscht, ob die Netzhautseitenteile kurzsichtig-, gemischt-, übersichtig- oder zusammengesetzt-astigmatisch sind, das hängt davon ab, wie die gekrümmte Netzhautfläche zu den astigmatischen Bildschalen liegt. Die Beziehung der Netzhaut zu den Brennpunkten der gebrochenen schiefen Bündel in den Seitenteilen des Feldes hat schon TH. YOUNG zu bestimmen gesucht. Nach seinen Rechnungen, die natürlich wegen der unbekanntenen Wirkung der geschichteten Linse und der seitlichen Abschnitte der brechenden Flächen, die nicht einfach als Kugelflächen genommen werden können, höchst unsicher ist, liegt die Netzhaut zwischen den beiden astigmatischen Brennflächen. Das heißt, es besteht gemischter Astigmatismus. Man hat dann die Schattenprobe zu Hilfe genommen (A. DRUAULT [b]) und ist schließlich auch nicht vor der schwierigen Aufgabe zurückgeschreckt, die Form der hinteren Augenfläche am toten Auge auszumessen. Eine große Unsicherheit liegt natürlich darin, daß mit jedem Eingreifen, schon beim Herausnehmen des Auges, beim Gefrierenlassen, Eingipsen (G. LO CASCIO [b, c, d, e]) und gar erst bei der Eröffnung des Augapfels sogleich beträchtliche Formenänderungen eintreten. Man wird daher von solchen Versuchen keine große Genauigkeit verlangen und die Ergebnisse nur mit großer Vorsicht hinnehmen dürfen.

Die Netzhautform ist nun zweifellos keine Kugelfläche, sondern zeigt einen anderen Krümmungsverlauf schon im waagrechten Schnitt. Wie RÉNY fand P. BRETAGNE zwar keinen Unterschied der Refraktion zwischen oben und unten, wohl aber zwischen der Sehnervenscheibe und der Netzhautgrube (Fovea centralis), bis zu 6 dptr, nachdem schon H. DRUAULT 1898 und 1900 solche Ungleichheiten mit einer abweichenden Deutung geschildert hatte. D. OGATA und F. W. WEYMOUTH berichten über Unterschiede zwischen der Refraktion beim Sehen in der Netzhautgrube und ihrer nächsten Nachbarschaft. PINCUS fand die Papille 4—5 dptr stärker myopisch als die Fovea centralis. Im Zusammenhang mit Conusbildungen in ungewöhnlicher Richtung haben A. SZILI wie später H. RÖNNE exzessive Myopie im Augenhintergrund *außerhalb* der Netzhautgrube nachgewiesen, also umschriebene Ausbuchtungen der Lederhaut außerhalb des hinteren Pols. Die Bezeichnung Astigmatismus für solche Abweichungen der Schirmlage und -form sollte besser nicht aufgenommen werden, da sie irrige Vorstellungen erweckt. Bezeichnet Astigmatismus doch eine Eigenschaft des Bündels, eine Besonderheit der Strahlenvereinigung, und dies ist eben von dem Verhalten einer in seinen Weg tretenden Schirmfläche ganz unabhängig.

#### Die Lage der Macula lutea.

Wäre die Flächenfolge des Auges als technisches Gerät gegeben und für das Bild nur ein so kleines Feld zugelassen, wie es die Netzhautgrube faßt, so würde zweifellos die Wahl der Stelle, an der dieser Teil des Auffangschirmes angebracht würde, nach dem Ergebnis einer genauen Prüfung der Bildgüte in den verschiedenen Hauptstrahlenrichtungen erfolgen.

Man könnte weiter daran denken, daß die Natur eine ähnliche Auswahl zu treffen imstand wäre, nämlich derart, daß sich die Netzhautgrube unter der Einwirkung des Bildes, und zwar des besten Teiles des Bildfeldes als besonders leistungsfähige Stelle erst ausbildet. Dieser Gedanke findet eine gewisse Stütze durch die bekannte Tatsache von der Amblyopie der Neugeborenen und der Amblyopie durch Nichtgebrauch. Zweifellos handelt es sich aber hierbei um Vorgänge im Gehirn. Ließe man sich durch den Umstand, daß der Ausbau des gelben Fleckes bzw. die Netzhautgrube erst mehrere Monate nach der Geburt vollendet ist, weiter in diese Überlegungsrichtung verleiten, so muß

die genaue Betrachtung der Entwicklungsgeschichte durchaus von einer solchen Erwägung abbringen.

Denn es steht fest, daß sich die Stelle der Netzhautgrube schon früh, im embryonalen Leben vor dem 5. Monat, deutlich von ihrer Nachbarschaft unterscheidet, nämlich als *Area centralis retinae*. Sie ist von SEEFELDER zuerst bei Feten von 122 mm Länge gefunden. Die eigentliche Grubenbildung beginnt gegen Ende des 6. Monats. Für unsere Frage sehr wesentlich ist aber die Tatsache, daß die Stelle der *Fovea centralis* zur Zeit der Geburt schon festgelegt, anatomisch deutlich gekennzeichnet, und auch der Abstand der Grubengegend gleich nach der Geburt ebensoweit vom Sehnervenaustritt entfernt ist wie im ausgewachsenen Auge (MERKEL u. ORR, v. HIPPEL). Der Netzhautort, der beim Sehen den Zielpunkt bestimmt, ist also von vornherein festgelegt, bevor die Netzhaut in Gebrauch kommt und mit Licht beschickt wird.

In Wirklichkeit kann also der Zustand, daß nämlich der Brennpunkt des Nullstrahlenbündels in der Netzhautgrube liegt, den wir der Einfachheit halber oben (s. S. 497) zunächst einmal vorausgesetzt haben, nicht als der allgemeine Fall gelten. Tatsächlich besteht meist eine gewisse Asymmetrie hinsichtlich der Lage der Netzhautgrube.

## 2. Die Perspektive des direkten und des indirekten Sehens.

Steht ein Auge einem räumlichen Gebilde ruhig gegenüber, so bestimmt die Pupillenmitte mit den einzelnen Dingpunkten Richtungen, deren Gesamtheit als Perspektive bekannt ist. Dieser dingseitigen Perspektive entspricht wieder eine Perspektive im Auge selbst, nämlich die Gesamtheit der Richtungen, die aus den dingseitigen durch die Brechung entstehen und deren Mittelpunkt in der Mitte der Austrittspupille des Auges liegt. Soweit Lichtempfindung durch die in diese Bahnen eintretenden Strahlen hervorgerufen wird, bilden die dingseitigen Richtungen zusammen das Gesichtsfeld des Auges.

Da die Netzhautgrube (*Fovea centralis*) vor den ganzen übrigen Gebieten mit einer überragenden Sehschärfe begabt ist, kann ein ruhendes Auge seinen Träger nur über ein ganz kleines Stück des großen Gesichtsfeldes genauer in Einzelheiten unterrichten, während die Seitenteile lediglich von der Anwesenheit größerer und auffallender Teile Kenntnis geben. Sollen auch deren feinere Einzelheiten bekannt werden, so ist es nötig, daß die einzelnen Teile einer nach dem anderen einmal auf der Netzhautgrube abgebildet werden. Dazu ist aber weiter nötig, daß das Auge seine Stellung den Gegenständen gegenüber verändert. Das kann durch Bewegung des ganzen Körpers oder des Kopfes geschehen, doch wird bei kleinerem Kraft- und Zeitaufwand dasselbe dadurch erreicht, daß der Augapfel allein eine selbständige, außerordentlich rasch arbeitende, fein abgestufte Beweglichkeit durch äußere Augenmuskeln erhalten hat. Diese Bewegung erfolgt annähernd genau um einen im Augeninneren liegenden Punkt, den Augendrehpunkt (J. KEPLER, CHR. SCHEINER, J. MÜLLER, L. J. SCHLEIERMACHER). Die Gesamtheit der Richtungen, die durch den Augendrehpunkt und die verschiedenen Gegenstandspunkte festgelegt sind, und die die Blicklinie des bewegten Auges nacheinander einnimmt, bildet wiederum eine Perspektive. Sie heißt die Perspektive des direkten Sehens, im Gegensatz zur vorher genannten, der Perspektive des indirekten Sehens. Diese beiden unterscheiden sich voneinander durch die verschiedene Lage ihrer Mittelpunkte den Dingpunkten gegenüber. Beide stehen in einer eigentümlichen Beziehung zueinander, die von O. EPPENSTEIN gekennzeichnet worden ist (s. S. 498). In jeder Stellung des Augapfels, streng genommen für jede Richtung der Perspektive des direkten Sehens, nimmt der Mittelpunkt der Perspektive des indirekten Sehens eine andere

Lage ein, so daß dann unendlich viele verschiedene Perspektiven des indirekten Sehens vorhanden sind, sobald Blickbewegungen auftreten. Der Mittelpunkt der Perspektive des indirekten Sehens wandert dabei auf einer Kugeloberfläche, die mit dem Halbmesser von rund 13,5 mm um den Augendrehpunkt beschrieben wird. Der Unterschied spielt nur für wirklich nahe Gegenstände eine merkliche Rolle, für ferne können die Richtungen der beiden Perspektiven als annähernd gleich gelten.

Alle diese Überlegungen stimmen für Augen verschiedener Refraktionen miteinander überein. Ein großer Unterschied stellt sich natürlich heraus, wenn man nach der Deutlichkeit fragt, mit der die in diesen Richtungen liegenden Dingpunkte von Augen verschiedener Refraktion gesehen werden. Da indessen die Bedeutung des direkten Sehens weit die des indirekten überwiegt, so treten die Untersuchungen zum indirekten Sehen Fehlsichtiger hinter die anderen weit zurück; vor allem hat man den Refraktionen Aufmerksamkeit gewidmet und dabei wiederum ihre Entstehung zu ergründen gesucht, mit einseitiger Bevorzugung der Kurzsichtigkeit, deren Nachteil für das Sehen ihr stärkere Berücksichtigung verschafft hat, als für die Klärung der Aufgabe nützlich gewesen ist.

## B. Das Vorkommen der verschiedenen Refraktionen des Menschauges.

Die Frage, wieviel Fälle von Hyperopie, Emmetropie und Myopie auf 100 Augen kommen, ist schwer zu beantworten, auch wenn man die Erleichterung trifft, daß astigmatische ausgeschlossen sein sollen. Angaben darüber sind mit Vorsicht aufzunehmen, denn die Zahlen können von verschiedenen Umständen beeinflußt sein: zunächst von der Untersuchungsgenauigkeit, sodann von der Auswahl der Untersuchten, einem oft schwer faßbaren Einfluß, der allen Aufstellungen seinen Stempel aufdrücken muß. Die Untersuchungsgenauigkeit hängt vom angewandten Verfahren und von der Sorgfalt und Sicherheit des Untersuchers ab, bei den subjektiven Prüfungen nicht wenig auch vom Untersuchten selbst. Dann spielt die Frage, ob mit oder ohne Atropin untersucht worden ist, hauptsächlich für die Höhe und die Häufigkeit der gefundenen Übersichtigkeit eine Rolle. Bei der Atropinanwendung sollte die Pupillenweite durch eine Blende auf die natürliche Weite gebracht werden.

Sehr große Zahlenzusammenstellungen, wie z. B. die von RANDALL (über 200 000 Leute), werden notwendig an dem Mangel einer Ungleichwertigkeit der in ihnen enthaltenen Untersuchungen leiden. Gerade in der Gegend der am häufigsten vorkommenden Refraktionen wird sich dieser Einfluß sehr auswirken. Es sei nur an die Diagnose „Emmetropie“ erinnert. Man kann die Emmetropie nicht als gleichwertige Gruppe der Hyperopie und Myopie gegenüberstellen, da sie ja lediglich den *Grenzpunkt* bezeichnet, in dem die beiden *Gebiete* der Übersichtigkeit und der Kurzsichtigkeit aneinanderstoßen (S. 521). Je größer die Untersuchungsgenauigkeit, desto mehr schrumpft die Zahl der für oberflächliche Prüfung als emmetropisch geltenden Augen zusammen. Von den auszuscheidenden wird sich die Mehrzahl als übersichtig erweisen, zumal wenn Atropin angewendet wird, ein anderer Teil stellt sich als ganz schwach kurzsichtig heraus, wenn z. B. in jedem Fall wirklich der Höchstwert der Sehschärfe aufgesucht wird, statt daß man sich mit  $\frac{5}{5}$  oder  $\frac{5}{4}$  entsprechend der untersten Reihe unserer meist nach den kleinen Zeichen zu nicht ausreichend weit geführten Tafeln begnügt.

Daher tut man gut, statt Gesamtzahlen der üblichen drei Gruppen Hyperopie, Emmetropie und Myopie die Häufigkeitsverteilung der Augen auf die einzelnen

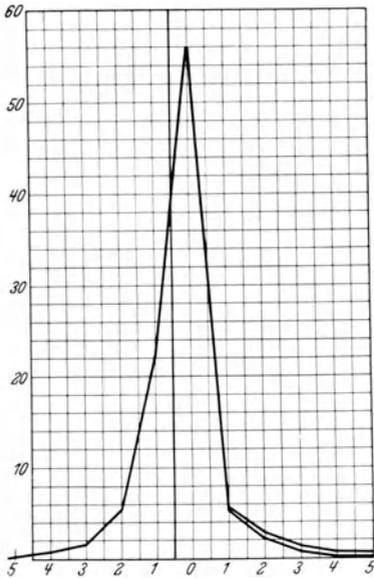


Abb. 84. Die Häufigkeitsverteilung von 12 000 Augen auf die verschiedenen Refraktionsgrade. Die obere Kurve gilt für alle Augen, die untere nach Ausschluß der Augen mit Conusbildung. Die Ordinate gibt die Prozentzahlen, die Abszissen links von Null bedeutet Hyperopie, rechts von Null Myopie. (Nach A. BETSCH.)

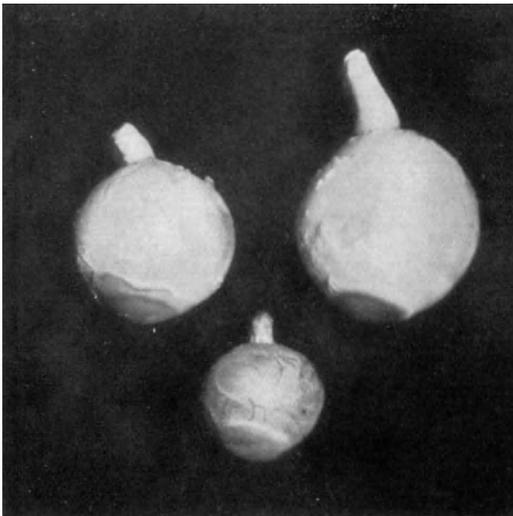


Abb. 85a. Drei Menschaugen: 1. unten das des Neugeborenen, 2. links das des emmetropischen Erwachsenen, 3. rechts das des Myopen von etwa 12 Dioptrien. (Nach A. ELSCHNIG.)

bei der Untersuchung sicher zu trennenden Refraktionsgrade anzugeben. Will man auf eine Zusammenfassung nicht verzichten, ein Wunsch, für den man sehr wohl Gründe beibringen kann, so müßte an die Stelle der Emmetropie ein Gebiet treten, das sich eine gewisse und bestimmt abgegrenzte Strecke weit auf beiden Seiten des häufigsten Refraktionsgrades ausdehnt. Eine Vereinbarung darüber, wie breit es zu nehmen sei, etwa zweimal  $\frac{1}{2}$  oder zweimal 1 dptr, wäre erwünscht, damit die Ergebnisse verschiedener Untersucher vergleichbar würden.

An **Häufigkeitskurven** betrachtet stellt sich der erwähnte Einfluß nicht als eine so grundlegende Änderung der Ergebnisse einer Aufstellung dar, wie es bei der Mitteilung der drei Hundertsätze scheint. Der Scheitelpunkt der Kurve brauchte bei einer Verkleinerung der Zahl der Emmetropien trotz einer auffälligen Änderung der drei Zahlen seinen Ort gar nicht zu verlassen. Die erhöhte Untersuchungsgenauigkeit könnte sich einfach in einer gewissen Abflachung des Gipfels äußern. Wenn nun auch bei der Ausschaltung der Akkommodation dennoch eine

Verlagerung des Ortes größter Erhebung in der Richtung zur Übersichtlichkeit hin erfolgt, so ist die Kurve keineswegs so zur Unkenntlichkeit entstellt, wie es die Prozentzahlen der drei Gruppen dadurch würden.

Die Aufstellung einer solchen Kurve hat ihre Schwierigkeiten, ganz abgesehen davon, daß eine sehr große Zahl von Augen dazu verwendet werden muß, wenn sie einigermaßen von den Zufälligkeiten freibleiben und einen stetigen Zug abgeben soll. Es hat denn auch trotz emsiger und umfangreicher Arbeit an der Frage der Refraktion lange gedauert, bis man eine solche Kurve bekam (GALLUS [b]).

R. SCHEERER und A. BETSCH haben aus dem Durchgang der poliklinischen Sprechstunde der Tübinger Klinik, und zwar von

3 Jahrgängen mit insgesamt 25 000 Leuten 12 000 Augen ausgewählt und nach ihrer Refraktion geordnet. Dabei ergab sich ihnen die obenstehende **Refraktionskurve** (Abb. 84). Ihre Form und Lage sagt natürlich ungleich viel mehr

aus als die S. 549 erwähnten drei Zahlen, die statt der Form den Flächeninhalt von drei willkürlich gewählten Gebieten darstellen. Vor allem sieht man ohne weiteres, daß sich die größte Anzahl von Augen um einen Refraktionsgrad herum zusammendrängt. Dieser dem Höchstwert mehr oder weniger eng benachbarte Refraktionsbereich kann als normal gelten. Der Kurvengipfel liegt *nach Auswertung* (s. Abb. 94, S. 561) nicht bei Null, also nicht bei Emmetropie, sondern ein wenig nach der Seite der Hyperopie zu  $+0,5$  dptr. Hierin zeigt sich, daß eben nicht die vom optischen Standpunkt aus gewiß ausgezeichnete Emmetropie die normale Refraktion ist, wenn schon ein Punkt der Kurve und nicht ein Gebiet genannt werden soll, sondern *etwa  $+0,5$  dptr., der häufigste Refraktionsgrad*. Diese Aussage wäre indessen ungenau, wollte man nicht hinzufügen, daß die Kurve für Erwachsene über 25 Jahre und für die Bevölkerung eines Kulturlandes, Württembergs, gilt. Die Auswahl für ihre Aufstellung haben SCHERER und BETSCH so getroffen, daß sie womöglich einen Einblick in den Aufbau der gesamten Bevölkerung erwarten konnten; sie haben dazu nur solche Leute ausgesucht, die nicht wegen ihrer Refraktion zum Augenarzt gekommen waren, und haben astigmatische Leute weggelassen, ebenso alle unter 25 Jahren. Tatsächlich ist, was schon aus früheren Aufstellungen hervorgeht, die Zusammensetzung anders, wenn man *nach dem Lebensalter gliedert*, oder wenn *gewisse Bevölkerungsschichten, verschiedene Rassen oder Länder* für sich untersucht werden.

KRONFELD und DERNEY haben eine Refraktionskurve für die Chikagoer Bevölkerung aufgestellt. Die 2229 Augen wurden in Atropinlähmung der Schattenprobe unterworfen. Man fand mehr Kurzsichtige zwischen 2 und 4 dptr als SCHEERER und BETSCH. Wie bei diesen haben sich auch in der neuen Kurve viel mehr Augen um den Mittelwert und an beiden Enden zusammengefunden, als der binomialen Verteilung entspricht.

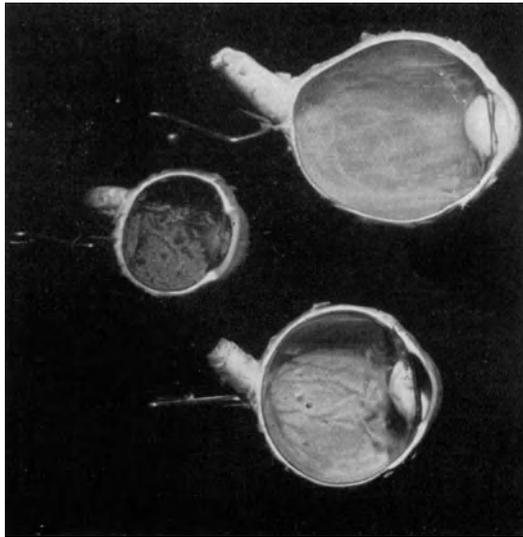
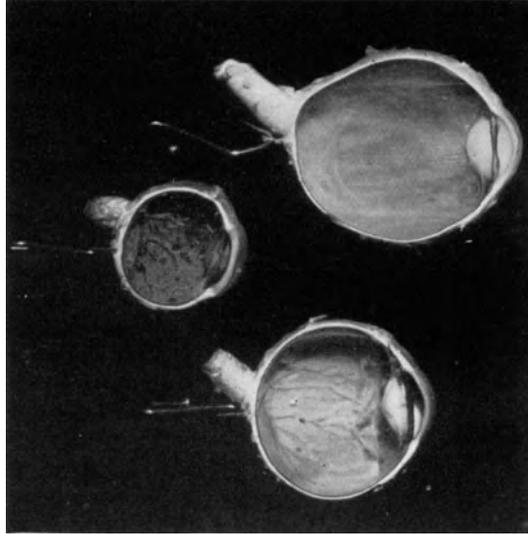


Abb. 85b. Ein Stereogramm denselben drei Augäpfel wie in Abb. 85a, aufgeschnitten.

Was das **Lebensalter** angeht, so spielen sich die größten Umwälzungen in der frühen Jugend ab, wenn auch das spätere Leben, besonders das hohe Alter, wieder eine Veränderung der Refraktion mit sich bringt (s. Abb. 86). Das Längenwachstum ist von MERKEL und ORR, FAVALORO, KRAUSE, KÖNIGSTEIN u. a. beschrieben (s. Abb. 90); die Hornhautdurchmesser hat KAISER verfolgt.

Die Veränderung der Refraktion geht nun nicht stetig vor sich, sondern schubweise beschleunigt, ähnlich dem körperlichen Wachstum. Die erste Veränderung fällt in die Zeit nach der Geburt, die zweite in die der Pubertät, etwa in das 15. Lebensjahr.

Die Augen der **Neugeborenen** sind in der überwiegenden Mehrzahl übersichtig, nur wenige kurzsichtig (anatomischer Befund siehe FUCHS). Im Laufe der nächsten Jahre findet eine Veränderung der Refraktion des wachsenden Auges statt. Der Grad und die Häufigkeit der Übersichtigkeit sinken. Ein Teil der Augen wird und bleibt dann genau oder annähernd emmetropisch. Ein kleiner Teil wird kurzsichtig. Sehr häufig sind damit erhebliche Größenunterschiede bedingt (s. Abb. 85a u. b). Schon in den ersten Schulklassen hat sich bei einem merklichen Hundertsatz der Augen Kurzsichtigkeit eingestellt. Grad und Häufigkeit der Kurzsichtigkeit werden mit jedem Schuljahr größer.

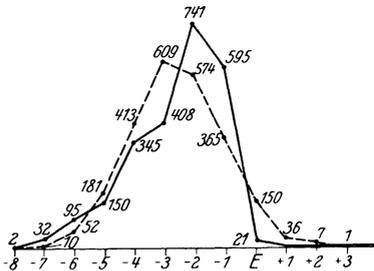


Abb. 86. Die Refraktion von 2398 Neugeborenenaugen, bestimmt unter Atropin. Ausgezogene Linie wirklich gefundene Zahl, gestrichelte nach der binomialen Verteilung berechnete. Bezeichnung s. Abb. 88. (Nach F. WIBAUT.)

Die Ermittlung dieser Tatsachen kann durch Zahlenaufstellung in der Weise geschehen, daß man die Häufigkeit der verschiedenen Refraktionen für die einzelnen Altersgruppen auszählt, oder dadurch, daß man beim einzelnen Menschen Jahr für Jahr Refraktionsbestimmungen macht. Die Mehrzahl der Forscher verfolgt den ersten Weg.

Über die Neugeborenen unterrichten uns neben den Mitteilungen ELYS, KÖNIGSTEINS, GERMANN, BIEGELS u. a. hauptsächlich C. HORSTMANN, G. SCHLEICH, HERRNHEISER und DE VRIES, deren Zahlenergebnisse F. WIBAUT zusammenstellt und in einer Kurve abbildet (s. Abb. 85).

Refraktion von 2398 Neugeborenenaugen.

Untersucher	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8 dptr
HERRNHEISER	—	—	2	—	—	563	683	319	251	72	30	—	—
SCHLEICH	—	—	—	—	—	6	27	41	68	68	58	31	1
HORSTMANN	—	—	2	—	10	16	16	36	14	4	2	—	—
DE VRIES	1	2	1	1	11	10	15	12	12	6	5	1	1
Zusammen:	1	2	5	1	21	595	741	408	345	150	95	32	2

Nach GERMANN soll die Übersichtigkeit im 1. Lebensmonat 5,3 dptr, im 2. Monat 3,3 dptr und im Alter von 1½ bis 10 Jahren 1,72 dptr betragen. Die normale Refraktion ist also bei den Neugeborenen eine Übersichtigkeit von jedenfalls mehr als 2 dptr; im Lauf des weiteren Wachstumes nähern sich die meisten Augen ihrem endgültigen Einstellungszustand. Der größte Teil erreicht dabei den durch die Kuppe der Häufigkeitskurve gekennzeichneten Zustand, ein Teil nicht, er bleibt übersichtig, und ein anderer Teil überschreitet die Gegend des häufigsten Wertes und wird mehr oder weniger stark kurzsichtig.

Zunächst gibt HERRNHEISER für das Alter von 14 Monaten bis zu 6 Jahren folgende Verteilung von 546 Augen auf die verschiedenen Refraktionsgrade an:

Kurzsichtigkeit (Myopie) . . .	4,39%
Rechtsichtigkeit (Emmetropie) . . .	23,81%
Übersichtigkeit (Hyperopie) . . .	71,79%
nämlich 1—2 dptr . . . . .	57,8%
3—4 dptr . . . . .	11,7%
5—6 dptr . . . . .	2,2%

In seiner Kurvendarstellung vergleicht STEIGER (Abb. 1) diese Ergebnisse mit den an Neugeborenen gefundenen Zahlen. Darin ist die Verschiebung der Gesamtmasse mit dem zunehmenden Alter nach der Seite der Kurzsichtigkeit deutlich sichtbar.

Für die folgenden Lebensjahre liegen zwar viel zahlreichere Befunde in den Ergebnissen der schon vor Jahrzehnten begonnenen **Schuluntersuchungen** vor. Sie geben jedoch, eben weil es Schuluntersuchungen sind, nicht das wirkliche Bild der Zusammensetzung der ganzen Bevölkerung in diesen

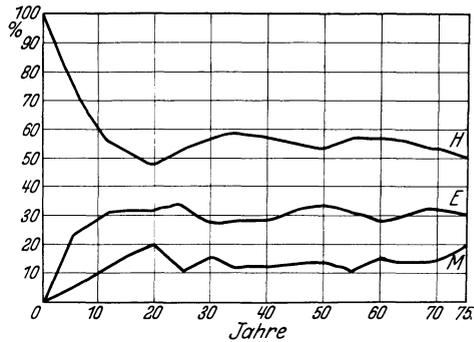


Abb. 87. Die Verteilung der drei Refraktionen auf die einzelnen Jahrfünftel. Obere Linie Hyperopie, mittlere Emmetropie, untere Myopie. (Nach HERRNHEISER.)

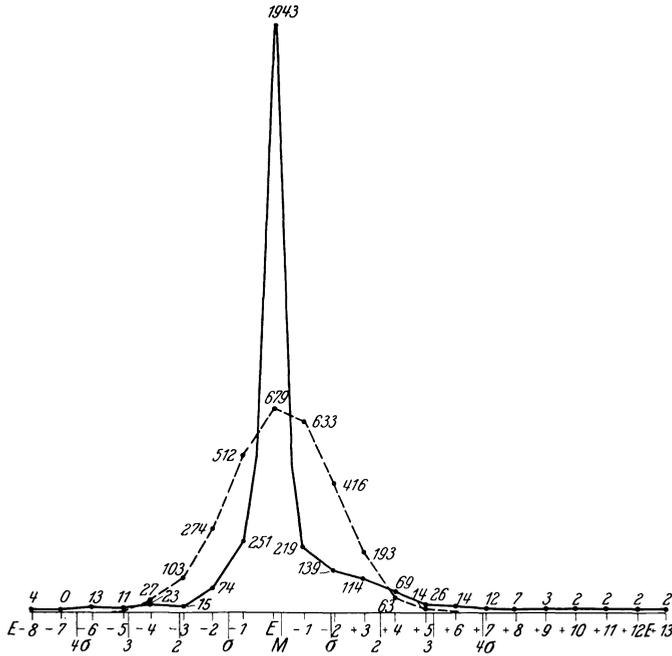


Abb. 88. Die Verteilung von 2920 Gymnasiasten auf die verschiedenen Refraktionsgrade. Ausgezogene Linie: Zahlen von J. P. G. VAN DER MEER. Gestrichelte Linie: die von WIBAUT berechnete binomiale Verteilung. Negative Werte, links: Hyperopie, positive: rechts, Myopie in dptr. (Nach F. WIBAUT.)

Lebensjahren, denn die Verteilung der Kinder auf die verschiedenen Schulen stellt eine Auswahl dar, von der die Refraktionsgliederung nicht unabhängig ist. Immerhin kann die Verfolgung der Refraktionsverteilung innerhalb der einzelnen Klassen einer und derselben Schule vergleichbare Werte ergeben.

Untersuchungen dieser Altersspanne häufen sich besonders stark, nachdem H. COHN (s. Myopie b u. e) mit seinen Veröffentlichungen begonnen hatte, und sie richten sich meist in mehr oder weniger einseitiger Weise auf die Kurzsichtigkeit.

Auf die außerordentlich großen Widersprüche in den Ergebnissen macht A. STEIGER nachdrücklich aufmerksam und erklärt sie hauptsächlich mit der Anwendung nicht vergleichbarer Verfahren.

Aus der großen Zahl von Mitteilungen greifen wir als ein Beispiel die von STOCKER und von HESS u. DIETRICH (S. 11) heraus. Es fanden:

STOCKER	HESS u. DIETRICH an zwei verschiedenen Schulen				
	6.—10. Lebensjahr		10.—14. Lebensjahr		
Myopie über 1 dptr in . . . .	3,2%	3,4	(3,9)	10,1	(15,7)
Myopie bis 1 dptr in . . . .	5,2%	11,7	(8,7)	16,1	(11,1)
Emmetropie bis 1 dptr in . .	85 %	33,2	(39,2)	34,2	(35,1)
Hyperopie bis 1 dptr in . . .	6,3%	32,1	(35,6)	27,2	(22,4)
Hyperopie über 1 dptr in . .	0,3%	19,6	(12,6)	12,4	(15,7)
		7. (und 2.) Bürgerschule			

Nach DINGER tritt  $\frac{1}{2}\%$  der Kinder schon kurzsichtig in die Schule ein. v. REUSS fand in Wiener Volksschulen 33,9% Übersichtigkeit, 51% Rechtsichtigkeit und 14,5% Kurzsichtigkeit (FLORSCHÜTZ, s. Kurzsichtigkeit).

POPOV zählt bei 8—10jährigen russischen Arbeiterkindern 23,3% Emmetropen, 57% Hyperopen und 24% Myopen.

Die Verhältnisse in Gymnasien und Realschulen behandeln Aufstellungen von COHN, STRAUB, MIYASHITA. Die Häufigkeit und der Grad der Kurzsichtigkeit steigen von Klasse zu Klasse. ERISMANN (1871) führte in St. Petersburg Untersuchungen ohne Atropin an 4358 Schülern aus mit wichtigen vielbeachteten Ergebnissen; es erwiesen sich 30,2% als kurzsichtig, 26% als emmetropisch und 43,3% als hypermetropisch. Die Verschiebungen in der Verteilung im Lauf der Schuljahre ergibt sich aus folgender Aufstellung:

Klasse	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Myopie . . . . .	13,6	15,8	22,4	30,7	38,4	41,3	42,0	42,8	41,7%
Emmetropie . . . .	18,6	28,0	26,4	27,3	26,4	24,2	25,0	21,0	18,3%
Hyperopie . . . . .	67,8	55,6	50,5	41,3	34,7	34,5	34,2	36,2	40,0%

v. REUSS gibt auf Grund von Messungen mit dem Augenspiegel für Gymnasien in Wien 15,5% Übersichtige, 38% Rechtsichtige und 44,5% Kurzsichtige an; KOPPE fand für das Dorpater Gymnasium 41,5% Übersichtigkeit, 23% Rechtsichtigkeit und 29,5% Kurzsichtigkeit und 6% astigmatische Augen.

Schließlich sei noch als eine wertvolle Darstellung eine Häufigkeitskurve wiedergegeben, die F. WIBAUT nach VAN DER MEERS Zahlen veröffentlicht (Abb. 87).

Eine noch spätere Altersstufe finden wir von COHN untersucht, der über die Breslauer Studenten der Medizin berichtet (1867 und 1881). Vor dem Physikum waren 52% nachher 64% kurzsichtig. H. DERBY stellte bei etwas über 250 amerikanischen Studenten zwischen dem 19. und 24. Lebensjahr 35% Myopie, 49% Emmetropie und 15% Hyperopie fest. Nach 4 Jahren dagegen 47% Myopie, 34% Emmetropie und 18% Hyperopie. GREEN traf an der kalifornischen

Berkley-Universität Myopie über  $\frac{1}{2}$  dptr in 14% der Fälle, Emmetropie in 29% und Hyperopie in 57%.

Den Einfluß der Herkunft einer untersuchten Gruppe aus der einen oder anderen **Bevölkerungsschicht** hat SCHLEICH an einem schönen Beispiel für die Kurzsichtigkeit gezeigt (s. S. 586). Auch WEISS ist ähnliches aufgefallen. Auf die Einzelheiten, die über die Kurzsichtigkeit ermittelt worden sind, wird später (S. 584f.) eingegangen.

L. WEISS (1885) gibt auf Grund einer Untersuchung von über 1000 Schülern eines Mannheimer Gymnasiums und der Vorbereitungsanstalt eine Kurven-darstellung über die Änderung der Durchschnittsrefraktion.

Die **Veränderung der Refraktion** im Einzelfall zu verfolgen hat wohl jeder Augenarzt Gelegenheit gehabt. Gleichwohl sind Mitteilungen darüber recht spärlich. Im Jahre 1886 hat E. ADAMÜCK über planmäßige Ermittlungen dieser Art berichtet. Leider ist mir nur der Auszug im Jahresbericht von MICHEL-NAGEL zugänglich gewesen. ADAMÜCK hat 9 Jahre lang die gleichen Schüler des Kasaner Gymnasiums, rund 300, alljährlich untersucht. Er fand 52,6% Übersichtige, 33% Rechtsichtige und 14% Kurzsichtige. Bei allen drei Refraktionsgruppen gab es im Lauf der Zeit Verschiebungen in der Richtung zur Kurzsichtigkeit und bei dieser zu höheren Graden hin, und zwar bei diesen letzteren in 91% der Fälle, bei den Übersichtigen in 52% und bei den Rechtsichtigen in 32% (OTT, NETOLICZKA, FLORSCHÜTZ, ERISMANN, REICH, HAAB, V. HIPPEL, SCHMIDT-RIMPLER).

Die jährliche Refraktionsabnahme, die Änderung in der Richtung auf die stärkere Kurzsichtigkeit zu<sup>1</sup>, sinkt von 0,5 dptr im zweiten auf 0,1 dptr im vierten Jahrfünft. Auf einer viel breiteren Grundlage ist die wichtige an PRIESTLEY SMITH anschließende Arbeit von BLEGVAD aufgebaut. Die Durchschnittswerte der jährlichen Änderung aus seinen Zahlen sind in der Abb. 99, S. 585 aufgezeichnet. Die jährliche Veränderung ist beträchtlich größer als bei SCHREIBER. Der Grund dafür ist in der Tatsache zu suchen, daß die Unterschiede der Refraktion in der Zeiteinheit um so größer sind, je höher die Kurzsichtigkeit an sich schon ist. Krankhafte Refraktionsänderungen gehören nicht hierher. Man sehe S. 565 f.

Sodann verdanken wir P. SCHREIBER zahlenmäßige Angaben über die Veränderung der Refraktion in verschiedenen Lebensaltern in einer Zusammenstellung, die allerdings hauptsächlich, wenn auch nicht allein, auf die Kurzsichtigkeit hinzielt.

Nach F. ASK beträgt der jährliche Zuwachs an Kurzsichtigkeit, berechnet aus den Zusammenstellungen der schwedischen Schulärzte, im

12.	13.	14.	15.	16.	17.	18. Lebensjahr
0,8	1,7	1,9	3,2	3,5	3,1	2,2 dptr.

Gleichwohl ist die Zunahme nicht streng an diese Jahre gebunden; insbesondere walten bei der hohen Kurzsichtigkeit andere Verhältnisse ob (s. Abb. 99 von O. BLEGVAD und Abb. 100, S. 585). (Siehe ferner HERRNHEISER, SEGEL, SCHULZ, GALLUS.)

Nach dem Hauptlängenwachstum des Körpers bleibt in den meisten Fällen auch die Refraktion für die nächsten Jahrzehnte bestehen. Im **hohen Alter** stellt sich dann vielfach wieder eine Änderung in der Richtung zur Übersichtigkeit ein (s. Abb. 180, S. 678). H. F. DUBOIS hat, diese Frage verfolgend, den Gang der Refraktion an Hand der alle Jahre stattfindenden Refraktionsbestimmung gesunder Leute verfolgt. Die emmetropischen Erwachsenen bleiben während des ganzen Lebens meist Emmetropen, wenige werden übersichtig, im 60. Lebensjahr

<sup>1</sup> Refraktionsabnahme ist im GULLSTRANDschen, dem früher üblichen entgegengesetzt, Sinn zu verstehen.

0,5 dptr erreichend. Die Mehrzahl der übersichtigen Erwachsenen wird ein wenig stärker übersichtig! Von den Übersichtigen mittleren Grades behalten nur wenige ihren Refraktionsgrad unverändert bei, die meisten werden stärker übersichtig. Mit 75 Jahren soll dann der Endzustand erreicht sein. Während DUBOIS und STRAUB hierin einen Ausdruck der Abnahme des Tonus des Ciliarmuskels erblicken, sprechen nach HESS auch Linsenveränderungen mit. Auf diese Altersübersichtigkeit hat schon F. C. DONDERS aufmerksam gemacht. Man sehe sein Bild von der Abhängigkeit der Fern- und Nahpunktstage vom Alter. Eine Darstellung des Ganges der Refraktionsverteilung mit dem Alter hat HERRNHEISER im Bild gegeben (s. Abb. 87).

Übersichtigkeit von 2 und mehr Dioptrien soll nach DRUAULT-TOUFESCO bei Frauen häufiger sein als bei Männern. Die ganz hohen Grade seien bei beiden Geschlechtern gleich verteilt.

Bei schwachsinnigen Kindern sind die mittleren und die hohen Hypermetropien viel zahlreicher vertreten als bei gleichaltrigen vollsinnigen. Bei beiden ist die durchschnittliche Hornhautrefraktion annähernd gleich, so daß H. KURZ, der diese Untersuchungen angestellt hat, auf Kurzbau des Auges bei den schwachsinnigen Hyperopien schließt und im Sinne VOGTS eine zu klein angelegte Netzhaut als ursprünglichen Grund für wahrscheinlich hält.

Über die Refraktionsverhältnisse bei anderen Kulturvölkern liegen zahlreiche Berichte vor, wiederum besonders auf die Untersuchung der Kurzsichtigkeit gestellt. Ihr Vergleichswert ist sehr verschieden. Kurz gesagt finden sich bei Franzosen, Russen, Schweizern (ISSIGONIS), Armeniern, Georgiern (REICH), Ostindien (KRUSIUS), in höheren Schulen ebenfalls hohe Hundertsätze von Kurzsichtigen. Angeblich sind sie bei den Angelsachsen weniger zahlreich (AGNEW, DOWLING). A. S. TENNER vergleicht seine in New Yorker Schulen erhobenen Refraktionsbefunde u. a. auch hinsichtlich der Nationalität der Kinder. Untersuchungen über das Verhältnis zwischen den Juden und ihren Wirtsvölkern beziehen sich meist auf die Kurzsichtigkeit (GALLUS). MIYASHITA zählte in Japan in der Volksschule mehr Hyperopen, in der Medizinschule mehr Myopen.

Bei Naturvölkern wird das Fehlen oder die Seltenheit der Kurzsichtigkeit hervorgehoben. Über fremde Völker berichten u. a. ABELSDORF über Malayen, Kirgisen, Togoneger, PERGENS über Kongoneger, BEHAIM über Maori, WIESER über Sudanneger, KOTELMANN über Kalmücken, Singalesen und Hindu, SEGEL über Feuerländer, FURNARI über Inder und HERRNHEISER über Beduinen u. a., MEYERHOF über Ägypter. Bei Negern ist die hohe Hyperopie häufiger als die Myopie (A. DRUAULT-TOUFESCO).

Die primitiveren Völker scheinen ihre hyperopische Grundrefraktion länger und zäher zu behalten als kultiviertere: so schließt LEKA aus Untersuchungen bei turkotartarischen Völkern, bei denen Kurzsichtigkeit ziemlich gleich verbreitet war.

**Die Refraktion bei Tieren.** Nach SCHLEICH (S. 39) sind Säugetieraugen ebenso wie die Augen der in Luft lebenden Wirbeltiere in der Regel annähernd emmetropisch, häufig mäßig hyperopisch, aber auch, durchaus nicht sehr selten, in geringem Grad myopisch. Bei Haustieren, über die sehr viele Untersuchungen vorliegen, bei Pferden und Rindern, scheint die Hyperopie merkwürdig zurückzutreten. So hat SÖRENSEN bei 400 Pferden hyperopische Augen kaum gesehen, d. h. wenn er Fehler von  $\pm 1,0$  dptr vernachlässigt. 81% waren emmetropisch und 19% myopisch, und zwar bis zu  $5\frac{1}{2}$  dptr. Hiermit stimmen die früheren Untersuchungen von RIGEL überein, der bei 600 Pferden nur 3 hyperopische (+ 1,0 dptr) und 116 myopische (bis zu 9 dptr) zählte. Ähnlich lauten frühere Berichte. Bei Rindern soll der Anteil der Kurzsichtigkeit noch höher sein als bei Pferden (LINDEMANN) (s. auch DUBAR und THIEULIN, CZERWONSKY). Affen sind nach BEHR sehr häufig kurzsichtig.

### C. Der Bau und die Leistungen des Auges.

Die **Größe und Form der Augäpfel** kann sehr verschieden sein. Das ist schon zu vermuten, wenn man die Variation betrachtet, der die oben angegebenen Bestimmungsstücke der bildentwerfenden Teile unterliegen (S. 503 f.), erst recht, wenn man die Längenverschiedenheit der Augennachse kennt. Man sehe dazu die TRONSCHE Kurve (Abb. 92). Die Refraktionen stehen damit in einer gewissen Beziehung (s. u.). Es ist fast selbstverständlich, daß sich diese Verschiedenheit auch im inneren Aufbau der Augen ausdrückt. Am auffallendsten ist das bei der hochgradigen Kurzsichtigkeit der Fall. Im Leben zeigt uns das der Augenspiegel sehr bequem am Augenhintergrund in Gestalt des Conus temporalis in seinen verschiedenen Ausbildungen. Der Conus in anderer Richtung ist bekanntlich gern mit anderen Wandeigentümlichkeiten vergesellschaftet. Er ist nicht selten eine Begleiterscheinung des Astigmatismus, der eben selbst, wenn man will, in einem großen Teil der Fälle als eine Abweichung vom regel-

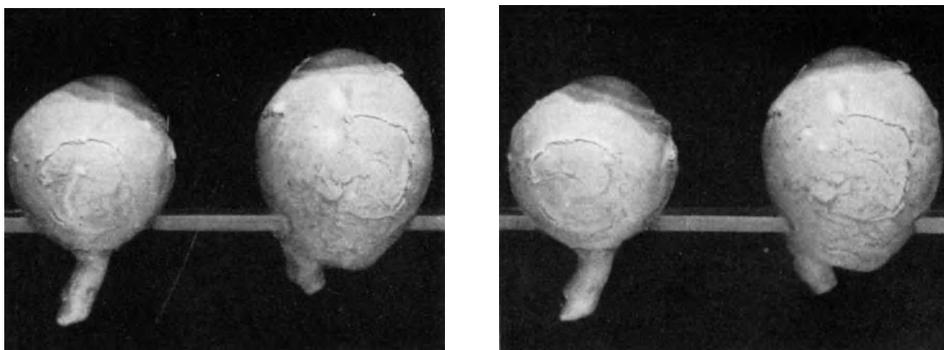


Abb. 89. Der von Jugend auf hochgradig kurzsichtige (20 dptr) und der emmetropische Augapfel einer 36jährigen. Breiter Conus temporalis mit Veränderungen der Maculagegend. Am linken etwas langen Auge ist der Sehnerv fast gestreckt eingepflanzt. Rauminhalt etwa 8 ccm. Das rechte Auge ist walzenförmig. Die Sklera wird schon hinter den Sehnen der geraden Augenmuskeln dünner. Der hintere Pol ist sackartig über den Sehnerveneintritt vorgewölbt, bläulich durchscheinend und hochgradig verdünnt. Der Sehnerv, S-förmig gewunden, sitzt am medialen Rand der verdünnten Sklerastelle (des Staphyloms). Rauminhalt etwa 10 ccm.  
(Stereogramm nach A. ELSCHNIG 4.)

rechten Aufbau der äußeren Augenhäute zu gelten hat. Man wird es verständlich finden, daß sich eine solche Abweichung nicht auf eine einzige Stelle wie die Hornhaut zu beschränken braucht, sondern auch andere Teile betrifft, was für die vorderen Abschnitte der Sklera leicht hat nachgewiesen werden können (s. Astigmatismus S. 659). Andererseits ist es nicht verwunderlich, daß sie auch einmal die bildentwerfenden Teile verschont. Als Beispiele für die beträchtlichen Verschiedenheiten der Form und Größe bei Augäpfeln verschiedener Refraktion mögen die beiden Stereogramme der Abb. 85 b, 89 und 90 dienen. Sie stammen von Erwachsenen. Man sehe auch die weiteren im Abschnitt Myopie und Hyperopie enthaltenen Bilder (Abb. 148, 149—152, S. 608 f.). Dort ist eingehender über die Einzelheiten im Aufbau der Augen gehandelt.

**Beziehungen zwischen der Refraktion und anderen Körpermaßen.** Zwischen der Refraktion und verschiedenen anderen Eigenschaften des Augapfels besteht ein Zusammenhang. So ist die größere Pupillenweite mit Kurzsichtigkeit, die kleinere mit Übersichtigkeit in einem gewissen Grad verbunden. MATSUO konnte keine solche Abhängigkeit finden (s. Kurzsichtigkeit S. 588). Der Abstand zwischen dem blinden Fleck und dem Fixierpunkt wird bei myopischen Augen durchschnittlich kleiner, bei hyperopischen größer gefunden als bei

emmetropischen (LANDOLT, DOBROWOLSKY, BERLING, VAN DER HOEVE, EPPENSTEIN). Die Refraktion ist nicht unabhängig vom Schädelbau. Auch dieser Frage hat man sich von der Myopie aus zugewandt (s. S. 620).

Daß der Abstand der Augen voneinander in Beziehung zur Refraktion steht, darf als anerkannt gelten. Kurzsichtigkeit verbindet sich häufiger mit großen, Übersichtigkeit mit kleinen Abständen, als umgekehrt (v. GRAEFE, MANNHARDT, PFLÜGER, BECKER, SEGGER, H. KOEGEL u. a.).

Welcher Art der Zusammenhang jedoch ist, darüber fehlt uns noch genügende Kenntnis. Unmittelbare gegenseitige Abhängigkeit darf man sicher nicht annehmen, sondern muß gemeinsame, tiefer gegründete, den ganzen Schädelbau bestimmende Einflüsse erwarten. Myopie scheint mit Breitgesichtigkeit, Hyperopie mit Schmalgesichtigkeit verbunden zu sein (KRUSIUS), während HOMER Fälle von ausgesprochen umgekehrter Verbindung beobachtet hat (STREIFF).

Nach den Angaben über den Aufbau des im Auge gebrochenen Bündels wird man sich nicht darüber wundern, daß sich die Refraktion eines Auges nicht unter

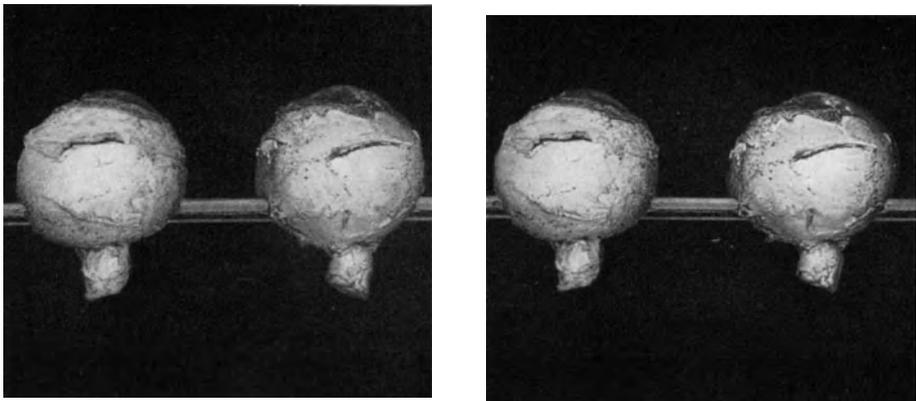


Abb. 90. Das hypermetropische Augapfelpaar einer 36jährigen von oben gesehen. Im aufrechten Bild etwa + 12 dptr. Die Augen sind klein und ihre Vorderkammer ist flach. 20,5 mm Längs-, 22 mm Quer- und Höhendurchmesser. Rauminhalt etwa 5 ccm. Gesamtform kuglig, etwas von hinten abgeplattet. Hornhaut flach. (Stereogramm nach A. ELSCHNIG.)

allen Umständen gleich bleibt, auch wenn man von dem Einfluß der Akkommodation ganz absieht. Wechselt doch die Pupillenweite besonders unter dem Einfluß der Helligkeit der Umgebung in weiten Grenzen. So ist bekannt, daß sich die **Refraktion bei sinkender Tageshelligkeit** merklich (nach WIBAUT um 1,5 dptr) ändern kann, und zwar in der Richtung von der Übersichtigkeit zur Kurzsichtigkeit. Hierbei spielt zweifellos auch die Verschiebung der größten Empfindlichkeit der Netzhaut vom langwelligen nach dem kurzwelligen Spektrumteil hin eine Rolle. Da die brechende Flächenfolge des Auges nicht farbenfehlerfrei ist, so wirkt die Steigerung der Netzhautempfindlichkeit für kurzwellige Strahlen wie ein Farbenfilter, daher wird die für kurzwelliges Licht kürzere Brennweite des Auges maßgebend: ein emmetropisches Auge z. B. wird ein wenig kurzsichtig, ein übersichtiges schwächer übersichtig (s. auch D. OGATA und F. W. WEYMOUTH).

Die **Sehschärfe** hängt u. a. auch von der Refraktion ab. Wegen genauerer Zahlen wird auf die Abschnitte Hyperopie und Myopie verwiesen (s. MÜGGE, VOILOT). Wegen des Lichtsinns s. Myopie S. 629 (J. STILLING u. H. LANDOLT). Zum Farbensinn bei Ametropen berichtet G. LODDONI. Die Refraktion ist auf beiden Augen meist gleich. Doch sind Unterschiede nicht selten (Ungleich-

sichtigkeit, *Anisometropie*), wobei nicht etwa nur Verschiedenheit des Vorzeichens, sondern ebenso Ungleichheit des Refraktionsgrades gemeint sind (s. S. 564). Häufig ist dabei vornehmlich bei Hyperopie Amblyopie des einen Auges zu beobachten. Verschiedenheit der Sehschärfe bei gleicher Art und Höhe der Refraktion möchte LO CASCIO (a) nach Abschätzung mehrerer anderer Möglichkeiten auf verschiedene Augenlängen beziehen.

## D. Die Entstehung der Refraktionen.

### Die Auffassung von A. STEIGER.

In der Lehre von den Refraktionszuständen des Auges hat der Züricher Augenarzt A. STEIGER bahnbrechend gewirkt. Fußend auf einer sehr großen Zahl eigener sorgfältiger Messungen hat er in ungemein scharfsinnigen Auslegungen der Vererbung die ihr in dieser Frage gebührende Stellung wieder zugewiesen und erweitert. Jahrzehntlang war die Aufmerksamkeit der Fachwelt einseitig auf die Ursache allein der Kurzsichtigkeit gerichtet gewesen. Neben einer wahrscheinlich erblichen Disposition hatte man mit wenig Ausnahmen im Sinne der COHNSchen Überlegungen äußere Einwirkungen auf die einzelnen Augen für die Entstehung dieses Übels verantwortlich gemacht. Dagegen sah STEIGER die Kurzsichtigkeit nur als Teilaufgabe in der Frage der gesamten Refraktionszustände und bearbeitete diese von einem höheren, allgemein-naturwissenschaftlichen Standpunkt aus. Fehlten Ansätze dazu bis dahin nicht, so schuf STEIGER seinem Gedanken eine breite Grundlage und verschaffte ihm Geltung. STEIGER faßt die verschiedenen Refraktionen als reine Wachstumsergebnisse auf, wobei die Bestimmungsstücke frei variieren. Die Refraktionen sind ihm keine gegensätzlichen Zustände, keine biologischen Artverschiedenheiten, sondern nur verschiedene, aber gleichberechtigte Glieder einer zusammenhängenden Reihe.

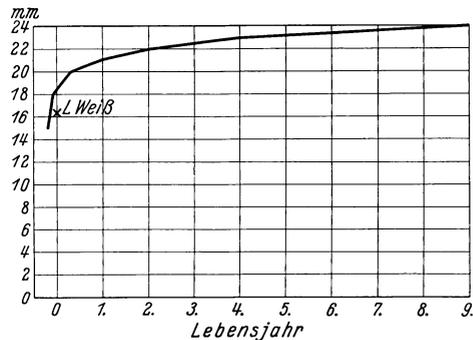


Abb. 91. Längenwachstum des Auges.  
(Aus FAVALOROS Zahlen dargestellt.)

Die verschiedenen sphärischen Refraktionen sind nicht einseitig durch verschiedene Achsenlängen bestimmt, sondern durch die Verbindung einer gewissen Achsenlänge mit einer gewissen Gesamtbrechkraft des Auges. Es können recht verschiedene Augenlängen, wenn sie sich nur mit der geeigneten Brechkraft verbinden, bei gleicher Refraktion vorkommen, z. B. auch bei der Emmetropie.

Die verschiedenen sphärischen Refraktionen sind nicht einseitig durch verschiedene Achsenlängen bestimmt, sondern durch die Verbindung einer gewissen Achsenlänge mit einer gewissen Gesamtbrechkraft des Auges. Es können recht verschiedene Augenlängen, wenn sie sich nur mit der geeigneten Brechkraft verbinden, bei gleicher Refraktion vorkommen, z. B. auch bei der Emmetropie.

Wollte man diese letzte als einen optisch günstigen Zustand und altem Herkommen nach als normal betrachten, so geht es doch nicht an, eine einzige dieser verschiedenen „emmetropischen“ Achsenlängen als normal, die anderen als nicht normal zu bezeichnen, so wenig wie man eine ihrer Brechkräfte vor der anderen herausheben dürfte. Bleiben alle diese Brechkräfte und Augenlängen innerhalb normaler Grenzen, so kann, wenn nun eine von diesen Brechkäften mit einer anderen Augenlänge zusammen eine von Emmetropie verschiedene Einstellung ergibt, folgerichtig diese abweichende Refraktion ebenfalls nicht ohne weiteres als krankhaft bezeichnet werden. Daher darf man nicht jedes übersichtige Auge etwa als Hemmungsbildung und jedes kurzsichtige als krankhaft verlängert hinstellen.

Die Refraktion, in die das Einzelauge nach Abschluß seines Wachstums hineingekommen ist, war schon im Keim festgelegt und mit der Brechkraft, hauptsächlich der Hornhaut, und der Augenlänge gegeben. Diese beiden Bestimmungsstücke sind getrennt vererblich, und die Mannigfaltigkeit der Refraktionszustände, die die verschiedenen Altersklassen einer ganzen Bevölkerung darbietet, ist also der Ausdruck der Variabilität dieser beiden Bestimmungsstücke. STEIGER gelangt bei der Durchsicht der ihm damals vorliegenden Tat-

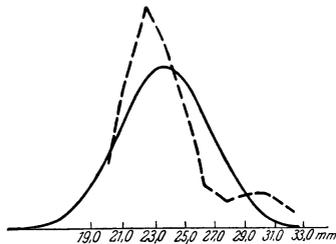


Abb. 92. Häufigkeitskurve der Achsenlänge. (Nach E. TRON, s. S. 503, Abb. 47.)

Inzwischen ist an einer, wenn auch nicht sonderlich großen Zahl (200) von Augen für die meisten anderen Bestandteile der brechenden Flächenfolge dasselbe nachgewiesen worden. Sie sind nämlich mehr oder weniger stark abänderungsfähig, ausgiebig auch die Linsenbrechkraft (E. TRON) Abb. 57), S. 509), und ihre Häufigkeitsverteilung kommt der binomialen Kurve

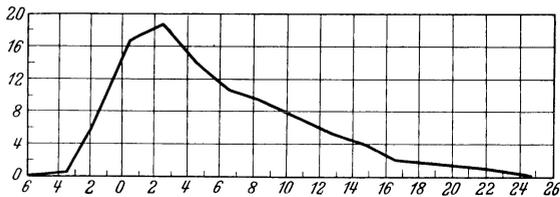


Abb. 93. Die Verteilung der Augen, die „Kurzsichtigkeitsveränderungen“ am Augenhintergrund aufweisen, nach ihrem Refraktionsgrad. (R. SCHEERER.)

wenigstens nahe. Träfe dieses letzte für alle Bestimmungsstücke zu, so könnte auch für die von ihnen abhängige Gesamtrefraktion der symmetrische binomiale Kurvenzug erwartet werden. Nur die Achsenlänge, über deren Abwandlungsform STEIGER keine genügenden Unterlagen zu Gebot standen, deretwegen er auf Annahmen angewiesen war und für die er ebenfalls die binomiale Kurve vermutete, weicht bedeutend davon ab (Abb. 92). Die heute bekannte Verteilungskurve der Gesamtrefraktion ist (J. P. G. VAN DER MEER, R. SCHEERER u. A. BETSCH), was STEIGERs Erfahrung entsprach, nicht symmetrisch, sondern erstreckt sich langsam abfallend viel weiter nach der Seite der Kurzsichtigkeit hin, als nach der entgegengesetzten. Die Gesamtrefraktion variiert nicht frei. Eine überzeugende Erklärung dafür konnte STEIGER nicht geben.

Diese Asymmetrie verschwindet aber, wie E. KRAUPA vermutet und R. SCHEERER und A. BETSCH an ihrer Aufstellung von 12000 Augen gezeigt haben, wenn alle die Augen ausgeschieden werden, deren Hintergrund Kurzsichtigkeitsveränderungen aufwiesen. Die Kurve der Häufigkeitsverteilung dieser ausgeschalteten Augen allein erstreckt sich erklecklich ins Gebiet der Hyperopie hinein, die Hauptmasse der Augen gehört allerdings zur Kurzsichtigkeit (s. Abb. 93). Die hohen Kurzsichtigkeitsgrade fallen weg. Die übrigbleibenden Refraktionen stellen das Ergebnis des natürlichen, wie STEIGER und andere glauben, von äußeren Einflüssen unabhängigen Wachstumsvorganges dar. Auf einem anderen Weg kam E. TRON zu einer ähnlichen Angleichung der

sachen zu der Folgerung, daß die Häufigkeit der verschiedenen Refraktionsgrade innerhalb einer Bevölkerung eigentlich einer symmetrisch verlaufenden Kurve binomialer Eigenschaft entsprechen müsse, wie sie als Ausdruck der Häufigkeitsverteilung anderer körperlicher Merkmale lebender Wesen, etwa der Körperlänge, bekannt ist. Den Beweis dafür, daß wenigstens eines der Bestimmungsstücke der Refraktion, nämlich die Hornhautkrümmung, diese Art der Veränderlichkeit aufweist, hatte er selbst an Hand von 5000 Hornhautmessungen geliefert.

wenigstens nahe. Träfe dieses letzte für alle Bestimmungsstücke zu, so könnte auch für die von ihnen abhängige Gesamtrefraktion der symmetrische binomiale Kurvenzug erwartet werden. Nur die Achsenlänge, über deren Abwandlungsform STEIGER keine genügenden Unterlagen zu Gebot standen, deret-

unsymmetrischen Längenkurve des Auges an die der binomialen Verteilung, nämlich dadurch, daß er Kurzsichtigkeiten über 6 dptr ausschloß.

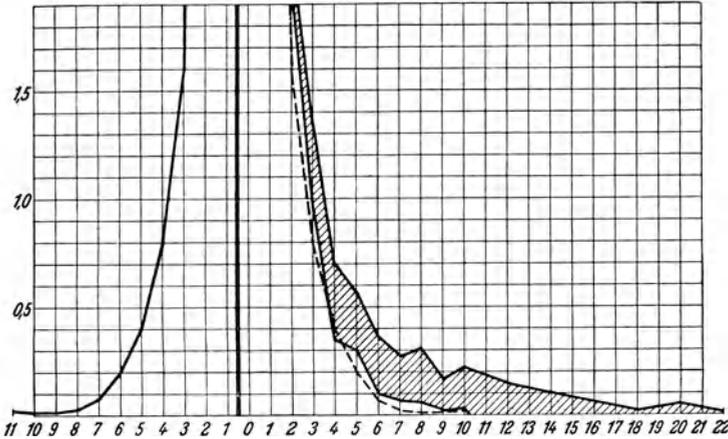


Abb. 94. Nach Ausschaltung der Augen mit Conus (Schraffierung) wird der untere Teil der Refraktionskurve von BETSCH und SCHEERER fast genau symmetrisch zur Senkrechten im Abzissenpunkt + 0,5 dptr. Die gestrichelte Kurve, das Spiegelbild des linken Kurvenschenkels zu dieser Senkrechten, deckt sich fast mit dem neuen rechten. (Nach A. BETSCH.)

Aus den Feststellungen wird geschlossen, daß die Refraktionskurve einer Gesamtbevölkerung zwei Grundlagen hat, nämlich die normale Variationskurve für die Achsenlängen der Augen von + 7 bis - 6 dptr und einer zweiten für die Achsenlängen der hochgradig Kurzsichtigen.

Wie F. WIBAUT bemerkt, ist aber die gereinigte SCHEERERsche Kurve viel schlanker, als einem binomialen Verlauf zükäme. Wenn man nun außerdem, wie es F. WIBAUT getan hat, die Ausschaltung der Akkommodation nachträglich rechnerisch nach J. FALKENBERG und M. STRAUB vornimmt, so wird das Mittelstück der Kurve zwar niedriger und etwas breiter. Es bleiben aber, verglichen mit einer binomialen Einteilungsweise, doch zu viele Emmetropen übrig. In diesem starken positiven Exzeß liegt ein zweiter Hinweis auf eine uneinheitliche Zusammensetzung der auf die Kurve verteilten Augen.

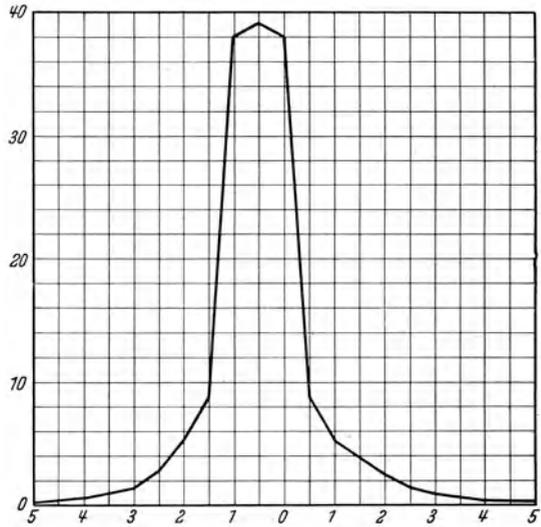


Abb. 95. Die Umwertung der rohen Häufigkeitskurve durch Verteilen des für die Nullvariante gefundenen größten Häufigkeitswertes auf die benachbarten Ordinaten und Interpolation liefert eine recht regelmäßig gebaute Kurve. Links Hyperopie, rechts Myopie. (Nach A. BETSCH.)

Sehr bemerkenswert ist F. WIBAUTs Vergleich mit der oben erwähnten (S. 552) Refraktionskurve der Neugeborenen, die er nach den Mitteilungen von HERRNHEISER, SCHLEICH, HORSTMANN und DE VRIES zusammengestellt hat (s. Abb. 86).

Sie beruht auf der beträchtlichen Zahl von 2400 Augen. Wenn die Untersuchungsergebnisse auch nicht ganz gleichwertig sind, so zeigt die Verteilungsweise doch eine weitgehende Übereinstimmung mit der von WIBAUT dazu berechneten binomialen Kurve. Die Abweichung in der Verteilung der Erwachsenen beweist also, daß während des Wachstums Veränderungen eintreten, die u. a. eine Häufung der Emmetropie zur Folge haben. Eine reine Variationserscheinung dürfte also in der Verteilungskurve der Refraktion Erwachsener nicht vorliegen. Welche Einflüsse aber hier wirken, ist noch nicht geklärt. STRAUB nimmt den Gebrauch des Auges dazu in Anspruch. In der Abweichung vom binomialen Verlauf verrät sich ein Vorgang, den STRAUB Emmetropisation nennt.

**Die Emmetropisation.** Die Tatsache, daß die Neugeborenen fast durchweg hyperopisch sind und sich ihre Refraktion im Laufe des nächsten Jahres in der Richtung auf Emmetropie bzw. Myopie ändert, drängt uns die Frage auf, in was für Ursachen diese Zusammenhänge wurzeln, und was Halt gebietet, wenn die Gegend der Rechtsichtigkeit erreicht ist. Man hat sich nach Besonderheiten im Gebrauch des übersichtigen Kinderauges umgesehen, die mit dem Eintreten in die Rechtsichtigkeit bzw. der Einstellung auf den Arbeitsabstand wegfallen, und ist dadurch auf die Akkommodation hingewiesen worden, die ja im jugendlichen übersichtigen Auge dauernd tätig ist; man nimmt daher an, daß diese andauernde Akkommodation den Reiz für das Längenwachstum abgibt, ein Reiz, der aufhört, wenn mit dem Eintreten der Rechtsichtigkeit nur noch zum Nahsehen akkommodiert wird. Daraus würde allerdings folgen, daß dauernde Naharbeit zwangsmäßig zu weiterem Längenwachstum, zur Kurzsichtigkeit, führt. Dagegen sprechen gewichtige Gründe (s. Kurzsichtigkeit S. 617 f.).

**Die Korrelation.** In den letzten Jahren sind vielversprechende Ansätze gemacht worden, um einen genaueren Einblick in die Refraktionsentstehung zu gewinnen. Man hat, die STEIGERSCHEN Grundlagen festigend und erweiternd, die Variationskurven der einzelnen Abmessungen des Auges bestimmt (s. o.). Man hat dann gesehen, daß mit der Form der Frequenzkurven noch nicht die genügenden Unterlagen gegeben sind, um daraus etwa über die Eigenschaften eines Gebildes Aufschluß zu gewinnen bzw. zu errechnen, das aus verschiedenen in dieser Beziehung bekannten Bestandteilen aufgebaut ist. Man entdeckte die große Bedeutung der **Korrelation** zwischen den Variationen der verschiedenen Abmessungen des Auges. Zur Kenntnis davon haben BARRINGTON und PEARSON, BEST, BOURGEOIS und TSCHERNING, FRIEDE, PEARSON und MOUL, PETER, POWOW, STÄHLI, STRAUB, STREIFF, WAARDENBURG, WESSELY, WIBAUT, ZEEMAN u. a. beigetragen. Sehr wichtige Auskünfte liefert die Untersuchung eineiiger Zwillinge (BECKERSHAUS, HEINONEN, JABLONSKI, LEBENSOHN, MÜNCH, SCHMIDT u. a.)

Wenn man unter der Annahme, daß die drei wichtigsten die Refraktion eines Auges bestimmenden Größen, die Hornhautbrechkraft, die Linsenbrechkraft und die Achsenlänge unabhängig voneinander variierten, die Frequenzkurve der Refraktion berechnet, so erhält man einen breiten flachen Zug (F. WIBAUT, F. BERG). Dagegen gewann BERG eine ganz andere Kurvenform, nachdem er bei seiner Rechnung berücksichtigte, daß zwischen den genannten drei Hauptgliedern, gleiche Streuung vorausgesetzt, eine bestimmte Korrelation bestehe. Die Mittelstücke der so berechneten und der von BETSCH nach tatsächlichen Beobachtungen aufgebauten Kurve sind einander sehr ähnlich. Die Streuung der Refraktionskurve ist kleiner als die Streuung bei einer jeden der ihr zugrunde liegenden drei Bestimmungsstücke. Mit der Erkenntnis der Korrelation läßt sich also die starke Häufung um den Mittelwert der Refraktionskurve erklären. In den Seitenteilen bleibt dabei aber der Unterschied bestehen. Die beobachtete Kurve besitzt einen starken positiven Exzeß.

Dieser Wert sagt aus, daß sich längere Achsen mit schwächerer Brechkraft zu verbinden streben und umgekehrt. Zwischen Hornhaut- und Gesamtrefraktion besteht nach WIBAUT bei Kindern eine positive Korrelation, bei Erwachsenen nicht. Bei diesen wirkt die Achsenlänge der Hornhautrefraktion entgegen, Hornhaut- und Linsenrefraktion verstärken ihren Einfluß, Linse und Achsenlänge arbeiten einander entgegen, die Gesamtrefraktion hat zur Achsenlänge positive Bindung. Nach TRON besteht eine schwache positive Korrelation zwischen dem Hornhautkrümmungshalbmesser und der Achsenlänge. Die Mitteilungen von TRON haben sich einer wesentlichen Verbesserung durch BERG zugänglich erwiesen. BERG teilte denselben Stoff in 5 Gruppen ein, starke, schwache Hyperopie (Grenze bei + 2 dptr), Emmetropie, schwache und starke Myopie (Grenze zwischen diesen beiden letzten bei — 6 dptr). Dann erweist sich die Korrelation zwischen Hornhautkrümmungshalbmesser und Achsenlänge innerhalb der drei mittleren Gruppen als sehr stark, bei hochgradig kurzsichtigen Augen ergibt sich ein nur unbedeutend niedrigerer Koeffizient, bei den stark hyperopischen Augen ist die Korrelation wahrscheinlich bedeutend schwächer als bei den Augen mit geringer Ametropie. Auf Grund seiner Betrachtungen möchte BERG die Augen hinsichtlich ihrer Refraktion in drei biologische Hauptgruppen einteilen. Eine Mittelgruppe der normalen Refraktion mit einigmaßen normaler Frequenzkurve der optischen Konstanten. Die Hyperopiegruppe enthält Augen geringer Länge und schwache Korrelation zwischen Hornhautradius und Achsenlänge. Die Myopiegruppe umfaßt die großen Achsenlängen. Grenzen durch bestimmte Dioptrienzahlen lassen sich nicht angeben, da die Variationsbreiten sich zum Teil überschneiden. Eine Stütze scheint die Einteilung durch die verschiedene Art der Vererbung zu finden. Reizvolle Ausblicke auf die Gebiete des Mikrophthalmus der Mikrocornea, des Megalocornea, dem Makrophthalmus und die Einordnung von Grenzfällen eröffnen die Untersuchungen WAARDENBURGS und BERGS über andere Korrelationen am Auge. (Näheres über Vererbung der Refraktion s. Bd. 1, A. FRANCESCHETTI S. 716 f.) Beziehungen zu bestimmten Konstitutionstypen behauptet STOCKARS.

STEIGER hatte die natürliche Auslese wesentlich zur Erklärung der Kurvenasymmetrie herangezogen. Reicht dies auch nicht zu, so ist nicht zu bestreiten, daß eine Eigenschaft wie die Kurzsichtigkeit gerade bei Naturvölkern der Ausmerzung verfallen muß. Denn die mit Kurzsichtigkeit, zumal mit hochgradiger, Behafteten, werden den mit gutem Fernsehen Ausgestatteten gegenüber im Erlegen der Beute benachteiligt sein und vor allem werden sie den zahlreichen, im freien Leben den Jäger umlauernden Gefahren leichter erliegen als andere. Tatsächlich spricht sich denn auch in den Ergebnissen der Untersuchungen, die bei Naturvölkern vorgenommen werden konnten, so spärlich zuverlässige Messungen bei ihnen auch heute noch sind, das Fehlen hochgradiger Kurzsichtigkeit deutlich aus (WIESER). Mit dem Eintritt eines Volkes in die Kultur dürfte die Kurzsichtigkeit aufhören, ein Merkmal zu sein, das der Ausmerzung unterliegt. Wenn ihm dabei STEIGER darüber hinaus noch die gegenteilige Bewertung als ein der Erhaltung, ja der Bevorzugung würdige Eigenschaft zubilligen will, so wird er keine ungeteilte Zustimmung erfahren. Soviel ist aber sicher, daß die Kurzsichtigkeit unter älteren Kulturvölkern, die gelegentlich nicht weit von kurzsichtigkeitsfreien Naturvölkern leben (Ägypten-Sudan), eine große Häufigkeit zeigt. Ein ähnlicher Unterschied wird für die Refraktionskurve der wildlebenden und der gezähmten oder Haustiere berichtet (PERCIVAL, SÖRENSEN S. 556). Mit der Ausschaltung der Auslese wird die Streuung solcher variierenden Eigenschaften größer. Wenn man nun auch die Wirksamkeit der natürlichen Auslese keineswegs wird leugnen wollen, so geht es doch nicht

an, die Kurzsichtigkeit insgesamt als das Ergebnis reiner Wachstumsvariation hinzustellen. Vielmehr wird ein großer Teil der hochgradigen Kurzsichtigkeit mit ihrer schweren Veränderung am hinteren Augenabschnitt als ein ebenfalls erblicher Bildungsfehler anzusehen sein. Indem sie sich in die Reihe der normalen Wachstumsschwankung eindrängte, brachte sie als ein fremdes Element die Asymmetrie in die Refraktionskurve hinein.

**Neue Einteilungsgrundsätze.** Auf Grund dieser Feststellungen müßte man, um folgerichtig vorzugehen, den Stoff für die Abhandlung der Refraktion in die des natürlichen, regelrechten Wachstums, der Breite des symmetrischen Mittelstückes, der gereinigten Refraktionskurve entsprechend, und in die des abirrenden, übertriebenen oder des gehemmten Längenwachstums gliedern, womit die bösartige oder hochgradige Kurzsichtigkeit und die hohe Hyperopie gesondert wären. Die alte Dreiteilung Emmetropie, Myopie, Hyperopie würde danach wegfallen. Auch die Unterscheidung zwischen Längen- und Brechkraftfehler müßte von diesem Standpunkt aus unterbleiben, wie denn auch tatsächlich die Unterscheidung im Einzelfall sehr schwer fallen muß. Allein die hochgradige Kurzsichtigkeit, die des abirrenden, übertriebenen Wachstums würde an sich die erkennbaren Längenfehler ausmachen, denen kaum eigentliche Brechkraftfehler gegenüberzustellen wären. Doch ist es für einen solchen Versuch noch zu früh. Schon aus optischen Gründen wird man aber nicht um die beiden alten Einteilungen herumkommen. Einerseits sind nun einmal die verschiedenen Refraktionen gegeben und haben ihre optisch bedingten Eigentümlichkeiten für das Sehen, insbesondere auch für die Sehhilfen. Andererseits kommen sowohl Augen vor, die eine höhere Brechkraft haben als andere, wie es auch solche gibt, die eine größere Länge haben als andere, und bei beiden werden natürlich Brillengläser optisch nicht die gleiche Wirkung haben.

## E. Ungleichsichtigkeit (Anisometropie).

Nicht nur der Zustand, daß beide Augen eine Refraktion verschiedenen Vorzeichens besitzen, sondern auch die Verschiedenheit des Grades gehört zur Anisometropie. Schließlich wird auch das Bestehen von Astigmatismus auf einem Auge oder ein verschieden hoher Grad davon hinzugerechnet. Wie die Amblyopie scheint sie bei der Hyperopie häufiger als bei den anderen Refraktionen. VAN DER MEER teilt von seinen Untersuchungen an Mittelschulen folgende Zahlen hierzu mit. 121 Leute hatten beiderseits gleich starke Hyperopie, 73 auf einer Seite Emmetropie, auf der anderen Hyperopie, 18 hatten beiderseits verschieden hohe Hyperopie und 3 auf der einen Seite Myopie und auf der andern Hyperopie. HESS stellte bei Schuluntersuchungen mit der Schattenprobe zur Hälfte Anisometropie fest, GALLUS (c)  $\frac{1}{5}$ . Je nach der Abgrenzung müssen sehr verschiedene Zahlen herauskommen. Die Wahl der Grenze ist schwierig. Ganz genau wird kaum ein Augenpaar übereinstimmen.

Der Unterschied kann angeboren sein; in erster Linie gilt das für einen Teil der Hyperopischen. Oder er kann im Leben entstehen, sei es durch Zurückbleiben eines Auges, sei es durch verschieden starke Ausbildung einer Kurzsichtigkeit. Natürlich können Verletzungen oder Krankheiten zu Ungleichsichtigkeiten führen. Über Hornhautbrechkraft und Scheitellage s. GALLUS (c).

Überschreitet der Unterschied zwischen zwei hyperopischen Augen 2 dp<sub>tr</sub>, so ist fast stets das eine schwachsichtig (amblyopisch). In engem Zusammenhang damit steht das Schielen, und zwar handelt es sich weitaus am häufigsten um Einwärtsschielen (Strabismus convergens). BROEKEMA zählte unter einer großen Anzahl Hyperopischer 159 mit Konvergenz-, 4 mit Divergenzschielen.

Der Glasausgleich macht bei höheren Graden meist Schwierigkeiten beim beid-  
 äugigen Sehen. Doch soll gerade bei Kindern der Vollaussgleich erstrebt werden.

Zu Vererbung und Korrelation s. BLATT, GALLUS, LEBENSOHN, MÄCHLER,  
 STEIGER, WAARDENBURG u. a.

## F. Refraktionsänderungen durch Krankheiten und Verletzungen.

Sieht man von den Refraktionsveränderungen ab, die im Laufe des Lebens  
 auf Grund der dem Einzelaug innewohnenden Entwicklungs- und Wachstums-  
 gesetze vor sich gehen, so bleiben andere, erworbene Veränderungen der Refrak-  
 tion übrig, die auf *Krankheitsvorgängen* beruhen. Je nach der Art der Grund-  
 ursachen bleiben sie bestehen oder gehen vorüber. Es handelt sich dabei um  
 Formveränderung des ganzen Augapfels durch Druck aus der Nachbarschaft,  
 der hauptsächlich eine Längenveränderung zur Folge hat. Oder es treten Ände-  
 rungen der Flächenkrümmung der Hornhaut ein, wobei Schwankungen des  
 Binnendrucks mitwirken (TEN DOESSCHAETE), oder es handelt sich um die mit einer  
 Kegelbildung einhergehende Hornhautverdünnung, den Keratoconus (s. Bd. 4,  
 S. 241). Auch gibt es Krümmungsveränderungen der Linse oder schließlich  
 Änderung des Brechungsindex (Linse mit doppeltem Brennpunkt S. 644),  
 sei es in Alter, sei es durch Verletzungen oder Entzündungen und ihre Folgen  
 oder um die Zuckerkrankheit. Allein auf die letzte soll an dieser Stelle etwas  
 eingegangen werden.

Die **Zuckerkrankheit** kann die Refraktion vorübergehend, sowohl in der Rich-  
 tung nach der Übersichtigkeit (GRANSTRÖM) wie nach der Kurzsichtigkeit ändern  
 (L. ALEXANDER). Sie greift offenbar an der Linse an. Hier liegt die Quelle eines  
 sehr wirksamen Einflusses auf die Refraktion. Die Veränderung in der Linse  
 beim Beginn des Altersstares, insbesondere der Kernverhärtung und -trübung, hat  
 denn auch manchmal sehr starke Kurzsichtigkeit zur Folge. Die Rechnung zeigt,  
 daß eine mäßige Erhöhung der Brechzahl im Linsenkern einen großen Einfluß  
 auf die Refraktion ausübt (s. hierzu auch S. 582).

Wie sich die Abwandlung verschiedener Bestimmungstücke der brechenden  
 Flächenfolge des Auges auf die Refraktion auswirkt, ist für alle veränderlichen  
 Größen nur nach sehr umfangreichen, nicht übersichtlichen Rechnungen zu sagen.  
 Auch wenn man sich auf die Abwandlung der Brechungsindices des Linsen-  
 kerns, der Linsenrinde und des Kammerwassers beschränkt, ist die Aufgabe noch  
 verwickelt genug. Hat man es doch mit drei unabhängigen Veränderlichen zu  
 tun. Bei einer näheren Untersuchung dieser Aufgabe zeigt sich überraschenderer  
 Weise, daß man zu einer einigermaßen durchsichtigen Darlegung gelangen  
 kann, wenn man sich mit den Größenveränderungen bescheidet, die in Wirk-  
 lichkeit zu erwarten sind. Diese Prüfungen, über die an anderer Stelle berichtet  
 werden soll, bestätigen die große Wirksamkeit der Änderung der Brechungs-  
 indices im Linsenkern.

**Verletzungen**, Prellungen bringen nicht selten solche Wirkungen hervor,  
 die auch zum Teil auf dem Wege einer Linsenänderung wirken.

Eine besonders grobe, sehr häufig vorkommende Änderung der Refraktion  
 beruht auf der Entfernung der Linse, die sogleich ausführlicher behandelt  
 werden muß.

In gleicher Linie steht auch die Ausschaltung eines anderen Gliedes der  
 Flächenfolge, nämlich der Hornhautvorderfläche, die beim Tauchen der  
 Schwimmer (A. CONTINO) oder bei der Anwendung der LOHNSTEINSchen  
 Wasserkammer und des Haftglases eintritt.

**Die Aphakie.** Ein Auge kann seine Linse auf verschiedene Weise einbüßen. Am häufigsten wird die Linse durch die Staroperation aus dem Auge entfernt, wenn sie trüb ist. Die klare Linse kann gelegentlich bei Verletzungen verloren gehen; sie wird aus dem Auge herausgeschleudert, wenn der Augapfel bei schweren Prellungen oder Quetschungen (Kuhhornstoß) birst.

Sie wird ferner nach FUKALA durch Operation entfernt mit der Absicht, eine hochgradige Kurzsichtigkeit zu vermindern oder ganz zu beseitigen (s. Myopie, S. 630). Der wirklichen Linsenlosigkeit kommen die Zustände nach Verschiebung der Linse aus dem Pupillengebiet in optischer Beziehung gleich.

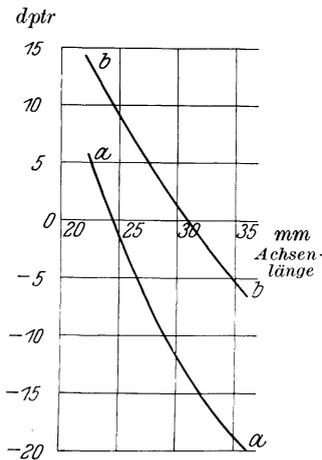


Abb. 96. Der Zusammenhang zwischen der Achsenlänge und dem zugehörigen Hauptpunktsbrechwert des Vollauges (aa) und zwischen der Achsenlänge und dem Scheitelbrechwert des Glases, das die Refraktion des linsenlosen Auges ausgleicht (bb). (Nach M. v. ROHR.)

Fehlt die Linse im Gebiet der wirksamen Öffnung der Flächenfolge, so ist die *Brechkraft des Auges* auf die der Hornhaut beschränkt und um rund  $\frac{1}{3}$  vermindert. Im schematischen Auge GULLSTRANDS beträgt die Brechkraft dann noch 43,05 dptr (S. 511). Die Hauptpunkte H und H' des linsenlosen Auges liegen in dem Abstand — 0,0496 bzw. — 0,0506 mm vom vorderen Hornhautscheitel. Die Brennweite beträgt 23,23 mm in Luft und 31,032 mm im Glaskörper. Daher liegt der dingseitige Brennpunkt etwas über 23 mm vor dem Hornhautscheitel, also wesentlich ferner als beim Vollauge.

Die Folge ist eine starke *Refraktionsänderung* in der Richtung von der Myopie zur Hyperopie hin. Das ROHRsche Bild (Abb. 96) macht den Zusammenhang zwischen der Refraktion des linsenlosen Auges und seiner Refraktion vor dem Linsenverlust anschaulich. Die Linie a a stellt die Abhängigkeit der Achsenlänge und des Hauptpunktsbrechwertes, die Linie b b den Ausgleichswert der Refraktion nach der Linsenentfernung dar. Der Abstand, um den diese Linie höher liegt als a a, bedeutet den Betrag der Refraktionsänderung durch den

Verlust der Linse. Ihre Brechkraft ist hier unveränderlich angenommen. Die Refraktionsverschiebung jedoch fällt ungleich aus je nach der Refraktion des vorliegenden Auges und steigt, je weiter man von der Hyperopie ins Gebiet der Myopie hinübergeht: der Kurvenabstand nimmt von links nach rechts zu. Bei Hyperopie von 6 dptr bedingt die Entfernung der Linse eine Erhöhung um 8 dptr, bei der hohen Kurzsichtigkeit von 20,0 dptr (Hauptpunktsbrechwert!) macht der Unterschied 13 dptr aus. Ein 24 mm langes, emmetropisches Auge würde nach dieser Darstellung durch den Eingriff um 10 dptr hyperopisch. Nach der augenärztlichen Erfahrung hat man mit 10—12 dptr zu rechnen. EHMANN zählte unter 1171 Staroperierten der Tübinger Klinik Übersichtige

	unter 10 dptr	von 10 bis 12 dptr	über 12 dptr
im 1.—3. Lebensjahrzehnt . . .	18,4%	63,2%	18,4%
„ 4.—6. „ . . .	11,5%	81,0%	7,5%
„ 7.—9. „ . . .	11,6%	81,7%	6,7%
Durchschnittlich . . . . .	12,0%	80,0%	8,0%

Die Nulllinie der Refraktion schneidet die Kurve b b bei der Augenslänge 31 mm. D. h. ein linsenloses Auge dieser Länge wäre gerade emmetropisch. Ein Vollauge dieser Länge jedoch besäße 13 dptr Kurzsichtigkeit. Die Ent-

fernung der klaren Linse aus einem solchen Auge würde also seine Kurzsichtigkeit in Emmetropie verwandeln. Das ist das Ziel der FUKALASchen Operation. Die Erfahrung lehrt indessen, daß man meist höhere Kurzsichtigkeit zur Operation zu wählen hat, wenn man Emmetropie erzielen will. Das hängt mit den Variationen der Augenmaße zusammen, von denen für die Darstellung eben eine bestimmte Größe, die des schematischen Auges von GULLSTRAND, gewählt worden ist. Bei anderen Annahmen über die Brechkraft der Linse würde man auch zu anderen Werten geführt. In früheren Jahren, als man die Brechkraft der Linse dem HELMHOLTZischen schematischen Auge entnahm, hatten sich größere Widersprüche zwischen der Rechnung und der Beobachtung herausgestellt.

Der Vergleich der Refraktion eines Auges vor und nach der Linsenentfernung ist übrigens einer der Wege, um die Brechkraft der Linse kennenzulernen (BJERKE).

Wir sahen von den Änderungen der Flächenkrümmung durch die Narben der Hornhautwunde, die in der Regel Astigmatismus bedingen, ab und betrachteten nur den reinen Verlust der Linsenbrechkraft, setzten also Verhältnisse voraus, wie sie ganz einwandfrei in Wirklichkeit nur in den seltenen Fällen nach der selbsttätigen Aufsaugung des Linseninhalts im Augapfel selbst oder ziemlich genau bei manchen besonderen Verletzungen gegeben sind. Zu der erwähnten Refraktionsänderung kommt meistens noch eine Verschlechterung der Abbildung durch einen neuauftretenden oder durch die Vermehrung, seltener eine Verbesserung durch eine Verminderung des bestehenden Astigmatismus, hinzu. Doch gehören diese Erscheinungen nicht eigentlich zum Wesen der Aphakie.

Das *Sehen* der Aphakischen ist also zunächst grundsätzlich durch die Refraktionsänderung gekennzeichnet. Es kann daher undeutlicher oder auch deutlicher werden als vorher. Die Änderung der Brechkraft bedingt natürlich eine *Änderung der Bildgröße*. Für ferne Dinge ist sie proportional der Brennweite der Linsenfolge. Demnach wäre das Bild ferner Dinge im linsenlosen Auge 58,64 : 43,05, das ist etwa 1,3mal so groß als im Vollauge. Dieser Vergleich geht aber an den in der Wirklichkeit in Betracht kommenden Verhältnissen vorbei. Man sollte nur deutliche Netzhautbilder miteinander vergleichen, d. h. aber, man hat die jeweils mit ihrem Fernbrillenglas versehenen Augen miteinander zu vergleichen. Der Einfachheit halber durfte zunächst einmal angenommen werden, daß die dünnen Brillengläser im vorderen Augenbrennpunkt des Auges säßen. Dann behielte der eben genannte Wert Geltung. In Wirklichkeit werden Gläser aber näher am Auge angebracht, sowohl beim Vollauge wie erst recht beim linsenlosen. Dann ist das Netzhautbild kurzsichtiger (übersichtiger) Augen größer (kleiner) als im vorigen Fall. Bei einem Hauptpunktsabstand von 12,05 mm steigt die Netzhautbildgröße durch den Linsenverlust auf das 1,17-, 1,23-, 1,29-, 1,36-, 1,44fache, wenn das ausgleichende Glas + 15, + 10, + 5, ± 0, — 5 dptr stark ist und das Vollauge + 7,76, — 0,25, — 7,19, — 13,16, — 18,40 dptr Hauptpunktsbrechwert besessen hat. Hier ist die Netzhautbildgröße des linsenlosen mit der eines emmetropischen Vollauges verglichen worden. Würde man nach dem oben Gesagten den Vergleich mit dem Netzhautbild des jeweils in der üblichen Weise versorgten ametropischen Vollauges durchführen, so würde sich der Gewinn im Gebiet der Hyperopie etwas günstiger, im Gebiet der Myopie etwas ungünstiger stellen.

E. BJERKE hat den Vergleich auf einem anderen Wege sehr anschaulich durchgeführt. Er wählt einen Strahl, der im Auge durch den optischen Mittelpunkt der Linse fährt, daher die gleiche Richtung innehält, ob die Linse an

ihrem Ort steht oder gänzlich fehlt. Der Unterschied im Strahlenverlauf zwischen den beiden Fällen wird allein durch das ausgleichende Brillenglas eingeführt.

In jedem Falle ist mit der Entfernung der Linse die Bedingung erfüllt für eine *Steigerung der Sehschärfe* um Beträge, die mit der Achsenverlängerung des Auges wachsen.

In vielen Fällen wird die zu errechnende Steigerung der Sehschärfe in Wirklichkeit nicht erreicht. Einmal können Trübungen Kapsel- oder Linsenreste und Nachstarbildungen stören. Sodann sind die Änderungen der Flächenform infolge des Narbenzuges gelegentlich von Nachteil, indem dadurch Abweichungen vom regelmäßigen Büschelaufbau verursacht werden. Nicht immer ist dieser postoperative Astigmatismus durch die zylindrischen oder torischen Brillengläser wirklich auszugleichen. Dazu kommt, daß die Operation oft genug nicht ohne Formveränderung und Verlagerung der Pupille abläuft. Dadurch allein können ungünstige Flächengebiete in die wirksame Öffnung aufgenommen und bessere gleichzeitig ausgeschlossen werden. Ohne allen Zweifel ist es aus diesem Grund von großem Vorteil, wo es angeht, auf die ganze Iridektomie bei der Staroperation zu verzichten, sie durch einen vom Oberlid bedeckten Ausschnitt aus dem Irisgebiet zu ersetzen und die runde Pupille zu erhalten. Im Kindesalter droht einem linsenlosen Auge neben dem guten Vollauge Schwachsichtigkeit (SULER).

Da die meisten linsenlosen Augen stark übersichtig sind und Gläser von 10—12 dptr brauchen, so ist das Sehen der Linsenlosen stark durch die Besonderheiten der Glaswirkung bestimmt. Abgesehen von der schon erwähnten Steigerung der Bildgröße machen sich die veränderten Blickrichtungen höchst eindrucksvoll bemerkbar: die Blickwinkel sind größer. Dazu kommt die Verzeichnung, die bei den üblichen Linsen nicht zu vermeiden ist. Wegen der weitgehenden Auswirkung für die Raumdeutung und im beidäugigen Sehen für die Raumwahrnehmung ist auf Einzelarbeiten und S. 804 u. 822 zu verweisen. Vorzeitig bringt bei jüngeren Leuten der Verlust der Linse auch die *Unfähigkeit zu akkommodieren*. Doch finden sich Linsenlose genug, die mit der Fernbrille auch in mehr oder weniger kurzem Abstand deutlich sehen. Nicht immer ist dabei eine enge Pupille oder eine enge Öffnung in einem Nachstar vorhanden, durch die sich die Abbildungstiefe hätte vergrößern können. Zum Teil dürfte diese Fähigkeit des Nahsehens mit der Wirkung der alten gleichseitigen Gläser zu erklären sein, da sie in ihren Seitenteilen bei schrägem Strahlendurchgang einen höheren Brechwert ergeben als in der Achsenrichtung und eine astigmatische Wirkung, die dort fehlt, oder eine andere als dort. Durch diese Glaswirkung kann eine Naheinstellung geschehen und fälschlicherweise als Leistung des Auges aufgefaßt werden. Doch bleiben immer noch Fälle übrig, bei denen offenbar auch ohne die bisher genannten Hilfen und in der Achsenrichtung des Glases deutlich in die Nähe gesehen wird. Man hat bei ihnen Eigentümlichkeiten im Aufbau des im Auge gebrochenen Bündels anzunehmen, die in Aberrationen bestehen oder in einem Astigmatismus, sei er durch die Hornhautform, sei er durch die exzentrische Pupillenlage oder durch eine Entstellung der Pupillenform bedingt. KRÖNER hat denn auch gefunden, daß die Fähigkeit des Sehens auf verschiedene Entfernung bei stark astigmatischen aphakischen Augen am ausgiebigsten angetroffen wird, während die nicht „akkommodierenden“ Augen meist davon frei sind.

Man hat sich übrigens ohne Erfolg sehr um den Nachweis eines die Akkommodation bewirkenden Vorgangs im aphakischen Auge bemüht und dabei eine Krümmungsänderung der Hornhaut durch den Ciliarmuskel oder durch den Druck der äußeren Augenmuskeln erkennen wollen. Nach ändern sollte dieser eine Verlängerung des Augapfels bewirken.

Es darf aber schließlich nicht versäumt werden, auf die Schwierigkeiten hinzuweisen, die mit dem Nachweis einer bestimmten Naheinstellung verbunden sind, zumal wenn er in der Sprechstunde geführt werden soll. Die allermeisten der dazu verwendeten Leseproben für die Nähe stellen zu geringe Anforderungen und können, weil sie nicht fein genug sind, noch mit nicht unbeträchtlichen Einstellungsfehlern entziffert werden. Nicht als Scheinakkommodation darf natürlich die Einstellung für die Nähe gerechnet werden, die sich Starglästräger als hohe Hyperopen dadurch zu verschaffen wissen, daß sie ihre Fernbrille vom Auge weg gegen den nahen Gegenstand vorschieben.

Eine für alle Träger stärkerer Brillengläser gemeinsame Erscheinung wird beim Starglasgebrauch besonders deutlich, nämlich die Farbsäume an der Grenze weißer und schwarzer Flächen in den Blickfeldseitenteilen (Näheres (s. Brillenlehre S. 810 f.)). Nur eben erwähnt sei, daß Linsenlose nach längerem Aufenthalt in großer Helligkeit zu Rotsehen neigen.

Zur *Feststellung der Linsenlosigkeit* kann die Refraktionsbestimmung einer hohen Hyperopie nicht mehr beitragen als den Verdacht. Der Beweis ist heute durch die Spaltlampe einfach geworden, in deren Licht bei mikroskopischer Beobachtung die Linse sicher erkannt wird. Einen sicheren Schluß auf das Fehlen der Linse an ihrem natürlichen Ort erlaubt das Fehlen des von der hinteren hohlen Linsenfläche normalerweise gelieferten umgekehrten PURKINJE'schen Spiegelbildchens. Ein Hinweis kann eine auffallend schwarze Pupille sein, wenn der regelrechte oder im Alter der verstärkte Linsenreflex in der Pupille vermißt wird und schließlich auch das Irisschlottern und die tiefe Vorderkammer.

Eine besondere *Behandlung der Aphakie* gibt es nicht. Man hat sich auf den Ausgleich der Refraktion durch die Brille zu beschränken. Die einseitige Aphakie bei regelrechtem zweitem Auge läßt sich i. a. mit gewöhnlichen Gläsern nicht versorgen. Abgesehen von der Verschiedenheit der Netzbildgröße in beiden Augen bereiten die durch das einseitige Brillenglas eingeführten Unterschiede der Blickhubwinkel unüberwindliche Schwierigkeiten für das beidäugige Sehen (KUGEL, LANDWEHR, ERGGELET). Sie werden durch die Anisometropiebrille VON ROHR'S ausgeglichen. Auch das Haftglas verspricht in dieser Hinsicht viel.

#### IV. Die Übersichtigkeit (Hyperopie).

Die physikalisch-optischen Grundlagen für die hyperopische Einstellung des Auges können gegeben sein a) durch die Kürze des Augapfels oder b) durch niedrige Brechkraft seiner Flächenfolge. Ausgehend von einem schematischen Auge können wir uns die Abnahme der Brechkraft auf verschiedenem Wege herbeigeführt denken, nämlich 1. durch geeignete Änderung der Flächenkrümmung, 2. der Brechungsindices, 3. der Flächenabstände und 4. durch die Beseitigung der Linse aus dem Pupillengebiet.

Die Krümmungsänderung kann bestehen a) in einer Verminderung der Krümmung der vorderen Hornhaut- oder der beiden Linsenflächen, b) in einer Krümmungszunahme der hinteren Hornhautfläche.

Eine Verkleinerung des Brechungsindex im Kammerwasser und im Linsenkern wird im gleichen Sinne wirken wie eine Erhöhung in der Linsenrinde oder im Glaskörper.

Als Abstandsänderung wird für gewöhnlich nur die Verlagerung der Linse nach hinten vorkommen.

Über die optischen Folgen der Beseitigung der Linse aus dem Strahlengang ist in einem besonderen Abschnitt gesprochen worden (s. S. 565 f.).

## A. Die Wachstumshyperopie.

### 1. Das Vorkommen der Wachstumshyperopie.

Hierfür ist zunächst auf den allgemeinen Abschnitt über die Refraktionen hinzuweisen (s. S. 549 f.). Bildet sich die Kurzsichtigkeit mit wenig Ausnahmen erst im Laufe des Lebens heraus, so ist die Übersichtigkeit ein **angeborener Zustand**, der jedenfalls nicht wächst, sondern, wenn er sich überhaupt ändert, an Stärke abnimmt. Hyperopie ist also beim Neugeborenen die Regel. Grad und Häufigkeit nehmen meist in den nächsten Jahren ab. Ein großer Teil bleibt früher oder später auf der einmal erreichten Stufe stehen, manche nach STRAUB auf dem Säuglingszustand. Vielfach in späteren Lebensjahren zum Vorschein kommende Hypermetropie hat auch wohl früher schon bestanden, ist aber keiner oder keiner genügend scharfen Prüfung unterworfen gewesen und deshalb nicht bekannt geworden (STRAUB und KOUVENHOVEN). Erst im höheren Alter, jenseits des 60. Jahres, finden sich wirklich auf einer Änderung der brechenden Folge beruhende Hyperopien vor, die aber meist nur Bruchteile einer Dioptrie ausmachen. GULLSTRAND bezieht sie auf die enge Pupille des Alters.

Bei Erwachsenen ist die **Stärke** von 3 dptr schon als eine beträchtliche Höhe anzusehen, Augen mit 5 dptr sind schon spärlicher und solche von 6, 7 und mehr dptr ziemlich selten. TH. LEBER hat unter 80 000 Leuten nur 16mal Übersichtigkeit zwischen 8 und 16 dptr gefunden (GUTZET). Doch sind auch noch höhere Werte bei Augen ohne andere Störungen bekannt. LEBER führt eine Anzahl fremder Beobachtungen dieser Art an, die bis zu 20 dptr (OSTERROTH, W. SCHÖN [Michel-Nagels Jber. 26, 442 (1895) bei SEABROOK], 24 dptr (BORMANN-DONDERS, GELLZUHN), ja 27 dptr (FERGUSON) erreichen. Bei einem 6jährigen hat CLAUSEN +17 bzw. +18 dptr festgestellt. Vier Jahre später ergab die Schattenprobe noch dasselbe, wie auch wiederum nur +15 dptr als Glas angenommen wurde, Sehschärfe  $\frac{5}{15}$ . Beiderseits kleiner Augapfel. Krümmungshalbmesser der Hornhaut 6,8 mm; Scheibendurchmesser 10,5 mm. Keine Pseudoneuritis. R. KRÄMER fand bei einem 24jährigen mit der Schattenprobe +22 dptr. Beide Augen gleich. Krümmungshalbmesser der Hornhaut 7,3 mm; Scheibendurchmesser 10,5 mm. Die Linse schien normal. Man sehe auch A. O. PFINGST, LAFON und BONNET (+14 dptr), M. BLACK, N. B. HARMAN (+18,5, +0,5 cyl.; 6,9 mm bzw. 11 mm) u. a.

Der Verfasser hat mit der Schattenprobe in Atropinmydriasis bei einem 12jährigen +14 dptr ohne merklichen Astigmatismus gefunden, dessen eines Auge keine Veränderung aufwies, dessen anderes Auge nur einen kleinen, waagrechten, länglichen, gelb-weißlichen Aderhautausfall (2—3 Papillendurchmesser nasenwärts vom Sehnerven) zeigte. Eine Stärkengrenze zwischen den Hypermetropien, die als reine Wachstumsvariationen gelten dürfen, und den Hemmungsmaßbildungen mit ihrer stärksten Ausbildung im Mikrophthalmus gibt es nicht. Man hat als Hinweis auf diese letzte Art der Hypermetropie vor allem die begleitenden Maßbildungen, Kolobome und andere Fehler zu suchen. Bemerkenswert ist die Tatsache, daß unter schwachsinnigen Kindern die mittleren und hohen Hyperopien viel zahlreicher vertreten sind als unter gleichaltrigen vollsinnigen (KURZ); man hat daraus auf einen Kurzbau mit wahrscheinlich zu klein angelegter Netzhaut geschlossen.

Wegen des Zusammenhanges zwischen der Hypermetropie und der Pupillenweite bzw. dem Augenabstand ist auf S. 557 zu verweisen. Für die Beziehung zum Schädelbau sind die Angaben SCHERENBERGS, GRUNERTS sehr bemerkenswert, daß überaus kleine übersichtige Augen in einer ganz geräumigen „anscheinend normal großen“ Höhle angetroffen worden, so daß der Finger zwischen Augapfel und Knochenwand tief eindringen konnte. Der  $\sphericalangle$   $\gamma$  i. a. groß.

Daß die Vererbung für die Entstehung der Hyperopie eine sehr große Rolle spielt, braucht nach dem Vorgesagten nicht erwähnt zu werden.

## 2. Der klinische Befund und der Bau des hypermetropischen Auges.

Handelt es sich um niedrige Grade von Hyperopie, so brauchen sie nichts Ungewöhnliches darzubieten, so wenig wie schwach Kurzsichtige. Betrachtet man die höheren Grade, dann stellen sich wiederum wie bei Kurzsichtigen

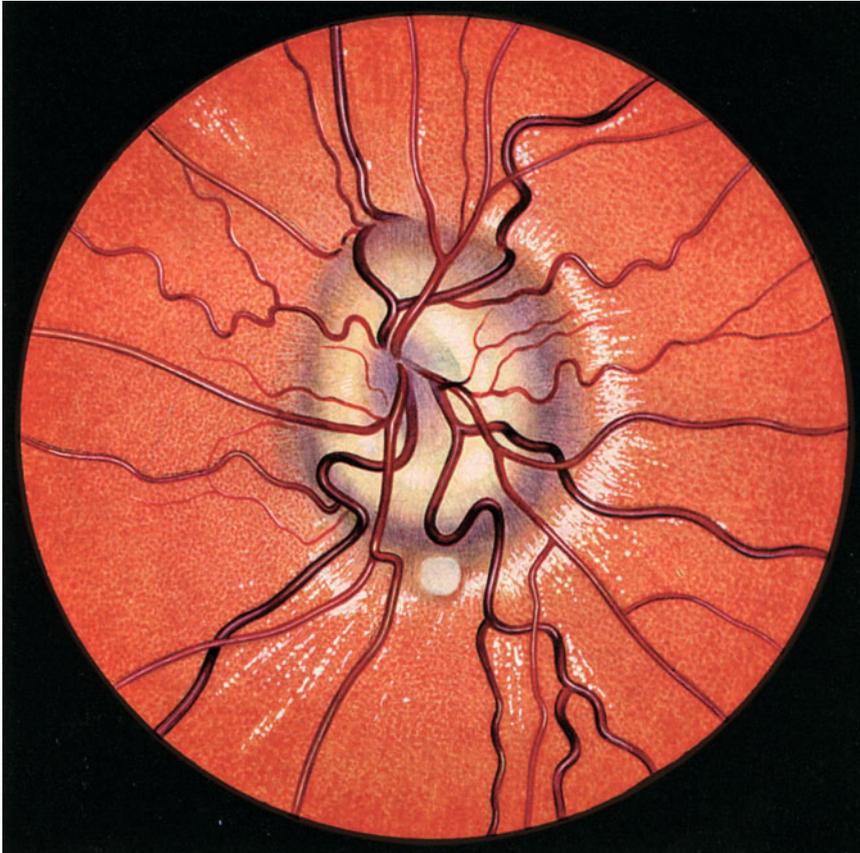


Abb. 97. Pseudoneuritis bei einem 8jährigen mit 8 dptr Hyperopie und Amblyopie.

auch bei Übersichtigen Besonderheiten ein, die auf die Refraktion hinweisen. Prägen sich jedoch im Befund des kurzsichtigen Auges die Abweichungen vom regelrechten Zustand, besonders im hinteren Augenabschnitt, aus, so fallen beim Übersichtigen eher Eigenheiten im vorderen Abschnitt, auf. Nicht selten sieht man bei der Untersuchung, daß die Augäpfel ganz klein sind, häufiger gerade die Hornhaut. Die Hornhautkrümmung braucht nicht nennenswert aus dem Bereich der Schwankungsbreite herauszufallen. Bei höherer Hyperopie ist sie öfters astigmatisch. Nur gelegentlich hören wir von außerordentlich flacher Hornhaut (*Cornea plana*, E. RÜBEL). Gerade bei hochgradiger Hyperopie sind aber mehrfach ungewöhnlich kleine Krümmungshalbmesser festgestellt worden, was als ein Übergang zum Mikrophthalmus zu deuten ist. Die vordere

Augenkammer ist enger als bei nicht Übersichtigen (PLANTENGA, ZEEMAN), denn die Linsendicke ist nicht geringer, sondern scheint nach den Untersuchungen von RAEDER eher etwas größer als bei Emmetropen (GALLATI). Auch soll die dauernde akkommodative Wölbungsvermehrung dabei mitsprechen (?).

Daß sich die Refraktion beim Heranwachsen des Säuglings und des Kindes ändert, ist, wie erwähnt, einwandfrei nachgewiesen, und man wird diese Tatsache meist leicht verständlich finden. Doch bleibt der mit dem Ende des Längenwachstums des Körpers erreichte Zustand nun nicht unverändert. Vielmehr stellt sich im 5.—6. Jahrzehnt eine Verschiebung der Einstellung meist in der Richtung zur Übersichtigkeit ein. Das hat schon F. C. DONDERS ermittelt. In Verbindung mit der Akkommodationsbreite hat er die Änderung der Refraktion im Laufe des Lebens in Abb. 180, S. 678, dargestellt und verbessert durch E. LANDOLT bekanntgeben lassen (S. 678). Neuerdings hebt E. LANDOLT hervor, daß auch das Gegenteil, die Verschiebung der Einstellung zur Kurzsichtigkeit hin, erfolgen kann. STRAUB und FALKENBERG sind der Ansicht, daß eine mäßige Übersichtigkeit (1,5—2 dptr) in den ersten Lebensjahren bald erreicht sei und sich während des ganzen Lebens halte, verdeckt durch den Tonus des Ciliarmuskels, um mit dessen Nachlassen im Greisenalter wieder bemerkbar zu werden. Daß ein gewisser Tonus mindestens bei einem Teil der Augen, insbesondere den Übersichtigen und in der Jugend, besteht, das zeigten auch dem Verfasser gelegentliche Beobachtungen an übersichtigen Kindern mit postdiphtherischer Akkommodationslähmung, auch bei Leuten in den 20er Jahren nach Atropinwirkung. Auf der anderen Seite aber kann man häufig genug bei Atropinuntersuchung Erwachsener, bei 30—40jährigen Emmetropen, die erwartete Übersichtigkeit vermissen. Es kann sich also um eine Eigentümlichkeit der Hyperopen handeln.

Die Linsenform ist offenbar auch hierbei beteiligt, und zwar bei der Refraktionsänderung sowohl der Neugeborenen wie der alten Leute. Die Hornhautkrümmung nimmt mit dem ersten Wachstum zwar ab, jedoch nur um etwa 4—5 dptr. Sie ist also nicht imstand, die Einstellungsänderung auszugleichen, die durch das viel stärkere Längenwachstum hervorgerufen würde. Daher muß mit einer Abnahme der Linsenbrechkraft gerechnet werden. Diese Abnahme ist sicher sehr beträchtlich, denn die Linsenbrechkraft muß zur Zeit der Geburt erheblich größer sein als später, weil das kurze Neugeborenenauge sonst eine viel höhere Übersichtigkeit aufwiese, als sie tatsächlich vorliegt. Es müßte 25—30 dptr besitzen (HESS). Der Krümmungshalbmesser der Linse des Neugeborenen ist nach MERKEL und ORR nur 3,3 mm bei 5,1 mm Dicke. Nimmt man eine gleichmäßige und niedrige Brechzahl an,  $n = 1,386$ , also einen sehr niedrigen Wert, so käme einer solchen Neugeborenenlinse eine Brechkraft von rund 30 dptr zu, bei  $n = 1,406$  eine solche von rund 40 dptr. Hier liegen also zum Ausgleich nicht unbeträchtlicher Abweichungen anderer Bestimmungsstücke der Gesamtbrechkraft und der Einstellung außerordentlich wirksame Mittel vor, die man früher erheblich unterschätzt hat.

Als Ursache der mit dem Alter eintretenden Hypermetropie spricht I. MARKBREITER das Verschwinden eines Teiles der Schichtung der Linse um den Kern herum an. Die so entstehende homogene Schale bedinge der Rechnung nach eine Abnahme der Gesamtbrechkraft.

**Pseudoneuritis.** Eigentümlichkeiten des Augenhintergrundes fehlen dem hyperopischen Auge keineswegs, wenn sie auch weniger häufig und meist nicht so eindrucksvoll zu sein scheinen wie die des kurzsichtigen Auges. In erster Linie handelt es sich um den Sehnervenaustritt selbst. Von einer leichten Unschärfe der Grenze und Rötung der Scheibe oder einem gegen den Glaskörperraum zu aufgeworfenen Bogen eines Gefäßastes an führt eine stetige Steigerung der Abweichungen zu dem Bild, das gelegentlich auch für den

Kundigen nur mit Mühe, manchmal erst auf Grund einer mehr oder weniger langen Beobachtung, von der echten Neuritis oder gar der Stauungspapille zu unterscheiden ist. Die Grenzen sind ringsum verstrichen. Der Sehnerv erscheint verbreitert. Das Gewebe ist gelegentlich da und dort etwas gestreift. Gefäße sind manchmal auf eine kurze Strecke hin verdeckt. Der Sehnervenaustritt stellt wirklich eine Papille dar. Man mißt 1, 2, ja 3 dptr Unterschied zwischen Grund und Höhe. Die Gefäßversorgung ist reichlich. Die Netzhautgefäße sind stark geschlängelt und kräftig gefüllt. Die Beteiligung der Arterien mahnt nicht selten zu einer ruhigen Auffassung des ernst erscheinenden Bildes. Natürlich fehlen bei der *Pseudoneuritis* Blutungen, weiße Fleckchen und Fältelungen der umgebenden Netzhaut (s. Abb. 97, S. 571). Dann und wann fällt die Größe des Gefäßbaums der Netzhaut auf, der kräftige Äste bis weit in die Seitenteile des Hintergrundes schickt. Die Gefäße sind zahlreich und stark gewunden, als ob sie für ein geräumigeres Auge bestimmt gewesen wären, ganz im Gegensatz zu einem hochgradig kurzsichtigen Auge mit seinen gestreckten dünnen Netzhautgefäßen. Eine Abhängigkeit dieser Bildungsseigenheiten von der Höhe der Hyperopie soll nicht bestehen.

**Der anatomische Befund.** Die Gesamtform braucht von dem regelrechten Auge nicht abzuweichen, niedrige Grade der Hypermetropie vorausgesetzt. Bei mittleren und höheren jedoch ist der Augapfel meist in allen Durchmessern kleiner als bei den anderen Refraktionen, zumal im Längsdurchmesser (s. Abb. 90, S. 558). Anatomische und mikroskopische Untersuchungen des hyperopen Auges sind merkwürdig spärlich. LEBER (1906) teilt E. VON HIPPELS Messungen eines mikrophthalmischen, hyperopischen Augenpaares mit; rechts betrug die Hyperopie 3 dptr. Es ergaben sich rechts 17,5 mm Längs-, 15,5 mm Quer-, links 17 mm Längs- und 16 mm Querdurchmesser am gehärteten und eingebetteten Augapfel gemessen. Diese Verkürzung des Augapfels ist bei einer so mäßigen Hyperopie auffallend stark. Denn die Berechnung der Augapfelverkürzung aus den Krümmungshalbmessern der Hornhaut bei zwei Hyperopischen (von 14 bzw. 16 dptr) hatte ihn auf eine etwa 7,5 mm zu kurze Achsenlänge geführt.

Bei der *mikroskopischen* Untersuchung macht IWANOFF auf das Verhalten des Ciliarkörpers aufmerksam, drückt sich indessen vorsichtig aus, S. 678. Der vordere Teil soll (s. Abb. 181) infolge der starken akkommodativen Beanspruchung kräftiger als bei Nichtübersichtigen und der hintere BRÜCKESCHE sehr schwach sein. HESS sah aber einen ausgesprochen hypermetropischen Ciliarkörper in einem hochgradig kurzsichtigen Auge. Er hält die Untersuchung noch für ungenügend und erinnert an O. LANGE, der in Augen Neugeborener in einem Fall den hyperopischen und einem anderen den myopischen Ciliarkörper fand. Er deutet den Zusammenhang umgekehrt wie IWANOFF. Die Papillenbeschaffenheit wird auf Engigkeit des Aderhautkanals bezogen.

Gelegentlich wird auch in hyperopischen Augen ein Conus temporalis vorgefunden. Der anatomische Befund (E. V. S. BROWN) bestand in einer Netzhautduplikatur im Bereich des Conus (s. a. KRETZ, ELSCHNIG).

### 3. Die Begleiterscheinungen und Folgezustände in stark hyperopischen Augen.

Die wichtigste und so häufig bei Hypermetropen vorhandene Störung ist die Schwachsichtigkeit (**Amblyopie**) meist eines der beiden Augen, auf deren Entstehung im Abschnitt vom Sehen der Hypermetropen einzugehen ist. In der übergroßen Mehrzahl dieser Fälle liegt Ungleichsichtigkeit, und zwar höhere Übersichtigkeit, vor, sicherlich als wesentliche Quelle der Störung. Im engsten ursächlichen Zusammenhang mit der Schwachsichtigkeit (Amblyopie) steht

das Schielen, das **Einwärtsschielen** (Strabismus convergens concomitans). Von geringer Tragweite und verhältnismäßig selten kann Lidrandentzündung (Blepharitis) auf Rechnung einer Übersichtigkeit gesetzt werden.

Als ein sehr ernstes Übel, das mit einer gewissen Vorliebe, wie es scheint, übersichtige Augen befällt, ist der grüne Star (das **Glaukom**), zu nennen, ein bei stark Kurzsichtigen seltener Gast. Besonders die Augen mit kleinen Hornhäuten neigen offensichtlich zu Glaukom. Diese Beobachtung von PRIESTLEY-SMITH wird durch die augenärztliche Erfahrung vielfach bestätigt, wie sie von J. STÄHLI durch seine eigens auf diese Zusammenhänge hin angestellten Untersuchungen an 50 Leuten erhärtet worden ist (s. auch R. THIEL, Bd. 4). Nach SCHÜSSELE und HOOG soll dagegen keine erhöhte Neigung zum Glaukom bestehen. PERCIVAL hält eine Abflachung der Hornhaut oder eine Vermehrung des Brechungsindex für die Ursache der bei Glaukom erst eintretenden Hyperopie.

W. SCHOEN erklärt die Akkommodation, die ja bei Hyperopie in höherem Maß als bei anderen Refraktionen arbeitet, für eine wichtige Ursache bei der Entstehung des grauen und grünen Stares mit Unrecht. C. HESS sah den grauen Star bei Hypermetropen nicht häufiger als bei Emmetropen. Auch für den grünen Star macht er die Hyperopie nicht verantwortlich; im Gegenteil verweist HESS auf die gemeinsame Wirkung der Naheinstellung, Pupillenverengung und Druckerniedrigung, die dem Eserin und der willkürlichen Tätigkeit des Nahsehens eigen sind (KNAPP).

Was man sonst an Zufällen und Leiden außerhalb des Auges der Übersichtigkeit zur Last legen will, hat meist keinen ursächlichen Zusammenhang, meist kaum mehr als den des zufälligen Zusammentreffens. Alles Mögliche und Unmögliche wird von mancher Seite mit Refraktionszuständen, die nicht Emmetropie sind, erklärt und durch Gläser angeblich geheilt.

Will man Vorzüge und Nachteile der Hypermetropie mit denen der Myopie vergleichen, so hängt das Urteil wesentlich vom Alter und natürlich auch von der Höhe der Hyperopie ab. In jungen Jahren kann der Hyperop durch die Akkommodation leichter seinen Fehler verbessern als später. Der Jugendliche als Übersichtiger ist im Vorteil vor dem Kurzsichtigen. Im Alter dreht sich das Verhältnis oft um. Die Bereitschaft für Krankheiten ist beim stark Hypermetropen und bei Mikrophthalmen nicht zu unterschätzen, so daß im ganzen der Hyperop bei K. v. HOOR nicht besser abschneidet als der stark Kurzsichtige.

#### 4. Das Sehen und die Sehstörungen der Hyperopien.

**Manifeste, latente und totale Hyperopie.** Das ruhende Hyperopenaug ist weder für ferne noch für nahe wirkliche Gegenstände eingestellt. Es wird also an und für sich für die Ferne und erst recht für die Nähe schlecht, d. h. in Zerstreungsflecken sehen. Jedoch kann das nicht zu alte und nicht stark hyperopische Auge seinen Fehler durch Akkommodation vermindern oder ganz ausgleichen, so daß bei ausreichender Akkommodationsbreite deutliches Sehen für die Ferne, ja auch für die Nähe erzielt wird. Da von wirklichen Dingpunkten keine konvergenten Bündel ausgehen, die allein vom ruhenden übersichtigen Auge auf der Netzhaut zum Bildpunkt vereinigt werden, so ist das übersichtige Auge von morgens bis abends zu akkommodieren veranlaßt, da es ja nicht ohne Grund auf deutliches Sehen verzichtet. Daher gibt der Hyperop, solange sich wirkliche Gegenstände darbieten, seine Akkommodation nicht auf, auch nicht bei der Prüfung mit starken und stärkeren Sammelläsern im DONDERSISCHEN Verfahren; von der Hyperopie kommt daher meist nur ein Teil zum Vorschein, die *manifeste Hypermetropie*, ein Teil wird durch den Betrag der nicht ganz verschwindenden Akkommodation

verdeckt, die *latente Hypermetropie*. Beide zusammen ergeben erst die *totale Hypermetropie* (F. C. DONDERS). Diese ist dem Betrag gleich, den man nach Lähmung des Ciliarmuskels bei gleicher Pupillenweite erhält. Welchen Teil der Gesamthyperopie die manifeste ausmacht, ist nach dem Lebensalter verschieden; im Alter ist er größer als in der Jugend. Nach SCHRÖDER und L. DANIEL beträgt er bei etwa  $\frac{3}{4}$  der hypermetropischen Augen im Alter von

6—15 Jahren	$\frac{1}{3}$	(in 80% der Fälle)
16—25 „	$\frac{1}{2}$	(„ 72% „ „ )
25—36 „	$\frac{2}{3}$ — $\frac{3}{4}$	(„ 75% „ „ )
36—45 „	1	(„ 80% „ „ )
über 46 „	1	(„ 100% „ „ ) (siehe auch WEISE).

Daß tatsächlich eine Anspannung des Akkommodationsmuskels die Übersichtlichkeit zum Teil ausgleicht, und daß nicht etwa die Linse durch die fortwährende Akkommodationsstellung für die Dauer eine stärker gekrümmte Form angenommen hat, ist leicht zu beobachten bei der Prüfung mit Atropin und noch schöner, weil ohne Änderung der Pupillenweite, bei der postdiphtherischen Akkommodationslähmung; es kommt eben dabei meist eine höhere Hypermetropie heraus als bei der gewöhnlichen Prüfung nach DONDERS ohne Lähmung des Ciliarmuskels. Eine Erklärung für die Abnahme der latenten Hypermetropie mit dem Alter hat sich C. HESS (S. 435) zurechtgelegt. Sie stützt sich darauf, daß nach seinen Untersuchungen die mögliche Ciliarmuskelverkürzung im Alter nicht wesentlich kleiner ist als in der Jugend und sich keineswegs mit der Einstellung auf den hereingerückten Nahpunkt erschöpft. Die Deutung von DU BOIS-REYMOND mit seiner Auffassung der Entonie wird abgelehnt.

Die **Sehschärfe** übersichtiger Augen, womit das Ergebnis der Prüfung mit vollem Glasausgleich gemeint ist, nimmt im allgemeinen mit der Höhe der Hyperopie ab.

Die folgende Zusammenstellung von BROEKEMA, der eine große Zahl Hyperoper der STRAUBSchen Poliklinik zugrunde liegt, gibt an, wie häufig die in der obersten Linie vermerkten Sehschärfengrade auf den verschiedenen Stufen der Hyperopie erreicht wurden. Die schwächer brechenden Augen anisometropischer Hyperopen wurden nicht mit aufgenommen, um den Einfluß der Hyperopie allein sichtbar werden zu lassen.

Die Sehschärfe	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{6}$	zus.
erreichten bei einer Hyperopie von							
1— 2 dptr	964	117	59	21	5	9 Augen	1175
	82,0%	10,0%	5,0%	1,8%	0,4%	0,8%	
3— 4 dptr	278	66	61	17	11	5 Augen	438
	63,5%	15,1%	13,9%	3,9%	2,5%	1,1%	
5— 6 dptr	123	65	49	20	12	8 Augen	277
	44,4%	23,5%	17,7%	7,2%	4,3%	2,9%	
7—10 dptr	13	16	38	10	5	4 Augen	86
	15,1%	18,8%	44,1%	11,6%	5,8%	4,6%	
							1976

Damit ist nicht ausgeschlossen, daß auch höhere Grade mit besserer Sehschärfe als dieser vorkommen. Die Grundlage der Minderleistungen dürfte im Bau der reizempfindenden Teile begründet sein. Auch andere Vermutungen sind geäußert worden.

Die Netzhautbildgröße kann die Erklärung für solche Minderungen der Sehschärfe im Vergleich zum emmetropischen Auge ebenfalls nicht abgeben. Ist die brechende Folge des hyperopischen Auges der eines schematischen Auges gleich, so daß die Hyperopie als reiner Längenfehler angenommen werden darf,

so kann die Netzhautbildgröße ebenso groß gehalten werden wie im emmetropischen Auge. Dazu muß nur das ausgleichende Glas im vorderen Augenbrennpunkt angebracht werden. Hat man dagegen ein Auge mittlerer Länge, dessen Hyperopie durch eine geringere Brechkraft seiner brechenden Folge bedingt ist, dann wird die Netzhautbildgröße bei nicht ungewöhnlich großem Abstand des Glases vom Auge kleiner sein als bei Augen mit regelrechter Folge. Die Beträge ergeben sich durch das Verhältnis der Brennweiten des schematischen und des vorliegenden Auges. Werden die Linsen an einer anderen Stelle als dem vorderen Augenbrennpunkt angebracht, so ist die Beziehung zwischen der absoluten und der relativen Sehschärfe (nach S. 517) zu beachten. Wegen der Beträge sehe man die Schichtenbilder bei M. v. ROHR. Zieht man den Selbstaussgleich durch die Akkommodation heran, so ist beim Vergleich die natürliche Sehschärfe maßgebend.

**Einseitige Schwachsichtigkeit (Amblyopie).** Man versteht darunter die trotz Ausgleichs etwa vorhandener Refraktionsfehler hinter dem Durchschnittswert zurückbleibende Sehschärfe, die auch durch den Augenspiegel keine Erklärung findet. Obwohl Schwachsichtigkeit auch bei der Emmetropie, Myopie und dem Astigmatismus vorkommt, muß sie doch hier erwähnt werden. Denn bei der Hyperopie tritt sie weitaus am häufigsten auf. BROEKEMA fand in der Poliklinik unter beidseits gleich stark hyperopischen Augenpaaren ungleiche Sehschärfe in 22% der Fälle. In 12½% der Gesamtzahl betrug der Unterschied zwei Reihen der SNELLENSCHEN Tafel. Von diesen letzteren schielen 5,5%. Die übrigen 7% schielen nicht. Noch viel häufiger ist die Amblyopie bei Anisometropen. Auch für diese Zusammenhänge hat BROEKEMA Zusammenstellungen geliefert, die der vorigen entsprechen.

BROEKEMAS Zusammenstellung für die schwächer brechenden Augen *nicht schielender* Ungleichsichtiger.

Die Sehschärfe	1	¾	½	⅓	¼	⅙ oder ⅒	< ⅒
erreichten bei einer Hyperopie von							
1— 2 dptr	76 55,1%	27 19,0%	22 16,0%	10 7,2%	1 0,7%	1 0,7%	1 Augen 0,7%
3— 4 dptr	56 40,5%	26 19,0%	28 20,5%	13 9,5%	5 3,5%	6 4,5%	3 Augen 2,0%
5— 6 dptr	26 27,0%	10 10,0%	32 33,0%	9 9,0%	8 8,0%	9 9,0%	3 Augen 3,0%
7—10 dptr	4 11,0%	5 14,0%	9 25,0%	5 14,0%	7 19,5%	4 11,0%	2 Augen 6,0%
Die gleichartige Aufstellung für <i>schielende</i> Ungleichsichtige.							
1— 2 dptr	5	1	0	0	1	0	0 Augen
3— 4 dptr	4	5	6	2	5	3	2 Augen
5— 6 dptr	1	4	3	4	1	6	5 Augen
7—10 dptr	0	0	1	0	1	0	2 Augen

Die Entstehungsweise der Amblyopie ist noch keineswegs restlos geklärt. Lange hat der Streit um die Amblyopia ex anopsia gewährt. Ihr Vorkommen kann heute nicht mehr bestritten werden. Man hat auf der einen Seite das Absinken der Sehschärfe bei Kindern verfolgen können, die zu schielen anfangen. Auf der anderen Seite ist eine Anzahl von Fällen einwandfrei beobachtet, wo ein schwachsichtiges Auge nach Erblindung oder Verlust des besseren wieder eine erheblich bessere Sehschärfe gewann (BIELSCHOWSKY), und durch planmäßige langdauernde Übung schwachsichtiger Kinderaugen hat SATTLER

in den letzten Jahren in größerem Umfang die an sich nicht neue Erkenntnis zur Geltung gebracht und verwerten gelehrt (s. auch R. CORDS: Die Pathologie der Augenmuskeln. Dieses Handbuch, Bd. 3, S. 526).

Bei ungleichsichtigen Hyperopen ist die bekannte Erklärung für die Entstehung der Amblyopie durchaus annehmbar. Erhält ja das schwächerbrechende, also höher hyperopische Auge eines anisometropischen Paares für gewöhnlich gar keine deutlichen Bilder, wenn nach C. HESS ungleiche Akkommodation in beiden Augen nicht vorkommt. Jedoch weist, wie die oben wieder-gegebene Aufstellung BROEKEMAS zeigt, eine nicht gerade kleine Zahl von beidseitig gleich stark hyperopischen Augenpaaren einseitige Amblyopie auf. Diesen Augen sind gute Netzhautbilder nicht vorenthalten geblieben. Daher kann der Ausgangspunkt der Amblyopie nicht in dem gleichen Vorgang gefunden werden wie bei den anderen Fällen. Der Anstoß zum Nichtgebrauch wird dem *Schielen* oder der Schielneigung oder einer großen Heterophorie zugeschrieben, Zustände, die dazu veranlassen können, das Bild des einen Auges auszuschließen und bei Kindern damit dem Verfall der Sehschärfe auszusetzen. Doch bleibt auch jetzt noch eine Gruppe von schwachsichtigen Augen, auf die das Gesagte nicht zutrifft, die obenerwähnten 7<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, die nicht schielenden schwachsichtigen Augen gleich stark hyperopischer Augenpaare. STRAUB denkt an einen angeborenen Mangel im Zusammenarbeiten beider Augen. Dabei übernimmt eines der beiden Augen die Führung. Das andere gerät derart in den Hintergrund, daß es sogar in einzelnen Fällen trotz genügender Akkommodationsbreite nicht mehr imstand ist, zum Deutlichsehen ferner Dinge seine eigene Hyperopie durch Akkommodation auszugleichen. Nicht nur die Amblyopie, sondern auch Anisometropie und Schielen läßt STRAUB von dieser Schwäche des beidäugigen Sehens als von einer gemeinsamen Ursache abhängen. In gewissen Fällen soll die Anisometropie nur scheinbar gewesen sein und größtenteils auf Tonusverlust beruhen. Dieser lasse wieder den Ciliarmuskel erschlaffen und bringe dadurch eine Vergrößerung der Hyperopie zustande. Hierbei wird angenommen, daß beide Augen verschieden starker Akkommodation fähig seien.

**Die Asthenopie der Hypermetropischen.** Reicht die Akkommodationsbreite nicht aus, um die Hypermetropie auszugleichen, so ist schlechtes, undeutliches Sehen zunächst für die Nähe oder sogar auch für die Ferne die Folge. Jedoch setzen nicht selten auch dann Störungen ein, wenn die Akkommodationsbreite an und für sich zu deutlicher Einstellung für die Nähe noch ausreicht. Die Aufwendung der Höchstleistung ist mindestens unbequem; wird sie längere Zeit gefordert, so versagt das Auge. Es kommt zur *akkommodativen Asthenopie*. Die Ausdauer beim Nahsehen fehlt. Die Leute erklären oft, sie sähen alles ganz genau, allerdings nur für kurze Zeit. Dann verschwimme die Schrift oder dergleichen. Sie müßten wegsehen. Nach einer kleinen Pause gehe es wieder für kurze Zeit. Dies Spiel wiederholt sich immer häufiger. Das deutliche Sehen hat immer kürzere Zeit Bestand, und die Pausen werden immer länger, bis schließlich auch Beschwerden wie Druckgefühl in und über den Augen, ja Schmerzen bis in die Stirn hinein auftreten. Das geschieht bei dem einen früher, bei dem anderen später. Diese Störung ist bei Hypermetropien von mehreren Dioptrien aus der Refraktion heraus verständlich. Aber auch bei niedrigen von 1 ja selbst von  $\frac{1}{2}$  dptr kommen sie vor. Man hört trotzdem dabei von Neuralgie, Spannungsgefühl, Kopfschmerzen in der Stirn, den Schläfen, dem Hinterhaupt, im Nacken, von Übelkeit, Erbrechen, Migräne und ähnlichen Beschwerden. Allgemeine und nervöse Schwäche, sei sie angeboren oder sei sie vorübergehend durch erschöpfende Krankheiten oder übermäßig lange und anstrengende Arbeit (Examensvorbereitung) entstanden, bildet einen günstigen Boden für dieses Versagen der Augen. Die Größe der Anforderungen an das

Sehen spricht selbstverständlich mit. Setzt die Arbeit, Lesen kleinen Druckes, Sticken, Zeichnen u. dgl. feine Naharbeit, den Einsatz der vollen Sehschärfe voraus, so ermüdet sie mehr als gröbere. Niedrige Beleuchtungsstärke und ungünstige Beleuchtungsrichtung wirken unmittelbar schon im ungünstigen Sinn, oft aber gemeinsam mit feinen Arbeitsstücken auch noch mittelbar in dem Sinn, daß sie zu großer Annäherung verleiten und damit höhere Akkommodations- und Konvergenzbeträge fordern. So werden sich die Störungen der reinen akkommodativen Asthenopie nicht immer scheiden lassen von den das beidäugige Sehen erschwerenden der *muskulären Asthenopie* (s. F. C. DONDERS). Die Erfahrung der Sprechstunde lehrt zweifellos, daß die Mehrzahl der Leute mit asthenopischen Beschwerden, zumal mit solchen, die mit unangenehmen Empfindungen einhergehen, nicht vorzugsweise hochgradig hyperopisch sind, sondern der Emmetropie nahestehen. Die Störungen kann man auch in diesem Fall schwerlich der Akkommodation zur Last legen. Neben Zügen einer gewissen erhöhten Empfindlichkeit und nervösen Schwäche ist ein ungünstiges Verhältnis zwischen der Akkommodation und der Konvergenz bestimmt dabei wirksam. Diese Dinge sind von F. C. DONDERS und von C. HESS sorgfältig untersucht worden. Nicht nur bei Versorgung der Hyperopen, sondern auch ganz allgemein bei der Beratung für das Nahsehen wird manchen Ortes der Aufgabe große Sorgfalt gewidmet, mit Berücksichtigung der Gleichgewichtslage der Augen ein für die gewünschte Entfernung bequemes Verhältnis zwischen Konvergenz und Akkommodation herbeizuführen (I. S. NOTT, J. I. PASCAL).

**Scheinbare Myopie bei Hyperopie.** Wenn gelegentlich junge hochgradig Hyperopische dem Augenarzt wegen Kurzsichtigkeit zugeführt werden, so kommt das daher, daß sie sich beim Lesen, Schreiben u. dgl. mit den Augen dem Buch so sehr nähern wie sehr stark Kurzsichtige. Sie steigern dadurch den Winkel, unter dem die Zeichen vom Auge aus erscheinen und stellen bei der Wahl der Entfernung ein günstiges Verhältnis zwischen diesen Winkeln und den Zerstreuungsfleckchen her. Die mit der starken Akkommodation und Konvergenz einhergehende Pupillenverengung ergibt schwächige Bündel und kleine Zerstreuungsfleckchen. M. SALZMANN hat diese Beziehung eingehend untersucht. HESS vermutet, daß dabei vermöge geringer Schwankungen in der Ciliarmuskulaturspannung nacheinander andere günstige Stellen der kaustischen Fläche (S. 492) auf die Netzhaut gelangen könnten, und daß der Hyperop aus der Beobachtung der regelmäßigen Folge der Veränderungen und aus dem Verwaschensein einzelner Bilder auf die wahre Form des Gegenstandes zu schließen lernen möchte, gewissermaßen ein dingähnliches Bild geistig aus der Folge der Erscheinungsformen der verschiedenen Zerstreuungsbilder aufbauend.

## 5. Die Behandlung der Hyperopie.

Eine Heilung der Hyperopie ist bisher nicht bekannt. Dazu gehörte die Verfügung über Mittel, das Wachstum des Augapfels in Gang zu bringen. Wir kennen sie nicht. DARIER hat mit seinem Vorschlag, durch Kneten Hyperopie zu mindern und zu beseitigen, keinen Anklang gefunden. Zahlreiche der für die Entstehung der Kurzsichtigkeit verantwortlich gemachten Einflüsse hätte man erwarten können von ihren Vertretern als Mittel gegen die Übersichtigkeit ins Feld geführt zu sehen, wenn sie tatsächlich eine ausschlaggebende Wirkung ausübten. Doch spielen bei der Behandlung eigentlich nur die Brillengläser eine Rolle. Man ist bestrebt, dem einer Hilfe bedürftigen Übersichtigen ein ähnliches Sehen zu vermitteln, wie es dem Rechtsichtigen zukommt. Er soll zunächst einmal ohne Akkommodation in die Ferne deutlich sehen und beim Nahsehen nicht wesentlich andere Akkommodationsbeträge nötig haben als der Emmetrop.

### Welcher Hyperop braucht ein Glas?

Wer mit freiem Auge in die Ferne und Nähe deutlich sieht, braucht kein Glas, sofern keine Störungen bei seiner Hypermetropie bestehen oder zu befürchten sind. Die Feststellung von  $\frac{1}{2}$ , 1, 1,5 oder auch 2 dp<sub>tr</sub> ist keineswegs an sich eine Begründung für die Verordnung eines entsprechenden Glases. Zumal junge Leute mit einer derartigen Hyperopie brauchen keine Gläser. Mancher ältere Mensch wird sie fürs Fernsehen nicht vermissen, manch anderer nicht darauf verzichten wollen. Beim Nahsehen ist er meist gezwungen, zum Glas zu greifen. Läßt man das Bedürfnis entscheiden, so werden um so häufiger Gläser gewünscht werden, je höher die Hyperopie und je höher das Alter ist.

Stellen sich jedoch Beschwerden ein, was zunächst gemäß dem oben Auseinandergesetzten beim Nahsehen geschehen wird, so ist die Hilfe des Sammelglases am Platz.

Strenger wird die Fassung der im wesentlichen gleichen Aussagen, wenn man der STRAUBSchen Lehre von der Emmetropisation huldigt. Dann sollen Gläser für Hyperopen vermieden werden, solange keine Beschwerden vorliegen, um eben die Wirksamkeit des Vorgangs der Emmetropisation nicht zu schmälern oder gar außer Kraft zu setzen. (Anderseits betont STRAUB, daß die Emmetropie unter psychischem Einfluß entstehe, daß der Wille, deutlich zu sehen, von größter Wichtigkeit und die vollausgleichende Brille daher bei Myopie wertvoll sei.)

Welche Glasstärke ist zu verordnen? Was für Vorschriften sind für das Tragen zu geben?

Oft reicht es aus, bei der Naharbeit das Glas tragen zu lassen, das die manifeste Hyperopie ausgleicht. Doch kann es je nach den Anforderungen der Arbeit und den körperlichen und nervösen Eigenschaften des Hyperopischen und dem Grad der Hyperopie nötig sein, das ausgleichende Glas nicht nur beim Nahsehen, sondern auch für das Fernsehen, eben den ganzen Tag, tragen zu lassen. Dann wird dem Träger das unwillkürlich erfolgende Akkommodieren für die Ferne erspart. Das gilt natürlich besonders dann, wenn asthenopische Beschwerden mit unangenehmen Empfindungen verknüpft sind. Einen merklichen Teil des Tages über hat der Träger vollausgleichender Gläser beim Umhergehen gar keine vermehrte Akkommodation mehr nötig und kommt sozusagen ausgeruht an seine Naharbeit. Steht der zu versorgende Hyperop im Alter der Presbyopie, etwa schon in den 40- oder 50er Jahren, so sind die Regeln für die Verordnung der Altersgläser anzuwenden, indem der Hyperop mit seinem für die Ferne ausgleichenden Glas versehen als künstlicher Emmetrop zu betrachten ist.

In Fällen von Asthenopie, in denen man mit diesen und den üblichen Maßnahmen nicht zum Ziel kommt, empfiehlt P. FRIDENBERG ein um 1 dp<sub>tr</sub> stärkeres Sammelglas, als mit deutlichem Sehen für die Ferne verträglich ist, also das Vernebelungsverfahren nicht nur zur Diagnose sondern auch zur Behandlung für einige Zeit.

Ganz anders ist die Frage zu beantworten, wenn sich irgendwelche Begleiterscheinungen der Hyperopie bemerkbar machen, vor allem Schwachsichtigkeit (Amblyopie). Diese wird nicht immer gemeldet; zumal bei kleinen Kindern muß gelegentlich danach gesucht werden. Allerdings lenkt meist die Folge der Schwachsichtigkeit, das Schielen (*Strabismus convergens* concomitans), die Aufmerksamkeit der Umgebung auf die Augen, so daß man, wenn auch im wesentlichen mit dem Wunsch, ein besseres Aussehen zu gewinnen, den Arzt aufsucht. Bei dieser Beratung steht das gute Sehvermögen eines Auges insofern auf dem Spiel, als jetzt entschieden wird, ob man die für manche Fälle gegebene Möglichkeit, den Verfall der Sehschärfe aufzuhalten oder rückgängig zu machen, ausnützt, oder ob man das Auge sich selbst überläßt und damit schwachsichtig werden oder bleiben läßt. Steht die Neigung zum Schielen und zur Schwachsichtigkeit

fest, so ist zunächst auf jeden Fall die manifeste Hyperopie durch dauernd zu tragende Gläser voll auszugleichen, und bei den (in nicht zu kleinen Zeitspannen zu wiederholenden) Nachuntersuchungen erweist sich, wenn das Glas wirklich dauernd getragen worden ist, häufig die manifeste Hyperopie als größer. Das Glas ist dann dementsprechend zu verstärken. Je früher die Glasverordnung einsetzt, desto größer ist die Aussicht, damit eine beginnende Schwachsichtigkeit zu verhüten oder rückgängig zu machen. Wegen der Übungsbehandlung der Amblyopie s. CORDS (dieses Handbuch, Bd. 3, S. 546).

Bei Jugendlichen ist oft nicht ohne diagnostische Atropinanwendung auszukommen. Man erhält durch die Aufdeckung einer vielleicht recht hohen, aber zu einem sehr großen Teil verdeckten Übersichtigkeit die Sicherheit, daß man mit einem gewissen Nachdruck die Grenze zwischen der manifesten und der latenten Hyperopie zu verschieben suchen muß. Man erkennt dabei auch sehr leicht die Zustände gewohnheitsmäßiger dauernder Ciliarmuskelspannung, die man früher oft in nicht zutreffender Weise als Akkommodationskrampf bezeichnet hat (s. Akkommodation S. 696). Grundsätzlich jede Refraktionsbestimmung der Presbyopie, also im 40. ja 50. Jahr, in Atropinmydriasis auszuführen, um  $\frac{1}{4}$  oder  $\frac{1}{2}$  dptr latente Hyperopie etwas früher zu entdecken, scheint übertrieben.

Da und dort ist es üblich, hyperopische und besonders schielende Kinder sogleich mit der Glasstärke zu versehen, die ihre totale (in Atropinlähmung des Ciliarmuskels bestimmte) Hyperopie voll ausgleicht. Gewiß sind Kinder merkwürdig rasch und weitgehend anpassungsfähig, doch hat dieses kurze Verfahren, wie die Erfahrung lehrt, nicht gar selten sachlich bedenkliche Nachteile. Kehrt die Akkommodationsfähigkeit mit dem Abklingen der Atropinwirkung zurück und mit ihr die gewohnheitsmäßige Akkommodationsanspannung, so ist das Glas stärker als der manifesten Hyperopie entspricht, und das Kind sieht mit dem Glas schlechter in die Ferne. Ob mit oder ohne Zustimmung der Eltern, wird das Glas abgesetzt. Dazu geben die Eltern oft trotz der vorhergehenden Belehrung in der Sprechstunde ihre Zustimmung selbst dann, wenn sie sich überzeugen, daß die Sehschärfe ohne Glas ebenso gut ist wie mit dem Glas. Wo es sich also durchführen läßt, bildet die allmähliche Steigerung zum voll ausgleichenden Glas den sicheren Weg. Oft genug verschließt ihn der Gläserpreis. Längere Zeit durch Atropineinträufelung erhaltene Akkommodationslähmung könnte die erwähnten Schwierigkeiten mindern. Doch tauscht man hierbei den Nachteil des schlechten Nahsehens ein, was bei Schulkindern ins Gewicht fällt.

Eine große, wichtige und in ihrem Erfolg sehr dankbare Aufgabe bietet sich dem Augenarzt bei der **Behandlung hyperopischer schielender Kinder**. Wegen der bekannten Verknüpfung der Akkommodation mit der Konvergenzbewegung muß die Ausschaltung der Akkommodation im Fernsehen durch die ausgleichenden Sammelgläser die Grundlage der Schielbehandlung bilden. Hierbei soll man sich nicht auf die manifeste Hyperopie beschränken, sondern den Ausgleich der Gesamthyperopie erstreben. Es ist hierbei sicher zweckmäßig, ebenso wie bei anderen Hyperopen, zunächst die im beidäugigen Sehen bestimmten, die manifeste Hyperopie ausgleichenden Gläser zum dauernden Tragen zu geben, um sie nach kurzer Zeit, 1—2 Monaten, zu verstärken, wenn sich die manifeste Hyperopie auf Kosten der latenten vergrößert hat. Wenn nötig, kann dabei die für einige Zeit ununterbrochen durchgeführte Lähmung des Ciliarmuskels mit Atropin eine wertvolle Hilfe bieten, um, wenn es irgend geht, zum *vollen Ausgleich der totalen Hyperopie* zu gelangen. Daß das Schielen mit dem Aufsetzen der Gläser verschwindet, ist keineswegs die Regel, besonders ist es dann nicht der Fall, wenn es schon zu Amblyopie des einen Auges gekommen ist. Es handelt sich dabei meist um eine Folge des Nichtgebrauches. Diese Ausschaltung eines

Auges beruht in der Mehrzahl der Fälle darauf, daß eines der beiden Augen, das schielende, einen höheren Grad von Hyperopie besitzt als das andere. Wenn der Ausgleich der Hyperopie selbsttätig durch Akkommodation erfolgt, so ist das stärker hyperopische Auge immer im Nachteil. Denn die Akkommodation erfolgt nach HESS in beiden Augen mit gleicher Stärke. Höher zu akkommodieren, als bis das Bild des schwächer hyperopischen Auges deutlich ist, wäre zwecklos, da jeweils nur eins der beiden Augen deutlich eingestellt sein kann. Das mit dem schlechteren Bild ausgestattete Auge aber steht in der Jugend in Gefahr, schwachsichtig zu werden. Voll ausgleichende, der Anisometropie wegen ungleich starke Gläser vor den beiden Augen werden erfahrungsgemäß oft nicht vertragen, hauptsächlich weil die Blickwinkel verschieden groß werden müßten und Unterschiede der Höhenrichtung nur sehr beschränkt möglich sind (siehe H. ERGGELET), so daß die Fusion wiederum bedroht wird und damit die Gefahr des Schielens erneut erscheint (s. BIELSCHOWSKY, SATTLER, UHTHOFF; ferner CORDS, Bd. 3).

In dieser Beziehung versprechen die *Haftgläser* Vorteile, da die Blickwinkel unabhängig sind von der Glasstärke, jedes Auge ohne Rücksicht auf das Blicken somit das Glas erhalten kann, mit dem seine Refraktion voll ausgeglichen wird und mit dem es seine beste Sehschärfe erreicht. Obendrein kann die Abneigung gegen das Brillentragen wegen des auffälligen Aussehens hierbei ihren unheilvollen Einfluß nicht geltend machen.

Als Ergänzung der Glasbehandlung, wenn trotz sorgfältigem Ausgleich des Brechungsfehlers und den Störungen des Muskelgleichgewichts die Asthenopia dolorosa nicht weicht, hat K. GRUNERT eine von E. v. HIPPEL lediglich als Suggestivwirkung gewertete Pilocarpinanwendung warm empfohlen. T. FRIEBERG spricht sich auf Grund eigener Beobachtungen dafür aus. Die von diesen Beschwerden Befallenen und erfolgreich Behandelten sind nur zu  $\frac{1}{5}$  Hypermetropen, und ihre Ametropie ist sehr niedrigen Grades.

## B. Die Hyperopie auf krankhafter Grundlage.

Die erworbene Hyperopie kann einmal zustand kommen durch **Längenänderung** des Augapfels, sodann, und das ist viel häufiger, durch Brechwertänderungen.

Die Gesamtform des Augapfels kann durch den Druck verändert werden, den eine in der Nachbarschaft wachsende Geschwulst oder ein Entzündungsherd ausübt (BIRCH-HIRSCHFELD). Die Abhängigkeit der Refraktion von der Blickrichtung in einem solchen Fall war so, daß in den mittleren Teilen des Blickfeldes 2,5 dptr Hyperopie bestand, während bei größeren Blickbewegungen Emmetropie eintrat (F. CANDIAN). Der Augapfel kann soweit eingebault werden, daß fast das Bild einer intraokularen Geschwulst entsteht.

FRIEDENWALD sah 10 Tage nach einer leichten Episcleritis eine vier Wochen anhaltende Hyperopie von 2,25 dptr bei ungestörter Akkommodation.

Ein halbes Jahr nach einer Augapfelprellung, die Irisschlottern und einen Aderhautriß nahe der Macula zur Folge gehabt hatte, stellte H. GRIMSDALE als Ursache der allmählich aufgetretenen Abnahme des Sehvermögens eine Hyperopie von 4 dptr fest. HUBER (a, b) sah auch Hyperopie nach Verletzung auftreten.

Hat es sich in diesen Fällen zum Teil offenbar um Längenänderungen gehandelt, so ist im folgenden von **Brechkraftminderungen** die Rede. Sie erfolgen teils durch Abflachung der brechenden Flächen der Hornhaut, teils durch Änderung des Brechungsindex der Medien.

Die *Abflachung der Hornhaut* kann sich einstellen nach geschwürigem Zerfall der Oberfläche. Eine ungewöhnlich hohe Hypermetropie von 12 dptr durch

Abflachung des mittleren Hornhautbezirkes hat TH. AXENFELD auf diesem Weg entstehen sehen und *Applanatio corneae* genannt zum Unterschied von der Bildungseigentümlichkeit der *Cornea plana*. Der abgeflachte Teil maß am Ophthalmometer  $31\frac{1}{2}$  dptr gegen  $40\frac{3}{4}$  im erhaltenen. BAYER beschreibt einen ähnlichen Befund als Folge eines Abscesses im Inneren der Hornhaut bei einer *Keratitis parenchymatosa*.

Eine *Minderung des Brechungsindex* kommt eigentlich nur an der Linse in Betracht, und dieser Wechsel dürfte kaum ohne gleichzeitige Änderung der Flächenkrümmung vor sich gehen. Bei den infolge der Zuckerkrankheit auftretenden Erscheinungen der Refraktionsverschiebung in der Richtung nach der Hyperopie hin ist mit einer Indexveränderung zu rechnen.

Die vorübergehende Übersichtigkeit tritt bei *Zuckerkranken* meist jenseits des 35.—40. Lebensjahres auf. Sie stellt sich meist ziemlich schnell ein und übersteigt selten 4 dptr. In der Regel, anscheinend nicht immer, handelt es sich um Kranke, die ihrer Zuckerkrankheit wegen schon in geeignete Behandlung genommen sind. Nicht immer findet sich Zucker im Harn. Die Refraktionsänderung ist unabhängig vom Zuckergehalt des Urins. Eine Störung der Akkommodation gehört nicht zum Bild. E. WÖLFFLIN berichtet jedoch von einer vorübergehenden Akkommodationsschwäche im Laufe einer Refraktionschwankung zur Hyperopie. Die Erscheinung kommt öfter vor, als man früher glaubte; und sie ist seit der Einführung des Insulins mit der raschen Entzuckerung auch tatsächlich häufiger geworden. Schon 1910 hat K. K. LUNDSGAARD darauf aufmerksam gemacht, daß die vorübergehende Übersichtigkeit bei der Zuckerkrankheit nicht von dem Abnehmen oder dem Verschwinden des Zuckers aus dem Urin abhängt. So hat H. LARSEN vorübergehende Hyperopie bei latentem Diabetes gesehen. Die Veränderung im Auge, die die Refraktion in der Richtung nach der Hyperopie verschiebt, muß in der Linse vor sich gehen, welcher Ansicht schon LICHTENSTEIN und KNAPP zuneigen. Wasserverlust im Auge (HORNER, SOURDILLE, E. HERTEL) kommt aber nicht in Frage, da der Binnendruck regelrecht bleibt; bei LUNDSGAARDS Beobachtung ist der Verlauf von der Diurese unabhängig. Die Vermehrung des Zuckergehaltes im Kammerwasser würde optisch eine Refraktionsverschiebung zur Kurzsichtigkeit bedingen, die Erhöhung des Zuckergehaltes im Glaskörper in der Richtung der Übersichtigkeit wirken, jedoch wäre eine so hohe Konzentration nötig, um den Betrag der beobachteten Übersichtigkeit zu erhalten, daß auch diese Annahme als Ursache auszuschließen ist, von der Geschwindigkeit der Änderung nicht zu reden. ROBERTS spricht auch dem Glaskörper eine Rolle bei dem Wachstum der Hyperopie zu. Da der Zuckergehalt des Kammerwassers nach ASKS Untersuchungen dem Zuckergehalt des Blutes gleichläuft, nicht aber dem des Urines, so hoffte LUNDSGAARD dem Wesen der vorübergehenden Übersichtigkeit bei Zuckerkrankheit mit fortlaufenden Blutzuckerbestimmungen während des Rückganges einer solchen Übersichtigkeit näher zu kommen. In einer daraufhin durchgeführten Beobachtung fand LUNDSGAARD den Blutzucker gehalt erhöht, aber in keinem Verhältnis zum Grad der Übersichtigkeit, bei fast dauernd zuckerfreiem Urin. Am höchsten stand der Zuckerspiegel im Blut, während die Übersichtigkeit fast verschwunden war.

So wird man auf die Linse als den eigentlichen Sitz der Veränderung verwiesen, und es ist zu erwägen, ob die Brechzahl der Linsenmassen erhöht oder die Krümmung der Fläche vermindert sei. Haben WÖLFFLIN und GRÖNHOLM in solchen Fällen die Spiegelbildchen, die die Kernflächen entwerfen, abgeschwächt gefunden und dies als ein Zeichen für die Veränderung des Brechzahlenunterschiedes zwischen Kern und Rinde gedeutet, so konnte dies LUNDSGAARD bei 2 seiner Kranken nicht bestätigen und vermutet, daß die undeutlichen

Bildchen durch zarte Veränderungen der Linsenvorderfläche (Vakuolen, Punkttrübungen) bedingt seien. LUNDSGAARD möchte eine Verminderung der Krümmung der Linsenvorderfläche annehmen. Dazu paßt die angegebene Abflachung der Vorderkammer; die Plötzlichkeit des Eintritts läßt daran denken, daß sich beim Entstehen des Zuckerstars ähnliche Vorgänge abspielen. Jedoch hat E. ENROTH bei zwei Kranken einwandfreie Veränderungen innerhalb der Linsensrinde nachgewiesen. Zunächst vermaßte er die HESSISCHEN Kernbildchen, ebenso wie die Alterskernstreifen an der Spaltlampe; beide kehren nach dem Verschwinden der Übersichtigkeit wieder. Daher ist anzunehmen, daß der Unterschied der Brechzahl zwischen Kern und Rinde in der Zeit der Übersichtigkeit verschwunden gewesen ist. Die Aberration war während der ganzen Zeit beidemale positiv. Später ergänzte E. ENROTH seine klinische Feststellung durch die Ermittlung über den Gehalt des Kammerwassers an Aceton. Der Kammerwassergehalt ist höher als der Blutgehalt und kann wohl auf die Linsensrinde wirken, während ein Einfluß rein durch die Brechzahländerung der Flüssigkeiten nicht in Betracht kommt. Inzwischen ist das Verhalten des Blutzuckers während der Refraktionsänderung beim Diabetes besonders von W. ST. DUKE-ELDER u. a. verfolgt worden. Man schloß, daß sich in ursprünglich emmetropischen Augen bei steigendem Blutzuckergehalt Kurzsichtigkeit, bei sinkendem Übersichtigkeit einstelle, und zwar infolge osmotischer Schwankungen zwischen der Linse und dem Glaskörper (GIFFORD). Die Wasserstoffionenkonzentration im Kammerwasser ist von GOLDSCHMIDT mit der des Plasmas in Beziehung gebracht worden. So richtet sich das Augenmerk in unserer Frage auf Quellungs Vorgänge. A. ELSCHNIG nimmt an, daß kolloidalchemische Vorgänge im Bereich der Zonulafasern der Linse und der Epithelien des Ciliarkörpers wirksam seien.

Das Gegenteil, die *Erhöhung einer Hyperopie* unter den Erscheinungen äußerster Erweichung des Augapfels hat der Verfasser kürzlich beobachtet. Der 29jährige, aufs schwerste ausgetrocknete Mann hatte vor 4 Jahren eine Hyperopie von 4 dptr nach der Schattenprobe, von 3,5 dptr nach dem DONNERSCHEN Verfahren und in dem kranken Zustand 8 bzw. 9 dptr. Die Hornhaut war knitterig, so daß die Messung am Ophthalmometer nicht mehr möglich war. Die Sehschärfe betrug  $\frac{5}{20}$  bis  $\frac{5}{15}$  bzw.  $\frac{2}{50}$  bis  $\frac{2}{35}$ . Diabetes bestand nach Mitteilung der inneren Klinik, der er angehörte, nicht. Auch die Autopsie brachte keine Aufklärung über das Grundleiden.

Daß sich unter der *Wirkung des gesteigerten Augenbinnendruckes* die Refraktion in der Richtung zur Hyperopie hin verändere, ist oft behauptet worden. Indessen hält es SCHMIDT-RIMPLER auf Grund seiner Durchsicht der Veröffentlichungen darüber nicht für erwiesen (S. 564). In 2 Fällen gibt PERCIVAL an, eine Verlängerung des Krümmungshalbmessers der Hornhaut um 0,5 mm gemessen zu haben.

## V. Die Kurzsichtigkeit (Myopie).

### Die physikalisch-optischen Grundlagen für die kurzsichtige Einstellung des Auges.

Geht man von einem (schematischen) Übersichtsauge aus, so kann man sich den Brechungszustand der Kurzsichtigkeit, bei dem die Netzhautgrube (Fovea centralis) auf einen im Endlichen vor dem Auge liegenden Punkt eingestellt ist, aus verschiedenerlei Abweichung entstanden denken:

- A. entweder durch Vergrößerung der Augenlänge oder
  - B. durch Vermehrung der Brechkraft der Flächenfolge.
- Dieser letzte Zustand kann seinerseits bedingt sein durch geeignete Änderung
- I. der Krümmung der Flächen, bestehend
    - a) in einer stärkeren Krümmung
      - 1. der vorderen Hornhaut- oder
      - 2. der vorderen Linsenfläche oder
      - 3. der hinteren Linsenfläche oder
    - b) in einer schwächeren Krümmung der hinteren Hornhautfläche oder
  - II. des Brechungsindex der brechenden Teile.

Die Erhöhung des Brechungsindex des Kammerwassers oder des Linsenkerns und die Verminderung des Brechungsindex des Glaskörpers könnten im genannten Sinn wirken.

III. Eine Verlagerung der Linse nach vorn verkürzt ebenfalls die Brennweite, und gleichzeitig rückt allerdings auch der hintere Hauptpunkt nach hinten. Welche von den aufgezählten Möglichkeiten im Auge verwirklicht ist, wird später zu betrachten sein.

## A. Die häufigsten Formen der Kurzsichtigkeit (Myopie).

### 1. Das Vorkommen der Kurzsichtigkeit.

Durch übermäßige oder unzureichende Akkommodation vorgetäuschte Myopie, *Rhinomyopie*, ist an anderer Stelle (S. 580 u. 696) erwähnt.

**Der Einfluß des Lebensalters.** Die Refraktion und damit auch die Myopie im besonderen ändert sich nach Häufigkeit und Grad mit dem Alter. Wie oben schon ausgeführt, nimmt im allgemeinen die Hyperopie des Neugeborenen ab, geht bei vielen bald in Emmetropie und bei anderen noch weiter in Myopie über.

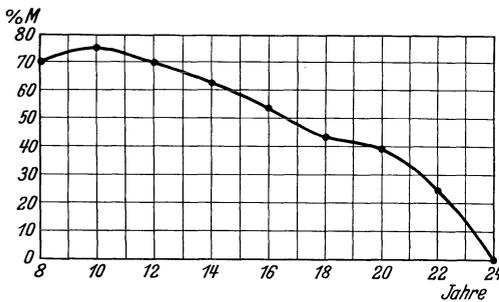


Abb. 98. Die Ordinate gibt an, wieviele der kurzsichtigen Augen der verschiedenen Altersgruppen im Fortschreiten begriffen sind. (Nach O. BLEGVAD.)

Der Eintritt in die Kurzsichtigkeit erfolgt bei den Meisten in der Schulzeit („Schulkurzsichtigkeit“), und das Weiterschreiten hört mit dem 18. bis 20. Jahr auf. Aber es kommt auch ein noch früherer Anfang vor, wie in gewissen Fällen das Fortschreiten bis weit über das Wachstumsalter in spätere Jahrzehnte andauern kann. Meist sind das die hohen Grade. In der Regel erreicht die Schulkurzsichtigkeit nur wenige

Dioptrien. Doch kommen auch in diesem Lebensalter, ja sogar in ganz jungen Jahren, gelegentlich selbst einmal angeboren (N. B. HARMAN [a, b]) hohe Grade von Kurzsichtigkeit vor. MACCOY sah bei einem  $2\frac{1}{2}$ jährigen Weißen — 15 dptr mit Astigmatismus.

Nach den Untersuchungen von O. BLEGVAD, der die von PRIESTLEY SMITH angewandte zeichnerische Darstellung der Entwicklung der Einzelfälle ähnlich wie HEINE und WENTINK weiterführt, nimmt das jährliche Fortschreiten der Kurzsichtigkeit mit den Jahren ab (s. Abb. 99) und ist um so stärker, je höher

der Kurzsichtigkeitsgrad ist. In den Augen, die am frühesten kurzsichtig werden, steigt die Kurzsichtigkeit am steilsten an und erreicht die höchsten Grade und umgekehrt. Das zeigen die Durchschnittskurven der Abbildung. Um wieviel die Kurzsichtigkeit im Jahr durchschnittlich zunimmt, hängt vom Lebens-

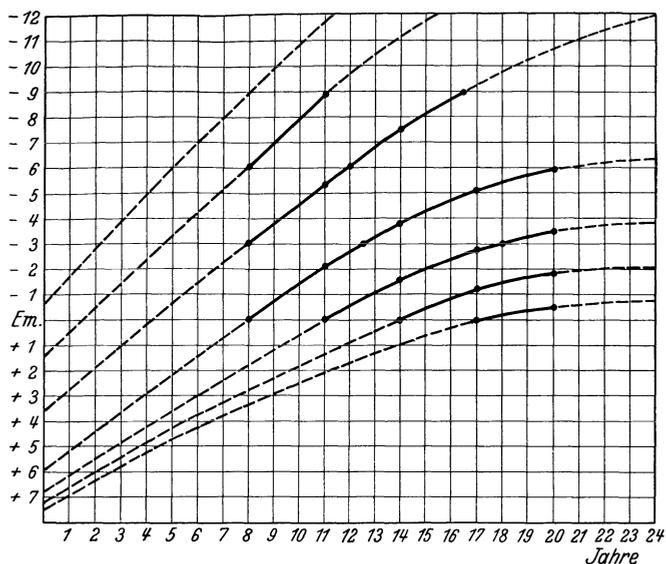


Abb. 99. Das durchschnittliche Steigerungsmaß der Kurzsichtigkeit, abhängig vom Lebensalter und dem Grad der Kurzsichtigkeit. (Nach O. BLEGVAD.)

alter ab (s. Abb. 99 u. 100). Schließlich zeigt Abb. 98 die Häufigkeit des Zunehmens an und welchen Grad die Myopie im Durchschnitt erreicht.

Eine wahrscheinlich angeborene Art der Kurzsichtigkeit haben BRÜCKNER und FRANCESCETTI mit einer Reihe kennzeichnender Merkmale aus der großen Masse der übrigen Myopieen herausgehoben, nachdem M. BARTELS gleichfalls auf die hochkurzsichtigen Augen in den ersten Lebensjahren aufmerksam gemacht hatte.

Über die Häufigkeit der Kurzsichtigkeit bei Kindern und jungen Leuten liegen zahlreiche Erhebungen in Schulen und bei Musterungen vor. Beispielsweise waren nach FLORSCHÜTZ in Koburg beim Eintritt in die Schule 7<sup>0</sup>/<sub>10</sub> der Kinder kurzsichtig und im 10. Schuljahr 59<sup>0</sup>/<sub>10</sub>. In höheren Schulen und innerhalb dieser wieder in den oberen

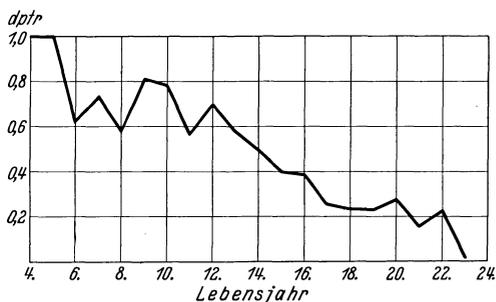


Abb. 100. Die durchschnittliche Zunahme der Kurzsichtigkeit in den verschiedenen Lebensjahren auf Grund der BLEGVAD'schen Zahlen.

Klassen steigt der Hundertsatz erheblich an. Je höher das Schulgeld desto größer ist die Zahl der Myopen einer Schule (A. N. DINGER, s. auch S. 554). H. COHN (d) fand in Dorfschulen 1,4<sup>0</sup>/<sub>10</sub>, in Stadtschulen 6,7<sup>0</sup>/<sub>10</sub>, in zwei Gymnasien 26,2<sup>0</sup>/<sub>10</sub> und in der Prima allein 55,8<sup>0</sup>/<sub>10</sub>, im Mittel vieler deutscher Gymnasien sogar 58<sup>0</sup>/<sub>10</sub> Kurzsichtige. Ähnliche Zahlen teilt DOR aus Bern mit. E. NETOLICZKA ermittelte in Graz unter den Realschülern 33,45<sup>0</sup>/<sub>10</sub> und unter Gymnasiasten

35,2<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Kurzsichtige. Sonst stellen die Gymnasien mehr Kurzsichtige als die Realschulen. Eine Übersicht liefert STRAUB (a).

Man hat die Zunahme der Kurzsichtigkeit mit den Anforderungen der Schule an Naharbeit in ursächlichen Zusammenhang gebracht, darauf hinweisend, daß die obigen Zahlen der Kurzsichtigen in den gleichen Altersstufen wachsen, je höher die Schule sei. Daß hier ein Fehlschluß vorliegt, hat sich erwiesen. Die Ursache der Unterschiede liegt in der verschiedenen Zusammensetzung der Schulen hinsichtlich der Standeszugehörigkeit der Eltern. Schon 1885 hat L. WEISS (e) damit die Feststellung erklärt, daß die Mannheimer Gymnasialklassen weniger Kurzsichtige aufs Hundert bargen, als COHN gefunden hatte, und weniger als das nahe Heidelberg. Die Abhängigkeit der Ergebnisse solcher statistischer Ermittlungen von der Bevölkerungsschicht, aus der die Untersuchten stammen, wird sehr schön an STUBBES Aufstellung gezeigt. Er ermittelte in Fortführung der GÄRTNERSCHEN und SPEIDELSCHEM Arbeiten die Häufigkeit der Kurzsichtigkeit unter den Tübinger Theologiestudenten und schied sie nach dem Grad des Fehlers und nach der Konfession. Ein Unterschied zeigt sich erst bei den Kurzsichtigkeiten über 10 dptr, und zwar fanden sich solche zu 0,4<sup>0</sup>/<sub>0</sub> unter den Katholischen und zu 3,9<sup>0</sup>/<sub>0</sub> unter den Evangelischen. Bei nahezu gleichen Anforderungen des Bildungsganges war die Quelle des Unterschiedes eindeutig in der Herkunft der beiden Gruppen nachzuweisen, indem die Evangelischen vorzugsweise Söhne von Lehrern, Beamten und Geistlichen, die Katholischen meist Bauern- und Handwerkersöhne waren. Diese Verhältnisse spielen nach O. HEINONEN (h) bei der Minderung der Kurzsichtigkeit unter den Schülern in Schweden mit, die ASK (c, d) festgestellt hat.

Eine **Bevorzugung des einen Geschlechts** ist nach den zuverlässigen STEIGERSCHEN Zahlen mindestens für die Schulzeit ausgeschlossen. Bei hochgradig kurzsichtigen Erwachsenen wird nicht selten ein Überwiegen des weiblichen angegeben, unter anderen von SCHLEICH (a), TSCHERNING (b), WIDMARK (a), BJERRUM (b), HORSTMANN (b), PFLÜGER, PROSKAUER, SIEBENLIST, O. WITTE, WILSON (b), N. B. HARMAN (a). Nach O. BLEGVADS (b) sorgfältiger Zusammenstellung, die 2643 Kurzsichtige aus einem Bestand von 50000 Sprechstundenbesuchern umfaßt, überwiegen bei den höheren Graden über 6—7 dptr die weiblichen, bei den niedrigeren die männlichen. FRANZ fand unter 126 Kurzsichtigen über 12 dptr bei Kindern unter 14 Jahren keine Bevorzugung der Mädchen. Unter 4800 Schulkindern zwischen 5 und 16 Jahren waren nach A. S. TENNER die kurzsichtigen Knaben zahlreicher als die Mädchen. Von den Folgezuständen der Kurzsichtigkeit sollen nach BLEGVAD weibliche Augen häufiger befallen werden. Für die Veränderungen der Macula gibt dies auch SCHWEIZER an. STEIGER (c) warnt nachdrücklich vor Täuschungen.

**Verteilung der Myopie unter den Völkern.** Die Frage, wie sich die Häufigkeit der Kurzsichtigkeit bei den verschiedenen Kulturvölkern verhält, ist viel erörtert worden. Die Mitteilungen sind sicherlich oft keineswegs vergleichbar.

In Schweden ist die Häufigkeit nach ASK (c, d) bzw. HEINONEN schon von A. KEY niedriger gefunden worden als in Deutschland. Inzwischen sei sie weiter gesunken. Nach den Aufstellungen von F. ASK (a) steigt die Häufigkeit der Kurzsichtigkeit in sämtlichen höheren Schulen Schwedens pro Klasse nur von 4,95<sup>0</sup>/<sub>0</sub> im 11. auf 22,6<sup>0</sup>/<sub>0</sub> im 19. Lebensjahr, nämlich im 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. etwa

um 0,8 1,7 1,9 3,2 3,5 3,1 2,2<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

NICATI (a) fand in südfranzösischen Grundschulen 8<sup>0</sup>/<sub>0</sub> kurzsichtige Knaben und 7,8<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Mädchen, hingegen in einem Marseiller Gymnasium 35<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Kurzsichtige, DOR in Lyon 22,4<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. DESPAGNET sah in einem Pariser Gymnasium vom 7. zum 22. Lebensjahr ihre Häufigkeit von 10 auf 72<sup>0</sup>/<sub>0</sub> und ihre Durchschnittsgrade von 1 auf 3,5 dptr steigen. Im Amsterdamer Gymnasium zählten STRAUB (a), VAN DER MEER 36<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. ERISMANN gelangte bei seinen Erhebungen in Rußland zu eben so großem Hundertsatz, wie er von Deutschland schon durch COHN bekannt geworden war. REICHS Zahlen weisen unter Russen, Armeniern und Georgiern

keine nennenswerten Unterschiede auf. Nach M. MEYERHOF (b, c, d) ist die Kurzsichtigkeitsziffer in Ägypten trotz geringer Naharbeit der Bevölkerung eben so groß wie in den meisten damit belasteten Ländern Europas, während *Nubier* und *Sudanesen* fast frei von Kurzsichtigkeit seien. Daher wird eine Rassenveranlagung angenommen. In *Westindien* ist die Kurzsichtigkeit ebenso stark verbreitet wie in Europa, Astigmatismus aber bedeutend seltener (VAN TROTSENBURG). Bei *Negern* soll hohe Übersichtigkeit häufiger sein als Kurzsichtigkeit (s. DRUAULT-TOUFESCO). Über *Neuguinea* s. W. WICK (a).

Nach A. S. TENNER nimmt die Häufigkeit der Kurzsichtigkeit bei Knaben in der Reihenfolge Deutsche, russische Juden, Amerikaner, Iren ab. Daß in dieser Frage die besondere Stellung der Juden als die eines alten und verhältnismäßig einheitlichen Volkes Aufmerksamkeit fand, ist nicht verwunderlich. NICATI (a) berichtet für die Marseiller Grundschule von sehr erheblichem Überwiegen der Juden. L. WEISS (e) gewann hingegen für Juden und Nichtjuden übereinstimmende Zahlen. GALLUS (b) fand bei Juden überhaupt häufiger Refraktionsfehler als bei Christen. KIRCHNER sah in Berlin an 2 Gymnasien keinen Unterschied zwischen Juden und Nichtjuden. S. STEPHENSON hingegen berichtet von 10,6% jüdischen und nur 1,2% nichtjüdischen Kindern mit kurzsichtigen Augen in Londoner Schulen. Neuerdings hat K. PEARSON mit M. MOUL in einer sehr eingehenden Untersuchung in England unter eingewanderten russisch-polnischen Juden ebenfalls überwiegende Häufigkeit der Kurzsichtigkeit gefunden im Vergleich zu den Engländern.

Kommen in den oben angeführten Aufstellungen in der Häufigkeit der Kurzsichtigkeit die Verschiedenheiten nach Alter, Gesellschaftskreis, Herkunft (GÄRTNER, SPEIDEL, E. STUBBE) zum Ausdruck, so erklären sich Widersprüche — an solchen fehlt es nicht — in den Ergebnissen von Untersuchungen, die den gleichen Boden mit dem gleichen Ziel bearbeiteten, sehr oft durch die Ungleichartigkeit des Untersuchungsverfahrens und der ungleichen Untersuchungsgenauigkeit. Wo es sich um völkische Eigenarten dreht, ist die Beschaffung eines reinen, wirklich vergleichbaren Menschenbestandes oft sehr schwierig oder unmöglich. Darum ist der Vergleich dieser Feststellung bei alten Kulturvölkern mit den entsprechenden Befunden bei Naturvölkern sehr wertvoll. Wenn überhaupt, so kann bei diesen letzteren erwartet werden, daß der Einfluß der Auslese deutlich wird. Die meisten Angaben beruhen auf kleinen Zahlen. Doch scheint bei Naturvölkern von Refraktionsfehlern nicht nur die Kurzsichtigkeit, sondern auch die Übersichtigkeit und der Astigmatismus wesentlich seltener vorzukommen als bei Kulturvölkern. Das gilt für Indianer und Neger verschiedener Art. Die Wirksamkeit der Auslese wird man kaum bestreiten können. Bei den Mischlingen schleichen sich natürlich mehr Fehler ein (vgl. die Zusammenstellung von STEIGER [i]). WIESERS Befund an Sudanern stimmt damit überein (s. o. S. 563).

**Progreidente Myopie.** Auch weit bis jenseits des Wachstumsalters schreitet die Kurzsichtigkeit in manchen Fällen, und zwar meist den hochgradigen, fort. Gelegentlich aber entwickelt sie sich oder beginnt auch erst in dieser Zeit weiterzuschreiten. Einzelne Fälle bieten gleichzeitig auffällige Änderungen im Allgemeinzustand (SONDER, PRIESTLEY SMITH, BATEN). BECKER sah bei einem 41jährigen, der in seiner Dienstzeit bei der Marine ein guter Schütze gewesen war, eine Zunahme von 6 auf 7 dptr bzw. 9 dptr im Zustand einer Malariakachexie, WIRTZ bei einem Athleten mit Fettsucht und Kropf vom 25. zum 36. Jahr eine Zunahme von 4 auf 6 dptr. Auch auf die Entstehung in der Kindheit soll der Allgemeinzustand nach KUBLI einen Einfluß haben.

Die Frage nach den höchsten Graden der Kurzsichtigkeit, die vorkommen, ist deshalb schwer zu beantworten, weil meistens nur die Glasstärke mitgeteilt wird, aber nicht der Abstand des Glases vom Auge oder statt dessen der Hauptpunktsbrechwert. Daher lassen sich die Zahlen nicht vergleichen. Man ist auf Schätzung angewiesen. Kurz nach dem Krieg wurde z. B. von M. W. B. OLIVER berichtet, daß er eine Kurzsichtigkeit von — 60,0 dptr beobachtet habe. Die Angabe beruht auf der Bestimmung mit der Schattenprobe. Nimmt man an, daß der Wert der Linsenverbindung, eine solche wird doch verwendet worden sein, den bildseitigen Scheitelbrechwert bedeutet, ferner daß der augenseitige

Glasscheitel zwischen 8 und 20 mm vom Hornhautscheitel, bzw. zwischen 9,3 und 21,3 mm vom dingseitigen Augenhauptpunkt entfernt gewesen sei, so würde in diesen Grenzstellungen mit der Zahl 60 dptr ein Hauptpunktsbrechwert im Auge von  $-38$  oder  $-26$  dptr gekennzeichnet sein. Der Fernpunkt lag um 25 oder 37 mm vom Hornhautscheitel ab. Das würde nicht viel von dem von mir selbst beobachteten Glaswert von  $D = -40$  dptr ( $d=12$ ) abweichen. K. REHSTEINER und N. B. HARMAN (b) erwähnen auch 40 dptr, dieser sogar bei einem Schulkinde (s. o.). Die Kurzsichtigkeit, und gerade die hohe, kann sich gar nicht selten in dem einen Auge ganz unabhängig vom anderen entwickeln (A. O. PFINGST). Unterschiede von 10 dptr und mehr zwischen einem Auge und seinem Partner, zumal mit *Sclectasia circumscripta postica totalis* u. a. sah STREBEL.

## 2. Der Bau des kurzsichtigen Augapfels.

### Der Befund am lebenden Auge.

**Der vordere Augapfelabschnitt.** Im Leben fallen manche hochgradig kurzsichtigen Augen dadurch auf, daß sie wegen ihres großen Ausmaßes, insbesondere ihrer Länge, mehr vorstehen als andere, und daß die Lidspalte weiter ist. Als Beispiele werden häufig Friedrich der Große und Goethe genannt. Indessen ist diese Erscheinung durchaus *nicht* die Regel, da sich ja oft genug hohe Kurzsichtigkeit bei durchschnittlicher Augenlänge findet (GALLUS, TRONS Refraktionsmyopie). Viele Kurzsichtige zeigen im Gegenteil enge Lidspalten, wenn sie sich durch Kneifen ihr Sehen ohne Glas zu verbessern suchen. Die *Hornhautkrümmung* ist im Durchschnitt etwas stärker als bei Nichtkurzsichtigen. Daß aber die *Hornhautkrümmung* nicht etwa maßgebend für die Refraktion sei, mag noch einmal hervorgehoben werden (J. MÄCHLER) (s. Refraktion S. 559 f.).

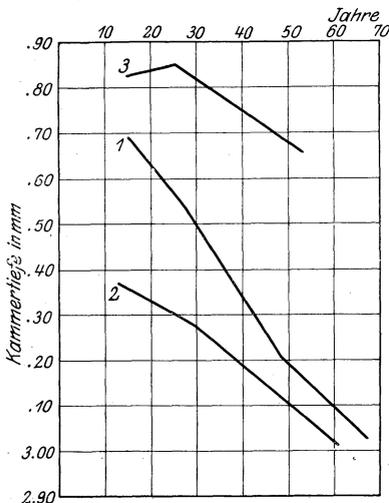


Abb. 101. Die Abhängigkeit der Kammertiefe vom Lebensalter, 1 bei Emmetropen, 2 bei Hypermetropen, 3 bei Myopen. (Nach J. G. RAEDER.)

Die *Tiefe der Vorderkammer* ist im Durchschnitt größer als bei Nichtkurzsichtigen (J. G. RAEDER, Abb. 101, s. a. S. 504).

Die *Pupillenweite* ist bei schwachen und mittleren Kurzsichtigen nach MIYASHITA viel größer als bei Rechtsichtigen (Emmetropen); auch bei starker Kurzsichtigkeit ist sie meist größer; erst bei 13 dptr ist sie durchweg kleiner als bei gleichaltrigen Emmetropen. Das zeigt die Zusammenstellung MIYASHITAS.

Pupillenweite in Millimetern angegeben.

Myopie in D	Alter					
	1—9	10—19	20—29	30—39	40—49	über 50
0,5— 2,0	—	5,4	5,5	5,0	(6,0)	(5,8)
2,5— 6,0	5,5	5,5	5,6	4,7	(5,8)	(5,5)
6,5—12,0	4,8	5,7	5,4	4,0	(5,8)	(5,5)
13 D u. mehr	5,5	4,5	4,7	4,1	(4,5)	(3,5)
Emmetrop . .	4,70	5,05	4,96	4,60	4,28	4,45

MATSUO fand dagegen keine solche Abhängigkeit. Der  $\gamma$  ist i. a. klein.

Der Binnendruck des hochgradig kurzsichtigen Auges ist von A. LACROIX in einem Drittel seiner Messungen zu niedrig (unter 15 mm nach SCHIÖTZ),

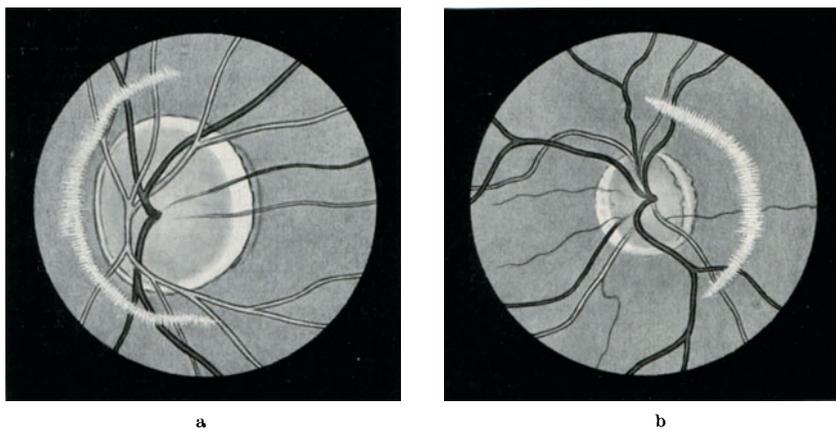


Abb. 102. Der Weissenbachsche Reflexbogenstreifen. (Nach L. WEISS.)

bei den übrigen nie über 25 mm gefunden worden (90 Augen). Auch CASO berichtet über ähnliche Ergebnisse. KRAUPA macht auf beträchtliche Druckschwankungen aufmerksam und daß ein Druck innerhalb der „normalen“ Grenzen regelrechter Augen für das myopische schon Hochdruck bedeuten kann.

**Myopie und Astigmatismus.** Kurzsichtige Augen sind häufig astigmatisch. Es steht nach STEIGERS (a) einwandfreien Untersuchungen fest, daß Kinderaugen mit Astigmatismus in größerer Zahl kurzsichtig werden als andere nicht astigmatische. Wenn jedoch behauptet worden ist, die Kurzsichtigkeit sei Folge des Astigmatismus (BECKERS, E. FEDERICI, E. H. OPPENHEIMER u. a.), so trifft das nicht zu. Beides sind gleichgeordnete, irgendwie miteinander verknüpfte Erscheinungen. Man sehe dazu ferner die variationsstatistischen Arbeiten von PEARSON und MOUL, sowie CZELLITZER (b) und TRON.

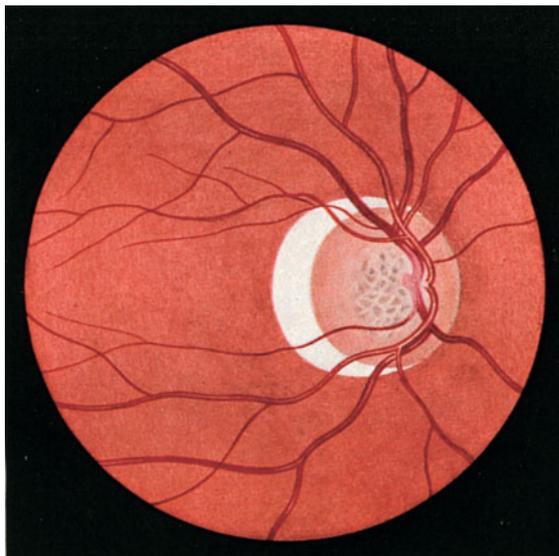


Abb. 103. Ein rein weißer Conus myopicus. (Nach A. STEGRIST.)

**Veränderungen am Augenhintergrund.** Im kurzsichtigen Auge zeigt uns der Augenspiegel in einer langen Reihe nach Form und Farbe mannigfacher Zustände alle Übergänge vom völlig regelrechten Befund an, der sich nicht von dem emmetropischer und schwach hypermetropischer unterscheidet, bis zu den allerschwersten Veränderungen. Eine Anschauung dieses Formenreichtums geben Abb. 102—139, 142—147 und 156.

*Der WEISSISCHE Reflexbogenstreifen.* Beginnen wir hier mit dem WEISSISCHEN Reflexbogenstreifen, so ist das lediglich der Ausdruck einer besonderen Innen-

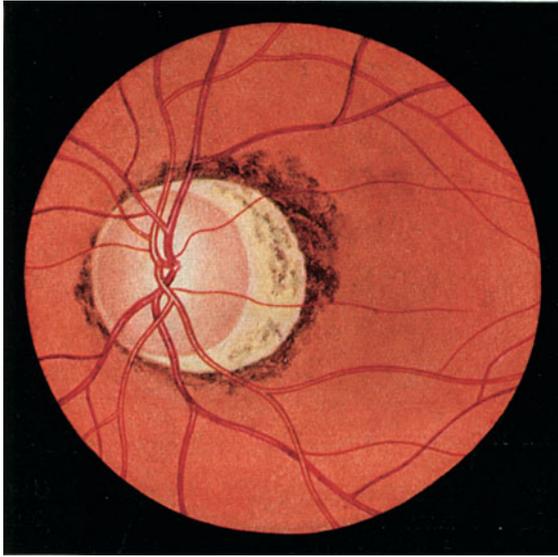


Abb. 104. Ein gelblicher Conus myopicus mit Pigmentresten und Pigmentwucherung außen davon. (Nach A. SIEGRIST.)

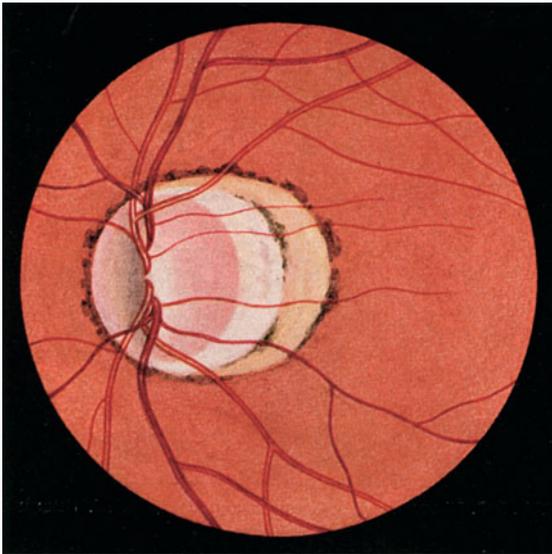


Abb. 105. Zwei verschiedenartige, aneinander anschließende Coni. (Nach A. SIEGRIST.)

einer stetig gekrümmten, scharfen oder auch unregelmäßig und mehr oder

flächengestaltung der Netzhaut, die den Übergang zum kurzsichtigen Bau des Auges verrät. Er umkreist meist den nasalen Sehnervenrand in kleinerem oder größerem Abstand als silberglänzende Linie (Abb. 102, 112, 114, 115).

*Sichel oder Bügel (Conus).* Am häufigsten findet man den „kurzsichtigen“ Bügel der Abb. 103, 115, 116. Er ist übrigens kein Beweis für Kurzsichtigkeit, da er einerseits auch in nichtkurzsichtigen Augen vorkommt, andererseits in kurzsichtigen fehlen kann. Es handelt sich dabei um eine einfache, sehr verschieden breite, ganz weiß oder rötliche Sichel unmittelbar an der Schläfen- seite der Sehnervenscheibe, oder es finden sich in einem hellen mehr oder weniger gelben Gebiet noch Pigment-, auch Aderhautgefäß- reste<sup>1</sup>, und außerhalb davon Pigmentansammlungen von unregelmäßiger Form mit scharfen Grenzen gegen den hellen Conus (Abb. 104 u. 105). Ein gelbroter Conus kann dem weißen nach der Schläfen- seite hin, unter Umständen auch noch ein mehr oder weniger vollständiger Pigmentring weiter draußen folgen (Abb. 105) (s. a. H. RÖNNE: Bd. 5, S. 616 f.). Statt des regelmäßigen, sichel- bis halbmondförmigen Conus erscheint oft ein die ganze Sehnervenscheibe umfassender ringförmiger weißlicher Hof mit

<sup>1</sup> In einem Fall hat der Verfasser an einem solchen Gefäß, das die Aderhaut in kurzer Entfernung vom Sehnervenrand durchsetzte, systolische Pulsationen beobachtet (s. a. W. THORNER, SACHS, F. GUTFREUND).

weniger unscharf auslaufenden Grenze (Abb. 106, 120, 121, 125, 135). Eine nächste Stufe ist die landkartenartig unregelmäßige Form des Aderhautschwundes um die Sehnervenscheibe herum, die sich nicht selten auf die Gegend der Macula, sogar darüber hinaus, erstreckt (Abb. 107, 134, 138 und 139). Sie zeigt reine weiße oder mit Pigmentflecken verschiedener Größe, Dichte, Form und Verteilung eingefasste oder durchsetzte Flächen. Größere oder kleinere, vereinzelte oder vielfache, inselförmige weiße oder mit Farbstoffflecken oder -säumen versehene Herde kommen vor (Abb. 109, 110, 119 und 134).

Mit oder ohne Conusbildungen gehen Formveränderungen der Sehnervenscheibe selbst einher. Ist auf der einen Seite des Sehnerven die Lederhaut entblößt, so ragt dafür gelegentlich über den nasenseitigen Rand eine sichelförmige Gewebefalte herein, manchmal sogar den Gefäßursprung verdeckend: *nasale Supertraktion* (Abb. 116 und 156).

Neben dem Sehnerven wird die *Maculagegend* oft genug in eigener Weise heimgesucht. Wieder bieten sich sehr wechselvolle Bilder, sei es eine einfache Aufhellung, Verdünnung der Aderhaut und des Pigmentepithels ziemlich gleichmäßiger Art auf große Strecken hin, seien es feine Pigmentverschiebungen, lacksprungartige Veränderungen (SALZMANN, Abb. 117),

einzelne oder netzförmige helle Linien, Sprenkelungen, kleine Pigmentherdchen, einzelne oder zahlreiche große oder kleine, scharf begrenzte, oft rundliche,

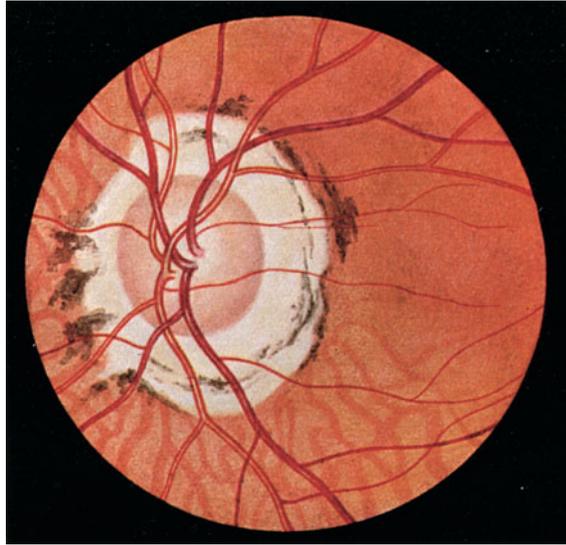


Abb. 106. Ein ringförmiger Conus. (Nach A. SIEGRIST.)

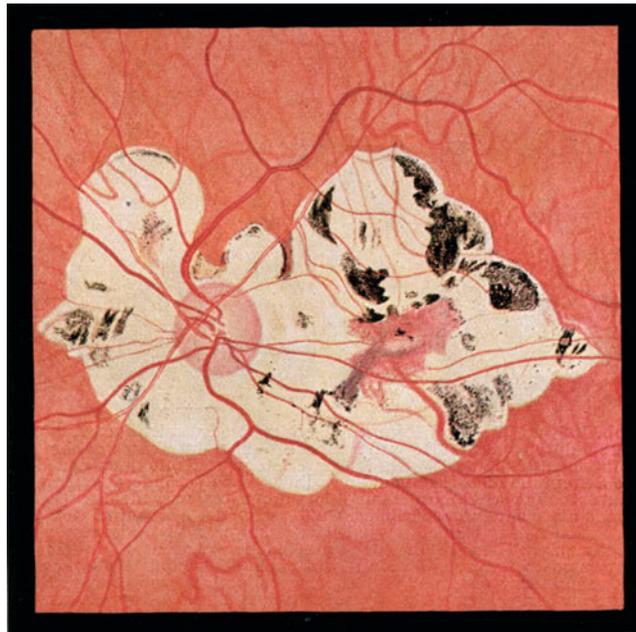


Abb. 107. Ein ringförmiger, in unregelmäßiger Form auf die Maculagegend übergreifender Conus. (Nach A. SIEGRIST.)

inselförmige oder ganz unscharfe und unregelmäßige rein weiße Stellen. Solche Veränderungen können auch einen Farbstoffsaum führen, selten sind sie ganz schwarz gefärbt. Die Grundlage bildet die Sklerose der Aderhautgefäße hinter der Maculagegend (Abb. 108—110, 118, 119, 132, 133 und 139).

Eine sehr ernste, für das deutliche Sehen verhängnisvolle Erscheinung besonderer, von der bisher geschilderten verschiedener Art ist eine Pigmentablagerung

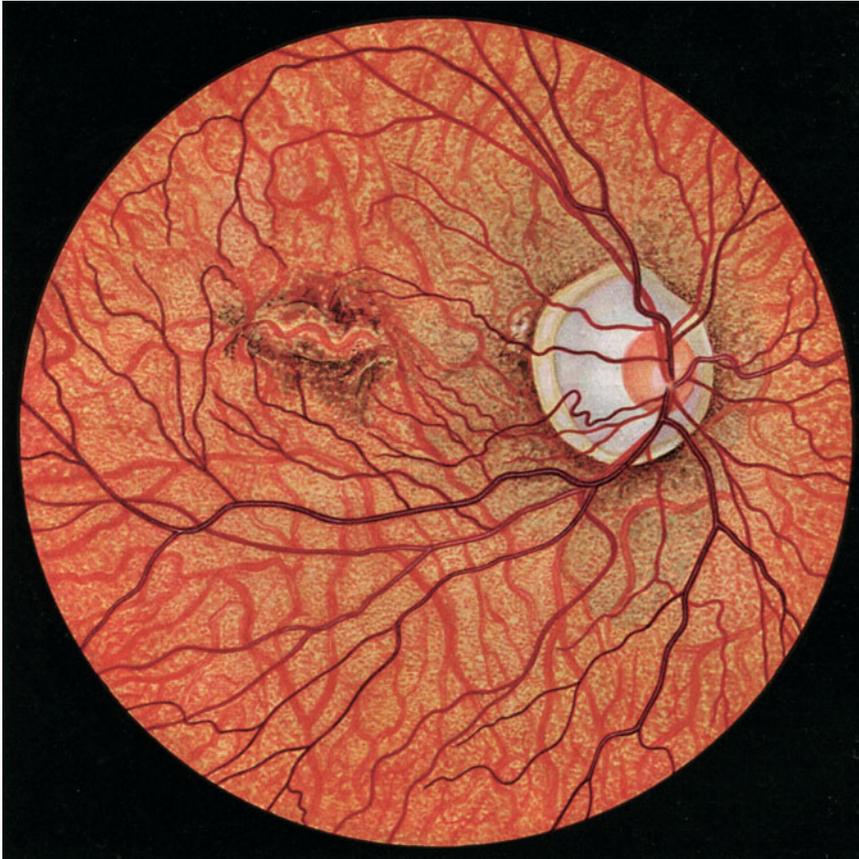


Abb. 108.

Abb. 108 u. 109. Die Hintergrundbilder des kurzsichtigen Augenpaars einer 39jährigen Frau. Mit  $-12,0$  dptr rechts S 5/15 und links mit  $-20,0$  dptr Fingerzählen in 1 m. Links reichlich Glaskörpertrübungen. Beiderseits sehr heller Hintergrund mit ganz deutlichen Aderhautgefäßen bis weit in die Seitenteile hin. Rechts mäßige, links grobe Veränderungen am hinteren Pol. Rechts ringförmiger hauptsächlich schläfenwärts und dort doppelter, ausgedehnter Conus circularis. Links etwas breiterer Conus als rechts mit spärlichen Gefäßresten der Aderhaut. Getrennt davon einige kreisrunde weiße Fleckchen. Ein Gebiet ausgedehnter schwerer Veränderungen ist der hintere Pol. Darin lassen sich mehrere Bezirke deutlich voneinander abgrenzen, in denen jeweils sehr verschieden dicke Gewebsschichten zerstört sind, von einem Schwund des Pigmentepithels und der Choriocapillaris bis zum nahezu restlosen Verlust aller weiteren Gewebe bis zur Sklera. Die Mitte nimmt ein dichter grauschwarzer Pigmentherd ein, mit dem streifen- bzw. netzförmige Farbstoffablagerungen der beiden schläfenwärts liegenden Teilherde im Zusammenhang stehen.

in der Mitte der Maculagegend, der *schwarze FÖRSTER* (a)-*FUCHSISCHE* (b) *Fleck* (Abb. 109, 146 und 147) (F. SCHIECK, dieses Handbuch, Bd. 5, S. 560, Abb. 123).

Der Eindruck der Dehnung, der sich schon beim Anblick des beginnenden schläfenseitigen Bügels einstellt, wird in besonderer Weise verstärkt

durch den gestreckten Verlauf der Netzhautgefäße (s. Abb. 122—125, 129, 132, 133, 138, 139). Gelegentlich scheinen die nasalen Aderhautabschnitte stärker zu leiden (Abb. 126—131).

Das *Staphyloma posticum verum* ist schon von A. v. GRAEFE beobachtet und von L. WEISS (f), CASPAR, STREBEL, HARMAN (a), F. OTTO (a) u. a. näher untersucht worden. Es handelt sich um eine eigenartige umschriebene, mindestens nach einer Seite hin in scharfen Bogenlinien abgesetzte wirkliche Ausbuchtung der Lederhaut nach hinten, die sich im Spiegelbild, abgesehen von den

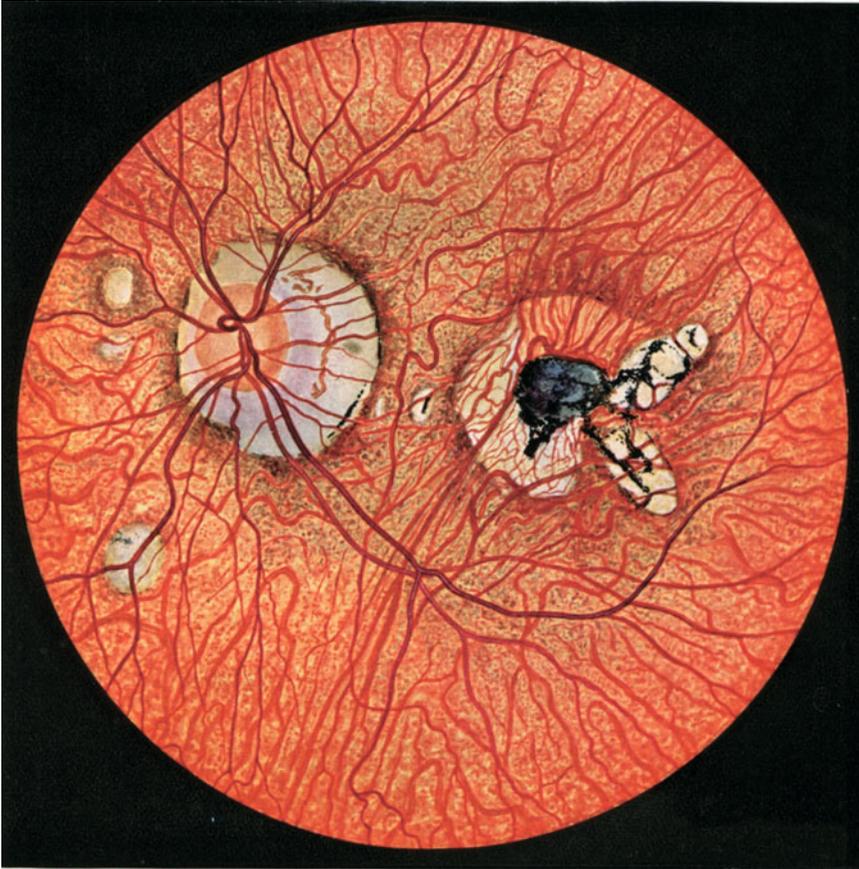


Abb. 109.

Refraktionsunterschieden durch das scheinbare Abknicken bzw. Verschwinden der Netzhautgefäße an den Grenzen und die Schattenbildung zu erkennen gibt. Nicht selten folgen sich innerhalb des großen Ringes noch mehrere engere Ringstufen mit meist immer hellerer und hellerer Färbung der eingeschlossenen Gebiete und deutlicher sichtbaren Aderhautgefäßen. In der Regel ist die Kurzsichtigkeit dabei sehr hohen Grades und von Conusbildung begleitet (s. Abb. 89, 111, 142—145, 149 u. 152). Nur diese Bildung verdient heute den Namen des *Staphyloma posticum*, der früher auch für einfache Conusbildungen gebraucht wurde.

Statt rein schläfenwärts können Coni auch mit allen Übergängen nach unten und schließlich auch rein nasenwärts gerichtet sein (E. FUCHS [a, c]),

wobei sich der Gefäßursprung entsprechend verändert, so daß man den Eindruck hat, als ob sich die Papille gegen den übrigen Hintergrund gedreht hätte (Abb. 166—169, S. 658) (s. a. H. RÖNNE, dieses Hdb. Bd. 5, S. 617, Abb. 2—4).

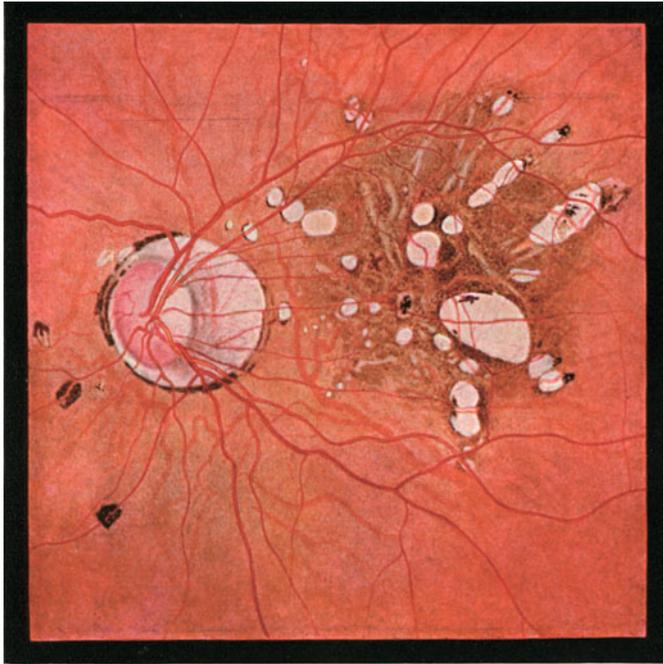


Abb. 110. Conus myopicus und Veränderungen in der Gegend des hinteren Pols in Gestalt zahlreicher kleinerer und größerer weißer Einzelherdchen, in denen das Aderhautgewebe ganz oder fast ganz geschwunden ist, in Gestalt verschiedenartiger Pigmentveränderungen, Verschiebungen, Wucherungen und Lücken (Lacksprünge). (Nach SIEGRIST.)

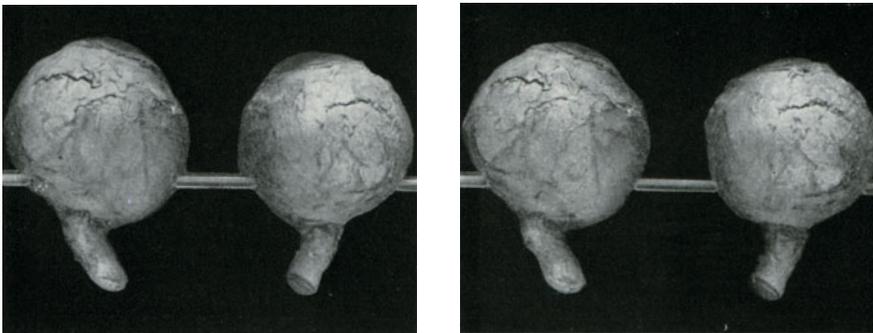


Abb. 111. Staphyloma posticum nach innen vom Sehnerven. Das rechte Auge hat regelrechte Maße und Form. Das linke ist etwas größer (25,5 mm lang). Unmittelbar hinter dem Äquator wird die Sklera der medialen Augapfelhälfte dünner, bläulich durchscheinend und in Form eines Buckels ausgedehnt. Er liegt etwas nach unten vom waagrechten Durchmesser. Conus nasalis. (Stereogramm nach A. ELSCHNIG 5; s. a. Graefes Arch. 51 III, 423.)

A. SZILI sen. (a, b) hat dann darauf hingewiesen, daß zum Conus nach unten als kennzeichnend noch die Verdünnung der Aderhaut im Anschluß an den Conus und in den meisten Fällen eine stärkere Ausbuchtung dieses Hintergrundteiles um 5—6 und mehr Dioptrien im Vergleich zu dem symmetrischen oberhalb der Papille gehört. H. RÖNNE hat die Ausbuchtung des Hintergrundes in der

Conusrichtung durch die Refraktionsbestimmung nachgewiesen. Er fand im aufrechten Bild in der Macula — 1,0 dptr, auf der Sehnervenscheibe — 5,0 dptr und 5 bis 6 Papillendurchmesser) weiter nasenwärts — 10,0 bis 11,0 dptr. Dort bestand Aufhellung des Hintergrundes. In einem zweiten Fall waren die Refraktionsverhältnisse ähnlich (— 5,0 bis 6,0 dptr, — 10 bis — 12 bzw. rund — 18,0 ohne Conus, aber mit Typus inversus der Gefäße). Nach A. v. SZILY kann diese Ausbuchtung weiterschreiten wie sonst die schläfenseitige bei hoher Kurzsichtigkeit. Siehe ferner E. FUCHS (c). Im Einklang hiermit steht, das mag hier vorausgenommen werden, der von A. ELSCHNIG (e, g) und M. SALZMANN (b) geführte anatomische Nachweis, daß auch die Lederhaut in diesem Gebiet verdünnt ist, was schließlich SYMENS auch für den Conus nach innen zu ergänzen sucht (s. auch das Stereoskopbild Abb. 111, S. 594 von A. ELSCHNIG [f] [Taf. 5 der 1. Lieferung] für einen reinen Fall von Conus nach innen ohne Astigmatismus.

Auch in emmetropischen und hyperopischen Augen kann sich ein Conus an der Sehnervenscheibe finden, und zwar (THOMSON, T. KRETZ) meist mit einem Astigmatismus verbunden, dessen stärker brechendem Hauptschnitt gleichgerichtet. Die Conusentstehung deutet MARTIN so, daß der Ciliarmuskel den Astigmatismus durch eine umschriebene Zusammenziehung auszugleichen strebe und einen einseitigen Zug auf die Aderhaut ausübend sie an einer Seite der Sehnervenscheibe zum Schwinden bringe. Stehen dieser Auffassung andere, insbesondere entwicklungsgeschichtliche Gründe entgegen, so stimmt auch die von E. FEDERICI und G. MENESTRINA bestätigte Tatsache nicht dazu, daß nämlich der bei hoher Kurzsichtigkeit häufige Astigmatismus gegen die Regel (er erreicht  $9\frac{1}{4}\%$  gegen  $1,93\%$  in nicht kurzsichtigen Augen) zwar mit einer Sichel verbunden sei, daß diese aber nicht nach oben oder unten, sondern überwiegend schläfenwärts läge. WORTONS 30 kurzsichtige Leute waren ausnahmslos astigmatisch. Die Richtung des Conus fiel immer mit dem Meridian größter Brechung zusammen.

**FÖRSTER-FUCHSISCHER FLECK.** Eine Sonderstellung nimmt der *schwarze Fleck* ein, den FÖRSTER (a) (angeführt nach FUCHS) 1862 zuerst beschrieben hat. Das klinische Verhalten schildert E. FUCHS (b) eingehend. Begleitet von Metamorphopsie und unter Ausbildung eines zentralen Skotoms sinkt die Sehschärfe schnell. Ein fast kreisrunder Fleck liegt in der Netzhautgrube. Er erreicht Papillengröße, selten mehr und unterliegt sehr langsamen Veränderungen. Diese sind dreierlei Art, nämlich „Vergrößerung, Aufhellung und Bildung einer atrophischen Zone ringsherum“ (Abb. 146 u. 147, S. 607). Er kann Graphitglanz zeigen. Die Mitte hellt sich manchmal auf, wird später selbst weißlich oder bläulich-weiß, doch kommt in der Mitte weder Aderhaut noch Lederhaut zum Vorschein. Dagegen wird durch Pigmentepithelschwund am Rand die Umgebung lebhafter rot. Schließlich fand sich dort auch noch Aderhautausfall. Die Kranken stehen meistens im 4.—5. Lebensjahrzehnt und sind etwa 12 dptr kurzsichtig; oft haben sie eine große ringförmige Aderhautatrophie. Die anatomische Grundlage ist nach E. LEHMUS eine starke Verdickung des Pigmentepithels, das unmittelbar daneben ringsherum fehlt bei unveränderter Aderhaut. Über dem Pigmentepithel des Herdes beschreibt sie eine gelatinöse Masse.

Im Gegensatz zu dem FUCHSISCHEN schwarzen Fleck beruht der von T. H. BUTLER, K. STARGARD, A. BIETTI beschriebene *grüne* auf der Wucherung unpigmentierter Epithelzellen.

Einen Fall von doppeltem zentralem schwarzem Fleck bei Kurzsichtigkeit hat P. KRONFELD beschrieben.

Wir haben es also mit Gebilden zu tun, die sich unmittelbar an den Sehnerven anschließen (Conus), oder sich in der weiteren Umgebung finden, oder mit Veränderung der Form der Sehnervenscheibe (*nasaler Supertraktion*), mit



Abb. 115.



Abb. 114.

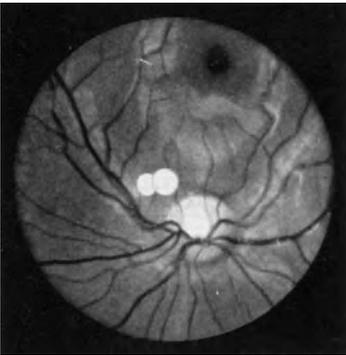


Abb. 113.

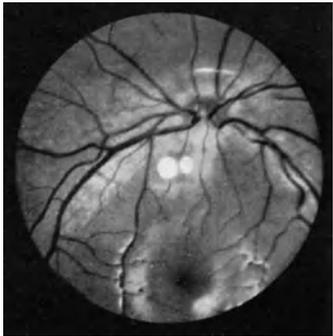


Abb. 112.

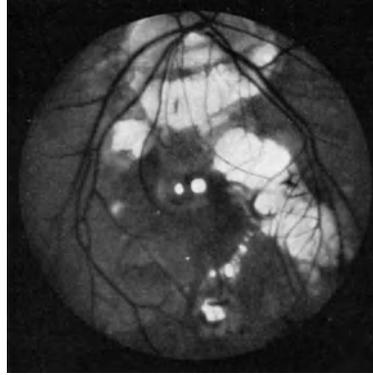


Abb. 119.

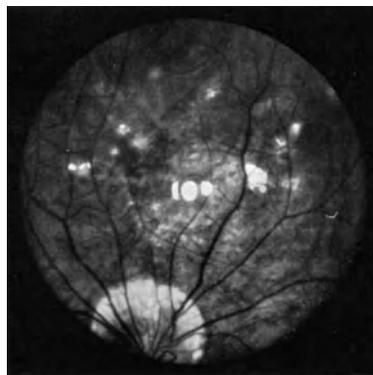


Abb. 118.

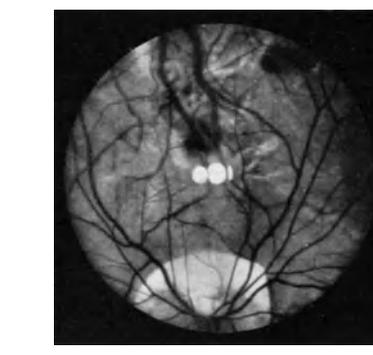


Abb. 117.

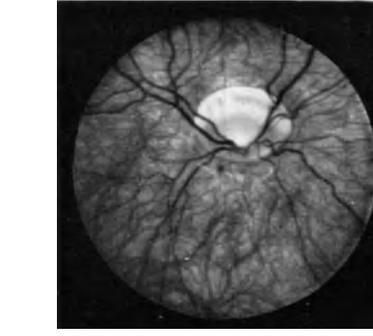


Abb. 116.

Abb. 112-137. Lichtbilder des Hintergrundes kurzsichtiger Augen, aufgenommen mit der ZEISS-NORDENSONSchen Kammer.  
 Abb. 112. 12jähriger Knabe. R. A. -2,25 sph  $\odot$  -0,5  $\Delta$  90°. Achse 90° 5/4. Kann noch angedeuteter Conus myopicus temporalis. Weisslicher Reflexbogenstreif.  
 Abb. 113. 13jähriges Mädchen. L. A. -0,75 sph 5/4. Sehr reflexreicher jugendlicher Hintergrund. Kein Conus. Abb. 114. 15jähriges Mädchen. R. A. -6,5 sph 5/4 -5/5.  
 Eben angedeuteter Conus myopicus temporalis bei zunehmender Kurzsichtigkeit. Zufällig ringförmig liegender Reflex um den gelben Fleck herum. Abb. 115.  
 33jähriger Mann. R. A. -6,0 sph 5/7 -5/5. Conus myopicus temporalis. Peripher nasal unten und unten zeigen sich Aderhautgefäße. Cilioretinales Gefäß. Abb. 116.  
 53jähriger Knabe. L. A. -4,0 sph 5/5. Papille senkrecht oval. Conus myopicus temporalis. Nasale Supertraktion. Senkrecht ovale Papille. Sehr heller Augenbindengrund.  
 Abb. 117. 23jähriger. L. A. -22,0 sph. Fingerzählen in 1/2 m. Ringförmiger Conus myopicus. Sehr ausgedehnte Veränderungen in der Gegend des gelben Flecks mit  
 „Lacksprünge“, gelblicher Aufhellung und Farbstoffhoden. Zwei sehr auffällige Aderhautgefäße schliefenwärts. Abb. 118. 43jähriger Mann. L. A. -17,0 sph 5/4.  
 Ringförmiger Conus myopicus an den sich ein den ganzen hinteren Pol umfassender Aufhellungsbezirk anschließt. Sklerose der Aderhautgefäße. Orangefarbige Fleckchen.  
 zahlreiche runde weiße Herdehen mit Farbstoffsummen. Die ganze Gegend ist übersät mit ziemlich feinen schwarzen Farbstoffflecken. (Am anderen Auge ist  
 diese Gegend ein wenig dichter gefleckt und von einem ganz feinen weißlichen Schleier bedeckt -16,0 sph 5/50.) Abb. 119. 36jähriger. R. A. -10,0 sph 3/7 zum Teil.  
 Senkrecht ovale Papille. Großer Conus myopicus. Nasale Supertraktion. Großes bandartiges Gebiet von Aderhautschwand schliefenwärts unten. Noch weiter  
 schliefenwärts, jenseits vom gelben Fleck Einzelherdehen. Gestreckter Verlauf der Netzhautgefäße.

Herden in der Maculagegend und schließlich mit einer umschriebenen mehr oder weniger scharf abgesetzten Ausbuchtung am hinteren Pol einhergehen.

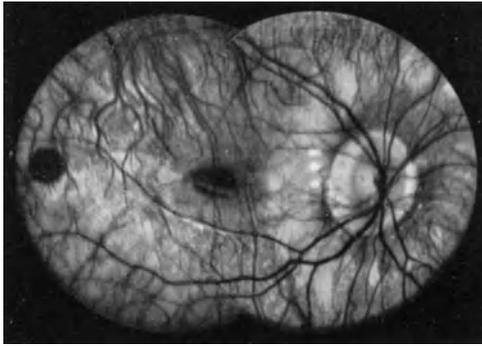


Abb. 120.

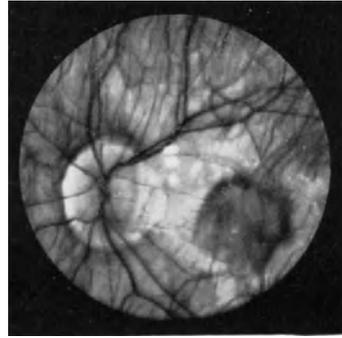


Abb. 121.

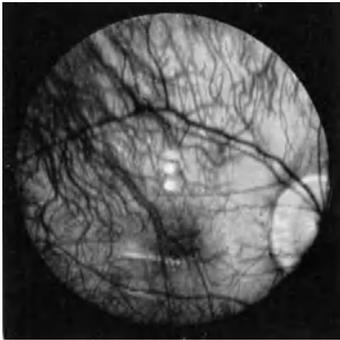


Abb. 122.

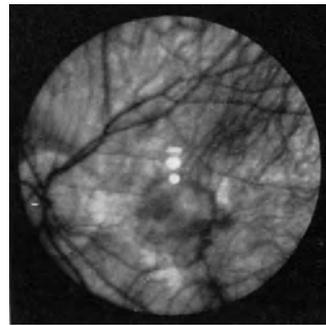


Abb. 123.

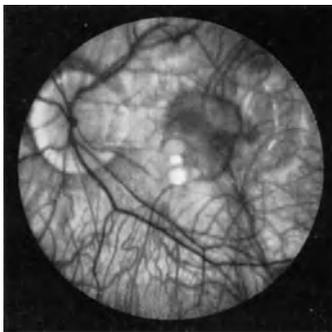


Abb. 124.

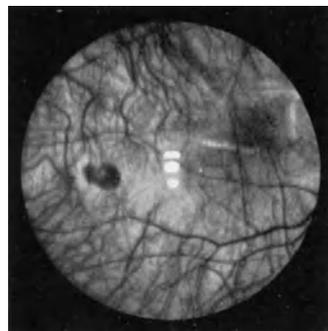


Abb. 125.

Abb. 120–125. In den beiden Augen eines 11jährigen Mädchens fanden sich gleichzeitig Hintergrundsblutungen der Polgegend. Abb. 120, 122, 124. R. A. – 14,0 sph  $\ominus$  – 3,0 zyl. Achse waagrecht 5/25 bis 5/20; Abb. 121, 123, 125. L. A. – 12,0 sph  $\ominus$  – 3,0 zyl. Achse waagrecht 5/50. Die Aufsaugung zog sich sehr lang hin. Die Abb. 122 u. 124 sind 10 Monate nach Abb. 120 (R. A.), Abb. 123 drei und Abb. 125 10 Monate nach Abb. 121 (L. A.) aufgenommen.

Auch in der *Peripherie* des kurzsichtigen Augenhintergrundes zeigt der Augenspiegel herdförmige Veränderungen, die mit dem Grad der Kurzsichtigkeit häufiger werden, sich aber in ähnlicher Form auch in nicht kurzsichtigen

Augen alter Leute, wenn auch nicht so häufig, haben nachweisen lassen (K. REHSTEINER, VOGT [a]).

Sodann fällt in stark kurzsichtigen Augen häufig eine beträchtliche Aufhellung des Hintergrundes auf. Die Aderhautgefäße sind oft im ganzen hinteren Augenabschnitt oder auf mehr oder weniger große Flächen hin ganz deutlich sichtbar (s. Abb. 108 u. 109, 138 u. 139), ohne daß man eigentlich

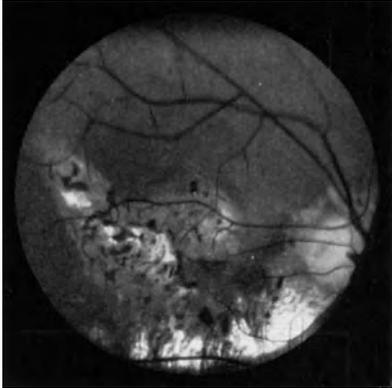


Abb. 126.



Abb. 127.

Abb. 126–128. R. A. –13,0 sph 1/20. Vom ringförmigen Conus myopicus gehen breite bandartige weiße scharfbegrenzte und einzelne kleine Farbstoffflecken enthaltende atrophische Herde aus, nach nasal oben und unten nasal zu weit in den Hintergrund hineinziehend. Davon getrennt liegen weiter nasal unten größere orangefarbige und schwarz gefleckte Herde. In der Polgegend von reichlichen orangefarbenen und schwarzen Fleckchen bunt zusammengesetzte Dehnungsherde.

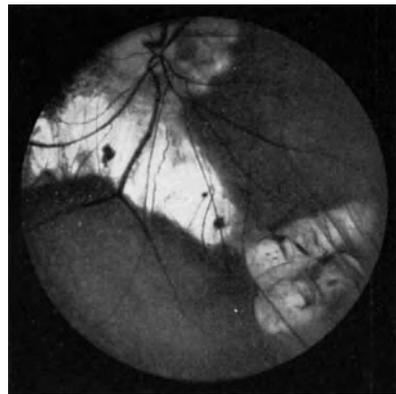


Abb. 128.

Abb. 126–131. Hintergrund des kurzsichtigen

von herdförmigen Veränderungen sprechen möchte. Gehen doch meist diese Stellen allmählich in die Gebiete glatten roten Hintergrunds über, wo gar nichts von Aderhauteinzelheiten zu sehen ist. Offenbar ist das Pigmentepithel sehr verdünnt. Natürlich kann es auch an umschriebener, scharf abgesetzter Stelle ganz fehlen (s. Abb. 109, Maculagegend). Bei all dem fällt im Spiegelbild der hochgradig kurzsichtigen Augen der eigentümlich gerad-gestreckte Verlauf der Netzhautgefäße auf über Befund und Folgen von Aderhautsklerose (s. S. 613f.).

Die Häufigkeit und Schwere der Veränderung am Augenhintergrund nimmt mit der Stärke der Kurzsichtigkeit zu. Als Beispiel dafür sei die Darstellung N. B. HARMANS (a) wiedergegeben (Abb. 157, S. 624). Die Verteilung der Conusbildungen auf die verschiedenen Grade der Kurzsichtigkeit haben R. SCHEERER

und SEITZER (b, c) an einem viel größeren Krankenbestand untersucht und dabei die Art der Coni berücksichtigt (Abb. 158, S. 624).

Bei der Vergrößerung des Augapfels durch die fortschreitende Kurzsichtigkeit wird die Flüssigkeit des **Glaskörpers** vermehrt, das Gewebe wird auseinandergedrängt und gedehnt, zunächst ohne daß die Durchsichtigkeit des Glaskörpers zu leiden braucht. Mit dem weiteren Fortschreiten kommt es unter



Abb. 129.



Abb. 130.

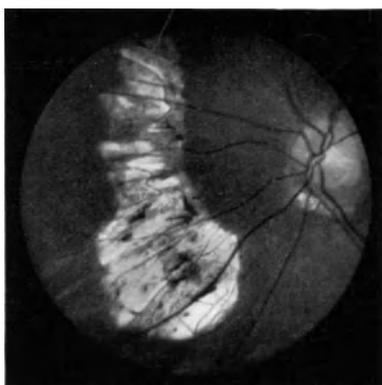


Abb. 131.

Augenpaar einer 43jährigen Frau.

Abb. 129–131. L. A. –11,0 sph 5/25. Um die Papille herum ziemlich schmaler Conus. Ganz getrennt davon nasal in einem Abstand von mehr als 1 Papillendurchmesser erstreckt sich ein sehr großer bunt orangerot, weiß und schwarz gefleckter Bezirk von Aderhautveränderungen. Einzelherde nahe dem gelben Fleck.

Ausbildung von spaltförmigen, miteinander in Verbindung stehenden Hohlräumen (Herzog KARL THEODOR in Bayern, L. WEISS [a]) jedoch zu einer Verflüssigung des Glaskörpers, die der operierende Augenarzt nur zu gut kennt, und die von nachweisbaren und störenden Trübungen begleitet zu sein pflegt (ARLT). Diese Trübungen erscheinen mit dem Lupenspiegel betrachtet teils als dicke klumpige, teils als faserige mannigfach unregelmäßig gestaltete, jedenfalls nicht geradlinig gestreckte, sondern unregelmäßig knitterige oder knäuelige Gebilde. Je nach der Beleuchtung sieht man sie als schwarze Schatten vor dem roten Hintergrundlicht, oder sie leuchten glänzend hell auf. Bei Augenbewegungen pendeln sie entweder weit ausfahrend hin und her, oder sie schwimmen, wenn sich ihre Verbindung mit der Netzhaut oder Ciliarkörpergegend gelöst

hat, frei umher, während sie sich in der Ruhe absinkend unten sammeln. Die Lösung einer solchen bisher noch an einer Stelle haftenden Trübung kann sie dem Träger plötzlich zum Bewußtsein bringen, wenn sie in die Nähe der

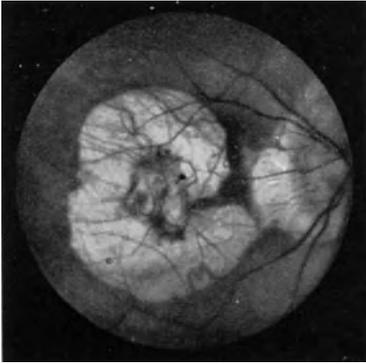


Abb. 132.

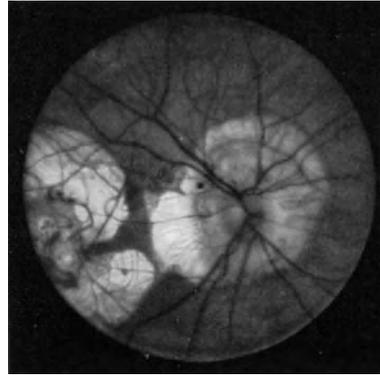


Abb. 133.

Abb. 132, 133 u. 135.

Abb. 132 u. 133. R. A. - 6,0 sph  $\ominus$  - 1,5 zyl. Achse 90° 1/50. Breiter ringförmiger Conus mit verschiedenen Ausbildungsstufen. Sehr ausgedehnte und sehr schwere Aderhautveränderungen in der Gegend des gelben Flecks mit Farbstoffablagerungen. Netzhautgefäße sehr gestreckt. (Der kleine schwarze Fleck in der Abb. 132 u. 133 gehört nicht dem Augenhintergrund an, sondern ist das Bild des Deckseibehens, das an der neuen Ophthalmoskoplinse angebracht ist und die Lichtquellenspiegelung an den Linsenflächen löst.)

Gesichtslinie gelangt. Doch treten Trübungen dann und wann tatsächlich unvermittelt auf. Das sind nicht selten Vorboten einer Netzhautablösung.

Deshalb soll man, obwohl Glaskörpertrübungen bei Kurzsichtigen und bei alten Leuten (Z'BRUN) nichts Seltenes sind, sie nicht ohne eine zweite nach einigen Tagen vorzunehmenden Untersuchung als mehr oder weniger harmlos ansehen.

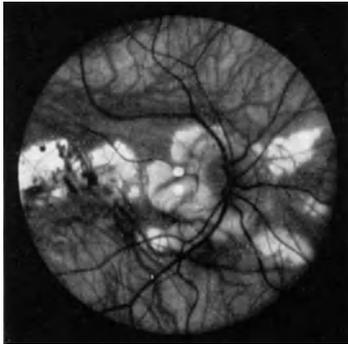


Abb. 134. 31jährige. R. A. - 14,0 sph 5/35. Die myopischen Veränderungen beschränken sich in diesem Fall im wesentlichen auf einen bandartigen Streifen, der sich anscheinend aus einer Reihe von Einzelherden zusammengesetzt hat und sich in waagrechtlicher Richtung von der Papille aus in den Hintergrund hinein erstreckt. Starke Aufhellung in der Polgegend.

Häufiger, als es berechtigt ist, werden die Glaskörpertrübungen, die plötzlich erscheinen, auf Blutungen bezogen. Tatsächlich handelt es sich in der Mehrzahl der Fälle um einen Zerfall des Glaskörpergerüsts. An der Spaltlampe sieht man, daß die Glaskörperhäute zerrissen sind und sich zu feineren oder gröberen Gebilden zusammenballen, die undurchsichtiger sind, als die Häute es waren. Zwischen den Fasern klaffen weite leere Räume. Nicht selten, besonders regelmäßig bei Amotio, findet sich eine mehr oder weniger reichliche Einlagerung von Punkten, deren bräunliche bis rötliche Farbe auf ihre Herkunft vom uvealen oder retinalen Pigment hinweist, sie aber an sich nicht sicherstellt.

Schließlich ist auch noch die oft umstrittene hintere Glaskörperabhebung zu nennen (H. MÜLLER, GALEZOWSKI, ELSCHNIG [h], PILLAT [a, b], E. KRAUPA [a, e, f, g]).

## Der anatomische Befund.

Die Gesamtform des kurzsichtigen Auges braucht von der eines regelrechten Auges nicht abzuweichen. Bei den hohen und höchsten Graden jedoch ist der Unterschied sehr groß, vor allem hinsichtlich der Länge. Ist dabei der vordere Abschnitt in der Regel kaum von regelrechten Augen verschieden, wenigstens nicht für die äußerliche Betrachtung, so ist es der Abschnitt hinter dem Äquator um so mehr.

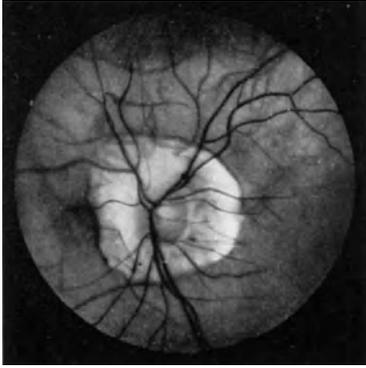


Abb. 135.

72jähriger Mann.

Abb. 135. L. A.  $-3,0$  sph  $\subset -3,0$  zyl. Achse  $90^\circ$  5/10. Breiter ringförmiger Conus myopicus um die senkrecht ovale Papille herum. Mäßige Aufhellung des Augenhintergrundes.

Bei 23 kurzsichtigen Augen fanden SCHNABEL und HERRNHEISER Längen von 22—25 mm für die äußere vom Hornhautscheitel zum hinteren Pol gemessene Strecke, bei Kurzsichtigkeit über 10 dptr 27—32 mm. Einzelne Angaben sind da und dort verstreut (F. ARLT, F. C. DONDERS 312, K. F. BAAS 28 bis 33 mm, A. v. GRAEFE, L. HEINE [c] mißt bei  $-15$  dptr 32 mm [bei Emmetropie 27 mm] in einem anderen Fall [d] bei  $-4,0$  dptr 27,5 mm und bei  $-15$  dptr 32,5 mm], E. MARSCHKE bei  $-25$  dptr 34 mm, A. VON REUSS im Mittel 26,54 mm, M. SALZMANN, VOGT [a, b] bei 14 dptr Kurzsichtigkeit war das Auge 4 mm länger als das andere emmetropische).

Die Gestalt der *stark* kurzsichtigen Augen kann recht verschieden sein. Viele sind langgezogen (Abb. 89, S. 557, Abb. 148 und 149, S. 608), ganz verschieden von der von HESS (e) abgebildeten plumpen,



Abb. 136.



Abb. 137.

Abb. 136 u. 137. 30jähriger Mann. R. A.  $-20,0$  sph ( $d = 8$  mm) 5/35. Ringförmiger Conus myopicus. Blutungen in der Gegend des gelben Flecks (Abb. 136) im Bild einer orthochromatischen Platte. Die Blutung tritt auf einer rotemptfindlichen Platte (Abb. 137) zugleich mit der Aderhautzeichnung viel deutlicher hervor, wodurch sich ihre Lage in der Aderhaut verrät.

einseitig nach schläfenwärts hinten aufgetriebenen Form, der Eiform; alle besitzen eine stetige bzw. allmähliche Änderung ihrer Flächenkrümmung. Davon unterscheiden sich die mit mehr oder weniger scharf abgegrenzter umschriebener staphylomartiger Ausbuchtung im hinteren Abschnitt (Abb. 152, S. 610). Ein Staphylom nach innen vom Sehnerven zeigt Abb. 111, S. 594.

Als Beispiel seien einige der stereoskopischen Aufnahmen hier wiedergegeben (s. Abb. 111, 149, 152), die aus A. ELSCHNIGS Atlas (f) stammen.

Da sie mit konvergent gerichteten Aufnahmelinsen hergestellt worden sind, müßten die Halbbilder zur Betrachtung ebenfalls wieder in einem entsprechenden Winkel zueinander aufgestellt werden, während sie in den Tafeln und hier im Buch in einer gemeinsamen Ebene liegen und daher die Wirklichkeit nicht ganz raumtreu zeigen. Doch gibt der Vergleich der abgebildeten Augäpfel einen deutlichen Eindruck von der Mannigfaltigkeit der verschiedenen Formen.

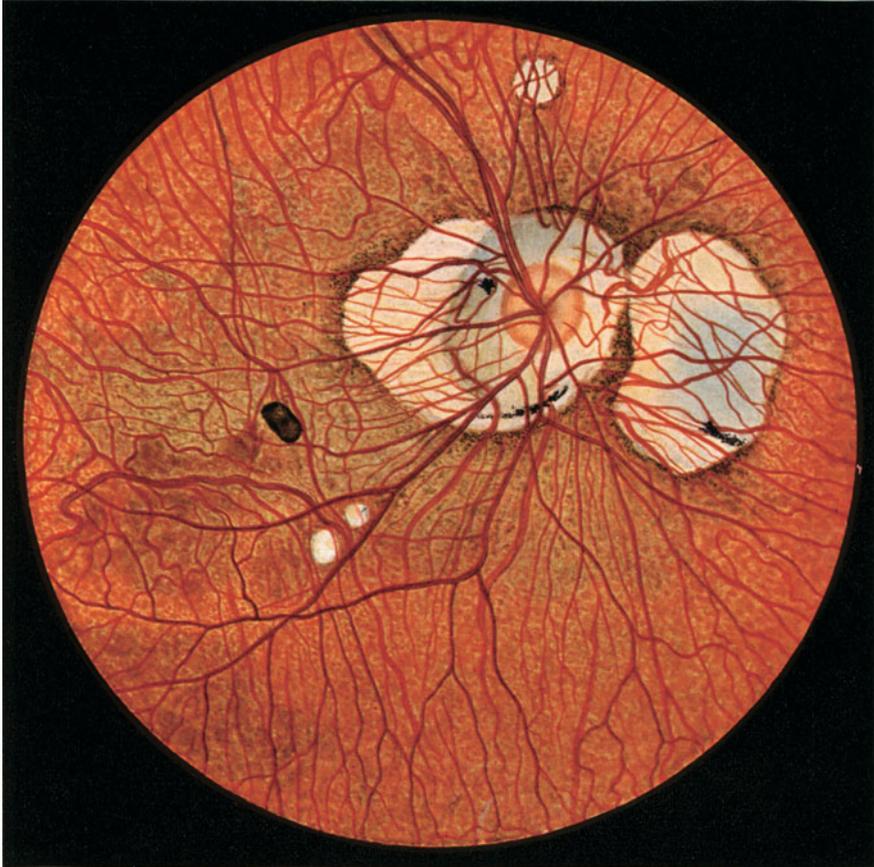


Abb. 138.

Abb. 138 u. 139. Die Augenhintergrundbilder des kurzsichtigen Augenpaares einer 37jährigen Frau. Rechts mit  $-15,0$  dptr S 5/15 und links mit  $-22,0$  dptr S 5/50. Peiderseits zahlreiche lockere Glaskörpertrübungen. Sehr heller Augenhintergrund. Außerordentlich deutlich sichtbare Aderhautgefäße. Rechts ringförmiger, schläfenwärts doppelter myopischer Conus. Nasal davon ein fast selbständiger großer ebenfalls scharf begrenzter Herd geschwundenen Aderhautgewebes. Ganz spärliche Farbstofflecken in den Herden. In größerem Abstand vom Sehnervenrand und dem Conus kleine vereinzelte weiße Lücken in der Aderhaut und ein ebenfalls einzelner Farbstoffherd. Links. Den Sehnerven umgreift rings ein zusammenhängender scharf begrenzter Conus, in dessen Gebiet nur wenige spärliche Reste von Aderhautgefäßen und ein kleiner Farbstofffleck liegen. Getrennt davon schwere Veränderungen am hinteren Pol und darunter. Ein größerer und einige kleine weiße rundliche Herde. In der Gegend des gelben Flecks Aufhellung und Pigmentverschiebungen. Darüber gleichmäßig dichtere Pigmentierung des Hintergrundes.

Was diese Maße im Vergleich zu den normalen bedeuten, erkennt man besser, wenn man nicht nur die Durchmesser, sondern den Raumgehalt betrachtet, der im Gewicht am bequemsten zu messen ist. Während WEISS und M. SALZMANN für normale 7,5 g, einen gewiß nicht an der unteren Grenze liegenden Wert, an-

geben, hat L. HEINE (c) bei einem Auge von etwa 15 dptr Myopie und 32 mm Länge ein Gewicht von 11,8 g ermittelt.

**Der hintere Augenabschnitt.** Der Verlauf des Sehnerven zwischen dem Augapfel und dem knöchernen Kanal muß hinsichtlich seiner Länge der Anforderung Rechnung tragen, daß er einmal Augapfelbewegungen nicht hemmt, anderseits selber dabei nicht gezerzt und geschädigt wird. Das letzte ist als Ursache

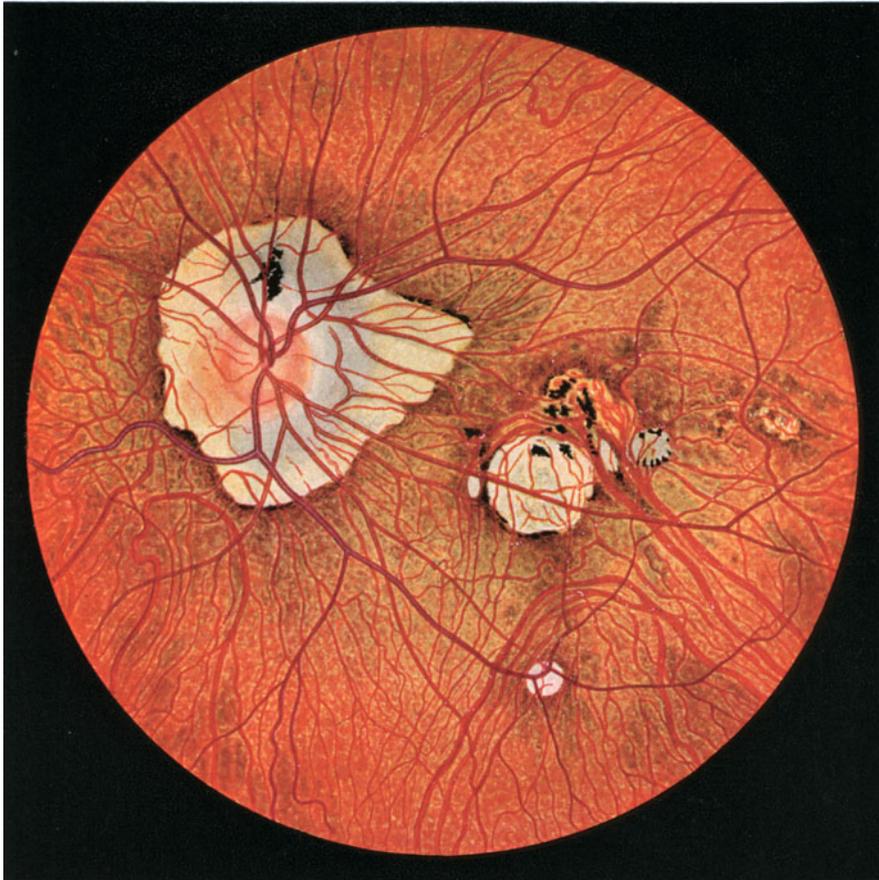


Abb. 139.

der Kurzsichtigkeit behauptet worden (s. u.). Anatomische Untersuchungen haben aber keine Stütze dafür erbracht. Hingegen sind Befunde erhoben worden, wo bei hochgradig Kurzsichtigen eine starke Schlingelung der Nerven bestand, die auf eine Raumbeanspruchung des nach rückwärts in die Augenhöhle drängenden hinteren Augenpols hinweisen (s. HANSENS Abb. 157, S. 617).

**Die Lederhaut** ist nur im hinteren Augapfelabschnitt verdünnt im Gegensatz zum *Hydrophthalmus*, dessen Hülle nach DÜRR und SCHLECHTENDAL überall gedehnt ist. Dieses Nachgeben des Hauptträgers des Binnendruckes ist mechanisch die grundlegende Erscheinung im „Krankheits“vorgang.

K. L. BAAS maß die Dicke der Lederhaut kurzsichtiger Augen von 28 bis 33 mm Länge im Hornhaut-Lederhautfalz zu 0,56 bis 0,81 mm und am hinteren Pol, wo sie mit einer Ausnahme 0,26 bis 0,43 mm betrug, und weist

auf das Verhalten bei Hydrophthalmen hin. E. MARSCHKE und L. HEINE (d) bestätigen dieses Ergebnis. Eine untere Grenze für die dünnste Stelle am hinteren Pol ist nicht anzugeben. Haben sich doch gelegentlich wirkliche Lücken in der Lederhaut gefunden (A. POLATTI, STILLING, R. PLOCHER) (siehe F. SCHIECK, dieses Handbuch, Bd. 4, S. 431, Abb. 301). ROCHON-DUVIGNEAUD sah im Bereich des hinteren Pols nicht durchflochtene, sondern



Abb. 140. Bei einem stark kurzsichtigen Auge ist die Netzhaut in eine Lücke der Glashaut vorgefallen. Die Aderhaut fehlt in diesem Bezirk vollständig. Die äußere Körnerschicht hat sich am Rand der Glashaut nach außen umgeschlagen. Auch die innere Körnerschicht ist nach außen gezerrt und erstreckt sich mit einem Ausläufer schräg unter die auf dieser Seite. (Nach GILBERT.)

gleichgerichtete Lederhautfasern. Elastische Fasern fehlen nicht, sondern sind wie in der regelrechten Lederhaut nachgewiesen (ELSCHNIG, BIRCH-HIRSCHFELD, STOCK [b]).

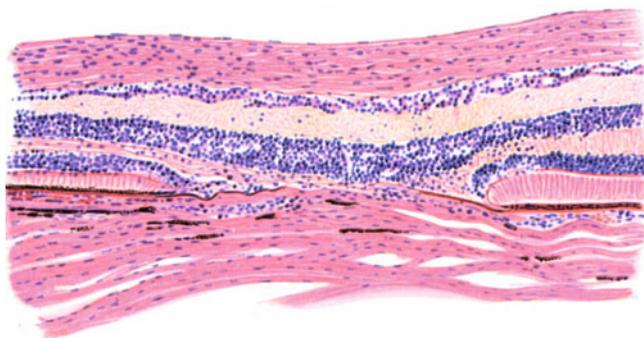


Abb. 141. Vergrößerung des Herdes in der Abb. 154, S. 612. Lücke in der Glashaut und im Pigmentepithel, durch die eine Veränderung der Netzhaut und ihre Verwachsung mit der Unterlage verursacht worden ist. Aderhautschwund.

Der innere Aufbau der vorderen Augenabschnitte bietet einige, wenn auch nicht erhebliche Unterschiede. FLEISCHER (b) hat bei Myopie Risse der DESCHEMETSCHEN Haut gefunden, die sonst nur bei Hydrophthalmen bekannt sind.

Die Vorderkammer ist bei den hohen Graden von Kurzsichtigkeit meist etwas vertieft (s. o. S. 505 und 588), und dabei der Ansatz des Ciliarmuskels und der Regenbogenhautwurzel nach rückwärts verlagert. Über den Bau des Ciliarmuskels selbst widersprechen sich die Angaben. Teils wird er flacher, dünner als bei Normalen, atrophisch gefunden (F. C. DONDERS, HEINE), teils hat man ihn dickbauchiger und länger beschrieben (F. ARLT). Nach A. IWANOFF (c) soll der MÜLLERSche Anteil, die vorn innen liegenden Ringfasern, sehr zurücktreten

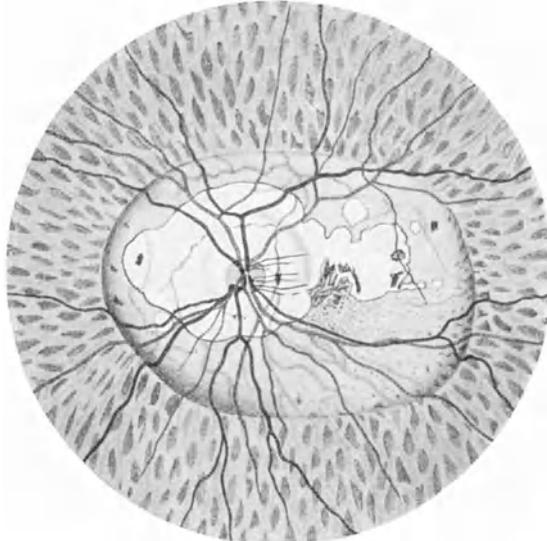


Abb. 142. Staphyloma posticum (verum). Ein großes, den Sehnerven und die Maculagegend umschließendes Gebiet des Augenhintergrundes ist stärker gewölbt als die Umgebung und nach hinten ausgebuchtet. Es ist durch eine scharfe Grenzlinie abgesetzt, die sich im Spiegelbild als eine scharfe Schattenlinie zu erkennen gibt. Der Höhenunterschied wird wie bei einer Exkavation des Sehnerven durch die Abknickung der Netzhautgefäße und durch die Parallaxe deutlich ausgebuchteten Gebiet ein unregelmäßiger Conus myopicus circularis, Gewebsschwund in der Maculagegend und Verdünnung der Aderhaut im ganzen. (Nach F. OTTO.)

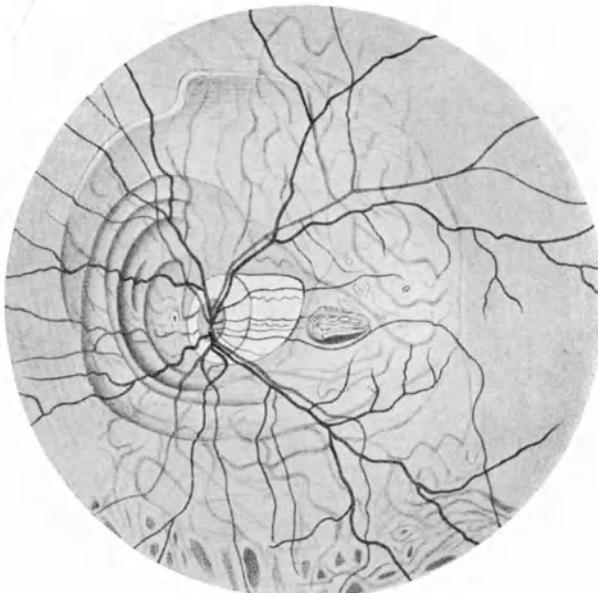


Abb. 143. Staphyloma posticum (verum). Der in Abb. 142 wiedergegebene Zustand der umschriebenen Ausbuchtung eines Bezirkes am kurzsichtigen Augenhintergrund ist hier in mehreren aufeinanderfolgenden Stufen ausgebildet, deren größere die kleineren jeweils umschließen. (Nach F. OTTO.)

oder fehlen, dafür aber der BRÜCKESche Anteil, die Längsfasern, stark ausgebildet und länger sein. Doch scheint das Verhältnis zwischen Längs- und Ringfasern auch in normalen Augen von Fall zu Fall zu wechseln; auch dürfte in einzelnen

Fällen eine Asymmetrie der Ausbildung des Muskels vorkommen. Wenn es also tatsächlich Schwund durch Nichtgebrauch bei Kurzsichtigkeit gibt, so ist das

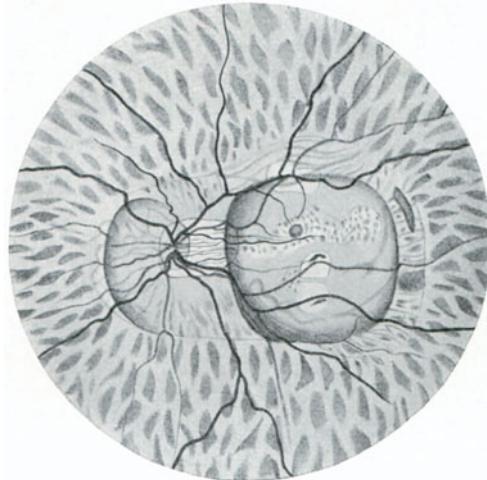


Abb. 144. Zwei getrennte Staphylomata postica (vera). (Nach F. OTTO.)

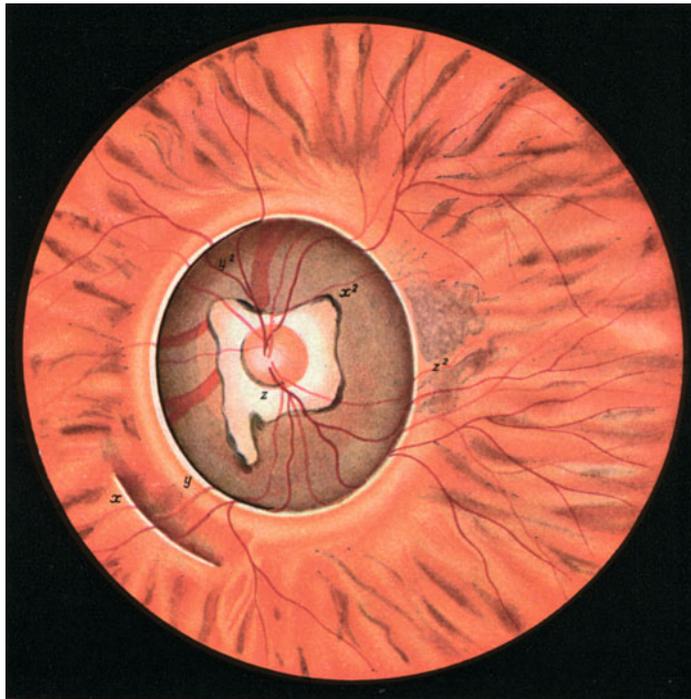


Abb. 145. Staphyloma posticum (verum) totale. (Aus STREBEL: Beitr. Augenheilk. 9.)

sicher kein regelmäßiger Befund (vgl. P. LANGE, M. SALZMANN [a, b] u. C. HESS). (S. auch EISLER, dieses Handbuch Bd. 1, S. 71 f.)

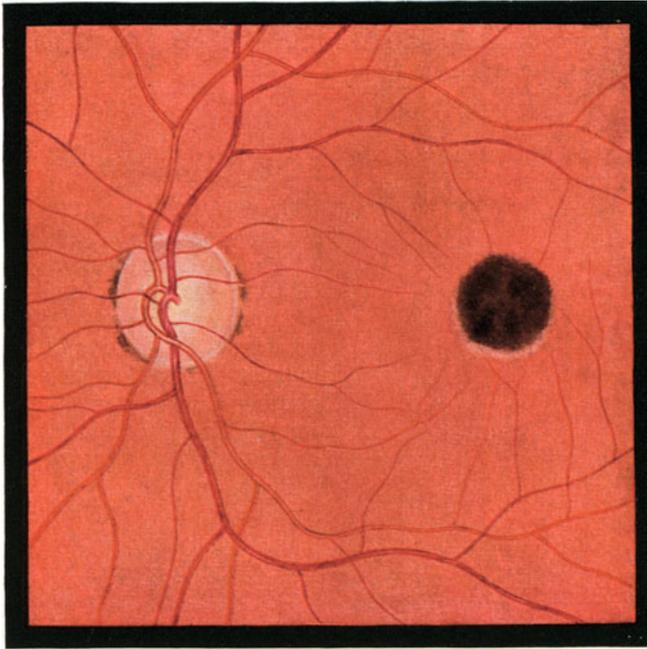


Abb. 146. Der schwarze Fleck in der Macula des kurzsichtigen Auges. (Nach SIEGRIST.)

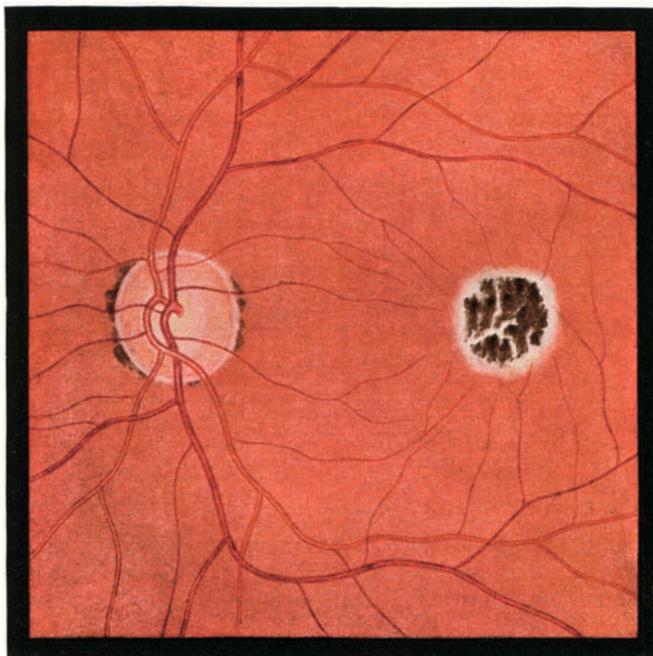


Abb. 147. Der gleiche Augenhintergrund wie in Abb. 146. Der schwarze Fleck ist zerklüftet und von einem hellweißen Hof umgeben. (Nach SIEGRIST.)

Die wichtigen Veränderungen spielen sich, wenn solche überhaupt vorliegen, und das ist bei den stark kurzsichtigen Augen doch die Regel, am hinteren Augenabschnitt ab, am Sehnerven und seiner Nachbarschaft, in der Maculagegend oder an beiden Stellen. Was der Augenspiegel davon aufdeckt, haben wir oben angegeben.

Bei der mikroskopischen Untersuchung drängen sich neben der S. 595 und 603 erwähnten Verdünnung des hinteren Lederhautumfangs 2 Befunde am

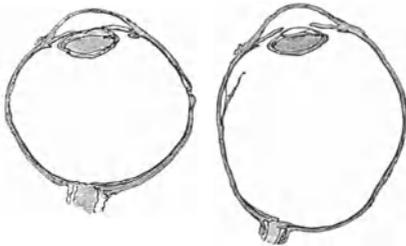


Abb. 148. Der etwa 15 dptr kurzsichtige und der emmetropische Augapfel derselben Leiche. (Nach L. HEINE.)

hinteren Augenabschnitt auf, die Verdünnung der Aderhaut mit ihren Folgen und die Verlagerung der Augenhäute in sich und gegeneinander, insbesondere des Aderhautloches des Sehnerven gegenüber dem Lederhautkanal, wobei sich der Eindruck einer Zugwirkung oder einer Dehnung ohne weiteres aufdrängt. Dazu kommen Folgeerscheinungen verschiedener Art.

Bieten die *Veränderungen am Sehnerven* und seiner Nachbarschaft dem Augenspiegel außerordentlich mannigfaltige Bilder, so sind ihre histologischen Grundlagen nicht minder bunt. Wegen des regelrechten histologischen Aufbaues der Sehnervenaustrittsstelle s. EISLER (Bd. I, S. 135). Der Conus temporalis in der einfachsten Form einer schmalen weißen Sichel, die meist schläfenwärts scharf begrenzt ist, beruht nach J. STILLING (i) darauf, daß die schläfenseitige Wand des Sehnervenkanals

Bieten die *Veränderungen am Sehnerven* und seiner Nachbarschaft dem Augenspiegel außerordentlich mannig-

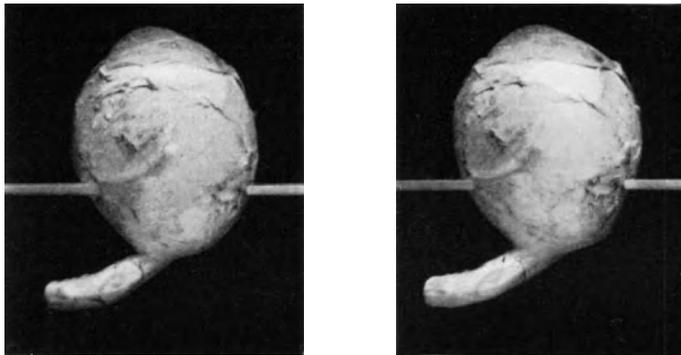


Abb. 149. Kurzsichtiges Augenpaar — 18,0 dptr eines 30jährigen von unten her gesehen. Scharfer Conus temporalis von  $1\frac{1}{2}$  Papillenbreite. Mißt längs 31,0, quer 27,5, senkrecht 26,5 mm. Auch vorn ungewöhnlich große Maße. Gleich hinter der Äquatorgegend wird die Sklera dünner. Am hinteren Pol, und zwar nach außen unten am Sehnerven ist sie halbkuglig vorgewölbt und hochgradig verdünnt, bläulich durchscheinend. Der Sehnerv sitzt am äußeren oberen Rand an der am stärksten gedehnten Stelle und gleichzeitig an der am meisten vorgewölbten Stelle der Sklera. Er ist S-förmig gestaltet. (Nach ELSCHNIG 1.)

der Lederhaut, weil er schief verläuft, dem Beschauer zugekehrt und sichtbar ist. Diese Schiefstellung findet sich tatsächlich, und zwar meist in seitlicher Richtung. Bei nicht zu niedriger Kurzsichtigkeit ist überdies oft der Zwischen-scheidenraum erweitert, und zwar nach beiden Seiten hin (WEISS [a]). Da die Lederhaut dabei sehr oft, doch nicht immer, dünn ist, so liegt die Kuppe des Raums den Augenbinnenhäuten nah. (Siehe aber SCHEERER, S. 612.)

Diese Darstellung hält C. HESS (f) nur in einzelnen Fällen für zutreffend. In anderen erklärt sich der Conus als eine von Aderhaut mehr oder weniger

entblößte Stelle der Sklera (A. SIEGRIST [b]). Wieviel von dem Aderhautgewebe fehlt, ob nur die inneren Lagen, so daß sich große Gefäße und Farbstoffreste im Conusgebiet finden, oder die ganze Dicke, so daß die darunter

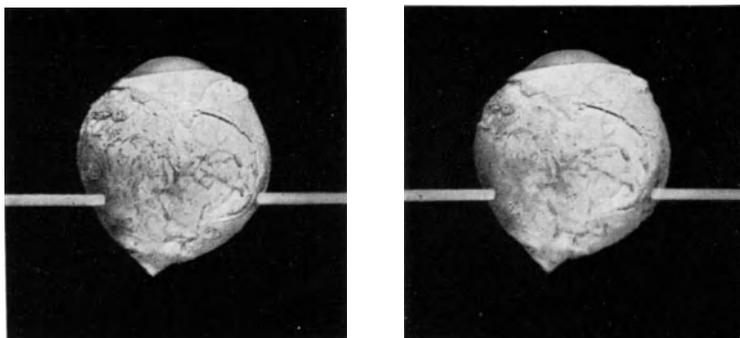


Abb. 150. Kurzsichtiges Auge — 13 dptr einer 30jährigen von oben gesehen. Conus myopicus von halber Papillenbreite. Mißt längs 27,5, quer 26, senkrecht 25 mm. Das hintere Drittel ist leicht eiförmig zugespitzt, so daß der Sehnerv an der am weitesten vorspringenden Stelle sitzt. Lederhaut ziemlich gleichmäßig verdünnt, ist bläulich durchscheinend. 9,5 cem Rauminhalt. (Stereogramm nach A. ELSCHNIG 2.)

liegende Lederhaut unverhüllt weiß sichtbar wird, ob der Mangel in der ganzen Ausdehnung des Conus gleichmäßig besteht oder in verschiedenen Bezirken ungleichen Ausmaßes, das erklärten die verschiedenen vom Augenspiegel aufgezeigten Bilder.

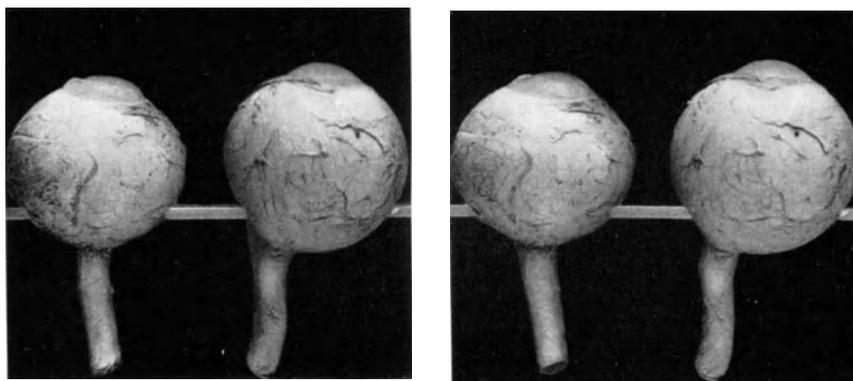


Abb. 151. Der etwa 10 dptr kurzsichtige rechte und der emmetropische linke Augapfel derselben Leiche, der rechte von oben und der linke von unten gesehen. Am rechten umgreift ein Conus myopicus von  $\frac{1}{3}$  Papillenbreite als schmaler heller Saum die Papille. Die Hornhaut ist größer als die linke. Die Lederhaut ist in der hinteren Hälfte dünner als normal und bläulich durchscheinend. Der Sehnerv ist S-förmig geschlängelt und ziemlich weit medial vom Hinterpol eingepflanzt. Durchmesser

L . . . . .	24,0	längs,	24,5	quer,	24,5	mm	senkrecht
R . . . . .	27,5	„	26,0	„	25,3	„	„

Verhältnis des Rauminhalts 9 : 8. (Stereogramm nach A. ELSCHNIG 3.)

Auf eigenartige Verhältnisse ist schon L. WEISS gestoßen. Eine breite Sehnervenfalte ist über den Schläfenrand des Lederhautkanals auf eine erhebliche Strecke hinübergezogen, so daß im Gebiet des Conus neben Siebplattengewebe nur Sehnervenfasern vorliegen. Die Aderhaut ist nicht verdünnt bzw. geschwunden, sondern vom Schläfenrand des Sehnervenkanals abgezogen worden. Auch L. HEINE (d) u. a. haben diese Faltenbildung eingehend beschrieben. Statt

daß die Sehnervenfasern wie beim regelrechten Auge aus der Nervenfaserschicht der Netzhaut am Rand der Netzhaut umbiegend unmittelbar in den Sehnervenkanal hineinziehen, machen sie einen Umweg, bevor sie in den Sehnervenkanal eintreten. Sie bilden eine scharfe Schleife zwischen der Netzhaut und Lederhaut, indem sie zunächst auf der Unterseite der Netzhaut schläfenwärts verlaufen, um am Rand der zurückweichenden Aderhaut bzw. deren Glashaut umzukehren, auf der Lederhaut den gleichen Weg wieder zum Sehnervenloch der Lederhaut zurückzulegen und dann erst in den Sehnerven einzutreten. Im Bereich der Falte fehlt die Aderhaut samt dem Pigmentepithel. Am Ende der Schleife findet man die Aderhaut wieder, meist zuerst ganz dünn,

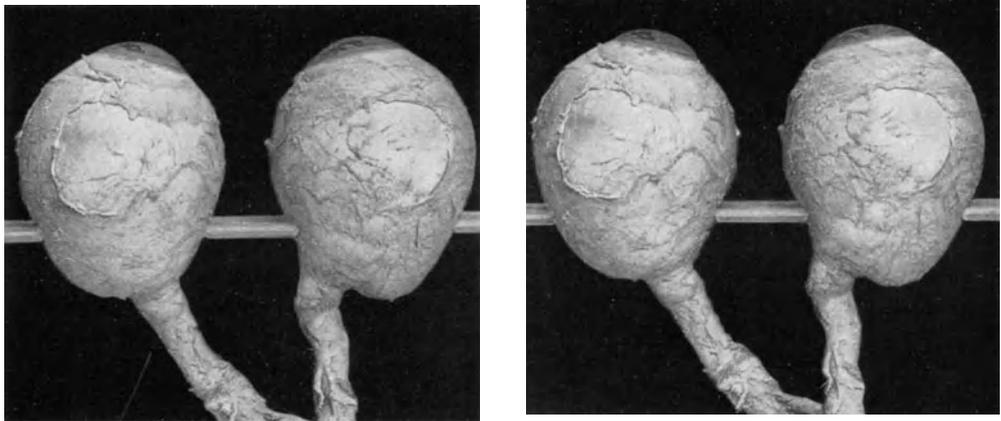


Abb. 152. Staphyloma posticum. Die beiden hochgradig kurzsichtigen Augen eines 47jährigen von oben gesehen; links etwa  $-30$ , rechts über  $-30$  dptr. Beiderseits ringförmiger Conus, links mit Veränderung in der Maculagegend. Fast walzenförmige Augäpfel. Die S-förmig geschlängelten Sehnerven sind in der steilen, nach dem Sehnerven leicht eingebogenen medialen Wand eingepflanzl. Lateral davon ein sackförmiges Staphyloma posticum. Die mit dem Augenspiegel festgestellte umschriebene Vorwölbung ist äußerlich nur undeutlich zu erkennen. Durchmesser

R . . . . .	34 mm längs,	26 mm senkrecht,	25 mm waagrecht
L . . . . .	32 „ „	26 „ „	26 „ „

(Stereogramm nach A. ELSCHNIG 17.)

allmählich zunehmend; auch das Pigmentepithel erscheint dann oft unregelmäßig wuchernd wieder.

Nach A. SIEGRIST trifft dieser HEINESCHE Befund für die meisten stark kurzsichtigen Augen zu. Dem Zug der Binnenhäute vom Schläfenrand des Lederhautloches weg entspricht auf der anderen nasalen Seite meist der Zug zum Sehnervenkanal hin, die *nasale Supertraktion*; vor allem tritt die Netzhaut weit über den Rand hinüber, bis zur Mitte der Sehnervenscheibe oder darüber hinaus. Sie zwingt dadurch die Sehnervenfasern dieser Seite, um den Sporn der Glashaut zu biegen (s. Abb. 116, 153—155), zunächst rückläufig nasenwärts unter ihm entlang zu ziehen, um erst, am Rand der Sehnervenscheide ankommend, in die Richtung des Sehnervenstammes senkrecht zur Augapfelwand einzuschwenken.

Diesen eigentümlichen Verlauf haben L. WEISS (a, b), Herzog CARL THEODOR (b), SCHNABEL und HERRNHEISER u. a. erhoben. Ob nun der Zug auf die Sehnervenfasern, wie L. HEINE will, durch die Glashaut, die sich nicht so dehnen läßt wie die anderen Augenhäute, bzw. durch die elastischen Fasern erfolgt, die aus der Aufsplitterung der Glashaut zwischen die Sehnervenbündel eintreten soll, oder wie A. SIEGRIST, der mit S. INOUE die Auffaserung der Glashaut bestreitet, im Einklang mit LANGE jede elastische Faser einwärts von der

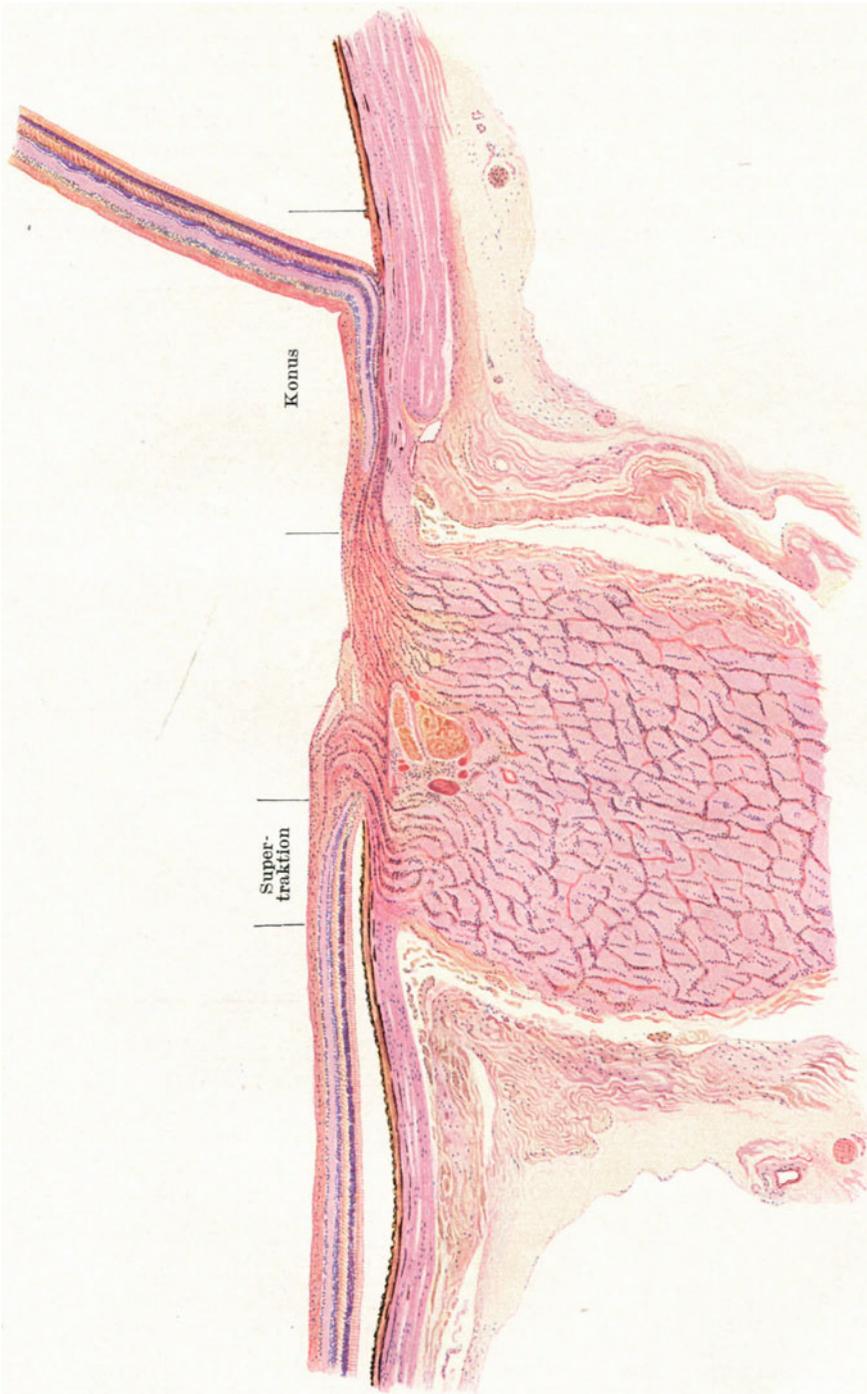


Abb. 153. Längsschnitt durch den Sehnerven eines kurzsichtigen Auges. (Nach A. Siegrist.)

Lamina cribrosa vermißt und den Zug durch die Aderhaut vermittle von Bindegewebe im Sehnerven ausüben läßt, macht in der Wirkung kaum etwas aus. An der Verlagerung der Binnenhäute gegeneinander im Bereich des Sehnervenaustrittes ist nicht zu zweifeln.

Über die Bedeutung und Herkunft dieser Bildungen herrscht aber keineswegs Einigkeit. SCHEERER (b) erkennt die temporale Sehnervenfasererschleife, die nasale Supertraktion, die Verbreiterung der zwischen Scheidenraumkuppe auf der Nasenseite und anderes gar nicht als Eigentümlichkeiten des kurzsichtigen Auges an, und zwar auf Grund vergleichender Untersuchungen.

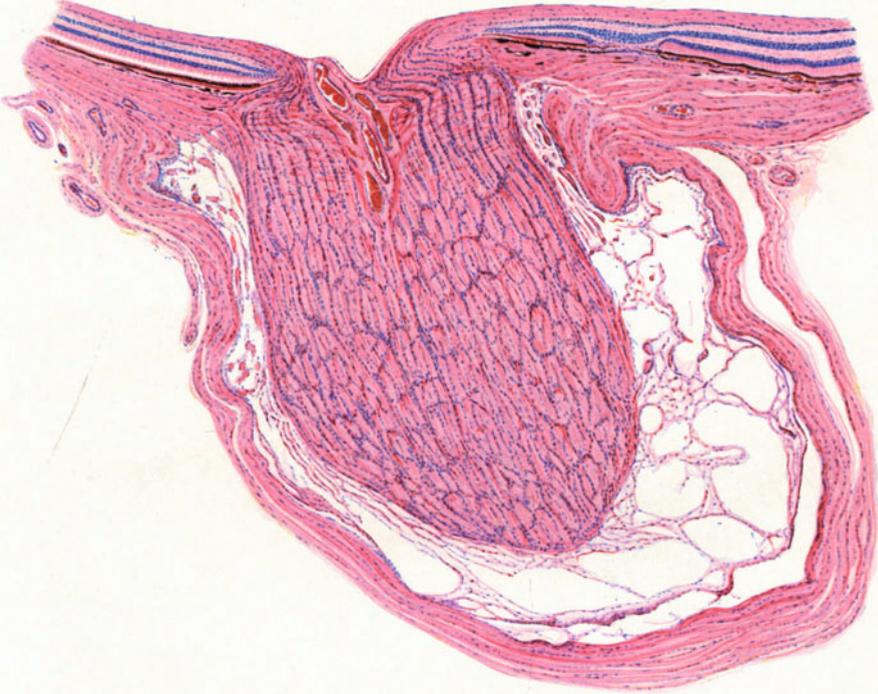


Abb. 154. Längsschnitt durch den Sehnerven eines kurzsichtigen Auges.

Abgesehen von der schon geschilderten Formeigentümlichkeit des Sehnervenaustrittes sind gelegentlich von STOCK und POLATTI Höhlenbildungen mit Zerstörung von Sehnervengewebe beschrieben worden. Diese lakunäre Atrophie wird von STOCK (b) auf den Zug zurückgeführt, den die von der Papille zurückweichenden Binnenhäute auf die Sehnervenfaser ausüben.

Gegen die Darstellung von A. SIEGRIST und S. INOUE erhebt R. SCHEERER (a) den Einwand, daß Bindegewebsfasern, die von der Aderhaut in den Sehnerven einstrahlen, nicht vorhanden seien, daß vielmehr die vor der Siebplatte liegenden Querfasern als gliöse Lamina aus dem Grenzgewebe des Sehnerven hervorgehend zu einer Verziehung der Sehnervenfaserbündel nicht fähig seien, ebensowenig wie das nächstliegende Bindegewebe, das der Lamina cribrosa angehöre. Er erblickt in dem Befund, auch den erwähnten Lücken in der Lederhaut und anderen, keine Dehnungserscheinungen, sondern Bildungsfehler, hiermit an SCHNABEL und HERRNHEISER anschließend, die alle Coni als angeborene Mängel bezeichneten. Auch A. ELSCHNIG (e) sprach schon 1900 den Conus für einen Bildungsfehler an. Wie bei POLATTI, PLOCHER und STOCK, so findet SCHEERER (a) auch in HAISTs Schnitten Bildungsunregelmäßigkeiten verschiedener Art im Bereich des Sehnervenaustrittes kurzsichtiger Augen, für die auch E. FUCHS (c, e) und besonders HANSEN (a, b, c) Beiträge mitgeteilt haben. Im Zusammenhang mit den eingehenden Forschungen

A. v. SZILYS (a, b, c) über die Papillenentwicklung und über die Kolobombildung lassen sich die ophthalmoskopischen und die vor allem an kurzsichtigen Augen erwähnten histologischen Befunde von verschiedener Art der Einpflanzung des Sehnerven, von temporaler Sichel, von Gruben- und Taschenbildung an Sehnervenaustrittsstellen, von Nervenfaserschleifen, von Lücken in der Lederhaut, von verlagelter Netzhaut auf ganz früh in der Entwicklungsgeschichte entstandene Bildungsfehler zurückführen als abirrende Nervenfasern, Fältelung am Augenbecherrand u. a. Die Dehnung, für die sich C. HESS (e) ausgesprochen hat, Zerrung und Verziehung der Binnenhäute durch äußere Einflüsse werden ganz abgelehnt. Ob dies so entschieden am Platz ist, kann bezweifelt werden. Es würde kein Einwand gegen die eben angedeutete entwicklungsge-schichtliche Auffassung der Bildungseigentümlichkeit sein, wenn man darauf hinweist, daß sich die bei hochgradig kurzsichtigen Augen oft so schweren Veränderungen erst im Laufe des Lebens unter unsere Beobachtung ausbilden. Schon SCHNABEL und HERRHEISER haben diese Entgegnung entkräftet. Wenn das im ganz allgemeinen Sinn minderwertig angelegte Gewebe nachträglich unter dem inneren Einfluß des Wachstums Veränderungen erleidet, so ist ein Erfolg äußeren Einflusses mindestens verständlich, sogar der einer Dehnung, sei es unter dem normalen Binnen-druck, sei es der einer regel-mäßig sich wiederholenden Belastung im normalen Gebrauch des Auges. Folgeerscheinungen anzunehmen wird man aber veranlaßt, wenn man die nicht im Zusammenhang mit dem Conus vorkommenden Befunde betrachtet, nämlich die über größere Flächen am hinteren Pol ausgedehnten Veränderungen ohne scharfe Abgrenzung und die insel-förmigen Einzelherde außerhalb des Conusgebietes (s. o. S. 591).

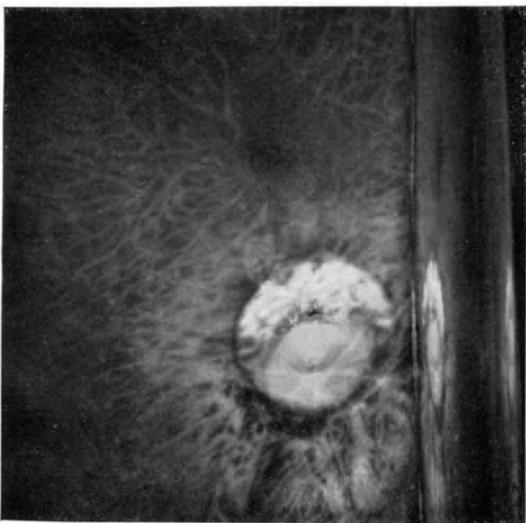


Abb. 155. Der Sehnervenaustritt eines kurzsichtigen Auges in etwa 5facher Vergrößerung nach L. HEINE. Die Netzhaut ist durch Glycerin aufgehellt. Die Netzhautgefäße sind als hellweiße Strahlen zu sehen. Gefäßstrichter schräg. Nasale Supertraktion. Aderhautgefäße aus dem Conusgebiet hinaus in die Aderhaut zu verfolgen. (Aus A. NEISSER.)

Mikroskopisch steht die Aderhautveränderung entschieden im Vordergrund des Bildes. Die Netzhaut weist sichtbare Schäden anscheinend im wesentlichen nur in Abhängigkeit von den Aderhautherden auf. Schon im Spiegelbild läßt sich die Verdünnung der Aderhaut und des Pigmentepithels erkennen. Der Hintergrund erscheint heller und lebhafter, frischer rot. Die Aderhautzeichnung wird deutlich, und die Zwischenräume zwischen den Aderhautgefäßen werden größer. Sogar die Lederhaut scheint weißlich durch (Abb. 109, 122, 138, 139). Damit nicht genug, es leiden auch die einzelnen Gefäße, indem sie größere oder weniger breite

weiße Einscheidungen bekommen und schließlich weiße Bänder mit oder ohne einen feinen roten Blutfaden darstellen. Diese Veränderungen beschränken sich nicht selten auf einzelne Bezirke, neben welchen glatter roter Hintergrund erhalten ist. Die Aderhaut ist im Schnitt denn auch mehr oder weniger dünn, oft wie ausgewalzt, und pigmentarm. Das Pigmentepithel fehlt ebenfalls da und dort. E. KRÜCKMANN hat mit dem Augenspiegel die Veränderungen in einem kurzsichtigen Auge verfolgt und den mikroskopischen Befund später erheben können. Er zeigte sich in gleicher Weise bei einer größeren Anzahl anderer kurzsichtiger Augen. Die Hauptveränderungen spielen sich in den Aderhautgefäßen ab. Durch die Dehnung kommt es zu einer Verengung der Lichtung bis zur Verödung, ohne daß dabei thrombotische Vorgänge zu beobachten wären. Radiär zur Papille verlaufende Gefäße verschmälern sich bei der Gewebsdehnung, so daß die Blutsäule vom Chromatophorenmantel zurückweicht. Gebogene Gefäße strecken sich, um auf der erhabenen Bogenseite ebenso einen Aufhellungssaum zu bekommen und auf der hohlen die Chromatophoren dichter zusammenschieben. Auch die Lücken in der Lamina elastica bezieht KRÜCKMANN auf eine vorausgehende Schädigung der Choriocapillaris und der großen Aderhautgefäße. Am widerstandsfähigsten ist offenbar die Glashaut. Wo diese leidet und Löcher in ihr entstehen (L. HEINE [h]), kommt es zu eigenartigen Folgen für die Netzhaut. Sie fällt in die Lücken vor, die Stäbchen- und Zapfenschicht verschwindet, die äußere Körnerschicht biegt an den Rändern nach außen um (Abb. 140, 141, S. 604). Dort begegnet man auch Entzündungserscheinungen (SALZMANN [a, b], BEHSE, W. GILBERT). In der Mitte eines solchen Herdes fallen die äußeren Körner vor, und die inneren Körnerschichten werden in die Lücke hineingezogen. Die Netzhaut ruht der Lederhaut auf, da die Aderhaut völlig fehlt. An der einen Seite ist sie unter die wieder in dünnen Schichten beginnende Aderhaut hinuntergezogen (s. Abb. 140 u. 141).

Das *Pigmentepithel* wuchert gelegentlich durch Risse der Glashaut in die schwindende Aderhaut hinein (BEHSE). Durch Flächenrekonstruktion hat man die Lagerung und die Ausdehnung der oft zahlreichen Lücken in der Aderhaut bestimmt (BEHSE, M. SALZMANN [b]) und ihre Beziehung zu den mit dem Augenspiegel sichtbaren weißen Herden hergestellt. Auch zwischen den Herden ist die Aderhaut oft sehr verdünnt und im Schwinden begriffen, wie sich auch unabhängig von den Herden schwartiges Bindegewebe in der Aderhaut feststellen läßt (GILBERT [a]). In der Peripherie der Netzhaut hochgradig kurzsichtiger Augen hat man cystoide Entartung, das IWANOFFSche Ödem (b, S. 88, Tafel IV/V) entschieden häufiger, früher und ausgedehnter gefunden als in anderen Augen und erblickt darin eine Ursache für die Netzhautablösung (R. HANSSEN [a] und A. VOGT [b]). An die peripheren Aderhautherde erinnert REHSTEINER (S. 597 u. 593) (s. a. JUNIUS).

*Entzündliche Erscheinungen* treten im mikroskopischen Befund des kurzsichtigen Auges durchaus zurück. Man findet gelegentlich um Aderhautrisse und um vorgefallene Netzhautstückchen herum kleinzellige Infiltrate. Von einer entzündlichen Entstehung der Kurzsichtigkeit und ihrer Begleiterscheinungen am Augenhintergrund kann jedoch keine Rede sein.

### 3. Die Auffassungen vom Wesen und von der Entstehung der Kurzsichtigkeit.

#### a) Die Arten der Myopie.

Vergleicht man eine größere Anzahl von kurzsichtigen Augen miteinander, so bekommt man den Eindruck einer recht bunten Mannigfaltigkeit hinsichtlich

der äußeren Form, der Veränderungen am Augenhintergrund, ihres Einflusses auf die Sehschärfe und der Stärke des Fehlers.

Sucht man nach einem Grundsatz für eine Einteilung, so versagt der nächstliegende, sich einfach nach der Stärke zu richten, deshalb, weil wesentliche Eigenschaften dieser Augen nicht regelmäßig mit der Stärke zusammengehen. Die Kurve von R. SCHEERER (b) und A. BETSCH zeigt ja, daß sich die Augen mit Kurzsichtigkeitsveränderungen ihrer Binnenhäute im ganzen Stärkengebiet der Myopie, ja darüber hinaus noch in den der Hypermetropie vorfinden, und die Aufteilung der diese Kurve aufbauenden Augen durch SCHEERER und SEITZER (c) weist auf die Gleichwertigkeit gewisser Gruppen der verschiedenen Hintergrundbilder bezüglich ihrer Herkunft hin. Bei einer Einteilung rein nach der Stärke müßten bestimmte für den Kurzsichtigen selbst wesentliche Punkte unberücksichtigt bleiben, nämlich, abgesehen vom Augenhintergrundszustand, die Zeit des Beginnes, die Geschwindigkeit und Dauer der Entwicklung und die Folgekrankheiten, kurz der Verlauf des Leidens, zu dem die Kurzsichtigkeit in gewissen Fällen wird.

Mit Rücksicht darauf hat F. C. DONDERS in *stationäre, zeitlich progressive* und *bleibend progressive* Kurzsichtigkeit (S. 290 f.) eingeteilt, alle drei aber doch als einheitliche Zustände annehmend. E. LANDOLT stellt verschiedene Formen auf, darunter auch die Kurzsichtigkeit „in einem völlig gesunden Auge“, also im Sinn des Zusammentreffens an sich physiologischer Brennweiten- und Längswerte, die aber zusammen eine Kurzsichtigkeitseinstellung ergeben (s. o. STEIGER).

M. TSCHERNING (b) zerlegt die Kurzsichtigkeit auf Grund seiner eigenen Zahlenaufstellung in drei der Art nach verschiedene Gruppen, eine Kurzsichtigkeit bei gesunden Augen, gewissermaßen als Zufälligkeit der Bildung, eine funktionelle durch Naharbeit entstandene von 3—9 oder 10 dptr, die eben keine krankhaften Veränderungen darbietet, und schließlich eine höhere Kurzsichtigkeit mit der Neigung zu gefährlichen Begleitkrankheiten. Nach Ausschluß niedriger, gewissermaßen noch in den Bereich zulässiger Schwankungsbreite gehörender Fälle gibt es also zwei verschiedene Arten „pathologischer“ Kurzsichtigkeit. Für die eine spielt der überwiegende Gebrauch des Auges zur Naharbeit ursächlich eine große Rolle. Sie ist in verschiedenen Berufsgruppen außerordentlich viel häufiger als bei anderen, nicht auf Naharbeit angewiesenen. Sie hält sich durchschnittlich unter 3 dptr. Ihre Häufigkeit nimmt mit steigender Höhe sehr schnell ab, um bei 9—10 dptr ganz zu verschwinden. Die andere Art, von der Naharbeit ganz unabhängig, ist gleichmäßig über die Kopenhagener Bevölkerung verbreitet. Eine ähnliche Meinung hat z. B. auch GULLSTRAND (b).

Der Dualismus der Auffassung wird von anderen abgelehnt. So vertreten HESS (f), STRAUB, STEIGER (c), COHN (c, d), JABLONSKI (s), CLAUSEN (a, b) u. a. die Einheit der Kurzsichtigkeit, wenn auch mit verschiedenen Gründen. COHN sieht nur die Folgen der Naharbeit unter ungünstigen Bedingungen. STEIGER, C. HESS und JABLONSKI erkennen nur eine Wachstumseigenheit als Ursache an. E. HOLM (c) vertritt zwar ebenfalls die maßgebende Bedeutung der Vererbung, nimmt aber eine gewissermaßen abgestufte Vererbung besonderer Art an, deren schwächere Anlage sich nur auswirkt, wenn ihr auch die Naharbeit zu Hilfe kommt, während sich die stärkere Anlage auch ohne diese durchsetzt.

Von anderen Vorschlägen der Gliederung sei abgesehen (E. JAVAL, J. STILLING, KÖNIGSHÖFER u. a.). Während die meisten verschiedene Ursachen annehmen, bleibt nur H. COHN dabei, daß die Kurzsichtigkeit in dieser Beziehung eine einheitliche Krankheit sei (s. auch SCHMIDT-RIMPLER [a, b] und SEGGELE [c]).

Gewiß würde uns eine Einteilung nach der Ursache sehr befriedigen, doch muß die ungemein weite Verbreitung des, man möchte fast sagen, Schlagwortes

Schulmyopie bzw. Arbeitsmyopie davor warnen, in der Namengebung vorzeitige Urteile festzulegen, wo andere, weniger einseitig gefaßte Bezeichnungen genügen.

Bei der weiten Verbreitung der Kurzsichtigkeit, die in ihren mittleren und höheren Graden den Träger stört, sein wirtschaftliches Fortkommen empfindlich ja sogar verhängnisvoll schädigen kann — Welch großen Bruchteil macht doch die hohe Kurzsichtigkeit unter den Augenleiden aus, mit denen Anträge auf Invalidenrente begründet werden! —, wird es niemand wundern, daß sehr viel Mühe zur Erforschung ihrer Eigenheiten und vor allem ihrer Entstehung aufgewandt worden ist. Gleichwohl sind wir nur langsam vorwärts gekommen, und viele Fragen harren noch der Antwort. Trotzdem die große Rolle, die die Vererbung nicht nur für die Kurzsichtigkeit, sondern allgemein für die Entstehung der Refraktionen spielt, in der Hauptsache heute anerkannt ist, so fehlt es nicht an abweichenden Ansichten in Haupt- und Nebenpunkten. In die Unzahl von Meinungen und Schlüssen, die im Lauf der Zeit laut geworden sind, soll deshalb wenigstens ein gewisser Einblick im folgenden gegeben werden.

### b) Die Theorien der Myopieentstehung.

**Die Theorie der entzündlichen Genese.** Mit der Meinung, die aus der ersten Zeit der Erfindung des Augenspiegels stammt und *entzündliche Vorgänge* bei der Ausbildung der Veränderung im hochgradig kurzsichtigen Auge annimmt (BJERRUM, A. VON GRAEFE [1854]), brauchen wir uns heute kaum aufzuhalten (s. S. 614).

**Die Theorie des Sehnervenzuges.** Sodann möge eine Gruppe älterer und neuerer, im wesentlichen mechanischer Vorstellungen hier zusammengefaßt werden. VON HASNER und WEISS (c, d, e), sowie W. STOCK (a, b) glauben, der Sehnerv zerre am Augapfel bei Bewegung besonders nach innen unten, wenn das Abrollungsstück (WEISS [c, e]) zu kurz sei, und verursache dadurch die Veränderungen am hinteren Augenpol. Teils konnte die anatomische Grundlage bestätigt werden (EMMERT, STILLING), teils wurden Einwände gegen die Deutung erhoben (C. HESS [b]), teils wurden Messungen der Konvergenz bei Kurzsichtigen gegen die Behauptung einer Zerrung ins Treffen geführt (WIDMARK [b]).

Wies W. THORNER auf die Eigentümlichkeit der Augenbewegung beim Lesen hin, die in zahllosen Rucken besteht, und auf die darin liegende Möglichkeit einer Schädigung der Sehnerven, so hat neuerdings W. COMBERG ähnliche Gedanken geäußert und mit sorgfältigen Messungen am Lebenden und an der Leiche zu erhärten gesucht. Von Einfluß auf die Ausbildung der hochgradigen Kurzsichtigkeit, meint er, sei die Erschütterung des Sehnerven durch das Anstoßen an das Fettpolster und die dahinter liegenden geraden Augenmuskeln bei allen seitlichen Bewegungen, der Stoß des Lidschlages und des Blinzeln sowie der Ruck der gleichzeitig erfolgenden physiologischen Augapfelverschiebungen. Einwände blieben natürlich nicht aus (CLAUSEN in der Aussprache). BJERRUM hat z. B. 24 Fälle angeborener Ophthalmoplegia totalis zusammengestellt, deren 8 über 4 dptr Kurzsichtigkeit aufwiesen, obwohl doch niemals die angeschuldigten Ruckbewegungen auf diese Augen gewirkt haben können. Sodann wird daran erinnert, daß der Nystagmus, der ja besonders schädlich sein müßte, nicht zur Kurzsichtigkeit führt.

**Die Theorie von der Wirkung der Schwerkraft auf das Auge.** G. LEVINSOHN (a bis h) glaubt, in der Schwerkraft, die den Augapfel nach vorn sinken läßt, wenn der Kopf geneigt wird, die Ursache der Kurzsichtigkeit erkannt zu haben. Dabei soll eine Zerrung am Sehnerven wie an den äußeren Augenmuskeln die Ausdehnung des hinteren Augapfelabschnittes besorgen. Junge Affen, die er längere Zeit hindurch täglich mehrere Stunden lang aus ihrer natürlichen Körperstellung in waagrechte Bauchlage mit abwärts gerichtetem Blick zwang, sind kurzsichtig geworden. M. BARTELS (a und Aussprache b) und C. BEHR wenden

dagegen ein, daß Affen recht häufig kurzsichtig sind, und vermissen die Gegenprobe. MARCHESANI (a, b) hat diese Vergleichsprobe bei seiner Wiederholung der Affenversuche angestellt und gesehen, daß auch die dem Versuch nicht unterworfenen Tiere rasch kurzsichtig wurden. Auch hat er nicht unbedeutend geschlängelte Sehnerven gefunden. R. HANSEN (c) veröffentlicht das Lichtbild eines Leichenbefundes, stark S-förmig geschlängelter Sehnerven eines hochgradig kurzsichtigen Augenpaares, und spricht sich damit nicht nur gegen LEVINSOHN, sondern auch gegen HASNER, WEISS und DINGER<sup>1</sup> (a, b) aus. H. SATTLER (d) hält ihm entgegen, daß das Hervortreten der Augen bei der BASEDOWSchen Krankheit nie Kurzsichtigkeit nach sich gezogen habe. BARFELS (b) erwähnt das Ausbleiben der Kurzsichtigkeit trotz einem lange Zeit bestehenden intermittierenden Exophthalmus. Vom Vorrücken des Auges bei Lähmung der äußeren Muskeln wäre dasselbe zu sagen. Übt die Schwerkraft bei gesenktem Kopf wirklich einen Zug auf den Sehnerven aus, so müßte er, darauf macht SCHEERER (a) aufmerksam, nicht am schläfenseitigen, sondern am nasenseitigen Rande wirken, also einen Bügel (Conus) nach innen erzeugen, nicht, wie es die Regel ist, nach außen. Poos hat bei Kaninchen, Tieren, die nicht zu Myopie neigen, durch längere, täglich Stunden dauernde Vermehrung des Schwerefeldes zwar Wachstumsänderungen des Schädels, aber keine Myopie erzeugen können.

Gegen R. HANSEN (c) und W. WICK (a, b, c, d) sucht LEVINSOHN in einer längeren Reihe von Aufsätzen und Erwiderungen seine Behauptungen aufrecht zu erhalten.

Ähnliche Vorgänge schildert DINGER (a, b), der ebenfalls ein Vorrücken des Augapfels, übrigens um

recht kleine, noch nicht 1 mm erreichende Beträge gefunden hat. Doch nimmt er nicht eine rein mechanische Dehnung an als Folge der Zerrung am Sehnerven, sondern läßt diese als Wachstumsreiz wirken. W. F. R. ESSED bekennt sich auf Grund von Betrachtungen über die Schwerkraftwirkung am Auge als ein Anhänger der LEVINSOHNSchen Darstellungen.

**Der Einfluß der Naharbeit.** Wir sind mit dem eben Gesagten in die Erörterung der Naharbeit als einer Entstehungsursache der Myopie eingetreten. Der ursächliche Zusammenhang schien als erwiesene Tatsache, bestätigt durch das Ergebnis der Untersuchung großer Bevölkerungsgruppen und die danach angefertigten Aufstellungen. Deren zahlreiche stimmen darin überein, daß z. B. unter Schulkindern um soviel mehr aufs Hundert kurzsichtig sind, je höher die Schule ist.



Abb. 156. Die S-förmige Schlängelung der Sehnerven eines hochgradig kurzsichtigen Augenpaares. (Nach R. HANSEN.)

<sup>1</sup> Nach ZEHENDER auch SCHWEIGGERS Ansicht.

Es sei an die oben S. 585 angegebenen Zahlen erinnert. Wegen weiterer Einzelheiten und Schriften darüber sehe man bei COHN, STRAUB (a), STEIGER.

M. TSCHERNING (a, b) sah bei den vorwiegend Naharbeit leistenden Berufen niedrige Kurzsichtigkeitsgrade stark gehäuft, die hohen aber in allen Berufen gleich stark vertreten. Hiergegen wird von BLEGVAD (a, b) geltend gemacht, daß die Augen, die späterhin auch hochgradig kurzsichtig würden, durch den Ausschluß der erst heranwachsenden und bei der gewählten Stärkengrenze nicht miterfaßt seien. Wegen weiterer Einzelheiten und wegen Schriften nachweises sehe man bei H. COHN, „Die Hygiene des Auges“ (d).

Der ursächliche Zusammenhang galt als so sicher, daß die Bemühungen der Forscher eigentlich nur darauf abzielten, die schädigende Wirkungsweise dieser doch an und für sich durchaus im Aufgabenkreis des Sehorgans liegenden Tätigkeit des Nahsehens zu erklären. Wenngleich A. STEIGER in dem oben erwähnten Werk von 1912 (c) der Art und Weise, in der die meisten Aufstellungen gemacht und zu Folgerungen verwendet werden, eine herbe, allerdings sachlich durchaus begründete Beurteilung hat zuteil werden lassen, so muß doch der vor Jahrzehnten entwickelten Ansichten, wenn auch in gedrängter Kürze und in den Grundzügen, hier gedacht werden. Haben sich diese Lehren doch so weit verbreitet, daß sie ihre Wirkung nicht nur in Laienkreisen auch heute noch ausüben. Wohlerwogene Gründe lassen auch heute Erblichtigkeitsforscher wie WIBAUT für niedrige Kurzsichtigkeitsgrade der Naharbeit ihre Bedeutung zu sprechen.

Der schädliche Einfluß wird teils der Akkommodation, teils der Konvergenz zugeschrieben. Manche lassen beide zusammenwirken. Die Ruckbewegungen beim Lesen wurden früh für besonders schädlich erachtet (E. FICK, W. THORNER).

**Der Einfluß der Akkommodation.** Im einzelnen dachte man sich die von der Akkommodation ausgelösten Vorgänge wiederum sehr verschieden. Die Verkürzung des Ciliarmuskels sollte eine Anspannung oder Zerrung an der Aderhaut ausüben, wie es eben einem Tensor chorioideae zukommt. Dadurch soll der Conus myopicus am Sehnervenrand entstehen, sei es durch Dehnung (MARTIN) sei es durch Gewebsschwund (A. IWANOFF [c, 275—297], HORNER). Dieser Deutung widerspricht V. HENSEN und VÖLKERS Versuch. Sie sahen Nadeln in die vordere Augapfelwand eingestochen, sich bei der Ciliarkörpertätigkeit nur deutlich bewegen, im hinteren Polgebiet aber gar nicht. C. HESS (c, e) wandte ein, man müßte hierbei eher am nasenseitigen Rand des Sehnerven Veränderungen erwarten als auf der Schläfenseite.

Wenn die Kurzsichtigkeit einen gewissen Grad erreicht habe, so müßte mit dem Wegfall der Akkommodation auch das Weiterschreiten der Kurzsichtigkeit und ihrer Begleiterscheinungen aufhören, während gerade die Übersichtigen von Kurzsichtigkeitsveränderungen befallen werden müßten, was die Ausnahme ist (FÖRSTER).

**Der Akkommodationskrampf.** Eine große Rolle spielt in den Schriften der siebziger Jahre der Akkommodationskrampf, eine früher in ihrer Häufigkeit wohl sicherlich überschätzte und in ihrer Art kaum richtig gedeutete Erscheinung. Man hielt es für möglich, daß durch den Krampf des Ciliarmuskels infolge anhaltender Naharbeit die Linse *dauernd* stark gewölbt bleiben und so eine Kurzsichtigkeit entstehen könne. Auf diese nie bewiesene Ansicht greift vor kurzem wieder Graf WISER zurück, ohne ihr durch seine Schrift eine Stütze zu geben (A. BRÜCKNER, GILBERT [b]).

Schließlich sollte der *Binnendruck* des Auges durch die Akkommodationsanspannung gesteigert und dadurch die Dehnung bewirkt werden, eine Vermutung, die durch die Messung von C. HESS und L. HEINE (g) und nochmals von C. HESS (d) als unzutreffend erledigt worden ist.

**Der Einfluß der Konvergenz.** Wird die Akkommodation schon früh, wie von ARLT, für unsere Frage als belanglos angesehen, so bleibt das *Nahsehen* doch verantwortlich, nur ist dann die *Konvergenzbewegung* das Übel.

Auch hierbei sind die Vorstellungen über die Wirkungsweise verschieden. Als Beispiel sei die von ARLT erwähnt. Er leitet eine „allmähliche Verdrängung der hinteren Wand“ von wiederholter temporärer Steigerung des Druckes im hinteren Augenraum ab. Diese Druckerhöhung wieder sei bedingt durch „Blutüberfüllung im Uvealtractus, weiterhin durch Ausscheidung von Serum im hinteren Glaskörperabschnitt“. Die Blutüberfüllung bezieht er auf eine Behinderung des Blutabflusses durch die Wirbelvenen, die eintrete, wenn bei steigender Konvergenz der Sehlinien der Musculus rectus lateralis und der Musculus obliquus inferior auf die eine oder die andere Wirbelvene drücke. Durch eine Erschwerung des Einströmens durch die hinteren Ciliararterien in die Aderhaut wird in der Episclera eine Hyperämie gesetzt und dadurch die Widerstandsfähigkeit der Sklera vermindert.

Andere, voran A. v. GRAEFE, nehmen einen schädlichen unmittelbaren Muskeldruck an, wenn die Konvergenz bei dynamischer Divergenz erschwert wird. Von W. DOBROWOLSKY ist Druckerhöhung als Folge der Konvergenz nachgewiesen. Anschaulich und begreiflich werden diese Verhältnisse, wenn man die Retraktionswirkung sieht, die bei gewissen Fällen angeborenen Ausfalls der Auswärtswendung mit der entgegengesetzten Blickbewegung erscheint, und wenn man bei Vorlagerungen den mit der PRINCESCHEN Pinzette gefaßten Muskel unmittelbar auf die haltende Hand wirken läßt. Doch wird die zur Verfügung stehende Zugkraft auf den Augapfel nur dann einen nennenswerten Druck ausüben, wie ein Seil auf die Rolle, wenn die Stellungsänderung gegen einen Widerstand erfolgt, und die von der Ruhelage abweichende Stellung nur gegen einen Widerstand erhalten werden kann. Diese Bedingung kann man sich wohl bei langen kurzsichtigen Augen gegeben denken. Als Entstehungsursache der Kurzsichtigkeit wird der Vorgang aber nicht gelten können, da die Augapfelform zunächst ja nicht länglich, sondern mehr kuglig ist; hingegen könnte er bei schon erfolgter Verlängerung des Auges das Fortschreiten fördern.

Nach F. C. DONDERS z. B. kommt dreierlei in Betracht: 1. der Druck der Muskeln auf den Augapfel bei starker Konvergenz der Sehachsen, 2. die Vermehrung des intraokularen Druckes bedingt durch Überfüllung des Auges mit Blut bei vornübergeneigter Haltung des Kopfes, 3. der Kongestionszustand am Augenhintergrund, welcher zu Erweichung der Gewebe führen und selbst bei normalem, aber noch mehr bei erhöhtem intraokularem Druck Ausdehnung der Häute veranlaßt.

P. J. HAY sieht die Zunahme der Kurzsichtigkeit als eine Folge des Mißverhältnisses zwischen Akkommodation und Konvergenz an. Weil nicht akkommodiert zu werden braucht, wird eine übermäßige Konvergenzanstrengung verlangt. Damit wird nun Akkommodation mit in Gang gesetzt, der Nahpunkt rückt heran, und es wird vermehrte Akkommodation nötig, bis schließlich das beidäugige Sehen zerfällt und Divergenz entsteht. Exophorie bei Rechtsichtigen wirkt ähnlich durch Anforderung übermäßiger Konvergenzinnervation.

Hat auch die einseitige Beschuldigung der Naharbeit im wesentlichen dank dem Wirken A. STEIGERS aufgehört, so wird sie doch noch ernsthaft meist als Hilfsursache und mit verschiedener Deutung ihrer Wirksamkeit in Betracht gezogen (O. BLEGGVAD [a], E. HOLM [b], CLARKE, KUBLI, BESOLD, M. STRAUB [b], J. E. DINGER [a], GRIMSDALE, F. A. NEWMAN. KOSTER (a) nahm dabei die Akkommodation als wirksam in Anspruch).

**Der Einfluß der Maculae corneae.** Hornhautflecken hat man vielfach für die Entstehung der Kurzsichtigkeit verantwortlich gemacht (MEYERHOF [b, c]). STRAUB (a) glaubt, daß alle Ursachen, die die Sehschärfe herabsetzen, in den Jahren des Wachstums Myopie verursachen können, so Hornhautflecken und Astigmatismus. Er weist auf L. TH. VAN DYCK hin, der unter den jüngeren Myopenaugen der Poliklinik 18—20% mit Hornhautflecken behaftet gefunden hatte. Unter anderen lehnen in letzter Zeit HERN und MACCALLAN diese Ansicht ab. Dagegen sah E. HOLM (f) unter 102 Fällen von einseitigen Hornhautflecken 19 in der Richtung der Übersichtigkeit (Hyperopie), 33 in der Richtung der Kurzsichtigkeit abweichen, 15mal entstand Kurzsichtigkeit (Myopie) gerade auf der Seite der Flecken, während das gesunde Auge recht- oder übersichtig war, nur einmal umgekehrt. Ähnliche Beobachtungen hatte auch VAN DYCK gemacht.

Man wird solche Augen indessen nicht mitverwerten lassen dürfen, wo die gewöhnliche Form der Kurzsichtigkeit erörtert wird. Denn sicherlich sind die Krankheitsvorgänge, die die Narben hinterlassen haben, oft nicht spurlos an der Gesamtform der Hornhaut vorübergegangen. Die meisten kurzsichtigen Augen haben jedoch keine Hornhautflecken.

H. BECKERS erblickt im begleitenden **Astigmatismus** den Ausgangspunkt, indem dabei durch Anspannung des Tensor chorioideae die Netzhaut nach vorn, die Linse nach hinten gezogen und so der Glaskörperbinnendruck erhöht werde. Auch S. DRUAULT-TOUFESCO erblickt im Astigmatismus eine Ursache für das Fortschreiten der Kurzsichtigkeit; nach MEYERHOF (b) wirkt er mindestens mit. Mehrere Statistiken belegen die große Häufigkeit

des Astigmatismus unter den Kurzsichtigen (STEIGER, MENDE, KATEL-BLOCK, VAN DYCK). VAN DYCK zählte unter den myopischen Augen der Poliklinik bis zum Alter von 40 Jahren etwas über 18% astigmatische. In den folgenden Jahrzehnten sinkt die Zahl sehr ab. Viel höher sind WENTINKS Zahlen. VAN DER MEER stellte in Mittelschulen 12,4% Astigmatismus fest. Die niedrigen Grade der Kurzsichtigkeit sind häufiger mit Astigmatismus verbunden als die höheren (s. a. SEGRIST, SEEFELDER).

Der **körperliche Allgemeinzustand** wird auch zu der Kurzsichtigkeit in Beziehung gebracht (PANSE und ASK [a]). Auf dem Boden eines geschwächten Allgemeinzustandes, der zum Heeresdienst unfähig macht, scheint nach ASK (b) die Kurzsichtigkeit nicht besser zu gedeihen als bei kräftigem Körper. An die oben S. 587 erwähnten Beobachtungen von unerwartet spätem Einsetzen von Kurzsichtigkeit mit gleichzeitiger schwerer Änderung im Allgemeinzustand sei zurückverwiesen, wie auf SONDER und LEFEVER, der ungenügende Ernährung den Boden für die schädliche Dehnungswirkung der Naharbeit bereiten läßt. Anämie zieht auch E. HOLM (b, c, e) mit in Betracht. N. SCALINCI schreibt Stoffwechselstörungen Einfluß auf die Kurzsichtigkeitsentstehung zu und der Erbllichkeit auch auf dem Weg über Stoffwechseleigentümlichkeiten. KUSCHEL möchte in der Erschlaffung der Körperkonstitution eine Veranlagung zur Kurzsichtigkeit begründen und hat zu diesem Zweck nach Beziehungen zwischen der Refraktion und der Festigkeit des Fußgewölbes, sowie im Gefüge der Regenbogenhaut und der Conusbreite des Auges gesucht. A. INCZE (a, b) prüft die Häufigkeit, mit der die verschiedenen Refraktionen und die drei körperlichen Erscheinungsformen KRETSCHMERS zusammentreffen. Die Pykniker kennzeichne die Übersichtigkeit, den Astheniker die Kurzsichtigkeit. Diese werden danach als Teilerscheinungen der Asthenia universalis congenita SILLERS gedeutet, und für die Dehnung wird der Binnendruck des Auges verantwortlich gemacht. Die Adrenalinarmut des Asthenikers spiele mit, wie die Gesamtheit seiner veränderten inneren Absonderung.

R. ARGANARAZ greift einen schon von ARLT beigezogenen Gedanken wieder auf, wenn er einen inneren Zusammenhang zwischen den Wanddehnungen bei der Kurzsichtigkeit und dem Keratoconus annimmt.

A. NICOLATA spricht sich für eine vererbare Störung des *hormonalen Stoffwechsels* als Ursache aus und betrachtet als notwendige Voraussetzung eine Störung in der Thymustätigkeit. BOTHMAN schließt aus dem Ergebnis von Grundumsatzbestimmungen und der Einwirkung von Thyreoidextrakt auf eine Beziehung zwischen herabgesetzter innerer Absonderung der Schilddrüse und progressiver Myopie.

WOOD findet den sonst recht gleichmäßigen Calciumgehalt des Blutes bei schwerer Kurzsichtigkeit erniedrigt und leitet davon eine Nachgiebigkeit der Lederhaut ab. Auf die Gefäße bezieht M. ROSENSTEIN (c) eine im vorgeschrittenen Alter auftretende und bleibende niedrige Kurzsichtigkeit als erste Ursache erhöhter Brechkraft der Linse. Die Lues als Ursache der Myopie hat D. ROSSI auf serologischem Weg ausgeschlossen, während ihr S. DRUAULT-TOUFESCO, wo sie zu einer Neigung zur Kurzsichtigkeit hinzukomme, eine fördernde Wirkung zuschreibt. Auch FRACASSI erinnert an die Ähnlichkeit des Krankheitsbildes der Achsenmyopie mit luischen Erscheinungen und hat von antiluischer Behandlung gute Erfolge gesehen.

Gegen die von G. HIRSCH (a, b, c, d) vertretene Auffassung der Kurzsichtigkeit als tuberkulöser Erkrankung des Auges hat sich natürlich lebhafter Widerspruch erhoben. Umgekehrt soll die Kurzsichtigkeit nach A. FEIGENBAUM gleichwertig mit einer Gewalteinwirkung für die Ansiedelung der Tuberkulose im Auge den Boden bereiten. D. ROSSI hat in seiner eingehenden klinischen Untersuchung keinen Anhaltspunkt für einen Zusammenhang mit der Tuberkulose gefunden.

**STILLINGS Theorie vom Einfluß des Schädelbaus.** Aus der Enge, in der sich die Forschung über die Entstehung der Kurzsichtigkeit in den 70er und 80er Jahren bewegt, führen STILLINGS Gedanken (a, b, c, d, e, f, g) heraus auf einen höheren Standpunkt. Ausgehend von der Arbeitsmyopie als Druckfolge gewinnt er die Überzeugung von einer Abhängigkeit dieses Druckes von dem Augenhöhlen-, d. h. dem *Schädelbau* und gelangt damit auf das Gebiet der *Rassenfrage*. Ein Druck der Art, daß sich der hintere Augenabschnitt darunter dehnt, kann nicht von den geraden Augenmuskeln herrühren. Dazu eignet sich der M. obliquus superior, wenn er dem Augapfel aufgelagert ist. Das ist dann der Fall, wenn die Trochlea niedrig sitzt. Ihr Ort hängt aber wiederum ab vom Bau der knöchernen Augenhöhle. Sie muß niedrig sitzen, wenn die Höhle niedrig ist. Das soll nun bei Kurzsichtigen vorwiegend der Fall sein. Der Vorgang wird übrigens nicht so aufgefaßt, als ob der Augapfel gewissermaßen durch die Muskelschlinge geknetet würde. Es soll sich vielmehr um ein verändertes Wachs-

tum innerhalb der engen Schlinge und unter der Zerrung am Muskelansatz handeln. Als Beleg dafür brachten STILLING, COHEN, ROMANO-CATANIA, KROTOSCHIN anatomische Befunde bei. Der Gedanke hat sehr stark und sehr nachhaltig gewirkt, so daß nicht nur alsbald Nachprüfungen stattfanden (PFLÜGER [d], JANKOWSKI), sondern auch jüngst wieder z. B. durch REDSLOB sorgfältige Untersuchungen unter diesem Gesichtspunkt angestellt wurden.

Wenn sich in jener Zeit sogleich eine sehr lebhafte Gegnerschaft, besonders SCHMIDT-RIMPLER (d, e), meldete, so ist das nicht zu verwundern. So haben Messungen von SEGGER (c), HERNHEISER, BAER, WEISS (e, f), GAMPER die Angabe der STILLINGSchen Schule nicht bestätigen können. Den Einwand der beiden letzten Forscher, daß hochgradig Ungleichsichtige (Anisometropische) meist nicht den von STILLING angegebenen Unterschied der Augenhöhlenform aufweisen, greift 1914 GAMPER auf und stellt Messungen an einer großen Zahl Ungleichsichtiger an. Er macht auf die große Unsicherheit der Messung und deren großen Einfluß auf den als Maßausdruck verwendeten Orbitalindex aufmerksam und zieht mit RÖNTGENSchen Strahlen gewonnene Schattenbilder der Augenhöhle zum Vergleich heran. Wie er kommt 1927 FAVOROLO bei Nachprüfungen ebenfalls zu einer Ablehnung der STILLINGSchen Meinung. M. MEYERHOF (c) vermißt an den Schädelmaßen der älteren und neuen Ägypter wie bei eigenen Messungen am Lebenden eine Beziehung zur Entstehung der Kurzsichtigkeit etwa im Augenabstand und gelangt zur Annahme einer Rassenveranlagung; siehe auch seine spätere Äußerung. Beziehung zu Konstitutionstypen s. STOCKARD.

I. GALLUS (a) sucht die Erklärung für die Entstehung der Kurzsichtigkeit mit Hintergrundsveränderungen in den Wachstumsvorgängen der Augenhöhle, die entsprechend dem Längenwachstum des Körpers Änderungen in den Beziehungen des Augapfels zu Augenhöhlenwand und -inhalt, insbesondere den geraden Augenmuskeln mit sich bringen; besonders die verschiedene Tiefenlage des Augapfels spielt eine Rolle. Naharbeit unter gesteigertem Muskeldruck, der mit erhöhtem Augenbinnendruck nichts zu tun hat, vermehrte Konvergenzanstrengung wegen des Auseinanderrückens der Augenhöhlen kommen hinzu.

L. MÜLLER (c) nimmt in einer besonderen Weise den Zug der schiefen äußeren Augenmuskeln (Mm. obliqui) auf das zwischen ihnen liegende Lederhautstück für die Ausbildung der Kurzsichtigkeit in Anspruch (s. unten S. 639, Behandlung).

Manche dieser Erklärungsversuche beruhen allein auf Überlegungen, ohne daß man gesicherte Beobachtungsergebnisse als sachliche Grundlage hätte aufweisen oder für die Folgerungen einen Beweis liefern können. Unter dem Eindruck von Gegenrunden mußten Ausnahmen zugegeben werden. Man sah sich gelegentlich auch zu Stellungswechsel genötigt. Vielfach befriedigte eine einzelne der Lehrmeinungen für sich allein nicht. Mancher Forscher sprach sich für ein Zusammenwirken verschiedener Einflüsse aus.

**Einwände gegen die älteren Theorien.** Gegen die hier in kurzem angedeuteten Gedankengänge hat sich eine Menge von Einwänden erhoben. Es ginge zu weit, sie im einzelnen zu erörtern. Für viele kann auf die sorgfältige Durcharbeitung A. STEIGERS (c) verwiesen werden. Es genügt, einige Punkte zu nennen. Die meisten trifft vor allem der Einwurf, warum nur jeweils ein Teil der Augen kurzsichtig wird, die alle zumal in den ob ihrer großen Anforderungen und mangelhaften Einrichtungen viel gelästerten Schulen das Gleiche zu leisten hatten. Darum kommen auch die meisten Ankläger der Naharbeit nicht ohne die Annahme einer Disposition aus. Die Schädigung durch die Akkommodation muß aufhören, wenn keine Akkommodation zum Nahsehen mehr nötig ist. Warum bleibt es also nicht bei dem Kurzsichtigkeitsgrad von etwa 3—4 dptr? Warum werden nicht gerade die übersichtigen eines Glases entbehrende Augen von den „Dehnungserscheinungen“ besonders häufig und schwer heimgesucht, da sie doch mehr akkomodieren als die kurzsichtigen (WEISS [d])? Gegen die Anschuldigung der Konvergenz sprechen stark einwärts schielende Augen, die in der überwiegenden Mehrzahl nicht kurzsichtig, sondern übersichtig sind. Warum stellt sich oft nur auf *einem* Auge Kurzsichtigkeit ein und wächst un-

aufhaltsam bis zu hohen Graden, obwohl das beidäugige Sehen und damit die Konvergenz aufgegeben wird, und das Lesen und Nahsehen in bequemem Abstand mit dem anderen Auge erfolgt? (Über einseitige Kurzsichtigkeit handelt eine mir nicht zugängliche Schrift von A. CONADAN 1927.) Wiederum beginnt die Kurzsichtigkeit auch einmal in Augen, von denen Naharbeit in nennenswertem Maße gar nicht verlangt wird, in frühester Jugend vor der Schulzeit. Warum hört so oft die Kurzsichtigkeit auf, obwohl die schädliche Naharbeit unvermindert, ehe sie noch in größerem Umfang geleistet wird, wie in den höheren Schulen vor der Reifeprüfung (STEIGER)? Will man es etwa schon als eine Schädigung der Augen durch das Gymnasium hinstellen, wenn nach der oben angeführten COHNSchen Aufstellung schon in der Sexta des Gymnasiums um 35% mehr kurzsichtige Schüler gefunden wurden als in der gleichen Klasse der Realschule? Oder wenn gar nach COLDEN schon bei 6jährigen die hohe Kurzsichtigkeit ebenso häufig ist wie bei 14jährigen? Wenn eine Druckerhöhung eine Rolle spielt, warum wird nur der hintere Augapfelabschnitt betroffen? Einen Ausweg aus manchen Schwierigkeiten sucht man durch die naheliegende Annahme, es gebe zwei verschiedene Arten von Kurzsichtigkeit, eine verhältnismäßig harmlose Schulmyopie und eine über Jahrzehnte fortschreitende deletäre Form.

**Die Rolle der Vererbung.** Hat man in früheren Jahren (L. WEISS [d, e], STILLING, LAQUEUR, MOTAIS) wenigstens für die hochgradige Kurzsichtigkeit auch schon vor COHNS Auftreten der Vererbung Einfluß auf die Entstehung der Kurzsichtigkeit zugebilligt, so ist ihre Geltung doch jahrzehntelang durch mechanische Erklärungsversuche ganz in den Hintergrund gedrängt worden. Wie schon erwähnt, hat A. STEIGERS sorgfältige und wohldurchdachte Bearbeitung eigener umfangreicher Untersuchungsbefunde und seine scharfe Beurteilung fremder, in den Fachschriften niedergelegter Ermittlungen auf einen Umschwung in unserer Stellung zu der Frage der Refraktionsentstehung überhaupt, der Kurzsichtigkeit insbesondere geführt, und die Vererbung ist als mächtigste Grundursache anerkannt. Die Forschung geht seit STEIGER darauf aus, Stoff zur Lösung der zahlreichen Teilfragen zu sammeln und zu verarbeiten. Als besonders wertvolle Aufschlüsse haben sich Korrelation zwischen verschiedenen Maßen und Eigenschaften ergeben (s. Refraktion) (F. BERG, P. J. WAARDENBURG, F. WIBAUT, E. TRON u. a.). Diesem Gebiet ist dann auch in diesem Handbuch seine eigene Behandlung zuteil geworden (s. dieses Handbuch, Bd. I, A. FRANCESCHETTI).

Die Forschungen STEIGERS haben mit Recht begeisterte Aufnahme gefunden (siehe unter vielen anderen STREIFF [a], SIDLER-HUGUENIN, MÜNCH, E. VON HIPPEL, UHTHOFF, CLAUSEN [a, b]). So wertvoll sie auch sind, so konnte damit die Frage der Kurzsichtigkeit doch noch nicht als gelöst gelten. Einwände blieben denn auch nicht aus. Man kann sich schwer entschließen, den Zustand hochgradig kurzsichtiger Augen mit den schweren Veränderungen der Innenhäute und der umschriebenen Ausbuchtung der Augenwand als das Ergebnis eines natürlichen Wachstums dem des schwach kurzsichtigen oder schwach übersichtigen Auges als gleichwertig an die Seite zu stellen. Soll die Lederhaut zu einer erheblicheren Größe auswachsen, als bei den schwach kurzsichtigen oder übersichtigen Augen und soll dieses Wachstum natürlich sein, so dürfen wir nicht nur in der Fläche größere, sondern auch doch mindestens gleich dicke Lederhäute erwarten, aber nicht so dünne, wie wir sie bei den meisten hochgradig kurzsichtigen Augen im mikroskopischen Schnitt finden. Dieser Einwand verliert nichts an Bedeutung, wenn auch einmal ein stark kurzsichtiges Auge mit leidlich oder gehörig dicker Lederhaut vorkommt. Zahlreicher sind die

am anderen Ende der Reihe stehenden hochgradig kurzsichtigen Augäpfel wie die, an deren dünner Lederhaut am hinteren Pol sogar Lücken beobachtet worden sind, so daß die Netzhaut unmittelbar an das Augenhöhlengewebe angrenzt (POLATTI, PLOCHER). Man mag diese Befunde als Zeichen der Dehnung nehmen oder als die Folge embryonaler Vorgänge, so gilt das für unsere Frage, natürliches Wachstum oder nicht natürliches Wachstum, ganz gleich. Sodann wird man nicht ohne zwingenden Grund ein Wachstum als natürlich gelten lassen können, wenn es nicht mit dem übrigen Körperwachstum zusammenfällt, wie es so oft gerade bei der hochgradigen Kurzsichtigkeit zu beobachten ist. Wenn auch selten, so kommt einerseits gelegentlich hochgradige Kurzsichtigkeit wie erwähnt schon in frühester Kindheit vor, andererseits weitere Zunahme der Kurzsichtigkeit noch weit jenseits der Wachstumszeit des Körpers. Schließlich sträubt man sich dagegen, die an den beiden Innenhäuten im Laufe der Ausbildung der Kurzsichtigkeit sichtbar werdenden, oft so schweren Veränderungen ebenfalls als Folgen eines natürlichen Wachstums hinzunehmen. Auch ist nicht recht einzusehen, warum diese Störungen fast nur den hinteren Augapfelabschnitt treffen, warum er allein so übermäßig wächst, die vorderen Teile, zumal die Hornhaut, sehr wenig. So kann es nicht wunder nehmen, wenn auch heute noch nach anderen Ursachen gesucht wird, wovon oben schon einige erwähnt worden sind. Den Umwelteinflüssen *allein* redete nach STEIGERS Auftreten kaum noch jemand das Wort, auch M. STRAUB (b) schon nicht mehr ausschließlich, während z. B. L. HEINE (m) und A. SIEGRIST (b) sich wiederum für die Verbindung verschiedener Ursachen aussprechen. Auf Grund sehr sorgfältiger und eingehender Forschungen über die Korrelationen verschiedener Maße und Eigenschaften räumt F. WIBAUT den Umwelteinflüssen und der Naharbeit eine nicht zu vernachlässigende Bedeutung für die niedrigen Grade der Myopie ein.

In der VOGTSchen Veröffentlichung von 1924 wird die Frage der Brechzustände, wie insonderheit die der Kurzsichtigkeit, von einer neuen Seite angegriffen. VOGT spricht dem hochwertigen Teil des Auges, dem Träger der Leistung, der Netzhaut, den maßgebenden Einfluß auf die Gestaltung des hinteren Augapfelabschnittes zu, dem sich die Ader- und Lederhaut als untergeordnete Gebilde mit der Aufgabe der Ernährung und Stützung anzupassen haben. Die Größe der Netzhaut bestimmt die Augenzahl, und so hängt weiterhin auch von ihr der Brechungszustand ab. Wenn die Netzhaut aber rascher wächst als ihre beiden Hüllen, so können nur die Anpassungen durch Dehnung geschehen. Die Netzhaut selbst wird also gar nicht gedehnt. Die atrophischen Erscheinungen folgen erfahrungsgemäß erst lange, nachdem die Augendehnung abgeschlossen ist. VOGT fußt darauf, daß er in dem einen, 14 dptr kurzsichtigen Auge eines 22jährigen, die gleiche Zahl und Dichte der Netzhautzellen gefunden hat wie im anderen, emmetropischen. Tatsächlich bleibt der Längsdurchmesser eines Augapfels, dessen Netzhaut in der Zeit der Geburt geschädigt worden ist (Zangenverletzung; einseitige Sehnervendurchtrennung an Kaninchen) hinter dem unverletzten zurück. Daß die Gegend des hinteren Augenpols bei der Weitung des Auges nach der Geburt bevorzugt ist, wird mit der SEEFELDERschen Feststellung erklärt, nach der die Entwicklung des Neuroepithels axial erst später beendet ist als in der Netzhautperipherie. Wenn indessen, ebenfalls nach R. SEEFELDER, der Zellbedarf der Netzhaut bei der Geburt so gut wie gedeckt ist, und bei dem weiteren Wachstum der Netzhaut und des Auges nur eine Verteilung dieser vorhandenen Zellen auf eine große Fläche erfolgt, so besteht ein Widerspruch mit der gleichen Zellverteilung in den beiden Netzhäuten der VOGTSchen Untersuchung. Auch die Tatsache, daß die Netzhautgefäße in vielen stark kurzsichtigen Augen einen auffallend gestreckten Verlauf zeigen, ist hier zu beachten. Offenbar ist die Gefäßanlage der

Netzhaut in solchen Fällen nicht für eine so große Flächenausdehnung bestimmt gewesen, wie sie der Netzhaut selber nach VOGT zukommen soll. Es ist nicht unmöglich, daß der VOGTSche Gesichtspunkt für gewisse Fälle gelten

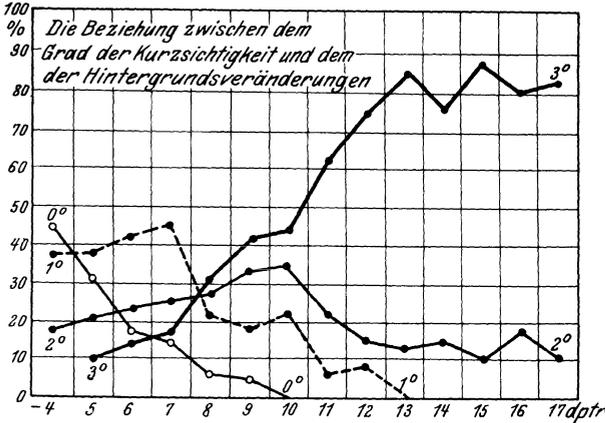


Abb. 157. Die Beziehung der Häufigkeit des Aderhautconus zum Grad der Kurzsichtigkeit, gegliedert nach der Breite des Conus. 0° kein Conus; 1° Conus bis zu halber, 2° von halber bis ganzer Papillenbreite; 3° über Papillenbreite. (Nach N. B. HARMAN.)

wird. Es bleibt ferner unter anderem die Frage, warum denn die Wachstumsanpassung der beiden Hüllen nicht meist zu einer regelrechten Gewebsdicke der Leder- und Aderhaut führt bei genügender Größe, wie es an anderen Stellen des Körpers beim Wachstum der Fall ist, warum vielmehr eine Dehnung erfolgt, warum diese nur an bestimmter Stelle und Richtung auftritt und diese ungünstigen Bildungen hervorbringt, statt daß umgekehrt Augäpfel auch von größerer Länge ohne die Veränderung am

Augenhintergrund vorherrschen. In engem Zusammenhang mit den Darlegungen über die Wachstumsvorgänge steht die Auffassung VOGTS (b) von der Ähnlichkeit der Entstehung des Bügels im kurzsichtigen und im alten Auge, die beide

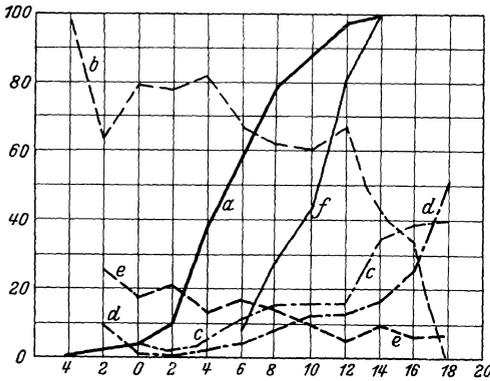


Abb. 158. Die Häufigkeitsverteilung der Augen nach dem Refraktionsgrad aufs Hundert berechnet. a Augen mit Conis jeder Art; b Augen mit kleinen Conis temp. oculi; c Augen mit großen Conis temp. oculi; d Augen mit Ringconis; e Augen mit heterotypischen Conis. Die Verteilung der herdförmigen Veränderung auf die Coni. (Nach R. SCHEERER u. A. SEITZER.)

ihm als homochron vererbare Bildungen gelten, ferner der Sklerose der hinteren Aderhautgefäße in beiden Fällen, der Blutungen der Netzhautgrubengegend (Maculablutungen), der Netzhautablösung, der cystischen Entartung der Netzhautperipherie, der Glaskörpertrübungen.

Angeregt durch den VOGTSchen Vortrag spricht ZEEMAN auf Grund seiner Beobachtungen an einem Bildungsfehler die Ansicht aus, daß Kurzsichtigkeit schon in der Entwicklungszeit des Augenbeckers bestimmt sein könne, und daß auch der Glaskörper bei ihrer Entstehung mitwirkte.

Auf dem hiermit betretenen Gebiet der Entwicklungsgeschichte liegen nun eben auch die für die

Frage nach der Entstehung der Kurzsichtigkeit und die sie begleitenden Veränderungen bedeutsamen Forschungsergebnisse A. v. SZILYS (c) über die Papillenbildung.

Durch sie werden abweichende Befunde an der Papille, Coni verschiedener Form und Lage, auf ganz frühe Entwicklungsbesonderheiten zurückgeführt. Sie sind geeignet, der Deutung gewisser statistischer Erhebungen eine bestimmtere Richtung zu geben, als diese es für sich allein gestatten würden. So versprechen

die schon mehrfach erwähnten Ermittlungen R. SCHEERERS (b) weiteren Aufschluß in der Frage nach der Herkunft der Refraktionen und ihrer Begleiterscheinungen, die in der Kurve der Gesamtrefraktionen die symmetrisch verteilte Gruppe überlagernd die Asymmetrie verursachen. Die Zerlegung dieser abweichenden Gruppe (R. SCHEERER und A. SEITZER [c]) nach den verschiedenen Hintergrundserscheinungen legt für einige von ihnen die Vermutung nahe, daß es sich um selbständige, eigenartige Bildungen handelt, was für den Conus nach unten außer Frage steht. Man vergleiche die ältere Aufstellung HARMANS, der ein ähnliches Ziel verfolgte, die Einteilung aber einfacher gestaltete.

Überblickt man die zahlreichen Erklärungsversuche für die Entstehung der Kurzsichtigkeit, so kennzeichnet die meisten der Mangel eines schlüssigen Beweises. Allein die Tatsache, daß der Vererbung der Haupteinfluß zukommt, steht heute außer Frage. Wie sich dabei aber die Dinge in einzelnen gestalten, darüber sind die Akten noch lange nicht geschlossen. In einem besonderen Abschnitt handelt FRANCESCHETTI in diesem Handbuch (Bd. I, S. 720) darüber. Hier sei nur auf die Forschungsergebnisse von BECKERSHAUS (a, b), BERESINSKAJA, BEST, W. BOGATSCH, CLAUSEN (c), S. DRUAULT-TOUFESCO, FLEISCHER (c, e), V. J. GASSLER (a—f), O. HEINONEN (b, e, f, g), W. JABLONSKI, MÜNCH, A. STEIGER (c), A. VOGT (b, e), WEISS (d, e), F. WIBAUT, C. WORTH, YAMAZAKI aufmerksam gemacht.

*Zusammenfassend darf man auf Grund der heute vorliegenden Kenntnisse die Kurzsichtigkeit niedrigen Grades als einen Variationserfolg in einem regelrechten Auge trennen von dem als krankhaft zu betrachtenden, auf einer ganz frühen Bildungsstörung beruhenden Zustand des hochgradig Kurzsichtigen mit seinen Hintergrundsveränderungen.* Wo man zwischen beiden die Grenze zu ziehen hat, wird im Einzelfall manchmal schwer zu entscheiden sein. Bestimmt zweifellos die Vererbung, ob ein Auge in die eine oder andere Gruppe hineingehört, so sind die Augen damit den Einflüssen der Umwelt doch nicht entzogen. Diese werden einen gewissen Anteil an der Ausbildung des endgültigen Zustandes des Auges nehmen, wo ihnen auf Grund der angeborenen Eigenschaft Raum gegeben wird. Ähnlich ist wohl die Stellung E. HOLMS (e).

Inzucht soll nach LAQUEUR in 13% bei hochgradig Kurzsichtigen vorliegen, nach CRZELLITZER (a), angeführt nach BECKERSHAUS (a) in 1,82%. Auch M. MEYERHOF (d) schuldigt sie an.

#### 4. Die Begleiterscheinungen und Folgezustände in stark kurzsichtigen Augen.

Daß hochgradig kurzsichtige Augen zu mancherlei Folgeveränderungen neigen, abgesehen von den schon auf S. 589 f. besprochenen eigentlich kurzsichtigen Erscheinungen an den Binnenhäuten, ist unbestritten: Glaskörperabhebungen am hinteren Augenpol (E. KRAUPA [a, e, g], PILLAT [a, b]), Glaskörpertrübungen (SCHWEIGGER, H. LAUBER, A. VOGT [a], TH. Z'BRUN, J. STREIFF [b]), Blutungen in die Binnenhäute am hinteren Augenpol, zumal in der Fovea centralis (siehe Abb. 120—125, S. 597, Abb. 129—131, S. 599), Zerfall des Sinnesepithels an dieser für das Sehen so hochwichtigen Stelle und endlich das schreckliche Verfall des Sehvermögens auch außerhalb der Polgegend durch die so gefürchtete Netzhautablösung (TH. LEBER).

**Amotio retinae.** Die Angaben über die Häufigkeit der Netzhautablösung in kurzsichtigen Augen schwanken von 2—9%. C. HORSTMANN (a, b) fand 3,5%, G. SCHLEICH (a) 2,6%. Die Abhängigkeit von der Höhe der Kurzsichtigkeit ist nach den HORSTMANNschen Zahlen nicht sehr ausgesprochen. Auch R. DEUTSCHMANN sagt S. 207, „daß die Chance der Ablösung nicht auffallend mit dem Grad der Myopie

zunimmt“ (s. auch NORDENSON). Doch sind die meisten Augenärzte anderer Ansicht. L. TH. VAN DYCK fand unter 5000 Augen mit Kurzsichtigkeit bis zu 4 dptr, zw. 5 und 8 dptr, zw. 9—14 dptr und über 14 dptr 0,3, 1,2, 2,2 und 3,7% Augen mit Netzhautablösung. Nach OTTO (a) kommen bei Kurzsichtigen über 10 dptr 5,9 und nach A. v. HIPPEL (b) 6,7 Ablösungen aufs Hundert. ADAM fand über 14 dptr 3,3% und über 18 dptr 4,4%. Nach W. LÖHLEIN ist die Netzhautablösung



Abb. 159. Netzhautablösung mit folgender Regenbogenhautentzündung, Napfkucheniris und Sekundärglaukom in einem kurzsichtigen Auge.

in kurzsichtigen Augen entschieden häufiger als in nicht kurzsichtigen; nach W. UTHOFF, E. HERTEL (b) und TH. LEBER stellen die Kurzsichtigen rund zwei Drittel der Ablösungen. S. DRUAULT-TOUFESCO findet sie in 2,5% bei grauer oder blauer, in 1,3% bei brauner oder schwarzer Regenbogenhaut. Wegen weiterer Einzelheiten wird auf F. SCHIECK (Bd. 5, S. 457 f., Abb. 43—46) verwiesen. Mit dem Eintritt der Ablösung, der so oft einen schweren Verlust an Sehvermögen, selbst völlige oder nahezu völlige Erblindung, bringt, ist der verhängnisvolle Leidensweg für manche noch nicht beendet. Linsentrübung und Regenbogenhautentzündung stellen sich ein mit ringförmiger hinterer Verwachsung des Pupillenrandes der Regenbogenhaut. Napfkucheniris und Steigerung des Augenbinnendruckes (Sekundärglaukom) (s. Abb. 159) sind die Folgen, bis schließlich in der entartenden Hornhaut ein Geschwür entsteht, durchbricht, und der Augapfel nach Entzündung und Vereiterung einschrumpft.

Beim weiblichen Geschlecht scheinen die üblen Folgezustände der Kurzsichtigkeit häufiger zu sein als beim männlichen (O. WITTE, K. K. K. LUNDSGAARD [b], O. BLEGVAD [b]). Glaskörpertrübungen, die mit dem Spiegel nach-

gewiesen werden können, sind nach O. WITTE doppelt so häufig wie beim Mann, ebenso wie die Maculaerkrankung (SCHWEIZER und N. LEININBERG).

Fortschreitende Kurzsichtigkeit bereitet nach GRUNERT (a) Skleralschmerzen.

Das primäre Glaukom verschont die kurzsichtigen Augen nicht, gilt aber für seltener als sonst (S. DRUAULT-TOUFESCO, E. KRAUPA, M. MEYERHOF [e]). Die Eigentümlichkeit des Augenbaus, die meist dünne Lederhaut läßt bei hoher Myopie das landläufige Bild des Glaukoms nicht aufkommen. Gleichwohl ist es vielleicht häufiger, als es erkannt wird. Hat doch AXENFELD (d) darauf aufmerksam gemacht, daß Glaukom in stark kurzsichtigen Augen ohne Drucksteigerung über das als zulässig geltende Maß und ohne Ausbildung einer Sehnervenaushöhlung durch andere klinische Zeichen zweifellos festzustellen sei (s. auch KNAPP [b]) (s. S. 574). In diesem Zusammenhang ist der STOCKSchen Beobachtung von lacunärer Sehnervenatrophie bei hochgradig kurzsichtigen Augen zu gedenken. Sie sollen durch Zug der Netzhaut an den in den Sehnerven eintretenden Nervenfasern nach solchen Zuständen vorkommen, während der Zug beim Glaukom durch die zurückgedrängte nach hinten ausgebuchtete Lamina cribrosa ausgeübt werde.

## 5. Das Sehen der Kurzsichtigen.

Die Sehleistung und Sehschärfe. Als Folge der Kurzsichtigkeit für das Sehen fällt vor allem die Minderung der Sehleistung (s. S. 207) auf. Ferne Dinge werden ohne die Hilfe der Brille nicht deutlich gesehen. Viele Kurzsichtige

— die sich dadurch als solche veraten — helfen sich durch *Zukneifen der Lider*. Das kommt einer Blendenverengung gleich und verschafft ihnen den Vorteil größerer Abbildungstiefe, das Sehen in die Ferne ohne Brille wird deutlicher, die Sehleistung steigt. Im Gegensatz dazu ist das Nahsehen besonders bei höheren Graden verhältnismäßig sehr gut, d. h. es werden feinere Einzelheiten unterschieden, als es Emmetropischen oder Hyperopischen gleichen Alters möglich ist, weil den Myopischen die Gegenstände in der kurzen Entfernung ihres Nahpunktes bei deutlicher Abbildung auf der Netzhaut unter einem größeren Winkel erscheinen als anderen Augen, deren Nahpunktstand keine so starke Annäherung der Dinge zuläßt, wenn nicht gleichzeitig auf die deutliche Abbildung verzichtet wird. Beim Vergleich der Sehschärfe im Nah- und im Fernsehen ist auf den Unterschied zwischen absoluter, natürlicher und relativer Sehschärfe zu achten (vgl. S. 517). Wegen des kurzen Nahpunktstandes sehen wir die hochgradig Kurzsichtigen ihre *Augen* den betrachteten Gegenständen, zumal der Schrift beim Lesen, so außerordentlich *stark nähern*, ein zweiter sehr bekannter und kennzeichnender Zug im Bilde des kurzsichtigen Menschen.

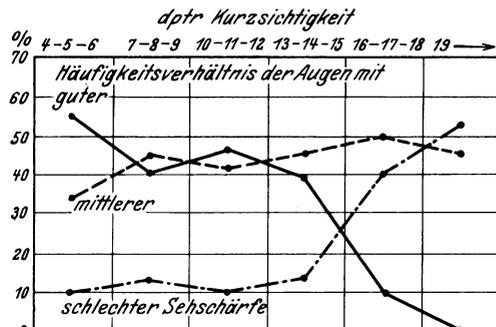


Abb. 160. Der Zusammenhang zwischen der Höhe der Kurzsichtigkeit und der Sehschärfe. Verteilt man die kurzsichtigen Augen nach ihrer Sehschärfe auf drei Gruppen, nämlich solche mit guter (6/6–6/12), mittlerer (6/18–6/24) und schlechter Sehschärfe (6/36 und weniger), so erhält man eine sehr verschiedene Häufigkeitskurve je nach dem Grad der Kurzsichtigkeit. Auf der ersten Stufe (4–6 dptr) ist das Verhältnis der Zahl der Augen mit guter Sehschärfe zu der mit schlechter Sehschärfe gerade umgekehrt wie auf der letzten Stufe (19 und mehr dptr).  
(Nach N. B. HARMAN.)

Annäherung der Dinge zuläßt, wenn nicht gleichzeitig auf die deutliche Abbildung verzichtet wird. Beim Vergleich der Sehschärfe im Nah- und im Fernsehen ist auf den Unterschied zwischen absoluter, natürlicher und relativer Sehschärfe zu achten (vgl. S. 517). Wegen des kurzen Nahpunktstandes sehen wir die hochgradig Kurzsichtigen ihre *Augen* den betrachteten Gegenständen, zumal der Schrift beim Lesen, so außerordentlich *stark nähern*, ein zweiter sehr bekannter und kennzeichnender Zug im Bilde des kurzsichtigen Menschen.

Bei den niedrigen Graden der Kurzsichtigkeit kommt die Einstellung auf die Nähe in einer anderen, weniger auffälligen Weise zum Ausdruck als ein Vorteil, dessen sich die damit Begabten nicht selten rühmen. Die *Alterssichtigkeit* macht sich nämlich gar nicht oder wenig und dann *später bemerkbar* als bei Emmetropischen. Auch beim Tragen einfacher, voll ausgleichender Fernbrillengläser genießt der Kurzsichtige in dieser Beziehung einen Vorteil, weil der äußere Akkommodationserfolg (s. S. 703) bei Kurzsichtigen größer ist als bei Übersichtigen.

Oft ist allerdings nicht nur die Sehleistung sondern auch die *Sehschärfe* infolge der Veränderung der Binnenhäute *vermindert* (LEININBERG, SCHLEICH [a] siehe Augenhintergrund und Anatomie S. 589f.), und zwar durchschnittlich um so mehr, je höher die Kurzsichtigkeit

Grad der Kurzsichtigkeit	Durchschnittliche Sehschärfe
bis 2 dptr	fast 1
2—4 „	0,9
4—6 „	0,8
6—8 „	0,6
8—10 „	0,6
10—12 „	0,5
12—14 „	0,3
14—16 „	0,3
16—18 „	0,3
18—20 „	0,2
über 20 „	0,2

Nach N. LEININBERG (S. 6, Tabelle 3).

Untersuchung längere Zeit keine Entscheidung ergeben. Wohl fand BAAS regelmäßig eine Vergrößerung, immerhin aber doch kein festes Verhältnis zwischen diesen Vergrößerungen und dem mit dem Spiegel sichtbaren atrophischen Gebiet. BJERRUM konnte die Behauptung einer regelmäßigen Vergrößerung mit seiner empfindlichen Gesichtsfeldprüfung nicht bestätigen. In neuerer Zeit haben sehr genaue Messungen von G. NICOLETTI gezeigt, daß eben kein einheitliches Verhältnis besteht. Unter seiner allerdings kleinen Zahl von Untersuchten überwiegen die, deren Skotom kleiner ist, als nach dem Hintergrundbefund zu erwarten gewesen wäre; daneben wird auch das Gegenteil beobachtet. Auf die Aussicht für die Zukunft der kurzsichtigen Augen ist daraus noch kein Schluß möglich.

Wie die Sehschärfe mit der Conusbreite zusammenhängt, zeigt eine Darstellung von N. B. HARMAN (a) auf Grund einer Aufstellung von 300 Fällen von Kurzsichtigkeit über 4 dptr bei Kindern Londoner Grundschulen.

Die Erscheinung der fliegenden Mücken, Lichtererscheinungen, die im Auge selbst entstehen (Photopsien), und gelegentlich scheinbare Formveränderungen gewisser Stellen der gesehenen Dinge leiten über zu den Krankheitszuständen, zu denen die hochgradige Kurzsichtigkeit führen kann, und deren übelste, die Netzhautablösung, hier nur noch eben zu nennen ist. Bei sehr kurzem Fernpunktabstand verlangt das *beidäugige Sehen* starke Konvergenz, an der die inneren geraden Augenmuskeln nicht selten versagen. Man begreift die Größe der Anforderungen, wenn man die Form der meisten hochgradig kurzsichtigen Augen berücksichtigt, die oft an sich schon die Exophorie bedingt. Oft genug allerdings zerfällt das beidäugige Sehen gerade bei hochgradig kurzsichtigen Augenpaaren unter Auswärtsschielen wegen besonders starker Minderung der Sehschärfe des einen Auges.

Der *Lichtsinn* ist bei Kurzsichtigen nach SEGGELES Untersuchungen an 175 Leuten (b, f, g) in etwa zwei Drittel der Fälle regelrecht und in einem Drittel herabgesetzt (STARGARDT, WESSELY [a]). Nach JUNIUS ist es erwiesen, daß bei annähernd 50% der Nachtblinden Kurzsichtigkeit besteht. Gegen SEGGELES

siehe Augenhintergrund und Anatomie S. 589f.), und zwar durchschnittlich um so mehr, je höher die Kurzsichtigkeit (s. Abb. 160, N. B. HARMANS).

Auch mit dem Alter sinkt die Sehschärfe (s. VAN DYCK), schließlich fällt die Gesichtsfeldmitte aus (*zentrales Skotom*).

**Das Gesichtsfeld.** Erwartet man, was auch die älteren Augenärzte (A. V. GRAEFE) als Regel gefunden zu haben glaubten, daß in Augen mit Conusbildung der blinde Fleck dem Conus entsprechend vergrößert sei, da dort keine arbeitende Netzhaut mehr liege, so hat die klinische

(b, f, g) Angaben wenden sich J. STILLING (k) und H. LANDOLT ebenfalls auf Grund der Befunde an 374 Kurzsichtigen mit der Folgerung, „daß der Lichtsinn von der Refraktion durchaus unabhängig ist“. Unter 9 dptr ist die Adaptation stets regelrecht, bei „deletärer“ Kurzsichtigkeit sind mehr als zwei Drittel der Fälle regelrecht oder besser. WÖLFFLIN (a) hat den Lichtsinn bei Kurzsichtigkeit ebenfalls ungestört gefunden. Inzwischen hat V. J. GASSLER recessive Verknüpfung von Kurzsichtigkeit und angeborener Nachtblindheit gefunden, und H. VARELMANN macht dafür recessiv-geschlechtsgebundenen Erbgang wahrscheinlich.

**Die Bedeutung des Sehens mit kurzsichtigen Augen.** Die Kurzsichtigkeit hat ihre Vor- und ihre Nachteile. Nachteilig für den Träger ist das schlechte Sehen in die Ferne, um so mehr, je höher die Kurzsichtigkeit ist. Doch gewährt sie zweifellos auch gewisse optische Vorteile. Die niedrigeren Grade von 1 bis 3 dptr, in jüngeren Jahren nur nachteilig, wenn auch nicht allzu schwer, machen ihre Vorteile erst in den 40er Jahren geltend, indem sie die Alterssichtigkeit verdecken. Bei stark Kurzsichtigen zeigt sich auch in jungen Jahren der Nutzen beim Nahsehen, der Träger ist befähigt, feinere Einzelheiten zu unterscheiden als nicht myopische, ein Vorteil, der im Alter erhalten bleibt.

Schließlich ist auch mit der gewöhnlichen Brille der Akkommodationserfolg bei Kurzsichtigen größer als bei Übersichtigen und Rechtsichtigen (s. u.).

## 6. Die Behandlung der Kurzsichtigkeit.

Setzt man sich die *Beseitigung des unerwünschten Zustandes der Kurzsichtigkeit* zum Ziel, so kommen zwei Verfahren in Betracht, einmal die Verkürzung des Augapfels, zum anderen die Verminderung seiner Brechkraft.

### a) Mechanische und operative Maßnahmen.

**Die Umformung des Augapfels.** Niedrige Grade von Kurzsichtigkeit hat man dadurch wenigstens vorübergehend zu beseitigen verstanden, daß man den Augapfel wiederholt längere Zeit des Tages durch Belastung mit Sand- oder Schrotsäckchen oder durch einfache oder mit geeigneten Gummieinlagen versehene Druckverbände von vorn her gewissermaßen zurechtformte.

Der Erfolg ist verständlicherweise insofern nur mäßig, als sich der ursprüngliche Zustand, die Kurzsichtigkeit, meist nach nicht allzulanger Zeit wieder herstellt. Man führte das Verfahren auch meist nur zu dem Zweck aus, um einen solchen Kurzsichtigen in den Stand zu setzen, eine „Eignungsprüfung“ für einen Beruf zu bestehen, von dem Brillenträger ausgeschlossen sind (T. INOUE). Nach DOMEK wird die Sehschärfe durch Kneten bis zu 2 dptr Kurzsichtigkeit ohne Glas auf vollen Wert gebracht, und bei 5 dptr steigt sie auf  $\frac{1}{2}$ . Die Wirkung hält nicht lange an (3—5 Monate). DOMEK glaubt übrigens, durch sein Kneten eine „Fern“akkommodation anzuregen. Neuerdings berichtet z. B. HEINE von einem ähnlichen Einfluß der Haftgläser.

Höhere Grade von Kurzsichtigkeit lassen sich natürlich so auch nicht vorübergehend aufheben. Die Lästigkeit des Brillentragens, die oft sehr störenden Nebenwirkungen starker Brillen, die Hilflosigkeit, in die stark Kurzsichtige bei Verlust des Glases geraten können, und wohl nicht zuletzt die Abneigung mancher Leute gegen die Brille, die der eine als Entstellung empfindet, der andere, besonders früher, aus gesellschaftlichen Rücksichten für unstatthaft hielt, der dritte in gewissen Berufen aus sachlichen Gründen nicht tragen kann, alle diese Einflüsse haben zusammengewirkt, um Operationen zur Beseitigung der Kurzsichtigkeit zu zeitigen.

Die Versuche, den Augapfel dadurch zu verkleinern, daß man vor dem Äquator ein Stück aus der Lederhaut herauschneidet, waren von L. MÜLLER

und S. HOLTH (a, b, c) (Ausführung s. Operationslehre) ursprünglich zur Behandlung der Netzhautablösung bestimmt.

HOLTH berichtet (b) über 1—11 dptr Abnahme, wünscht selber aber, man solle den Eingriff nicht wegen Kurzsichtigkeit allein ausführen.

V. GRÖNHOLM erzielte bei 17 Augen mit bösartiger Kurzsichtigkeit nur eine ganz geringe Abnahme bis zu 3 dptr durch die prääquatoriale Sklerektomie; bei dreien sah er Zunahme!

**Die Verminderung der Brechkraft des Auges durch die Beseitigung der Linse.** Ohne Frage in der optischen Wirkung allen anderen Versuchen bei hochgradiger Kurzsichtigkeit weit überlegen ist die *Beseitigung der klaren Linse nach V. FUKALA*. Die Brechkraft des Auges und damit seine Kurzsichtigkeit wird um einen hohen Betrag vermindert und die Sehschärfe zugleich gehoben. Der damit verknüpfte Verlust der Akkommodation ist verhältnismäßig leicht zu tragen; das Fehlen der Lupeneigenschaft des stark kurzsichtigen Auges wird mehr empfunden werden. Eine Abstufung der Wirkung ist naturgemäß nicht möglich. Das ist ein Mangel, den die oben erwähnten Eingriffe gleichfalls — wenn nicht in noch höherem Grade — an sich haben.

*Die optische Wirkungsweise* geht aus dem im Abschnitt über das linsenlose Auge Gesagte hervor. Wenn ein linsenloses Auge emmetropisch sein soll, so muß der bildseitige Brennpunkt der Hornhaut in der Netzhaut liegen. Setzt man die Hornhaut des GULLSTRANDSchen Übersichtsauges voraus, so muß die Augenlänge etwa 31 mm betragen. Ein Vollauge dieser Länge hätte, die ganze Folge des Übersichtsauges wiederum vorausgesetzt, 18—20 dptr Brennpunktsbrechwert, d. h. 14—15 dptr Hauptpunktsbrechwert. Da nun sowohl die Hornhaut als die Linse wie ihr Abstand, die Tiefe der Vorderkammer, in Wirklichkeit vom Wert des schematischen Auges nach beiden Seiten abweichen können, so vermögen wir nicht bestimmt vorauszusagen, welche Refraktion ein Auge nach Beseitigung der Linse haben wird, ganz abgesehen von den Wirkungen der Operationsnarbe auf die Hornhautform.

Die Beziehungen zwischen der Refraktion vor und nach der Entfernung der Linse unter Berücksichtigung verschiedener Hornhautbrechkraften und Kammertiefen hat K. BJERKE (a) eingehend untersucht. Dort sind auch strenge Formeln für den Zusammenhang angegeben. Ein Bild M. v. ROHRs läßt ohne weiteres erkennen, daß der Unterschied zwischen der Refraktion des Vollauges und des linsenlosen nicht fest ist, sondern mit zunehmender Augenlänge wächst, eine Tatsache, auf die schon J. HIRSCHBERG (c) aufmerksam gemacht hat. Bei einer reinen Längenänderung von 1 mm bewegt sich die Refraktionsänderung im aphakischen Auge um etwa 1,5 dptr (W. SCHOEN), im Vollauge dagegen um 3 dptr, etwas wechselnd mit der absoluten Augenlänge (s. Bild v. ROHRs [a]). Auch LANDOLT äußert sich dazu. Ein ausgleichender Überschlag ist aber gleichwohl möglich. Schon J. HIRSCHBERG (c) hat, vom HELMHOLTZschen Auge ausgehend, die einfache Formel dafür mitgeteilt, die in unsere S. 469 gewählte Bezeichnungsweise umgekleidet lautet:  $A_2 = \frac{A_1}{2} + 10$ . Darin bedeutet  $A_1$  ( $A_2$ ) die Refraktion des Auges in Dioptrien vor (nach) der Entfernung der Linse. Z. B. würde ein stark kurzsichtiges Auge mit einer Refraktion  $A_1 = -24$  dptr nach der Operation die Refraktion  $A_2 = \frac{-24}{2} + 10 = -12 + 10 = -2$  dptr haben, also noch einen Kurzsichtigkeitsrest von  $-2$  dptr behalten. Wollte man genaue Voraussagen machen, so müßte abgesehen von der Hornhautbrechkraft auch die Kammertiefe und die Linsenbrechkraft gemessen werden. Sieht man davon ab, so werden sich Abweichungen zwischen der Voraussage und der Wirklichkeit ergeben. Nach BJERKES und

BÖHM'S Zusammenstellung hatten von 94 bzw. 8 nach der Linsenentfernung emmetropisch gewordene Augen vorher folgende Kurzsichtigkeit:

BJERKE (a)		BÖHM (a)		BJERKE (a)		BÖHM (a)	
— 26	dp <sub>tr</sub>	3	Augen	— 17	dp <sub>tr</sub>	1	Augen
— 25	„	1	Auge	— 16	„	11	Augen
— 24	„	3	Augen	— 15	„	6	„
— 23	„	1	Auge	— 14	„	5	„
— 22	„	5	Augen	— 13	„	2	„
— 21	„	2	„	— 12	„	2	„
— 20	„	29	„	— 11	„	1	Augen
— 19	„	5	„	— 10	„	1	„
— 18	„	14	„	— 9	„	1	„
				— 8	„	1	„

Außer der Befreiung von den Unannehmlichkeiten der starken Brille bringt die Linsenentfernung dem Kurzsichtigen eine erhebliche *Steigerung der Netzhautbildgröße* und im gleichen Verhältnis auch seiner Sehschärfe. Um was für Beträge es sich dabei handelt, zeigt folgende Überlegung.

Zunächst sei das *Sehen in die Ferne* untersucht. Die Bildgröße ferner Dinge verhält sich wie die Brennweite der abbildenden Folge. Rechnet man das Verhältnis der Brechkraft des linsenlosen und des Vollauges nach dem GULLSTRANDSchen Übersichtsauge zu  $\frac{43,05}{58,64}$ , so ist ihr Brennweitenverhältnis  $\frac{58,64}{43,05} = 1,36$ . So hoch ist dann auch die Steigerung der Netzhautbildgröße bzw. der Sehschärfe nach der Ausschaltung der Linsenwirkung. Dabei ist vorausgesetzt, daß die Brennweite des kurzsichtigen Vollauges durch das Brillenglas nicht verändert wird, ohne das ja ein deutliches Bild auf der Netzhaut nicht zustande käme. Nach S. 759 bleibt die Brennweite der Verbindung Auge und Brillenglas gleich der Brennweite der Augenfolge allein, wenn das Glas im vorderen Augenbrennpunkt angebracht wird. In der Regel steht jedoch das Glas nicht dort, sondern näher am Auge. Dadurch nimmt die Brennweite der Verbindung etwas zu, und das Netzhautbild des kurzsichtigen Auges wird größer. Der Betrag der Abweichung hängt von der Stärke der Kurzsichtigkeit und von dem Maß der Annäherung des Glases ab und ist aus den Abb. 12 u. 13 zu entnehmen (s. S. 762). Mit diesem Zustand ist aber der nach der Beseitigung der Linse zu vergleichen, wenn man den Gewinn berechnen will, den der Operierte selbst buchen wird, und dieser Gewinn wird daher etwas kleiner sein als 1,36.

Der wirklich nach der Operation gefundene Wert kann zunächst aus rein optischen Gründen davon abweichen; bleibt nach der Linsenentfernung ein Rest Kurzsichtigkeit zurück oder entsteht im Gegenteil Übersichtigkeit, so ändert sich das Größenverhältnis etwas. Abweichungen kommen aber hauptsächlich deshalb zustande, weil, wie S. 559 auseinander gesetzt wurde, die verschiedenen Refraktionszustände nicht einfach Längenfehler sind, wie zu der eben angestellten Berechnung vorausgesetzt worden ist, sondern weil auch die brechende Folge schwanken kann, und zwar insbesondere auch die Linsenbrechkraft, ein Einfluß, der früher etwas unterschätzt worden sein dürfte<sup>1</sup>. Als Verlust wird *beim Nahsehen* gerügt werden, daß der Kurzsichtige nach der Beseitigung der Linse nicht mehr in der Lage ist, sich die starke Vergrößerung zu verschaffen, die ihm früher beim Sehen ohne Glas in seinem Fernpunkt zur Verfügung stand.

Natürlich wird der rechnerisch zu erwartende Betrag der Sehschärfe dann und wann aus anderen Gründen nicht erreicht werden, die mit der Operation zusammenhängen, nämlich infolge Nachstares oder ungünstiger Änderung der

<sup>1</sup> ELSCHNIG (k) erwähnt ein Augenpaar gleicher Länge (27 mm), von dem das eine 7, das andere 14 dp<sub>tr</sub> kurzsichtig war (leider ist die Hornhautkrümmung nicht verzeichnet).

Pupillenweite und -lage, von Hintergrundsveränderungen ganz zu schweigen. Rechnerisch steigert die Linsenbeseitigung aus dem GULLSTRANDSchen schematischen Auge die Sehschärfe auf das 1,2-, 1,27-, 1,33- und 1,5fache, wenn die Augen vorher die axialen Refraktionen 0, — 10, — 20 und — 30 dptr, und die Gläser beidemale die üblichen 12 mm Abstand gehabt hatten.

Tatsächlich beobachtet sind folgende Verhältnisse der Sehschärfe vor und nach der Operation nach BJERKES Zusammenstellung der Mitteilungen von OTTO (a), KÖHNE und KLINKOWSTEIN (BJERKE [a]).

< 1	1—1,25	1,25—1,5	1,5—1,75	1,75—2	2—2,25	2,25—2,5	2,5—3	
in 14	28	18	35	12	50	14	16	Fällen,
		3—4	4—5	5—6	< 2,25	> 2,25		
		in 14	5	1	126	51		Fällen.

Die Gründe der über die Berechnung hinausgehenden Steigerung sind noch umstritten. Tatsächlich wird von den erfolgreich operierten Leuten der neue Zustand ihres Auges meist als ein außerordentlicher Gewinn sehr gelobt.

Zu erwägen ist auch, ob die Bildgüte an und für sich, d. h. auf gleiche Bildgröße bezogen, im linsenlosen Auge besser ist als im Vollauge. Auch eine größere Unterscheidungsfähigkeit der Netzhaut hat man in Betracht gezogen.

Wenn ein so wertvolles Verfahren, obwohl schon vor Jahrzehnten vorgeschlagen, erst so spät, 1889, Boden gewinnen konnte, und auch heute noch dagegen große Zurückhaltung seitens der Augenärzte besteht, so hat das seinen Grund in der Höhe des Einsatzes und in der Einschränkung, der die Auswahl geeigneter Fälle unterworfen ist. Den Einsatz bilden die unmittelbaren *Gefahren der Operation* und die *Spätfolgen*. Die mit einer jeden Staroperation im allgemeinen verknüpften Gefahren erhöhen sich für diese Fälle, weil der Eingriff im hochgradig kurzsichtigen Auge vorgenommen wird, vor allem durch die drohenden Zwischenfälle mit ihren Folgen, dem Regenbogenhautvorfall und der Einklemmung mit cystischer Vernarbung, Drucksteigerung, Glaskörpervorfall und Einklemmung sowie der Wundinfektion. Wegen der Einzelheiten wird auf die Operationslehre verwiesen. Nach der Operation können noch Trübungsverdichtungen im vorderen Teil des Glaskörpers (HERTEL) und die Hintergrundsveränderungen hinzukommen, die auch sonst bei Kurzsichtigkeit zu beobachten sind. Hauptsächlich schreckt die Furcht vor der Netzhautablösung, die auch ohne Zwischenfall beim Eingriff selbst späterhin eintreten und uns den Erfolg vernechten kann.

Sieht man von den weniger wichtigen Besonderheiten ab, so stehen zwei verschiedene Arten des *Vorgehens zur Linsenbeseitigung* frei, und zwar

1. die ausgiebige Diszission der Linse selbst mit nachträglicher Ablassung der getrübbten und gequollenen Linsenmasse durch Lanzenschnitt (V. FUKALA) oder ausgedehnte Eröffnung der Linsenkapsel (AXENFELD [a, b], ELSCHNIG [k, l] und BÖHM [a] u. a.) und

2. die Entbindung der klaren Linse (WEBER) mit dem Lanzenschnitt oder bei älteren auch mit dem Messerschnitt (HESS [f], SATTLER [b]); bei beiden sind Nachstardurchtrennungen nicht selten nötig).

In dem Streit darüber, welches das bessere Verfahren sei, ist auch durch zahlreiche Veröffentlichungen keine wirkliche Entscheidung gefallen. Abgesehen von der Unsicherheit der naturgemäß beim einzelnen Arzt jeweils verhältnismäßig recht kleinen Zahlen sind für den Endausgang zu viele verschiedene Einflüsse wirksam, als daß die mitgeteilten Ergebnisse wirklich vergleichbar wären. Insbesondere spielt die Geschicklichkeit des Operateurs (GOLDZIEHER) gerade bei den schwierigen Eingriffen eine zu große Rolle. Da man bei beiden aber nicht ohne die wegen der Drucksteigerung und der Netzhautablösung so bedenkliche Nachstardurchtrennung auskommt, so scheint doch das Verfahren der

einleitenden Diszission mit nachträglicher Ablassung als das weniger schwierige im allgemeinen den Vorzug zu verdienen.

Die Frage, ob die Linsenentfernung einen *Einfluß auf den Krankheitsvorgang* und seine Folgezustände ausübt, und, wenn überhaupt, ob einen günstigen oder ungünstigen, ist zunächst recht verschieden beantwortet worden. VACHER (a, b) und PFLÜGER glaubten an eine Schutzwirkung der Linsenentfernung gegen das Leiden, MEYERHOF (a), A. v. HIPPEL (b), EUNIKE vermißten sie. BONNEFON, HÖPNER, CATH, H. THOMPSON (a, b) sahen häufig ein Fortschreiten nach der Operation. Eigene, gelegentlich sehr eindrucksvolle Beobachtungen in der Jenaer Poliklinik an Kranken, die vor langen Jahren von verschiedener Seite operiert worden waren, bestätigen dies auch hinsichtlich der Hintergrundveränderungen (Blutungen, Schäden der Fovea centralis). Ob diese, insbesondere Netzhautablösungen, die in operierten Augen eingetreten sind, auf Rechnung des Eingriffs zu setzen sind, ist oft schwer zu entscheiden. Für einen Teil von ihnen ist sicher die Operation verantwortlich. Die Entscheidung durch den Vergleich der Häufigkeit der Ablösung in operierten und in nichtoperierten Augen oberhalb einer gewissen Kurzsichtigkeitshöhe wird durch die Geschicklichkeit des Arztes sehr beeinflußt. In dieser Beziehung gleichwertige große Reihen sind selten. So gehen denn auch die von verschiedenen Seiten mitgeteilten Zahlen weit auseinander. Für nicht operierte Augen schwanken sie zwischen 2 und 9% (S. 626). ADAM fand z. B. bei über 18 dptr Kurzsichtigkeit in 4,4% nichtoperierter Augen Netzhautablösung, bei über 14 dptr in 3,3%, A. v. HIPPEL (b) über 10 dptr in 6,7%, während sie an 184 operierten Augen nach A. v. HIPPEL in 6% gefunden wurde. Die Aufstellung von C. FRÖHLICH wies dagegen bei Operierten fast dreimal soviel Ablösungen nach wie bei Nichtoperierten.

Gelegentlich wird erhebliche *Herabsetzung der Dunkeladaptation* beobachtet. Sichtet man die *Erfahrungen* mit der Kurzsichtigkeitsoperation durch Linsenentfernung — es liegt jetzt eine ganze Reihe von Berichten über allerdings zum Teil nur kleine Zahlen vor (F. BÖHM, A. ELSCHNIG [k, l], ÉPERON, W. H. GEYER, NOSZCZYNSKI, F. EUNIKE, H. THOMPSON, H. HENSEN, M. SCHEEL, P. PESME [a, b], CONRAD, DISTLER, LAMBERT [a, b], FROMAGET [c], BUFILL, BONNEFON, GOLDZIEHER, EMMERT, CATH, HESSE, ADAM, ROTHMANN, IGERSEIMER) — so überwiegt der Eindruck großer Vorsicht in der Auswahl der zur Operation zuzulassenden Fälle, und es ist wohl kein Zufall, wenn unter den aufmunternden Stimmen die aus der ELSCHNIESchen Klinik besonders zuversichtlich klingt. Bei der Entscheidung der Frage, ob operiert werden soll oder nicht, sprechen vor allem die Höhe der Kurzsichtigkeit, das Lebensalter, der objektive Zustand *beider* Augen und ihre Sehschärfe und der Beruf mit.

Da es nicht möglich ist, die Wirkung der Operation auf die Refraktion abzustufen, ist eine untere Grenze der Kurzsichtigkeit, meist der Glaswert — 16 dptr bei Kindern (ELSCHNIG), bei Erwachsenen — 18 bis 20 dptr Vorbedingung für den Eingriff. Eine obere Grenze wird nicht gesetzt. Ist die Rücksicht auf die Schwierigkeit und die Gefahren des Eingriffes bei Kindern wegen ihrer Unruhe und mangelnden Einsicht bestimmend für die untere Altersgrenze, das 15. Jahr, so ist die obere mit 30—40 Jahren gegeben durch die wachsende Schwierigkeit der Entfernung der alternden Linse (größerer bzw. Lappenschnitt) und der im zunehmenden Alter häufiger vorhandenen und ernsteren inneren Veränderungen in stark kurzsichtigen Augen einschließlich der Gefahr der Netzhautablösung, und schließlich spielt auch der Gesichtspunkt eine Rolle, daß die Gelegenheit für den Kranken, den Gewinn einer erfolgreichen Operation zu nützen vor allem in seinem Beruf, eben im Lebensabschnitt bester Arbeitskraft gegeben ist und dieser auch zugute kommen sollte.

Der Beruf bestimmt mit darüber, ob die Operation überhaupt nötig ist oder nicht. Auf der einen Seite stehen die Gelehrten, Schreiber, die im gedeckten Raum, geschützt vor den Unbilden des Wetters oder vor Staub, meist sitzend arbeiten und dabei auch eine starke Brille ohne erhebliche Behinderung tragen können, auf der anderen Leute, wie Schauspieler und Sänger, für die Brillentragen aus verschiedenen Gründen entweder ganz ausgeschlossen oder mindestens nicht ohne erhebliche Belästigung möglich ist, Staub und Nässe, Wärmewechsel ausgesetzte Leute, wie Kutscher u. dgl. Wenn man die Bedingung stellt, daß nur dann operiert werden darf, wenn der Kurzsichtige mit seiner Brille nicht auskommt, d. h. nach BONNEFON, die Sehschärfe für die Ferne schlechter ist als ein Fünftel, und wenn die Gläser bei dauerndem Tragen Beschwerden machen, so wird heute die Berechtigung weniger häufig gegeben sein, seit wir in der Fernrohrbrille ein Mittel haben, wenigstens den Teil des Operationserfolges auf unblutigem Wege zu erreichen, der in der Steigerung der Sehschärfe besteht (ROTHEMANN).

Soll der Kurzsichtige den nicht kleinen Einsatz, den die Gefahren der Operation darstellen, wagen, so muß ihm natürlich ein entsprechender Gewinn winken. Man wird also nicht an sich schlechte Augen angreifen. Die brechenden Teile sollen genügend klar, insbesondere im vorderen Glaskörper hinter der Linse, insbesondere in der Kapselgegend keine Trübungen vorhanden sein, die den Erfolg der Operation in Frage stellen können. Der Augenhintergrund darf keine schweren Veränderungen zeigen, geschweige denn eine Netzhautablösung, insbesondere muß die Netzhautgrube (Fovea centralis) in einem solchen Zustand sein, daß noch eine brauchbare Sehschärfe erreicht wird. Hier wird man die Anforderungen des Berufes wieder mitsprechen lassen. Auch der Zustand des zweiten Auges ist sehr zu berücksichtigen. Nur einäugig Sehende werden in der Regel abgelehnt. Meist wird nur das weniger gute Auge zum Eingriff gewählt. Viele operieren das zweite Auge überhaupt nicht, zum einen Teil mit Rücksicht auf die Gefahren, zum anderen, um dem Kurzsichtigen die Vorteile beider Zustände, des linsenlosen und des kurzsichtigen Vollauges zur Verfügung zu halten, die sich bei abwechselndem Gebrauch der Augen ausnützen lassen. Jedenfalls soll nie auf beiden Augen gleichzeitig operiert werden, sondern erst nach gutem Verlauf im Abstand von mindestens 1—2 Jahren.

Mancher Operateur entschließt sich bei Erfüllung dieser Bedingungen nur dann zum Eingriff, wenn der Kranke, über Gewinn- und Verlustmöglichkeit unterrichtet, selbst um die Operation bittet.

Nach dem eben Gesagten ist für eine ganze Reihe von Fällen die Operation abzulehnen. Welches Gewicht man nun auch den älteren Veränderungen des Augenhintergrundes beimessen mag in der Erwägung, ob man operieren soll oder nicht, bei frischen Glaskörpertrübungen, Netzhautaderhautblutungen und anderen frischen Erkrankungen ist es im allgemeinen nicht erlaubt. Ablösung im zweiten Auge muß natürlich eine Warnung bilden, ebenso schwere Veränderung der Maculagegend.

Ob man den Kreis der Zulassung enger oder weiter schließen soll, hängt in erster Linie von der Geschicklichkeit des Operateurs ab. Die in den Berichten geäußerten Meinungen sind zweifellos von den Erfahrungen des einzelnen abhängig, und diese wieder werden bei der immer meist recht begrenzten Zahl eigener Operation vom Zufall nicht unbeeinflusst sein.

#### **b) Die Verbesserung der optischen Einstellung des Auges durch Brillengläser.**

Hatte man bei den bisher besprochenen Verfahren das Ziel verfolgt, das Auge so zu verändern, daß seine kurzsichtige Einstellung möglichst verschwindet,

und war bei den wirksamsten davon der Einsatz sehr hoch, so ist das am häufigsten gebrauchte Mittel, das *Brillenglas*, in seinem Ziel zwar streng genommen bescheidener, etwa einer Prothese, einer erhöhten Sohle oder ähnlichen Mitteln, vergleichbar, in seiner Wirkung auf die Leistungsfähigkeit des Trägers aber ungeheuer wertvoll; es tut zudem seine Wirkung, fast ohne einen Einsatz vom Träger zu verlangen.

Der Kurzsichtige ist gegen den Emmetropischen vor allem durch sein schlechtes Sehen in die Ferne benachteiligt. Will er die Ferne deutlich sehen, so muß das Bild ferner Dinge in seinem Fernpunkt entworfen werden. Dies kann durch Sammelläser oder Zerstreuungsgläser, hohle oder erhabene Spiegel geschehen. Da das Hilfsmittel aber dauernd nahe vor dem Auge getragen werden und aufrechte Bilder liefern soll, so ist die Wahl nur zwischen einem Zerstreuungsglas und einem erhabenen Spiegel offen. Will man noch ein freies Feld haben, so bleibt nur das Zerstreuungsglas offen. Die Brennweite eines dünnen Glases ist bestimmt, wenn sein Ort vor dem Auge gewählt ist. Sie ist gleich dem Fernpunktsabstand vom Glas. Wenn man will, so hat man mit dem Glas einen neuen, künstlichen äußeren Fernpunkt im Unendlichen gewonnen.

Hat man mehr oder weniger unbewußt den Wunsch, das Sehen des Kurzsichtigen dem eines Emmetropischen gleich zu machen, so ist dies nur zum Teil erreichbar. Mit dem Hinweis auf die Brillenlehre S. 749, 773 u. 827 sei nur hervorgehoben, daß das Glas neben einem äußeren Fernpunkt auch einen äußeren Nahpunkt geschaffen hat, dessen Abstand allerdings nicht dem eines gleichaltrigen Rechtsichtigen gleichkommt, sondern kleiner ist.

Die Betrachtung äußerer Gegenstände erfordert infolge der prismatischen Wirkung der Gläser andere Blickbewegungen, als wenn sie mit freien Augen beobachtet werden. Infolge davon ist ferner das beidäugige Sehen umgestaltet worden. Das Nahsehen verlangt jetzt andere, geringere Konvergenzbewegungen als von einem gleichen rechtsichtigen Augenpaar ohne Gläser bei gleicher Dingweite.

Da die Brillengläser dem Auge meist näher stehen als der dingseitige Augenbrennpunkt, so vermitteln sie Netzhautbilder, die größer sind als das von den brechenden Flächen allein entworfene, dem Träger allerdings nicht zugängliche Bild im Glaskörper bzw. größer als das deutliche Bild auf der Netzhaut eines rechtsichtigen Auges gleicher Brechkraft. Die Vergrößerung ist um so stärker, je stärker das Brillenglas und je näher es am Auge steht. So kommt nur für hochgradige Kurzsichtigkeit eine nicht unbeträchtliche Erhöhung der Sehschärfe zustand (s. Brillenlehre). Wenn es sich um ferne Gegenstände handelt, so liegt das Bild im Brennpunkt. Die Brennweite ist aber um so länger, je weiter augenwärts das Glas angebracht wird. Der Brennweite ist weiter die Bildgröße proportional. Im gleichen Maß steigt die Sehschärfe. Wenn nun der Annäherung des Glases ans Auge schon durch die Wimpernlänge eine Grenze gesetzt ist, so ist eine weitere Steigerung der Brennweite und damit der Sehschärfe nur möglich durch dicke Linsen geeigneter Form, deren Schnittweite kürzer ist als die Brennweite (dicker Meniscus, Stöpsellinse, später STEINHEILScher Conus). Werden die beiden Flächen jeweils durch eine Linse ersetzt, so erhält man die gleiche Brennweitenverlängerung bei geringerer Dicke und gewinnt obendrein in den beiden hinzukommenden Flächen sowie der Brechzahl der hinzukommenden zweiten Linse weitere nach Bedürfnis wandelbare Größen, über die in geeigneter Weise verfügend der technische Optiker Brillengläser von großer Fehlerfreiheit berechnen konnte (Fernrohrbrille von M. v. ROHR). Eine einfache Erläuterung dafür, wie sich die vergrößernde Fernrohrbrille aus der dünnen Brille herleitet und wie sich ihre äußere Form gewissermaßen zwangsmäßig aus der gestellten Aufgabe entwickeln läßt, ist von H. ERGGELET gegeben worden.

Die **Fernrohrbrille** in ihrer heute vorliegenden Gestalt ist 1908 auf E. HERTEL<sup>s</sup> (c) Anregung durch M. v. ROHR (b) aus dem Wunsche heraus entwickelt worden, dem stark Kurzsichtigen mit verminderter Sehschärfe eine ähnliche Steigerung der Netzhautbildgröße und damit der Sehschärfe zu verschaffen, wie sie von der Entfernung der klaren Linse aus dem Auge zu erwarten wäre. Sie war ursprünglich mit 1,3facher und 1,8facher Vergrößerung ausgestattet worden. Heute werden sie nur noch mit der 1,8fachen verwendet. Die hier genannte, auch auf den Stücken verzeichnete Vergrößerungszahl gibt nicht das Verhältnis der Netzhautbildgröße im kurzsichtigen Auge mit Fernrohrbrille und gewöhnlichem Glas an, sondern es sagt aus, wie vielfach das vom unbewaffneten, kurzsichtigen Auge schematischer Brechkraft im Glaskörper entworfene Bild der Ferne durch die Fernrohrbrille vergrößert wird. Den in diesen Zahlen ausgedrückten Vergleich kann der Kurzsichtige nur machen, wenn er das im Glaskörper seines unbewaffneten Auges schwebende Bild in unveränderter Größe auf seine Netzhautgrube (Fovea centralis) verlegt, d. h. wenn er seine Kurzsichtigkeit ausgleicht, ohne die Bildgröße zu ändern. Das geschieht, wenn er ein dünnes, zerstreues Brillenglas geeigneter Stärke im vorderen Augenbrennpunkt anbringt. Da die Brillengläser nicht so fern vom Auge getragen werden, so erhält der Kurzsichtige von ihm größere Bilder, und mit diesen verglichen ist das von der Fernrohrbrille gelieferte Bild ein nicht ganz so großes Vielfaches, wie die Zahl auf jedem Stück angibt (HARTINGER).

Ihre Vergrößerung gewährt die Fernrohrbrille, ob die Kurzsichtigkeit auf einer großen Augenlänge oder auf einer übermäßig hohen Brechkraft beruht. Die relative Vergrößerung ist bei der letzten Art etwas größer als bei der ersten, weil das Brillenglas kürzerer Brennweite der Folge nicht so weit vom Augenbrennpunkt absteht wie im ersten.

**Das Haftglas.** Hat man bei der Fernrohrbrille innerhalb gewisser Grenzen die Verfügung über die Vergrößerung und in nahezu unbeschränktem Umfang über die Ausgleichstärke, die man nach dem Grad der zu behandelnden Kurzsichtigkeit beliebig abstufen kann im Gegensatz zu der FUKALASchen Operation, so steht bei einer grundsätzlich anderen Art des Glasausgleiches, beim Haftglas, mit der Einstellung für die Ferne auch die Netzhautbildgröße fest. Sie ist eben im wesentlichen bestimmt durch den Grad der Kurzsichtigkeit, ob nun eine Brechkraft- oder eine Längenkurzsichtigkeit vorliegt. Nur das Verhältnis dieser Bildgröße zu der von dem dünnen, im gewöhnlichen Abstand sitzenden Glas gelieferten schwankt in einer ähnlichen Weise mit diesem Unterschied wie oben bei der Fernrohrbrille und wie auch das Ausgangsbild, mit dem die mit dem Haftglas erzielte Netzhautbildgröße verglichen wird. (Näheres siehe Brillenlehre S. 827 und Abb. 82 S. 829.)

### c) Maßnahmen zur Bekämpfung der Kurzsichtigkeit als eines Krankheitsvorganges.

**Die Vollkorrektion.** Sind somit die optischen Bedingungen für den Fehlerausgleich klar, so daß die notwendige Glasstärke durch die Fernpunktlage eindeutig bestimmt ist, so ist das nicht mehr der Fall, wenn von dem Glas nicht nur deutliches Sehen für eine bestimmte Entfernung verlangt, sondern Einwirkungen auf den der Kurzsichtigkeit zugrunde liegenden Vorgang erwartet wird. Dann sind auch bei feststehender Fernpunktlage noch Erörterungen über die zu empfehlende Glasstärke möglich. Sie wird verschieden ausfallen, je nach den Ansichten, die über das Wesen und die Entstehungsweise der Kurzsichtigkeit gelten. Man schreibt eben dann dem Glas eine fördernde oder hemmende Wirkung auf die Weiterentwicklung der Kurzsichtigkeit zu. Die

Verschiedenheit der Meinungen spitzt sich dabei in einer erstaunlichen Weise für die Beratung des Kranken zu der Frage zu, ob das voll ausgleichende Glas oder ein schwächeres oder ob überhaupt kein Glas gegeben werden soll. Jeder dieser Standpunkte hat ihre Vertreter gefunden und hat sie wohl auch heute noch.

Wer streng und allein die Vererbung über das Schicksal eines Auges bestimmen läßt und jede Einwirkung äußerer Umstände und der Art des Augengebrauches leugnet, wird mit Rücksicht auf die Fortentwicklung der Kurzsichtigkeit keine bestimmten Wünsche über die Glasstärke haben, vielmehr die Bedürfnisse des Kranken entscheiden lassen (W. CLAUSEN).

Wer den Druck der äußeren Augenmuskeln für nicht gleichgültig ansieht, insbesondere der Vertreter der Entstehung und Förderung der Kurzsichtigkeit durch die Konvergenz (s. HAY), wird die voll ausgleichenden Gläser fordern, z. B. PAULSEN, um den Kurzsichtigen zu veranlassen, Lesen und Schreiben, überhaupt alle Naharbeit, bei möglichst großen Abständen auszuführen, ja er wird folgerichtig durch die Verfügung über den Seitenabstand der beiden Gläser in der Brille ihre prismatische Wirkung darüber hinaus zur Verminderung oder gar Ausschaltung jeder Konvergenz ausnützen bzw., wenn es sich um schwache Gläser handelt, mit welchen auf diese Weise keine genügende Ablenkung herbeizuführen ist, dies durch einen besonderen Prismensatz besorgen (s. HAY). Die Vollkorrektion mache das Kneifen zwecks deutlichen Sehens überflüssig und verhüte dadurch die für kurzsichtige Augen gewiß nicht gleichgültige Belastung durch den vermehrten Lidruck. Die Lidbelastung beträgt bei Myopen über 10 dptr 105 g, ist also 25 g höher als bei Emmetropen (s. S. 659).

Wer der Akkommodation einen schädlichen Einfluß auf die Kurzsichtigkeit vorwirft, ihre Entwicklung auf diese oder jene Art mit der Akkommodation in Zusammenhang bringt, wird die Glasstärke so wählen, daß jede Betätigung der Akkommodation unterbleibt. Da bei den meisten Berufen Naharbeit überwiegt, so sind voll ausgleichende Gläser, besonders bei nicht ganz niedrigem Grad verpönt (J. HIRSCHBERG [d], H. COHN [c]); unter Umständen, wenn das Verlangen nach deutlichem Fernsehen nicht zu vermeiden ist, werden auch Jugendlichen zwei Stärken zu verordnen sein, Fern- und Nahbrille. Ja bei beginnender Kurzsichtigkeit hat man folgerichtig schwache Sammelläser tragen lassen. Wenn man heute sogar hochgradig Kurzsichtigen Sammelläser, und zwar möglichst starke Sammelläser, gibt, so ist das ein Standpunkt, der auch dann noch schrullenhaft anmutet, wenn man dem Akkommodationskrampf eine große Häufigkeit und Bedeutung zubilligen wollte.

Andere verlangen voll ausgleichende Gläser und erklären, sie verhüteten oder verminderten die Zunahme der Kurzsichtigkeit (DONDEES, FÖRSTER, PFALZ, HESS, HEINE). Erhebungen darüber, ob die voll ausgleichenden Gläser eine Wirkung auf den Verlauf der Kurzsichtigkeit ausüben oder nicht, ob ein Unterschied der Geschwindigkeit des Fortschreitens bei brillentragenden oder nicht brillentragenden Kurzsichtigen nachzuweisen sei, hat u. a. FÖRSTER (b) angestellt; SATTLEER (b), HERTEL (b) sahen eine günstige Wirkung vom vollen Ausgleich. W. KOSTER (a) spricht sich für die voll ausgleichenden Gläser aus, wenn sie das Lidkneifen verhindern; dann sei das Glas ein Heilmittel. E. HILL berichtet, in Amerika sei voller Glasausgleich üblich. L. HEINES (k) Ermittlungen nach hindert der volle Glasausgleich das Fortschreiten der Kurzsichtigkeit. M. STRAUB (b) hält es für erwiesen, daß der Vollaussgleich wenigstens vor dem 20. Lebensjahr und bei Ausschluß der hochgradig Kurzsichtigen das Fortschreiten in vielen Fällen ganz aufhalten, aber in anderen nicht verlangsamten könne. WENTINKS Aufstellungen, in denen auch Befunde von FÖRSTER, PFALZ,

HEINE, ROSCHER, SEGEL und WEIGELIN verarbeitet sind, zeigten das. Die Vollkorrektion gebe dem Auge, das den Streit gegen die Myopie verloren hat, von neuem Gelegenheit, ihn aufzunehmen, wobei dann die Emmetropisierung stärker sein könne (STRAUB [a], 132). Diese Wirkung der Vollkorrektion zeige sich hauptsächlich bei Myopie mit Astigmatismus, nicht beim Fehlen des Astigmatismus und nicht vor dem 14. Lebensjahr. Neuerdings fand SCHALL indessen, daß das vollausgleichende Glas das Fortschreiten nicht aufhalte. KUBLI (b), der bis 8 dptr voll ausgleicht, sah keinen Schaden, aber auch keine Hilfe von diesen Gläsern; auch nach KAZ sind sie ohne Einfluß auf den Verlauf.

Nach den Zahlen, die P. WÄTZOLD mitteilt, bestehen keine wesentlichen Unterschiede im Verhalten der Kurzsichtigkeit, ob Gläser getragen wurden oder nicht. Auch O. BLEGVAD (a) sieht keinen Einfluß der Gläser, wenn er die durchschnittliche Zunahme der Kurzsichtigkeit bei Leuten berechnet, die vor ihrem 16. Lebensjahr untersucht worden waren. H. F. HANSELL verwirft die vollausgleichenden Gläser, weil er aus Überlegungen zum Aufbau des Ciliarmuskels beim Kurzsichtigen die Akkommodation zu vermeiden wünscht.

Bei der Abwägung des Für und Wider in dieser Frage hat sich kein ausgesprochener Ausschlag nach einer Seite ergeben. Sicherlich ist vom vollausgleichenden Glas kein Schaden zu fürchten, eher ein gewisser Nutzen. Hingegen ist durch abgeschwächte Gläser das Fortschreiten nicht aufgehalten worden. Daher liegt kein triftiger Grund vor, den Kurzsichtigen die optischen Vorteile voll ausgleichender Gläser vorzuenthalten, Vorteile, die sich oft genug wirtschaftlich erheblich auswirken. Man wird auch heute im wesentlichen den Standpunkt von C. HESS (f) teilen. Kurzsichtige ganz niedrigen Grades, etwa von 1—2 dptr, kommen sehr häufig mit ihrer Sehleistung völlig aus, ohne die Hilfe eines Glases, wie mir unter anderen kurzsichtige Bergführer und sehr bewährte führerlose Hochtouristen bewiesen. Handelt es sich um Jugendliche, so erscheint es indessen ratsam, zu berücksichtigen, ob voraussichtlich mit dem Fortschreiten zu rechnen ist oder nicht (s. u.) und, wenn ja, das Glas zu geben. Gläser von 6—8 dptr können in der Regel sogleich getragen werden, und zwar auch für die Naharbeit, wenn die Zeit der Alterssichtigkeit noch nicht erreicht ist. Alterssichtige erhalten für die Nähe etwa die Stärke, die sich durch Zusatz des Altersglases eines Rechtsichtigen gleichen Alters ergibt. Bei höheren Stärken empfiehlt es sich, wenn noch keine Gläser getragen worden sind und die neue Art des Sehens unangenehm empfunden wird, mit einer Zwischenstufe die Gewöhnung zu erleichtern und dann nach kurzer Zeit erst die volle Glasstärke tragen zu lassen. Daß es nicht ausgeschlossen ist, auch sehr starke Zerstreuungsgläser zu tragen, zeigen eigene Erfahrungen, bis zu — 40 dptr, was früher und bei manchen Augenärzten jetzt noch für unmöglich gilt. Weit genug ist allerdings die Furcht vor den starken oder, wie es meist heißt, zu starken Gläsern, zumal bei Nichtfachleuten verbreitet.

**Die zweckmäßige Form des Glases** sorgt für ein recht großes brauchbares Feld. Ernstliche Schwierigkeiten beruhen vielfach auf Störung im beidäugigen Sehen, sowohl im Sinne einer Änderung des zweckmäßigen Konvergenzgrades, besonders aber durch Höhenfehler bei ungenauer Ausrichtung des Brillenglases zu jedem der beiden Augen. Die sorgfältige Anpassung des Gestelles an das Gesicht des Trägers wird hier Abhilfe bringen. Mancher Kurzsichtige hat anfangs etwas Mühe, sich an die Deutlichkeit der Bilder zu gewöhnen, die wohl einmal unbehaglich empfunden werden, indem den Träger die plötzlich dargebotene Überfülle der Einzelheiten gewissermaßen ablenkt und verwirrt. Gelegentlich bleibt auch einmal ein Kurzsichtiger bei der Ablehnung seiner voll ausgleichenden Gläser und fühlt sich behaglicher mit etwas schwächeren, die ihm mit Rücksicht auf seine Arbeitsweise und Gewohnheiten ohne Bedenken genehmigt werden können.

**Andere Maßnahmen**, die man gegen das Fortschreiten der Kurzsichtigkeit und gegen seine Folgeerscheinungen empfohlen hat, sind teils medikamentöser, teils physikalisch-diätetischer, auch chirurgischer Art. Hier spiegelt sich die Vielfältigkeit der Meinungen in den widerspruchsvollsten Vorschlägen.

Man rät zu *Atropinkuren* (SCHULTZ-ZEHDEN; Homotropin J. SÉDAN), wenn man die Akkommodation als schädlich betrachtet; sie sind heute fast verlassen. Man rät zum Gegenteil, zu Pilocarpin und Eserin, um die beginnende Kurzsichtigkeit zum Rückgang zu bringen, wenn man den Zustand des hinteren Augenabschnittes hochgradig Kurzsichtiger für ein Zeichen der Dehnung durch den normalen Binnendruck hält (DIANOUX, J. SÉDAN [b], K. GRUNERT [a]), erst recht, wenn an erhöhten Druck gedacht wird (BALLEREAN, DRANSART), ja es sollen beide Mittel gleichzeitig verabfolgt werden. Vor sorgloser Pilocarpin-anwendung warnt M. BARTELS (c S. 775), seit er einmal unmittelbar nach Einträufelung eines Tropfens Pilocarpin eine Netzhautablösung sich entwickeln sah. Seiner Warnung beizustimmen veranlaßt mich ein ähnlicher Vorgang.

Vielfach üblich ist die *Einspritzung von Kochsalz- oder Dioninlösung* unter die Bindehaut bei Hintergrundsveränderungen und Glaskörpertrübungen, neben *Blutegel-* oder schweren *Schwitzkuren*. Dunkelkuren dürften heute wohl selten mehr zu finden sein. Dazu kommen *Epinephrinanwendung* (WIENER), Bestrahlung mit *Mesothorium* und *Radium*. Die Beachtung der inneren Absonderung wird heute natürlich nicht versäumt (J. MAWAS).

Man rät, wie etwa W. KOSTER (b) zu frühzeitiger *Ruhebehandlung*, Liegen, Verbot von Naharbeit früher bei allen, später nur bei schweren Kurzsichtigkeitsgraden neben Quecksilbereinreibungskuren, während andere die Naharbeit als Behandlung anraten (LEDERER [b], LE FEVER). Als Gegenteil der Ruhebehandlung, die bei bedrohlichen Veränderungen im Innern ihre Berechtigung hat, wird in Fällen ohne solche Zeichen die Kräftigung des Körpers durch *Leibesübungen* und die Behandlung des Augapfels durch *Kneten* erstrebt (DOMEC glaubt, hierbei eine Fernakkommodation in Gang zu bringen). Massage wird sogar auch bei hochgradiger Kurzsichtigkeit befürwortet (DIANOUX) oder häufiges und langdauerndes Zusammenpressen des Augapfels (BOURDEAUX); J. R. ANSAN verlangt Augengymnastik. Naharbeit soll nur bei *guter Beleuchtung* und *aufrechter Kopf- und Körperhaltung* geleistet werden, teils um die von manchen als Schädigung angesprochene Konvergenz in gehörigen Grenzen zu halten, teils um die von LEVINSOHN gefürchtete Schwerkraft nicht in ungünstiger Richtung wirken zu lassen, teils um die Ruckbewegungen nicht zu groß zu machen. Man hat sogar geglaubt, von Haltevorrichtungen, Kinnstützen, Leseputlen (F. A. MOXON) u. dgl. etwas erhoffen zu dürfen. Die Begründung durch klinische Feststellungen fehlt leider bei vielen Vorschlägen oft genug.

Mit dem Ziel, die Ursache des Kurzsichtigkeitsvorganges zu beseitigen und damit die Entwicklung aufzuhalten, hat man sich vor Muskeloperationen nicht scheut, z. B. um Konvergenzschäden zu verhüten (s. o. S. 621, HAY), die Sehne des geraden inneren Augenmuskels (M. rectus internus) durchtrennt. L. MÜLLER (c) hat die Obliquotomie gemacht, einen Eingriff, den nach SCHMIDT-RIMPLER bereits 1840 PHILIPP (sur le strabisme) ausgeführt hat, um die Kurzsichtigkeit zu heilen. MÜLLER geht dabei von der Anschauung aus, daß das Stück Lederhaut, das zwischen dem Hemmungsband der Trochlearissehne und dem Ansatz des schiefen unteren Augenmuskels eingeschaltet ist, beim Schauen, besonders beim Nahsehen, gespannt und gedehnt wird.

Selbst vor der Iridektomie hat man sich nicht gescheut in der Meinung, eine Druckminderung zu erzielen, um damit die Kurzsichtigkeit am Fortschreiten aufzuhalten. K. GRUNERT (a) berichtet Gutes von gehäuften Parazentesen.

**Die Beratung des Kurzsichtigen.** Wie soll man nun heute einen Kurzsichtigen beraten? Unsere Stellung hierzu hängt davon ab, was für eine Art und was für eine Stufe dieser Refraktion vorliegt. Der Dauerzustand einer niedrigen Kurzsichtigkeit bedarf außer seinen Gläsern kaum einer Beratung und Behandlung. Der hochgradigen Kurzsichtigkeit mit ihren Hintergrundsveränderungen und Folgezuständen ist mit den optischen Hilfsmitteln allein noch nicht gedient. Von Vorbeugungsmaßregeln, die auch hier gelten, ist gleich noch zu sprechen. Glaskörpertrübungen, Hintergrundsblutungen, Netzhautablösung usw. machen den Träger zum Kranken und verlangen ihre besondere Behandlung, Einspritzung von Kochsalzlösungen unter die Bindehaut, Jodgabe innerlich, Ruhe bei frischen Veränderungen, zumal Blutungen usw., deren Wesen und Handhabung hier nicht zu erörtern ist.

Der große Unterschied unserer Einstellung diesen beiden Fällen gegenüber liegt auf der Hand. Anders steht es jedoch, wenn es gilt, den Heranwachsenden zu beraten, dessen Kurzsichtigkeit eben beginnt. Man hat Stimmen gehört, die sich mit der Verordnung des vollausgleichenden Glases begnügen und fest überzeugt von der allein bestimmenden Macht der Vererbung, auf alles weitere verzichten. Das Schicksal der Augen ist danach durch die Vererbung bestimmt und läuft ab, ob wir etwas dagegen tun und das Auge zur Arbeit heranziehen oder nicht. Manches Auge bekommt eine geringe Kurzsichtigkeit, und diese schreitet nicht im geringsten fort, ob die sog. Schädlichkeitsumstände vorhanden sind oder nicht. Gewiß haben sich viele von den früher als sicher geltenden Anschauungen, wie die, daß die Naharbeit fast als einzige Ursache für die Entstehung der Kurzsichtigkeit bekämpft werden müsse, als übertrieben und irrig erwiesen. Indessen wird man nicht von der Hand weisen können, daß die hochgradig kurzsichtigen Augen mit ihren schweren Hintergrundsveränderungen und der Lederhautverdünnung gegen äußere Schädlichkeiten widerstandsunfähig sein werden als rechtsichtige oder solche mit schwacher, nicht fortschreitender Kurzsichtigkeit.

Die große Schwierigkeit für unsere Stellung und unser Handeln liegt nun darin, daß wir nicht imstand sind, aus dem Befund an Augen mit schwacher, beginnender Kurzsichtigkeit mit Bestimmtheit zu sagen, ob die Kurzsichtigkeit stehen bleiben oder weiter wachsen wird. Daß wir nun weiter kein Mittel besitzen, mit dem das Leiden mit Sicherheit am Fortschreiten gehindert werden könnte, sondern nur suchen müssen, einigen, vermutlich die Hauptursache unterstützenden, Nebeneinflüssen entgegenzuwirken, macht unsere diagnostisch-prognostisch unsichere Lage erst recht unangenehm. Man darf also kaum einem jeden angehenden Kurzsichtigen eingreifende Verhaltensmaßregeln zumuten in der Überlegung, damit alle lang und stark fortschreitenden Fälle zu fassen. Der größte Teil der Kurzsichtigen würde ganz unnütz belastet, ohne daß man bei den wenigen wirklich Bedürftigen unter ihnen eine entscheidende Wirkung ausüben würde. Solange wir jedoch keine besseren Mittel haben, die völlige Wirkungslosigkeit vernünftig überlegter Vorbeugungsvorschläge nicht bewiesen ist, wird man die Maßnahmen nicht beiseite lassen dürfen, die ohne allzu scharfes Eingreifen in die Lebens- und Arbeitsverhältnisse, zugunsten eines solchen Auges durchzuführen sind. Man empfiehlt den vollen Ausgleich der Kurzsichtigkeit mit Gläsern, die dauernd zu tragen sind. Naharbeit soll unter günstigen Bedingungen bei guter Beleuchtung und in aufrechter Haltung (s. o.) geleistet werden. Beschränkungen, etwa Befreiung vom Unterricht in Handarbeit und Zeichnen sind kaum je nötig, wenn nicht ernste Veränderungen am Augenhintergrund dazu zwingen, wie etwa ganz ungewöhnlich schnelles und plötzliches Wachstum der Myopie oder Blutungen (S. 625) oder sehr hochgradige Kurzsichtigkeit. Leibesübungen sind durchaus nicht grundsätzlich zu vermeiden,

sondern in vernünftiger Auswahl und Bemessung empfehlenswert, besonders Freiübungen. Nicht geeignet für hochgradig Kurzsichtige sind Schwergewichtsübungen. Daß man solche Augen vor Prellungen hütet, ist selbstverständlich.

#### d) Die Prognose der Myopie.

Die Voraussage wird in jungen Jahren schwierig, zumal wenn man nicht durch eine längere Zeit vorher angestellte, eingehende Untersuchung über die Geschwindigkeit der Entwicklung unterrichtet ist. Auch dann, wenn solche Unterlagen zur Verfügung stehen, ist man nicht imstand, sicher über die Zukunft zu urteilen. Immerhin hat man gewisse Anhaltspunkte, um das Auge etwa auf der BLEGVADschen Tafel (S. 585) einzuordnen und das bis dahin bekannte Steigungsmaß der Refraktionsveränderung mit dem der BLEGVADschen Kranken zu vergleichen und so eine einigermaßen begründete Vermutung über den weiteren Gang zu gewinnen. SOURASKY fordert mit Recht dazu auf, auch die Geschwindigkeit der Hyperopieänderung im Schulalter zu verfolgen, gerade im Hinblick auf die Frage, ob Kurzsichtigkeit zu erwarten sei oder nicht. Nach seinen Beobachtungen nehme die Hyperopie gewöhnlich um 1—2 dptr ab. In anderen Fällen geschehe das viel schneller, und zwar ebenso schnell, wie die Myopie zu wachsen pflege. Solche hyperopische Augen würden meist kurzsichtig, es sei denn, es handle sich um hohe Hyperopien. Man wird einen gewissen Anhalt am Zustand des Hintergrundes haben. Das Auftreten eines WEISSischen Reflexbogenstreifens oder einer Sichel, die vorher noch nicht vorhanden gewesen ist, spricht im Wachstumsalter in einem gewissen Grad für eine bestehende Neigung zum Fortschreiten. Die Kenntnis, daß in der Familie von beiden Eltern her hochgradige Kurzsichtigkeit gehäuft vorkommt, muß zu besonderer Vorsicht mahnen in der Beurteilung der Zukunft eines solchen Auges. Auch die Ergebnisse der Vererbungslehre sind für die Eheberatung zu verwerten. Daß die Kurzsichtigkeit in dieser Beziehung erhebliche Beachtung verdient, wird jedem klar sein, der weiß, was für verhängnisvolle Folgen hochgradige Kurzsichtigkeit für den ganzen Lebenslauf eines Menschen samt seiner Familie in jeder Beziehung haben kann. Die wirtschaftliche Not unserer Zeit zeigt uns diese Folgen in einem sehr grellen Licht. Der Erbllichkeit des Leidens kann wohl auch neben unmittelbar schwerwiegenden Gründen bei der Entscheidung über die Unterbrechung einer Schwangerschaft bei Netzhautablösung und hochgradiger Kurzsichtigkeit eine gewisse Beachtung zugewandt werden. Eingehende Erörterungen über Gravidität, hochgradige Kurzsichtigkeit und Netzhautablösung sind in letzter Zeit von L. HEINE (1), A. FUCHS, BIRCH-HIRSCHFELD, F. WEBER und E. KRÜGER veröffentlicht worden.

#### e) Die Ergebnisse der Hygiene.

Dank COHNS Wirken hat man vor Jahrzehnten mit großer Willenskraft das angeblich besonders bei uns bedrohlich umschgreifende Übel der Myopie durch Besserung der Arbeitsverhältnisse in den Schulen einzudämmen gesucht. Schlechte Beleuchtung verleitet zu starker Annäherung mit übermäßiger Konvergenz und Akkommodation, zu schlechter Körperhaltung, zu venöser Stauung im Kopf u. a. Die Folge schlechter Beleuchtung ist die Verlängerung der zur Erledigung einer Aufgabe nötigen Arbeitszeit und läßt die an sich schon für das Wachstumsalter als nicht unbedenklich betrachtete Naharbeit gerade unter den Umständen lange dauern, wo die Schädlichkeiten gehäuft und in stärkerem Maße wirken können. Man verlangte deshalb genügende und zweckmäßige Beleuchtung der einzelnen Plätze. Dann besteht zu übermäßiger Annäherung an die Schrift keine Veranlassung, und die Arbeit wird nicht durch Minderung der Sehschärfe aufgehalten. Man richtet deshalb Tisch und Bank so

zueinander, daß eine aufrechte Haltung des Schülers auch beim Schreiben möglich und gesichert, insbesondere übermäßige Annäherung dabei vermieden wird.

Auch auf den Unterrichtsplan und -stoff hat man wohl mit aus anderen Gründen einzuwirken gesucht und z. B. auf Minderung der Nah- und insbesondere auch der Hausarbeit Bedacht genommen. Daneben laufen die Bestrebungen, den Leibesübungen weiteren Raum nicht nur in der Schule, sondern auch außerhalb der Schule zu geben, die im letzten Jahrzehnt ganz entschieden eine wesentliche Umgestaltung der Lebensweise weiter Kreise herbeigeführt haben.

Nicht ebenso zahlreich und bestimmt wie die Arbeiten, in denen man die Naharbeit als Ursache der Kurzsichtigkeitszunahme hingestellt und die eben angedeuteten Maßnahmen als Abhilfe gefordert hat, sind die Veröffentlichungen, die sich mit den Ergebnissen dieser Maßnahmen befassen.

C. SEGGELE berichtet, in 2 Münchener Schulen hätte die Zahl der kurzsichtigen Knaben seit 20 Jahren um 10%<sub>0</sub>, die der Mädchen um 30%<sub>0</sub> abgenommen, und bezieht die Besserung ausdrücklich auf die Hebung der Arbeitsbedingungen in der Schule, Vermehrung körperlicher Übungen im Freien und Verbesserung der Arbeitsbedingungen mit Minderung der Naharbeit. Als Stütze dieser Deutung wird angeführt, daß die Häufigkeit der Kurzsichtigkeit in den Realklassen deutlich niedriger sei als in den Lateinklassen.

Diese Besserung als Erfolg bestimmter Maßnahmen und Bestrebungen hinzustellen, wird schwerhalten, wenn man nicht vergißt, daß zahlreiche andere Bedingungen keineswegs konstant angenommen werden können, die auf das Ergebnis der Aufstellung einen Einfluß ausüben dürften, und man weiß, wie wenig man das Einzugsgebiet der Schulen beherrscht.

O. RUFF vermißt für die Augsburger Schulen einen merklichen Rückgang seit COHNS Untersuchungen. Unter den 13—14jährigen Kindern in den Volksschulen fand er dort viel weniger Kurzsichtige auf Hundert, als in höheren Lehranstalten. Da die Anforderungen in den verglichenen Altersstufen nicht sehr verschieden sind, so scheidet die Naharbeit als wirksamer Einfluß aus. Die verschiedenen sozialen Schichten, aus denen die Schüler kommen, prägen sich in dem Unterschied der Kurzsichtigkeitszahlen aus. Indessen haben neben wenig überzeugenden Äußerungen andere ernsthafte Forscher wirklich von einem deutlichen Rückgang der Häufigkeit der Kurzsichtigkeit an verschiedenen Stellen berichtet. Nach F. ASK (d) gab es, worauf WIDMARK schon aufmerksam gemacht hatte, in oberen Klassen der höheren Knabenschulen Schwedens 1906 etwa 25%<sub>0</sub> Kurzsichtige, während es 1883 noch nach A. KEY (s. ASK) etwa 40—50%<sub>0</sub> gewesen waren.

Merkwürdigerweise fand E. HOLM (a) diese Ergebnisse für das benachbarte Dänemark nicht bestätigt. Er vergleicht 1924/1925 seine allerdings nur an 200 Schülern der obersten Klassen von Gymnasien gewonnenen Zahlen mit den Ergebnissen M. TSCHERNINGS (a) von 1881/1882. Waren damals 38%<sub>0</sub> Kurzsichtige festgestellt, so fand HOLM 39%<sub>0</sub> kurzsichtige Augen.

Einspruch gegen ASKS Schluß hat O. HEINONEN (h) erhoben. Er meint, die Schülerherkunft habe in Schwedens höheren Schulen gewechselt, und damit sei die Erbanlage unter den Schülern geändert worden. In Finnland habe er an 10 000 Schülern zwischen 1910 und 1927 keine Häufigkeitsänderungen gefunden. Den Hinweis darauf, daß eine gesellschaftliche Umschichtung dem Wechsel der Kurzsichtigkeitsverbreitung zugrunde liegt, entnimmt O. HEINONEN den ASKschen Zahlen. Diese zeigen, daß sich der Unterschied zwischen Real- und Lateinklassen allmählich ausgleicht. Betrogen diese Häufigkeiten bei KEY in den achtziger Jahren 14,6%<sub>0</sub> (Realklassen) und 22,3%<sub>0</sub> (Lateinklassen), so besteht bei ASK das Verhältnis von 13,3 : 18,8%<sub>0</sub>, und zwar nimmt es mit den Jahren ab.

Ähnliche Gründe dürften auch die Besserung verursacht haben, die MOUTINHO und MATTOS an portugiesischen Schulknaben feststellen können und die

sie auf die schulhygienischen Bemühungen zurückführen. STRAUB und DINGER fanden keinen Unterschied in der Myopenzahl zwischen hygienisch guten und schlechten, bzw. alten und neuen, Schulen.

**Eheberatung.** Diese Bestrebungen haben, soweit sie verwirklicht worden sind, ihren Nutzen gehabt, wenn vielleicht auch nicht gerade in der beabsichtigten Richtung. Heute, wo wir mindestens ebensoviel Veranlassung hätten, einem schon in volkswirtschaftlicher Beziehung höchst bedenklichen Leiden den Boden zu entziehen, müßten wir den Feind mit ganz anderen Mitteln angreifen, nämlich auf der Lehre von der Vererbung fußend, im Wege der Eheberatung durch die Gattenwahl. Allerdings wird man sich, die nötigen wissenschaftlichen Grundlagen als restlos klar vorausgesetzt, selbst als hoffnungsfroher Mensch nicht verhehlen, daß die Aussichten für eine wirkungsvolle Verwertung der Kenntnisse und für einen durchgreifenden Erfolg nicht gerade rosig sind. Die Schwierigkeiten für gleichlaufende Bestrebungen bei anderen für die Allgemeinheit in ihrer Schädlichkeit viel auffälligeren Zuständen sind bekannt genug.

## B. Andere Formen der Kurzsichtigkeit.

Hier mögen die Fälle vereinigt werden, deren Kurzsichtigkeit sich aus einem anderen Zustand und durch erkennbare krankhafte Vorgänge in der brechenden Folge unter der Beobachtung entwickelt hat oder nachweislich entwickelt haben muß. Fast ausnahmslos beruht die Myopie dabei auf Brechkraftzunahme.

In Betracht kommen die eingangs (S. 584) genannten Ursachen. Eine Vermehrung der *Hornhautkrümmung* beruht meist auf entzündlichen Veränderungen bzw. auf Narbenzug (WILSON [a]). F. BOHNENBERGER berichtet über zweifache Refraktion infolge einer 2 mm im Durchmesser haltenden Verdünnung und Krümmungsänderung der Hornhautmitte. Auch die ihrem Wesen nach noch unbekannte Bildung des Hornhautkegels (Keratoconus) gehört hierher. Zu der starken Krümmung an der Spitze des Kegels und ihrer Myopie kommt als Folge der hauptsächlich störenden Veränderung die unregelmäßig astigmatische Wirkung.

Sehr viel häufiger ist die *Linse* der Sitz der Veränderung. Sie kann verschiedener Art sein. Im Anschluß an eine *Verletzung* sehen wir gelegentlich Kurzsichtigkeit (BOUCHART, FRENKEL, BARSALOU), die meist früher oder später wieder zurückgeht (*Traumatische Myopie*). Nicht selten ist sie in Verbindung mit Astigmatismus nach der ELLIOTSchen Trepanation. Als Ursache kommt entweder Anspannung der Akkommodation in Betracht, dann verschwindet die Refraktionsänderung meist unter der Wirkung von Atropin, oder es liegen Gewebsverletzungen vor, die eine Lockerung der Zonula und der Linse zur Folge haben (s. A. WAGENMANN, S. 534/536). Auch mit einer Verlängerung des Augapfels wird gerechnet; doch dürfte sie schwer zu beweisen sein. Eine Verlagerung der Linse nach vorn bestand nach FROMAGET (a) nach der Prellung. Der eine seiner Kranken zeigte nach 1 Jahr 1,5 dptr Übersichtigkeit. In dem anderen Fall sah er die Kurzsichtigkeit mit dem Verschuß einer Lederhautfistel verschwinden. Nach der ELLIOTSchen Trepanation läßt sich der gleiche Vorgang bei kürzerem Ablauf sehr häufig beobachten. Die Kurzsichtigkeit nach Prellung (D. BÉKÉS, M. SALZMANN [d], J. M. BAILEY, E. PAPANICOLAOU, MAGITOT) kann auf einer Vermehrung der Krümmung infolge Lockerung der Zonula oder des Ciliarkörpers beruhen. Einen kreisförmigen Einriß in den Kammerwinkel und eine spaltförmige Gewebswunde bis in den Ciliarkörper hinein, die solches bewirkt hatte, hat A. WAGENMANN anatomisch festgestellt.

Eine im Scheitelgebiet besonders starke und umschriebene Krümmungszunahme der Fläche liegt beim *Lenticonus* vor. Dabei kann sich das

Hintergrundsbild verdoppeln. Linsenkegel sind in nicht unbeträchtlicher Zahl im Laufe der Zeit beschrieben worden. Die früher aus optischen Erscheinungen erschlossene, dann auch anatomisch gefundene Form, läßt sich jetzt mit Hilfe der Spaltlampe unmittelbar genau in Einzelheiten auch im Leben erkennen. Der *vordere Linsenkegel* ist eine kegelförmige Vorwölbung, die sich auf einen kleinen Teil der Vorderfläche, etwa das Pupillengebiet oder einen Teil davon erstreckt (WEBSTER, PLACIDO, VAN DER LAAN, A. E. DAVIES, A. WEISS, F. F. KRUSIUS, E. VENNEMANN). An der *Hinterfläche* kommen, wie die Spaltlampe zeigt, kegel- und kugelförmige Ausbuchtungen, Lenticoni und Lentiglobi, vor. HESS (a, b, f) hat anatomische Befunde mitgeteilt. Durch Zug ist der hintere Linsenpol glaskörperwärts ausgedehnt worden. Die starke Krümmung bedingt entsprechend dem veränderten Flächengebiet eine starke Brechkraft der Folge, und daher ist dieser Bereich meist kurzsichtig, während die Umgebung schwach oder gar nicht kurzsichtig ist (A. GULLSTRAND, F. MEYER, J. MITVALSKY, A. ELSCHNIG [a], EISECK, PERGENS, L. MÜLLER [a], HESS [a, b, f]). G. L. COLOMBO (b), der bei seiner Beobachtung eines Refraktionsunterschiedes von 33 dptr eine der hinteren Linsenfläche gewissermaßen aufsitzende Kugelkappe gesehen hat, berechnet ihren Krümmungshalbmesser nach M. v. ROHR'S Plan zu dem ungewöhnlich kleinen Wert von nur 0,813 mm bzw. nach einem anderen Verfahren (COLOMBO [a]) zu 0,805 mm.

Als *falscher Lenticonus* ist von DEMICHÉRI eine heute ebenfalls mit der Spaltlampe leicht zu erkennende Veränderung im Kerngebiet bezeichnet worden, bei der sich die Mittelteile der wirksamen Öffnung durch starke Brechkraft und Kurzsichtigkeit auszeichnen, ohne daß die hintere Linsenfläche irgendwie verändert wäre; man sehe L. MÜLLER (a), E. GUTTMANN (a, b). A. VOGT (a) hat bei 3 Kranken nachgewiesen, daß es sich bei der doppelten Refraktion der alten Leute nicht um eine starke Brechkraft des Kernes im Vergleich zur Rinde bei scharfer Abgrenzung beider handelt, sondern um einen Kernstar mit Intervall; d. h. der Embryonalkern, nicht der Alterskern, ist verändert, diffus getrübt. Die Grenze gegen den Alterskern ist so gut hervorgehoben, daß der Ort eines überzähligen 5. Spiegelbildchens dadurch erkennbar wird. S. HAGEN beschreibt eine Linse mit doppeltem Brennpunkt; einem rechts 3 mm, links 4 mm breiten Schatten in der Linse entsprach rechts 1—5 dptr Achse 90° und eine Sehschärfe von  $\frac{5}{15}$ , links 6—18 dptr mit einer Sehschärfe von  $\frac{5}{30}$ . Zunahme im Verlauf von Monaten. Dem Befund doppelter Refraktion, die KYRIELEIS gesehen hat, liegt eine Veränderung des Linsenkernelns mit leichter Trübung, die er als unvollständig entwickelten Spindelstar betrachtet, zugrunde.

B. FLEISCHER (a, d) berichtet über eine Kurzsichtigkeit infolge *zu kleiner und zu stark gewölbter Linse* bei einem Glaukom. HERRMANN hat Ursache, die starke Kurzsichtigkeit von 17 bzw. 24 dptr bei einem Mikrophthalmus auf die vorn liegende stark gewölbte Linse zu beziehen, da die Hornhautkrümmung ziemlich regelrecht war. C. H. A. USHER fand Mikrophthalmus mit hochgradiger Myopie, ohne daß die Ursache festgestellt worden wäre. Im Linseninneren, und zwar als eine starke Krümmung des Alterskernelns, wurde von H. U. MÖLLER die Ursache einer doppelten Refraktion entdeckt. Bei enger Pupille herrschte 2 dptr Kurzsichtigkeit, bei weiter 4 dptr Übersichtigkeit.

*Bei älteren Leuten*, meist jenseits des 50. Jahres, kann es zu einer Veränderung ihrer Refraktion in der Richtung nach dem kurzsichtigen Ende der Reihe kommen. Sie erreicht manchmal ziemlich große Beträge, bis zu 10 dptr, im Laufe kürzerer oder längerer Zeit von Jahren. Sehr oft ist eine beginnende Linsen-trübung mit im Spiel. Sie beruht auf einer Erhöhung der Brechzahl der Linsenmasse, insbesondere des Kernes. L. HEINE (a) hat den Totalindex der Linse bei einer hochgradigen Kernsklerose ermittelt; bei einem kurzsichtigen, aber

klinisch und anatomisch nicht verlängerten Augenpaar wurden 1,452 und 1,47 gefunden, während sich bei 16 klaren Linsen normale Zahlen ergeben hatten.

Die bekanntesten, ziemlich plötzlich eintretenden und rasch wieder verschwindenden Vermehrungen der Brechkraft mit der Veränderung der Refraktion nach der kurzsichtigen Seite hin bei *Zuckerkranken* beschreiben GRIMSDALE, ROOSA (o), RISLEY, K. K. LUNDSGAARD (a), A. M. ROSENSTEIN (a, b) und F. TERRIEN. A. E. DAVIES nimmt eine Erhöhung der Kernbrechkraft als Ursache an. Auch das umgekehrte: Hyperopie wird beobachtet (s. S. 582). Meist handelt es sich um Leute im 40.—50. Jahr, eben im Alter, wo auch die Zuckerharnruhr häufiger wird. Die Kurzsichtigkeit steigt meist nicht über 3 dptr.

Im Beginn einer *Iritis* und *Iridocyclitis* hat man eine vorübergehende Kurzsichtigkeit von 1,5—2 dptr erlebt. A. E. DAVIES beobachtete 3 dptr. Auch bei Gelbsüchtigen hat man solche niedrigen vorübergehenden Kurzsichtigkeiten beschrieben (MOAURO, SCHAPRINGER); bei Darmkranken F. SCHIECK (F. TERRIEN). Man schreibt die Änderung einer passiven Akkommodationsstellung der Linse zu als Folge der Schwellung des Ciliarkörpers, da man durch chemische Veränderungen keine genügende Erhöhung der Brechzahl des Kammerwassers erhalten kann (HESS). Manchmal folgt die Kurzsichtigkeit nach Abheilung der Iritis, um erst nach Monaten wieder zurückzugehen oder zu verschwinden (J. GREEN, J. SÉDAN [a], NICATI [b], A. E. DAVIES).

Schließlich hat PASCHEFF eine in 5 Tagen vorübergehende Kurzsichtigkeit von 3,5 dptr bei *Entzündung der Augenhöhle* beschrieben. Durch den seitlichen Druck, den eine Geschwulst in der Augenhöhle auf den Augapfel ausübt, hat HANDMANN eine Kurzsichtigkeit von 2 dptr entstehen sehen, ohne daß der Binnendruck gleichzeitig erhöht gewesen wäre.

Eine eigentümliche Art von vorübergehender Kurzsichtigkeit bis zu 3,5 dptr bei ungestörter Pupille ist im Laufe von *Salvarsan-* bzw. *Novarsenobenzolkuren* mehrfach beschrieben worden (E. CASATI, DUPUYS-DUTEMPS und PÉRIN [a, b], MILIAN, JESSNER). Von französischer Seite ist sie als Akkommodationsspasmus gedeutet worden, doch vermißt BIELSCHOWSKY den Nachweis durch Atropinprüfung (E. REDSLOB, G. LEVY). Als Ursache wird eine unmittelbare Parasympathicusreizung durch die Giftwirkung, keine HERXHEIMERSche Reaktion, angenommen. CASATI, MILIAN, C. CAOUCHANSKY haben ausführlich über diese Beobachtung berichtet.

## VI. Der Astigmatismus des Auges.

### A. Genotypisch bestimmter Astigmatismus.

#### 1. Die Begriffsbestimmung.

Die hier zu behandelnde Eigenschaft ist keineswegs den im vorhergehenden Kapitel besprochenen gleichgeordnet. Es handelt sich beim Astigmatismus nicht eigentlich um eine Ametropie. Es liegt kein Einstellungsfehler, keine fehlerhafte Bild- oder Schirmlage, vor, sondern ein Abbildungsfehler. Wohl ist beiden Gruppen gemeinsam, daß auf der Netzhaut kein deutliches Bild ferner Dinge liegt, die Ursache dafür ist aber bei beiden grundsätzlich verschieden. Bei der ersten Gruppe, der Hyperopie und Myopie, liefert die brechende Folge zwar scharfe Bilder, der Ort des Bildes oder der des Auffangschirms, der Netzhaut, ist aber fehlerhaft. Ohne merkliche Änderung des Bündelaufbaues, lediglich durch Verschieben des Bildes kann der Netzhaut

eine deutliche Abbildung vermittelt werden. Ganz anders beim Astigmatismus. Hier ist der Bündelaufbau fehlerhaft. Welches auch im übrigen die Einstellung sei, ein deutliches, dingähnliches Bild beliebiger Gegenstände ist nicht zu erhalten. Hier ist der Abbildungsvorgang, die Strahlenvereinigung, fehlerhaft.

Setzt man zunächst ganz einfache Verhältnisse voraus und beschränkt sich auf den GAUSSISCHEN Raum, so kann für die Begriffsbestimmung des Astigmatismus auf das eingangs (auf S. 480 u. 530) Gesagte zurückgegriffen werden. Das im Auge gebrochene Strahlenbündel erhält, das ist denkbar, einen solchen astigmatischen Bau auf mehrfache Weise. Eine oder mehrere der brechenden Flächen können im Pupillengebiet ein- oder zweifach symmetrisch sein, im regelmäßigsten Fall einen Torus darstellen, oder die eine oder andere Fläche, obzwar Um-drehungsfläche, entspricht in ihrer Lage nicht den GAUSSISCHEN Bedingungen, indem sie zu den anderen nicht ausgerichtet ist. Dasselbe gilt für die Blenden des Auges, die Pupille und die Fovea centralis, die in übertragendem Sinne für das direkte Sehen auch als Blende gelten mag. Schließlich ist denkbar, wenn auch für gewöhnlich unwahrscheinlich, daß einmal durch eine besondere Verteilung der verschieden stark brechenden Linsenfasern eine gleiche Wirkung hervorgerufen werde.

Wenn wir uns jetzt an das früher zum Aufbau des im Auge gebrochenen Strahlenbündels Gesagte erinnern und wissen, daß die Flächenfolge des Auges und ihre Blenden keineswegs streng den GAUSSISCHEN Bedingungen entsprechen, daß vielmehr auch das im gesunden, regelmäßigen Auge gebrochene Strahlenbündel sehr von dem Ideal der Homozentrität abweicht, so ist ohne weiteres klar, daß eine Grenze gegen den krankhaften Zustand, den pathologischen Astigmatismus, schwer und nicht ohne Willkür gezogen werden kann.

Was DONDERS unter Astigmatismus des Auges versteht, spricht er (S. 379) in folgender Weise aus: „Es kommt aber zuweilen vor, daß in den verschiedenen Meridianen eines und desselben Auges der Refraktionszustand sehr verschieden ist.“ . . . . . „Die Asymmetrie, auf welcher die erwähnte Verschiedenheit beruht, findet sich in allen Augen. In der Regel besteht sie aber in so geringem Grade, daß die Sehschärfe nicht wesentlich darunter leidet. Nur ausnahmsweise wird sie so erheblich, daß sie eine Aberration des Lichtes verursacht, welche der Sehschärfe Abbruch tut.“

„Diese von einer Asymmetrie des Auges abhängige Aberration kann mit dem Namen *Astigmatismus* bezeichnet werden.“ Als unregelmäßigen (irregulären) „Astigmatismus“ bezeichnet er weiter „eine Aberration, die sich auf die Strahlen bezieht, welche in einem und demselben Meridian gebrochen werden, als regelmäßigen (regulären) Astigmatismus eine Aberration, welche von den Unterschieden in der Brennweite verschiedener Meridiane des lichtbrechenden Apparates abhängt“. DONDERS schließt in den Begriff des regelmäßigen Astigmatismus noch die Forderung ein, daß er „correcturfähig“ wäre.

Zweckmäßigerweise nennen wir heute Astigmatismus des Auges nicht mehr jede beliebige Abweichung des im Auge gebrochenen Strahlenbündels von der homozentrischen Vereinigung, wie das Wort eigentlich sagt. Denn einmal finden sich, worauf HESS (auf S. 472) hinweist, unter den früher zum unregelmäßigen Astigmatismus gerechneten Erscheinungen der Brechung auch solche, deren Gesetzmäßigkeit von GULLSTRAND aufgedeckt worden ist, und die daher nicht gut mehr als unregelmäßig angesprochen werden können. Sodann sind aber unter den regelmäßigen auch solche enthalten, die heute ihren besonderen eigenen Namen tragen. Man wird gut daran tun, *Augenastigmatismus* eine solche Abweichung von der Homozentrität zu nennen, bei der ein Dingpunkt überhaupt nicht mehr als Bildpunkt abgebildet wird, bei der wohl aber Linien bestimmter Richtung als Linien erscheinen, und bei der schließlich durch zweifach symmetrische Linsen eine merkliche Besserung der Abbildung und damit der Sehschärfe möglich ist. Außer der erwähnten Verbesserung der Sehschärfe durch zweifach symmetrische Linsen kann auch die Hebung asthenopischer

Beschwerden durch diese Gläser hinzugenommen werden, selbst wenn sie etwa nicht mit einer Steigerung der Sehschärfe einherginge. Bei der großen Abhängigkeit dieser Erscheinungen von nicht meßbaren Nervenzuständen mag das allerdings erhebliche Schwierigkeiten in der Deutung machen.

Diese Begriffsbestimmung entbehrt der wünschenswerten Schärfe. Die Übergänge gegen Abweichungen anderer Art werden Schwierigkeiten für die Abgrenzung bereiten, ebenso wie die Abgrenzung gegen das regelmäßige Auge. Man könnte zur Festsetzung eines Grenzwertes vorschlagen, etwa mit DONDERS 1 dptr, mit PFALZ  $\frac{3}{4}$  dptr, mit STEIGER und mit GULLSTRAND  $\frac{1}{2}$  dptr Astigmatismus der Hornhaut zu wählen. KRONFELD und DEVNEY betrachten alle Werte über 1 dptr als pathologisch. Doch sind auch dagegen Einwände möglich, wie sie in hohem Maß gegen jede willkürliche Grenze erhoben worden sind. Subjektive und objektive Prüfungsverfahren führen durchaus nicht immer auf den gleichen Astigmatismuswert. Das subjektive muß zwar grundsätzlich als das übergeordnete anerkannt werden, es ist aber von der Beobachtungsgabe des Prüflings sehr stark abhängig, ähnlich wie es bei seiner Anwendung auf andere Refraktionen der Fall ist. Die Ergebnisse des objektiven Verfahrens stimmen jedoch mit denen der subjektiven Untersuchungen auch bei gut beobachtenden Prüflingen keineswegs immer überein. Der Festsetzung eines Grenzwertes steht weiterhin die Tatsache im Wege, daß die Bedeutung eines bestimmten Grades von Astigmatismus für die Sehschärfe sehr oft von der Hauptschnittlage abhängt. Bewirkt doch die Hebung eines gleichen Betrages von Astigmatismus, wenn der stärker brechende Hauptschnitt entgegen der Regel waagrecht oder nahezu waagrecht liegt, eine größere Steigerung der Sehschärfe als bei der Lage nach der Regel. Man muß sich aber mit der nun einmal vorderhand unvermeidbaren Unschärfe der Deutung und der Mißlichkeit einer jeden Abgrenzung abfinden.

Wie bereits erwähnt, ist nicht jede Abweichung von der Homozentrität als Astigmatismus anzusprechen. Die Farbenfehler gehören schon nicht hierher. Unter den nach ihrer Ausschaltung übrigbleibenden monochromatischen Aberrationen sind jene ebenfalls auszuschalten, die von höherer Ordnung sind, die sphärische Aberration und die Koma. Die allgemeine, rein verneinende Bezeichnung Astigmatismus hat auch erlaubt, wirklich unregelmäßige Zustände mit unter den Begriff zu nehmen. Etwa durch Narbenzug entstellte Oberflächen oder durch krankhafte Wachstumsvorgänge bedingte Formveränderungen, wie den Keratoconus oder andere, den wahren und den falschen Lenticonus, obwohl alle eine von der zu besprechenden Art der Strahlenbrechung grundverschiedene Wirkung haben. Hierbei stellt sich der Nachteil deutlich heraus, daß man nicht einen wirklich beschreibenden Namen für die einzelnen Gruppen der Abweichungen von der Homozentrität besitzt (s. die Vorschläge von M. v. ROHR [c S. 105]).

Für die Anlegung einer Häufigkeitskurve kommen zu den oben erwähnten Schwierigkeiten noch die Verschiedenheiten der Untersuchung hinzu. Deren Genauigkeit hängt nicht bloß vom Untersucher, sondern, wie schon gesagt, vom Prüfling ab. Und so wundert man sich nicht darüber, wie weit die Angaben über die Häufigkeit des Vorkommens des Astigmatismus und seine Verbindung mit den verschiedenen Refraktionszuständen voneinander abweichen. Die Einseitigkeit einer Zusammenstellung, die auf dem Krankendurchgang einer Sprechstunde oder dem Bestande einer Klinik aufgebaut ist, braucht nicht weiter erläutert zu werden, doch kann man sie nicht entbehren, da eine ähnlich große Zahl eingehend Untersucher nicht ohne weiteres und ohne große Schwierigkeit zu beschaffen ist. Leider geben solche Aufstellungen aber keine Auskunft über den Aufbau der Gesamtbevölkerung, und das ist im Hinblick auf die Fragen der Vererbung, zur Beurteilung wirtschaftlicher Fragen usw., an und für sich zu wünschen. Auch die früher mögliche Untersuchung Heerespflichtiger hat sich meist nur auf eine ausgesuchte Zahl von Menschen, eben auf die schon als dienstfähig erklärten und ausgehobenen, erstrecken können, und diese spiegeln

keineswegs die Zusammensetzung der Gesamtbevölkerung wieder. Wesentlich günstiger liegen die Dinge für Schuluntersuchungen. Hier werden nur einige wenige Schulunfähige aus dieser Stichprobe der Bevölkerung fehlen, und der Ausfall dürfte kaum das dort gewonnene Ergebnis so fälschen, daß es nicht auf die Bevölkerung übertragen werden und als Abbild ihres Aufbaus gelten dürfte. Daß sich hierbei im wesentlichen eine Altersklasse zusammenfindet, zahlreiche andere Altersstufen aber ausgeschlossen sind, ist ein weiterer großer Vorteil. Doch sind auch hier der Schwierigkeiten noch genug, die eine einwandfreie Aufstellung vereiteln können.

Um so höher wird die Augenheilkunde unter der so sehr großen Zahl von Veröffentlichungen aus der PFLÜGERSCHEN SCHULE (PFLÜGER, STEIGER, FÄHNDRICH) insbesondere die STEIGERSCHEN ARBEITEN zu schätzen wissen. Er hat zu seinen Untersuchungen nicht die in einer Klinik schon niedergelegten Befunde verwendet, die ob ihrer großen Zahl und leichten Zugänglichkeit hätten bestechen können, die aber den Nachteil verschiedener Untersucher auch unter einheitlicher Leitung nicht werden vermissen lassen. STEIGER hat nur eigene Untersuchungen verwendet und bei der Erhebung den besonderen Zweck im Auge behalten und berücksichtigt, nämlich der Verarbeitung zu planmäßigen statistischen Erhebungen. Zu diesem großen Vorteil der Einheitlichkeit kommt noch die Sorgfalt und die Genauigkeit des Untersuchers und die große Urteilsfähigkeit des Bearbeiters der Messungsergebnisse hinzu in der Person eines Mannes eben vom Rang STEIGERS. Diese PFLÜGER-STEIGERSCHEN Untersuchungen verdienen auch heute noch, wohl unbestritten, unter den zahlreichen, auch den neueren Veröffentlichungen nach der ganzen Anlage, Durchführung und Ausbeute als ein Muster hervorgehoben zu werden. Es seien hier nur genannt: PFALZ, SIMON, PFLÜGER, STEIGER, FÄHNDRICH, SIEGRIST, KATEL-BLOCH, MENDE, SEEFELDER, MÜGGE, LÜHL, LANG, GOLDEN, CAVARA, HOLM, MENESTRINA, CZELLITZER, LEIBOWICZ, KRONFELD und DEVNEY, JAVAL, SULZER, JACKSON, DOLGANOFF, SCHOEN, ANDOGSKY.

## 2. Bezeichnungen.

Will man den Astigmatismus eines Auges, den Fehler seiner Strahlenvereinigung, kennzeichnen, so ist dazu die Angabe des Unterschiedes der statischen Refraktion seiner beiden Hauptschnitte und der Richtung des einen von ihnen nötig. Dieses letzte sollte heute nur noch nach der Teilungsweise des TABO (s. S. 531) erfolgen. Sie wurde NORDENSON und MÁRQUEZ als O.C.A. (Ophthalmologorum Conventus Amstelodamensis) = Schema von dem 13. internationalen Ophthalmologenkongreß vorgeschlagen.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß in den meisten Fällen der stärker brechende Hauptschnitt des Auges senkrecht oder nahezu senkrecht steht, *Astigmatismus nach der Regel*, direkter Astigmatismus, *Astigmatismus rectus*; weniger oft liegt er waagrecht oder der Waagrechten nahe, *Astigmatismus gegen die Regel* (inversus, perversus); sehr selten steht er schief, ein Fall, den manche als *Astigmatismus obliquus* von den beiden anderen trennen. Wird von soundso viel  $d_{p\text{tr}}$  Astigmatismus nach der Regel gesprochen, so ist man über die Beschaffenheit hinsichtlich der Strahlenbrechung einigermaßen unterrichtet. Könnte man sich darüber einigen, daß mit der Angabe einer Gradzahl nach der Teilung des TABO die Richtung des einen der beiden Hauptschnitte, entweder des stärker oder des schwächer brechenden, gemeint sei, so wäre der Astigmatismus ebenso kurz wie eindeutig festgelegt. Für gewisse Aufgaben und Auseinandersetzungen (z. B. zur Zylinderskiaskopie) wäre es sicher wertvoll. Da aber außer der Art der Strahlenbrechung bei jedem Auge auch die Stellung der Netzhaut zum

gebrochenen Bündel zu kennzeichnen ist, die Refraktion, so wären diese beiden Angaben durch die statische Refraktion eines jeden Hauptschnittes und der Hauptschnittlage zu ergänzen. Die Gläserbezeichnung wird auch von manchen Werkstätten, z. B. von der ZEISSischen, so gehandhabt. In der Regel jedoch wählt man zur Kennzeichnung des Auges die Benennung der Gläser wie sie im Prüfgestell bei der Untersuchung gestanden haben. Ist der eine Hauptschnitt emmetropisch, liegt also ein einfacher hyperopischer oder myopischer Astigmatismus vor (s. oben S. 530), so reicht die Aufzeichnung der Stärke, des Vorzeichens und der Achsenrichtung des ausgleichenden Zylinderghases hin. Sind beide Hauptschnitte ametropisch, so pflegt man das sphärische und das dazugehörige zylindrische Glas mit seiner Achsenlage und samt ihren Vorzeichen anzuführen, indem die Refraktion des einen Hauptschnittes durch das sphärische, die des anderen durch die Gesamtwirkung des sphärischen und der wirksamen Richtung des Zylinderghases gekennzeichnet wird.

### 3. Die Ermittlung des Astigmatismus.

Zur Ermittlung des Astigmatismus im Auge stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, subjektive und objektive, ähnlich wie für die Refraktionsbestimmung. Das eine ist die DONDERSSche Prüfung mit Brillengläsern, in

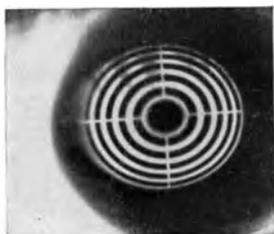


Abb. 161. Mit dem Photokeratoskop gewonnenes Bild bei Astigmatismus nach der Regel. (Nach AMSLER.)

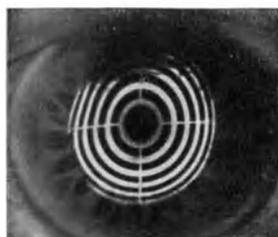


Abb. 162. Astigmatismus gegen die Regel von + 5,5 dptr. Messerschnitt bei der Staroperation. Photokeratoskopisches Bild nach AMSLER.

verschiedener Art für die besondere Aufgabe zugeschnitten, das andere die Schattenprobe in ihren verschiedenen Ausführungsweisen. Dazu kommt ein sehr wertvolles objektives Mittel, die Messung der Hornhautoberfläche mit dem Ophthalmometer, das in der JAVALSchen Gestalt Maßuntersuchungen möglich macht und in großer Zahl hervorgerufen hat. Ein sehr handliches Gerät erlaubt heute, an der Hornhaut gespiegelte Bilder festzuhalten (Abb. 161 und 162). (Näheres siehe A. BRÜCKNER S. 844.)

### 4. Der Sitz des Astigmatismus im Auge.

Beim Vergleich der Ergebnisse der ersten beiden Verfahren mit denen der Ophthalmometermessungen stellt sich heraus, daß der Astigmatismus des Auges nach Größe und Richtung zwar meist in ziemlich regelmäßiger Weise und zum überwiegenden Teil von der *Hornhaut* bestimmt wird, daß er aber ihm in der Regel nicht gleich ist. Dieser Einfluß der Hornhaut ist verständlich. Stellt die Hornhaut doch allein  $\frac{2}{3}$  von der Gesamtbrechkraft des Auges. Die Abweichung besteht darin, daß ein Auge ohne Astigmatismus der Hornhautvorderfläche einen schwachen Astigmatismus gegen die Regel aufweist, dessen Höhe sich nahe um  $\frac{1}{2}$  dptr herumbewegt, daß ein Auge mit einem schwachen Hornhautastigmatismus nach der Regel bei der Gläserprüfung einen um etwa den gleichen Betrag niedrigeren Astigmatismus nach der Regel zeigt und bei geeigneter Stärke des Hornhautastigmatismus ein Gesamtastigmatismus gar nicht

auftritt oder statt dessen gar ein schwacher Astigmatismus gegen die Regel erscheint, und schließlich, daß ein inverser Hornhautastigmatismus einen um den genannten Betrag höheren Gesamtastigmatismus vermuten läßt. Nur bei höherem Hornhautastigmatismus nach der Regel findet sich auffälligerweise oft ein noch stärkerer Gesamtastigmatismus nach der Regel (SULZER).

Es liegt daher nahe anzunehmen, daß die in der Lichtrichtung hinter der Hornhaut kommenden Teile der Flächenfolge des Auges meist Träger eines entgegengesetzt gerichteten, inversen Astigmatismus seien. Dabei dürfte die Abweichung bei niedrigen Werten etwa dem Grad des physiologischen Hornhautastigmatismus (s. S. 502) gleichkommen, jedoch nicht streng.

Die Schwankungen hat JAVAL in eine im Einzelfall häufig nicht zutreffende Formel zu bannen versucht.  $As. \text{ tot.} = K. + p. \text{ as. corn.}$ , worin  $K.$  um  $-0,5$  und  $p.$  um  $1,25$  dptr liegen würde. Eine Koordinatendarstellung dazu hat PFLÜGER gegeben. Doch ist zunächst in jedem Fall zu fragen, ob ein wirklicher Unterschied in der Höhe des Astigmatismus vorliegt oder ob er nicht etwa nur vorgetäuscht wird, ob es sich nicht lediglich um den Unterschied handelt, der ganz allgemein zwischen dem Hauptpunktbrechwert des Auges und dem Glaswert der Refraktion, d. h. dem Scheitelbrechwert des in dem üblichen Abstände vor dem Auge angebrachten, den Fehler für die Ferne ausgleichenden Glases besteht. Dieser darf bei schwachen Gläsern und der üblichen kurzen Entfernung des Glases vom Auge ob seiner Kleinheit vernachlässigt werden, bei starken Gläsern aber ist er sehr wohl zu berücksichtigen und kann bekanntlich die Größe von 1 und 2 dptr leicht erreichen.

Die in Frage stehenden Abweichungen des Astigmatismus erscheinen indessen nicht bloß bei starken, sondern besonders häufig bei ganz schwachen Refraktionsfehlern, und daher bestehen die Aussagen zu Recht. Es sind wirkliche Unterschiede vergleichbarer Größen. Sie sind im übrigen schon früh wahrscheinlich gemacht worden. Hat doch TH. YOUNG in seinem berühmten Tauchversuch, seine Hornhautvorderfläche nahezu wirkungslos machend, das Bestehen eines Astigmatismus (von 1,7 dptr unserer Einheit) gemessen und auf seine Linse bezogen. Ähnliche Messungen hat auch SCHIÖTZ vorgenommen, und neuerdings bietet das sich weiter verbreitende Haftglas Gelegenheit zu solchen Beobachtungen in größerer Zahl. Wie früher JAVAL, SCHIÖTZ, DIMMER und andere, so schließt neuerdings CZELLITZER aus dem Unterschied zwischen Hornhaut- und Gesamtastigmatismus auf den Linsenastigmatismus. Er hat aus etwas über einem halben Tausend Messungen eine Aufstellung gemacht über die Verteilung der untersuchten Augen nach Hornhaut- und Gesamtastigmatismus. Er findet die eingangs angegebenen SULZERSchen Aussagen bestätigt, und faßt die Ergebnisse seiner großen Tafel der Einzelwerte, auf die zu verweisen ist, in Prozentzahlen wie folgt zusammen:

Die Beziehung zwischen Hornhaut- und Linsenastigmatismus nach CZELLITZER (S. 310).

		Hornhautastigmatismus in ‰			Zusammen ‰	Gesamtzahl der Augen
		nach der Regel	fehlt	gegen die Regel		
Linsen- astig- matismus	nach der Regel	7	4	23,7	7,1	} 673
	fehlt	40	76	60,5	48,5	
	gegen die Regel	53	20	15,8	44,4	
					100,0	

MÁRQUEZ glaubt, eine besondere Art von Astigmatismus, den *Bi-Astigmatismus*, erkannt zu haben. Zeigt sich nach dem Ausgleich des mit dem Ophthalmometer gemessenen Hornhautastigmatismus durch ein zylindrisches und nach Ausgleich etwa vorhandener Refraktionsfehler durch ein sphärisches Glas bei weiterer Prüfung mit dem Strahlenstern noch ein Rest von Astigmatismus, er nennt ihn *Restastigmatismus*, dessen Hauptschnitte

nicht mit denen des Hornhautastigmatismus zusammenfallen, sondern einen spitzen oder stumpfen Winkel zu ihnen bilden, so erfordert dieser den Zusatz eines besonderen Zylinders in der durch die letzte Strahlenbeobachtung bestimmten Richtung. Diesen Zustand nennt MÁRQUEZ Bi-Astigmatismus. (Wegen des Streites um die Anerkennung siehe STOCK, ENGELBRECHT. Behandlung S. 672.)

Es kommt vor, daß am Ophthalmometer die beiden Flächen, in denen der Querfehler (Denivellement) verschwindet, nicht senkrecht zueinander gerichtet sind. Nun wird aber eben aus einem Verschwinden beim Drehen des Ophthalmometerarms geschlossen, daß man die Meßmarke in einen der Hauptschnitte gebracht hätte. Demgemäß würde der in Frage stehende Befund besagen, die Hauptschnitte der hier untersuchten astigmatischen Hornhaut stünden nicht senkrecht zueinander. Jedoch gibt uns das Ophthalmometer, das in der üblichen Ausführung eine Verdoppelung von fast 3 mm bewirkt, tatsächlich nur Auskunft über zwei in diesem Abstände liegende Flächenelemente der Hornhaut bzw. über deren Lotrichtungen. Es wäre natürlich ein Fehler, wollte man diese Beobachtung so deuten, als ob im Scheitel der Hornhaut das gleiche gelte. Das ist nicht der Fall, obwohl bei den meisten astigmatischen Hornhäuten die Denivellation auch in diesen Seitenteilen der Hornhautoberfläche in zwei zueinander senkrechten Richtungen der Ophthalmometerstellung verschwindet. Die in Frage stehende Abweichung von dem gewöhnlichen Verhalten bezeichnet ROURE als *bi-obliquen Astigmatismus*. Beide, der bi-oblique und der Bi-Astigmatismus, sollen einer besonderen Gläserart bedürfen (s. Behandlung S. 672) (RIBERA).

Wirkliche Messungen über die tatsächliche Beschaffenheit der Teile der Flächenfolge des Auges, die den Unterschied zwischen dem Hornhaut- und dem Gesamtastrigmatismus liefern, liegen nur in spärlicher Zahl vor.

**Die Bedeutung der hinteren Hornhautfläche.** Nach M. TSCHERNING (b) scheint die hintere Hornhautfläche im allgemeinen im senkrechten Meridian stärker zu brechen als im waagrechten, was an dieser zerstreuen Fläche einen Astigmatismus gegen die Regel bedeutet. Er soll  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$  dptr erreichen können. Gegen die Regel lag der Astigmatismus der Hornhaut hinterfläche auch bei einer Hornhaut, deren Vorderfläche nicht astigmatisch war, und in einem weiteren Falle bei Astigmatismus der Vorderfläche gegen die Regel, und schließlich, bei einem Auge mit 6 dptr Astigmatismus der Vorderfläche nach der Regel, erreichte die Hinterfläche noch etwas über 1 dptr Astigmatismus. Die Ergebnisse der Messungen mit dem Ophthalmophakometer (186) sind folgende:

Vorderfläche	waagrecht . . . . .	7,98	7,78	8,29 mm
	senkrecht . . . . .	7,60	7,9	8,33 mm
	Astigmatismus . . . . .	2,4	(d) 0,8	(i) 0,2 dptr
Hinterfläche	waagrecht . . . . .	6,2	5,7	6,2 mm
	senkrecht . . . . .	5,6	5,1	5,9 mm
	Astigmatismus . . . . .	— 0,6	— 0,6	— 0,2 dptr

Daraus folgt nach NICOLETTIS Rechnung, der er sonst das GULLSTRANDSche schematische Auge zugrunde legt, ein Astigmatismus der Hornhaut hinterfläche gegen die Regel von  $\frac{1}{2}$ —1 dptr. Höhere Beträge können also, solange nicht weitere Befunde vorliegen, auf die Hornhaut hinterfläche allein nicht bezogen werden, und man hat dann, wie es von vornherein geschehen ist, an die Linse zu denken. Liefert diese einen großen Beitrag zur Brechkraft des Auges, rund  $\frac{1}{3}$ , so dürfte sie auch als Quelle für den Astigmatismus ergiebiger sein als die Hornhaut hinterfläche, und damit auch größere Abweichungen von der oben genannten Art erklären. Den Messungen mit dem Ophthalmophakometer wird indessen von GULLSTRAND wenig Verlässlichkeit zugebilligt.

**Die Bedeutung der Linse.** Man hat unter anderem auch an das Gefüge der Linse als Quelle des Fehlers gedacht und kann als Beweis für die Wirksamkeit eines inneren Umbaus der Linse die Erscheinungen anführen, die beim falschen Lenticonus oder bei beginnendem Star gelegentlich gesehen werden. Sodann ist die seitliche Verschiebung der Linse ohne Neigungsänderung ihrer Achse imstand, Astigmatismus herbeizuführen. Um die Wirkung der Schiefstellung der Linse, mit Neigungsänderung ihrer Achse, hat sich TSCHERNING gekümmert, doch ist bei der von ihm beobachteten Drehung um  $7^{\circ}$  nur ein geringer Grad (0,25 dptr) von Astigmatismus entstanden. Aber auch PEARSON und MOUL haben solche Neigungen rechnerisch untersucht und gefunden, daß recht beträchtliche Grade von Neigung nötig sind, wenn sie auch nur einen bescheidenen Betrag von Astigmatismus hervorrufen sollen. Mit HERMANN'S Formeln ergab sich für eine Drehung von  $8^{\circ}$  ( $15^{\circ}$ ) der dicken [dünnen] Linsen an Astigmatismus 0,182 (0,832) [0,40 (1,49)] dptr.

Weitaus am wirksamsten wäre eine astigmatische Form der Linsenflächen, und man wird sie bei großen Unterschieden annehmen müssen, während sie für niedrige Grade zwar möglich und wahrscheinlich, aber nicht notwendig und selten bewiesen ist. Rechnerisch hat LO CASCIO (c) die Wirkung der Hinterfläche untersucht.

TSCHERNING stellte unmittelbar Messungen mit dem Ophthalmophakometer an. Er und STADFELDT fanden folgendes:

	TSCHERNING			STADFELDT		
Unterschied der Brechkräfte im waag- rechten und senkrechten Meridian der vorderen Linsenfläche . . . .	+ 0,1	+ 1,1	+ 0,7	+ 0,9	+ 0,5	+ 0,6
der hinteren Linsenfläche . . . .	- 0,1	- 1,0	- 1,8	- 0,2	- 0,3	- 0,4
Zusammen (dptr): (+ nach der Regel — gegen die Regel) . . . . .	0	+ 0,1	- 1,1	+ 0,7	+ 0,2	+ 0,2

AWERBACH									
+ 0,3	+ 1,0	+ 0,3	+ 0,3	+ 0,1	+ 0,8	+ 0,8	+ 0,3	+ 0,4	+ 0,5
- 0,4	- 0,7	+ 0,2	+ 0,5	+ 0,6	+ 1,4	- 1,1	- 1,2	- 1,3	- 1,5
- 0,1	+ 0,3	+ 0,5	+ 0,8	+ 0,7	+ 2,2	- 0,3	- 0,9	- 0,9	- 1,0

### 5. Asymmetrie und Dezentration.

Von dem für die Darstellung des Astigmatismus meist verwendeten regelmäßigen zweifach-symmetrischen Bündel weicht die von GULLSTRAND als Asymmetrie oder Dezentration bezeichnete Erscheinung ab. Diese Bündel sind einfach oder zweifach asymmetrisch, d. h. sie haben nur eine oder gar keine Symmetrieebene. Die Eigentümlichkeit dieser Brechung ist durch die früher angegebenen objektiven und subjektiven Prüfungsverfahren zu erkennen. Für die klinische Verwendung hat GULLSTRAND die Keratoskopie ausgebildet. Sie läßt die Asymmetrie der Hornhaut und die Dezentration der Pupille erkennen, damit die wesentlichen Grundlagen des Fehlers nachweisend. Es handelt sich um einen Zustand, der zu einem Teil als krankhafte Steigerung früher erwähnter physiologischer Befunde aufgefaßt werden kann und durch fließende Übergänge mit ihnen verbunden ist. GULLSTRAND unterscheidet „erstens die pathologische *vertikale Asymmetrie*, welche sich als solche entweder durch die entgegengesetzte Pupillendezentration oder durch einen inversen Totalastigmatismus oder aber durch einen ungewöhnlich großen Unterschied zwischen cornealem und totalem Astigmatismus kenntlich macht. Diese Fälle täuschen sehr oft bei unvollkommener Untersuchung eine geringgradige Myopie vor, welche erst nach Korrektion des unter Umständen schwer zu entlarvenden inversen Astigmatismus schwindet, können deshalb auch als latenter inverser Astigmatismus bezeichnet werden.“ „Zweitens findet man auch eine abnorme *horizontale Asymmetrie*, wobei in seltenen Fällen eine Steigerung der normalen vorliegt, was aber nur bei großer Pupille Beschwerden verursacht und Gegenstand der Korrektion wird. In anderen Fällen, besonders bei Myopie, kann eine stärkere Abflachung der Hornhaut nach außen als nach innen vorliegen, oder es zeigt die ophthalmoskopische und skioskopische Untersuchung der peripheren Refraktion einen Unterschied von mehreren Dioptrien, je nachdem die Blickrichtung in gleicher Winkeldistanz nasal oder temporal gewählt wird.

Während in den angedeuteten Fällen das im Auge gebrochene Strahlenbündel einfach asymmetrisch sein kann, was auch in der Regel der Fall ist, und deshalb auch gewöhnlich mit richtiger Korrektion eine gute Sehschärfe erhalten wird, so ist dies seltener so bei der *schiefen Asymmetrie*, da das gebrochene Strahlenbündel dabei oft doppeltasymmetrisch, die kaustische Fläche in Übereinstimmung hiermit ungünstiger gestaltet und die Sehschärfe herabgesetzt ist. Schon das Vorhandensein eines Astigmatismus, dessen Hauptschnitte einen Winkel von 35—55° mit der Horizontalebene bilden, deutet gewöhnlich eine schiefe Asymmetrie an, ebenso wie ein schiefer Winkel zwischen den beiden Richtungen, in welchen die Denivellation bei der ophthalmometrischen Untersuchung der Hornhaut verschwindet oder eine auffällige Inkongruenz zwischen den Hauptschnitten des cornealen und des totalen Astigmatismus.“

## 6. Die Häufigkeit des Astigmatismus.

Die sehr zahlreichen Mitteilungen über die Häufigkeit des Astigmatismus gehen dem oben Gesagten zufolge zum Teil erheblich auseinander. Das hat seinen Grund mindestens teilweise darin, daß die Grundlagen der Aufstellungen der verschiedenen Bearbeiter verschiedenartig sind. Im Laufe der Zeit hat sich auch das Verfahren zur Untersuchung des Astigmatismus verbessert, so daß man heute in manchen Fällen einen Astigmatismus finden wird, der zur Zeit der ersten Veröffentlichungen über dieses Gebiet auch einem aufmerksamen Untersucher entgangen sein mag. Dann müssen auch verschiedene Zahlen herauskommen, je nachdem man als Grenze zwischen physiologischem oder pathologischem Astigmatismus den Wert  $\frac{1}{2}$  und  $\frac{3}{4}$ , 1 dptr oder gar noch höher setzt, wie das tatsächlich geschehen ist. Das wird deshalb außerordentlich große Unterschiede bedingen, weil ohne Frage gerade die niedrigen die häufigsten sind. So wird es sich auch auswirken, ob, wie die PFLÜGERSche Schule (A. STEIGER, E. FÄHNDRICH) getan hat, nur die Befunde solcher Untersuchungen bearbeitet werden, die eben unter dem Gesichtspunkt dieser Frage angestellt worden sind, oder solche, die lediglich nach den Bedürfnissen der Sprechstunde gesammelt worden waren und nun zu den in Frage stehenden Aufstellungen hervorgeholt werden. Auch dieser Einfluß wird gerade in der Gegend der niedrigen Astigmatismusgrade beträchtliche Unterschiede bedingen können, weil die niedrigen Astigmatismen die Sehschärfe verhältnismäßig wenig beeinträchtigen und daher in vielen Fällen gar nicht zu einer Prüfung mit Zylindergläsern aufgefordert haben mögen, also auch nicht gefunden werden konnten, wenn nicht besonders danach gesucht wurde. Als wenigstens im groben vergleichbare Beispiele seien die Bearbeitungen klinischer Untersuchungen, von augenärztlicher Truppenversorgung und schulärztlichen Erhebungen mitgeteilt. Der Anteil astigmatischer Augen am gesamten Krankendurchgang wird von FÄHNDRICH auf 17%, von LÜHL auf 7,47%, von MÜGGE auf 10,56%, von CAVARA auf 44,39%, der Hornhautastigmatismus von LEIBOWICZ auf 48,1%, MENESTRINA 34% und PFLÜGER 25%, von AXT an derselben Stelle in früheren Jahren fast ebenso hoch angegeben. SCHOTTENHEIM zählte unter den Brillenträgern im Heer auf einer Augenstation im Felde 19% Astigmatismus. Unter Schulkindern ermittelte GOLDEN in zwei aufeinander folgenden Schuljahren 4,16% (6,62%) der Gesamtschülerzahl und 34,37 (26,6%) der augenärztlich untersuchten Kinder als Astigmatiker. HESS fand skiaskopisch unter Kindern vom 6. bis zum 14. Lebensjahre 10—12% astigmatische Augen. ZAMORA stellte für die Schule einen sehr hohen Prozentsatz, nämlich um 75%, fest.

## 7. Die Höhe des Astigmatismus.

Über die Höhe des Astigmatismus corneae erfährt man aus den verschiedenen Aufstellungen gut übereinstimmend, daß die größte Häufung in der Gegend von 1 dptr nach der Regel liegt. Bei Jugendlichen verteilen sich die verschiedenen Grade von Hornhautastigmatismus nach STEIGER, wie auf der nächsten Seite angegeben (STEIGER [a], S. 15).

Nach beiden Seiten hin, d. h. in der Richtung zum Astigmatismus niedrigen Grades und gegen die Regel einerseits, zu höheren Astigmatismuswerten nach der Regel hin andererseits, sinkt die Kurve rasch ab, um z. B. nach den Auszählungen von LEIBOWICZ bei Frauen (Männern) und für das rechte Auge schon in der Gegend von  $2\frac{1}{2}$  ( $2\frac{1}{2}$ ) dptr gegen die Regel und bei etwa 6 (5) dptr nach der Regel nur noch 1% zu erreichen. Hinsichtlich dieser Werte kommen auf den verschiedenen Stufen von  $\frac{1}{2}$  dptr Höhe auch bei den großen Untersuchungsreihen von 4—6000 Augen fast nur noch Einzelfälle vor (LEIBOWICZ, S. 41—44,

Abb. 48, S. 503). STEIGER (1895, S. 85) schloß denn auch seine Zusammenstellung von hochgradigem Astigmatismus bei 6,25 dptr ab; LANG bei 6,5 dptr n. d. R.

Hornhautastigmatismus in dptr	Häufigkeit bei Jugendlichen nach STEIGER (a)		bei Erwachsenen nach SEEFELDER (a)
	Augen	%	
perv. 0,5 } „ 0,25 }	5 } 33 }	1,2	6,56
0 nach der Regel 0,25	165 333	5,2	9,06
0,5 0,75	817 929	10,5 } 25,8 } 29,3 } = 84,8	78,2
1,0 1,25	354 248	11,4 } 7,8 }	
1,5 } 1,75 }	189	5,9	
2,0 } 2,25—3,0	56	1,8 } = 9,0	6,16
3,0	41	1,3	
	3170		

Höhere Grade als 6 dptr sind meist nicht durch natürliches Wachstum entstanden, sondern Folgen von krankhaften Vorgängen oder Verletzungen, Keratoconus, peripherer Hornhautektasie, Narbenbildung nach durchgebrochenen Geschwüren und dgl. So sind an der Jenaer Augenklinik gelegentlich Fälle von 14 und 18 dptr Astigmatismus beobachtet worden. Änderungen im Grade des Astigmatismus sind meist von sehr bescheidenem Ausmaß und zeitlichem, langsamem Verlauf (Altersänderung s. unten S. 659). Nur gelegentlich wird von rascher und erheblicher Wandlung berichtet (KAYSER, BRONSTEIN, SÉDAN).

### 8. Die Hauptschnittlage beim astigmatischen Auge.

Die Richtung des schwächer brechenden Meridians ist in den weitaus meisten Fällen waagrecht oder nahezu waagrecht, sehr viel weniger häufig senkrecht

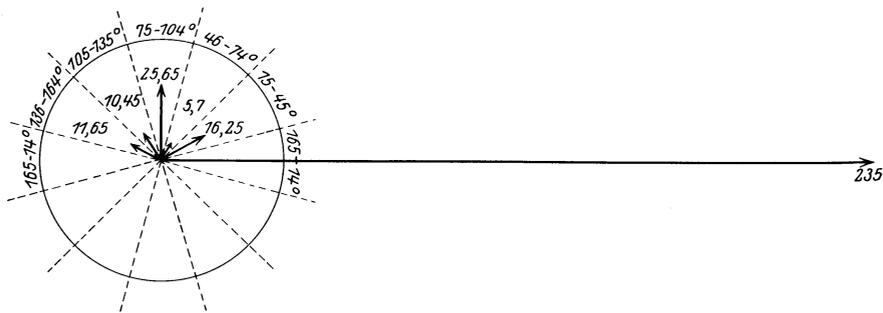


Abb. 163. Die Häufigkeit der Hauptschnittlage in den einzelnen Sektoren, dargestellt durch die Länge der ausgezogenen geraden Linien. Ihr entsprechen die jeweils vor den Pfeilspitzen stehenden Zahlen (Männer: rechte Augen). (Nach LEIBOWICZ.)

oder nahezu senkrecht, und selten verläuft sie dazwischen mit 45° oder nahezu 45° Neigung. Das Bild von LEIBOWICZ (Abb. 163) zeigt die Häufigkeit, in der die Achsen in den verschiedenen 30° breiten Winkelgebieten vorkommen. Durch die Länge der Pfeile ist die Zahl der Augen einer jeden Gruppe in gleichem Maßstabe wiedergegeben. Auch aus der Abb. 164 ist der geringe Anteil des Hornhautastigmatismus gegen die Regel an der Gesamtzahl der Untersuchten zu sehen. Von japanischer Seite (R. KODAMA) wird die Berechtigung zu der Unterscheidung

des Astigmatismus nach der Regel und gegen die Regel auf Grund einer Durchmusterung von dreieinhalbtausend Augenkranker bestritten.

In der sehr großen klinischen Zusammenstellung von V. CAVARA über 50 000 Augen waren unter den astigmatischen 74,93% nach der Regel, 22,39% gegen die Regel und 2,68% schief angeordnet, bezogen auf die Gesamtzahl aller Refraktionsfehler 32, 26, bzw. 9,94 und 1,19%. G. MENESTRINA zählt 68%, 17% (wohl ein Druckfehler). Man vergleiche sein Bild (Tab. 2), 5,1% und 19,6% irregulärem Astigmatismus (was zusammen über 100% ergeben würde).

Hess fand bei skiaskopischen Schuluntersuchungen an Kindern zwischen dem 6. und dem 14. Lebensjahre kaum in 1% aller astigmatischen Augen die Achsenlage gegen die Regel gerichtet. Auch hat der Astigmatismus nach der Regel in diesem Lebensalter keine merkliche Abnahme gezeigt. 10—12% aller Kinder hatten einen Doppelastigmatismus.

Bei der Untersuchung britischer und kanadischer Truppen und englischer Zivilbevölkerung fand LANG die Achse waagrecht in 26,17% mit 0,89 dptr Durchschnittswert des Astigmatismus, senkrecht in 15,5% mit 0,82 dptr, Achse 50° in 0,87% mit 0,83 dptr und Achse 140° in 1,72% mit 1,04 dptr.

Die prozentualen Häufigkeitszahlen des Astigmatismus gegen die Regel verschieben sich nach CAVARA von 7,62% bei Kindern unter 10 Jahren bis auf 85,7% aller astigmatischen Augen jenseits des 80. Lebensjahres. Umgekehrt sinkt die Zahl des Astigmatismus nach der Regel von 92,38 auf 14,3%.

Die schräge Achsenlage findet sich besonders häufig bei höheren Astigmatismusgraden.

Die Achsenlage ändert sich mit dem Alter in deutlicher Weise. Darin sind sich alle Mitteilungen einig. Die Zahl der Astigmatismen gegen die Regel nimmt mit dem Alter zu (V. CAVARA, J. STÄHLI), und zwar vom 65.—70. Jahre ab in besonders rasch wachsender Häufigkeit. Fast in gleichem Verhältnis geht die Zahl der Astigmatismen nach der Regel zurück. In der Kurve von LEIBOWICZ (Abb. 165) ist diese Verlagerung des Hornhautastigmatismus abgebildet. Bestätigungen der ursprünglich von SCHOEN erkannten Veränderungen bieten die Mitteilungen von PFALZ, NORDENSON, FAEHNDRICH, STIRLING, MONOD, BRONSTEIN, LEIBOWICZ, HONDEL, STÄHLI. Die Veränderung wird mit der Wirkung des Liddrucks in Zusammenhang gebracht (s. a. GULLSTRAND, STÄHLI u. a.).

Häufig liegen die Achsen symmetrisch auf beiden Augen. Das hat eine der Begründungen für die internationale Achsenbezeichnung abgegeben. Sie hat den erwarteten Nutzen nicht gebracht. Denn kleine Unterschiede fanden sich um so häufiger, je genauer man untersuchte, so daß man doch nicht beide Augen mit der gleichen Zahl kennzeichnen konnte. Es kommt auch vor, daß das eine Auge einen Astigmatismus nach der Regel und das andere schiefe Achsenstellung aufweist. Zwischen dem Hornhautastigmatismus und der Hornhautrefraktion besteht nach F. WIBAUT der Zusammenhang, daß der Mindestwert der Hornhautbrechkraft sinkt und der Höchstwert steigt, wenn der Grad des Hornhautastigmatismus zunimmt.

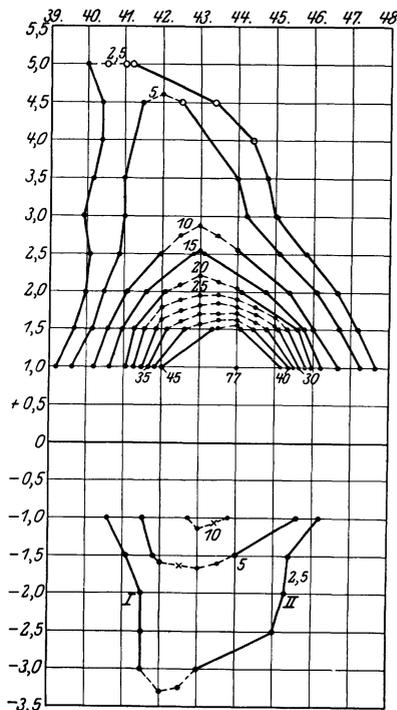


Abb. 164. Die Häufigkeitsverteilung in Tausendsteln nach dem Grad des Astigmatismus und nach den verschiedenen Hornhautkrümmungen (Männer; rechte Augen). Die Ordinate gibt den Betrag des Hornhautastigmatismus an (nach der Regel positive Werte, gegen die Regel negative Werte), die Abszisse die Brechkraft der Hornhautvorderfläche im schwächer brechenden Meridian. (Nach M. LEIBOWICZ.)

### 9. Der Einfluß des Geschlechts.

Nach Grad und Häufigkeit soll der Astigmatismus vom Geschlecht abhängig sein. Er soll bei Frauen höher und häufiger sein als bei den Männern, doch fehlt es nicht an widersprechenden Angaben.

Bei den klinischen Zusammenstellungen ist natürlich zu prüfen, abgesehen von der Berücksichtigung des mittleren Fehlers, wie sich die Sprechstundenbesucher überhaupt auf die Geschlechter verteilen. Das ist wohl nicht überall geschehen. Um so wichtiger ist die Untersuchung an Schulkindern für diese Frage. Nach GOLDEN verhält sich die Häufigkeit astigmatischer Männer zu der astigmatischer Frauen wie 41:59 [7:10] (41,9:58,1), nach ZAMORA wie 37,3:42,7 [7:8]. Noch ausgesprochener ist der Unterschied in FÄHNDRICHS Ergebnissen, nämlich 35:65% der gesamten astigmatischen Augen (= 7:13).

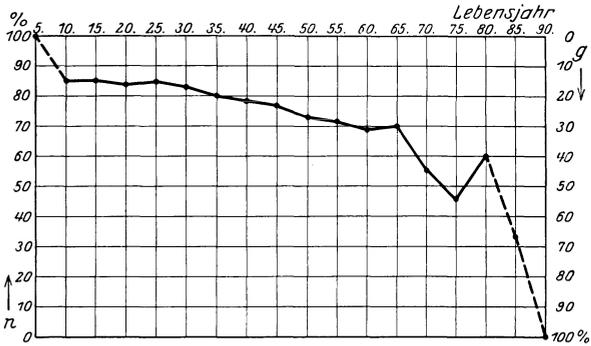


Abb. 165. Die Häufigkeit des Astigmatismus nach der Regel und gegen die Regel in den verschiedenen Altersstufen, aufs Hundert astigmatischer Augen einer jeden Altersstufe berechnet. (Nach LEIBOWICZ.)

Darin ist der noch größere Unterschied von 31,25:68,75% (= 5:11) beim Astigmatismus nach der Regel durch den wesentlich geringeren beim Astigmatismus gegen die Regel 45:55% (= 9:11) verwischt. Im höchsten Alter halten sich die Zahlen die Waage. Die gewichtige Stimme STEIGERS hatte schon vorher das Überwiegen weiblicher Astigmatischer wahrscheinlich gemacht. Auch E. PFLÜGER berichtete schon über ein Verhältnis von 42,5:47,5 [17:19]. Das Gegenteil sagen die Zahlen von PFALZ (59,1:40,9) [10:7], von SIEGRIST (52,6:47,4 [10:9] bei Kindern), von LÜHL (59,1:40,9) [17:10], von SIMON (63:37)

und von SERGIEWSKI (60:40) [3:2]. Auch AXT und LEIBOWICZ, deren Zahlen bemerkenswert gut übereinstimmen, stellten dieses gegenteilige Verhalten fest (59:41) [10:7], während sich die Besucherzahl der Sprechstunde in der Jenaer Klinik wie 52,1:47,9 [12:11] auf Männer und Frauen verteilte.

### 10. Das Verhältnis zwischen beiden Augen.

*Einseitiger* Astigmatismus wurde von SIMON in 31,9% der Astigmatiker beobachtet, womit der Durchschnitt aus der Vereinigung von 4 früheren Zusammenstellungen mit 31,6% gut zusammenstimmt. LÜHL berichtet von 33,68%, MÜGGE hingegen ermittelte nur 14,59%.

In der überwiegenden Mehrheit der Fälle wird der Hornhautastigmatismus bei beiden Augen gleich gefunden. Mit dem Alter treten Unterschiede immer häufiger auf. Es sind vorzüglich die beiderseits hohen Grade, die Unterschiede zwischen dem rechten und dem linken Auge darbieten. Sie betreffen Grad und Richtung, auch das Krümmungsmaß der Meridiane unterscheidet sich dann. Bei beiderseits gleich hohem Astigmatismus ist der Durchschnitt 3,41 dptr (STEIGER, S. 85), bei den nur einseitigen Fällen ist der Grad des Hornhautastigmatismus nicht so hoch, nämlich im Durchschnitt 2,99. Ein Hinweis darauf, daß eine Seite vor der anderen häufiger vom Astigmatismus betroffen wäre, ist aus den großen Zusammenstellungen nicht zu entnehmen. Der inverse Astigmatismus, so behauptet CAVARA nach seiner Sichtung einer sehr großen Zahl von Augen, sei im rechten Auge häufiger als im linken (48,43%).

Die astigmatischen Augen verteilen sich auf die einzelnen Refraktionszustände nach den verschiedenen Zusammenstellungen aus mehrfach berührten Gründen verschieden (P. C. KRONFELD und CL. DEVNEY). Es zählten

	As. my. s. %	As. my. c. %	As. hy. s. %	As. hy. c. %	As. m. %
LÜHL in . . . . .	9,5	37	6,9	27	19,6
SIMON in . . . . .	20	28	38,5	12	1,5
MÜGGE in . . . . .	47		40		13
CAVARA in . . . . .	9,77	39,63	20,55	27,05	3

Der Astigmatismus betrug nach V. CAVARA

weniger als . .	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}-1$	$1-1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}-2$	2-3	mehr als 3 dptr
in . . . . .	22,94	42,44	16,18	9,21	6,39	2,84% der Fälle

## 11. Die Entstehung des Astigmatismus.

**Der Einfluß des Binnen- und des Lidruckes.** Über den *Einfluß des Binnendruckes* im Auge auf die Hornhautkrümmung sind Versuche an toten Tier- und Menschaugen, wie am lebenden Tier angestellt worden, deren Druck durch Flüssigkeitsauffüllung meßbar verändert werden konnte. Man hat dabei die Hornhautkrümmung und die Augapfeldurchmesser verfolgt. Wichtigere Ergebnisse haben die Beobachter gewonnen, die den Hornhautkrümmungshalbmesser eines Auges zu verschiedenen Zeitpunkten während des Ablaufs eines Glaukomanfalles mit dem Ophthalmometer untersucht haben. Dann ist auch die Einwirkung solcher Druckschwankungen geprüft worden, die sich unterhalb der zulässigen oberen Grenze, also im Normalbereich und darunter, abgespielt haben (Amotio retinae). Schließlich hat man auch auf die Wirkung den Augapfel von außen treffender Kräfte geachtet: bei Raumbengung in der Augenhöhle im Verlauf von Geschwulstwachstum oder von Nebenhöhlenentzündungen, die sowohl mit Erhöhung wie mit Erniedrigung des Augenbinnendruckes einhergehen können. (Es sei auf die Veröffentlichungen von HELMHOLTZ, MARTIN, SCHELSKE, HAFFMANN, LAQUEUR, EISSEN, KOCKER, JAVAL, STEIGER, BRUNETIÈRE und AUBARTT, PERCIVAL, ZUR NEDDEN, BIRCH-HIRSCHFELD, VERWEY, BÖHM, ROSSI und TEN DOESSCHATE hingewiesen.)

Die einfache Darstellung, man habe bei einer Steigerung des Augenbinnendruckes eine Vergrößerung der Augapfelhülle mit einer Verlängerung aller Krümmungshalbmesser der Hornhaut zu erwarten, trifft bei der Nachprüfung am Auge nicht zu. Ja, die Ergebnisse sind durchaus uneinheitlich. TEN DOESSCHATE bekam zwar Verlängerungen, aber auch Verkürzungen der Krümmungshalbmesser zu sehen, wenn die Steigerung von ganz niedrigen Werten ausgegangen ist. Der Einfluß wirkt auch nicht auf alle Hornhautstellen gleich, und man hat infolgedessen Änderungen des Hornhautastigmatismus gefunden, und zwar solche nach Größe und Richtung. So berichtet MARTIN, daß nach dem Ansteigen des Drucks bei einem Glaukomanfall der Meridian stärkster Brechung, ursprünglich senkrecht stehend, sich waagrecht gerichtet hat, um mit dem Absinken des Drucks wieder die alte Lage einzunehmen. Damit stimmt STEIGERS (b) Mitteilung überein, daß Drucksteigerung keinen Astigmatismus rectus erzeugt, sondern in erster Linie eine Abflachung der Hornhaut bewirkt, unter Umständen einen vorhandenen Astigmatismus ausgleicht, um ihn wohl auch in einen Astigmatismus inversus zu verkehren (GULLSTRAND, S. 326).

Daß hierbei das Verhältnis der von außen wirkenden Kräfte zu dem von innen die Bulbuswand in ihrer Form mit bestimmenden Binnendruck verändert wird, hat GULLSTRAND wahrscheinlich gemacht. Beim Keratoconus mit deutlich sichtbarer Pulsation wurde eine stärker gewölbte Stelle beim systolischen Anstieg abgeflacht, und eine andere, schwächer gewölbte, stärker gekrümmt. Die Lagerung der Spitze des Keratoconus nach unten wird darauf bezogen, daß der *Druck des Oberlids*, das die Hornhaut auf eine größere Strecke deckt als das Unterlid, eine Abflachung im senkrechten Meridian zur Folge hat. Im Lidspaltgebiet selber fehlt dieser Druck von außen, die Hornhaut wird dort unter dem Einfluß des Binnendruckes mehr vorgewölbt. In der optischen Zone ist normalerweise ein direkter Astigmatismus vorhanden. Starre Augapfelwände, verminderter Lidruck und Schwund des Fettgewebes der Augenhöhlen lassen im höheren Alter einen Astigmatismus gegen die Regel entstehen. Beim Glaukom wird die gleiche Kräfteverschiebung nicht durch das Nachlassen der von außen auf dem Augapfel lastenden Gewebe, sondern durch den größeren Widerstand des Augapfels gegen die noch normalen äußeren Kräfte, des Lids usw. bewirkt im Sinne eines Überwiegens der Augapfelkräfte. Die Folge ist der inverse Astigmatismus.

Man wird sich über die Uneinheitlichkeit der Beobachtungen so wenig aufhalten, wie über die Abweichung der tatsächlichen von den erwarteten mechanischen Wirkungen. Man

beachte, daß wir über die mechanischen Bedingungen der Formänderungen sehr wenig wissen. Wohl wird eine Hohlkugel unter dem Einfluß sinkenden oder steigenden Binnendrucks nur dann eine Kugelform beibehalten, d. h. eine gleichmäßige Verkürzung oder Verlängerung aller ihrer Krümmungshalbmesser zulassen, wenn ihre Wand überall gleichmäßig dick ist und überall gleiche Elastizität usw. besitzt, so wie es einigermaßen für kurze Zeit bei einer im ruhigen Luftraum frei schwebenden Seifenblase eben denkbar wäre. Gummiblasen sieht man in ihrer Form fast immer sich unerwartet verändern, wenn sie stärker aufgeblasen werden. Beim Augapfel wechselt die Gewebsdicke der Wand, insbesondere der in

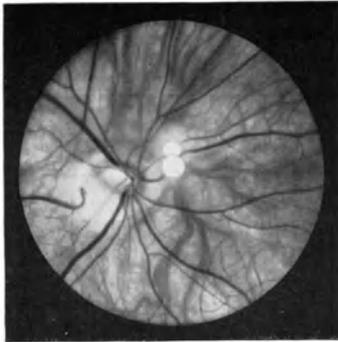


Abb. 166.

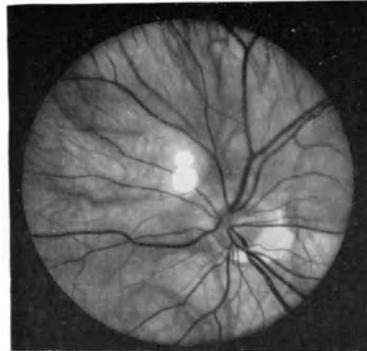


Abb. 167.

Abb. 166 u. 167. 48jähriger Mann. L. A.  $-0,25$  sph  $-1,0$  zyl. Achse  $10^\circ$  5/4. Conus myopicus temporalis. Cilioretinales Gefäß.

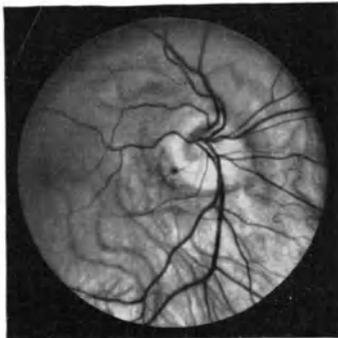


Abb. 168.

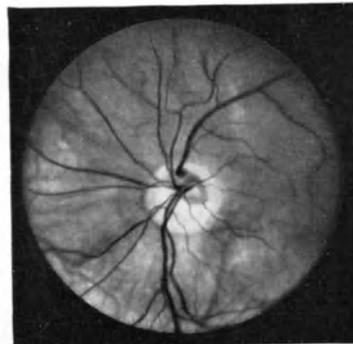


Abb. 169.

Abb. 168 u. 169. 47jähriger Mann. R. A.  $-1,0$  zyl. Achse  $40^\circ$  S fast 5/5. L. A.  $-1,0$  zyl. Achse  $125^\circ$  S 5/5. Beiderseits Conus nach nasal unten; links stärker nach innen abgewichen als rechts. Typus inversus der Gefäße.

Abb. 166–169. Lichtbilder des Augenhintergrundes aufgenommen mit der ZEISS-NORDENSONSchen Netzhautkammer.

erster Linie maßgebenden Horn- und Lederhaut, in durchaus nicht einfacher Weise, und unsere Kenntnisse über ihre Elastizität und Zugfestigkeit an den verschiedenen Stellen und in den verschiedenen Richtungen sind noch sehr spärlich. Schwerlich ist zu erwarten, daß diese Eigenschaften gleich wären oder, wie es zur Erhaltung der Ähnlichkeit der Form nötig wäre, in einer der Dicke umgekehrt proportionalen Weise wüchsen. Sobald nur hieran erinnert wird, muß die Abweichung von der ursprünglichen Darstellung einer gleichmäßigen Halbmesserverlängerung als das Natürliche gefordert werden. Im übrigen sei nur noch an ein übertriebenes Beispiel der Formänderungen unter dem Einfluß des Binnendrucks hingewiesen, nämlich an die Form der Staphylome.

Der *Lidddruck*, auf den schon 1869 SNELLEN aufmerksam machte, namentlich seine ungleiche Stärke am oberen und unteren Lid, bringt bei längerem Wirken eine gewisse Umformung der Hornhaut zustande, die sich erst allmählich wieder

auszugleichen pflegt, und zwar genügt dazu, wie einige Beobachtungen von BOTWINNIK, BULL, GRÄPER zeigen, die Vermehrung des Liddrucks bei länger-dauerndem, einäugigem Ablesen von Instrumenten oder beim einäugigen Mikroskopieren. Dieser Druck darf in dieser Frage durchaus nicht unterschätzt werden. Kommt nach den Messungen von A. BIRCH-HIRSCHFELD die Wirkung des Lids doch einer Belastung mit 60—115 g gleich. Fester Lidschluß bringt eine Steigerung um 20—60 g (BIRCH-HIRSCHFELD). Besonders feine Messungen über die Formveränderung der Hornhautvorderfläche unter dem Druck der Lider stammen von F. BERG. Natürlich reicht der Liddruck nicht aus, um pathologische Grade des Astigmatismus nach der Regel, noch weniger des Astigmatismus gegen die Regel zu erklären.

**Formeigenheiten des ganzen Augapfels.** Der Astigmatismus ist nicht etwa eine Formabweichung, die die Hornhaut allein trifft. Der ganze Augapfel hat daran Anteil. Man sieht bei der Anpassung der kugelflächigen Haftgläser außerordentlich häufig und bei astigmatischen Augen besonders deutlich, wie sehr sich die Krümmung des vorderen Lederhautabschnitts in zwei zueinander senkrechten Durchmessern voneinander unterscheidet. In sehr genauen Messungen hat in neuester Zeit F. BERG (b, 229) die Beziehung zwischen Hornhautastigmatismus und Bulbusform untersucht. Er kommt zu dem Ergebnis, daß „die statischen Bedingungen für die Entstehung des regelmäßigen Hornhautastigmatismus zu suchen sind in der zugeplatteten Form der Skleralkapsel, welche eine Verbiegung der ihrer Dimension nach normalen Hornhaut nach sich zieht. Die Deformierung der Hornhautbasis ist nicht als Ursache der astigmatischen Krümmung der Fläche zu betrachten, sondern sowohl die Form der Basis als auch die Form der Fläche sind gleichartige Folgen der Zuplattung der Skleralkapsel“. (Siehe auch TRON [b].) Beispiele von der Gesamtform astigmatischer Augäpfel hat A. ELSCHNIG in seinem stereoskopischen Atlas gegeben.

Daß die Muskeln an der Formausbildung des Augapfels nicht unbeteiligt sind, vielmehr nach ihrer Stärke, Ansatzort und -ausdehnung ihrer Sehne zu dem Astigmatismus Beziehung haben werden, ist anzunehmen. Auch die hinteren Augapfelabschnitte sind in dieser Beziehung nicht unabhängig. Das Vorkommen von Conus nach unten und nasal unten bei hochgradiger Asymmetrie zeigt das an. Nach SCHLEICH ist der Conus nach unten bei querovaler Papille nicht nur häufig mit Astigmatismus verbunden, sondern auch mit Amblyopie. v. SZILYS (b) Vergleichsauszahlungen sprechen übrigens gegen einen Zusammenhang zwischen Astigmatismus und Conus in heterotypischer Richtung und heterotypischer Papillenbildung. Es sei weiter an die schon von A. SZILI, FUCHS, RÖNNE beschriebenen Veränderungen an der Aderhaut und Lederhaut außerhalb der Sehnervenengegend erinnert und an die Beziehungen zur Myopie. Mikroskopische Untersuchungen vom Conus „astigmaticus“ danken wir A. ELSCHNIG, M. SALZMANN und A. v. SZILY. Weit über den Augapfel hinaus auf ganz alte tief-liegende Abhängigkeiten haben die Beobachtungen über Astigmatismus und Schädelbau gewiesen. Bei Schädelasymmetrie hat SEGGEI Langgesichtigkeit mit Astigmatismus entgegen, niedrige Augenhöhle und Oberkiefer mit Astigmatismus gemäß der Regel verbunden gesehen. Nach E. TRON (b) besteht keine Beziehung zwischen Schädel-, Gesichts- und Orbitalbau und dem Astigmatismus.

**Myopie und Astigmatismus.** Die Frage, in welchem Zusammenhange Astigmatismus und Myopie stehen, hat man verschieden beantwortet. SIEGRIST, MENDE und KATEL-BLOCH haben ermittelt, daß Astigmatismus bei Myopen häufiger vorkomme als in der Gesamtbevölkerung, und daß daher der Astigmatismus eine äußerst wichtige Rolle in der Entstehung der Myopie spiele. Insbesondere wird dem Astigmatismus gegen die Regel eine besondere Bedeutung für die

Entstehung der Myopie zugeschrieben, eine Ansicht, der SEEFELDER nicht zustimmt. Daß der Astigmatismus etwa die Ursache der Myopie wäre, wird kaum noch anerkannt werden. Daß umgekehrt die Vergrößerung des Augapfels in der hinteren Hälfte auch am vorderen Abschnitt nicht spurlos vorübergehen wird, ist denkbar. Man wird daher die Möglichkeit, daß dabei ein etwa schon vorhandener Astigmatismus der Hornhaut sich verändern mag, oder daß sich wohl auch ein Astigmatismus der Hornhaut erst einstellt, anerkennen, doch kann damit schwerlich die Verschiedenheit im Häufigkeitsverhältnis der einzelnen Refraktionsarten erklärt werden. Große Wahrscheinlichkeit hat die Annahme von HESS und STEIGER (1908), die diese beiden Bildungen von einer übergeordneten gemeinsamen Ursache herleiten, insbesondere wird das von dem Astigmatismus gegen die Regel vermutet. Der Astigmatismus gegen die Regel ist aus diesem Grunde auch Gegenstand besonderer Auszählungen geworden (CAVARA, MENESTRINA).

Die Hornhaut soll im allgemeinen zur Zeit der Geburt noch nicht astigmatisch sein. Die Formveränderung erfährt sie erst in der Zeit ihres größten Wachstums, im zweiten Quinquennium. Diese Umformung vollzieht sich unter dem Einfluß des Gewebsdruckes von außen, insbesondere des Druckes und Zuges der äußeren Augenmuskeln auf die durch den Binnendruck gespannten und in gewissem Grad elastischen Augenhäute, vor allem der Hornhaut und der Lederhaut. Dabei soll die Konvergenz wesentlich mitwirken. So entsteht der physiologische Hornhautastigmatismus, und eine Änderung im Gleichgewicht dieser Kräfte soll einerseits zum stärkeren krankhaften Hornhautastigmatismus nach der Regel führen, andererseits das Umschlagen in der entgegengesetzten Richtung durch Abnahme der Wirksamkeit des Druckes von außen zum Astigmatismus gegen die Regel. Das letzte geschähe mit zunehmendem Lebensalter, wo vor allem die Abnahme der Konvergenz mit Rücksicht auf die Presbyopie zusammentreffe mit einer größeren Starrheit der Augenhäute (Greisenbogen) und einer leichten Zunahme des Binnendruckes. Die Minderung des Liddruckes und die ungleiche Anspannung der Akkommodation hätten keine so große Bedeutung, wie ihnen zugeschrieben werde (CAVARA, MENESTRINA).

Bei der Sichtung größerer klinischer Untersuchungsreihen hat sich nun herausgestellt, daß der Astigmatismus gegen die Regel am häufigsten in Verbindung mit Kurzsichtigkeit als Astigmatismus myopicus compositus vorkommt. So findet sich nach MENESTRINA unter Emmetropie und Hyperopie nur 1,93% Astigmatismus corneae inversus, bei Myopie hingegen bis zu  $9\frac{1}{4}\%$ . Bei der Auszählung der Astigmatismen gegen die Regel nach ihrer Zugehörigkeit zu verschiedenen Refraktionen waren 69% myopisch. Diese bevorzugte Verbindung kommt nach MENESTRINA daher, daß der Dezentrationwinkel  $\alpha$  mit dem Längerwerden des Augapfels beim Hineinwachsen in die Kurzsichtigkeit kleiner wird, ja unter Umständen negativ werden kann, und daß diese allmähliche Veränderung des Dezentrationwinkels eine Formänderung der Hornhaut in der Richtung des Astigmatismus gegen die Regel zur Folge habe. Dazu passe die weitere seiner Ermittlungen, daß der Astigmatismus nach Grad und Art von der Augapfellaenge abhängt. Inverse Hornhautkrümmung findet auch ÖSCH bei Kurzsichtigen häufiger als bei anderen Refraktionen. Der Astigmatismus gegen die Regel werde mit der Zunahme der Achsenlänge häufiger. Der Astigmatismus nach der Regel sei bei Achsenmyopie meist gering, in Augen mit Krümmungmyopie könne er sehr bedeutend sein. Gegen die Bewertung des Einflusses des Muskeldruckes ist einzuwenden, daß die meisten Menschen auch im vorgerückten Alter noch Dank der Hilfe der Nahbrillen kaum andere Arbeitsabstände benützen als in jungen Jahren, und dann ist die gleiche Frage, die sich durch die Anschuldigung der Naharbeit als Ursache für die Entstehung der Kurzsichtigkeit ergibt, warum nur ein Teil der Augen kurzsichtig würde und der andere nicht, auch für den Astigmatismus inversus zu stellen.

Daß der Zug der äußeren Augenmuskeln und seine einseitige Änderung unmittelbar eine astigmatische Umformung bewirken könne, was SNELLEN 1869 aussprach und was AWEBACH nach Tenotomie des M. rect. inf. gefunden zu haben glaubte, konnten J. H. KNAPP und LAQUEURS nicht bestätigen.

Auch dem Ciliarmuskel wollte man bei Teilzusammenziehungen einen Einfluß auf die Hornhautform zusprechen (GIRAUD-TEULON).

## 12. Leistungsstörungen beim Astigmatismus.

**Das Sehvermögen.** Will man sich über das Sehvermögen des astigmatischen Auges unterrichten, so ist zunächst der Aufbau eines von einem leuchtenden Punkt ausgehenden und im Auge gebrochenen Strahlenbündels

zu ermitteln. Je nach der Refraktion des astigmatischen Auges wird dieses Bündel von der Netzhaut an verschiedenen Stellen geschnitten. Die Ergebnisse solcher Prüfungen hat O. M. RÉE wie für die gewöhnlichen Refraktionsfehler so auch für das astigmatische Auge mitgeteilt. Ein leuchtender Punkt ist dabei aus großer Nähe immer weiter vom Auge abgerückt, und das jeweils zu beobachtende Zerstreungsgebilde ist von den Versuchspersonen aufgezeichnet worden. Unter der großen Zahl solcher Bilder finden sich recht bunte Formen. Je nach der Refraktion, die dieses Auge im übrigen besitzt, würde also ein Punkt in Form eines dieser so verschieden gestalteten Lichtflecken erscheinen. Eine als Folge von Punkten zu betrachtende Linie im Dingraum kann dementsprechend ein verschiedenes Aussehen gewinnen.

Falls die Netzhaut gerade an einer der beiden schwächtigen länglichen Querschnitte steht, Astigmatismus hyperopicus oder myopicus simplex, wird in der bekannten Weise eine mit dieser Richtung übereinstimmende Gerade durch Überdecken der ihren verschiedenen Punkten entsprechenden Flecken in der Längsrichtung auf der Netzhaut ungefähr wie eine Linie erscheinen, und eine dazu senkrechte Strecke der länglichen Flecken als eine dem Ding ganz unähnliche Lichterscheinung, da jeder Punkt einen quer zur Reihe ausgezogenen Lichtfleck abgibt. An dem SNELLENSCHEN Strahlenstern sollte nun der in der ausgezeichneten Richtung verlaufende Strahl durch Schärfe und Schwärze vor den andern mehr oder weniger verwaschen hervortreten. An Kreislinien sollten nur kurze Stückchen deutlich erscheinen, deren Tangenten die ausgezeichnete Richtung haben.

Liegt die vordere schmale Büschelstelle hinter der Netzhaut (Astigmatismus hyperopicus compositus), so kann das Auge durch genügende Akkommodation nacheinander die eine, das Zwischengebiet und schließlich die andere schmale Einschnürung auf die Netzhaut bringen. Dabei muß eine eigenartige Änderung des Gesehenen vor sich gehen. Man kann sich denken, daß der Astigmatiker aus der Folge von Erscheinungen diese und jene Teile im Gefüge des Gegenstandes, die den besonders gerichteten Linien gleichzusetzen sind, zwar nicht gleichzeitig, wohl aber nacheinander ermitteln lernt. Ist die Akkommodationsbreite nicht genügend groß, oder liegt die Netzhaut zwischen den beiden Einschnürungen (gemischter Astigmatismus), so kann nur die eine der beiden Einschnürungen, die hintere, durch Akkommodation auf die Netzhaut gebracht werden. Der Erscheinungswechsel auf der Netzhaut selbst ist jetzt einförmiger. Nur eine einzige Linienrichtung wird ohne andere Mittel erkannt werden. Für Augen, deren Netzhaut hinter den genannten Einschnürungsstellen steht (Astigmatismus myopicus compositus), gibt sich die bevorzugte Strahlenrichtung dadurch zu erkennen, daß solche Linien in verschiedenem Abstände deutlich erscheinen, in der Richtung des stärker brechenden Meridians verlaufende in größerer, in der Richtung des schwächeren Meridians ziehende in kürzerer Entfernung vom Auge.

Die Regelmäßigkeit des Bündelaufbaues, die Voraussetzung für diese besondere Art des Sehens ist, besteht bei einer großen Anzahl von Astigmatikern keineswegs. Die gebrochenen Bündel sind nicht durchweg zweifach symmetrisch, ja zweifach asymmetrisch. Wenn dabei die Hauptschnitte nicht Symmetrieebenen sind, so können die in verschiedenen Entfernungen liegenden, deutlich erscheinenden Linien auch einen spitzen Winkel miteinander bilden. „Die Kürze der Brennstrecke in den gewöhnlichen Graden von Astigmatismus im Verhältnis zu der Größe der Aberration bewirkt aber, daß bei normaler Pupillengröße die Verhältnisse viel komplizierter sind, indem verschiedene Schnitte der kaustischen Fläche eine verschiedene Richtung der abbildbaren Linien bei verschiedener Einstellung bzw. eine doppelte Abbildung bedingen“ (GULLSTRAND, 326) Abb. 80, S. 539. Man kann die Richtung der Hauptschnittlage nur so ermitteln, daß man die ganze Brennstrecke vor die Netzhaut bringt, indem dieselbe mit der Richtung der Kante der kaustischen Fläche zusammenfällt und nur die Hinterkante als alleinige Schnittlinie derselben mit der Netzhaut

funktionieren kann. Damit hängt wohl die von H. H. EMSLEY gemachte und von HAMBLIN und WINSER weiter untersuchte Beobachtung zusammen, daß die Sehschärfe, geprüft durch Feststellung einer Gitterlage, oft nicht in zwei zueinander senkrechten Richtungen ihren größten und kleinsten Wert hat, um von einem zum andern in stetiger Weise überzugehen, sondern daß dazwischen Schwankungen vorkommen. Die Deutlichkeit der Sternstrahlen richtete sich durchaus nicht immer nach den oben angegebenen, auf dem regelmäßigen Bündelbau beruhenden Aussagen. Als Meßmittel muß der Strahlenstern denn auch oft genug versagen.

Zwischen den beiden engen Einschnürungen liegt ein nicht in einer einzigen Richtung ausgedehnter Querschnitt. Dort gibt keine Abbildung von Linien bestimmter Richtung mehr die Gegenstandseinzelheiten; auf der Netzhaut erscheinen alle in einer gleichmäßigen Verwaschenheit.

Wird an einem Gegenstand eine Grenzlinie einer bestimmten Richtung sehr verwaschen gesehen, so erscheint der Gegenstand dorthin verbreitert. In der dazu senkrechten Richtung dagegen nicht. Der Astigmatiker bekommt daher ein verzerrtes Bild der Gegenstände und sieht z. B. ein Quadrat als eine Art Rechteck, einen Kreis ellipsenähnlich. Liegt aber statt einer der schmalen Einschnürungen der zwischen beiden liegende Bündelquerschnitt auf der Netzhaut, der dem Kreis kleinster Verwirrung entsprechen könnte, so wird auch von diesem Gegenstande ein gleichmäßig verwaschenes Bild ohne Verzerrung gesehen.

Von dieser Eigenschaft zweifach symmetrischer astigmatischer Bündel suchte GLEICHEN beim Plan seiner Largongläser Nutzen zu ziehen. Er muß dazu annehmen, daß sich ein akkommodationsfähiges astigmatisches Auge gerade auf diesen Bündelquerschnitt einstellt. Das ist aber eine Frage, die keineswegs eindeutig beantwortet wird. Wenn eine genügende Akkommodationsbreite zur Verfügung steht, so sind die verschiedensten Querschnitte zugänglich. Man nahm an, das Auge würde den Querschnitt wählen, der für das Sehen am geeignetsten wäre. Das kann aber heißen, daß je nach der Beschaffenheit des Gegenstandes verschieden eingestellt würde (s. auch S. 784).

Man hat die Stellen hoher Lichtkonzentration in den Brennlinsen und den Vorzug abbildbarer Linien an diesen Stellen so hoch eingeschätzt, um anzunehmen, das Auge stelle sich auf eine der Brennlinsen ein. Welche der beiden aber gewählt würde, darüber war man wiederum verschiedener Meinung. Die senkrechte wurde von manchen angenommen, andere ließen beide zu. Mit der Kenntnis des Bündelbaues wurde die Antwort keineswegs leichter. Eine Einstellung auf das zwischen den beiden Brennlinsen liegende Gebiet, etwa auf den Kreis kleinster Verwirrung, hätte gewiß ihre Vorteile. Wegen der Aberration kommen aber auch hier wieder zwei Möglichkeiten in Betracht, die beide ihre Fürsprecher haben. GULLSTRAND und TSCHERNING meinen, daß das Auge auf die engste Stellung der *kaustischen* Fläche einstellt. Unter physiologischen Verhältnissen hat GULLSTRAND bei der Fixation eines leuchtenden Punktes ausnahmslos die Einstellung auf einen vor der Spitze der kaustischen Fläche liegenden Querschnitt gefunden. Auf Grund ihrer Untersuchungen kommen A. AMES und C. A. PROCTOR zu einer entgegengesetzten Ansicht, daß die Einstellung auf die engste Stelle des *Zerstreuungskogels* erfolgt. Die Ansicht von HESS (483) ist, daß sich astigmatische Augen je nach der Beschaffenheit der Dinge gerade für ihre Erkennung zweckmäßig einstellen, also die eine Brennlinie für Linien geeigneter Richtung, die andere Brennlinie für senkrecht dazu laufende, wieder andere Stellen für weitere nicht durch solche Linienzüge ausgezeichnete Dinge benützen dürften.

Die Erörterung gehört als Sonderfall unter die allgemeinere Frage, wie überhaupt die Akkommodation in Tätigkeit kommt und gesteuert wird. Von der Entstehung asthenopischer Beschwerden kann man sich eine gewisse Vorstellung machen, wenn man die dauernde Muskeltätigkeit im Bemühen um eine deutliche Einstellung bedenkt.

Von der früher vielfach auch von urteilsfähigen Beobachtern wie STEIGER geteilten Ansicht DOBROWOLSKYS, daß astigmatische Akkommodation und dadurch ein Selbstaussgleich des Astigmatismus bei übersichtigen Augen möglich sei, ist man insbesondere seit den sorgfältigen Arbeiten von HESS (498), GRAEFE (52, 175) im wesentlichen abgekommen, gleichwohl lassen sich immer wieder Stimmen dafür vernehmen (FICK, VAN DEN BORG, BRANDES, WILKINSON, GRADLE, BELECHRADEK). CABANNES und MARCAT sprechen von einem astigmatischen Akkommodationsspasmus.

Die Wirkung einer Pupillenverengung ist nicht in jedem Fall gleich. Sie kann eine Verbesserung im einen, eine Verschlechterung im anderen Fall für das Sehen bedeuten. Darüber bestimmt die gegenseitige Lage der Pupille und der optischen Zone. Bei Asymmetrie ist der Astigmatismus an verschiedenen Stellen des Pupillengebiets verschieden groß, und wenn es sich um zweifache

Asymmetrie handelt, dann liegen auch seine Hauptschnitte an den verschiedenen Stellen verschieden. Je nach der Refraktion, die ja ebenfalls wechselt, ergeben sich dann ungleiche astigmatische Gläser bei der Untersuchung. Wird nun das bei einer Bestimmung zum Ausgleich herausgegriffene Bündel durch eine Pupillenverengung ausgeschaltet, so stimmt das Glas nicht mehr und die Sehschärfe sinkt. Daher kann die Brillenbestimmung unter Mydriasis zu Fehlern führen, weil die Pupille für gewöhnlich enger ist. Das Umgekehrte tritt ein, wenn die an sich nicht astigmatische optische Zone der Hornhaut nach außen und die Pupille nach innen dezentriert ist. Dann bringt die Erweiterung der Pupille durch die hinzukommenden Nasalteile mit Astigmatismus nach der Regel den Fehler. Die Pupillenverengung wird also in solchen Fällen eine Verbesserung der Sehschärfe zur Folge haben. Die Erfahrung mit dem von Pupillenverengung begleiteten Nahsehen kann dann zu Akkommodation als Mittel zur Sehverbesserung Veranlassung geben, was weiter nicht selten asthenopische Beschwerden erzeugt.

**Die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Größe und Art des Astigmatismus.** Im großen und ganzen geht die Minderung der Sehschärfe dem Grad des Astigmatismus proportional, jedoch keineswegs immer. Eigenartige Werte kommen vor. Hoher Astigmatismus bei verhältnismäßig wenig herabgesetzter Sehschärfe ohne nennenswerte Besserung durch das Glas und dgl. Nach LÜHL (S. 11) finden sich folgende Durchschnittswerte für die Sehschärfe auf den verschiedenen Stufen von Astigmatismus.

Astigmatismus. . . . .	bis 1	1,25—2	2,25—3	3,25—4	4,25—5	5,25—6	6,26—7
Myopischer Astigmatismus	0,63	0,52	0,37	0,33	0,33	0,16	0,21
Hyperopischer „	0,75	0,30	0,25	0,27	0,34		
Gemischter Astigmatismus							
bei gerader Achse . . . . .	0,78	0,66	0,33	0,27	0,28	0,29	0,25
bei schiefer Achse . . . . .	0,74	0,48	0,26	0,14	0,13	0,13	0,11
Nach FÄHNDRICH (S. 87) beträgt die durchschnittliche Sehschärfe bei Astig- matismus nach der Regel	1,04	0,93	0,66	über 3 dptr 0,46			

MÜGGE findet

bei Astigmatismus unter	1—1,25	1,5—1,75	2—3	über 3 dptr
eine Sehschärfe von . . . . .	0,8	0,6	0,4	0,3

Nach STEIGER fand sich bei Hornhautastigmatismus von 1½ dptr eine Sehschärfe

von	1,6	1,4	1,2	1,1	0,8	0,7	0,6	0,5
in	2	3	4	9	37	12	8	4

und bei einem Hornhautastigmatismus von 3 und 3,25 dptr eine Sehschärfe

von . . . . .	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,35	0,25
in . . . . .	2	3	5	31	21	11	8

Fällen ohne Glas. Siehe auch M. LEIBOWICZ (S. 63).

In dieser Frage spricht übrigens die Achsenlage, die Refraktion und das Lebensalter ein gewichtiges Wort mit. Unter diesen ist der Einfluß der Refraktion auf die Sehschärfe sehr schwer und oft gar nicht von dem des Astigmatismus zu trennen, und doch hat sie, wie die Erfahrung mit den sphärischen Refraktionen lehrt, eine ebenfalls nicht ohne weiteres von der Höhe des Fehlers abhängige Einwirkung auf die Sehschärfe. Die Untersuchung nach gesonderten Gruppen, jeweils getrennt nach dem Alter, Geschlecht, Achsenrichtung, Refraktion, ist nötig. Mit der Angabe der Sehschärfe, die bei verschiedenen Astigmatismusgraden gestellt wird, oder der Häufigkeit, mit der sich die untersuchten Augen auf die verschiedenen Sehschärfenfälle verteilen, ist die Rolle des Astigmatismus noch nicht vollständig beleuchtet. Wohl kann man daraus seine wirtschaftliche Bedeutung bemessen, wenn man sagen kann, wie stark gewisse Astigmatismusgrade die Fähigkeit zu einer gewissen Berufsarbeit, zum Heeresdienst oder dgl., beeinflussen; wie groß aber der Nachteil des Astigmatismus für den Träger selbst ist, das geht erst aus dem Vergleich der Sehschärfenwerte hervor, die für den einzelnen ohne und mit voll ausgleichendem astigmatischem Glas vorhanden sind. Aufstellungen in dieser Art stammen von STEIGER. Der Astigmatismus gegen die Regel nimmt hierbei eine besondere Stellung ein, die jedem, der Refraktionsbestimmungen zu machen hat, bald auffällt. Dazu möge eine der STEIGERschen Tabellen angeführt sein.

Art und Grad des H.-H.-Astigmatismus in dptr	Kein subjektiver Astigmatismus	Subjektiver Astigmatismus vorhanden			
		Visus			
		ohne Zylinder	mit Zylinder	Verbesserung	%
pervers . . . . .	—	0,81	1,19	0,38	47
0 und 0,25 . . . . . nach der Regel	1,32	1,25	1,37	0,12	9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
0,5 . . . . .	1,34	1,29	1,40	0,11	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
0,75 . . . . .	1,33	1,29	1,36	0,07	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
1,0—1,75 . . . . .	1,29	1,16	1,28	0,12	10
2,0—3,0 . . . . .	—	0,54	0,81	0,37	69
	—	(0,48)	(0,82)	(0,34)	(71)
> 3,0 . . . . .	—	0,36	0,66	0,30	83

Aus seinen Untersuchungen schließt A. STEIGER folgendes:

Schon sehr geringe Grade des Astigmatismus gegen die Regel setzen einerseits die Sehschärfe viel stärker herunter als gleiche Grade nach der Regel, sie sind andererseits dem Ausgleich sehr viel zugänglicher, indem ihre Sehschärfe auch entsprechend hoch wieder gehoben wird. Die niedrigen und mittleren Grade von Hornhautastigmatismus bis zu 1,75 dptr zeigen im Jugendalter im allgemeinen eine gute Sehschärfe, die in vielen Fällen durch Gläser noch etwas gesteigert werden kann. Die hohen Grade (gleich und über 2 dptr) haben allgemein eine schlechte Sehschärfe ( $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ ) und erlangen oder überschreiten auch mit bester Korrektur ein bestimmtes Mittelmaß (1,0) nicht allzu häufig.

Die Sehschärfe scheint sich bei jungen Leuten gelegentlich zu verbessern, wenn die ausgleichenden Gläser getragen werden (LAGRANGE, NASR FARID).

Angaben über die Einwirkung des Astigmatismus auf die Sehschärfe setzen der Begriffsbestimmung der Sehschärfe gemäß gute Beleuchtung voraus. Die Mitteilungen über das Sehen der Astigmatiker bedürfen daher noch der Ergänzung durch den Hinweis auf die planmäßigen Untersuchungen von FERREE und RAND, nach denen die räumliche Unterscheidungsfähigkeit astigmatischer Augen empfindlicher unter herabgesetzter Beleuchtung leidet als die von Refraktionsanomalien anderer Art ähnlicher Höhe.

Eigentümlichkeiten des Sehens durch astigmatische Brillen s. S. 672.

**Subjektive Erscheinungen und Beschwerden.** Die Klagen des Astigmatikers sind sehr verschiedener Art; vor allem hören wir von undeutlichem Sehen. Dazu gehört keineswegs in erster Linie der Hinweis auf die Deutlichkeit bevorzugter Linienrichtung. Oft genug ist nur vom schlechten Sehen in die Ferne oder auch in die Nähe die Rede, je nachdem die Anforderungen des Berufs die Aufmerksamkeit des Trägers auf diese oder jene Aufgabe lenken. Vielfach verdeckt der Refraktionsfehler einer Myopie oder einer Hyperopie den Abbildungsfehler des Astigmatismus völlig, doch gehört ja dieser häufig überwiegende Teil der Sehstörungen streng genommen gar nicht hierher. Es dürfte vielmehr nur das gerechnet werden, was nach Ausgleich durch sphärische Gläser noch übrigbleibt oder — es sei an die oben dargelegte Wirkung der Akkommodation erinnert — erst hervortreten mag. Manchmal wird über Kurzsichtigkeit geklagt, während Astigmatismus myopicus vorliegt; doch kann sich bei der Untersuchung dann ebensogut ein Astigmatismus hyperopicus simplex oder sogar compositus herausstellen. Gar nicht selten werden endlich asthenopische Beschwerden vorgebracht. Das Sehen zur Arbeit strengt an, die Ausdauer fehlt, ähnlich wie bei Hyperopie, zumal wenn feinere Arbeit für längere Zeit verlangt wird. Unter Umständen steigern sich die Beschwerden zu Schmerzen über den Augen, oder zwischen den Augen und zu Kopfschmerzen, selbst Migräne mit Erbrechen hat man auf den Astigmatismus beziehen wollen. Die Beschwerden können von jeher bestehen, oder sie treten erst in letzter Zeit hervor, obwohl der Astigmatismus in beiden Fällen schon seit der Kindheit vorhanden ist. Das letzte ist durchaus verständlich. Genau so verhält sich die Asthenopie bei emmetropischen Menschen. Entweder sind die Anforderungen an die Sehschärfe gesteigert worden, oder die Leistungsfähigkeit hat, sei es durch langdauernde anstrengende Arbeit oder durch erschöpfende Krankheit, ganz allgemein unter dem Rückgang des körperlichen Befindens gelitten, so daß schließlich ein kleiner Aufwand an Augenarbeit Beschwerden auslöste. Viele Astigmatiker bemerken überhaupt nie etwas von ihrem Fehler, bis er eines Tages rein zufällig entdeckt wird. Die Gewöhnung an einen Zustand spielt eine große Rolle. Mancher lernt mit einer bescheidenen Sehschärfe auszukommen, auch im Beruf, andere begnügen sich mit ihrer durchaus dem Durchschnitt entsprechenden Sehschärfe ohne Glas, nicht wissend, daß sie vielleicht über die doppelte verfügen könnten.

Ausgesprochenes einäugiges Doppelt- und Mehrfachsehen ist keine ganz so seltene Klage (v. REUSS) und wird durch die auch bei nicht astigmatischen Augen bei Einstellungsfehlern auftretenden Eigentümlichkeiten der kaustischen Flächen der Bündel erklärt. Es sei hier daran erinnert, daß man bei künstlich mit Hilfe von Zylindergläsern erzeugtem Astigmatismus dieses einäugige Doppeltsehen hervorrufen kann. COMBERG hat darüber Untersuchungen angestellt und die Erscheinung auf die Linse bezogen.

## B. Durch Verletzung oder Krankheit erworbener Astigmatismus.

Am bekanntesten und häufigsten sind die Astigmatismen nach Verletzung. Sie sind viel häufiger als die nach Krankheit entstandenen.

**Der Astigmatismus nach Verletzungen.** Insbesondere der Hornhautastigmatismus nach dem Hornhautschnitt mit dem Schmalmesser oder der Lanze ist viel beobachtet und untersucht worden. Ein solcher Schnitt am oberen oder unteren Rand der Hornhaut hat in der Regel eine Abflachung des senkrechten Meridians und eine stärkere Wölbung des waagrechten zur Folge, seltener ist es umgekehrt und nur ganz selten bleibt der eine unverändert (TREUTLER). Die Folge ist also meist ein Astigmatismus gegen die Regel (Abb. 161, S. 649). Je nachdem der Schnitt glatt geführt ist oder nicht, klein oder groß, von der

Hornhautmitte weiter entfernt oder ihr näher liegt, fällt der Wundastigmatismus größer oder kleiner aus. So bringt denn der Lanzenschnitt meist viel weniger Astigmatismus als der Messerschnitt. Ein so hervorragender Operateur wie ELSCHNIG (c) hält dafür, daß nicht die glatte Schnittführung, sondern die ungestörte glatte Heilung der Schnitte über die Höhe des Astigmatismus entscheide. In der Regel läßt sich der postoperative Astigmatismus dank seiner Regelmäßigkeit mit Zylindergläsern gut ausgleichen, dagegen bringt natürlich die Einklemmung von Gewebe in die Wundlinie, meist ist es Iris, seltener Linsenkapsel, Linsenreste, Glaskörper oder schließlich auch einmal Bindehaut, hohe Grade von Astigmatismus hervor. Das gilt auch für unregelmäßige, winklige Wunden nach zufälligen Verletzungen, insbesondere mit unscharfen Geräten. Diese letzten Verhältnisse stellen dann auch die ganz hohen Grade von Astigmatismus überhaupt, die 20 und mehr dptr betragen können (ASCHHEIM 32 dptr bzw. 20 dptr). Der Astigmatismus ist dann viel weniger regelmäßig und sein Ausgleich mit zylindrischen Gläsern weniger erfolgreich für die Sehschärfe.

Der Astigmatismus nach der Staroperation beläuft sich in der Regel auf wenige Dioptrien, bei guten Wunden 6 dptr selten überschreitend [DONDEERS (449), REUSS, MAUTHNER, WOINOW, DOLGANOFF, PFINGST, SZIMENI, TREUTLER, ALEXIADÈS, VAN LINT, TRON u. a.].

Die stärkere Wölbung des vom Schnitt nicht getroffenen Meridians ist nach LUNDSGAARDS Beobachtungen etwa doppelt so groß wie die Abnahme der Krümmung des anderen Meridians. Im Laufe der Heilung verkleinert sich der postoperative Astigmatismus meist sehr erheblich, ohne jedoch ganz zu verschwinden. Der Rückgang der Krümmungsänderung erfolgt besonders schnell in der zweiten Woche nach dem Eingriff. Nach 6—8 Wochen ist meist ein Zustand erreicht, der keiner wesentlichen Abnahme mehr fähig ist. Dann und wann zieht sich die Abnahme des Astigmatismus noch Monate hin. Nur selten kommt eine Hornhaut ohne Astigmatismus durch. Der Rückgang pflegt sich in beiden Meridianen abzuspielen, indem der senkrechte etwas an Krümmung zurückgewinnt, der waagrechte von seinem Zuwachs wieder abgibt. Der Meridian, der die stärkste Krümmungsveränderung bald nach der Operation durchgemacht hat, beteiligt sich auch an der Rückbildung am stärksten. Gelegentlich drehen sich die Hauptschnitte in der Heilungszeit etwas. Im Endergebnis bleibt der waagrechte Meridian — Schnitt am oberen Rand der Hornhaut vorausgesetzt — häufiger und stärker gekrümmt als der senkrecht abgeflachte.

Der ganze Ablauf der Formänderung in seinen Einzelheiten, soweit sie die optische Zone angehen, also durch Messung mit dem Ophthalmometer in der Blickrichtung zu fassen sind, haben DOLGANOFF und TREUTLER ausführlich beschrieben. Weiter in den Vorgang einzudringen sucht TRON, indem er nicht nur in der Blickrichtung, sondern auch mit seitlicher Neigung zur Blickrichtung von 5 zu 5° Messungen angestellt hat. Er fand dabei, daß die Krümmungsänderung eines Meridians nach dem Hornhautrand zu weniger ausgesprochen ist als im mittleren Gebiet, daß also die Hornhautrandteile einer biegenden Kraft weniger gehorchen als die dünneren mittleren Gebiete. So kommt TRON zu einer Auffassung über den Nutzen der Dickenverschiedenheit der Hornhaut. Aus den TRONschen Zahlen ergibt sich 4 Wochen nach der Operation ein durchschnittlicher Astigmatismus von  $7\frac{1}{2}$  dptr, und nach weiteren 4 Wochen noch 4,6 dptr.

Durch Naht oder Deckung des Starschnitts mit heruntergezogener Bindehaut haben auch VAN LINT und ALEXIADÈS bei ungestörtem Verlauf der Staroperation den Wundastigmatismus in sehr niedrigen Grenzen halten können. Der Brückenlappen soll in dieser Beziehung nicht so günstig sein, was nach meinen Beobachtungen nicht zutrifft.

Durch Verletzungen bedingte Formveränderungen der Linse lassen recht selten Astigmatismus unter ihren Folgen erscheinen, weil zunächst gleichzeitig eine Trübung entsteht. Ähnliches gilt wohl auch für entzündliche Vorgänge.

**Der Astigmatismus durch andere Ursachen.** Linsenastigmatismus bei Iridocyclitis (FROST) ist gleichfalls eine Seltenheit. Durch verschiedene Formen durchgehende Wechsel eines solchen beschrieb STAHAM bei einem tuberkulösen Iridocyclitis auf beiden Augen.

In ihrer Zugwirkung stehen die Narben nach Geschwüren der Hornhaut den Wunden nach (ASCHEIM, SCHÖTZ). Skleritis und Episkleritis sind gelegentlich auch einmal imstande, Astigmatismus zu erzeugen.

Seitlicher Druck durch raumbeengende Krankheitsvorgänge in der Augenhöhle etwa durch Geschwülste oder durchbrechende Mucocelen oder Eiterungen der Nasennebenhöhlen sind als Ursache erworbener Astigmatismen beschrieben worden.

VOGTS Augenhöhlengeschwulst brachte einen Astigmatismus der Hornhaut nach der Regel hervor. SEALE beschrieb einen gemischten Astigmatismus nach Mucocelen und Exophthalmus. In der Beobachtung BECCARIAS erkennt die Vortreibung des Augapfels einen Astigmatismus ohne Änderung der Achsenrichtung. J. A. ORMOND beschrieb drei Fälle, in denen Chalazien einen Astigmatismus erzeugt hatten, der nach Entfernung des Knotens

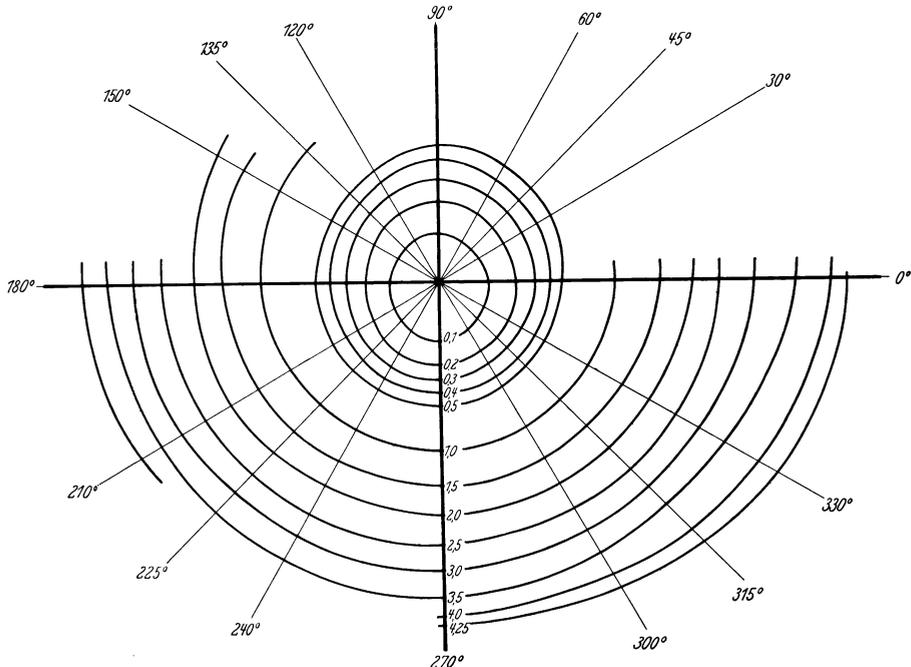


Abb. 170. Schichtenbild eines Keratoconus. Die Linienzüge verbinden jeweils Punkte gleicher Ebenen, deren Abstand  $\frac{1}{10}$  bis  $\frac{3}{10}$  mm beträgt. Die Höhe über der Kuppe ist durch die Ziffern in Millimetern angegeben. (Nach ERGGELET.)

verschwand (s. auch BRUNS und DICKSON, 1905). F. BERG (1930) hat diese Druckwirkung, wie auch die des Oberlids im dioptrischen Diagramm nach seinem Verfahren nachweisen können. Daß auch der kräftige und langdauernde Druck eines regelrechten Lids einen nicht sofort wieder verschwindenden, sondern bis zu ein und mehreren Stunden bestehenden Astigmatismus erzeugen kann, ist mehrfach mitgeteilt worden (GRÄPER, BOTWINNIK, BULL, GULLSTRAND, s. oben).

Der irreguläre Astigmatismus ist meist die Folge von Verletzungen und von Geschwüren der Hornhaut (Abb. 171) und deshalb meist mit Trübungen verbunden, durch deren Mitwirkung die Sehschärfe oft noch mehr gemindert wird als durch die Brechungsstörungen an sich. Die Brechung ist in diesen Fällen insofern unregelmäßig, als eine kleinere oder größere Zahl verschieden wirkender Flächenstückchen im Pupillengebiet vereinigt ist, deren einzelne vielleicht noch einigermaßen gesetzmäßig sein mögen und einer Verbesserung mit den üblichen Gläsern zugänglich sein könnten. Aus naheliegenden Gründen ist es jedoch nicht möglich, alle diese verschiedenen Stellen gleichzeitig mit unseren üblichen Mitteln auszugleichen. Beim Keratoconus und beim Lenticonus falsus beschränken sich die Verschiedenheiten gelegentlich auf 2 Gebiete, deren eines durch Glasausgleich

seinem Netzhautbild soviel Deutlichkeit verleiht, daß es das undeutliche Bild des andern mit ziemlich großer Bestimmtheit überwiegt. Dann kann das Auge sowohl mit dem einen als dem anderen wesentlich verschiedenen Brillenglas ein gewisses Höchstmaß von Sehschärfe erreichen, während andere Gläser auf jeden Fall schlechtere Werte ergeben. Gemeint sind die bekannten Fälle von doppelter Refraktion. Bei den Fällen von unregelmäßigem Astigmatismus läßt sich manchmal durch Ausblenden einer günstigen Stelle und Ausschließen der anderen mit Hilfe einer engen Lochblende eine sehr erhebliche Steigerung der Sehschärfe erzielen. Das gilt auch vom Keratoconus. Auch die Linse kann den Anlaß zu solchem unregelmäßigem Astigmatismus abgeben, z. B. bei beginnendem Star und bei wirklichem Lenticonus.

Eine bequeme Beurteilung der Hornhautoberfläche besonders im Überblick ist mit dem PLACIDOSCHEN Keratoskop möglich. Die Ringe erscheinen im Spiegelbild bei ganz geringen Unregelmäßigkeiten der Hornhautoberfläche sogleich verzerrt. Mit dem Photokeratoskop von AMSLER-HARTINGER sind die Befunde leicht festzuhalten (s. Abb. 172). Das Ergebnis einer Ausmessung der stereo-

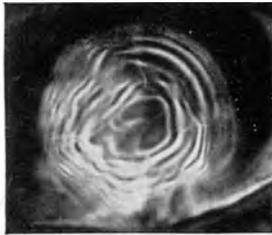


Abb. 171. Unregelmäßiger Astigmatismus nach alter chemischer Ätzung.

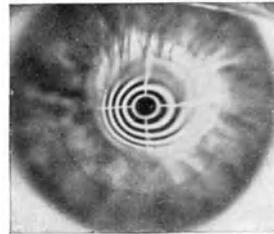


Abb. 172. Keratoconusspitze.

Abb. 171 u. 172. Von der Hornhaut gelieferte Spiegelbilder einer Ringscheibe, aufgenommen mit dem Photokeratoskop. (Nach AMSLER-HARTINGER.)

skopischen Aufnahme eines Keratoconus ist durch die Höhenschichten in Abb. 170 dargestellt. Ein höchst empfindliches und deshalb um so wertvolleres Mittel ist das JAVALSche Ophthalmometer, das aber nur kleine Gebiete auf einmal beherrscht.

Ist die Oberfläche der Hornhaut ausweislich dieser Prüfungen von regelrechter Beschaffenheit, so verrät sich eine von tieferen Teilen herrührende Brechungsunregelmäßigkeit in der Schattenprobe, besonders wenn sie mit einer punktförmigen Lichtquelle ausgeübt wird. Natürlich zeigt sie auch ebenso deutlich reine Hornhautveränderungen an.

Die *Sehstörungen*, die der unregelmäßige Astigmatismus macht, bestehen in undeutlichem und verschwommenem Sehen, das weder durch sphärische noch durch zylindrische Gläser über ein mehr oder weniger bescheidenes Maß zu heben ist. Im Gegensatz dazu ist der Träger des Leidens oft schon im Besitz eines gewissen und durchaus nicht unwirksamen Hilfsmittels, nämlich der schlitzförmigen Verengung der Lidspalte. Noch wirksamer ist gelegentlich die Anwendung der engen Lochblende. Vielfach wird hohe Kurzsichtigkeit vorgetäuscht, indem die Kranken sich beim Versuche zu lesen der Schrift außerordentlich stark nähern, wobei sie trotz ungenauer Einstellung zum Lesen kommen, Vorteil ziehend aus der erheblichen Steigerung der scheinbaren Größe der ungewöhnlich stark genäherten Zeichen. Auch über Doppelt- und Mehrfachsehen wird geklagt. Die Tatsache, daß die unregelmäßige Oberfläche eine wesentliche Ursache für die Verschlechterung der Sehschärfe bildet, durchaus

nicht etwa nur die gleichfalls meist vorhandenen Trübungen, geht aus der Besserung der Sehschärfe hervor, die durch das Ausschalten der schlechten Fläche mit Hilfe der Wasserkammer oder des Haftglases erzielt wird, obwohl die Trübungen darunter ja fortbestehen (s. S. 674, 826).

Wenn sie freilich theoretisch zum regelmäßigen Astigmatismus gehören sollte, so ist doch die Abbildungsänderung durch seitliche Verschiebung oder Schiefstellung der Linse mit einem gewissen Recht auch hierher zu rechnen. Denn sie sind dem Ausgleich mit Brillengläsern gar nicht oder nur in sehr beschränktem Maße zugänglich. Die Sehschärfe bleibt meistens sehr mäßig.

### C. Die Behandlung des Astigmatismus.

**Behelfsmäßige Mittel.** Auf gewisse Hilfen zur Verbesserung des Sehens verfallen manche astigmatische Leute von selbst. Durch Zukneifen der Augen wird ein schmales, waagrechtes Bündel ausgeblendet, ähnlich wie es bei der Untersuchung mit dem Schlitz geschieht. Dabei kann auch eine vorübergehende Formänderung der Hornhaut eintreten (s. u.). Diese ist beim Astigmatismus inversus wertvoll, weil sie der fehlerhaften Hornhautform gerade entgegenwirkt. Durch Kopfneigung zur einen oder anderen Schulter kann sich der Fehlsichtige Linien verschiedener Richtung nacheinander deutlich sichtbar machen. Das Sehen wird dabei in viel höherem Maße als beim regelrechten Auge, das ja bei Betrachtung ausgedehnter Gegenstände auch nicht mit einem Blick auskommt, sondern durch eine Reihe von Blickbewegungen Punkt für Punkt gewissermaßen abtasten muß, zu einem Summieren von Einzeleindrücken, deren räumlichen Zusammenhang zu erfassen oft keine leichte und auch nicht immer lösbare Aufgabe sein kann.

Auf einer ähnlichen Stufe stehen die Schlitz- (DONDERS, SNELLEN), die Loch- und die Siebbrillen (GUTZEIT), deren Hilfe nicht ohne erhebliche Behinderung anderer Art zu erkaufen ist (Blick- und Gesichtsfeldbeschränkung, Herabsetzung der Helligkeit wegen des Lichtverlustes durch die Ablendung) (CL. BECKER).

Sinn und Ziel einer wirklichen Behandlung müßte die Beseitigung des Fehlers sein. Als schönste Leistung könnte es uns vorschweben, die astigmatische Fläche selbst durch eine Art Orthopädie anastigmatisch zu machen. Diese Aufgabe hat mancher Astigmatiker schon gelöst, wenn auch nur für die Dauer des Bedarfs, nämlich durch Zukneifen der Lider oder in wirksamerer Weise durch einseitigen, in geeigneter Richtung und Stärke auf den Augapfel etwa durch den Finger ausgeübten Druck. Als Maß dient ihm dabei die Deutlichkeit des Sehens. ISAKOWITZ sah die Sehschärfe bei einem gemischten Astigmatismus von 6/60 auf 6/6 steigen (GRÄPER, BULL, CRISPO, LAQUEUR, BOTWINNIK).

Die umgeformte Fläche ist wohl meist die Hornhautvorderfläche, doch braucht sie selbst gar nicht der Sitz des Astigmatismus zu sein. So berichtet SCHIÖTZ (b), daß bei einem seiner Kranken im Anschluß an eine Verletzung bei astigmatismusfreier Hornhaut ein hoher Linsenastigmatismus aufgetreten wäre, dessen Ausgleich dadurch möglich wurde, daß er durch Druck einen entgegengesetzt wirkenden Astigmatismus an der Hornhaut erzeugte.

**Operative Verfahren.** Es hat natürlich nicht an Versuchen gefehlt, diese Umformung dauernd herbeizuführen, und die vielfache Erfahrung mit der Wirkung von Narben auf die Hornhautgestalt, insbesondere nach der Staroperation, legt den Gedanken nahe, sie für unsere Aufgabe zu verwenden (SNELLEN; Angabe von LANS). Der senkrecht zur Wundlinie verlaufende, also von ihr geschnittene Meridian der Hornhaut, wird dabei etwas abgeflacht. Man legt deshalb zum Ausgleich eines Astigmatismus die Wundlinie, etwa einen Schnitt mit der Lanze oder mit dem Schmalmesser, senkrecht zur Richtung des stärker

brechenden Meridians. Den Wirkungsgrad sucht man durch Vermehrung der Breite des Schnitts oder durch Hereinrücken aus der vorderen Lederhaut in die Hornhaut zu erhöhen. Die Scheu vor den Gefahren einer den Augapfel eröffnenden Operation drängt zur Beschränkung auf oberflächliche Wunden. Sie werden teils in Gestalt von keilförmigen Ausschnitten oder von furchenförmigen Brandwunden nahe dem Hornhautrand gesetzt. LANS erzielte bei seinen Versuchen am Tierauge mit dem Glühdraht einen bleibenden Astigmatismus von 3—6 dptr; je nachdem die Krümmung des zur Wunde parallelen Meridians verstärkt oder die dazu senkrechte vermindert wird, ergibt sich ein myopischer oder hyperopischer Astigmatismus. WRAY hat sich zur Behandlung mit dem Brenner geäußert.

Über erfolgreiche Behandlungen astigmatischer Menschengenossen mit durchdringenden Operationsschnitten berichten A. WEBER, SILEX, WINSELMANN und G. LEVINSOHN und andere. Man erzielte Änderungen bis zu 5,5 dptr. Auf Grund seiner vergleichenden Eingriffe — das eine Auge jedes Kranken wurde mit diesen, das andere mit nicht durchdringenden Wunden, Brandfurchen, behandelt — bevorzugt LEVINSOHN den durchdringenden Schnitt entschieden. SCHIÖTZ (b) konnte durch mehrfache mit Gewebsausschneidungen verbundene Operationen einen Hornhautastigmatismus im Gefolge einer Staroperation von 19,7 auf 7 dptr heruntersetzen (man sehe auch L. F. BATES, E. PFLÜGER, CHR. REYMOND, BAIARDI, LUCCIOLA), indessen hat das Verfahren nicht Boden gewinnen können. Eine Voraussetzung dazu wäre, daß man über Stärke und Richtung der Wirkung sicher verfügen könnte. Das vermag man aber nicht, überdies sind Gefahren nicht ganz ausgeschlossen. Außerdem sind auch Unannehmlichkeiten und lange Heilungsdauer bei der an sich weniger gefährlichen Ätzbehandlung in Rechnung zu stellen. Die Verfolgung beider Wege wird sich auch heute noch auf wenige, besonders geartete Fälle beschränken müssen. Wenn zugänglich wird man diese Erfahrungen berücksichtigen, falls aus irgendeinem Grund, zur Staroperation, Iridektomie oder dgl., bei einem astigmatischen Auge ein Hornhautschnitt gemacht werden muß.

**Optische Hilfsmittel.** Im Gegensatz zu der Unsicherheit dieses mindestens unvollkommenen und unbequemen, gelegentlich auch einmal gefährlichen Verfahrens steht das völlig harmlose und mit größter Sicherheit zu beherrschende optische Hilfsmittel. Der darin verwirklichte Gedanke ist vom Standpunkt der Behandlung betrachtet allerdings viel bescheidener als bei dem soeben erörterten Plan. Man läßt ja den fehlerhaften Bau an sich völlig unberührt fortbestehen. Diese Mittel erheben auch gar nicht den Anspruch darauf, eine Heilung zu erstreben, sie stehen etwa auf gleicher Stufe mit einer Stütz- oder Führungsschiene für lahme oder geschwächte Glieder oder ähnlichen Hilfen. In ihrer Wirkung für das Sehen des Trägers leisten sie aber gleichwohl ungeheuer viel, und ihre Anwendung kann für den Astigmatiker in mannigfacher Beziehung von der allergrößten Tragweite sein. Das Brillenglas beherrscht denn auch bisher die Behandlung des astigmatischen Auges nahezu völlig und unbestritten. Nur in Ausnahmefällen kommt bis in die neueste Zeit ein anderes Mittel in Betracht.

Zweierlei grundsätzlich verschiedene Formen stehen zur Verfügung, einmal die im endlichen Abstände vor dem Auge stehenden Brillengläser in Gestalt zweifach symmetrischer Linsen mit einer zylindrischen oder einer torischen Fläche, und zum anderen das Tauchverfahren.

**Astigmatische Brillengläser.** Wegen der Eigenschaften der astigmatischen Brillengläser wird auf den Abschnitt Brillenlehre verwiesen. Die sehr großen Schwierigkeiten der an diese Gläser gestellten optischen Aufgaben und der

Stand, bis zu dem die Lösung heute gediehen ist, sind dort besprochen. Hinsichtlich der Verordnung astigmatischer Brillengläser sei hier nur daran erinnert, daß es bei hohen Brechwerten zur eindeutigen Kennzeichnung einer ausgleichenden Gläserzusammenstellung im Prüfgestell neben der Angabe des Glas-Hornhautscheitelabstandes auch die Stellung des Zylinderglases, vor oder hinter dem sphärischen, sowie des Abstandes zwischen diesen beiden gehört. Daß der Ausgleich des Fehlers mit Zylindergläsern nicht immer volle Sehschärfe erzielt, hängt unter Umständen auch mit dem Bündelaufbau zusammen, der nicht selten asymmetrisch ist. Doch kann sich die anfänglich nicht genügende Sehschärfe bei jugendlichen Astigmatikern beim Tragen der ausgleichenden Gläser allmählich heben.

Wann soll ein astigmatisches Auge mit einem Glas versehen werden? Wenn die Sehschärfe dadurch merklich gehoben wird, auch ohne dies, falls asthenopische Beschwerden bestehen, und wenn bei Kindern Amblyopie zu besorgen ist, also besonders bei einseitigem Fehler im Kindesalter. Daß gelegentlich einseitige Zylindergläser bei regelrechtem zweiten Auge nicht vertragen werden, ist an sich nichts dem Astigmatismus eigenes.

Den Astigmatismus schiefer Bündel hat man schon sehr früh (CARY nach TH. YOUNG), sicher außerordentlich häufig bis auf die heutige Zeit auch unbewußt, zum Ausgleich astigmatischer Augen verwendet, indem man ein sphärisches Brillenglas schräg vor das Auge stellte: mit zunehmendem Neigungswinkel wächst der Astigmatismus, der außerhalb der Achsenrichtung des Glases auftritt, indem sich der Brechwert gleichzeitig in beiden Hauptschnitten vergrößert, nur in verschiedenem Grad. Bei gleichseitigen Gläsern, die in dieser Hinsicht ausgiebiger sind, als die durchgebogenen, erfolgt die stärkere Brechwertsteigerung im tangentialen Bündel im Meridianschnitt, in der dazu senkrechten Richtung die geringere. Je stärker das Glas, desto stärker der Einfluß einer gegebenen Neigung. Als Muster sei die Kurve (Abb. 173) mitgeteilt, die für ein Glas von + 5 dptr gilt. Ein einigermaßen befriedigender Überschlag für andere Stärken ist daraus leicht zu gewinnen. Man sieht, daß nur ein Auge mit zusammengesetztem Astigmatismus auf diese Weise im allgemeinen voll berichtet werden kann. Bei einfachem Astigmatismus gelingt es nicht. Wohl aber kann der Wirkungsgrad eines einfachen Zylinderglases für gewisse Richtungen in ähnlicher Weise abgewandelt werden. Damit die Hauptschnitte des gebrochenen Bündels und die des Auges zusammenfallen, muß die Neigung des Glases in einem ganz bestimmten Meridian erfolgen, und zwar um eine Achse, die die gleiche Richtung hat wie der zu ersetzende Zylinder. So sind nur 2 Stellen des hiermit bestimmten Glasdurchmessers vorhanden, die überhaupt im ganzen Glas den erforderlichen Ausgleich bewirken können.

Man wird ein solches Glas kaum anders als einen Behelf nennen. Wirtschaftliche Gründe können gelegentlich zu einem solchen Ersatz drängen. Da die Wirkung von der Glasstärke abhängt, wird sie besonders gern von Leuten, die am Star operiert sind, ausgenutzt. Eher wird die Verwendung eines schiefen Durchblicks durch ein ausgerichtetes sphärisches Glas einmal zur Sicherung der Diagnose nützlich sein. Wenn etwa infolge von Trübungen die objektive Bestimmung nicht gelingt oder unsicher ist, so kann man den Kranken unter Prüfung der Sehschärfe mit Hilfe von Kopfbewegungen im Glas herumsuchen lassen, um festzustellen, ob es sich lohnt, mit irgendwelchen astigmatischen Verbindungen weiterzuprüfen, und in welcher Achsenrichtung diese zu verwenden wären, denn er verrät sie durch die Kopfhaltung, in der etwa eine Steigerung der Sehschärfe bemerkt wird.

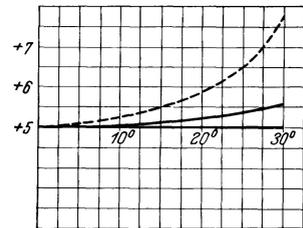


Abb. 173. Der astigmatische Fehler einer gleichseitigen Sammellinse von 5 dptr Scheitelbrechwert, 25 mm Blendendabstand. (Nach HENKER-PISTOR.)

Auch beim Blick durch den Glasmittelpunkt kann ein sphärisches Glas Astigmatismus liefern, wenn es so gedreht wird, daß seine Achse nicht mehr durch den Augendrehpunkt geht. Wiederum werden beide Hauptschnitte des astigmatisch austretenden Bündels verändert, und der Astigmatismus wächst mit der Neigung. Neuerdings hat sich L. MAGGIORE die Darstellung dieser Dinge angelegen sein lassen.

Mit Rücksicht auf die Deutlichkeit der Abbildung im endlichen Blickfeld wird man heute Gläser mit zylindrischen Flächen kaum mehr vorschlagen, sondern in bestimmter Weise durchgebogene mit einer torischen Fläche vorziehen (s. Brillenlehre). Sie sind auch für hohe Hyperopen als GULLSTRANDSche Star-gläser in der Form asphärotorischer Linsen zu haben. Mit ihrer Entwicklung hat M. v. ROHR 1908 die neue, so erfolgreiche Zeit der Förderung des Brillenglases begonnen.

M. MÁRQUEZ verfiert die Ansicht, daß für gewisse Fälle astigmatische Gläser mit zwei zylindrischen oder torischen Flächen, deren Hauptschnitte an einem nach der Lage des Falles zu bestimmenden, spitzen Winkel gekreuzt sind, bessere Ergebnisse erzielen können als mit den ihrer Gesamtwirkung in der Glasachse entsprechenden Gläsern mit einer einzigen torischen Fläche. Doch wird dagegen eingewendet, daß für die Glasachsenrichtung die Wirkung des umgerechneten Glases völlig gleich ausfallen muß (Stock), und daß es anderseits mehr als zweifelhaft sei, ob dem Prüfling die durch zwei vorgesetzte und entsprechend gekreuzte Zylinderlinsen vermittelte Bündelbeschaffenheit auch für die endliche Pupillenöffnung durch ein Einzelglas geliefert werden könnte, das nach den gegebenen Vorschriften die zwei Zylinderflächen an einer Scheibe vereinigt. Auch eine Verschiedenheit im Bündelaufbau bei endlicher Öffnung kommt möglicherweise als Erklärung für die z. B. auch von A. FUCHS bestätigte bessere Wirkung der genannten Zylinderverbindung im Probiergestell in Betracht. A. KREIKER stimmt dafür. In andern Fällen (ENGELBRECHT) hat sich aber schließlich doch gezeigt, daß sich der Doppelzylinder durch das umgerechnete Glas mit einer torischen Fläche auch mit dem Erfolg gleicher Wirkung auf das Sehvermögen hat ersetzen lassen.

Auch die von ROURE als bi-obliquer Astigmatismus bezeichnete brechende Wirkung eines Auges soll unter schiefwinklig gekreuzten Zylindergläsern besseres Sehvermögen erlauben, als unter dem umgerechneten Glas mit einer einzigen, aber entlang der Glasachsenrichtung gleichwertigen Zylinderfläche.

In dieser Streitfrage, ob schiefwinklig gekreuzte Zylindergläser wirklich durch das für die Achsenrichtung umgerechnete vollwertig ersetzt werden können, muß die Stimme zweier so ernst zu nehmender Beobachter wie M. GOULIERS und E. JAVALS zur Vorsicht mahnen. Schon um die Mitte des vorigen Jahrhunderts äußerte GOULIERS, daß von den CHAMBLANTSchen doppelzylindrischen Gläsern unterrichtet und in Fragen dieser Art wohl urteilsfähige Leute in Hinsicht auf die Sehschärfe einen gewaltigen Vorteil erfahren hätten. Die Mehrzahl sei übersichtlich gewesen. Auch werden dort über die Wirkungsweise Erwägungen angestellt. Das Auge müsse Abweichungen der Bildweite besitzen, die von denen der Gläser ergänzt würden. Die Doppelzylinder wirkten so, als wären sie begrenzt von einer Ebene und einer Fläche 4. Grades.

Für den Ausgleich der beim Keratoconus bestehenden Abbildungsfehlers hat man Gläser mit einer hyperbolischen Fläche verwendet (RAEHLMANN), auf die vor wenigen Jahren R. KRÄMER zurückgegriffen hat. Die Anpassung ist äußerst mühsam und die günstige Wirkung, wenn sie sich findet, auf ein ganz kleines Richtungsgebiet beschränkt. Da solche Gläser heute kaum zu erhalten sind, kann diese Behandlung nur ganz ausnahmsweise eintreten. Auch konische Flächen sind vorgeschlagen worden.

Einige Eigentümlichkeiten des Sehens durch astigmatische Gläser mögen hier kurz genannt werden. Bei der Einstellungsänderung durch die Akkommodation ändert sich der Betrag des Astigmatismus für den Ort des Brillenglases. Das für die Ferne voll ausgleichende Glas reicht daher nicht mehr zur Hebung des Astigmatismus aus. Doch beträgt der Unterschied nur bei höheren Refraktionsfehlern, starkem Astigmatismus, soviel, daß gelegentlich aus diesem Grunde ein besonderes Glas nötig ist (MARKBREITER, H. ERGGELET, siehe Akkommodation S. 703, Abb. 202, S. 704 und Brillenlehre S. 773).

Hinzu kommt eine Eigentümlichkeit der Augenbewegung, derzufolge in manchen Fällen die Konvergenz von einer Raddrehung begleitet ist, so daß die Hauptschnitte aus ihrer am Glas eingehaltenen Richtung heraustreten. So kann es kommen, daß Mancher von den für die Ferne gut wirkenden Gläsern beim Nahsehen nicht befriedigt ist. TODD mußte beide schief stehenden Zylinder um  $20^\circ$  drehen, um ein erträgliches Nahsehen zu erzielen (DARLING). Dabei mögen auch gelegentlich das beidäugige Sehen unter Umständen empfindlich störende Richtungsänderungen im Sinne von Höhenfehlern mitwirken (s. u.). Daß die das Nahsehen begleitende Pupillenverengung auch den Astigmatismus ändern kann, wurde oben S. 662 schon gesagt.

Gelegentlich wird die scheinbare Größe der Gegenstände verschieden gefunden, je nach dem Meridian, in dem der entsprechende Durchmesser dargeboten wird. Ein Quadrat erscheint als stehendes Rechteck bei aufrechter Kopfhaltung und gerader Hauptschnittlage, oder als liegendes, wenn der gleiche Beobachter den Kopf um  $90^\circ$  seitlich neigt. Diese Formveränderung, die häufig an den Buchstaben der Sehprobentafeln bemerkt wird, ist fast immer eine Folge der verschiedenen großen Ablenkung zur Achse geneigter Hauptstrahlen.

Die Erscheinung ist unvermeidlich, da die Gläser ihrer Natur als astigmatische Linsen nach in zwei zueinander senkrechten Richtungen ihren höchsten und niedrigsten Brechwert haben müssen; daher müssen auch einem Neigungswinkel auf der Augenseite verschiedene Größen auf der Dingseite zugeordnet sein, wenn man von der einen zu der andern Symmetrieebene übergeht. Meist wird bei dieser Erscheinung des Verzerrtsehens nicht der Unterschied im Abbildungsmaßstab als Ursache zugrunde liegen, der natürlich zwischen den beiden Hauptschnitten infolge ihrer verschiedenen Brennweiten entlang der Glasachse bestehen muß. Denn wenn ein dünnes Brillenglas auch etwa im dingseitigen Brennpunkt des einen Hauptschnittes steht, für diesen somit keine Brennweitenänderung herbeiführt, so befindet es sich für den andern bestimmt außerhalb des Brennpunkts, somit eine Änderung dieser Brennweite herbeiführend. Da nun dabei aber — das Glas soll den Fehler ja ausgleichen — die beiden bildseitigen Brennpunkte in der Netzhaut zusammenfallen, so wird ein Punkt als Punkt abgebildet, und dieser deutlichen Abbildung ist natürlich nicht anzusehen, aus welchen optischen Mitteln sie bestritten worden ist. Die Verschiedenheit der beiden zusammenwirkenden Hauptschnitte der Verbindung Auge + Brille wird sich höchstens bei unscharfer Einstellung in der Form der Zerstreuungsscheibchen verraten. Möglicherweise kann dann auch eine der eingangs erwähnten ähnliche Formveränderung an den verwaschenen Bildern auftreten.

Eine sehr merkwürdige Wirkung zylindrischer Brillengläser gibt sich kund, wenn ding- und bildseitige Richtung stirnrechter durch die Glasachse verlaufender Geraden verglichen werden, im Fall, daß sie nicht in einer der beiden Symmetrieebenen verlaufen, vielmehr einen kleineren oder größeren Winkel zu ihnen bilden. Während beim achsensymmetrischen Glas die Richtung solcher Geraden auf der Ding- und der Bildseite immer gleich ist, verursacht das Zylinderglas Unterschiede. Der Grund läßt sich leicht verständlich machen. Verfolgt man rückwärts eine Blicklinie vom Augendrehpunkt durch das Glas nach außen, d. h. läßt man einen rückläufigen Lichtstrahl, der zur Glasachse geneigt ist, durch ein achsensymmetrisches, zum Auge ausgerichtetes Brillenglas hindurchtreten, dessen Achse also durch den Augendrehpunkt geht, so fällt die Einfallsebene mit der Strahl-Achsenenebene zusammen, denn das Flächenlot, das mit dem Strahl gemeinsam die Einfallsebene bestimmt, schneidet die Glasachse und verläuft daher in der Strahl-Achsenenebene. Beim torischen Glas fallen diese zwei Ebenen für einen außerhalb der beiden Symmetrieebenen liegenden Einfallspunkt nicht zusammen. Denn das Flächenlot schneidet hier die Glasachse nicht. Es liegt daher außerhalb der Strahl-Achsenenebene, es bestimmt aber mit dem Strahl die Einfallsebene. Diese ist also von der Strahl-Achsenenebene verschieden und schneidet sie, da sie ja den Strahl enthält, eben in dem Blicklinienstrahl. Da dieser Strahl gemäß dem Brechungsgesetz die Einfallsebene nicht verlassen kann, aus seiner Richtung jedoch abgelenkt wird, die einzige, beiden Ebenen gemeinsame Richtung daher verlassen muß, so kann er nicht in der Strahl-Achsenenebene bleiben, d. h. zur Neigungsänderung der Blicklinie kommt beim torischen Glas noch eine Seitenablenkung hinzu. Es ist darin das überall bekannte Erkennungszeichen zylindrischer Gläser begründet, dem Beobachter bei einer stetigen Umdrehung durch die Glasachse gehende gerade Linien scheinbar in eine Pendelbewegung zu versetzen (s. auch KOSTER).

Als Folge dieser eigentümlichen Ablenkung erscheinen Rechtecke, deren Mittellinien nicht in die Symmetrieebenen fallen, sondern zu ihnen geneigt sind, in schiefe Vierecke verzogen. Höchst auffällig ist für Astigmatiker, deren zylindrische Gläser leicht geneigte Achsen haben, das Aussehen von Geraden, über deren Lotrichtung gar kein Zweifel sein kann; Pendel, Leitungsschnüre, an denen

eine Lampe frei hängt, stehen für sie schief. Im Sehen erhält diese Abweichung manchmal eine sehr merkwürdige Betonung, nämlich dann, wenn die Zylinderachsen beider Linsen zur Mittellinie leicht symmetrisch geneigt sind. Je nach dem Vorzeichen der Gläser scheint dann ein ruhig hängendes Pendel in der Körpermittellinie nach vorn oder rückwärts abgelenkt zu stehen, wie es sein muß, wenn im beidäugigen Sehen mehr oder weniger leicht zueinander geneigte Geraden als stereoskopische Halbbilder verschmolzen werden. Gelegentlich ist die Erscheinung so störend, daß man, um sie zu beseitigen, auf richtige Achsenstellung oder ganz auf Zylinder verzichten muß; der Träger nimmt gern eine Einbuße an Sehschärfe in Kauf, um die Täuschung los zu werden. Doch kann man durch allmähliches Rückdrehen der Gläser in die richtige Achsenstellung von Stufe zu Stufe im Laufe von Wochen und bei dauerndem Tragen der Gläser dahin kommen, daß der Träger die Umdeutung der Eindrücke lernt und schließlich die Erscheinung gar nicht mehr bemerkt.

Schließlich sei noch daran erinnert, daß der Einfluß seitlicher Verschiebung astigmatischer Gläser, wenn sie nicht gerade in einer Symmetrieebene erfolgt, ohne weiteres gar nicht übersehbare Wirkungen ausüben kann. Darauf hat HARTINGER aufmerksam gemacht und durch ein besonders eindrucksvolles Beispiel beleuchtet. Bei geeigneter Glasstärke und Vorzeichen kann die seitliche Dezentration der Gläser statt der vom Nichteingeweihten meist erwarteten Konvergenz- oder Divergenzverbesserung der beiden Blicklinien einen reinen Höhenfehler einführen.

**Das Tauchverfahren.** Läßt man die Hornhaut statt an Luft an Wasser, physiologische Kochsalzlösung, RINGERSche Lösung oder Tränenflüssigkeit grenzen, so verringert sich der Unterschied der Brechungsponenten, der in dieser Fläche zusammenstoßenden Medien und weiterhin der Brechkraft dieser Grenzfläche auf etwa  $1/10$ .

Im Ausmaß ihres Anwendungsgebiets und in der Vollkommenheit ihrer optischen Wirkung auf den Fehler stehen die Wasserkammern weit über den gewöhnlichen Brillengläsern. Wenn sie, obwohl schon seit Jahrzehnten bekannt, bisher nur eine sehr spärliche Verwendung gefunden haben, so liegt das an den äußeren Schwierigkeiten, die es nicht einem jeden gestatten, diese Sehhilfe ohne Störungen zu tragen.

Die grundsätzliche Überlegenheit läßt sich mit einem allgemeinen Grund belegen. Zunächst ist ihr Anwendungsgebiet viel größer als bei den gewöhnlichen Gläsern. Denn nicht nur regelmäßige Formen des Astigmatismus, sondern auch sehr verwickelte Bildungen wie der Keratoconus und schließlich auch ganz unregelmäßige Entstellungen der Hornhautvorderfläche, wie sie nach Geschwüren und Verletzungen auftreten, sind in gleicher Weise der Besserung in der Wasserkammer zugänglich. Die ausgleichende Fläche, die Wassergrenze, formt sich eben gewissermaßen selber an der krankhaften Stelle. Bei der besonderen Form der Wasserkammer, nämlich bei dem *Haftglas*, kommt zu diesem eben erwähnten noch ein zweiter Grund hinzu, der an und für sich schon genügt, um das Haftglas, auch wenn ihm nicht der Vorzug der unbedingten Beherrschung jeder Hornhautoberflächenform eignete, weit über alle die gewöhnlichen Brillengläser hinaufzuheben. Es ist die Tatsache seiner Mitbewegung beim Blicken. Dadurch werden auch alle die großen Schwierigkeiten und Störungen, die der Träger gewöhnlicher Gläser, besonders in ihren größeren Stärken und im beidäugigen Sehen, zu ertragen hat, umgangen. Des näheren auf diese Dinge einzugehen erübrigt sich mit dem Hinweis auf die Brillenlehre (s. S. 831 u. 832).

Dort sind ferner einige unbeabsichtigte Nebenwirkungen besprochen, von denen auch das Haftglas nicht frei ist. Hier ist nur wenig zu erwähnen.

Zunächst kann das Tauchverfahren natürlich nur solche Astigmatismen ausgleichen, die von der Hornhautvorderfläche herrühren, von anderen Flächen stammende dagegen nicht. Da jedoch die weitaus meisten Astigmatismen eben von der Hornhaut bedingt sind, so treten die anderen sowohl der Häufigkeit als der Stärke nach wesentlich in den Hintergrund. Diese Sehhilfen werden in den allermeisten Fällen optisch ihren Dienst leisten; selbst wenn dann und wann ein kleiner Betrag von Astigmatismus, bedingt von tieferen Teilen, übrigbleiben sollte, so würde das ihrem Nutzen keinen sonderlichen Eintrag tun.

In zweierlei Form ist das Tauchverfahren zu verwirklichen, nämlich mit einer dicken Wasserschicht in der Wasserkammer, dem Hydrodiaskop von TH. LOHNSTEIN, und mit einer ganz dünnen Schicht im FICKSchen Haftglas.

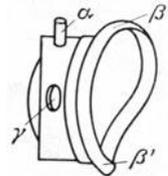


Abb. 174. Die LOHNSTEINSche Wasserkammer.

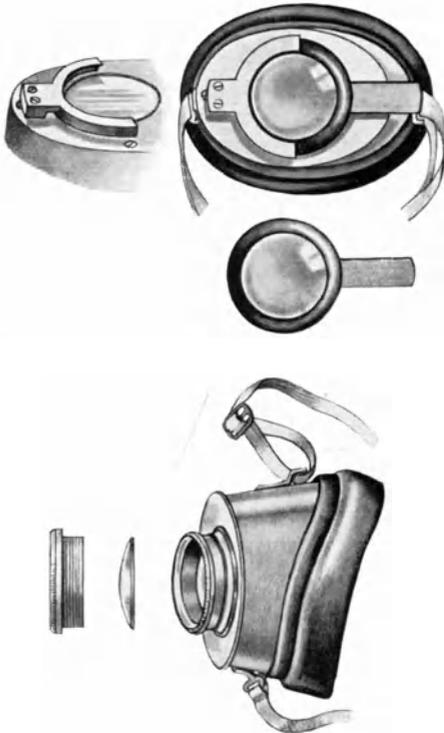


Abb. 175. Die von STEGRIST verbesserte Wasserkammer. Oben befindet sich die neuere Form.

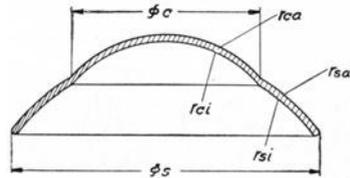


Abb. 176. Ein FICKSches Haftglas (Grundriß und Achsenschnitt). C Hornhautteil, S Lederhautteil.

**Die Wasserkammer.** Beim LOHNSTEINSchen Hydrodiaskop, dessen sich auch A. SEGRIST angenommen hat, wird das Auge samt einem Teil der Lider in eine kleine Wanne getaucht. Das Auge bildet dann die Hinterwand der Kammer. Die Vorderwand wird durch eine Scheibe oder eine Linse gebildet. Die sorgfältige Abdichtung an der Lidhaut oder in der Umgebung des Auges wird durch eine Weichgummieinfassung der Kammerränder erreicht. Die Gefahr, daß schon bei geringen Bewegungen der Gesichtsmuskeln die Kammer leck wird, läßt sich kaum bannen. Immerhin hat die Kammer, z. B. dem Erfinder LOHNSTEIN selbst, der an Keratoconus litt, sehr wertvolle Dienste geleistet. Auch S. FATER berichtet über Erfolge aus der Schweiz.

An einige optische Eigentümlichkeiten mag kurz erinnert werden. Dank der großen Tiefe der Kammer muß die Sammellinse, die an der Vorderseite angebracht wird, um die ausgeschaltete Hornhautfläche optisch zu ersetzen, eine schwächere Brechkraft erhalten, als sie die Hornhaut ursprünglich gehabt haben müßte, wenn das Auge emmetropisch sein

soll. Die Folge ist eine Steigerung der Netzhautbildgröße und außerdem auch der Sehschärfe im Vergleich mit dem regelrechten Auge. Sodann fiel schon LOHNSTEIN der geringe äußere Akkommodationserfolg auf, den er auf eine Schwäche des Auges bezog. Auch S. FATER hat an den Schweizer Kranken dasselbe bemerkt und als Folge des großen Abstandes zwischen der künstlichen Hornhaut und der akkommodierenden Linse erkannt. Näheres siehe M. v. ROHR (b, 48/49). Schließlich sind Gesichts- und Blickfeld natürlich eingeschränkt.

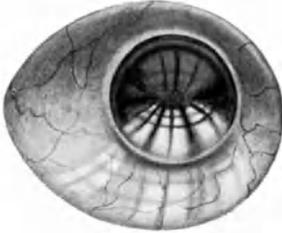


Abb. 177. Ein von F. AD. MÜLLER geblasenes Haftglas.

Vor allem die äußeren Schwierigkeiten, insbesondere die Nachteile der Einstellung des Trägers und die erwähnte Gefahr des Leckens bei Gesichtsbewegungen, haben eine ausgedehnte Verwendung dieses Sehbehelfs nicht zugelassen.

**Das Haftglas.** Von den groben Nachteilen ist die andere Form, die dünne Wasserkammer in der Gestalt des Haftglases, frei. Dieses sitzt auf der Hornhaut auf und wird unter den Lidern so gut wie unsichtbar getragen. Von Entstellung ist gar keine Rede, im Gegenteil ist ihr Träger noch günstiger daran als mit der üblichen, heute i. a. kaum beanstandeten Brille. Gesichts- und Blickfeld sind ganz unbehindert, Änderungen der Blickrichtung durch das Glas gibt es nicht, und

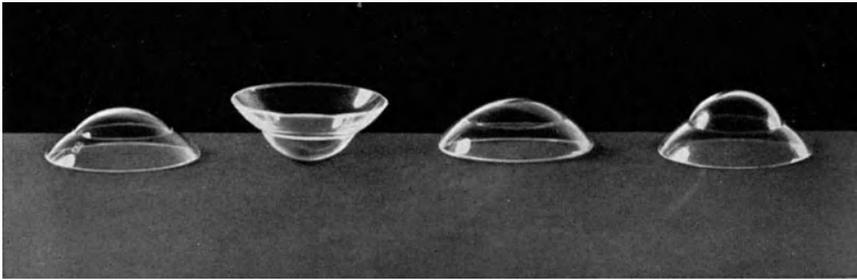


Abb. 178. FICKSche Haftgläser in der ZEISSischen Ausführung.

somit fehlen auch deren störende Folgen, die bei Gläsern gewöhnlicher Art schon bei mäßiger Stärke manchmal recht lästig sind. Der äußere Akkommodationserfolg ist kaum gemindert. Doch ist die Netzhautbildgröße nur bei Kurzsichtigen im Vergleich mit der des Emmetropen etwas gesteigert und auch



Abb. 179. Kugelflächige Haftgläser, deren Tragteil zur Anpassung an astigmatische Augäpfel zugerichtet ist.

nicht wie beim gewöhnlichen Glas zu beeinflussen, sondern ein für allemal mit der Korrektion festgelegt.

Die Möglichkeit ist gegeben, daß auch einmal ein Astigmatismus unter dem Haftglas erst hervortritt, wenn es zum Ausgleich eines Refraktionsfehlers verwendet wird, bei dem etwa ein Astigmatismus der Hornhautoberfläche durch einen entgegengesetzt wirkenden

der tieferen Teile ausgeglichen war. Dieser letzte müßte dann infolge der Ausschaltung der Hornhaut allein wirksam werden und könnte bei genügender Höhe stören.

Bei dieser Überlegung ergibt sich die Forderung, auch diesen Astigmatismus mit besonderen astigmatischen Haftgläsern auszugleichen. Diese Forderung schließt zwei Aufgaben in sich: 1. müßte man imstand sein, eine torische Flächenform am Haftglas anzubringen. Davon ist bisher nicht die Rede. Der Glasschleifer hatte auch kaum Veranlassung, Zeit und Mühe auf eine so schwierige Arbeit zu verwenden, denn sie wäre vergeudet, wenn nicht auch die zweite Aufgabe gelöst wäre, die nämlich, dem torischen Haftglas die durch die Hauptschnittlage des Auges bedingte Stellung beim Tragen zu sichern. Diese zweite bisher nicht angegriffene Aufgabe wenigstens für gewisse Fälle zu erfüllen, ist auf folgende Weise gelungen.

Die Tatsache, daß der Vorderteil des Augapfels in sehr vielen Fällen keineswegs einen Umdrehungskörper darstellt, ist mir im Verlaufe meiner Bemühungen um die Verbesserung der Haftgläser besonders deutlich geworden. Nicht gar selten zeigt es sich, daß die Lederhaut im senkrechten Durchmesser von der Hornhaut ab stärker gekrümmt ist als im waagrecht. Diese Abweichung von einer Umdrehungsfläche bietet die Handhabe dafür, das Haftglas eine Zwangslage auf dem Auge einnehmen zu lassen. Und zwar gelingt dies auch bei einem in beiden Abschnitten, dem Hornhaut- und dem Lederhautteil, kugelförmigen Haftglas. Läßt man einen Körper von der Form des vorderen Lederhautgebiets von einer Kugelfläche schneiden, die einen kleineren Krümmungshalbmesser hat als die Lederhaut an irgendeiner Stelle, so ergibt sich natürlich nicht eine ebene Kurve, ein Kreis, wie es einträte, wenn die Lederhaut kugelförmig gestaltet wäre, sondern eine Raumkurve in der Art, daß von dem Kugelmeridian in der lotrechten Richtung der Lederhautkrümmung ein längeres Stück abgeschnitten wird, als in der dazu senkrechten. Wird nun der Lederhautrand eines kugelflächigen Haftglases statt durch einen ebenen Kreis in der Weise begrenzt, daß man seine Grundfläche durch Abschleifen des Randes von den beiden Enden eines Durchmessers aus verschmälert und diese Abtragung nach den Enden des dazu senkrechten Durchmessers, der selbst unverkürzt bleiben soll, allmählich auslaufen läßt, so kann man die von der Gestalt des vorderen Augapfelabschnitts bestimmte Raumkurve einigermaßen mit der Randlinie dieses Haftglases nachahmen. Auf meinen Wunsch hat Herr HARTINGER in der optischen Werkstätte von CARL ZEISS freundlicherweise eine solche Haftglasbearbeitung vornehmen lassen. Der Versuch gelang, das Glas hat sich, wie man es auch in den Bindehautsack einsetzte, sofort und immer wieder in die gleiche Achsenrichtung eingestellt und so ständig gehalten.

## VII. Die Akkommodation des Auges und ihre Störungen.

### A. Die Akkommodation beim gesunden Menschen.

#### 1. Beobachtungstatsachen.

##### a) Die Ergebnisse der Leistungsprüfung.

Als Akkommodation bezeichnet man die Fähigkeit des Auges, seine optische Einstellung innerhalb gewisser Grenzen nach Wunsch zu verändern, und zwar meist im engeren Sinne der Anpassung für das Nahsehen. Wird der ganze Betrag der Einstellungsänderung aufgewendet, so wird das ganze Akkommodationsgebiet vom Fernpunkt zum Nahpunkt durchlaufen. Die *statische Refraktion* geht dabei in den Höchstbetrag der *dynamischen Refraktion* über. Der Unterschied beider, die *Akkommodationsbreite*, gibt uns das Maß für die Akkommodationsleistung des Auges ab. Sie ist als ein Refraktionsbetrag in Dioptrien ausgedrückt. Wie die Lage und die Ausdehnung des Akkommodationsgebietes bei einem gegebenen Akkommodationsbetrag durch die *Refraktion* bestimmt wird, ist oben S. 522 auseinandergesetzt worden.

Die Behauptung, daß die Refraktion und die Berufstätigkeit entsprechend ihren größeren oder geringeren Anforderungen an Naharbeit einen Einfluß auf die Akkommodationsbreite ausübten, hat HESS zurückgewiesen. HÖNIG hat daraufhin 600 Leute untersucht und gibt an, die Akkommodationsbreite sei bei Hyperopen

in jedem Alter größer und bei Myopen kleiner als bei Emmetropen gleichen Alters. Der Unterschied betrage 0,3 dptr bei Hyperopen, 0,5 dptr bei Myopen.

Die Akkommodationsbreite nimmt, wie F. C. DONDERS gezeigt hat, mit dem Alter von Jahr zu Jahr in einer ganz gesetzmäßigen Weise ab, und zwar

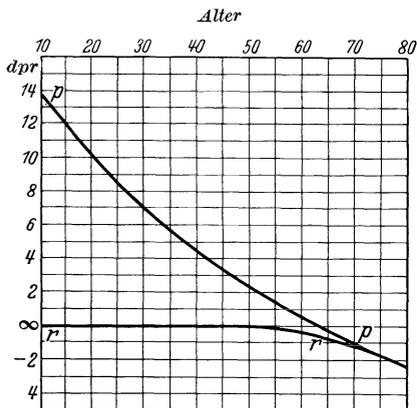


Abb. 180. Die Änderung der Akkommodationsbreite mit dem Alter. (Nach DONDERS u. LANDOLT.)

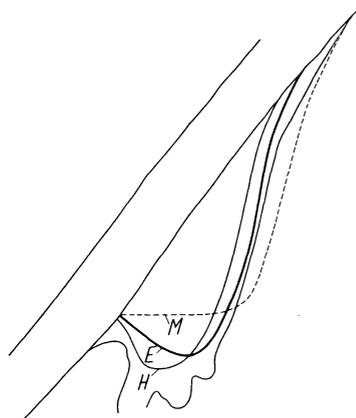


Abb. 181. Meridionalchnitt durch den Ciliarkörper (bei Hyperopie, Emmetropie und Myopie). (Nach HEITZMANN-IWANOFF-HESS.)

so, daß sich der Nahpunkt durch das frühere Akkommodationsgebiet hindurch ganz allmählich dem Fernpunkt nähert, während dieser seinen Ort nicht bzw., wenn überhaupt, meist erst im hohen Alter ändert, gewissermaßen vor dem Nahpunkt zurückweicht, so daß z. B. ein Emmetrop schließlich in geringem Grade hyperopisch wird.

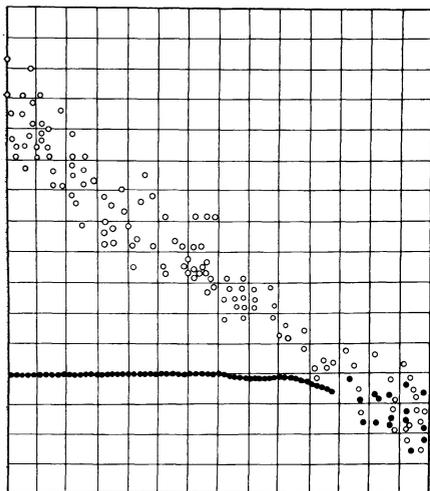


Abb. 182. Die Ergebnisse der Fern- und Nahpunktprüfungen von 123 Emmetropen, einzeln verzeichnet. (Nach DONDERS.)

F. C. DONDERS hat diese Zusammenhänge zwischen der Refraktion bzw. der Akkommodationsbreite und dem Alter in dem bekannten Kurvenbild darstellen lassen (s. Abb. 180). Das Lebensalter ist durch die Länge der waagrechten Abstände vom Nullpunkt des rechtwinkligen Netzes wiedergegeben, die (Nah- und Fernpunkt-) Refraktion durch die senkrechten Abstände von der Nulllinie. Das Bild beruht nach DONDERS auf der Untersuchung einer großen (123) Anzahl emmetropischer Augen verschiedenen Alters (s. Abb. 182). Die Züge verbinden die mittleren Werte der verschiedenen Punktlagen, mit denen die Einzelbeobachtungen vermerkt waren. Aus der DONDERSISCHEN Zusammenstellung berechneten K. PEARSON und M. MOUL einen

eigentümlichen Anstieg der Akkommodationsbreite in der ersten Hälfte des 2. Jahrzehnts (s. a. G. GIORDANO). Neuerdings hat A. DUANE die Kurve auf einer sehr viel breiteren Grundlage neu aufgestellt, nämlich auf Grund von anfänglich 4000 Messungen (s. Abb. 183), die noch weiter vermehrt worden sind. Ob mit der größeren Zahl der Untersuchungen wirklich eine größere

Genauigkeit erzielt worden ist, muß wegen den verschiedenen Fehlerquellen solcher messenden Untersuchungen, besonders wenn auch stärker ametropische Augen mit Glas in merklicher Zahl vorkommen, wohl überlegt werden. Tausende von Befunden haben außer A. DUANE auch CLARKE, Th. D. ALLEN und A. CHOLINA gesichtet.

Die DUANESche Kurve (s. Abb. 184) verläuft nicht so einfach wie die von DONDERS. Zunächst liegt sie zwischen dem 13. und dem 46. Jahr über der

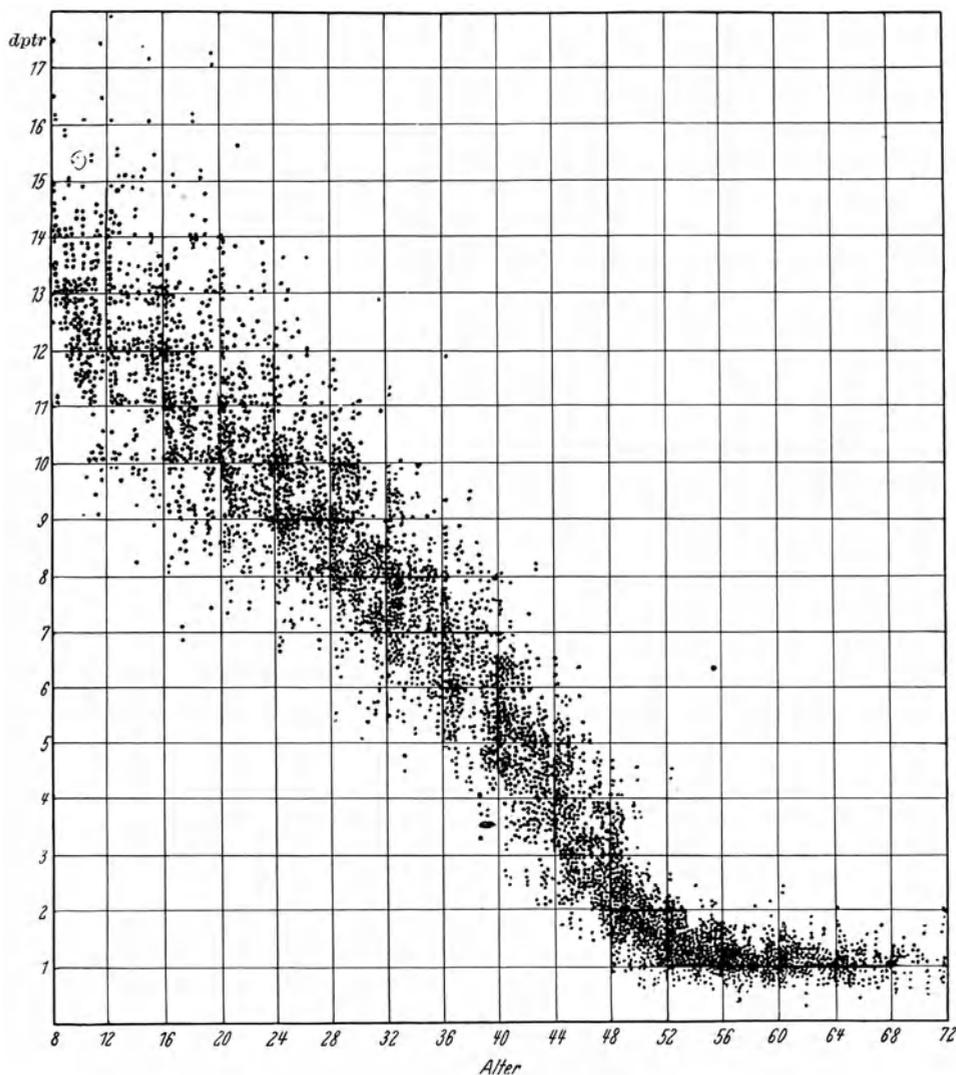


Abb. 183. Die Abnahme der Akkommodationsbreite mit dem Alter. (Nach A. DUANE.)  
Das Ergebnis einäugiger Akkommodationsprüfungen an mehr als über 4200 Augen.

DONDERSISCHEN. Mit dem 40. Lebensjahr fällt sie steiler ab, um schon beim 50. wieder umzubiegen und etwa vom 56. ab in der Höhe von etwas über 1 dptr geradlinig und fast waagrecht weiter zu laufen. Da es sich um die Leistung eines lebenden Sehwerkzeuges handelt, so sind im Einzelfall natürlich

Abweichungen nach oben und unten zu erwarten, und ist ein Unter- oder Überschreiten des hier gegebenen Mittelmaßes noch nicht ohne weiteres als krankhaft zu deuten. DUANE hat denn auch Grenzen für die zulässige Schwankungsbreite angegeben. Es kann nicht wundernehmen, daß HÖNIG mit der Altersbestimmung aus der Akkommodationsbreite nur in 18<sup>0</sup>/<sub>0</sub> das Richtige getroffen hat, in 35<sup>0</sup>/<sub>0</sub> (42<sup>0</sup>/<sub>0</sub>) aber Abweichungen bis zu 1 (5) Jahren hat feststellen müssen.

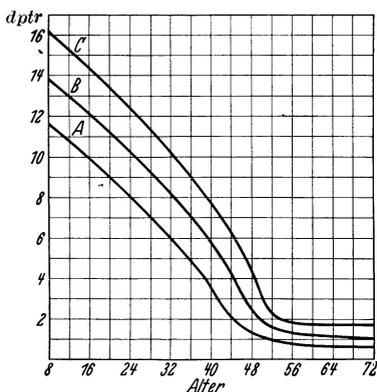


Abb. 184. Die Veränderung der Akkommodationsbreite mit dem Alter, ermittelt aus den Ergebnissen, die in Abb. 183 einzeln eingetragen sind. A untere, C obere physiologische Grenze, B Mittelwert.

Mitteilungen über Fälle, wo sich noch im Greisenalter eine Akkommodation von 2 und 3 dptr erhalten haben soll, sind i. a. mit Vorsicht aufzunehmen. Man denke an die zahlreichen ähnlichen Beobachtungen bei Aphakischen. Beim Vollaage kann die Kernsklerose die Täuschung verursachen und zweifache Refraktion bedingen (GROSS, MÜLLER). Deutet CLARKE geringe Akkommodationsbreite auf vorzeitiges Altern, so hat BERNSTEIN einen Zusammenhang zwischen dem Eintritt der Alterssichtigkeit und der Lebenserwartung auf statistischem Weg in den Aufzeichnungen einer poliklinischen Sprechstunde nachgewiesen in dem Sinne, daß Leute mit geringer Alterssichtigkeit eine höhere Lebensdauer zu erwarten haben als solche mit hoher Alterssichtigkeit. BLATT findet bei vorzeitiger Alters-

sichtigkeit auch vorzeitiges Ergrauen der Haare.

*Fehlerquellen.* Will man diese Kurven nicht ganz urteilslos hinnehmen, so muß man wenigstens obenhin das Untersuchungsverfahren zur Bestimmung der Akkommodationsbreite betrachten. Es setzt sich zusammen aus der Bestimmung des Fernpunktes und der Bestimmung des Nahpunktes. Der Fernpunktsbestimmung wegen kann in der Hauptsache auf die früheren Bemerkungen (s. S. 525) verwiesen werden. Sie läßt sich mit recht großer Sicherheit durchführen. CLARKE, der ebenfalls größere Akkommodationsbreiten fand als DONDERS, begründet diesen Unterschied damit, daß er den Fernpunkt bei Atropinwirkung bestimmt hatte. Viel größere Schwierigkeit bereitet die Nahpunktsbestimmung, was auch IMRE betont. Die Art des Untersuchungsverfahrens beeinflußt das Ergebnis unter Umständen erheblich. Auch ist es sehr vom Untersuchten abhängig. Als Prüfzeichen sind feinste Linien, Fäden und Punkte für zuverlässige Beobachter zweifellos am geeignetesten. Ist man, was bei Sprechstunden- und Massenuntersuchungen grundsätzlich angenommen werden muß, als Versuchsleiter der Fähigkeit und Zuverlässigkeit der Untersuchten aber nicht sicher, so sind sie leider fast nicht zu verwenden. Man ist darauf angewiesen, eine Aufgabe zu stellen, deren Erfüllung wirklich scharfe Einstellung und, damit man wiederum von der scharfen Einstellung überzeugt sein kann, auch die volle Sehschärfe des Prüflings erfordert. Es liegt nahe, hierzu Schriftzeichen zu benutzen ähnlich wie bei der Fernpunktsbestimmung mit Hilfe der Sehschärfe. Damit muß man aber wieder erhebliche Nachteile in den Kauf nehmen, wovon man sich in Selbstversuchen überzeugen kann. Diese Prüfweise stellt ein viel gröberes Verfahren dar. Wenn wir jetzt auch sehr feine und recht zuverlässige Zeichen genügender Kleinheit besitzen, so krankt sie daran, daß die Sehschärfe in sehr vielen Fällen beim Übergang vom Fernsehen zum Nahsehen erheblichen, aber noch nicht ganz klaren Schwankungen unterworfen ist (R. KIRSCH, H. BIEDERMANN, H. WALAWELSKI). Man weiß also ohne besondere zeitraubende Vorversuche, zu denen man in der Sprechstunde kaum kommen wird, nicht, ob mit einer

beobachteten Leistung wirklich das gesuchte Höchstmaß erreicht ist. Da sich die Pupille bei der Akkommodation für die Nähe verengt, so wächst die Abbildungstiefe, und dies erschwert das Auffinden einer genauen Grenzlage zwischen deutlichem und undeutlichem Sehen. Mit der an und für sich sehr nützlichen Anwendung der Doppelblende im Sinne des SCHEINERSchen Versuchs, die statt der Entscheidung „deutlich oder undeutlich“ die viel leichtere Frage „einfach oder doppelt“ zu stellen erlaubt, tauscht man wieder eine andere Schwierigkeit ein. Ist man nicht ganz sicher, daß die beiden Löcher wirklich gleichzeitig im Gebiete der Pupillenöffnung liegen, was zu überwachen nicht immer einfach ist, so kann man den größten Täuschungen anheim fallen. Dazu kommt noch die ja nicht zu unterschätzende Tatsache, daß gleiche Einstellungs- und Meßabweichungen bei kurzen Nahpunktabständen sehr viel umfangreichere Akkommodationsschwankungen bedeuten als bei größeren Abständen. Vielleicht erklärt sich so die viel größere Streuung für das Kindesalter im linken Teil der Zusammenstellung von DUANE (e) (s. Abb. 183) mindestens zum Teil.

Die *Abbildungstiefe* ist streng genommen sowohl beim Fernpunkt wie beim Nahpunkt zu berücksichtigen. Bei engeren Pupillen ist sie wirksamer als bei weiteren und daher im allgemeinen der Genauigkeit der Nahpunktbestimmung gefährlicher als der Fernpunktsermittlung. Die Abbildungstiefe läßt den Fernpunkt ferner, den Nahpunkt näher erscheinen, als er tatsächlich liegt. Man erhält dann eine größere Akkommodationsbreite, als der wirklichen Einstellungsveränderung bzw. der Brechkraftvermehrung entspricht. Daher hat man einen scheinbaren von einem wirklichen, etwa durch die Nullstrahlenrechnung bestimmten, Nahpunkt zu unterscheiden (HESS).

Man beachte, daß die natürliche Pupillenweite bei den verschiedenen Menschen verschieden groß ist und unter anderem mit dem Lebensalter und mit der Refraktion schwankt.

Neben der Pupillenweite ist die *Sehschärfe* für die Abbildungstiefe und damit für die unmerklichen Fehler bei der Messung der Akkommodationsbreite bestimmend. Denn das Auftreten der Zerstreuungsfleckchen an sich bedeutet für unsere Frage noch nichts; an welcher Stelle der Fern- oder der Nahpunkt angenommen wird, hängt von der Empfindlichkeit ab, mit der das Auftreten der Zerstreuungsfleckchen wahrgenommen wird. Diese Zusammenhänge hat A. GLEICHEN ausführlich formelmäßig behandelt. Nicht selten haftet den Fernpunktbestimmungen der Fehler an, daß versäumt wird, den Wert  $1/a$  dptr für den meist nicht großen Abstand  $a$  der Sehproben zu berücksichtigen. Wird schließlich die Akkommodationsbreite bei Ametropen mit Gläsern geprüft, um insbesondere den Nahpunkt in eine bequeme Entfernung zu verlegen, so darf nicht vergessen werden, daß auch deren Einfluß unter Umständen merklich groß ist. Der *äußere Akkommodationserfolg* ist nicht einfach dem Akkommodationsaufwand gleich (s. auch S. 703 und Brillenlehre S. 773).

Diese Überlegungen fußen auf der stillschweigenden Annahme, daß die Abbildung im Auge den GAUSSSchen Sätzen entspreche. Insbesondere rechnet die formelmäßige Behandlung mit der Größe der Zerstreuungsfleckchen, was nur dann anginge, wenn die Lichtverteilung in ihnen gleichmäßig wäre. Da die Abbildung im Auge jedoch, wie früher erwähnt wurde, nicht homozentrisch, sondern mit sehr verwickelten Aberrationen behaftet ist, so kann die Kaustik unter Umständen zu erheblicher Vergrößerung der Abbildungstiefe führen, dadurch Akkommodation vortäuschend. Dennoch hat die Überlegung, um die Einsicht zu fördern, durchaus ihre Berechtigung um so mehr, als sie völlig auf der Dingseite durchgeführt werden kann, wobei dann gar nichts über die Strahlenvereinigung im Auge vorweggenommen wird. Den eigentümlichen Verhältnissen bei der Abbildung im Auge wird denn auch beim Prüfen im

Versuch durch die Einführung eines Übungsfaktors (M. SALZMANN, A. GLEICHEN) Rechnung getragen. K. NOISZEWSKI und BOCCI glauben an Fernakkommodation.

Über den zeitlichen Ablauf der Akkommodation haben u. a. H. SCHMIDT-RIMPLER und V. GRÖNHOLM eingehende Untersuchungen angestellt. Er führt auch frühere Arbeiten an. Als ein Beispiel seien die Ergebnisse eines Versuchs hier mitgeteilt: Die Durchschnittsdauer der Akkommodationsanspannung von Null auf 3, 4, 5, 6 dptr stellt sich etwa auf 0,56, 0,80, 0,91, 1,55 Sek. und die Abspannung um die gleichen Beträge auf Null dauerte 0,87, 1,31, 1,15, 0,99 Sek.

Mit einem eigenen Verfahren, das die Reaktionszeiten auszuschalten erlaubt, hat J. GUGLIANETTI Akkommodationszeiten erhalten, die im Mittel zwischen 0,173 und 0,486 Sek. schwanken. Der Anstieg der Einstellung vom Fernpunkt auf den Nahpunkt ging besonders in der Nähe des Nahpunktes pro Dioptrie langsamer vor sich als die Abspannung vom Nah- zum Fernpunkt — eine Erklärung dafür versucht TUMJANZEW — und zwar mit fast gleichmäßiger Geschwindigkeit. Mit zunehmendem Alter wird die Akkommodationszeit länger. H. BANISTER und G. H. POLLOCK haben bei einem 40jährigen im einäugigen Sehen für den Übergang von 6 m auf 0,4 m, also für  $2\frac{1}{3}$  dptr Änderung zuerst 0,62, bei einem 20jährigen 0,52 Sek. und bei einem weiteren 20jährigen 0,4 Sek. gemessen. Subcutane Cocaingaben verkürzen die Akkommodationszeit (MACCO und FIUMARA). W. B. LANCASTER und E. R. WILLIAMS haben durch längeres Akkommodieren eine Verlagerung des Fern- und des Nahpunktes eintreten sehen.

Die Pupillenverengerung beim Nahsehen wird nicht durch die Tätigkeit der Akkommodation ausgelöst, sondern durch die der Konvergenz (PICK).

Der relativen Akkommodationsbreite wird in anderen Ländern (Nordamerika) große Aufmerksamkeit geschenkt. TAKAHASHI hat eine größere Messungsreihe in den letzten Jahren mitgeteilt.

Bei kräftigem Akkommodieren und bei plötzlichem Nachlassen bemerken manche Menschen entoptische Lichterscheinungen, die von PURKINJE, CZERMAK und A. BRÜCKNER beschrieben worden und als mechanische Reizung der Netzhaut zu deuten sind (Akkommodationsphosphen).

#### b) Die optischen Mittel zur Naheinstellung des Auges.

Haben wir bisher lediglich die Akkommodationsleistung durch Messungen auf der Dingseite des Auges festgestellt, so erhebt sich jetzt die Frage nach den Mitteln, mit deren Hilfe die Leistung bestritten wird, daß ein zunächst deutlich gesehener Achsendingpunkt, nachdem er im Sinn der Lichtrichtung vorgerückt ist, wiederum deutlich erscheint. Diese Naheinstellung ist denkbar als Folge der gleichen Veränderungen, die aus einem emmetropischen oder hyperopischen Auge ein myopisches machen, einmal durch Abstandsänderung zwischen der brechenden Folie und der Netzhaut (Längenänderung), oder durch Vermehrung der Brechkraft der Folie oder durch die Verbindung beider. Das erste würde erreicht durch Rückschiebung der Netzhaut oder durch Vorschiebung der brechenden Folie oder von Teilen davon; am einfachsten dachte man es durch Vorschieben der Linse zu erreichen. Die Brechkraftvermehrung könnte durch Krümmungsänderung der Flächen oder durch Indexänderung der Medien herbeigeführt werden. Die Änderung der Flächenkrümmung könnte entweder an der Hornhaut oder an der Linse oder an Teilen von ihnen erfolgen, sei es eine Krümmungszunahme der Hornhautvorderfläche oder der beiden Linsenflächen oder eine Krümmungsabnahme der hinteren Hornhautfläche. Die Indexänderung könnte in der Erhöhung des Brechungsindex im Kammerwasser oder im Linsenkern oder in seiner Verminderung in der Hornhaut, in der Linsenhaut oder im Glaskörper bestehen. Denkbar wäre schließlich auch die Verbindung mehrerer dieser Möglichkeiten. Einige davon sind im Hinblick auf

die beobachtete Geschwindigkeit des Akkommodationsablaufs von vornherein auszuschließen. Welche von ihnen aber im Menschaugen tatsächlich die Naheinstellung bewirken, das zu ergründen hat ungeheuer lang gedauert. Wir wissen heute, daß die Linse der Träger der Brechkraftvermehrung ist, ferner daß dabei sowohl eine Steigerung der Flächenkrümmung als auch eine Erhöhung des Totalindex der Linse stattfindet. Über viele Einzelheiten sind die Akten aber noch keineswegs geschlossen. Ist dies zunächst sichergestellt, so stehen wir vor der Frage, welches die Einrichtungen im Auge sind, deren Tätigkeit die Veränderung in der Linse hervorbringen, und wie sie im einzelnen arbeiten. Stellen wir zunächst einmal die Beobachtungstatsachen über den Akkommodationsvorgang zusammen, die als gesichert gelten können.

### c) Die im akkommodierenden Auge nachgewiesenen Bewegungen.

Am lebenden, gesunden Menschaugen hat man folgendes festgestellt:

Das Auge verlängert sich bei der Akkommodation nicht, und die Akkommodation geht auch dann vor sich, wenn man die Hornhautoberfläche durch Eintauchen in Wasser ihrer brechenden Wirkung nahezu vollständig beraubt (TH. YOUNG). Die Naheinstellung beruht auf Muskeltätigkeit, nach deren Aufhören (Atropin) immer ein bestimmter und gleicher Refraktionszustand, beim emmetropischen Auge die Einstellung in die Ferne, wiederkehrt, eine Einstellung, die im wesentlichen der des willkürlichen Fernsehens gleich ist (WOLLASTON, YOUNG, DONDERS). Als Haupterscheinungen erwähnt HELMHOLTZ (b, S. 63):

- „1. Die Pupille verengert sich.
2. Der Pupillarrand der Iris bewegt sich nach vorn.
3. Die peripherischen Teile der Iris treten zurück.
4. Die vordere Linsenfläche wölbt sich stärker, und ihr Scheitel bewegt sich nach vorn.
5. Die hintere Linsenfläche wird ebenfalls ein wenig gewölbt, und verändert ihren Platz nicht merklich. Die Linse wird also in ihrer Mitte dicker.

Da das Volumen der Linse constant bleiben muß, können wir noch schließen, daß die queren Durchmesser der Linse sich verkürzen müssen.“

Eine anziehende Beobachtung zum Vortreten des Pupillarrandes der Iris und dem Einsinken ihrer Peripherie verdanken wir H. ULBRICH.

CRAMER und LANGENBECK haben die **Krümmungszunahme der Linsenvorderfläche** im sichtbaren Pupillengebiet gesehen; HELMHOLTZ (a) und andere haben sie mit dem Ophthalmometer gemessen, neuerdings J. W. NORDENSON (b, c) und E. F. FINCHAM (a, c). Das Spiegelbildchen, das die vordere Linsenfläche entwirft, wird bei der Akkommodation um die Hälfte kleiner, rückt zur Seite und wird heller (HELMHOLTZ 1853); vorzügliche Lichtbildaufnahmen dieser Veränderung hat in jüngster Zeit E. F. FINCHAM hergestellt (a). Auch die Krümmung der hinteren Linsenfläche nimmt zu, wenn auch nicht im gleichen Maß wie die der vorderen (NORDENSON 1918 [c]). Die **Dicke der Linse wächst** (E. MARX). Ihr Äquatordurchmesser wird kleiner; Beobachtung an irislosen Augen oder an Augen mit einem breiten, bis zur Wurzel reichenden Irisausschnitt von UTHOFF und von HESS (c, g, k).

Um welche Beträge es sich bei diesen Vorgängen handelt, zeigen folgende Zahlen:

GULLSTRAND fand bei einem jungen Menschen als Krümmungshalbmesser der vorderen Linsenfläche einen Wert zwischen 10,34 und 10,42 mm und bei Einstellung auf 10 cm Abstand 5,5—5,9 mm. Der vordere Linsenscheitel rückt nach HELMHOLTZ für 7 dptr Akkommodation um 0,4 mm, nach GULLSTRAND

bei einem 19jährigen für 10 dptr Akkommodation zwischen 0,3 und 0,4 mm und nach FINCHAM ebenfalls bei zwei Männern von 19 Jahren namens H. und M. für

4 dptr Akkommodation	um 0,13 mm (bei H.)	um 0,11 mm (bei M.)
6 „ „	„ 0,18 „ (bei H.)	„ 0,16 „ (bei M.)
9 „ „	„ 0,34 „ (bei H.)	„ 0,27 „ (bei M.)

vor (s. Abb. 190.)

Die Dickenzunahme beträgt nach TSCHERNING (a) 0,3 mm.

Mit einer Ortsveränderung des hinteren Linsenpols zu rechnen, besteht keine Veranlassung, da



Abb. 185. Die PURKINJE-SANSONSchen Bildchen, entworfen von der Hornhautoberfläche, der vorderen und der hinteren Linsenfläche eines Menschenauges; oben in Akkommodationsruhe, unten bei 8 dptr Akkommodation. (Nach E. F. FINCHAM.)

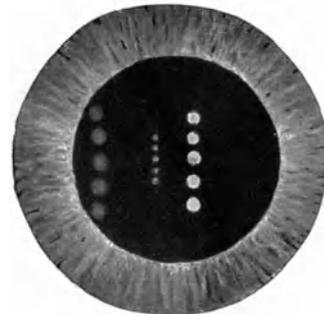


Abb. 186. Die PURKINJE-SANSONSchen Bildchen einer geradlinigen ReiheleuchtenderHohlspiegel.Auge (H) bei 6 dptr Akkommodation. (Nach E. F. FINCHAM.)

die Meßgenauigkeit nicht zu sicheren Nachweisen ausreicht (GULLSTRAND). Eine geringe Zunahme der Krümmung der Hinterfläche wird übereinstimmend angegeben. Für 9 dptr Akkommodation hat FINCHAM (a) bei den erwähnten beiden 19jährigen eine Halbmesserverkürzung bei H. von 5,18 auf 5,05 und bei M. von 5,74

auf 4,37 mm mitgeteilt. NORDENSON (b, c) hat durchweg eine Halbmesserverkürzung gefunden (s. u.).

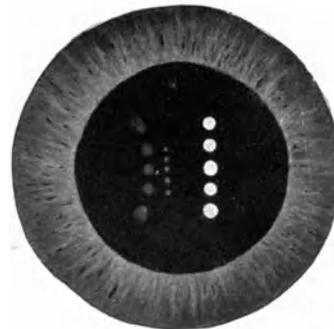
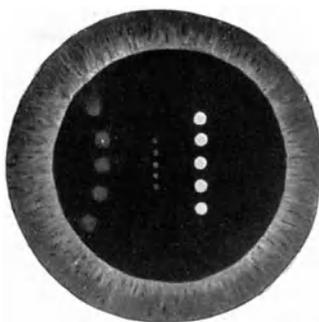


Abb. 187. Die PURKINJE-SANSONSchen Bildchen der gleichen Lichtquellen wie in Abb. 186 verwendet. Auge (M), a in Akkommodationsruhe, b bei 6 dptr Akkommodation. (Nach E. F. FINCHAM.)

Sind die erwähnten Veränderungen bei mäßiger Akkommodation zu finden, so kommen bei möglichst *starker Akkommodationsanstrengung* noch weitere Begleiterscheinungen dazu. Die *Linse* wird etwas *locker*, so daß sie bei kleinen Ruckbewegungen der Augen leicht schlottert, gelegentlich sogar die Iris mit in Bewegung setzt und schließlich, der Schwere folgend, ein wenig heruntersinkt in einer Richtung, die anatomisch bezeichnet, je nach der Kopfhaltung wechselt. Das ist zuerst von C. HESS (c) im Aufsteigen seines (entoptisch gesehenen) Linsenspektrums subjektiv beobachtet und zu 0,28–0,3 mm gemessen worden (C. HESS [c]), objektiv am Zittern (COCCIUS) und Absinken der PURKINJE-SANSONSchen Spiegelbildchen nachgewiesen und zu 0,25 mm gemessen (L. HEINE [a, S. 307]). Bei Eserinwirkung wurde die zu beobachtende Erscheinung ausgesprochen. Über die *genauere Form der Linsenflächen*, insbesondere außerhalb ihres Scheitels, hat sich ein Streit erhoben, weil dem Ergebnis für die Deutung des Akkommodationsvorganges großes Gewicht beigelegt wird. Daher sind die Messungen wertvoll, die J. W. NORDENSON (c) am unversehrten (vgl. S. 506) lebenden Auge angestellt hat. An einem Stückchen des waagrechten Meridians nach dem anderen wurde jeweils der Krümmungshalbmesser gemessen und daraus die Form der Kurve berechnet. Die Ergebnisse dieser bei  $6\frac{1}{2}$  dptr Akkommodation durchgeführten Messungen der *vorderen Linsenfläche* an 9 Stellen des waagrechten Meridians finden sich in den folgenden beiden dioptrischen Diagrammen. Danach nimmt die Krümmung der Linsenfläche bei der Akkommodation sowohl in der Mitte als in den Seitenteilen zu. Die Zunahme ist an der Vorderfläche beträchtlicher als an der hinteren. Die Krümmung der Seitenteile bleibt auch im Zustand der Akkommodation kleiner als die der Mitte. Als Schmiegunskurve fand er für beide Flächen der akkommodierenden Linse eine Parabel; in Akkommodationsruhe hatte er früher für die Vorderfläche ebenfalls eine Parabel, für die hintere eine Ellipse berechnet (s. S. 505).

Im Zusammenhang mit den unmittelbaren Untersuchungen der Flächenform ist der Weg zu erwähnen, den M. TSCHERNING eingeschlagen hat, nämlich am lebenden und gesunden Menschaugen aus den optischen Wirkungen auf die Richtung der Krümmungsänderung der brechenden Fläche zu schließen. Es kam ihm dabei nicht auf die Scheitelgebiete allein an, sondern auf die Seitenteile. Mit Hilfe seines Aberroskops hat er bestimmte größere und geringere Verbiegungen der entoptisch gesehenen bzw. gespiegelten Bilder der Schattenlinien eines quadratischen Netzes im Sinne einer Abflachung der peripheren Flächenteile bei stärkerer Wölbung

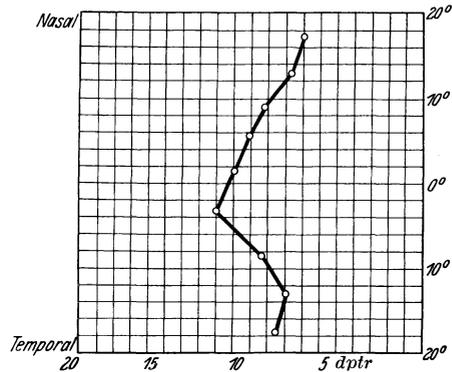


Abb. 188. Das dioptrische Diagramm der Flächen der akkommodierenden Linse nach J. W. NORDENSON. Vordere Linsenfläche.

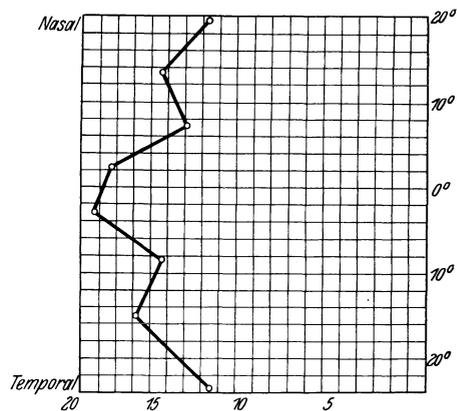


Abb. 189. Das dioptrische Diagramm der Flächen der akkommodierenden Linse nach J. W. NORDENSON. Hintere Linsenfläche.

des Scheitelgebietes (zu einem vorübergehenden Lenticonus ant.) gedeutet; (TSCHERNINGs Veröffentlichung siehe A. CRZELITZER). Doch hat A. GULLSTRAND (a) diese Bewertung scharf abgelehnt. Weiter ist hier die Arbeit eines englischen Optikers E. F. FINCHAM (a) zu nennen. Bei Beobachtung der Spiegelbilder an den Linsenflächen zweier 19jähriger bei 9 dptr fand er im Scheitel folgende Krümmungshalbmesser bei verschiedenen Akkommodationsbeträgen (s. untenstehende Tabelle):

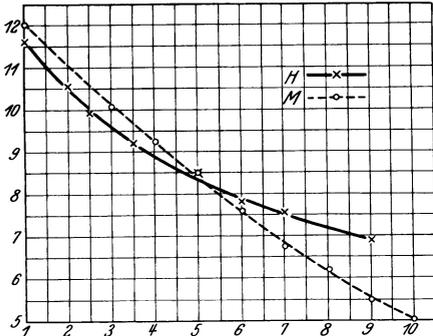
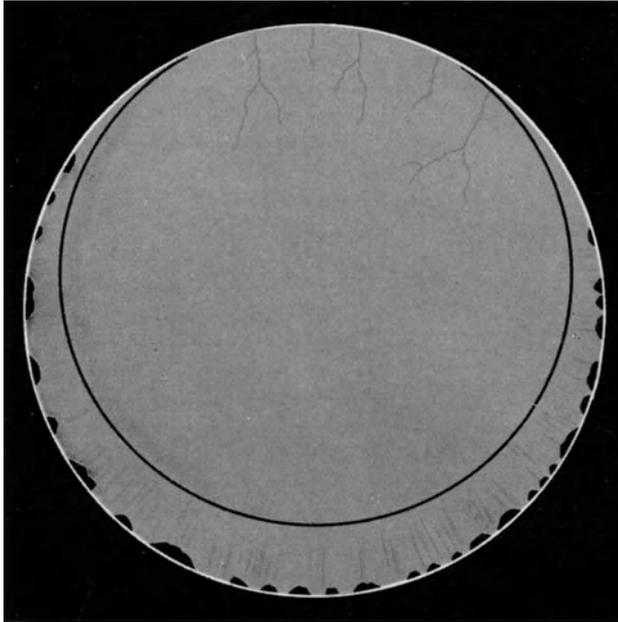


Abb. 190. Die Änderung des Krümmungshalbmessers der Linsenvorderfläche bei der Akkommodation. Die Ordinaten bedeuten Halbmesserslängen in Millimetern, die Abszissen Akkommodationsbeträge in Dioptrien. Die Zeichnung beruht auf den Messungsergebnissen an zwei 19jährigen Leuten H. und M. (Nach E. F. FINCHAM.)

Das Kurvenbild (Abb. 190) gibt eine gute Anschauung von der Verschiedenheit der Krümmungsänderung in den beiden Augen bei der Akkommodation, während der Anblick der PURKINJE-SANSONSchen Bildchen in Abb. 186 und 187 zu sehen ist. Die Verschiedenheit spricht sich auch in der Form der Linsenfläche außerhalb des Scheitels aus, wie er an Hand der PURKINJE-SANSONSchen Spiegelbildchen nachgewiesen wurde.

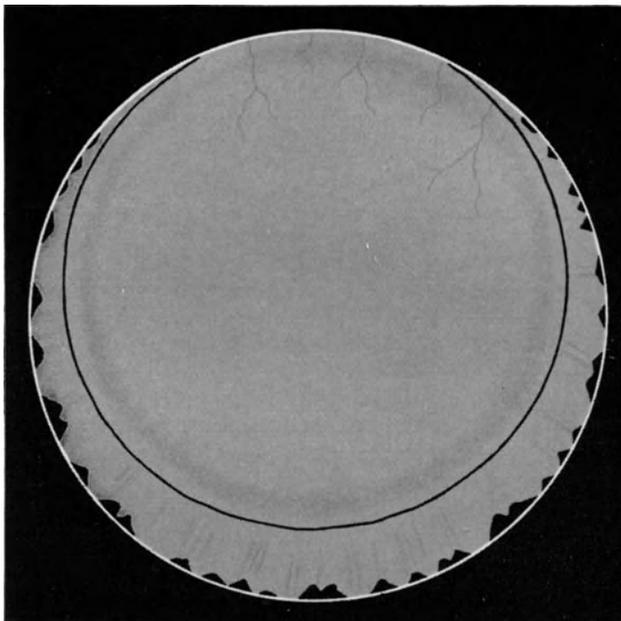
Akkommodation in Dioptrien	Halbmesser der Linsenoberfläche	
	Auge H.	Auge M.
bis zu 1 dptr (Erschlaffung)	11,62 mm	12,0 mm
„ „ 2 dptr	10,58 mm	—
„ „ 2,5 dptr	9,90 mm	—
„ „ 3 dptr	—	10,06 mm
„ „ 3,5 dptr	9,19 mm	—
„ „ 4 dptr	—	9,2 mm
„ „ 5 dptr	8,50 mm	8,5 mm
„ „ 6 dptr	7,80 mm	7,6 mm
„ „ 7 dptr	7,55 mm	—
„ „ 8 dptr	—	6,2 mm
„ „ 9 dptr	6,90 mm	5,5 mm
„ „ 10 dptr	—	5,0 mm
Halbmesser der Hornhautvorderfläche	7,74 mm	7,6 mm
Scheinbare Tiefe der Vorderkammer	3,15 mm	2,8 mm
Wahre Tiefe	3,68 mm	3,3 mm

Stammen diese Feststellungen von lebenden, gesunden Augen, so lassen sich weitere Einblicke in das Verhalten des *Linsenrandes*, der Zonulafasern und der *Ciliarkörperfortsätze* nur bei vollständigem oder unvollständigem (angeborenem oder erworbenem) Verlust der Regenbogenhaut oder bei Albinos gewinnen (HJORT, COCCIUS, WEBER u. a.) oder bei albinotischen (SATTLER, BÄUERLEIN). Der Linsenrand ist bei Akkommodationsruhe feinwellig gekerbt. Bei Akkommodationsstätigkeit insbesondere unter Eserinwirkung verläuft der Rand mehr in der Kreisform und stetiger; auch glätten sich unter Eserin die vorher bestehenden zeltartigen Erhebungen der vorderen Linsenkapsel am Ansatz der Zonulafasern. A. S. BROWN, D. CATTANEA, HESS (k) sahen, wie UHTHOFF bei der Akkommodationstätigkeit den Ciliarkörperfortsatz sich hornhaut- und achsenwärts verschieben (s. Abb. 191 und 192). Doch fand sich dieser Vorgang nicht in jedem Auge. Im Sinne von HELMHOLTZ und HESS sind die zwei neuen Beobachtungen von J. B. STORY über Eserinwirkung bei Aniridie ausgefallen.



In Ruhe.

Abb. 191. Linsenrand und Ciliarfortsatz eines 7jährigen, ohne Regenbogenhaut geborenen Mädchens in Akkommodationsruhe.



Nach Eserin.

Abb. 192. Bei Akkommodationstätigkeit unter Eserinwirkung (14 dptr). (Nach W. UHTHOFF.)

Nach HESS nähern sich bei älteren Leuten die Ciliarfortsätze unter der Wirkung des Eserins dem Linsenrand, was er bei jugendlichen Menschen oft vermißte. Sogar das Gegenteil soll man in albinotischen Augen beobachtet haben (nach HESS [k, S. 149]). Im Gegensatz zu SCHOENS und TSCHERNINGS

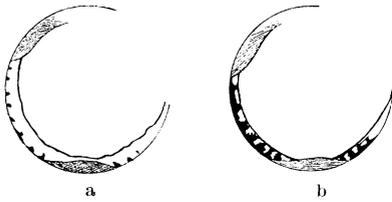


Abb. 193. Die Ciliarfortsätze und der Linsenrand eines Auges, an dem mehrere Iridektomien gemacht worden waren. a unter der Wirkung von Atropin, b von Eserin. (Nach C. HESS.)

Darstellungen schieben sie sich nach HESS vor die Ebene des Linsenäquators. Die Zonulafasern sah er unter der Wirkung des Eserins zuweilen undeutlicher, wie verwaschen.

Waren die für die Akkommodation wichtigen Teile dieser Augen kaum beeinträchtigt, so ist die Tätigkeit des Ciliarmuskels am lebenden und völlig unversehrten Auge nicht beobachtet worden. Wichtige histologische Befunde stammen von G. RETZIUS, A. IWANOFF (s. Abb. 181), E. FUCHS

u. a. (s. a. EISLER, Bd. 1, S. 71). *Tierversuche von HENSEN und VÖLKERS* haben weitergeholfen. Je eine feine Nadel wurde durch die Lederhaut in der Gegend des Ciliarkörpers, des Äquators und in der Gegend des gelben Fleckes eingestochen. Bei elektrischer Reizung des Auges bewegte sich nur die Nadel im

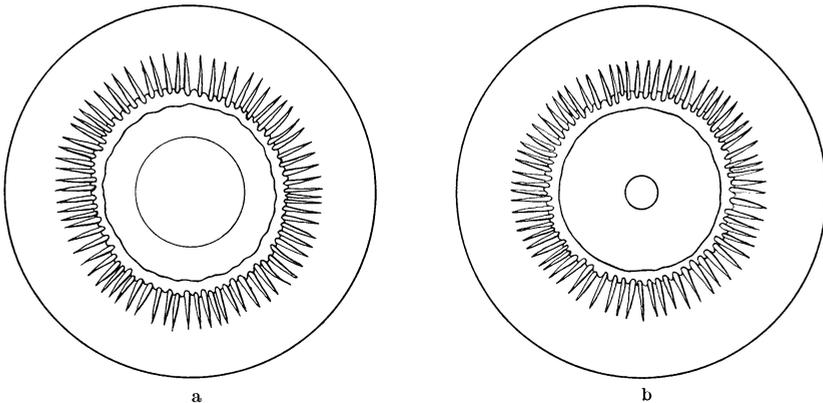


Abb. 194. Die Vorderabschnitte eines unter a Atropinwirkung, b Eserinwirkung stehenden Auges vom Glaskörper aus gesehen. (Nach C. HESS.)

Äquator, eine Verschiebung der Aderhaut nach vorn anzeigend, die anderen nicht. Am herausgenommenen überlebenden Menschaugel fiel der Versuch im gleichen Sinn aus.

Auch in einem *Fenster der Lederhaut* ist die Vorschübung der Aderhaut unmittelbar beobachtet worden.

**Untersuchungen an Tier- und überlebenden Menschaugen.** Schließlich hat HESS (h) den Vorgang der Akkommodation bei *elektrischer Reizung* am überlebenden und im Äquator halbierten Affenauge von rückwärts her unmittelbar verfolgt. Einige Forscher haben sich bemüht, den Ciliarmuskel und die Linse in den beiden Grenzlagen, nämlich in Akkommodationsruhe und in äußerster Akkommodationsänderung festzuhalten. Das ist L. HEINE an Affenaugen, C. HESS mehrfach am Menschaugel gelungen. Kurz vor dem Tod ist Atropin in das eine Auge, Eserin in das andere eingeträufelt worden, und die aus der Leiche entnommenen Augen wurden sogleich in Formol gehärtet. L. HEINE gewann Feinschnitte durch den Ciliarkörper, die einen sehr ausgeprägten Unterschied

zwischen dem ruhenden und tätigen Ciliarmuskel beweisen [Abbildungen bei HELMHOLTZ (e), Bd. I, S. 344]. Mit dem Zeichenapparat hat HESS den Anblick, den der vordere Augenabschnitt vom Glaskörper aus darbieten würde, festhalten lassen (Abb. 194 u. 195).

Am lebenden, aber nicht mehr unversehrten, wenn auch nicht mehr gerade kranken, Auge hat B. GRAVES an der Spaltlampe eine sehr anziehende Beobachtung gemacht, die beweist, daß diese Linsenkapsel von Zug freigegeben wurde, wenn der Ciliarmuskel in Tätigkeit trat, daß sie hingegen unter Spannung stand, wenn der Ciliarmuskel ruhte. Seine Bilder (Abb. 196—198) zeigen das in sehr anschaulicher Weise. Für gewöhnlich bildeten die vordere und die hintere (Abb. 196) Wand des leeren Kapselsackes, dessen Inhalt sich nach einer ganz feinen Verletzung völlig aufgesaugt hatte, zwei dünne, klare, nicht ganz aneinander liegende Blätter, deren vorderes ziemlich regelmäßig erhaben, deren hinteres wellig war. Ihr gegenseitiger Abstand war leichten Veränderungen unterworfen.

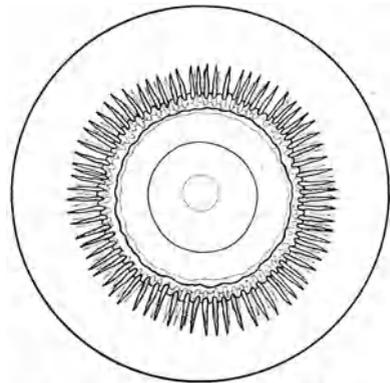


Abb. 195. Übereinander gezeichnete Umrisse des Eserin- und des Atropinauges. Nach CRITISS.

Beim Blick in die Ferne wurden beide Blätter straffer, eben und parallel, besonders wenn ein Mittel zur Lähmung des Ciliarmuskels gegeben wurde. Bei Akkommodationsanstrengung (Abb. 197) und besonders bei beginnender Eserinwirkung (Abb. 198) wurden beide Blätter locker, das hintere faltete sich und trat zurück. Abb. 197 zeigt auch eine fast faltenlose geringe Vorwölbung des vorderen.

Gegen diese Beobachtungen kann eingewendet werden, daß es sich nicht um eine unversehrte, sondern eine erheblich veränderte Akkommodationseinstellung

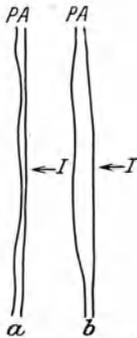


Abb. 196. a Der leere Kapselsack beim Blick in die Ferne. „Schnitt“ an der Spaltlampe; Licht von I her. b Atropineinträufelung strafft die Kapsel noch mehr. Kapsel beim Nahsehen. (Nach B. GRAVES.)



Abb. 197. Beim Nahsehen faltet sich die Kapsel vorn weniger, hinten mehr. Die beiden sonst nahe benachbarten Blätter trennen sich, das hintere weicht zurück. (Nach B. GRAVES.)

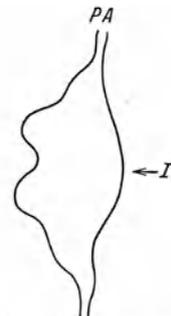


Abb. 198. Unter der Wirkung eines Tropfens einer 1/100igen Eserinlösung faltet sich die Kapsel, besonders die hintere, stark und tritt zurück, die vordere ist vorgewölbt. (Nach B. GRAVES.)

handelt. Zweifellos sind die Ansatzpunkte der Zonulafasern verschoben. Ferner wird sich zunächst nach der Entleerung der Linse die Spannung der Zonulafasern und der Kapsel vermindert haben, und danach eine Schrumpfung beider Teile erfolgt sein, wie man das an überreifen Staren und am Verhalten der Kapsel nach der Staroperation unmittelbar verfolgen kann. Gleichwohl wird man nicht ablehnen können, daß sich die Richtung des Zuges, den der Ciliarmuskel bei

einer Zusammenziehung und beim Nachlassen auf die Zonula ausübt, darin zu erkennen gibt.

An Linsen mit Startrübungen hat STANKA ähnlich wie der Verfasser und A. GALA Teilchen (KLAINGUTI Vakuolen) unter dem Einfluß der Akkommodationsanstrengung ihren Ort wechseln sehen.

Zu den Untersuchungen am überlebenden Auge gehören auch die Feststellungen, die man an den operativ *aus dem Auge herausgenommenen Linsen* hat machen können. Frische Linsen zeigen sich zweifellos elastisch, worauf schon 1853 HELMHOLTZ (a) aufmerksam gemacht hat. „Obgleich sie einer äußeren Kraft leicht nachgeben, nehmen sie doch ihre frühere Form nachher offenbar vollständig wieder an“. Eine gewisse Elastizität muß der Linsenkapsel zukommen; wäre sie ganz unelastisch, so müßten bei geringer Formänderung Falten entstehen. Auch der Kapselinhalt könnte eigene Elastizität besitzen, doch ist diese sicher sehr gering und an verschiedenen Stellen verschieden groß. Die äußersten Linsenschichten sind sehr weich, mehr schleimig als gallertig, und haben kein Bestreben, Eigenform anzunehmen (s. a. HELMHOLTZ). Auch bleibt die Linsenform mindestens an ihrer Vorderfläche einigermaßen erhalten, auch dann wenn der Inhalt sicher nicht elastisch ist. Das zeigen die Fälle deutlich, wo sich bei der Eröffnung der Linsenkapsel im Verlauf einer Staroperation sogleich flüssiger Inhalt im Strom entleert. Doch sollte man die Bedeutung auch ganz geringer Grade von Elastizität nicht unterschätzen, vielmehr bedenken, daß die Elastizität im lebenden Auge, wo die Linse fast ringsum von Flüssigkeit umgeben ist, so gut wie gar nicht gegen die Schwere zu arbeiten braucht, wie es der Fall ist, wenn wir die ihrer Kapsel beraubte Linse in Luft auf einer festen Unterlage vor uns haben. Genauere Untersuchungen über die elastische Eigenschaft der Linse und der Zonula sind erwünscht, um so mehr als die Bedeutung der Elastizität von TSCHERNING und seinen Anhängern bestritten wird. Linsen mit verflüssigtem Inhalt, die operativ mit unverletzter Kapsel aus dem Auge entfernt wurden, zeigten Eigenschaften wie ein Gummiball, woraus sogar auf eine beträchtliche Elastizität der Kapsel zu schließen ist.

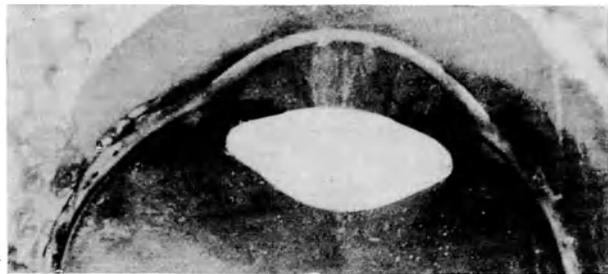
An frischen Leichenaugen hat man sich davon überzeugt, daß die Linse bei der Durchtrennung der Zonula ihre Form ändert (HEINE [b], HOLTH, DALÉN). Doch wird diesen Beobachtungen von mancher Seite jede Beweiskraft abgesprochen. Die Genauigkeit der Ergebnisse kann jedenfalls nicht groß sein.

Die **histologische Untersuchung von Linsen-Schnitten**, die nach der üblichen Härtung und Einbettung gewonnen sind, ist für die vorliegende Frage wertlos, da die natürliche Form durch die Vorbehandlung viel zu grob verändert wird. A. v. PFLUGK (a) hat daher, um die Form beim Schneiden zu erhalten, ganze Augen mit flüssiger Kohlensäure rasch gefrieren lassen und sie dann auf dem Gefriermikrotom geschnitten. Auf die Schnitte selbst konnte er verzichten, da sich auf der Schnittfläche des Blocks verschiedene Gewebe auch ohne künstliche Färbung sehr gut voneinander unterscheiden. Insbesondere die Linse hebt sich, ganz undurchsichtig kalkigweiß oder gelblich geworden, am auffälligsten von ihrer Umgebung ab. Die Lichtbilddaufnahme einer Schnittfläche des Blockes hält die Form des gefrorenen Auges in voller Treue fest (Abb. 197). Ob aber diese Form dem Zustand vor dem Gefrieren gleichkommt, das ist im Hinblick auf die Volumvermehrung um  $\frac{1}{9}$ , die das Wasser beim Gefrieren erfährt und im Zusammenhang mit der Tatsache, daß es sich um keinen gleichmäßigen Stoff handelt, den man gefrieren läßt, von vornherein zweifelhaft. Man hat die Beweiskraft auch solcher Versuche nicht sehr hoch eingeschätzt, da die Einwirkung der sich beim Gefrieren entwickelnden Kräfte nicht überblickt werden kann (GULLSTRAND). Davon, daß man sehr große Formenveränderung beim Gefrieren von Linsen erhalten kann, hat sich der Verfasser überzeugt. Läßt man eine

Linse, mit der Fläche aufliegend, langsam von unten gefrieren, so kann man auf der Oberseite eine stark ausgesprochene conusartige Vorwölbung hervorbringen. Indessen legt von PFLUGK auf möglichst rasches Durchfrieren Wert, wodurch sicher manche Störungen vermieden werden. Solchen Einwänden jedoch, wie sie vor allem F. FISCHER erhoben hat, der bei seinen Gefrierversuchen fand, daß sich zufällige Formänderungen der Linse einstellen können, ist aber doch die bemerkenswerte Tatsache entgegenzuhalten, daß bei den sehr zahlreichen Untersuchungen von PFLUGKS (a, b) die Linse eines kräftig mit Eserin vorbehandelten, also akkommodierenden Auges in den allermeisten Fällen eine ganz andere Form darbot als die auf die gleiche Weise zum Gefrieren gebrachte Linse des vorher mit Atropin versehenen. SCHNEIDER hat in Kopenhagen Neugeborenen-Augen unter Eserinwirkung gebracht und einen deutlichen Lenticonus anterior und eine Abflachung der Kammer gesehen.



a



b

## 2. Die Deutung der Beobachtungen.

### a) Der extrakapsuläre Akkommodationsmechanismus.

In der Hauptsache stehen zwei Ansichten einander gegenüber, die alte HELMHOLTZsche und die TSCHERNINGSche. Hat die erste am meisten Zustimmung erfahren, so fehlt es ihr auch heute nicht an Gegnern.

HELMHOLTZ (b, S. 71) hat seine Ansicht zweifellos vorsichtig gefaßt. „Wir müßten annehmen, daß im ruhenden Zustand des Auges beim Fernsehen die Zonula gespannt sei, und dadurch der Linse eine abgeplattete Form gebe. Erschlaffen kann die Zonula durch die Thätigkeit des Tensor chorioideae, indem dieser Muskel das hintere Ende des Ciliarkörpers, mit welchem die Zonula eng zusammenhängt, nach vorn zieht und der Linse nähert, wie dies schon Brücke aus der Ansatzweise des Muskels geschlossen hat.“ Ferner d, S. 136:

„Aus diesen Thatsachen habe ich folgende Ansicht über den Mechanismus der Accommodation hergeleitet. Die Krystalllinse ist ein elastischer Körper, der bei Entspannung der inneren Augenmuskeln durch den Zug der an ihrem Rande sich anheftenden Zonula in radialer Richtung gedehnt und daher in Richtung ihrer Symmetrieaxe etwas zusammengezogen ist. Die Elasticität der Linse wird hauptsächlich ihrer Kapselmembran zu verdanken sein, denn wenn die Kapsel abgestreift ist, zeigen die oberflächlichen Schichten der Linse mehr eine schleimige als eine gallertige Consistenz. Sie haben keine Spur von dem Bestreben ihre Form gegen äußere Kraft zu behaupten, oder nach Änderung der Form in die frühere Form zurückzukehren. Daß aber die von der Kapsel

Abb. 199. Schnittflächen eines Paares gefrorener Affenaugen. Das eine, b, war vor dem Gefrieren der Wirkung von Eserin ausgesetzt worden. (Nach A. v. PFLUGK.)

umschlossene Linse elastisch ist, und daß der Zug der Zonula genügt, sichtbare Formveränderungen hervorzubringen, läßt sich an toten, nicht zu alten menschlichen und thierischen Augen zeigen, wenn man von vorn her Linse und Zonula freilegt und dann vorsichtig mit zwei feinen Pinzetten die Zonula an entgegengesetzten Seiten der Linse fassend einen Zug ausübt. Man sieht dabei die Linse sich in Richtung des Zuges verlängern und wieder in ihre Kreisform zurückkehren, sobald der Zug nachläßt.

Im unverletzten Zustande ist die Zonula an ihrem äußeren Rande ziemlich fest mit den niedrig auslaufenden Firsten der Ciliarfortsätze und dadurch mit der Aderhaut verbunden, so daß Linse, Zonula und Aderhaut eine vollständig geschlossene vom Glaskörper prall ausgefüllte Kapsel bilden. Der Druck der Flüssigkeit wird die Spannung der genannten Teile unterhalten müssen.

Die in Richtung der Meridiane des Auges verlaufenden Radialfasern des Ciliarmuskels, welche am hinteren Ende der Ciliarfortsätze im Gewebe der Aderhaut endigen, werden bei ihrer Zusammenziehung das dort mit der Aderhaut und Glashaut fest verbundene hintere Ende der Zonula nach vorn ziehen und

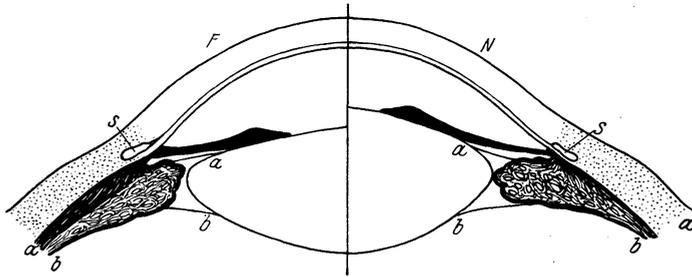


Abb. 200. Akkommodationseinrichtung des Auges, links in Ruhe, rechts in Tätigkeit. (Nach HELMHOLTZ.)

dadurch die Spannung der Zonula und ihren Zug gegen die Peripherie der Linse aufheben müssen, so daß in Folge davon die Linse in Richtung ihrer Durchmesser sich zusammenziehen, in Richtung ihrer Axe verdicken wird. Dadurch wird auch nothwendig die Wölbung ihrer beiden Flächen vergrößert werden.“

Man hat auf HELMHOLTZENS Ansicht fußend, daß Linse, Zonula und Aderhaut den Glaskörper völlig umschließen, die Akkommodation mit Veränderungen des Glaskörperdruckes einhergehen lassen. HESS und HEINE haben bei Tierversuchen gefunden, daß *kein Druckunterschied zwischen Vorderkammer und Glaskörperraum* während der Akkommodation besteht. Ferner findet auch *keine Änderung des Gesamtbinnendruckes* statt, da TH. BEER am Affenauge mit hinten gefensterter Lederhaut und später HEINE am eröffneten Menschenauge die Vorwölbung der Linse bei Ciliarmuskeltätigkeit beobachtet haben<sup>1</sup>.

Der Hauptpunkt der HELMHOLTZISCHEN Erklärung, die Krümmungszunahme der Linse bei der Muskeltätigkeit erfolge durch Nachlassen der Zonulaspannung, wird durch die Feststellung der Linsenlockerung bei großer Akkommodationsanstrengung bewiesen, was TSCHERNING nicht anerkennt, indem er die Lockerung anders zu erklären sucht.

Im Gegensatz zu HELMHOLTZ huldigt TSCHERNING der Ansicht, die Spannungsvermehrung der Zonula durch den Ciliarmuskelzug sei die Ursache der Wölbungszunahme im Scheitel. M. TSCHERNING faßt 1909 (nach der Übersetzung von THOREY S. 2) seine Ansichten kurz folgendermaßen zusammen: „Ich nehme an, daß dem

<sup>1</sup> Bei den Messungen von J. DEMETRIADES, der den Binnendruck während der Nahaufstellung etwas erhöht findet, wird es schwer sein, eine Drucksteigerung durch die Wirkung der äußeren Augenmuskeln während der Konvergenz auszuschließen (G. TESSIER).

Ciliarmuskel eine zweifache Wirkungsweise zukommt. Er spannt die Zonulafasern und zieht gleichzeitig das hintere Ende der Ciliarkapsel, sowie den vorderen Teil der Aderhaut nach vorn (nach innen). Der peripherische Teil des Glaskörpers, der innig damit zusammenhängt, macht die Bewegung mit und übt einen Druck auf den peripherischen Teil der Hinterfläche der Linse aus. Infolge der Kompression des peripherischen Linsenteiles wölbt sich der mittlere Teil der Linse hervor, wie es jeder Körper macht, dessen Ränder zusammengedrückt werden, sofern er überhaupt einer Formänderung fähig ist.“

Die von der TSCHERNINGSchen Schule ins Feld geführte Beobachtung zweier entgegengesetzter Spiegelbilder an der hinteren Linsenfläche, die W. P. C. ZEEMAN als Ausdruck eines in der Peripherie liegenden, nach vorn erhabenen Gürtels oder einer Rinne in der Hinterfläche der akkommodierenden Linse im Sinne eines hinteren Lenticonus deutet, ist von GULLSTRAND abgewiesen worden.

In der Zwischenzeit hat nur A. v. PFLUGK an Affen eine solche Beobachtung mitgeteilt. Die Spiegelbilder werden, je weiter seitlich die Beobachtung gerichtet ist, immer schlechter, weil die Hornhaut in sehr schräger Richtung von den Strahlen durchsetzt wird. Verhielte sich die Sache aber nicht nur in Ausnahmefällen so, wie ZEEMAN meint, so sollte das bei den Untersuchungen mit der Spaltlampe gelegentlich auffallen und bekannt werden. Hat man in einzelnen Fällen doch Verbiegungen der inneren Linsenschichten beobachtet<sup>1</sup>.

NORDENSON kann auf Grund seiner Messungen die TSCHERNINGSche Behauptung ablehnen, daß die vordere Linsenfläche eine Krümmungszunahme in der mittleren und eine Abflachung in den Seitenteilen erfahre, und daß sich die gleichen Veränderungen in geringerem Umfang an der hinteren Fläche abspielen. Er fand jedenfalls (s. o.) eine Krümmungszunahme sowohl in der Mitte als in den Seitenteilen. Die Flächenkrümmung ist allerdings in der Mitte stärker als in den Seitenteilen, sowohl im ruhenden wie im akkommodierenden Auge. Im übrigen besteht anscheinend ein erheblicher Unterschied in der Flächenkrümmung bei verschiedenen Menschen. FINCHAMs Messungen zeigen z. B., daß von zwei gleich alten Leuten gleicher Refraktion von 4 dptr Akkommodation an der eine pro Dioptrie mit einer geringeren Krümmungszunahme der Linsenvorderfläche auskommt als der andere. Dem entsprechen Unterschiede in der Kammertiefe bei der Akkommodation.

Später (S. 4) heißt es bei TSCHERNING: „Die Wirkung ist nicht durch Zunahme des Druckes im Glaskörper bedingt, sondern durch ein Vorrücken seiner peripherischen Teile.“ Das wäre möglich, da der Glaskörper bei jugendlichen Menschen keineswegs eine Flüssigkeit sei. Darauf greift auch J. STILLING bei seiner Theorie zurück. Wir wollen hier TSCHERNINGs und seiner Anhänger Einwände im einzelnen nicht wiedergeben und verweisen vor allem auf seine eigenen Darstellungen und auf die neuere Zusammenfassung von LUEDDE (g).

W. H. LUEDDE bezweifelt die Deutung der Versuche von V. HENSEN und C. VÖLCKERS, daß der Ursprung des Ciliarkörpers Lig. pectinatum in Ruhe bleibt, das hintere Ende jedoch bei der Tätigkeit des Muskels vorrückt, und nimmt vielmehr den Versuch für eine Bewegung des Glaskörpers nach vorne

<sup>1</sup> Bei allen Untersuchungen über die Form der Linsenfläche und ihre Veränderungen müssen die Messungen am unveränderten lebenden Auge grundsätzlich als das Wertvollste gelten, da dann alle störenden Einwirkungen, die beim herausgenommenen oder eröffneten Auge durch äußerst geringe Kraft möglich sind und leicht zu Täuschungen führen können, vermieden werden. Schwierigkeiten ergeben sich dann von einer andern Seite her, nämlich dadurch, daß die vor der Linse liegenden Teile der Flächenfolge, die Hornhaut, selbst wieder eine zunächst eine unbekannte Größe ist, deren Wirkung zu berücksichtigen ist. Diese Schwierigkeiten hat NORDENSON überwunden. Die Beobachtungen nach dem Vorgang von ZEEMAN leiden unter der Entstellung, die das Bild beim schiefen Durchblick durch die Hornhaut erfährt.

in Anspruch, die dem Gegner der HELMHOLTZischen Auffassung vom Akkommodationsvorgang aus vergleichend-anatomisch-physiologischen Gründen annehmbar erscheint. W. H. LUEDDE (a—h) glaubt an Glaskörpermitwirkung, weil Eserin subluxierte Linsen weiter in der Richtung der Luxation verschiebt.

Von einem unmittelbaren Druck der Iris auf die Linse als Mithilfe bei Krümmungsänderung wird man sich nicht überzeugen lassen, wenn man die schwammig lockere Beschaffenheit und Dehnbarkeit der Iris im lebenden Menschengewebe von operativen Eingriffen her kennt. Immerhin sind wir wohl auch noch gar nicht über die Größe der bei der Akkommodation an den einzelnen Gewebsstellen wirkenden Kräfte unterrichtet. Der Ciliarkörper dürfte für eine solche unmittelbare Einwirkung ebenfalls nicht in Frage kommen. Wenn der gesunde Glaskörper auch eine gewisse Festigkeit besitzt, so wird man ihm bei der Akkommodation, solange als Akkommodationspareesen durch Glaskörperverflüssigung nicht bekannt sind, keine wesentliche Rolle zuerkennen können, es sei denn, daß die Grenzgewebe des Glaskörpers bei dieser Schädigung nicht betroffen würden.

Einen wesentlichen Streitpunkt bildet die Anatomie des Ciliarkörpers und der Zonula wie ihre Bewegungsweise bei der Muskeltätigkeit, dessen beide Portionen, der BRÜCKESche und der MÜLLERSche Ringmuskel nach HESS im gleichen Sinn wirken. Es sei gewagt, meint TSCHERNING weiter, der Linse eine besondere Art von Elastizität zuzuschreiben, vermögen deren gewisse Teile sich vorwölben, andere dagegen sich abflachen sollten. Eine solche ungleichmäßige Verteilung der durch die Elastizität der Kapsel ausgeübte Kraft nimmt FINCHAM (b, c) sowie W. H. LUEDDE (e) in Anspruch, indem er auf die verschiedene Dicke der Kapsel und auf den Zusammenhang hinweist, der zwischen dieser Kapselbeschaffenheit und der Akkommodationsform der Linse bei verschiedenen Tieren bestehe. Hiergegen ist wieder der Einwand möglich, daß die Dicke noch nicht der Elastizitätsgröße proportional zu sein braucht. Zweifellos wäre Messung des Elastizitätskoeffizienten der in Betracht kommenden Mittel wertvoll<sup>1</sup>, insbesondere der Linsenkapsel und der Zonulafasern (Zur Aderhaut s. STREBEL, STREULI).

A. DUANE (g) macht darauf aufmerksam, daß man vom physiologischen Standpunkt aus urteilend, der HELMHOLTZischen Theorie zuneige, während die Übereinstimmung der Kurven, die das Absinken der Akkommodationsbreite bei einem Menschen mittleren Alters und bei einem jugendlichen mit einer entsprechenden Akkommodationsschwäche darstellen, auf die TSCHERNINGSche Theorie hinweise.

Im Streit um die Wirkungsweise unserer Akkommodationseinrichtung spielt, wie erwähnt, die Art, wie die Zonulafasern verlaufen und an der Linsen- und an der Augenwand ansetzen, eine große Rolle. Trotzdem eingehende histologische Untersuchungsbefunde vorliegen, scheint es doch nicht überflüssig, auch in dieser Hinsicht weitere Forschungen heranzuziehen, bevor die Frage entschieden wird: insbesondere ist Nutzen zu erwarten von den verbesserten Beleuchtungsmitteln, die uns die letzten zwei Jahrzehnte beschert haben, von der Spaltlampe und vor allem vom Bogenlicht (A. VOGT). (S. a. CH. DEJEAN und LINDSAY-JOHNSON.)

### b) Der intrakapsuläre Akkommodationsmechanismus.

Daß der Zuwachs an Brechkraft bei der Akkommodation größer sei, als der Krümmungszunahme der Flächen allein entspricht, und mit der Flächenkrümmung zugleich auch der Totalindex der Linse größer wird, hat schon HEINE ausgesprochen. Neben dem extrakapsulären geht ein intrakapsulärer Akkommodationsmechanismus her. Die Erklärung dieses letzten hat GULLSTRAND gefunden. Mit der vermehrten Wölbung der Linsenvorderfläche wird die Linsendicke größer. Daher muß zugleich Linseninhalte aus den seitlichen Räumen

<sup>1</sup> Solche hat inzwischen A. v. PFLUGK (c) durchgeführt.

in das Achsengebiet hineinwandern, wobei die Äquatorebene besonders stark beteiligt ist und die achsennahen Teile sich mehr verschieben als die dem Rande näherliegenden. (Vgl. die Beobachtung von STANKA u. a., s. S. 690.) GULLSTRAND hat die Flächen gleicher Brechungsindices, Isoindizialflächen, unter bestimmten Annahmen (Symmetrie der aufs stärkste akkommodierenden jugendlichen Linse) berechnet. Die Form der Schnittlinien der den Brechungsindices  $n = 1,386$  bzw.  $1,404$  entsprechenden Flächen mit der senkrechten Medianebene in der ruhenden und in der akkommodierenden Linse sind (abgesehen von den Verbindungsstücken in der Äquatorgegend) von GULLSTRAND als Parabeln dargestellt. Die Verlagerung des Linseninhaltes hat ihre anatomische Begründung. Dementsprechend hat GULLSTRAND den Totalindex der akkommodierenden Linse höher angesetzt als den der ruhenden (in seinem exakten schematischen Auge mit  $1,426$ , im vereinfachten mit  $1,424$ ; die übrigen Bestimmungsstücke des akkommodierenden schematischen Auges s. S. 511).

Sowohl der intrakapsuläre Vorgang bei der Akkommodation als auch die Abweichung der Linsenfläche von der Kugelform mit stärkerer Krümmung der Polgegend bedeuten eine Ersparnis im Ausmaß der gesamten Formänderung der Linse bei der Akkommodation. Der Wert der eigentümlichen Bewegungseinrichtung, die im äußeren Akkommodationsmechanismus nach der HELMHOLTZSchen Deutung mit Hilfe von drei verschiedenen Kräften arbeitet, beruht nach GULLSTRAND darauf, daß das empfindliche Gebilde dadurch vor übermäßiger Beanspruchung geschützt wird.

LEIRI und E. P. FORTIN neigen extralentalen Akkommodationseinrichtungen zu.

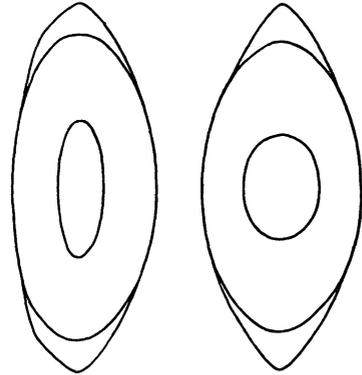


Abb. 201. Die Schnittlinien der Flächen gleicher Brechungsindices ( $n = 1,386$  und  $1,404$ ) mit einer senkrechten Achsenebene, einer ruhenden und einer akkommodierenden Linse. (Nach A. GULLSTRAND.)

### 3. Die Nervenversorgung.

Die Tätigkeit des M. ciliaris steht unter der Herrschaft des N. oculomotorius. Neuerdings hat sich F. POOS auf Grund eingehender Untersuchungen für eine der Pupillenversorgung entsprechende, eigenartige Beteiligung des N. sympathicus an der Akkommodationstätigkeit eingesetzt, womit ältere Anschauungen von J. P. MORAT und M. DOYON neu aufgenommen werden [A. HUDELO, N. BLATT (d), C. HESS (h, 275), TUINZIG, L. HEINE, TH. HENDERSON (b)].

Hat man zunächst lediglich den physikalisch-optischen Erfolg eines Bewegungsvorganges am Auge betrachtet durch die Bestimmung des *physikalischen* oder *manifesten Nahpunktes* ohne Rücksicht auf die Größe der angewendeten Muskelleistung als solcher, so wird von C. HESS erwogen, auch die größte Muskelleistung durch einen *physiologischen* oder *latenten Nahpunkt* zu kennzeichnen. Eine bestimmte Ciliarmuskelanstrengung erzielt durchaus nicht immer einen bestimmten Akkommodationsbetrag, weil es von der Schmiegsamkeit oder Starrheit der Linse abhängt, ob und mit wieviel Krümmungszunahme sie einer gewissen Erschlaffung der Zonula nachgibt oder nicht. Da die Linse mit zunehmendem Alter von innen heraus immer härter wird, so braucht die oben erwähnte Abnahme der Akkommodationsbreite mit dem Alter keine Schwäche der Ciliarmuskelleistung zu bedeuten<sup>1</sup>. Man wird ferner, was im Hinblick auf den

<sup>1</sup> Auch beweisen ja die an der Spaltlampe beobachteten Verschiebungen von Trübungs- teilchen in der Linse, daß der Ciliarmuskel noch in einem hohen Alter arbeitet.

Akkommodationsvorgang nicht verwunderlich ist, eine Parese des Ciliarmuskels, wenn sie einen gewissen Betrag nicht überschreitet, an der Verminderung der Akkommodationsbreite gar nicht zu erkennen brauchen. Denn ob der aufgewandte Nervenreiz, der die erforderliche Muskelzusammenziehung bis zur gewünschten Einstellung hervorruft, die gewohnte Größe hatte oder ob er wie in diesem Fall hat verstärkt werden müssen, das kommt im Maß der erzielten Einstellungsänderung gar nicht zum Ausdruck.

Diese Anschauung widerspricht der von DONDERS gehegten durchaus, doch scheint sie zuzutreffen. Nach H. FLIERINGAS und J. VAN DER HOEVES Untersuchungen hat sich die Verkürzungsfähigkeit des Muskels mit der Einstellung des Auges auf den Nahpunkt nicht erschöpft. Es gibt eine latente Akkommodationsbewegung des Ciliarmuskels. H. FLIERINGA meint, daß annähernd jeder Dioptrie Brechkraftvermehrung eine gewisse Muskelverkürzung entspreche, und mißt diese in *Myodioptrien*. Diese Einheit soll für jeden Menschen eine feste Größe sein, denn FLIERINGA hat während einer Parese des Ciliarmuskels die relative Akkommodationsbreite bei jeder Konvergenz um den gleichen Betrag verkleinert gefunden. An dieser Verminderung und besonders an dem Hinausrücken des relativen Nahpunktes hat er auch ganz leichte Paresen des Muskels nachweisen können, die sich an der absoluten Akkommodationsbreite in keiner Weise bemerkbar machen (A. FILETTI). Siehe dazu auch ROELOFS und SCHOUTES Betrachtungen.

## B. Die Störungen der Akkommodation.

### 1. Die übermäßige Tätigkeit der Akkommodation.

**Der Akkommodationskrampf.** Es kommt vor, daß die Refraktion eines Auges, nach dem DONDERSISCHEN Verfahren bestimmt, dem kurzsichtigen Ende der Refraktionsreihe näher liegt, als wenn die Bestimmung unter Lähmung der Akkommodation erfolgt. Diese Erscheinung kann sich bei allen Refraktionszuständen finden, am häufigsten jedoch bei jugendlichen Übersichtigen (A. D. PRANGEN, G. LEPLAT).

Bei Emmetropen wird dann eine Kurzsichtigkeit vorgetäuscht, bei Kurzsichtigkeit ein stärkerer Grad, als er tatsächlich vorliegt, und Übersichtigkeit vermindert, verdeckt oder in scheinbare Kurzsichtigkeit verwandelt. Das Fernsehen kann gelegentlich dadurch so verschlechtert werden, daß man tatsächlich emmetropische Schulkinder deshalb dem Augenarzt wegen Kurzsichtigkeit zuführt. Sie nehmen sich bei der Untersuchung auch aus wie Kurzsichtige, indem sie zunächst nur mit einem Zerstreungsglas gute Sehschärfe für die Ferne zeigen. Doch wird das Sehvermögen sehr oft durch ein danach vorgesetztes Glas von 0 dptr oder durch das leere Prüfgestell ebensoweit gehoben. Ja die Kinder nehmen manchmal alsbald auch ein Sammelglas für die Ferne an. Gelegentlich allerdings kommt man erst mit Atropinanwendung zu diesem Ziel. Man hat, offenbar im Hinblick auf die Unzweckmäßigkeit und Hartnäckigkeit dieser Muskeltätigkeit, den Zustand als Akkommodationskrampf bezeichnet. Jedoch hat sich besonders C. HESS nachdrücklich dagegen gewendet mit der Begründung, daß es sich mit ganz wenig Ausnahmen gar nicht um einen Krampf handeln könne; denn das Auge habe dabei die Fähigkeit feinsten Abstufung seiner Akkommodation durchaus nicht verloren, während eben die ungewollte starke Tätigkeit und der Verlust der sicheren Beherrschung des befallenen Muskels den Krampf kennzeichnen. Auch sei — was für einen Krampf auch nicht die Regel bilde — der Zustand ja doppelseitig. Schließlich bestehe die physiologische Verbindung mit der Konvergenz weiter. Es findet sich meist kein Einwärtsschielen. Der Betrag der beanstandeten Akkommodation

ist eben auch kaum je der ganzen Akkommodationsbreite gleich. In noch höherem Grad als bei Kurzsichtigkeit und Rechtsichtigkeit gilt der Einspruch gegen die Bezeichnung Krampf im Fall der Übersichtigkeit. Denn hier ist eine Akkommodationsanspannung von einem bestimmtem Betrag ja eine zweckmäßige Leistung, die zunächst wohl meist dem deutlichen Sehen für die Ferne dient, während ein Krampf durchaus nicht im Dienst einer bestimmten Aufgabe stünde. Haben wir nun hier beim Hyperopen den Hinweis auf einen Ursprung oder eine Erklärung für das Zustandekommen der Muskelanspannung, nämlich das unwillkürliche oder willkürliche Bestreben, deutlich zu sehen, so gilt dies allerdings für die beiden anderen Refraktionen nicht.

Vielfach werden starke Anforderungen an das Sehen durch angestrengte Naharbeit von langer Dauer, vielleicht ohne genügende Pausen bei großer Feinheit der dabei verlangten Unterscheidungen und bei schlechter Beleuchtung, als Ursache angegeben; in der Mehrzahl scheinen jedoch die Befallenen Menschen, besonders Kinder, mit allzuleicht zu erschütterndem Nervenspiel zu sein, selten Leute mit gesunden Nerven.

Wenn man gegen die Auffassung der Zweckmäßigkeit des Akkommodierens Hyperopischer die an sich nicht zu bestreitende Tatsache hervorgehoben hat, daß sich die Anspannung auch nach dem Vorschalten des voll ausgleichenden Sammelglases durchaus nicht immer und nicht ganz löse, und daß sie eben dann im Gegenteil unzulässig sei und als Krampf gelten müsse, so ist doch zu beachten, daß der Übersichtige beim deutlichen Sehen oft jahrelang ununterbrochen auf das Akkommodieren angewiesen war. Wenn der Übersichtige, der von Geburt an dauernd und in höherem Maß akkommodiert hat als seine Altersgenossen anderer Refraktion, durch ein geeignetes Sammelglas zwar der Notwendigkeit enthoben wird, für das Fernsehen seine Akkommodation anzuspannen, so wird er gleichwohl diese Verknüpfung, die für ihn zwischen Sehen und Akkommodieren besteht, nicht sofort und nicht völlig lösen können. Streng genommen muß man sich wundern, in welchem großen Umfang es doch noch geschieht. In einer ähnlichen Lage wäre ein Emmetrop, der etwa jahrelang Zerstreuungsgläser getragen hätte.

Diese Überlegung gilt für den Fall, daß es sich tatsächlich um eine Akkommodationsanspannung handelt. Vielfach hat man aber, besonders in früherer Zeit, eine solche angenommen, wo sie gar nicht nachgewiesen war. Auf die Quelle solcher Täuschungen hat schon HESS aufmerksam gemacht. Findet man ohne und mit Atropinanwendung verschiedene Refraktionswerte, so darf man den Unterschied nur dann auf die Akkommodation beziehen, wenn man bei der Atropinuntersuchung die Pupillenerweiterung durch Blenden unschädlich gemacht hat. Zeigen doch schon verschiedene Pupillengebiete unter Umständen recht beträchtliche Verschiedenheiten der Refraktion (s. o. S. 537). Solche können sich auch bei der Refraktionsbestimmung im aufrechten Bild geltend machen, besonders wenn man die Messung bei enger Spiegelbohrung nicht immer an derselben Pupillenstelle vornimmt. Am Parallaxenrefraktometer lassen sich diese Verhältnisse oft sehr deutlich und bequem erkennen.

Man beachte die große Abhängigkeit der Aberration des Auges von der Öffnungsweite des Bündels.

Weiter darf man einen Unterschied zwischen dem Ergebnis einer objektiven und einer subjektiven Prüfung nicht als Beweis für einen Akkommodationskrampf betrachten, wie es früher geschehen ist, weil die Refraktionen an verschiedenen Hintergrundsstellen beträchtlich voneinander abweichen können. Auch der Vergleich objektiver Prüfungen ist deshalb mit Vorsicht aufzunehmen.

Schließlich macht GULLSTRAND darauf aufmerksam, daß eine Veranlassung zum Akkommodieren in einer stark vertikalen Asymmetrie der Hornhaut gegeben

sein kann, indem ein inverser Astigmatismus durch die begleitende Pupillenverengerung beseitigt wird.

Bei Berücksichtigung der erwähnten Verhältnisse wird die Häufigkeit des wirklichen Akkommodationskrampfes außerordentlich gering, und man unterschied davon *abnorme Akkommodationsanspannung*, *Hypertonus* oder im Hinblick auf zweifellos vorhandene Beziehungen zu funktionellen Störungen am Nervensystem *hysterische Sehschwäche*. Unter 1800 untersuchten Heeresdienstpflichtigen hat PLANTENGA nur ein einziges Mal einen wirklichen Krampfzustand des Ciliarmuskels in einem gesunden Auge gesehen, verursacht durch Neurasthenie oder Hysterie (A. D. PRANGEN).

Zweifellos als *Akkommodationskrampf* ist eine solche Akkommodationsanspannung anzusehen, die in Gemeinschaft mit einer unwillkürlichen Tätigkeit des Sphincter pupillae und des Levator palpebrae superioris mit dem Zustand der Lähmung abwechselt, ein seltenes Bild, das TH. AXENFELD und SCHÜRENBERG als angeborene cyclische Oculomotoriuserkrankung beschrieben haben (s. a. E. v. HIPPEL; E. SELINGER). Als tabische Krise hat N. BLATT (e), als funktionelle Teilerkrankung bei Konvergenzkrampf hat u. a. A. BIELSCHOWSKY in der Kriegszeit den Akkommodationskrampf angetroffen. Bei einer Hyperphorie von  $5^{\circ}$  sah ihn MARLOW (s. u.); s. a. spastische Myopie S. 645 (E. REDSLOB, MARLOW, ZIEMANN). Einen Spasmus nach Neosalvarsan deutet DUPUYS-DUTEMPS als periphere Parasympathicusreizung.

Örtlich kommen im Ciliarkörper Entzündungen und Verletzungen in Frage.

Wenn Eserin in starker Lösung ( $1^{\circ}/_{6}$ ) ins Auge geträufelt wird, so löst der willkürliche Anstoß zu einer mäßigen Akkommodation wie zum Nahsehen in der üblichen Leseentfernung eine weit über das Ziel hinaus schießenden Ciliarmuskeltätigkeit mit Einstellung auf den Nahpunkt aus, die auch nicht sofort willkürlich wieder aufgegeben werden kann.

**Andere Beschwerden.** Ohne daß man imstande wäre, örtliche Veränderungen nachzuweisen, hört man gelegentlich Klagen über *Schmerzen beim Nahsehen*, die als sehr heftig geschildert werden. In vielen Fällen dürfte es sich um nervös-funktionelle Störungen handeln. Vielleicht befindet sich unter diesen Kranken auch der eine oder andere, der des Dilator iridis entbehrt, da man bei solchen durch Atropinanwendung Erleichterung von Kopfschmerzen beobachtet hat. J. GREEN und G. SLUDER hatten Erfolg durch Behandlung des Ganglion sphenopalatinum mit Phenolalkoholeinspritzung.

Bei der **Behandlung der übermäßigen Akkommodation** in ihren verschiedenen Formen ist neben der sorgfältigen Bestimmung der Refraktion und des Muskelgleichgewichts — auch der Ausgleich einer Hyperphorie kann nach MARLOW hartnäckige Akkommodationsstörungen machen — der allgemeine Zustand, insbesondere der des Nervensystems, sehr zu beachten. Die optische Versorgung der Kranken bei merklichen Brechungsfehlern ist selbstverständlich, die psychische bei der erwähnten Grundlage der Störung oft nicht minder wichtig, manchmal kommt nur sie in Frage. Sie beginnt mit einer vernünftigen, den Kräften angepaßten Begrenzung der Arbeitsleistung insgesamt und der Arbeitszeit, in die man die nötigen Ruhepausen einschalten soll. Zur optischen Seite der Behandlung gehört, zumal bei Kindern, der Hinweis auf die Wichtigkeit eines genügend großen Arbeitsabstandes, in erster Linie mit Rücksicht auf die Anforderung des beid-  
 äugigen Sehens. Es ist nicht unnötig, sich auch um die Lebensweise und die Tages-  
 einteilung außerhalb der Arbeitszeit zu kümmern. Oft genug wirken die ver-  
 ordneten schwachen Gläser mehr auf psychischem als auf dem optischen Weg.  
 Gelegentlich kommt man ohne Atropin nicht aus und beseitigt den ganzen Zustand  
 mit einer einmal verabfolgten Gabe des Mydriaticums. K. GRUNERT (b) empfiehlt  
 Pilocarpin gegen Arthenopia dolorosa, wovon auch FRIEBERG Erfolge sah.

## 2. Die Minderung der Akkommodationsbreite.

Nach der Anlage der Akkommodationseinrichtung sind zwei grundsätzlich verschiedene Arten von Störungen zu unterscheiden. Erstens kann die Fähigkeit der Linse zur Formänderung beeinträchtigt sein. Zweitens kann die Leistungsfähigkeit des Nerven-Muskelteils gelitten haben.

Ein physiologisches Beispiel für den 1. Fall bildet die Abnahme der Akkommodationsbreite mit dem Alter.

Ist der Nahpunkt im Lauf des Lebens (s. o.) so weit herausgerückt, daß nicht mehr auf die übliche und nötige Arbeitsentfernung eingestellt werden kann, oder wie DONDERS sagt (S. 78), „daß feinere Arbeiten mit nahen Gegenständen nicht länger mehr gut ausgeführt werden können“, so ist das Auge alterssichtig, presbyopisch. Wann die **Presbyopie** beginnt, die Naharbeit Emmetropischer zu stören, hängt von der Feinheit der Arbeit und von der Sehschärfe des Auges ab. Der Grobschmied wird z. B. später Schwierigkeiten verspüren als der Feinmechaniker. Die meisten unserer beruflichen Arbeiten, wie Schreiben, Lesen, Nähen usw. sind teils aus mechanischen Gründen, teils infolge ihrer Ausbildung in den leistungsfähigsten, eben den jüngeren, Lebensjahren und bei guter Sehschärfe gesunder Augen auf eine gewisse Beobachtungsentfernung, höchstens Handreichweite angelegt.

Wegen der Gleichartigkeit dieser Bedingungen sind i. a. die Arbeitsabstände nicht allzu verschieden, so daß sich die Störung durch die Abnahme der Akkommodationsbreite für die meisten Leute in den 40er Jahren bemerkbar macht. So konnte F. C. DONDERS (S. 179) eine, natürlich immer noch bis zu einem gewissen Grad willkürliche Grenze für den Beginn der Presbyopie angeben. Er wählte dazu mit Rücksicht auf einen gebräuchlichen Buchdruck den Nahpunktabstand von 8'' (Pariser Zoll) = 216,5 mm, entsprechend 4,6 dptr, was wiederum nach seiner Kurve einem Alter von fast 40 Jahren entspricht.

Ob der 2. Fall, der einer Schwächung der Muskelverkürzung oder selbst einer völligen Lähmung, zu einer bemerkbaren Sehstörung Anlaß gibt oder nicht, hängt von verschiedenen Umständen ab. Im hohen Alter, in dem die Akkommodationsbreite sowieso Null geworden ist, bleibt ein solcher Ausfall ganz verborgen, wenn nicht zufällig etwa das Absinken der Linse bei starker Ciliarmuskelverkürzung früher beobachtet worden ist und jetzt bei einer besonders darauf gerichteten Untersuchung vermißt wird. Aber auch in jüngeren Jahren, in denen ja auch ein großer erster Teil der Muskelverkürzung ohne Veränderung der Linsenform verborgen verläuft (latente Akkommodationsbreite), kann er sich sicher ganz oder teilweise der Beobachtung entziehen, und zwar um so vollständiger, je geringer die dem betreffenden Alter zukommende Akkommodationsbreite ist.

### a) Die Sehstörungen bei ungenügender Akkommodation.

Wie schon in einem früheren Abschnitt ausgeführt worden ist, hängt die Lage und die Größe des Akkommodationsgebietes, eine bestimmte Akkommodationsbreite vorausgesetzt, von der Refraktion des Auges ab. Nehmen wir zunächst Emmetropie an, so macht sich eine Minderung der Akkommodationsbreite dadurch bemerkbar, daß der Nahpunkt vom Auge abrückt. Außerhalb des Akkommodationsgebietes liegende Dinge werden undeutlicher abgebildet und erscheinen daher um so undeutlicher, je weiter sie vom Nahpunkt entfernt und dem Auge genähert werden. Diese Sehstörung wird sich dann besonders bemerkbar machen, wenn feine Einzelheiten unterschieden werden sollen. Sind sie so fein, daß sie nur in kürzerem als dem Nahpunktabstand unter dem Grenzwinkel der Sehschärfe erscheinen, so kann die Unterscheidung nicht mehr geleistet werden. Druckschrift z. B. erscheint undeutlich, verwaschen. Die Undeutlichkeit des Netzhautbildes macht sich dann auffällig bemerkbar, da

die Unterscheidung so gut wie allein auf der Schärfe der Abbildung beruht, das heißt, wenn die Hilfe des Helligkeitskontrastes zwischen Zeichen und Grund gering ist, und wenn die Abbildungstiefe bei Erweiterung der Pupille klein wird. Beides trifft zusammen bei schwacher Beleuchtung und beim Lesen schlechter und kleiner Schrift. Wenn sich dann noch die Beobachtungszeit sehr verkürzt, Bedingungen wie sie beim Lesen in schlechter Beleuchtung im rüttelnden Eisenbahnwagen gegeben sind, so versagen die Augen anscheinend ganz plötzlich bei Leuten, die unter günstigen Umständen bei gutem Licht, gutem Druck und Ruhe noch keine Behinderung empfunden haben. An geeigneten Gebilden, feinen Punkten, Linien, zumal bei großem Helligkeitsgegensatz zur Nachbarschaft, etwa an Schwarz-Weiß-Druck oder leuchtenden Punkten, spiegelndem Licht in dunkler Umgebung kommen Besonderheiten zum Vorschein, die in dem früher erwähnten Bündelaufbau begründet sind. So klagen manche Leute über Doppelt- oder Mehrfachsehen oder geben an, daß die Schriftzeichen Schwänze hätten.

Fast so wie der Emmetrop ist der mit seiner gewöhnlichen Fernbrille versehene Ametrop gestellt, nur daß der Myop (Hyperop) mit dem gleichen Akkommodationsaufwand am Auge einen größeren (kleineren) Akkommodationserfolg hat als der Emmetrop.

Der unbewaffnete Hypermetrop wird in der oben erwähnten Weise entsprechend dem großen Nahpunktsabstand früher Störungen bemerken als der mit der Fernbrille ausgestattete. Verbraucht er doch einen Teil seiner Akkommodation schon für das Fernsehen, und nur der Rest bleibt zur Einstellung vom Unendlichen in die Nähe übrig; er wird auch oft bei mäßigem Grad von Hyperopie nicht ohne Beschwerden, etwa dem Gefühl angestrenzter Augen, Ziehen, Druck in den Augen, ja Kopfschmerz, bleiben, eben den Beschwerden des Hyperopen, die nicht eigentlich zum Bild der Akkommodationsschwäche gehören.

Soweit decken sich die Sehstörungen bei allen Akkommodationsminderungen, bei der Presbyopie wie bei anderen Lähmungen und Schwächen in früherem Alter. Erfolgt jedoch die Abnahme der Akkommodationsbreite rascher als beim Altern, in wenigen Tagen oder noch kürzer, gar in Minuten, so kann auffallen, daß der betrachtete Gegenstand kleiner erscheint als vorher oder (bei einseitiger Akkommodationsschwäche) bei der Beobachtung mit dem gesunden Auge. Doch wird auch bei Presbyopie Kleinsehen geschildert (E. FUCHS, B. CASTELLO).

#### b) Die Ursachen der Akkommodationsschwäche und -lähmung.

Als eine noch physiologische Erscheinung kann die Verkleinerung der Akkommodationsbreite und die Verlängerung der Akkommodationszeit unter dem Einfluß der *Ermüdung* angesehen werden (GUGLIANETTI). S. a. C. BERENS und E. K. STARK.

Die Akkommodation kann einmal einer *funktionellen Störung* zum Opfer fallen (ROHRSCHEIDER).

Je nach dem Sitz der Störung lassen sich wie oben erwähnt zwei Gruppen bilden, nämlich eine, bei der der *selbsttätige (aktive)* Teil der Akkommodationseinrichtung, der Nerv oder der Muskel gelitten hat, und eine zweite, bei der die Bewegung des Ciliarkörpers ohne Wirkung bleibt, weil der *mittelbar bewegte (passive)* Teil der Akkommodationseinrichtung nicht folgen kann. Ursache ist die zunehmende Steifigkeit des Inhalts der Linse; die Rolle der Kapsel ist noch unerforscht. Von einigen Fällen ist nicht ohne weiteres sicher, ob sie zur einen oder anderen Gruppe zu zählen sind. So wird eine *Entzündung* im Ciliarkörper [N. BLATT (d)], die mit einer Akkommodationsstörung einhergeht, zwar eine unmittelbare Schädigung der Muskeltätigkeit bedeuten, jedoch mechanisch hinderlich sein, wenn auch eine Lähmung bei noch beweglichem passivem Teil denkbar ist. Hierher gehört die früher noch als Vorläufer der sympathischen

Ophthalmie gedeutete, so sehr gefürchtete Akkommodationsschwäche. Bei heftiger Entzündung dürfte sich die Störung wegen der Minderung der Sehschärfe durch die Ausscheidungen dem Nachweis entziehen. Auch die im Anschluß an *Prellungen* des Augapfels beobachteten Störungen der Akkommodation gehören hierher, da sowohl Nerven-Muskelschädigungen, als auch mehr weniger grobe mechanische Veränderungen (Blutungen, Ablösungen des Ciliarkörpers, Zonula-Dehnungen oder -zerreißen) vorkommen können [G. TESSIER (a)]. Oft dürften beide Schädigungsweisen gleichzeitig wirken. Das wäre beim Glaukom denkbar im Hinblick auf den Ausfall der Hornhautsensibilität und die Veränderung des Pupillenspiels. Von einer Minderung der Akkommodationsbreite bei Glasbläsern konnte sich H. ERGGELET nicht überzeugen, während R. LEDERER sie behauptet.

**Im Auge am aktiven Abschnitt angreifende Medikamente.** Akkommodationschwächung und -lähmung bewirken die bekannten *Alkaloide* Atropin, Homatropin, Scopolamin und Euphthalmin. Sie greifen an den Nervenendigungen des N. oculomotorius an, nicht am Muskel selbst, dessen elektrische Erregbarkeit nicht aufgehoben wird. Die lähmende Wirkung eines Tropfens einer 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub> wässrigen Lösung von Atropinum sulfuricum setzt nach 5—10 Minuten ein und dauert oft 8 Tage und länger. Die 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Lösung von Homatropinum hydrobromicum wirkt weniger kräftig und ist in der Regel nach 12—24 Stunden wieder verschwunden. Das Euphthalmin schwächt den Ciliarmuskel noch weniger und für noch kürzere Zeit als das Homatropin. Doch dürfte bei verschiedenen Personen mit großen Unterschieden zu rechnen sein, wie denn auch die Pupillenerweiterung gelegentlich einmal erstaunlich lang anhalten kann. So hat der Verfasser eine Mydriasis durch 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Homatropin bei einer 93jährigen Frau mit beginnendem Star noch nach 8 Tagen vorgefunden, ohne daß Drucksteigerung bestanden hätte. DECKER will durch Homatropineinträufelung eine dauernde Lähmung der Akkommodation beobachtet haben. Nicht bloß unmittelbar ins Auge gebrachtes Atropin, sondern auch durch den Mund eingenommenes kann gelegentlich den Ciliarmuskel schwächen oder lähmen (A. PASSOW). Oft erscheinen Leute beim Augenarzt mit Akkommodationschwäche, die, nach überstandenen oder noch vorhandenen anderen Krankheiten gefragt, etwa von Magen-, Darmstörungen berichten und deshalb medikamentös, eben mit Atropin, behandelt werden.

Cocain und Adrenalin mit Verwandten greifen am Sympathicus an, aktive Erschlaffung bewirkend (POOS). S. a. HARTGRAVES, HALLIE, KRONFELD und FREY Bd. 7, S. 602. Hat man die Akkommodationslähmungen zusammengefaßt, deren Ursache am Auge selbst angreift, so bleibt die große Gruppe übrig, bei der die **Nervenbahn außerhalb des Auges**, der N. oculomotorius oder der kleinzellige Mediankern im Gehirn gelitten hat. Eine sehr wichtige Ursache ist die erworbene oder angeborene Lues, sei es in der Form einer Lues cerebrospinalis, wobei die Akkommodationslähmung Teilerscheinung einer vollständigen Oculomotoriuslähmung oder nur einer Ophthalmoplegia interna sein kann, sei es als Metalues. Auch die häufige postdiphtherische Lähmung ist **wahrscheinlich zentraler Natur**. Häufiger sah man in dem letzten Jahrzehnt als Ursache die Encephalitis. Es folgen der Botulismus und der Diabetes. Seltener kommen auch andere Erkrankungen, meist Infektionskrankheiten, in Betracht. Schließlich ist bei chronischem Alkoholismus die Akkommodationsbreite unter dem Durchschnittswert DUANES (DANIELS); auch einige Lähmungen sind beschrieben. Auch der Nervenstamm kann befallen sein [K. GRUNERT (a)]. Nebenhöhlenerkrankung.

Das geschlossenste Bild bietet die **postdiphtherische Akkommodationslähmung** dar [DONNERS (S. 50 f.)]. Regelmäßig werden beide Augen angegriffen. Doch sind auch einseitige auf Diphtherie bezogen worden (H. J. FLIERINGA). Meist erkranken die Augen (1—) 4 Wochen nach einer oft unerkannten Rachen- oder

sonstigen Diphtherie. Plötzlich, gleichzeitig und gleich stark werden sie von der Lähmung befallen. Pupillenspiel, -weite und -form bleiben regelmäßig ungestört. Oft besteht eine Gaumensegellähmung, manchmal eine Schwäche der Beine u. a. Seltener kommen auch Lähmungen äußerer Augenmuskeln vor. Die Heilung ist sicher nach 4—6 Wochen langer Dauer der Lähmung zu erwarten. Der Rückgang erfolgt rasch von einem Tag zum andern, so daß eine Kurve des zeitlichen Verlaufs sehr schwer zu gewinnen ist. Indessen ist als Einzelbefund der OLOFFS zu erwähnen, der über eine dauernde postdiphtherische Lähmung berichtet (s. BEHR Bd. 6, S. 195).

Der Sitz der Lähmung ist wohl nicht der Ciliarmuskel selbst. Ins Auge geträufeltes Eserin kommt zur Wirkung. Vielmehr wird entweder der Stamm oder, was wahrscheinlicher ist, der kleinzellige Mediankern angegriffen (W. UHTHOFF), offenbar aber nicht vom Diphtherietoxin, sondern von einem anderen bei bzw. nach der Krankheit entstehenden Gift, dem Diphtherietoxon. Die Lähmungen entstehen bei leichter und schwerer Diphtherie. Das BEHRINGSche antitoxische Heilserum verhütet die Lähmung nicht, auch wenn es noch so früh angewendet wird. Anders urteilt K. G. PLOMANN. Das Auftreten einseitiger Lähmungen (H. J. FLIERINGA) wird als Beweis gegen den Sitz im Kern angeführt (a). Doch ist Doppelseitigkeit die Regel. Supranucleare Lage wird gelegentlich ebenfalls angenommen.

**Andere Ursachen.** In einem etwas bunteren Rahmen stellt sich die Akkommodationslähmung dar, die bei Fleisch-, Fisch- oder *Wurstvergiftung* beobachtet wird. Unter dem Einfluß des Bac. botulinus zersetztes Eiweiß verursacht neben heftigen Magen-Darmerkrankungen oft eine Reihe von verschiedenen Paresen (z. B. der Sprache, des Schluckens u. a.) und dabei meist auch verschiedene an den Augen, nämlich Veränderung der Größe, Form und Reaktion der Pupille, oft auch Lähmung eines äußeren Augenmuskels oder mehrerer. Auch hierbei handelt es sich um Kernveränderungen. Die Heilung läßt meist länger auf sich warten als bei der postdiphtherischen Lähmung, oft sehr lange, Monate (NICOLAU, M. I. AWERBACH, MOREL DE ST. MARTIN).

**Infektionskrankheiten und andere Ursachen.** Die Akkommodationsstörung im Verlauf einer *Encephalitis epidemica* kann von einer Anzahl von anderen Erscheinungen an den Augen begleitet sein: Entrundung, Ungleichheit, Reaktionsstörungen der Pupillen, Konvergenzbeschwerden, auch Lähmung äußerer Augenmuskeln, Nystagmus u. a. Sie kann aber auch als einziges Zeichen (F. KENNEDY, J. BLUM, W. G. CAMERON, P. A. JAENSCH, L. BALL, H. T. BUTLER, W. H. ADAMS, CRIDLAND, ARCHER-HALL und WHEELER) und oft erst spät auftreten. Da sie überdies ein häufiges Symptom ist und monatelang zu dauern pflegt, so bildet sie namentlich für die Späterkennung einen sehr wertvollen Befund. Über die Erscheinungen liegen zahlreiche Berichte vor. ST. DAMADSCHEFF, G. F. LIBBY, L. GENET, W. G. CAMERON, A. A. CHOLINA (a), L. REYS, HAISS, A. BUSACCA, M. MEYER, M. MARIN AMAT, E. WENDEROWIĆ, A. MEYER, R. CORDS und J. BLANK, H. KASSNER, G. DEUSCH, C. THOMSON, JAENSCH, J. BLUM, F. L. PATRY. Die Herde haben ihren Sitz im Hirnstamm.

Seltener sind als Ursache gewisse *Infektionskrankheiten* genannt worden wie Masern, Scharlach, Mumps, Influenza (D. J. WOOD), Malaria (D. J. WOOD), Dengue (I. BISTIS), Parotitis epidemica (A. LINCK), Poliomyelitis anterior (W. WERNSTEDT), Amöbenruhr (COLLIN), Herpes ophthalmicus (FUCHS, LIGERTWOOD), tuberkulöse Meningitis (einseitig oder wenigstens einseitig beginnend von Pupillenstörungen begleitet), *Gifte*, wie Blei [N. BLATT (f), A. JAKOVLEVA], Ergotin (J. ŠTĚPKÁ), Hydrastinin (J. LESZYNSKI), oder das Gift beim Skorpionstich (JESUS GONZALES) und Kreuzotterbiß (N. BLATT). Auf eine Caseosaneinspritzung ins Blut führten SKLARZ und MASSUR, auf Salvarsan G. MILIAN und MAKROCKI eine Akkommodationschwäche zurück, auf Verbrennung BEAUVIEUX und DELORME. In der *Stillperiode* sah sie R. PERRIN auftreten und gleichzeitig mit der Lactation vorübergehen. Von einer Blutung in den Kern bei einem Alkoholiker und bei einer Go-metastase in 2 Fällen spricht HANSELL. Endokrine Ursachen fand A. J. RUEDEMANN, Leber- und Gallenleiden vermerken PASTURIER und VALLERIX.

Im Anschluß an die Lähmungen sind die Störungen des Nahsehens zu erwähnen, denen bei gehöriger Akkommodationsbreite verminderte Akkommodationsausdauer zugrunde liegt. Bei fortgesetzter Naharbeit, Lesen und Schreiben,

ermüden die Leute, auch solche mit regelrecht sehenden Augen rascher als ehemals. Oft hört man dazu Klagen über unbehagliche Empfindungen beim Lesen usw. über Ziehen, Drücken, der Spannung über den Augen, selbst über Kopfschmerzen: *Akkommodative Asthenopie*. Die Beschwerden treten bei schwächlichen Leuten, bei Erschöpfungszuständen verschiedener Art auf, bei sonst kräftigen Menschen auch einmal nach Überanstrengung wie durch Nachtwachen, Examensarbeit, oft in der Genesungszeit nach schweren Krankheiten und Operationen, wenn die lange Zeit der Bettruhe zu ausgiebigem, sonst vielleicht nicht gewohntem Lesen veranlaßt. Schon eine mäßige Entlastung durch ein schwaches Sammelglas beseitigt unter Umständen die Störungen sogleich und hilft über die meist nur vorübergehenden Schwierigkeiten hinweg. Nicht selten gesellen sich zu der erwähnten akkommodativen Asthenopie noch die Schwierigkeiten, die bei fehlerhafter Ruhelage der beiden Augen zueinander auf einem mangelhaften Zusammenarbeiten im beidäugigen Sehen beruhen.

**Tonische Akkommodation.** Als eine seltene und eigentümliche Art der Akkommodationsstörung sei hier die tonische Akkommodation angeschlossen (AXENFELD, JESS, KARPOW, GEHRCKE). Der Ablauf der Akkommodation ist dabei so verzögert, daß junge Leute gezwungen sind, wie Alterssichtige Zwei-Stärken-Gläser zu tragen, obwohl ihre Akkommodationsbreite nicht vermindert ist; sie kann aber nicht ausgenützt werden, da die Naheinstellung gelegentlich übers Ziel hinausschießt, und die Entspannung vom Nah- zum Fernsehen zu langsam erfolgt. Man fand die Parése bei verschiedenster Erkrankungen (Basedow, Masern, Migräne, Alkoholismus, Diabetes, Verletzungen, vor allem aber bei Lues). In einem vom Verfasser beobachteten Fall wies der Träger eine ganze Menge ungewöhnlicher Abweichungen von der Norm auch im übrigen Körperbau und seinen Leistungen auf. Der Angriffspunkt ist nicht sicher, wahrscheinlich im Kern oder zentral davon. Der Zustand hat nichts zu tun mit der Myotonia congenita. Bei ihr ist die quergestreifte, hier die glatte Muskulatur erkrankt. Die Bewegung spielt sich auch durch mehrfache Ausführung nacheinander nicht ein.

### c) Die Behandlung der Akkommodationsschwäche und -lähmung.

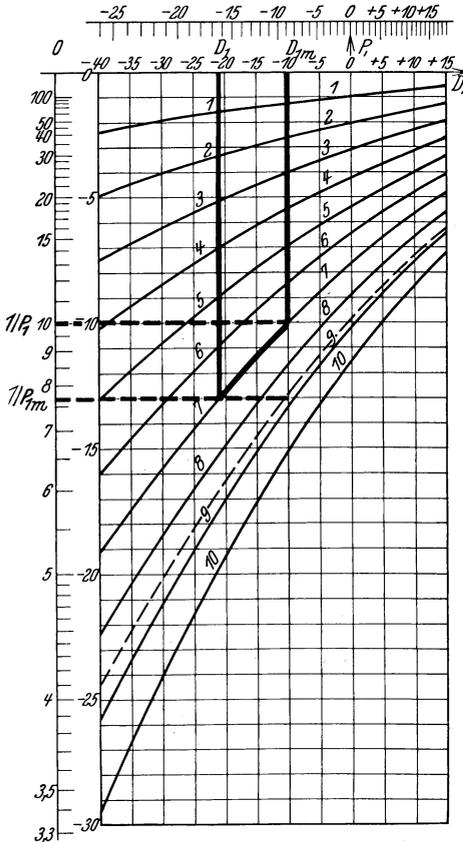
a) Als höchstes Ziel für die Behandlung einer Minderung der Akkommodation kann zunächst die *Wiederherstellung* der früheren Akkommodationsbreite angesehen werden.

Sie läßt sich bei Atropinwirkung als Ursache einfach durch Aussetzen des Mittels erreichen. Von einer Dauerlähmung nach Homotropineinträufelung wird berichtet. Wenn Atropin vom Körper aus gewirkt hat, so genügt oft schon die Verkleinerung der Gabe. Wo Allgemeinleiden zugrunde liegen, sind natürlich diese zu bekämpfen (Diabetes, Lues). Bei ihnen sind die Aussichten schwer vorauszusehen. Die postdiphtherischen heilen in der Regel in 4 bis 6 Wochen von selbst aus.

b) 1. Läßt sich die Akkommodation nicht wieder herstellen, sei es, daß die Schädigung am Nerven-Muskelteil bestehen bleibt, sei es, daß die Altersveränderung der Linse selbst zugrunde liegt, so stehen uns *optische Hilfsmittel* verschiedener Art zur Verfügung.

Wird die Pupille verengt, so wächst die Abbildungstiefe, und das Auge sieht auch außerhalb des Akkommodationsgebietes für viele Beschäftigungen deutlich genug. Die Pupillenverengung kann herbeigeführt werden durch starke Beleuchtung. Manche Leute pflegen deshalb die Schriftfläche unmittelbar von der Sonne bestrahlen zu lassen. Die Diopter an Scheibenbüchsen sind hier zu nennen. Gelegentlich bewirkt bei einem Tabiker die spinale Miosis eine solche Verbesserung des Sehvermögens, daß er zu seiner Freude auf seine Altersbrille verzichten kann.

2. Eine gewisse *Steigerung des äußeren Akkommodationserfolges* des Auges wird für Kurzsichtige durch eine Fernbrille herbeigeführt. Der Betrag der Steigerung hängt u. a. hauptsächlich von der Stärke des einzelnen Glases und seinem Abstand vom Auge, genauer vom Abstand des vorderen Augenhauptpunktes vom bildseitigen Brillenhauptpunkt ab. Die Auswertung dieses Zusammenhangs mit dem Ziel, eine erhebliche und brauchbare Steigerung des äußeren Akkommodationserfolges, insbesondere auch für Übersichtige, herbeizuführen, deren gewöhnliche Fernbrille im Gegenteil vermindern wirkt, hat



H. ERGGELET zu einem Plan geführt, der die gewünschte Steigerung leistet. Die Leistung selbst ist aber untrennbar verknüpft mit einer Bildverkleinerung, und diese scheint für die meisten Leute von der notwendigen Einübung auf dieses Mittel abzuschrecken. Immerhin ist gezeigt worden, daß man einem Übersichtigen eine Steigerung des äußeren Akkommodationserfolges auf das 1,5 (2,7) fache

Abb. 202. Der äußere Akkommodationserfolg eines Auges, das ein dünnes für die Ferne voll ausgleichendes Brillenglas trägt. Die Abszisse gibt den Scheitelwert  $D_1$  dieses Glases bzw. die Refraktion des Auges ausgedrückt durch den Hauptpunktsbrechwert mittelst der darüber gezeichneten Teilung an. Ordinaten sind die Kehrwerte der Entfernung des durch die Akkommodation eingestellten Achsenpunktes. In der Teilung daneben ist die zugehörige Entfernung  $1/P_1$  selbst angeschrieben, gemessen vom Ort des Brillenglases. Dingabstände, für die sich mit der Fernbrille versehene Augen verschiedenen Ametropiegrades mit Hilfe gleicher Akkommodationsbeträge einstellen können, bzw. die solche Dingabstände kennzeichnenden Punkte der Koordinatenfläche sind durch Kurven miteinander verbunden. Dazu sind die ganzzahligen Akkommodationsbeträge von 1–10 dptr gewählt. Der gleiche Akkommodationsaufwand im Auge hat einen um so größeren äußeren Erfolg, je weiter die Refraktion nach der Seite der Kurzsichtigkeit liegt. Bei der Myopie  $D_1$  ist er größer als bei der niedrigeren  $D_{1m}$ . Bei 7 dptr Akkommodationsaufwand würde der Unterschied  $P_1 - P_{1m} = 3$  dptr ausmachen. Das ist aber auch der Betrag von Astigmatismus, der auftritt, wenn ein astigmatisches Auge 7 dptr akkommodiert, während es durch sein für die Ferne voll ausgleichendes Brillenglas mit den beiden Hauptschnittsbrechwerten  $D_1$  und  $D_{1m}$  hindurchsieht. Um den gleichen Betrag müßte also der Glasastigmatismus verstärkt werden, wollte man eine einwandfreie Einstellung auf den Abstand  $1/P_1$  vermitteln.

vermitteln kann, wenn er eine Bildverkleinerung von 0,82 (0,61) mit in den Kauf nimmt. Der Ausgleichswert des astigmatischen Auges steigt bei der Akkommodation (s. Abb. 202).

All diese Mittel lassen sich nur in den Fällen anwenden, wenn das Auge überhaupt noch eine gewisse Akkommodation besitzt.

3. Von dieser letzten Beschränkung unabhängig sind die üblichen *Altersbrillen*. Sie lassen sich sowohl bei dem noch akkommodationsfähigen, wie bei den völlig akkommodationslosen Augen verwenden. Unweigerlich wird von der Altersbrille der Fernpunkt verlagert und, wenn noch eine gewisse Akkommodationsbreite vorhanden ist, auch der Nahpunkt. Die Wirkung der Nahbrille besteht eben darin, den Einstellungspunkt oder das Akkommodationsgebiet in eine für die beabsichtigte Arbeit geeignete Entfernung zu verlegen. Am einfachsten zu übersehen ist der Fall eines akkommodationslosen emmetropischen

Auges. Zum deutlichen Nahsehen braucht es ein Glas, das den nahen Dingpunkt  $O_1$  ins Unendliche nach  $O'_1$  abbildet (s. Abb. 69b, S. 522; s. a. S. 774 bis 777). Dieses ferne Bild sieht das emmetropische Auge dann wie einen unendlich fernen Dingpunkt R (Abb. 69c) deutlich. Soll das Glas ein Bild im Unendlichen entwerfen, so muß der Gegenstand in seinem dingseitigen Brennpunkt stehen. Da das Glas selbst als Brille nahe vor dem Auge steht, so muß seine dingseitige Brennweite gleich dem Dingabstand vom Glas sein und einen negativen, die bildseitige daher einen positiven Wert haben. Es muß also ein Sammelglas sein von der Brennweite des Dingabstandes (Lupenbrille).

Das gleiche Glas macht natürlich den Punkt  $O_1$  auch deutlich sichtbar, wenn das altersichtige Auge noch einen Rest von Akkommodation besitzt. Jedoch wäre dieses Glas hier nicht ratsam, weil dann das Akkommodationsgebiet für die meisten Arbeiten ungünstig läge. Man wählt i. a. grundsätzlich dasjenige Glas, das den Gegenstandspunkt in den Nahpunkt des Auges abbildet. Dann muß bei der Einstellung von der Ferne auf einen nahen Punkt die Akkommodation des Auges mitwirken. Vor zu starken Nahgläsern sei gewarnt. Die meisten Beanstandungen dieser scheinbar so einfachen Verordnung entspringen der Neigung besonders der Anfänger, das Glas für zu kurze Entfernung einzurichten. Es scheint uns unzumutbar, eine Tafel für die Glasstärken aufzustellen, die den verschiedenen Altersstufen zukommen, obwohl sie sich da und dort finden. Sie werden zu leicht mißverstanden. Zweckmäßigerweise ist jeder Fall nach seinen besonderen Bedürfnissen zu versorgen. Die Glasstärke richtet sich nicht nur nach dem Alter, sondern auch nach den Besonderheiten der Arbeit, die das Glas ermöglichen soll, und nach der Sehschärfe. Fehlsichtige Augen denke man sich mit ihrer Fernbrille versehen, betrachte sie als künstlich emmetropisch gemacht und kann sie dann zunächst einmal hinsichtlich des Nahzusatzes ebenso behandeln wie natürlich emmetropische.

Wir geben zwei Beispiele. Ein 50jähriger Emmetrop besitzt noch 2 dptr Akkommodation. Er kann sein Auge also von Unendlich bis auf 50 cm einstellen. Soll er etwa als Buchhalter oder Schreiber dann und wann wegen kleiner Täfelchen oder Anmerkungen auf 33 cm deutlich sehen, so braucht er nach dem oben Gesagten 3 dptr Brechkraftzuwachs. Davon kann er selbst 2 dptr durch Akkommodieren aufbringen. Den Rest von 1 dptr muß ihm ein Glas liefern. Mit + 1 dptr erstreckt sich sein verwertbares Akkommodationsgebiet von - 1 m bis auf - 33 cm. Dieses Akkommodationsgebiet liegt günstig; denn als Buchhalter hat er Nutzen davon, gelegentlich auch einmal auf größeren Abstand deutlich zu sehen, wenn in großen Büchern am Seitenanfang zu lesen oder auf dem Schreibtisch etwas zu suchen ist. Wäre er mit + 3,0 dptr versehen, so erstreckte sich das Gebiet deutlichen Sehens von - 33,0 bis - 20 cm. Schon die oberen Zeilen oder seitliche Gebiete mäßig großer Bücher fallen mit 40—50 cm Entfernung außerhalb des Gebietes deutlichen Sehens, es sei denn, daß sich der Schreiber vornüber oder seitwärts neigt.

Ein Radierer gleichen Alters oder ein Feinmechaniker hat oft deutliches Sehen auf kürzere Entfernung nötig, etwa 25 cm. Dazu gehören 4 dptr Brechkraftzusatz. Zwei davon bringt er selbst auf, durch ein Glas muß er sich den Rest von 2 dptr beschaffen. Sein Akkommodationsgebiet mit Glas reicht dann von - 50 bis auf - 25 cm. Bekäme er + 4,0 dptr, so reichte sein Gebiet deutlichen Sehens von - 25 bis - 16,6 cm, eine Strecke, deren naher Teil meist unbenutzt bliebe. Es empfiehlt sich also, genau nach den Arbeitsbedingungen zu fragen und nicht bloß die kurze Entfernung für feine Verrichtungen zu berücksichtigen, bei der das Sehen versagt, sondern auch die ganze Strecke, innerhalb deren die Arbeit vor sich geht und Deutlichkeit verlangt. Sonst fehlt nachher am einen Ende, was am anderen angesetzt worden ist.

Reicht bei weiter abnehmender Akkommodationsbreite das Akkommodationsgebiet nicht mehr dazu aus, das ganze Arbeitsgebiet zu decken, auch nicht mit Hilfe der Abbildungstiefe, so bleibt nur die Hilfe zweier verschieden starker, gleichzeitig zu tragender Linsen übrig, die in Zwei- und Mehrstärkengläsern verschiedener Anlage zur Verfügung steht.

Genügen zwei oder drei Brennweiten nicht, oder stören die Kopfneigungen oder -hebungen, die bei diesen Gläsern nötig sind, wenn bei gleicher Dingrichtung

auf verschiedene Entfernungen eingestellt werden muß, so ist die Aufgabe gestellt, eine Brille mit einer in vorgeschriebenem Umfang veränderlichen Stärke zu bauen, eine Aufgabe, die in der LAUBERSCHEN *Akkommodationsbrille* durch M. v. ROHR gelöst ist. Zur Vorschiebebrille s. SCHOUTE, ROHR, SUNDQVIST.

Leute, die nicht volle Sehschärfe besitzen, sind genötigt, das Arbeitsstück, den Maßstab, die Schrift und dergleichen näher ans Auge heranzuholen als gleichaltrige mit voller Sehschärfe, damit die Einzelheiten unter einem genügend großen Winkel, mindestens dem Grenzwinkel ihrer Sehschärfe, erscheinen. Sie brauchen dabei entsprechend höhere Beträge von Akkommodation, so daß sie schon in einem früheren Lebensalter als sonst den Höchstwert aufwenden müssen. Daher kommen sie mit den Gläsern ihrer vollsichtigen Altersgenossen nicht aus und brauchen höhere Stärken. Das gleiche würde für Augen mit voller Sehschärfe zutreffen, wenn ungewöhnlich feine Unterscheidungen verlangt werden. Man denke an die Arbeit von Uhrmachern, Augenärzten, Zoologen, Physiologen.

Sinkt also die Sehschärfe oder steigen die Anforderungen sehr hoch, so versagt unter Umständen diese Sehhilfe, wenn sich der zur Steigerung der scheinbaren Dinggröße nötige kurze Abstand nicht mehr mit der Handhabung der Arbeitsgeräte und anderen Bedingungen vereinigen läßt. Dann wächst uns die Aufgabe zu, bei einem gegebenen unveränderlichen Dingabstand die scheinbare Größe zu steigern. Die Lösung ist in der Fernrohrlupe gegeben. Ein nahe dem Auge getragenes Sammelglas entwirft ein Bild des Dinges im Unendlichen. Seine scheinbare Größe ist mit dem vorgeschriebenen Arbeitsabstand bestimmt. Die geforderte Vergrößerung muß jetzt an dem unendlich fernen Bild geleistet werden, das hierzu vergrößert wiederum ins Unendliche abzubilden ist. Eben dieses ist die besondere Leistung eines Fernrohrs. Der äußere Akkommodationserfolg wird durch das Fernrohr kleiner (M. v. ROHR).

Die scheinbare Größe wird angegeben durch die Winkeltangente. Ein Maß für die Steigerung der scheinbaren Größe durch Annäherung wird durch den Vergleich mit der scheinbaren Größe in einer bestimmten Beobachtungsentfernung gewonnen. Man hat dafür den Abstand von  $s = 25$  cm „die deutliche Sehweite“ vereinbart. Beide Male mag man die Anwendung entsprechend starker Sammellinsen als Lupen voraussetzen (s. Abb. 22, S. 480). Das Verhältnis der beiden scheinbaren Größen bildet das Maß der Lupenvergrößerung nach der Formel  $v = \frac{\text{tg } \omega'}{\text{tg } \omega_1} = \frac{y}{f'} \cdot \frac{f_1'}{y} = \frac{f_1'}{f'} = \frac{s}{f} = s \cdot D$ . (Wegen der Vorzeichen siehe S. 467 und 479.)

Läßt man ein Fernrohr mit der Vergrößerung  $v_r$  auf das von der Lupe in  $v_l$ facher Vergrößerung entworfene Bild wirken, so ist das Gesamtergebnis die scheinbare Größe  $v_l \cdot v_r$ , wohl verstanden, wenn man den Vergleich auf die vereinbarte sog. „deutliche Sehweite“ bezieht.

Die Verlegung des Akkommodationsgebietes durch das Nahglas bringt ganz beträchtliche Änderungen im Zusammenarbeiten der beiden Augen mit sich. Sie sind besonders grob und auffällig, wenn es sich um starke Gläser handelt, die, als Lupen gebraucht, eine Vergrößerung vermitteln sollen. Doch kommen sie in geringerem Grade als bei diesen den üblichen Altersgläsern zu. Ist es bei jenen nur durch besondere Maßnahmen möglich, überhaupt beidäugiges Sehen herbeizuführen, so muß bei diesen auch Rücksicht auf diese Verhältnisse genommen werden, wenn dem Träger ein möglichst störungsfreies bequemes Sehen vermittelt werden soll. Das gilt namentlich dann, wenn etwa verdeckte Stellungsfehler der beiden Augen vorliegen und sich zu den von der Brille eingeführten hinzufügen.

Gelegentlich kann eine fehlerhafte Ruhelage der Augen ein Prisma verlangen.

## Literatur.

## Zur geometrischen Optik. Die Dioptrik des Menschenauges.

ABBE, E.: Über neue Mikroskope. Sitzgsber. Jena. Ges. Med. u. Naturwiss. 1886, 107—128; Sitzg 9. Juli 1886. Als Sonderdruck: Über Verbesserungen des Mikroskops mit Hilfe neuer Arten optischen Glases. — ADAMÜK, E. u. M. WOJNOW: Zur Frage über die Accommodation der Presbyopen. Graefes Arch. 16, 144—153 (1870). — ABBEY, J.: Zur Frage der geometrischen Gestalt der normalen Hornhautoberfläche. Arch. Entw.mechan. 52, 223—231 (1922). — AMBERG: Über eine Modifikation des CZAPSKISCHEN Kornealmikroskopes zur Bestimmung der Vorderkammertiefe sowie der übrigen optischen Konstanten des Auges. Klin. Mbl. Augenheilk. 47, 60 (1909). — AMES, A. jr. u. C. A. PROCTOR: Dioptries of the eye. J. opt. Soc. Amer. 5, 22—84 (1921). — AMES, A. jr., C. A. PROCTOR u. BLANCHE AMES: Vision and the technique of art. Proc. amer. Acad. Arts a. Sci. 58, 1—47 (1923). — AUBERT, H.: (a) Nähert sich die Hornhautkrümmung am meisten der einer Ellipse? Pflügers Arch. 35, 597—621 (1885). (b) Die Genauigkeit der Ophthalmometermessungen. Pflügers Arch. 49, 626—638 (1891). — AWERBACH, M.: Zur Dioptrik der Augen bei verschiedenen Refraktionen. Diss. Moskau 1900. Michel-Nagels Jber. 31, 652—654 (1900).

BALABONINA, L. D.: Zwei Fälle von vorübergehender Veränderung der Brechkraft der durchsichtigen Linse. Ges. Augenärzte Moskau. Russk. oftalm. Ž. 2, 518 (1923); Zbl. Ophthalm. 12, 121. — BECKER, O.: Über Wahrnehmung eines Reflexbildes im eigenen Auge. Wien. med. Wschr. 1860, 670, 684. — BERG, F.: (a) Bemerkungen zur Theorie der ophthalmometrischen Messung von Flächenkrümmungen. Acta ophthalm. (Københ.) 7, 225—243 (1929). (b) Vergleichende Messungen der Form der vorderen Hornhautfläche mit Ophthalmometer und mit photographischer Methode. Acta ophthalm. (Københ.) 7, 386 bis 423 (1929). (c) Über die Einwirkung der Lider auf die Form der vorderen Hornhautfläche. Acta ophthalm. (Københ.) 8, 1—21 (1930). (d) Über die mittlere Form der vorderen Hornhautfläche. Acta ophthalm. (Københ.) 9, 53—67 (1931). (e) Über Variabilität und Korrelation bei verschiedenen Abmessungen des Auges. Graefes Arch. 127, 606—639 (1931). — BERLIN, E.: Über eine Bestimmung des Totalbrechungsindex der Linse am lebenden Auge. Graefes Arch. 43, 287—305 (1897). — BERLINER, A.: Lehrbuch der Physik in elementarer Darstellung, 4. Aufl. Berlin 1928. — BJERKE, K.: Über die Veränderung der Refraktion und Sehschärfe nach Entfernung der Linse. Graefes Arch. 53, 511—550 (1902); 55, 191 bis 221 (1903). — BLIX, M.: (a) Oftalmometrisk studier. Inaug.-Diss. Uppsala 1880. (b) Oftalmometrisk studier. Uppsala Läk.förh. 15, 349—420 (1880). — BOEGEHOLD, H.: (a) Zur Geschichte der Grundpunkte von Linsenfolgen. Z. ophthalm. Opt. 9, 161—170 (1921). (b) Besprechung: AMES, jr. A. u. C. A. PROCTOR: Dioptries of the eye. Z. ophthalm. Opt. 10, 87—96, 121—125 (1922). (c) Geometrische Optik. Sammlung BORNTRAEGER, Bd. 11. Berlin 1927. (d) Über die Entwicklung der Theorie der optischen Instrumente seit ABBE. Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften, herausgeg. von der Schriftleitung der „Naturwissenschaften“, Bd. 8, S. 69—146. Berlin 1929. — BOHNENBERGER, H.: Über einen Fall von zweifacher Refraktion. Verigg mitteldtsch. Augenärzte Jena, Sitzg 17. Mai 1925. Klin. Mbl. Augenheilk. 74, 770 (1925). — BOLTUNOW: Über die Sehschärfe im farbigen Licht. Z. Psychol u. Physiol. Sinnesorgane 42, 359 (1908). — BONNEČ, E.: Refraktion und monochromatisches Licht. Arch. Oftalm. (russ.) 5, 409—422 (1929). Zbl. Ophthalm. 23, 5 (1929). — BRÜCKNER, A.: Grundzüge der Brillenlehre für Augenärzte, Bd. 1. Die Brille und das ruhende Auge. Berlin 1924.

CONTINO, A.: Sulla misura della profondita della camera anteriore. Clin. ocul. 11, 377 (1910); Michel-Nagels Jber. 41, 166 (1910). — CZAPSKI-EPPENSTEIN: Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach ABBE von SIEGFRIED CZAPSKI und OTTO EPPENSTEIN, 3. Aufl. Bearbeitet von den wissenschaftlichen Mitarbeitern der Zeißischen Werkstätte: H. BOEGEHOLD, O. EPPENSTEIN, H. ERFFLE †, A. KÖNIG, M. v. ROHR. Herausgeg. von H. ERFFLE † und H. BOEGEHOLD. Leipzig 1924. — CZELLITZER (A.): Totalrefraktion und Hornhautrefraktion mit besonderer Berücksichtigung des physiologischen Linsen-Astigmatismus. Klin. Mbl. Augenheilk. 79, 301—312 (1927).

DONDERS, F. C.: (a) Die Anomalien der Refraktion und Accommodation. Unter Mitwirkung des Verfassers; herausgeg. von A. BECKER. Wien 1866. (b) Zeigt ein Instrument vor, welches bestimmt ist, die Tiefe der vorderen Augenkammer und die Hornhautkrümmung zu messen. Ber. Klin. Mbl. f. Augenheilk. 10, 300 (1872); Rep. 4. internat. ophthalm. Kongr. London, 1.—3. Aug. 1872, 184—185. (c) Über das Metermaß mit Bezug auf Numerierung der Brillengläser und Bezeichnung der verschiedenen Grade der Ametropie. Klin. Mbl. Augenheilk. 13, 465—477 (1875). — DREVAULT, A.: (a) Sur la production des anneaux colorés autour des flammes, description d'un anneau physiologique. Arch. d'Ophtalm. 18, 312 (1898). Michel-Nagels Jber. 29, 82 (1898). (b) Astigmatisme des rayons pénétrant obliquement dans l'oeil. Application de la skiascopie. Arch. d'Ophtalm. 20, 21—28 (1900). (c) Anneaux colorés d'origine oculaire et phénomènes expérimentaux de comparaison. Arch. d'Ophtalm. 40, 458—491, 536—552 (1923); Zbl. Ophthalm. 12, 215.

- EINTHOVEN, W.: (a) Stereoscopic durch Farbendifferenz. Graefes Arch. **31** III, 211—238 (1885). (b) Sur les points cardinaux de l'oeil pour les lumières de couleur différente. Arch. néerl. **29**, 346—351 (1896). — ELLIOT, R. H.: The mists and halos of glaukoma. Amer. J. Ophthalm. **6**, 1—15 (1923); Zbl. Ophthalm. **9**, 528—530. — ERIKSEN: Hornhindemaalingen. Aarhus 1893. — ERGGELET, H.: (a) Über SAMPSONS graphische Ableitung der Abbildungskonstanten und ihre Anwendung auf die Fernrohrbrille. Graefes Arch. **86**, 78—92 (1913). (b) Beobachtungen an der Hornhaut (Vermessung eines Keratokonus mit dem Stereokomparator). Ber. 43. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Jena, Sitzg 8.—10. Juni 1922, 106—109, 115—117.
- FINCHAM, E. F.: (a) The changes in the form of the crystalline lens in Accommodation. Trans. opt. Soc. Lond. **26**, 239—269 (1924/25). S. a. Besprechung Z. ophthalm. Opt. **14**, 22—31 (1926). Ferner: Optician **70**, Nr 1820 (1926). (b) The function of the lens capsule in the accommodation of the eye. Trans. opt. Soc. Lond. **30**, 101—114 (1928/29). Besprechung. Z. ophthalm. Opt. **17**, 154—160 (1929). — FISCHER, F. P.: Über eine optische Darstellung der Hornhautoberfläche und ihrer Veränderungen. Ber. 46. Zus.kunft dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1927**, 31—36. — FÖRSTERLING, K.: Lehrbuch der Optik. Leipzig 1928. — FRAUNHOFER, J.: Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungsvermögens verschiedener Glasarten, in bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernrohre. (Mit zwei Taf.) Münch. Denkschr. **5**, 193—226 (1817). — FREYTAG, G.: Die Brechungsindizes der Linse und der flüssigen Augenmedien des Menschen und höherer Tiere in verschiedenen Lebensaltern in vergleichenden Untersuchungen. Habil.schr. Wiesbaden 1908.
- GALLATI, J.: Die relativen Dickenwerte von Rinde und Kern der menschlichen Linse in verschiedenen Lebensaltern. Z. Augenheilk. **51**, 133—144 (1923). S. a. Diss. Basel 1923.
- GAUSS, C. F.: Dioptrische Untersuchungen, 1840, Abh. Ges. Wiss. Göttingen **1**, 1—34 (1838 bis 1841). — GEIGER, H. u. K. SCHEEL: Handbuch der Physik, Bd. 18. Geometrische Optik, optische Konstanten, optische Instrumente. Berlin 1927. — GLEICHEN, A.: Beitrag zur Theorie der Sehschärfe. Graefes Arch. **93**, 303—356 (1917). — GLEICHEN, A. u. E. KLEIN: Schule der Optik. Für Optiker, Okulisten und zum Gebrauch in optischen und mechanischen Werkstätten. Stuttgart 1914. — GREFF, R.: Zur Bezeichnung der Zylinderachsen. Ber. 41. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1918**, 294—299. — GULLSTRAND, A.: (a) Méthode pratique pour déterminer l'astigmatisme cornéen par la dénivellation des images ophthalmométriques. Biol. För. **1**, 139—147 (1888/89). (b) En praktisk metod att bestämma hornhinnans astigmatism genom den s. k. denivelleringen af de oftalmometriska bilderna. Nord. ophthalm. Tidskr. **2**, 103—104 (1889). (c) Bidrag till astigmatismens teori. (Akad. afhandling.) Stockholm 1890. Sonderabdruck aus Nord. med. Ark. (schwed.) **22**, Nr 2, 1—64 u. 8, 1—38 (1890). (d) Om bränlinier vid astigmatism. Nord. ophthalm. Tidsskr. **3**, 1—18 (1890). (e) Beitrag zur Theorie des Astigmatismus. Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) **2**, 269—359 (1890/91). (f) Om samtidig bestämning av refraction och synskärpa. Nord. med. Ark. (schwed.) **23**, 1—46 (1891). Deutsche Übersetzung: Über gleichzeitige Bestimmung von Refraktion und Sehschärfe. Sv. Läk.sällsk. Hdl. **48**, 53—102, Sonderabdr., **1922**, 9—58. (g) Ett fall av keratoconus med tydlig pulsation av hornhinnan. Nord. ophthalm. Tidskr. **4**, 142—169 (1891/92). Aussprache: Förhandlingar vid Svenska läkaresällskapet sammankomster **1891**, 174—176, 178. Deutsche Übersetzung: Ein Fall von Keratokonus mit deutlicher Pulsation der Hornhaut. Sv. Läk.sällsk. Hdl. **48**, 103—118 (1922). Sonderabdr., **1922**, 59—74. (h) Ett fall av lenticonus posterior. Nord. ophthalm. Tidskr. **5**, 18—26 (1892). Deutsche Übersetzung: Ein Fall von Lenticonus posterior. Sv. Läk.sällsk. Hdl. **48**, 75—80 (1922). Sonderabdr., **1922**. (i) En fotografisk oftalmometrisk metod och några vunnna resultat samt en metod för klinisk undersökning av hornhinnans krökning i dess periferia dalar. Förh. vid. Sv. Läk.sällsk. sammankomster **1894**, 128—133. (k) Photographisch-ophthalmometrische und klinische Untersuchungen über Hornhautrefraktion. Sv. vetenskaps akad. Hdb., N. F. **28**, Nr 7 (1896). (l) Dioptriens definition. Hygiea (Stockh.) **61** II, 609—618 (1899). (m) Über die Bedeutung der Dioptrie. Graefes Arch. **49**, 46—70 (1899/1900). (n) Aussprache zu L. HEINE: Über Vollkorrektur der Myopie. Ber. 29. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1901**, 137, 138. (o) Die Constitution des im Auge gebrochenen Strahlenbündels. Graefes Arch. **53**, 185—240 (1901/02). (o<sub>1</sub>) Allgemeine Theorie der monochromatischen Aberrationen und ihre nächsten Ergebnisse für die Ophthalmologie. Nova acta regiae soc. Sci. Uppsala, III. s. **20**, H. 1, 1—204 (1901). (p) Demonstration eines Instrumentes zur Erzeugung von Strahlengebilden um leuchtende Punkte. Ber. 30. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1902**, 290—292. (q) Über Astigmatismus, Koma und Aberration. Ann. Physik, IV. F. **18**, 941—973 (1905). (r) Die reelle optische Abbildung, 119 S. Uppsala u. Stockholm 1906. Sv. vetenskapsakad. Hdl., N. F. **41**, Nr 3. (s) Tatsachen und Fiktionen in der Lehre von der optischen Abbildung. Arch. Optik. **1**, 2—41, 81—97 (1907/08). (t) Om afbildningen i ögat. Hygiea (Stockh.), Festband **1908**, Nr 25, 1—45. (u) Die optische Abbildung in den heterogenen Medien und die Dioptrik der Kristalllinse des Menschen. Sv. vetenskapsakad. Hdl., N. F. **43**, Nr 2, 3—58. Uppsala u. Stockholm 1908. (v) Die Dioptrik des Auges. H. v. HELMHOLTZ, Handbuch der physiologischen Optik, 3. Aufl., 1909. (w) Die Nernstspaltlampe in der ophthalmologischen Praxis. 4. Jverslg schwed. Augenärzte-Ver. Stockholm. Ber. Klin. Mbl. Augenheilk.

**50 I** (N. F. **13**), 483—484 (1911). (x) Demonstration der Nernstspaltlampe. Ber. 3. Jverslg ophthalm. Ges. Heidelberg. **1911**, 374—376. (y) Einführung in die Methoden der Dioptrik des Auges des Menschen. Leipzig 1911. Sonderabdruck aus dem Handbuch der physiologischen Methodik, herausgeg. von R. TIGERSTEDT, Bd. 3, Abt. 3. (z) Wie ich den intrakapsulären Akkommodationsmechanismus fand. Nobelvortrag. Arch. Augenheilk. **72**, 169—190 (1912). (aa) Hur jag fann den intrakapsulära akkommodationsmekanismen. Nobelföreläsning, 11. Dez. 1911. Les prix Nobel en 1911, Bd. 19. Stockholm 1912. Hygiea (Stockh.) **74**, 1—24 (1912). (bb) Die Gitterdiffraktion vom Standpunkte der geometrischen Optik. Ark. för Matemat., Astron. och Fys. **10**, 14 (1914). (cc) Das allgemeine optische Abbildungssystem. Sv. vetenskapsakad. Hdl., N. F. **55**, Nr 1, 139. Stockholm 1915. (dd) Über asphärische Flächen in optischen Instrumenten. Sv. vetenskapsakad. Hdl., N. F. **60**, Nr 1, 155. Stockholm 1919. (ee) Optische Systemgesetze zweiter und dritter Ordnung. Hdl. **63**, Nr 13, Suppl. Stockholm 1924. (ff) Einiges über optische Bilder. Akademie-Vortrag, geh. in Berlin am 15. März 1926. Naturwiss. **1926**, 653—664. (gg) Antwort-Rede. Ber. 47. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1928**.

HAFFMANS, I. H. A.: Beiträge zur Kenntnis des Glaukoms; aus dem Holländischen deutsch bearbeitet von M. SCHMIDT. Graefes Arch. **8 II**, 124—178 (1862). — HALBEN, R.: Ein Differentialrefraktometer zur Bestimmung des Brechungsindices, optisch inhomogener Medien, speziell der menschlichen Linse. Ber. 32. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1905**, 354—359. — HANDMANN, M.: Über eine noch nicht beschriebene obere horizontale Linie der normalen Hornhaut (Oberrandlinie). — HARTINGER, H.: (a) Zur Messung der Kammer-tiefe und des Irisdurchmessers. Z. ophthalm. Opt. **9**, 135 (1921). (b) Ebene Flächen, Prismen. H. GEIGER u. K. SCHEELS Handbuch der Physik, 225—255. (c) Photo-Keratoskopie und -Keratometrie. Z. ophthalm. Opt. **20**, 1—15 (1932). — HARTMANN, J.: (a) Über eine einfache Interpolationsformel für das prismatische Spektrum. Publ. astrophys. Observ. Potsdam **12**, Nr 42 (1898); Astrophys. J. **8**, 218—222 (1898); Ber. Z. Instrumentenkde **19**, 57/59 (1899). (b) Einige Regeln für den Gebrauch der empirischen Dispersionsformel und ihre Anwendung auf den Brechungsexponenten des Quarzes. Z. Instrumentenkde **37**, 166—174 (1917). — HEGG, E.: (a) Eine neue Methode für die Messung der Tiefe der vorderen Kammer; ein stereoskopisches Ophthalmometer. Ber. 29. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1901**, 244. (b) Eine neue Methode zur Messung der Tiefe der vorderen Augenkammer. Arch. Augenheilk. **44**, Erg.-Bd., 84—104 (1901). — HEINE, L.: Sehschärfe und Tiefenwahrnehmung. Graefes Arch. **51**, 146—173 (1900). — HELMHOLTZ, H. v.: (a) Über die Accommodation des Auges. Graefes Arch. **1**, 2, 1—74 (1855). (b) Handbuch der physiologischen Optik, 3. Aufl., ergänzt und herausgeg. in Gemeinschaft mit Prof. Dr. A. GULLSTRAND und Prof. Dr. J. VON KRIES, von Prof. Dr. W. NAGEL, 1. Bd. Die Dioptrik des Auges, herausgeg. von Prof. Dr. A. GULLSTRAND. Hamburg u. Leipzig 1909. — HENKER, O.: (a) Zur Bezeichnung der Zylinderachsen. Klin. Mbl. Augenheilk. **59**, 662—665 (1917). (b) Zur Bezeichnung der Zylinderachsen. Ber. 41. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1918**, 299—300. — HERING, E.: Über die Grenzen der Sehschärfe. Sächs. Ges. Wiss. Leipzig **51**, 16—24 (1899). — HESS, C.: (a) Messende Untersuchungen über die Gelbfärbung der menschlichen Linse und über ihren Einfluß auf das Sehen. Arch. Augenheilk. **63**, 164—180 (1909). (b) Weitere Mitteilungen über die Gelbfärbung der menschlichen Linse und ihren Einfluß auf das Sehen. Arch. Augenheilk. **64**, 293—302 (1909). (c) Die Refraktion und Akkommodation des menschlichen Auges und ihre Anomalien. GRAEFES-SÄEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl., herausgeg. von TH. SÄEMISCH und C. HESS. Leipzig 1910. — HOFMANN, F. B.: Physiologische Optik (Raumsinn). GRAEFES-SÄEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 2. Aufl., Bd. 3, Kap. XIII, I. Teil, herausgeg. von TH. AXENFELD und A. ELSCHNIG. Berlin 1925. — HORSTMANN, C.: Über die Tiefe der vorderen Augenkammer. Graefes Arch. **25 I**, 79—98 (1879).

JESSOP: Committee Report on the Unification of Notation of the Meridians of Astigmatism. 11. internat. ophthalm. Kongr. Neapel, 2.—7. April 1909. Rom. Tipografia „Roma“, Deutsche Buchdruckerei, 1910, S. 311.

KNAPP, J. H.: Über die Lage und Krümmung der Oberflächen der menschlichen Kristalllinse und den Einfluß ihrer Veränderungen bei der Akkommodation auf die Dioptrik des Auges. Graefes Arch. **6 II**, 1—52 (1860). — KOEPPE, L.: (a) Die Gittertheorie des glaukomischen Regenbogenfarbensehens im Lichte des stereomikroskopischen Erforschung der lebenden Augenmedien an der GULLSTRANDSchen Nernstspaltlampe. Klin. Mbl. Augenheilk. **65**, 556—565 (1920). (b) Untersuchungen über Kreisgitterwirkungen bzw. Brennpunkteigenschaften der mit der GULLSTRANDSchen Spaltlampe in den lebenden Augenmedien unter normalen und pathologischen Bedingungen zu beobachtenden mikroskopischen Gitterstrukturen nebst Bemerkungen über die beugungstheoretische Deutung des Sehens von Nebenlichtern. Graefes Arch. **105**, 1109—1156 (1921). (c) Die Bedeutung der Gitterstruktur in den lebenden Augenmedien für die Theorie der subjektiven Farbenercheinungen. Leipzig 1922. (d) Über das Problem der Krümmungen der elastischen Membranen resp. Diskontinuitätsflächen in der lebenden Hornhaut und Linse. Dtsch. opt. Wschr. **8**, 672 bis 676, 695—697 (1922). (e) Über die intravital-histologischen Grundlagen der SIEDEN-TOPPSchen intraocularen Kegelwelle. Ber. 43. Verslg dtsch. ophthalm. Ges. Jena, 19. Juni

1922. — KÖHLER, A. u. A. F. TOBY: Mikroskopische Untersuchungen einiger Augenmedien im ultravioletten und im polarisierten Licht. Arch. Augenheilk. **99**, 263—280 (1928). — KUNST, J. J.: Beiträge zur Kenntniss der Farbunzerstreuung und des osmotischen Druckes einiger brechenden Medien des Auges. Diss. Freiburg i. Br. 1895.

LAGRANGE, F. u. E. VALUDE: Encyclopédie française d'ophtalmologie. III. Bd. Optique géométrique, physique, physiologique, réfraction, bearb. von A. BROCA, E. JAVAL, SULZER, TSCHERNING. Paris 1904. — LANDOLT, EDM.: Die Einführung des Metersystems in die Ophthalmologie. Klin. Mbl. Augenheilk. **14**, 223—250 (1876). — LEIBOWICZ: Hornhautkrümmung und Astigmatismus. Z. ophthalm. Opt. **16**, 33—70 (1928). — LINDSTEDT, F.: (a) Om mätning av framre ögonkammarens djup med ett nytt, för kliniskt bruk avsett instrument. Uppsala Läk. för. Förh. Beil. Hygiea. **1913**. Inaug.-Diss. Uppsala 1913. (b) Über die Messung der Tiefe der vorderen Augenkammer mittels eines neuen, für klinischen Gebrauch bestimmten Instruments. Arch. Augenheilk. **80**, 104—167 (1916). — LISTING, J. B.: (a) Beitrag zur physiologischen Optik. Götting. Stud. **1845**, 52—110. Göttingen 1845. OSTWALDS Klassiker der exakten Naturwissenschaften, Nr 147, herausgeg. von O. SCHWARZ. (b) Über die sog. accessorischen Punkte in einem System brechender, durch sphärische Flächen geschiedener Medien. Ber. Naturforsch.-Verslg **31**, 46—84 (1854), Auszug; Tagebl. Naturforsch.-Verslg **31**, 38 (1854). — LO CASCIO, G.: Untersuchungen über die Brechung bei schiefer Incidenz im menschlichen Auge. Graefes Arch. **121**, 411—442 (1929). — LÖHNER, L.: Die Sehschärfe des Menschen und ihre Prüfung. Leipzig u. Wien 1912. — LÖWENSTEIN, A. u. J. KUBIK: Refraktometrische Untersuchungen des Kammerwassers. Ein Beitrag zur Biologie des Auges. Graefes Arch. **89**, 197—226 (1915).

MANDELSTAMM, L. u. H. STRÖLER: Eine neue Methode zur Bestimmung der optischen Constanten des Auges. Graefes Arch. **18 I**, 155—185 (1872). — MATTHESSSEN, L.: (a) Über die Brechung des absoluten Brechungsvermögens des Kernzentrums der Kristalllinse. Graefes Arch. **22**, 131—136 (1876). (b) Grundriß der Dioptrik geschichteter Linsensysteme. Mathematische Einleitung in die Dioptrik des menschlichen Auges. Leipzig 1877. (c) Beiträge zur Dioptrik der Kristalllinse I. Z. vergl. Augenheilk. **4**, 1—39 (1886); II. **5**, 21—44. (1887); III. **5**, 97—126 (1887); IV. **6**, 118—157 (1889); V. **7**, 102—189 (1893). (d) Über das Gesetz der Zunahme der Brechungsindices innerhalb der Krystallinsen der Säugethiere und Fische. Graefes Arch. **31 II**, 31—34 (1885). — MAUTHNER, L.: Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges. Wien 1876. — MERTÉ, W.: Geometrische Optik s. GEIGER und SCHEEL. — MONOYER, F.: Sur l'introduction du système métrique dans le unimérotage des verres de lunette, et sur le choix d'une unité de réfraction. Annales d'Ocul. **68**, 107—117 (1872). — MÜLLER-POUILLET: Lehrbuch der Physik, 11. Aufl., herausgeg. von A. ENCKEN, O. LUMMER †. Braunschweig 1926.

NAGEL, A.: (a) Die Benutzung des Metermasses zur Numerierung der Brillen. Klin. Mbl. Augenheilk. **6**, 65—78 (1868). (b) Die Bestimmung der Sechachsenlänge am lebenden Auge. Zbl. prakt. Augenheilk. **1878**, 100—102, 121—123. — NORDENSON, E.: Recherches ophthalmométriques sur l'astigmatisme de la cornée chez les écoliers de 7 à 20 ans. Annales d'Ocul. **90**, 110—138 (1883). — NORDENSON, J. W.: (a) Über die Form der Linsenflächen im menschlichen Auge. Nord. med. Ark. (schwed.) **2**, H. 1, Nr 2 (1913). (b) Über die Form der hinteren Hornhautfläche im menschlichen Auge. Nord. med. Ark. (schwed.) II **47** (III. F. **14**), Nr 12 (1914). (c) Zur Kenntnis der Form der Linsenoberflächen beim Akkommodieren im menschlichen Auge. Klin. Mbl. Augenheilk. **57**, 403 (1916). (d) Über die Form der Linsenflächen im menschlichen Auge bei der Akkommodation. Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) **35**, 101—116 (1918). (e) Über die Orientierung der brechenden Flächen im menschlichen Auge. Nord. med. Ark. (schwed.) II **49**, H. 1, Nr 3, 1—25 (1916). (f) Über die Größe der Doppelbrechung der Hornhautsubstanz. Graefes Arch. **105**, 721—725 (1921). (g) Ophthalmometrie. GRAEFE-SÄEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, Untersuchungsmethoden III, **3**, 184—270 (1925).

PEARSON, K. and M. MOUL: The problem of alien immigration into Great Britain, illustrated by an examination of Russian and Polish Jewish children III. Ann. of Eugen. **2**, 111—224, 290—317; **3**, 1—76 (1927). Zbl. Ophthalm. **19**, 6. — PFALZ, G.: Über Astigmatismus perversus — eine erworbene Refraktionsanomalie. Z. Augenheilk. **3**, 16—26 (1900). — PR, H. T.: The total peripheral aberration of the eye. English speaking ophthalm. Soc. Lond., 14.—17. Juli 1925. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **45**, 393—399 (1925). — PICHLER, A.: Korrektur einer schwachen Myopie durch ein rotes Planglas. Z. Augenheilk. **38**, 174—176 (1917). — PLANTENGA, H.: De diepte voorste oogkamer by verschillende refractie en op verschillende leeftyd. Nederl. Tijdsch. Geneesk. **1898 I**, Nr 10; Michel-Nagels Jber. **29**, 824 (1898).

RABL, C.: I. Über den Bau und die Entwicklung der Linse. Z. Zool. **63**, 496—572 (1898). II. Die Linse der Reptilien und Vögel. Z. Zool. **65**, 257—367 (1898). III. Die Linse der Säugetiere. Rückblick und Schluß. Z. Zool. **67**, 1—138 (1899). — RÄEDER, J. G.: Untersuchungen über die Lage und Dicke der Linse im menschlichen Auge bei physiologischen und pathologischen Zuständen nach einer neuen Methode gemessen. I. Die Lage und Dicke der Linse bei Emmetropen, Hypermetropen und Myopen. Graefes Arch. **110**, 73—108 (1922). — REICH, M.: Resultate ciniger ophthalmometrischer und mikrooptometrischer

- Messungen. Graefes Arch. **20** I, 207—224 (1874). — REUSS, A. v.: Untersuchungen über den Einfluß des Lebensalters auf die Krümmung nebst einigen Bemerkungen über die Dimensionen der Lidspalte. Graefes Arch. **27** I, 27—53 (1881). — ROHR, M. v.: (a) Theorie und Geschichte des photographischen Objektivs. Berlin 1899. (b) Die Bild-erzeugung in optischen Instrumenten vom Standpunkte der geometrischen Optik. Bearbeitet von den wissenschaftlichen Mitarbeitern an der optischen Werkstätte v. Carl Zeiß, P. CULMAN, S. CZAPSKI, A. KÖNIG, F. LÖWE, M. v. ROHR, H. SIEDENTOPF, E. WANDERSLEB. Herausgeg. von M. v. ROHR. Berlin 1904. (c) Zur Dioptrik des Auges. Erg. Physiol. **8**, 541—592 (1909). (d) Über die Würdigung des Augendrehpunktes und seine Berücksichtigung in der konstruktiven Optik. Z. Instrumentenkde **31**, 380—386 (1911). (e) Über Spiegelbilder an Brillengläsern. Z. ophthalm. Opt. **1**, 137—148 (1913/14). (f) Das Auftreten des Augendrehpunktes in der Physiologie und in der technischen Optik. Z. Instrumentenkde **35**, 197—215 (1915). (g) Ausgewählte Stücke aus CHRISTOPH SCHEINERS Augenbuch, übersetzt und erläutert von M. v. ROHR. Z. ophthalm. Opt. **7**, 35—44, 53—64, 76—91, 101—113, 121—133 (1919). (h) Das Auge und die Brille 2. Aufl. Leipzig 1918. (i) Einige Bemerkungen zur Sehschärfe. C.ztg Opt. u. Mech. **40**, 137—138, 146—148, 156—157 (1919). (k) Die Abbildung durch brechende Einzelflächen und durch Folgen zentrierter Flächen. C.ztg Opt. u. Mech. **41**, 31—33, 41—45, 53—56 (1920). (l) Die binokularen Instrumente. Nach Quellen und bis zum Ausgang 1910 bearbeitet (Naturw. Monogr. u. Lehrb., Bd. 2), 2. verm. u. verb. Aufl. Berlin 1920. (m) Die Strahlenbegrenzung. C.ztg Opt. u. Mech. **41**, 145—150, 159 bis 162, 171—174 (1920). (n) Die Brille als optisches Instrument, 3. neubearb. Aufl. Berlin 1921. (o) Zwei Abhandlungen von THOMAS YOUNG. Übersetzt von M. v. ROHR. Z. ophthalm. Opt. **11**, 102—155 (1923). (p) ABBEs Stellung in der Lehre von der Strahlenbegrenzung. C.ztg Opt. u. Mech. **45**, 135 (1924). (q) Über innere Beziehungen zwischen dem Dingraum und dem durch ein optisches Instrument entworfenen Bilde. Naturwiss. **12**, 94—101 (1924). (r) Das Auge. Das Sehen. Die Brille. H. ERFFLE † u. H. BOEGEHOLD: Die Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach ABBE von S. CZAPSKI † u. O. EPPENSTEIN. Leipzig 1924. (i) Physikalisches vom Auge. Siehe MÜLLER-POUILLETs Lehrbuch der Physik, **11**. Aufl. (t) Lehre von der strahlenden Energie (Optik). Erste Hälfte bearb. von O. LUMMER unter Mitwirkung von H. ERGGELET, F. JÜTTNER, A. KÖNIG, M. v. ROHR, E. SCHRÖDINGER. Braunschweig 1926. (u) Das Auge und das Sehen. Siehe Handbuch der Physik, herausgeg. von H. GEIGER u. K. SCHEEL, Bd. 18. (v) Das Brillenglas und die Brille. Siehe Handbuch der Physik, herausgeg. von H. GEIGER u. K. SCHEEL, Bd. 18. (w) Das photographische Objektiv. Siehe Handbuch der Physik, herausgeg. von H. GEIGER u. K. SCHEEL, Bd. 18. (x) Strahlenbegrenzung in optischen Systemen. Siehe GEIGER u. SCHEELs Handbuch der Physik, Bd. 18, S. 466—507. (y) Die optischen Instrumente, Brille, Lupe, Mikroskop, Fernrohr, Aufnahme linse und ihnen verwandte Vorkehrungen. 4. verm. u. verb. Aufl. Berlin 1930. — ROSENGREN, B.: Studien über die Tiefe der vorderen Augenkammer mit besonderer Hinsicht auf ihr Verhalten beim primären Glaukom eine Untersuchung mit dem LINDSTEDT'schen Apparat. Acta ophthalm. (Københ.) **8**, 99—136 (1930); **9**, 103—179 (1931). — ROSOW, B.: Zur Ophthalmometrie. Graefes Arch. **11** II, 129—134 (1865).
- SCHOEN, W.: (a) Bemerkungen über die Dioptrik der Krystalline und die Periskopie des Auges. Arch. f. Physiol. **1879**, Suppl.-Bd., 146—166. (b) Beiträge zur Dioptrik des Auges. Leipzig 1884. (c) Erworbenne Brechungsänderungen des Auges. Arch. Augenheilk. **27**, 268—293 (1893). (d) Über Brechungsverlust bei Linsenentfernung. Zbl. prakt. Augenheilk. **21**, 1—8 (1897). — SALZMANN, M.: Das Sehen in Zerstreuungskreisen. Graefes Arch. **39**, 83—129 (1893); **40**, 102—159 (1894). — SCHEERER, R. u. ALBERT SEITZER: Über das Auftreten von sog. myopischen Veränderungen am Augenhintergrund bei den verschiedenen Brechungszuständen des Auges. Klin. Mbl. Augenheilk. **82**, 511—515 (1929). — SCHEINER, CHR.: Siehe M. v. ROHR. Z. ophthalm. Opt. **7**, 35—44, 53—64, 76—91, 101—113, 121—133 (1919). — SCHWED, F. M.: Die Beugungserscheinungen aus den Fundamentalsätzen der Undulationstheorie analytisch entwickelt und in Bildern dargestellt. Mannheim 1835. — SHEARD, CH.: A subjective method of skiascopy and its application to investigations of the chromatic aberration of the eye, chromatic variations in the interval of STURM and allied phenomena. Am. J. of physiol. Opt. **7**, 76—129 (1926). — SIEDENTOPF, H.: Über eine intraokulare Kegelwelle. Ber. **43**. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Jena **1922**, 78—80. — SJUMJANZEW, N. F.: Über subjektive Regenbogenkreise. Irkutsk. med. Ž. **1**, 10—17 (1923). Ber. Zbl. Ophthalm. **12**, 104—105. — SMITH, PRIESTLEY: On colour-rings, DRUULTS test, and lensdisturbance. Brit. J. Ophthalm. **8**, 145—157 (1924); Zbl. Ophthalm. **13**, 121—122 (1924). — STADTFELDT, A.: Den menneskelige linses optiske konstanter (zit. nach HESS). Kopenhagen 1898. — STEIGER, A.: Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Hornhautrefraction, I. Teil. Wiesbaden 1895. (b) Studien über die erblichen Verhältnisse der Hornhautkrümmung. I. Heredität des Hornhautastigmatismus. Z. Augenheilk. **16**, 229—242 (1906). II. Heredität der Hornhautrefraktion. Z. Augenheilk. **17**, 307—317 (1907). — STRAWBRIDGE, G.: Aussprache zu WOINOW. Ophthalmometrische Messungen. Sitzgsber. ophthalm. Ges. Jena **1869**; Klin. Mbl. Augenheilk. **7**, 480—481 (1869). — SULZER: La forme de la cornée humaine et son influence sur la vision. Arch. d'Optalm. **11**, 419—434 (1891); **12**, 32—50 (1892). — SUNDQVIST, M.: Zur Theorie der Brillen- und Vergrößerungsgläser.

Graefes Arch. **126**, 1—172 (1931). — SUTCLIFFE, J. H.: One-position ophthalmometry. Optician **33**, Supl. (1907). Proc. ophthalm. Soc. **9**—19. — SWAINE, W.: The spherical aberration of GULLSTRAND's schematic eye. Optician **67**, Nr 1726, 155 (1924).

THORNER: Die Grenze der Sehschärfe (Berl. ophthalm. Ges.). Zbl. prakt. Augenheilk. **34**, 210 (1910); Klin. Mbl. Augenheilk. **48 I**, 590—607 (1910). — TIGERSTEDT: Zur Messung der Farbenzerstreuung im Auge. Skand. Arch. Psychol. (Berl. u. Lpz.) **23**, 295 (1910); Michel-Nagels Jber. **41**, 59. — TRIEPEL, H.: Über Sehleistung bei Myopie. Arch. f. Ophthalm. **40**—45, 50—101 (1894). — TRON, E.: (a) Variationsstatistische Untersuchungen über Refraktion. Graefes Arch. **122**, 1—33 (1929). (b) Variationsstatistische Untersuchungen über die Refraktion des Auges. Russk. oftalm. Ž. **9**, 409—440 (1929); Zbl. Ophthalm. **21**, 808, 809. — TSCHERNING, M. (a) Optique physiologique. Paris 1908. (b) Dioptrique oculaire. Siehe F. LAGRANGE u. E. VALUDE, Encyclopédie française d'ophtalmologie, Tome 3, p. 105—286.

ULBRICH, H.: Die Messung der Kammertiefe. Klin. Mbl. Augenheilk. **53**, 244 (1914).

VOGT, A.: (a) Atlas der Spaltlampenmikroskopie des lebenden Auges mit Anleitung zur Technik und Methodik der Untersuchung. Berlin 1921. (b) Weitere Ergebnisse der Spaltlampenmikroskopie des vorderen Bulbusabschnittes, VI. Absch. Cataracta traumatica und Cataracta complicata mit Rückschlüssen auf die Entwicklung und den Aufbau der menschlichen Linse. Graefes Arch. **109**, 154—204 (1922). (c) Neue Beobachtungen über menschliche Krystallinsen mit doppeltem Brennpunkt. Z. Augenheilk. **50**, 145—152 (1923). (d) Lehrbuch und Atlas der Spaltlampenmikroskopie des lebenden Auges. Berlin 1930. 1. Teil: Technik und Methodik, Hornhaut und Vorderkammer; 2. Teil: Linse und Zonula. 1931. — VOLKMANN, W.: Die Linsenoptik in der Schule, Anleitung zu den Versuchen und zur rechnenden Behandlung. Berlin 1927.

WAARDENBERG, P. J.: Anisotropie und Hornhautbrechung. Klin. Mbl. Augenheilk. **84**, 788—804 (1930). — WEISS, E.: Zur Achsenbezeichnung bei zylindrischen Gläsern. Ber. 41. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1918**, 301—304. — WERBITZKY, W. K.: Zur Frage von den schematischen und reduzierten Augen. Klin. Mbl. Augenheilk. **68**, 588—598 (1922). — WESSELY, K.: Über einige neue diagnostische Versuche. Messung der Vorderkammertiefe und Festhaltung der Befunde beim chronischen Glaukom auf dem Wege der Stereophotographie. Ber. 46. Zus.kunft dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1927**, 251—254. — WEVE, H.: Entwurf eines Instrumentes zur Tiefenmessung der vorderen Augenkammer für klinische Zwecke. Arch. Augenheilk. **81**, 56—74 (1916). — WHITWELL, A.: The spherical aberration of GULLSTRAND's schematic eye. Optician **67**, Nr 1725, 137 (1924). — WOJNOW, M.: Ophthalmometrische Messungen. Sitzgsber. ophthalm. Ges. **1869**; Klin. Mbl. Augenheilk. **7**, 476—479 (1869). — WÜLFING, E. A.: Über den kleinsten Gesichtswinkel. Z. Biol. **29** (N. F. **11**) 199—202 (1892).

YOUNG, TH.: s. M. v. ROHR (o).

ZEMAN, W. P. C.: (a) Über die Form der hinteren Linsenfläche. Klin. Mbl. Augenheilk. **46 I** (N. F. **5**), 83—86 (1908). (b) Linsenmessung und Emmetropisation. Graefes Arch. **78**, 93—128 (1911).

## Die Verwirklichung eines optischen Empfangengerätes im Menschaugen. Die Refraktionen.

ALEXANDER, L.: Über Veränderungen des Brechungszustandes der Augen bei Diabetes mellitus. Klin. Mbl. Augenheilk. **41 II**, 108—112 (1903). — AXENFELD, TH.: Brechungswert der Hornhaut und der Linse beim Neugeborenen nebst Bemerkungen über Ophthalmometrie an Leichenaugen. Z. Psychol. u. Sinnesphysiol. **15**, 71—81 (1896).

BARRINGTON and PEARSON: A first study of the inheritance of vision and of the relative influence of heredity and environment on sight. Eugen. Labor. Mem. (Lond.) **5** (1909); Michel-Nagels Jber. **40**, 129 (1909). — BECKERSHAUS: Über eineiige Zwillinge. Z. Augenheilk. **59**, 264—284 (1926). — BERG, F.: Über Variabilität und Korrelation bei verschiedenen Abmessungen des Auges. Graefes Arch. **127**, 606—639 (1931). — BEST: Über Korrelation bei Vererbung in der Augenheilkunde. Münch. med. Wschr. **1907**. — BETSCH, A.: Über die menschliche Refraktionskurve. Klin. Mbl. Augenheilk. **82**, 365—379 (1929). — BJERRUM, J.: Die Refraktion der Neugeborenen. Internat. Kongr. Kopenhagen 1884. — BROWN, E. V. L. u. P. C. KRONFELD: Refraktionsverhältnisse in den Vereinigten Staaten mit besonderer Berücksichtigung der Veränderungen während der ersten 20 Lebensjahre. 13. internat. Ophthalm. Kongr. Amsterdam 1929. Zbl. Ophthalm. **22**, 741 (1930). — BUTLER, T. H.: Upon changes in refraction. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **42**, 293—301 (1922).

CLARKE, E.: Genesis of myopia. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **45 I**, 373—386 (1925). CONTINO, A.: La visione dei nuotatori sott'acqua. Ann. Oftalm. **52**, 293—298 (1924); Zbl. Ophthalm. **13**, 318.

DALÉN: Ophthalmoskopische Messungen an der toten menschlichen Krystalllinse. Mitt. Augenh. Carol. med. chir. Inst. Stockholm **1906**, S. H. — DOESSCHAETE, G. TEN: Über den Zusammenhang zwischen Augendruck und Exophthalmus und zwischen Augendruck und Hornhautwölbung. Klin. Mbl. Augenheilk. **61**, 411—423 (1918). — DRUAULT-TOUFESCO, S.: Notes sur la myopie. Essai d'étude clinique. Annales d'Ocul. **159**, 321—364,

493—523 (1922); Zbl. Ophthalm. 8, 353, 356. — DUBOIS, H. F.: Over de vandering der refractie gedurende den loop van het leven. Diss. Utrecht 1907.

EHMANN: Beitrag zur Lehre von der Refraktion des aphakischen staroperierten Auges. Diss. Tübingen 1902. — ELY, E. T.: Betrachtungen mit dem Augenspiegel bezüglich der Refraction Neugeborener. Arch. Augenheilk. 9, 431—442 (1880). — ELSCHNIG, A.: (a) Stereoskopisch-photographischer Atlas der pathologischen Anatomie des Auges. II. Lief. Wien u. Leipzig 1901. (b) Bemerkungen über die Refraktion der Neugeborenen. Z. Augenheilk. 11, 10—13 (1904). — EPPENSTEIN, A.: Die Untersuchung des Gesichtsfeldzentrums und des blinden Flecks mittels des „Universal-Prismenapparates“. Klin. Mbl. Augenheilk. 60, 620—629 (1918). — ERGGELET, H.: Zur Korrektur der einseitigen Aphakie. Z. ophthalm. Opt. 1, 33—42, 65—73 (1913/14).

FALKENBURG, J. u. M. STRAUB: Über die normale Refraction des Auges und die Hypermetropie bei angeborener Amblyopie. Arch. Augenheilk. 26, 336—362 (1893). — FLEISCHER, B.: Die Vererbung von Augenleiden. Erg. Path. 21, 601—606 (1928) (Erg.-Bd. 2, 1, XI. Refraktion). — FUCHS, E.: Anatomischer Befund bei angeborener Myopie. Klin. Mbl. Augenheilk. 62, 559—571 (1919).

GALLUS, E.: (a) Die Refraktionsverhältnisse bei den Juden. Z. Augenheilk. 48, 215—218 (1922). (b) Über die Refraktionskurve. 44. Verslg rhein.-westfäl. Augenärzte Elberfeld, Sitzg 6. April 1924. Klin. Mbl. Augenheilk. 73, 491 (1924). (c) Über Anisometropie. Klin. Mbl. Augenheilk. 73, 771, 772 (1924). — GERMANN, TH.: Beitrag zur Kenntnis der Refraktionsverhältnisse der Kinder im Säuglingsalter sowie im vorschulpflichtigen Alter. Graefes Arch. 31, 122—146 (1885). — GRANSTRÖM, K.(O.): De la fréquence de modification et plus particulièrement de diminution transitoire de la réfraction oculaire au cours du diabète sucré. Acta med. scand. (Stockh.) 75, 10—20 (1931); Zbl. Ophthalm. 25, 654 (1931). — GREEN: The effects of civilization upon our eyes. California State J. Med., Nov. 1913; Michel-Nagels Jber. 44, 599.

HALBEN, R.: In welchem Verhältnis wächst das menschliche Auge von der Geburt bis zur Pubertät? Diss. Breslau 1900. — HEINE, L.: Stereoskopischer medizinischer Atlas, herausgeg. von A. NEISSER; Ophthalmologie von W. UETHOFF. Leipzig 1901. — HEINONEN, O.: Über die Refraktion bei eineiigen Zwillingen, speziell in Hinsicht der asymmetrischen Fälle. Acta ophthalm. (Köbenh.) 2, 35—53 (1924). — HERRNHEISER, J.: Die Refraktionsentwicklung des menschlichen Auges. Z. Heilk. 23, 342—377 (1892). — HESS, C.: Die Refraktion und Akkommodation des menschlichen Auges und ihre Anomalien. GRAEFES-SÄEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl., herausgeg. von SÄEMISCH und C. HESS. Leipzig 1910. HESS, C. u. C. DIEDRICH: Skiaskopische Schuluntersuchungen. Arch. Augenheilk. 29, 1—13 (1924). — HIPPEL, E. v.: Über das normale Auge des Neugeborenen. Graefes Arch. 45, 286—312 (1898). — HOEVE, J. VAN DER: Die Größe des blinden Flecks und seine Entfernung vom Fixationspunkt in ametropischen Augen. Arch. Augenheilk. 70, 155—162 (1912). — HORSTMANN: Über Refraktionsbestimmungen bei Neugeborenen 20 Tagen. 53. Verslg Naturforsch. Danzig. Ophthalm. Sekt., 2. Sitzg, 22. Sept. 1880. Klin. Mbl. Augenheilk. 18, 495 (1880). — HORSTMANN, C.: Beiträge zur Entwicklung der Refraktionsverhältnisse des menschlichen Auges während der ersten fünf Lebensjahre. Arch. Augenheilk. 14, 328—336 (1885).

JABLONSKI, W.: (a) Über die Vererbung der Refraktionszustände des menschlichen Auges. Schweiz. med. Wschr. 53, 846—848 (1923); Zbl. Ophthalm. 11, 398. (b) Ein Beitrag zur Vererbung der Refraktion menschlicher Augen. Arch. Augenheilk. 91, 308 bis 328 (1922). (c) Über die Vererbung der Achsenlänge des Auges. Klin. Mbl. Augenheilk. 73, 302—311 (1924). (d) Zur Genik der Refraktionszustände. V. Über die Refraktion von 29 Affen. Arch. Augenheilk. 97, 369—374 (1926). — JÄGER, v. jr.: Über die Einstellungen des dioptrischen Apparates im menschlichen Auge. Wien 1861. — JULER, F.: Amblyopia from disuse. Visual acuity after traumatic cataract in children. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. 41, 129—139 (1921).

KAISER, J. H.: Die Größe und das Wachstum der Hornhaut im Kindesalter. Graefes Arch. 116 II, 288—311 (1925). — KOEGEL, H.: Pupillenabstand und Refraktion. Z. ophthalm. Opt. 3, 129—142 (1925). — KÖNIGSTEIN, L.: (a) Untersuchungen an den Augen neugeborener Kinder. Wien. med. Jb. 1881. (b) Histologische Notizen: Maße von Embryonalauge. Graefes Arch. 30 I, 141—144 (1884). — KRAUSE, L. A.: Einige Bemerkungen über den Bau und die Dimensionen des menschlichen Auges. Arch. Anat. u. Physiol. 1832. — KRÖNER: Schijnbare accommodatie. Diss. Leiden 1910. Michel-Nagels Jber. 41, 66 (1910). KRONFELD, P. C. u. DEVNEY, C.: Ein Beitrag zur Kenntnis der Refraktionskurve. Graefes Arch. 126, 487—501 (1931). Siehe auch Ber. 13. internat. ophthalm. Kongr. Amsterdam 1929; Arch. Ophthalm. 4, 873 (1930). — KRUSIUS, F.: (a) Heredität, Gesichtstypus und Refraktionsanomalien. Ber. 38. Verslg ophthalm. Ges. 1912, 73—82. (b) Ergebnisse vergleichender Refraktionsuntersuchungen an höheren Schulen der Levante und Ostindiens. Ber. 39. Verslg ophthalm. Ges. 1913, 296. — KUGEL, L.: Über das doppeläugige Sehen der Anisometropen und Brillen bei denselben. Graefes Arch. 82, 489—503.

LANDOLT, E.: Einfluß des Alters auf die Accommodationsbreite. Klin. Mbl. Augenheilk. 14, 235—238 (1876). — LANDWEHR, J. H.: Beitrag zur Kenntnis der Anisometropie. Klin.

Mbl. Augenheilk. **61**, 231—252 (1918); Diss. Amsterdam 1917. — LANGE, O.: Zur Anatomie des Auges des Neugeborenen. I. Zur Anatomie des Ciliarmuskels des Neugeborenen. Klin. Mbl. Augenheilk. **39** I, 1—6 (1901). — LEBENSOHN, I. E.: Monocular Myopia. Illinois med. J. **46**, 254—259 (1924); Zbl. Ophthalm. **14**, 661. — LO CASCIO, G.: (a) Sulle caruse della differente visione degli ametropi di eguale genere e grado di ametropia. Ann. Ottalm. **52**, 159—192 (1924); Zbl. Ophthalm. **14**, 67. (b) Metodo per lo studio delle superfici focali dell'occhio in rapporto alla posizione della superficie retinica (Roma, 27.—30. Oct. 1924). Atti Congr. Soc. ital. Oftalm. **1925**, 132—139; Zbl. Ophthalm. **16**, 216. (c) Metodo per lo studio delle superfici focali dell'occhio in rapporto alla posizione della superficie retinica. Ann. Ottalm. **53**, 548—555 (1925); Zbl. Ophthalm. **15**, 473. (d) Influenza della superficie posteriore del cristallino sullo astigmatismo periferico dell'occhio. Soc. ital. Oftalm. Rom., 22.—24. Okt. 1928; Zbl. Ophthalm. **22**, 654. (e) Untersuchungen über die Brechung bei schiefer Incidenz im menschlichen Auge. Graefes Arch. **121**, 411—442 (1929). — LODDONI, G.: Il comportamento del senso cromatico negli ametropi. Ann. Ottalm. **57**, 539—549 (1929); Zbl. Ophthalm. **22**, 363.

MÄCHLER, I.: Über Hornhautrefraktion bei Anisometropie. Graefes Arch. **120**, 540—554 (1928). — MATSUO, Y.: Über die Beziehung zwischen Refraktion und Pupillenweite. Acta Soc. ophthalm. (jap.) Autorreferat **35**, 39—52 (1931). Zbl. Ophthalm. **25**, 112 (1931). — MERKEL, FR. u. A. W. ORR: Das Auge des Neugeborenen an einem schematischen Durchschnitt erläutert. Arb. anat. Inst. **3** (1892). — MIYASHITA, S.: Veränderungen der Refraktion durch das Lebensalter (I. Mitt.) Acta Soc. ophthalm. (jap.) **35**, 934—935 u. deutsche Zusammenfassung, 1931, S. 87. Zbl. Ophthalm. **26**, 218 (1932). — MÜNCH: Über Anisometropie bei einiigen Zwillingen. Ber. 43. Verslg dtsch. ophthalm. Ges. Jena, Sitzg 8. bis 10. Juni 1922, 241—245.

PEARSON, K. and M. MOUL: The problem of alien immigration into great Britain, illustrated by an examination of Russian and Polish children III. Ann. of Eugen. **2**, 111—244, 290—317; **3**, 1—76 (1927); Zbl. Ophthalm. **19**, 6. — PINCUS, F.: Myopische Einstellung der Pupille bei Emmetropie. (Beitrag zur Frage des nasalen Conus.) Arch. Augenheilk. **92**, 260—263 (1923). — POPOV, M.: Über die Korrelation zwischen der Refraktion und den konstitutionellen Typen des Gesichts und des Körpers. Russk. oftalm. Ž. **14**, 88—92 (1931); Zbl. Ophthalm. **27**, 116 (1932).

RAEDER, J. G.: Untersuchungen über die Lage und Dicke der Linse im menschlichen Auge bei physiologischen und pathologischen Zuständen nach einer neuen Methode gemessen. I. Die Lage und Dicke der Linse bei Emmetropen, Hypermetropen und Myopen. Graefes Arch. **110**, 73—108 (1922). — REUSS, A. v.: Untersuchungen über den Einfluß des Lebensalters auf die Krümmung der Hornhaut nebst einigen Bemerkungen über die Dimensionen der Lidspalte. Graefes Arch. **27**, 27—53 (1881). — VON ROHR, M.: Das Auge. Siehe CZAPSKI EPPENSTEIN, 3. Aufl., S. 370—383.

SALZMANN: Zur Frage der aphakischen Akkommodation. (Ophthalm. Ges. Wien.) Z. Augenheilk. **24**, 375 (1910). — SALZMANN, M.: Anatomie und Histologie des menschlichen Augapfels im Normalzustande, seine Entwicklung und sein Altern. Leipzig u. Wien 1912. — SCHEERER, R.: Zur entwicklungsgeschichtlichen Auffassung der Brechungs Zustände des Auges. Ber. 47. Zus.kunft dtsch. ophthalm. Ges. Heidelberg 1928, 118—126. — SCHLEICH, G.: Vergleichende Augenheilkunde. Handbuch der gesamten Augenheilkunde, begründet von GRAEFFE-SÄRMISCH, herausgeg. von AXENFELD u. ELSCHNIG, 2. Aufl., Bd. 10. Berlin 1922. — SCHMIDT: Ophthalmologische Untersuchungen bei ein- und zweieiigen Zwillingen. 52. Verslg rhein.-westfäl. Augenärzte, 25. März 1928. Klin. Mbl. Augenheilk. **86**, 553 (1928). — SEKA, W. A.: Die Refraktion turkotartarischer Völker. (Zugleich ein Beitrag zum Problem der Schulmyopie.) Klin. Mbl. Augenheilk. **86**, 348—362 (1931). — SÖRENSEN: Untersuchungen über den Refraktionszustand des Pferdeauges. Mh. prakt. Tierheilk. **31**, 341—362 (1920). — STAMMESHAUS, W.: Über die Lage der Netzhautschale zur Brennfläche des dioptrischen Systems des menschlichen Auges. Graefes Arch. **20** II, 147—170 (1874). — STEIGER, A.: Die Entstehung der sphärischen Refraktionen des menschlichen Auges. (Übersichtigkeit, Normalsichtigkeit, Kurzsichtigkeit.) Berlin 1913. — STILLING, J. u. H. LANDOLT: Über die Beziehung des Lichtsinnes zur Refraktion. Klin. Mbl. Augenheilk. **46** I, (N. F. 5) 490—505 (1908). — STOCKARD: Amer. J. Anat. **31**, 276 (1923). Zit. nach Zbl. Ophthalm. **14**, 661. — STRAUB, M.: (a) Die normale Refraktion des menschlichen Auges. Z. Psychol. u. Sinnesphysiol. **25**, 78—100 (1901). (b) Über die Ätiologie der Brechungsanomalien des Auges und den Ursprung der Emmetropie. Graefes Arch. **70**, 130—199 (1909). (c) La part de l'hérédité et de l'étude dans le développement de la myopie. Arch. d'Ophthalm. **36**, 68 (1918); Michel-Nagels Jber. **46** I, 397. — STREIFF, J.: Fragmente über Refraktions- und korrelative Anomalien. Klin. Mbl. Augenheilk. **55**, 1—22 (1915).

TAKATSUJI, M.: Über das Ergebnis der Sehfunktionsprüfungen der Studentinnen von Tokio-Joshi-Igakusen mongakko. Untersuchungen derselben Klasse in fünfjähriger Dauer. I. Mitt. Acta Soc. ophthalm. (jap.) **35**, 88, 89, 938—961 (1931). — TENNER, A. S.: Refraction in school children. 4800 refractions tabulated according to age, sex and nationality. N. Y. med. J. **102**, 611—614 (1915). Jber. Ophthalm. **45** II, 82. — TRON, E.: (a) Variationsstatistische Untersuchungen über Refraktion. Graefes Archiv **122**, 1—33 (1929). (b) Über die Refraktionskurve. Arch. oftalm. (russ.) **7**, 411—431 (1930); Zbl. Ophthalm. **25**, 83 (1931).

VOGT: Zur Genese der sphärischen Refraktionen. Dtsch. ophthalm. Ges. Heidelberg 1924, S. 67—71. — VOIROL: Untersuchungen über Refraktion, Visus, Farbensinn und Muskelgleichgewicht an den Augen von 939 Schulkindern. Z. Augenheilk. 28, 95 (1912). — DE VRIES, W. M.: (a) En en ander over het oog van den zuigeling. Nederl. Tijdschr. Geneesk. 1, 325 (1901); Michel-Nagels Jber. 32, 13 (1901). (b) Het oog van den zuigeling. Nederl. Tijdschr. Geneesk. 1, 325 (1901); Michel-Nagels Jber. 32, 13 (1901).

WAARDENBURG, P. J.: (a) Refraktion und Zwillingsforschung. Klin. Mbl. Augenheilk. 84, 593—637 (1930). (b) Anisometropie und Hornhautbrechung. Klin. Mbl. Augenheilk. 84, 788—794 (1930). (c) Über die Modifizierbarkeit der Hornhautbrechung. Klin. Mbl. Augenheilk. 84, 795—804 (1930). (d) Hornhautrefraktion und Hornhautscheibengröße. Klin. Mbl. Augenheilk. 85, 169—185 (1930). — WÄTZOLD, P.: Beobachtungen bei Refraktionsfehlern. Ber. 44. Zus.kunft dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg 1924, 71—79. — WEISS, L.: (a) Über das Wachstum des Auges. 24. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1895, S. 218—224. (b) Über das Wachstum des menschlichen Auges und über die Veränderung der Muskelinsertionen am wachsenden Auge. Anat. H. 8, H. 24/27, 193—248 (1897). — WESSELY: Über Korrelationen des Wachstums (nach Versuchen am Auge). Z. Augenheilk. 43, 654—681 (1920). — WIBAUT, F.: (a) Über die Emmetropisation und den Ursprung der sphärischen Refraktionsanomalien. Graefes Arch. 116, 596—612 (1926). (b) Bemerkungen zu der Arbeit von K. BERTSCH in den Klinischen Monatsblättern für Augenheilkunde, März 1929: „Über die menschliche Refraktionskurve.“ Klin. Mbl. Augenheilk. 82, 684 (1929).

ZENTMAYER, W.: Apparent accommodation in aphakia. Amer. J. Ophthalm. 1, 570, 583 (1918); Michel-Nagels Jber. 46 I, 399. — ZEEMAN, W. P. C.: (a) Lensmetingen en emmetropisatie. Versl. Acad. Wetensch. Amsterd., Wis. en natuurkd. Afd. 1910, 364; Michel-Nagels Jber. 41, 58. (b) Linsenmessungen und Emmetropisation. Graefes Arch. 78, 93—128 (1911).

### Die Hyperopie.

ASK, F.: Über den Zuckergehalt des Kammerwassers. Biochem. Z. 59, H. 1/2 (1913). — AXENFELD, TH.: Über eine eigenthümliche Form von unregelmäßigem Hornhautastigmatismus (corrigirbare partielle Hyperopie) complicirt mit hochgradiger Störung der relativen Accommodation auf dem befallenen Auge. Klin. Mbl. Augenheilk. 31, 33—50 (1893).

BASTERRA, S. C.: Pseudoneuritis optica. Progr. Clinica 8, 221—226 (1920); Zbl. Ophthalm. 3, 346 (1920). — BAYER, H.: Zur Entstehung der Hornhauthypermetropie. Ber. 39. Verslg ophthalm. Ges. 1913, 374—377. — BIELSCHOWSKY, A.: Zur Frage der Amblyopia ex anopsia (strabotica). Klin. Mbl. Augenheilk. 77, 302—314 (1926). — BIRCH-HIRSCHFELD, A.: Die Krankheiten der Orbita. Handbuch der gesamten Augenheilkunde, herausgeg. von TH. AXENFELD u. A. ELSCHNIG, 2. Aufl., Bd. 9, I. Abt., Kap. XIII. Berlin 1930. — BLACK, M.: Twins with high hyperopia. Amer. J. Ophthalm. 7, 375, 376 (1924). BROEKEMA, J. C.: Bijdrage tot de kennis der hypermetropie. Diss. Amsterdam 1909; Michel-Nagels Jber. 40, 782, 783 (1909). — BROWN, E. V. L.: Anatomic study of a case of temporal conus (coloboma) in an hyperopic eye. Arch. of Ophthalm. 43, 254—261 (1914); Michel-Nagels Jber. 45 I, 167, 168 (1914).

CANDIAN, F.: Eine eigenartige Refraktionsstörung und ihre Bedeutung für die klinische Diagnose eines retrobulbären Tumors. Klin. Mbl. Augenheilk. 68, 195—199 (1922). — CLAUSEN, W.: Hypermetropia permagna. Berl. ophthalm. Ges., 24. Nov. 1910. Zbl. prakt. Augenheilk. 35, 71, 72 (1911).

DANIEL, L.: Über den Einfluß des Lebensalters auf das Verhältnis der manifesten zur latenten Hypermetropie. Zbl. prakt. Augenheilk. 7, 193—207 (1883). — DOBROWOLSKY, W.: Beiträge zur Lehre von den Anomalien der Refraction und Accommodation des Auges. II. Hypermetropie. Ihre Complicationen mit staphyloma posticum und ihr Uebergang in Myopie. Klin. Mbl. Augenheilk. 6, Beil.-H., 94—118 (1868). — DOESSCHAETE, G. TEN: Über den Zusammenhang zwischen Augendruck und Exophthalmus und zwischen Augendruck und Hornhautwölbung. Klin. Mbl. Augenheilk. 61, 411—423 (1918). — DONDERS, F. C.: Die Anomalien der Refraction und Accommodation des Auges. Deutsche Originalausgabe von O. BECKER. Wien 1866. — BOIS-REYMOND, C. DU: Über die latente Hypermetropie. Z. Psychol. u. Sinnesphysiol. 8, 34—43 (1895). — DUKE-ELDER, W. ST.: Changes in refraction in diabetes mellitus. Brit. J. Ophthalm. 9, 167—187 (1925). — DUSCHNITZ: Transitorische Hypermetropie bei Diabetes. Klin. Mbl. Augenheilk. 69, 680 (1922).

ELSCHNIG, A.: (a) Refraktionsveränderungen bei Diabetes mellitus. Med. Klin. 19, 17, 18 (1923). (b) Diabetes und Augenerkrankungen. Med. Klin. 1929 I, 49—54. (c) Karlsbad. ärztl. Vortr. 10, 158—183 (1929); Zbl. Ophthalm. 21, 824. — ENROTH, E.: a) Beobachtungen über die sog. transitorische Übersichtigkeit bei Diabetes mellitus. Finska Läk.sällsk. HdI. 62, 28—42 (1920). (b) Zur Ätiologie der transitorischen Refraktionsabnahme bei Diabetes mellitus. Acta med. scand. (Stockh.) 56, 500—506 (1922).

FALKENBURG, J., u. M. STRAUB: Über die normale Refraction des Auges und die Hypermetropie bei angeborener Amblyopie. Arch. Augenheilk. 26, 336—362 (1893). — FRENZEL, H.: Über reinen Mikrophthalmus und hochgradige Hypermetropie. Diss. Leipzig 1920. — FRIDENBERG, P.: Die Überkorrektion der Hypermetropie als Behandlungsmethode

bei asthenopischen Beschwerden. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **46 I**, 21—25 (1908). — FRIEBERG, T.: Asthenopia dolorosa. *Verh. ophthalm. Ges.* **1928**; *Hosp.tid. (dän.)* **1929 I**, 15—16; *Zbl. Ophthalm.* **22**, 256. — FRIEDE, REINHARD: Zur Klinik der Mikrocornia und ihrer Übergangsformen. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **69**, 561—582 (1922). — FRIEDENWALD, H.: (a) Changes in refraction. *Amer. J. Ophthalm.* **5**, 802, 803 (1922). (b) Further note on a case of change in refractions. *Amer. J. Ophthalm.* **7**, 457—458 (1924).

GALLATI, J.: Die relativen Dickenwerte von Rinde und Kern der menschlichen Linse in verschiedenen Lebensaltern. *Z. Augenheilk.* **51**, 133—144 (1923); *Diss. Basel* 1923. — GALLUS: Über die Refraktionskurve. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **73**, 4—91. — GALLUS, E.: (a) Hyperopie und Diabetes mellitus. *Z. Augenheilk.* **15**, 319—322 (1906). (b) Beiträge zur Kenntnis der Refraktionsabnahme bei Diabetes mellitus. *Arch. Augenheilk.* **69**, 59—76 (1911). — GELLZUHN, E.: Über einen Fall von höchstgradiger Übersichtigkeit mit besonderer Berücksichtigung der Diagnostik. *Diss. Berlin* 1893. — GIFFORD, S. R.: Ocular complications of diabetes. *Med. Clin. N. Amer.* **12**, 423—431 (1928); *Zbl. Ophthalm.* **21**, 112. — GRAFE, E.: Die Bedeutung der Insulintherapie des Diabetes für die Ophthalmologie. *Ber. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg* **1924**, 53—59. — GRIMSDALE, H.: Acquired hypermetropia after rupture of choroid. *Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd.* **32**, 187, 188 (1912). — GRUNERT: Aussprache zu LEBER. *Ber. 33. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg* **1906**, 212. — GRUNERT, K.: Zur Behandlung der Asthenopia dolorosa. *Vortr. Verslg nordwestdtsh. u. niedersächs. Augenärzte-Ver.igg Bremen*, 26. Mai **1926**; *Klin. Mbl. Augenheilk.* **76**, 879 (1926). — GRUNERT, K.: Erfahrungen über Pilocarpinbehandlung bei Asthenopia dolorosa. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **81**, 44—58 (1928). — GUTZEIT, R.: Über hochgradige Hypermetropie. *Ophthalm. Rdsch.* **16** (1925); *Zbl. Ophthalm.* **16**, 586.

HAGEN, S.: Zur Ätiologie der transitorischen Hypermetropie bei Diabetes mellitus. *Graefes Arch.* **105**, 243—250 (1921). — HARMAN, N. B.: A case of extreme hypermetropia. *Ophthalm. Rev.* **1909**, 217; *Michel-Nagels Jber.* **40**, 783 (1909). — HEINE, L.: Siehe stereoskopischer medizinischer Atlas, herausgeg. von A. NEISSER. *Ophthalmologie*. Redigiert von W. UHTHOFF, 4. Folge, Lief. 44. *Leipzig* 1901. — HERRNHEISER, J.: Die Refractionsentwicklung des menschlichen Auges. *Berlin* 1892. — HESS, C.: Die Refraktion und Akkommodation des menschlichen Auges und ihre Anomalien. *GRAEFES-SAEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde*, 3. Aufl., herausgeg. von TH. SAEMISCH u. C. HESS. *Leipzig* 1910. — HIPPEL, E. v.: Die Mißbildungen und angeborenen Fehler des Auges. *GRAEFES-SAEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde*, herausgeg. von TH. SAEMISCH, 2. Aufl., Bd. 2, 1. Abt., Kap. 9. — HOOR, K. v.: Sehschärfe, Sehstörungen und Gefahren des hypermetropischen Auges und die das hypermetropische Auge bedrohenden Gefahren im Vergleich mit der Sehschärfe, den Sehstörungen und Gefahren des myopischen Auges. *Orv. Hetil. (ung.)* **64**, 13—16 (1920); *Zbl. Ophthalm.* **4**, 245. — HORNER: Refractionsänderungen. *Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg. Klin. Mbl. Augenheilk.* **11**, 488, 491 (1873). — HORSTMANN: Über Refractionsbestimmungen bei Neugeborenen unter 20 Tagen. 53. *Verslg Naturforsch. Danzig. ophthalm. Sekt.*, 2. Sitzg 22. Sept. 1880. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **18**, 495 (1880). — HORSTMANN, C.: Beiträge zur Entwicklung der Refractionsverhältnisse des menschlichen Auges während der ersten fünf Lebensjahre. *Arch. Augenheilk.* **14**, 328—336 (1885). — HUBER, O.: (a) Refractionsverminderung durch Trauma. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **83**, 523—525 (1929). (b) Refractionsverminderung durch Trauma. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **88**, 230—231 (1932).

IWANOFF, A.: Beiträge zur Anatomie des Ciliarmuskels. *Graefes Arch.* **15 III**, 284—298 (1869).

KNAPP, P.: Transitorische Hypermetropie bei Diabetes. *Z. Augenheilk.* **21**, 420—427 (1909). — KOUWENHOVEN: Seniele over verziendheid. *Diss.* 1899. (*Zit. nach STRAUB.*) — KRAEMER, R.: (a) Höchstgradige Hypermetropie im linsenhaltigen Auge. *Wien. klin. Wschr.* **1917**, 1405. *Ref. Arch. Augenheilk.* **83**, 193 (1917). (b) Fall von exzessiver Hypermetropie. *K. K. d. Ärzte Wien*, 19. Okt. 1917. *Berl. klin. Wschr.* **1918**, 342; *Michel-Nagels Jber.* **46 I**, 393 (1918). — KURZ, H.: Über die Refraktion bei Schwachsinnigen. (Ein weiterer Beitrag zur Refractionsfrage.) *Graefes Arch.* **118**, 500—505 (1927).

LAFON et BONNET: Un cas d'hypermétropie de courbure d'un degré élevé. *Rec. Ophtalm.* **1909**, 19. — LANDOLT, E.: (a) Einfluß des Alters auf die Accommodationsbreite. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **14**, 235—238 (1876). (b) L'influence de l'âge sur la refraction statique de l'œil. *Arch. d'Ophtalm.* **36**, 1 (1918); *Michel-Nagels Jber.* **46 I**, 398, 399 (1918). — LANGE, O.: I. Zur Anatomie des Ciliarmuskels des Neugeborenen. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **39**, 1—6 (1901). — LARSEN, M.: Ein Fall von transitorischer Hypermetropie bei latentem Diabetes. *Acta ophthalm. (Københ.)* **5**, 210—212 (1927). — LEBER, TH.: Über höchstgradige Hypermetropie bei Vorhandensein der Kristalllinse. *Ber. 33. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg* **1906**, 203—215. — LICHTENSTEIN, E.: Hyperopie und Diabetes mellitus. *Z. Augenheilk.* **16**, 330—332 (1906). — LUNDSGAARD, K. K. K.: (a) Hypermetropie bei Diabetes mellitus. *Z. Augenheilk.* **17**, 156, 157 (1907). (b) Transitorische Hypermetropie beim Diabetes mellitus. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **48 (N. F. 10)**, 38—44 (1910). (c) Transitorisk hypermetropie ved diabetes melitus. *Sitzgsber. ophthalm. Ges. Kopenhagen. Hosp.tid. (dän.)* **1910**, 627 und *Dansk. Klinik Nr. 6*; *Michel-Nagel Jber.* **41**, 715.

MARKBREITER, J.: Kennen wir die Ursache der Altershypermetropie? Szemészet (ung.) 51, 59—61 (1914); Michel-Nagels Jber. 45 I, 169 (1914). — MERKEL, FR. u. A. W. ORB: Das Auge des Neugeborenen an einem schematischen Durchschnitt erläutert. Arb. anat. Inst. 3 (1892).

OGATA, DAIZO, and F. W. WEYMOUTH: Refractive differences in foveal and para-foveal vision. Amer. J. Ophthalm. 1, 630 (1918); Michel-Nagels Jber. 46 I, 393 (1918). — OSTERROHT: Ein Fall von hochgradiger Hypermetropie bei angeborenem Mikrophthalmus mit inneren Komplikationen. Beitr. prakt. Augenheilk. 1904, H. 60, 33—41.

PERCIVAL: The acquired hypermetropia of Glaukoma. Ophthalmoskop. 1911, 686; Michel-Nagels Jber. 42, 759, 760.

RAEDER, J. G.: Untersuchungen über die Lage und Dicke der Linse im menschlichen Auge bei physiologischen und pathologischen Zuständen nach einer neuen Methode gemessen. I. Die Lage und Dicke der Linse bei Emmetropen, Hypermetropen und Myopen. Graefes Arch. 110, 73—108 (1922). — REUSS, A. v.: (a) Übersichtigkeit und Eisenbahn. Österr. Eisenbahntz 1908, Nr. 26. (b) Die Sehleistung der Hypermetropen. Graefes Arch. 69, 106 (1908). — ROHR, M. v.: Die Brille als optisches Instrument, 3. neubearb. Aufl. Berlin 1921. — ROBERTS, W. H.: Increase of hyperopia in diabetes. Amer. J. Ophthalm. 6, 291—295 (1923); Zbl. Ophthalm. 10, 338. — RÖNNE, H.: Transitorische Hypermetropie bei Diabetes. Klin. Mbl. Augenheilk. 54, 207—209 (1915). — RÜBEL, E.: Kongenitale familiäre Flachheit der Cornea (Cornea plana). Klin. Mbl. Augenheilk. 50 I, 427—433 (1912).

SATTLER, C. H.: Erfahrungen über die Beseitigung der Amblyopie und die Wiederherstellung des binokularen Sehakts bei Schielenden. Z. Augenheilk. 63, 19—37 (1927). SCHERENBERG, K.: Beiträge zur Lehre vom reinen Mikrophthalmus. Diss. Tübingen 1900; Michel-Nagels Jber. 31, 297, 298 (1900). — SCHLEICH, G.: Vergleichende Augenheilkunde. Handbuch der gesamten Augenheilkunde, herausgeg. von TH. AXENFELD u. A. ELSCHNIG, 2. Aufl., Bd. 10, XXI. Kap. Berlin 1922. — SCHMIDT-RIMPLER, H.: Glaukom und Ophthalmomalacie. GRAEFES-SÄEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 2. Aufl., Bd. 6, 1. Abt. Leipzig 1908. — SCHÖN: Michel-Nagels Jber. 26, 442 (1895). — SCHOEN, W.: (a) Die Ursache des grauen Staars. Arch. Augenheilk. 19, 77—88 (1888). (b) Ursache und Beginn des grauen Staars. Ber. 20. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1889, 170—177. (c) Die Anfänge und Ursachen der Stare. Dtsch. Revue Breslau u. Berlin 18, 115 (1893); Michel-Nagels Jber. 24, 300 (1893). — SCHRÖDER, C. DE: De l'essence de l'hypermetropie manifeste et de l'hypermetropie latente. Arch. d'Ophtalm. 1882 II, 289; Michel-Nagels Jber. 23, 527 (1882). — SEABROOK: Accommodation in Old People. Amer. J. Ophthalm. 1895, 208; Michel-Nagels Jber. 26, 442 (1895). — SMITH, P.: On the Size of the cornea in relation to age, sex, refraction and primary glaucoma. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. 10, 68 (1891). — SÖRENSEN: Untersuchungen über den Refraktionszustand des Pferdeauges. Mh. prakt. Tierheilk. 31, 341—362 (1920). — STÄHL, J.: Klinische Untersuchungen an Mikrokorneaugen (mit besonderer Berücksichtigung von Kornealwölbung, Totalrefraktion und Achsenlänge), zugleich ein Beitrag zur Megalokornefrage. Klin. Mbl. Augenheilk. 62, 316—349 (1919). — STOCKARD: Amer. J. Anat. 31, 276 (1923). Zit. nach Zbl. Ophthalm. 14, 661. — STRAUB, M.: (a) Senile Hypermetropie. Nederl. Tijdschr. Geneesk. 1, 570 (1899); Michel-Nagels Jber. 30, 698, 699 (1899). (b) La part de l'hérédité et de l'étude dans le développement de la myopie. Arch. d'Ophtalm. 36, 68 (1918); Michel-Nagels Jber. 46 I, 397. — STREIFF, J.: Über angeborene Amblyopie und disharmonische Augen. Klin. Mbl. Augenheilk. 62, 210—221 (1919).

WARSHAWSKI, J.: Zur Frage über die Beziehung zwischen Hypermetropie und Blepharitis. Klin. Mbl. Augenheilk. 37, 476—478 (1899). — WILLIAMSON-NOBLE, F. A.: High hypermetropia. Proc. roy. Soc. Med. 22, 325 (1929). — WINSELMANN, G.: Über Hypermetropie als Ursache der Blepharitis. Klin. Mbl. Augenheilk. 37, 240—242 (1899). — WÖLFFLIN, E.: Über temporäre Refraktionsabnahme bei Diabetes mellitus. Klin. Mbl. Augenheilk. 49 II, 426—430 (1911).

ZENTMAYER: Transitory decrease in the static refraction on the eye in diabetes. Ophthalm. Rec. 1911, 93; Michel-Nagels Jber. 42, 759.

## Die Myopie.

ADAM: Häufigkeit der spontanen Netzhautablösung bei Myopie. Zbl. prakt. Augenheilk. 35, 164 (1911). — ADAMÜCK, E.: Zur Frage über die Myopie in den Schulen. Vestn. Oftalm. (russ.) 3, 269 u. 429 (1886). Michel-Nagels Jber. 17, 490, 491 (1886). — D'ANSAN, J. R.: Remarques relatives à l'application de la gymnastique oculaire au traitement de la myopie et de l'amblyopie. C. r. Acad. Sci. Paris 182, 895, 896 (1926). — ARGANARAZ, R.: Progressive Myopie und Störungen der inneren Sekretion. Semana méd. 29, 1161—1163 (1922); Zbl. Ophthalm. 10, 215. — ARLT, F.: Über die Ursachen und die Entstehung der Kurzsichtigkeit. Wien 1876. — ASK, F.: (a) Studien über die Myopie in den vollständigen höheren Lehranstalten für Knaben („Hörs Allmänna Läröverk") Schwedens. Nord. med. Ark. (schwed.) 1904, Nr 10; Michel-Nagels Jber. 35, 674 (1904). (b) Noch einige Bemerkungen zur

Myopiefrage. Zur Erwidering HAMBURGERS (diese Zeitschrift, Bd. 18, S. 539) auf den Aufsatz: „Bemerkungen zur Myopiefrage“ (S. 47). Z. Augenheilk. **19**, 239—243 (1908). — (c) La diminution de la myopie dans les lycées suédois. 3. internat. Kongr. Schulhyg., 2.—7. Aug. 1910. Michel-Nagels Jber. **42**, 762 (1911). (d) Oftalmologiska notiser. Tidsskrift i Militär Hältovård, 1912, 168. Michel-Nagels Jber. **43**, 915 (1912). (e) Beiträge zur Kenntnis des Vorkommens und Grades der Kurzsichtigkeit nebst Bemerkungen über die Sehschärfe bei Myopie, mit besonderer Berücksichtigung von kurzsichtigen Akademikern. LUNDS Universitets Årsskrift N. F. Avd. **14**, Nr 12, 2. Festschrift zum 250jährigen Jubiläum der Universität Lund. (Schwedisch mit Autorreferat in deutscher Sprache.) Leipzig 1918. Jber. Ophthalm. **46**, 395. (f) A contribution to the question of the frequency of school-myopia in Sweden. Acta ophthalm. (Københ.) **3**, 108—120 (1925). Zbl. Ophthalm. **16**, 585. — AXENFELD, TH.: (a) Eine Bemerkung zur Statistik der Myopieoperation. Klin. Mbl. Augenheilk. **41 I**, 60—62 (1903). (b) Zur Myopiediscussion. Klin. Mbl. Augenheilk. **41 I**, 176 (1903). (c) Kavernöse (lakunäre) Sehnervenatrophie und multiple Dehiscenzen der Sklera bei hochgradiger Myopie. Ber. 32. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1905**, 303—306. (d) Hochgradige Myopie und Glaukom. Ber. 42. Verslg dtsch. ophthalm. Ges. Heidelberg **1920**, 102 bis 107.

BAAS, K. L.: Zur Anatomie und Pathogenese der Myopie. Arch. Augenheilk. **26**, 33—55 (1893). — BAER, N. A.: Über das Verhalten des Orbitalindex bei den verschiedenen Refraktionszuständen vom 10.—19. Lebensjahr. Diss. München 1888. — BAILEY, JOHN M.: Traumatic myopia. Amer. J. Ophthalm. **4**, 363—364 (1921); Zbl. Ophthalm. **5**, 556. — BARSALBU: Contribution à l'étude des myopies traumatiques. Thèse de Toulouse 1910. (Zit. nach A. WAGENMANN). — BARTELS, M.: (a) Aussprache zu G. LEVINSOHN (c). (b) Entstehung der Myopie und intermittierender Exophthalmus. Zusatz zur vorstehenden Arbeit von Dr. MEYER-RIEMSLOH: „Über intermittierenden Exophthalmus“. Klin. Mbl. Augenheilk. **71**, 465—466 (1923). (c) Hohe Myopie in den ersten Lebensjahren. Klin. Mbl. Augenheilk. **86**, 770—775 (1931). — BECKER: Späte Entstehung von Myopie. Wschr. Ther. u. Hyg., Aug. **1911**, Nr 24; Michel-Nagels Jber. **42**, 764 (1911). — BECKER, O.: Über zunehmende und überhandnehmende Kurzsichtigkeit. Ber. 15. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1883**, 77—89. — BECKERS, H.: Meine Theorie von der Entstehung der Kurzsichtigkeit. Berl. klin. Wschr. **57**, 254—255 (1920). — BECKERSHAUS, F.: (a) Die Konsanguinität und ihre Bedeutung für die Augenheilkunde. Klin. Mbl. Augenheilk. **73**, 652—664 (1924). (b) Über einieiige Zwillinge. Z. Augenheilk. **59**, 264—284 (1926). — BÉKÉS, D.: Myopie infolge Kontusion. Orvosképzés (ung.) **15**, Sonderh., 59—61 (1925); Zbl. Ophthalm. **16**, 242. — BEHR, C.: Über Kurzsichtigkeit bei Affen. Klin. Mbl. Augenheilk. **62**, 412—429 (1919). — BEHSE, E.: Über den anatomischen Bau des Conus und der Aderhautveränderungen im myopischen Auge. Graefes Arch. **67**, 379—438 (1908). — BERESINSKAJA, D.: Vererbung bei der Myopie. Russk. oftalm. Ž. **4**, 220—230 (1925); Zbl. Ophthalm. **16**, 241. — BESOLD: Kritische Betrachtungen über die verschiedenen Theorien der Myopie. Diss. München 1913. — BETSCH, A.: Über die menschliche Refraktionskurve. Klin. Mbl. Augenheilk. **82**, 365—379 (1929). — BIEGEL: De normale refractie-toestand van pasgeborenen. (Der normale Refraktionszustand Neugeborener.) Weekbl. Nederl. Tijdschr. Geneesk. **1893**, Nr 13; Michel-Nagels Jber. **24**, 397 (1893). — BIETTI, A.: Beitrag zur Kenntnis des zentralen grünen Fleckes bei Myopie. Klin. Mbl. Augenheilk. **50** (N. F. **14**), 529—532 (1912). — BIELSCHOWSKY, A.: Das Einwärtsschielen der Myopen. Ber. 43. Verslg dtsch. ophthalm. Ges. Jena, Sitzg 10. Juni **1922**, 245—248. — BIRCH-HIRSCHFELD: Hochgradige Kurzsichtigkeit und künstliche Unterbrechung der Schwangerschaft. Z. Augenheilk. **68**, 127—133 (1929). — BJERKE, K.: (a) Die operative Beseitigung der durchsichtigen Linse wegen hochgradiger Myopie. Z. Augenheilk. **8**, 136—175 (1902). (b) Über die Veränderung der Sehschärfe nach Linsenentfernung. Graefes Arch. **56**, 292—296 (1903). — BJERRUM: Bemærkninger om myopiens pathogenese. Hosp.tid. (dän.) **1913**, Nr 23/24; Michel-Nagels Jber. **44**, 600, 601 (1913). — BLEGVAD, O.: (a) Über die Progression der Myopie. Klin. Mbl. Augenheilk. **60**, 155—181 (1918). (b) Die Prognose der excessiven Myopie. Acta ophthalm. (Københ.) **5**, 49—77 (1927); Zbl. Ophthalm. **19**, 108. — BOGATSCH, G.: Vererbung bei Myopie. Klin. Mbl. Augenheilk. **49 II**, 431—434 (1911). — BÖHM, F.: (a) Beobachtungen und Erfahrungen bei der Exaktion der durchsichtigen Linse wegen hoher Myopie. Graefes Arch. **103**, 143—153 (1920). (b) Nachtrag zur Arbeit über „Beobachtungen und Erfahrungen bei der Exaktion der durchsichtigen Linse wegen hoher Myopie“. Graefes Arch. **104**, 157 (1921). — BOHNENBERGER, F.: Über einen Fall von zweifacher Refraktion. Ver. mitteldtsch. Augenärzte Jena, 17. Mai 1925; Klin. Mbl. Augenheilk. **74**, 770 (1925); Klin. Mbl. Augenheilk. **76**, 690—694 (1926). — BONNEFON: La valeur clinique du traitement chirurgical de la myopie forte, par la suppression du cristallin transparent. Arch. d'Ophthalm. **30**, 281—308 (1910); Michel-Nagels Jber. **41**, 721. — BOTHMAN, L.: The relation of the basal metabolic rate to progressive axial myopia. Preliminary report. Amer. J. Ophthalm. **14**, 918—924 (1931); Klin. Mbl. Augenheilk. **88**, 255 (1931). — BOTVINNIK, N.: Zur Frage der Kurzsichtigkeit bei den Juden. Wratsch. (russ.) **1899**, Nr 42; Michels-Nagels Jber. **31**, 658 (1900). — BOUCHART, A.: La contusion oculaire et les troubles qu'elle apporte dans la réfraction. Rec. d'Ophthalm., III. s. **23**, 1—15 (1901). — BOURDEAUX: Le traitement des myopies extrêmes. Bull. Soc. franç. Ophthalm. **31**, 670—675

(1914); Michel-Nagels Jber. **45 I**, 168, 169. — BRÜCKNER, A. u. A. FRANCESCHETTI: Myopie im Kindesalter. Arch. Augenheilk. **105**, 1—12 (1931). — BRÜCKNER, A. u. W. MEISNER: Grundriß der Augenheilkunde für Studierende und praktische Ärzte, 2. Aufl. Leipzig 1929. — BUFILL: Drei Fälle von Myopie durch Operation geheilt. Arch. Ophthalm. hisp.-amer. **1913**, 391; Michel-Nagels Jber. **44**, 604 (1913). — BUTLER, T. H.: Eine durch Myopie erzeugte hellgrüngefärbte Lochbildung der Maculagegend. Z. Augenheilk. **26**, 128, 129 (1911).

CANDIAN, F.: Eine eigenartige Refraktionsstörung und ihre Bedeutung für die klinische Diagnose eines retrolubären Tumors. Klin. Mbl. Augenheilk. **68**, 195—199 (1922). — CARL [THEODOR] Herzog in Bayern: (a) Beiträge zur Anatomie und Pathologie des Glaskörpers. Graefes Arch. **25 III**, 111—162 (1879). (b) Über einige anatomische Befunde bei der Myopie. Mitt. Münch. Augen-Klin. **1882 I**, 233; Michel-Nagels Jber. **13**, 241—242, 535—536 (1882). — CASATI, C.: Un caso di miopia transitoria in seguito ad iniezioni di salvarsan. Atti Congr. Ophthalm. **1927**, 307—309; Zbl. Ophthalm. **19**, 712 (1928). — CASO, G.: Myopie und Tension in Beziehungen krankhafter Veränderungen des Auges. Lett. oftalm. **8**, 6, 287; Klin. Mbl. Augenheilk. **87**, 266 (1930); Zbl. Ophthalm. **26**, 108. — CASPAR, L.: Weitere Fälle von ophthalmoskopisch sichtbarer Ectasie am hinteren Augenpol bei hochgradiger Myopie. Arch. Augenheilk. **28**, 75—81 (1894). — CATH: De blijvende resultaten der myopie-operatie. Inaug.-Diss. Leiden 1911; Michel-Nagels Jber. **42**, 766. — CLARKE, E.: Genesis of myopia. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **45**, 373—386 (1925). — CLAUSEN, W.: (a) Das Wesen der Kurzsichtigkeit im Licht der heutigen Vererbungslehre. Klin. Mbl. Augenheilk. **65**, 421—422 (1920). (b) Das Wesen der Kurzsichtigkeit im Lichte neuerer Forschungen. Naturwiss. **11**, 441—449 (1923). (c) Vererbungslehre und Augenheilkunde. Zbl. Ophthalm. **11**, 481—520; **13**, 161—240 (1924). (d) Aussprache zu COMBERG. Ber. 47. Zus.kunft dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1928**, 135. (e) Anatomie, Ursache und Behandlung der Myopie. 90. Verslg Naturforsch. Hamburg, 16.—21. Sept. 1928. Klin. Mbl. Augenheilk. **81**, 520, 521 (1928). — COHEN, O.: Über die Gestalt der Orbita bei Kurzsichtigkeit. Arch. Augenheilk. **19**, 41—62 (1888). — COHN, H.: (a) Die Kurzsichtigkeit unter den Schulkindern und ihre Beziehungen zu Schultisch und Helligkeit der Schulzimmer. Dtsch. Klin. **7** (1866). (b) Untersuchungen der Augen von 10060 Schulkindern nebst Vorschlägen zur Verbesserung der den Augen naehtheiligen Schuleinrichtungen. Eine ätiologische Studie von H. COHN. Leipzig 1867. (c) Die Refraction der Augen von 240 atropinisirten Dorfschulkindern. Graefes Arch. **17 II**, 305—330 (1871); (d) Die Hygiene des Auges in den Schulen. Wien u. Leipzig 1883. (e) Lehrbuch der Hygiene des Auges. Wien u. Leipzig 1892. — COLDEN: Hochgradige Kurzsichtigkeit bei Schulkindern und Lernanfängern. Tagg Augenärzte Schlesien u. Posen, Breslau, Sitzg 30. April 1922. Klin. Mbl. Augenheilk. **68**, 832—833 (1922). — COLOMBO, G. L.: (a) Lenticonus posterior: calcolo ottico-matematico sul suo raggio di curvatura et ipotesi embriologica sul suo meccanismo di formazione. Osp. magg. **10**, 3—12 (1922); Zbl. Ophthalm. **7**, 517. (b) Lenticone postérieur. Calcul du rayon de sa courbure. Hypothèse embryologique sur le mécanisme de sa formation. Annales d'Ocul. **161**, 363—382 (1924); Zbl. Ophthalm. **14**, 66. — COMBERG, W.: Anatomische und experimentelle Untersuchungen über die mechanischen Faktoren der Myopiegenese. Ber. 47. Zus.kunft dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1928**, 126—131. — CONRAD: Über die operative Behandlung hochgradiger Kurzsichtigkeit. Diss. Kiel 1913. — CRAMER: Ein Fall von Lenticonus posterior. Klin. Mbl. Augenheilk. **34**, 278—281 (1896). — CRAMPTON, S.: Die Behandlung der Myopie. Amer. J. Ophthalm. **32**, 86 (1915); Zbl. Ophthalm. **35**, 62—63. — CRZELLITZER, F. A. (später CZELLITZER): (a) Vererbung von Augenleiden. Berl. klin. Wschr. **49**, 2070—2074 (1912). (b) Totalrefraktion und Hornhautrefraktion mit besonderer Berücksichtigung des physiologischen Linsen-Astigmatismus. Klin. Mbl. Augenheilk. **79**, 301—312 (1927).

DAVIES, A. E.: Curvature and index myopia, with report of cases. Trans. amer. ophthalm. Soc. **13**, 858—866 (1914); Michel-Nagels Jber. **45 I**, 166—167. — DAVIS: Change of refraction in diabetes. Ophthalm. Rec. **1912**, 137; Michel-Nagels Jber. **43**, 914 (1912). — DEMICHÉRI, L.: Faux lenticone. Annales d'Ocul. **113**, 93—106 (1895). — DEUTSCHMANN, R.: Zur Kenntnis der Netzhautablösung und ihrer Behandlung. Graefes Arch. **74**, 206—223 (1910). — DIANOUX: Myopie et myopiques. Clin. ophthalm. **1912**, 68; Michel-Nagels Jber. **43**, 918. — DINGER, A. N.: Die Augen der Amsterdamer Schuljugend im Jahre 1899. Diss. 1900. — DINGER, J. E.: (a) Zur Kenntnis der Schulmyopie und der Emmetropisation. Diss. Amsterdam 1918; Jber. Ophthalm. **46 I**, 394 (1918). (b) Der Einfluß der Kopfhaltung auf das Auge und die Myopiegenese. Graefes Arch. **100**, 78—109 (1919). (c) Die Tiefe der Corneoscleralrinne und die Emmetropisation. Graefes Arch. **100**, 110—115 (1919). — DISTLER: Extraktion bei hoher Myopie. Ver. Württemberg. Augenärzte. Klin. Mbl. Augenheilk. **52 I**, 141 (1914). — DOBROWOLSKY, W.: Beiträge zur Lehre von den Anomalien der Refraction und Accommodation des Auges. Klin. Mbl. Augenheilk. **6**, Beil.-H., 1—137 (1868); **7**, Beil.-H., 138—212 (1869). — DOMEZ: Massage-pressure, myotiques, myopie. Clin. Ophthalm. **1912**, 474; Arch. d'Ophthalm. **1912**, 391 (Soc. franç. Ophthalm.); Michel-Nagels Jber. **43**, 918 (1912). — DONDEERS, F. C.: Die Anomalien der Refraction und Accommodation unter Mitwirkung des Verfassers, herausgeg. von O. BECKER. Wien 1866. — DOR: Schule und Kurzsichtigkeit.

Rektoratsrede Bern 1874. Zit. nach A. STEIGER, S. 36, 37. — DOYNE: (a) Aussprache zu H. GRIMSDALE, rapid changes in refraction in connection with diabetes. *Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd.* **19**, 271 (1899). (b) Myopic degeneration of the lens. *Ophthalm. Rev.* **29**, 30, 31 (1910); *Michel-Nagels Jber.* **40**, 776 (1909). — DRANSART: Traitement du décollement de la rétine par l'iridectomie. *Annales d'Ocul.* **89**, 228 (1883); *Bull. Soc. franç. Ophtalm.* **1883**, 123; *Michel-Nagels Jber.* **14**, 418 (1883). (b) 1. Traitement du décollement de la rétine et de la myopie progressive par l'iridectomie, la sclérotomie et la pilocarpine. 2. Rapports cliniques et pathogéniques entre le décollement de la rétine, la myopie et le glaucome. *Annales d'Ocul.* **92**, 30 (1884); *Michel-Nagels Jber.* **15**, 526 (1884). — DRUAULT-TOUFESCO, S.: Notes sur la myopie. Essai d'étude clinique. *Annales d'Ocul.* **159**, 321—364, 493—523, 709—729, 865—888 (1922). — DUBOIS, H. F.: Over de verandering der refractie gedurende den loop van het leven. (Über die Wandlung der Refraktion im Lauf des Lebens.) Inaug.-Diss. Utrecht 1907; *Michel-Nagels Jber.* **38**, 720 (1907). — DUKE-ELDER, W. St.: Changes in refraction in diabetes mellitus. *Brit. J. Ophthalm.* **9**, 167—187 (1925); *Zbl. Ophthalm.* **15**, 236. — DUPUY-DUTEMPS et PÉRINS: (a) Myopie spasmodique transitoire arsénobenzolique. *Bull. Soc. franç. Dermat.* **32**, 394—399 (1925); *Zbl. Ophthalm.* **16**, 392. (b) Myopie spasmodique transitoire arsénobenzolique. *Annales d'Ocul.* **163**, 123—127 (1926); *Zbl. Ophthalm.* **17**, 369. — DÜRR u. SCHLEGTENDAL: Fünf Fälle von Hydrophthalmus congenitus. *Graefes Arch.* **35 II**, 88—170 (1889). — DYCK, L. TH. VAN: Statistisch onderzoek der niet door overloading met schoolwerk ontstane byziendheid. Diss. Amsterdam 1904. (Zit. nach STRAUB.)

EISECK: Ein Fall von Lenticonus posterior. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **30**, 116—117 (1892). — EISSEN, W.: Hornhautkrümmung bei erhöhtem intraokularem Druck. *Graefes Arch.* **34 II**, 1—66 (1888). — ELSCHNIG, A.: (a) Lenticonus posterior. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **33**, 239—243 (1895). (b) Der normale Sehnerveneintritt des menschlichen Auges. *Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl.* **70** (1900); *Michel-Nagels Jber.* **31**, 11—14 (1900). (c) Über Conus nach unten und Kolobom am Sehnerveneintritte. *Ber. 28. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg* **1900**, 214—219. (d) Pathologische Anatomie des Sehnerveneintrittes. *Mikrophotographie von ZOTH. Augenärztl. Unterrichtstafeln*, herausgeg. von MAGNUS, 1900, H. 19; *Michel-Nagels Jber.* **31**, 244 (1900). (e) Das Kolobom am Sehnerveneintritt und der Conus nach unten. *Graefes Arch.* **51**, 391—430 (1900). (f) Stereoskopisch-photographischer Atlas der pathologischen Anatomie des Auges. *Wien u. Leipzig* 1901. (g) Weitere Mitteilungen über das Kolobom am Sehnerveneintritt und den Conus nach unten. *Graefes Arch.* **56**, 49—65 (1903). (h) Über Glaskörperablösung. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **42 II**, 529—538 (1904). (i) Die elastischen Fasern in der Sklera myopischer Augen. *Graefes Arch.* **61**, 237—244 (1905). (k) Refraktion und Kriegsdiensttauglichkeit. *Ber. 40. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg* **1916**, 259—269. (l) Felddiensttauglichkeit nach Myopieoperation und bei Myopie. *Med. Klin.* **12**, 527—528 (1916). (m) Diabetes und Augenerkrankung. *Med. Klin.* **1929 I**, 49—54; *Karlsbad. ärztl. Vortr.* **10**, 158—183; *Zbl. Ophthalm.* **21**, 440, 824. — ELY, E. T.: Beobachtungen mit dem Augenspiegel bezüglich der Refraktion der Augen Neugeborener (Übers. v. PURTSCHER). *Arch. Augenheilk.* **9**, 431—442 (1880). — EMMERT, E.: (a) Ursachen der Kurzsichtigkeit. 10. internat. ophthalm. Kongr. Luzern, 13.—17. Sept. **1905**, Abt. B, 79—83. (b) Neuere Behandlung der Myopie; Operation gegen dieselbe. *Schweiz. Rdsch. Med.* **1910**, 1339; *Michel-Nagels Jber.* **41**, 720 (1910). ÉPERON: Les résultats de la phakolyse dans la myopie très forte. *Schweiz. Rdsch. Med.* **20**, 257—262 (1920); *Zbl. Ophthalm.* **3**, 213. — ERISMANN, F.: Ein Beitrag zur Entwicklungsgeschichte der Myopie, gestützt auf die Untersuchung der Augen von 4358 Schülern und Schülerinnen. *Graefes Arch.* **17 I**, 1—79 (1871). — ERGGELET, H.: Bemerkungen zur Fernrohrbrille. *Z. ophthalm. Opt.* **8**, 146—154 (1920). — ESSÉD, W. F. R.: Theoretische Betrachtungen über den Zusammenhang zwischen Schwerkraft und Kurzsichtigkeit. *Geneesk. Tijdschr. Nederl.-Indië* **65**, 465—500 (1925); *Zbl. Ophthalm.* **16**, 40. — ESSÉD, W. F. R. u. M. SOEWARNO: Über Experimentalmyopie bei Affen. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **80**, 56—62 (1928). — EUNIKE, FR.: Das Myopiematerial der Gießener Universitäts-Augenklinik in den Jahren 1906—1912 und das weitere Schicksal der Myopieoperierten. Diss. Gießen 1914.

FALKENBURG, J. u. M. STRAUB: Ueber die normale Refraction des Auges und die Hypermetropie bei angeborener Amblyopie. *Arch. Augenheilk.* **26**, 336—362 (1893). — FAVALORO, G.: Ricerche sui rapporti anatomo-clinici tra conformazione dell'orbita ed occhio miopico con particolare riguardo alla teoria dello Stilling. *Giorn. Ocul.* **8**, 37—42 (1927); *Atti Congr. Soc. ital. Oftalm.* **1927**, 85. — FEDERICI, E.: Contributo statistico allo studio dei rapporti fra astigmatismo e miopia. *Boll. Ocul.* **3**, 487—530 (1924); *Zbl. Ophthalm.* **14**, 62. — FEIGENBAUM, A.: Hohe Myopie und Tuberkulose. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **74**, 388—392 (1925). — FISCHER, E.: Operation der Kurzsichtigkeit und Ablösung der Netzhaut. *Cbl. prakt. Augenheilk.* **23**, 79—82 (1899). — FLEISCHER, B.: (a) Demonstration eines Falles von Linsenmyopie. *Ophthalm. Klin.* **9**, 7 (1905). (b) Risse der DESCOMETschen Membran bei Myopie. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **44 I**, 64 (1906). (c) Über Vererbung von Kurzsichtigkeit. *Ber. 34. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg* **1907**, 238. (d) Über Linsenmyopie durch zu kleine und zu stark gewölbte Linsen mit Glaukom. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **53**, 433 (1914). (e) Abnorme Kleinheit und abnorme Kugelgestalt der Linse bei zwei Geschwisterpaaren. *Arch. Augenheilk.* **80**, 248—258 (1916). — FLORSCHÜTZ, B.: Die

Kurzsichtigkeit in den Coburger Schulen. Coburg 1880. Michel-Nagels Jber. **11**, 448 (1880). FÖRSTER: (a) Chorioiditis areolaris. Ophthalmologische Beiträge, 1862. S. 65. Zit. nach FUCHS, Z. Augenheilk. **5**, 171 (1901) u. V. L. v. WECKER, Handbuch der gesamten Augenheilkunde, Bd. 4. (b) Ueber den Einfluß der Concavgläser und der Achsenconvergenz auf die Weiterentwicklung der Myopie. Arch. Augenheilk. **14**, 295—328 (1884). — FRACASSI, G.: Ätiologie und Pathogenese der Axenmyopie. 13. internat. ophthalm. Congr. Amsterdam 1929. Zbl. Ophthalm. **22**, 740 (1930). — FRANZ, W.: Über jugendliche hochgradige Myopie. Ein Beitrag zur Frage primärer Artverschiedenheiten der Myopie. Inaug.-Diss. Tübingen 1911. — FRENKEL, H.: Étude sur les myopies traumatiques. Annales d'Ocul **134**, 1—32 (1905). — FRÖHLICH, C.: Über spontane und postoperative Kurzsichtigkeitsnetzhaablösungen. Arch. Augenheilk. **38**, 11—26 (1899). — FROMAGET: (a) Myopie traumatique par avancement du cristallin. Soc. franç. Ophtalm. Congr., Mai 1911; Rec. Ophtalm. **1911**, 486; Michel-Nagels Jber. **42**, 764 (1911). (b) Deux cas de myopie traumatique par avancement. Clin. ophtalm. **1911**, 359; Michel-Nagels Jber. **42**, 764. (c) Un cas de myopie élevée traitée par extraction du cristallin transparent. Ophtalm. Provinc. **1913**, 17; Michel-Nagels Jber. **44**, 604 (1913). — FUCHS, A.: Ophthalmologische Indikationen zur Unterbrechung der Schwangerschaft. Mitt. Volksgesdh. amt Wien **1929**, Nr 8, 239—241; Zbl. Ophthalm. **22**, 480. — FUCHS, E.: (a) Beitrag zu den angeborenen Anomalien des Sehnerven. Graefes Arch. **28**, 139—169 (1882). (b) Der centrale schwarze Fleck bei Myopie. Z. Augenheilk. **5**, 171—178 (1901). (c) Ueber nasalen Conus. Klin. Mbl. Augenheilk. **62**, 433—438 (1919). (d) Myopische Augen mit dicker Sklera. Klin. Mbl. Augenheilk. **62**, 429—432 (1919). (e) Anatomischer Befund bei angeborener Myopie. Klin. Mbl. Augenheilk. **62**, 559—571 (1919). — FUKALA, V.: (a) Operative Behandlung der höchstgradigen Myopie durch Aphakie. Graefes Arch. **36** II, 230—244 (1890). (b) Heilung höchstgradiger Kurzsichtigkeit durch Beseitigung der Linse. Leipzig u. Wien 1891. (c) Über die Verbesserung der Sehschärfe bei höchstgradig myopisch gewesenen Aphaken. Beitrag zur Ursache der höchstgradigen Myopie. Arch. Augenheilk. **24**, 161—168 (1892). (d) Korrektion hochgradiger Myopie durch Aphakie. Wahl des Operationsverfahrens, mit Rücksicht auf die pathologisch-anatomischen Veränderungen der Chorioidea. 8. internat. ophthalm. Congr. Edinburgh **1894**, 181—187; Michel-Nagels Jber. **25**, 461 (1894). (e) Beitrag zur Geschichte der operativen Behandlung der Myopie. Arch. Augenheilk. **29**, 42—50 (1894); Michel-Nagels Jber. **25**, 345, 461 (1894). (f) Heilung höchstgradiger Kurzsichtigkeit, nebst Angabe einer leichtfaßlichen Methode zur schnellen Berechnung der Achsenlänge optischer Konstanten des Auges und Bildgröße. Leipzig u. Wien 1896. Michel-Nagels Jber. **27**, 334—335 (1896). (g) Zur Verbesserung der Sehschärfe nach Myopieoperationen. Graefes Arch. **43**, 206—217 (1897).

GALLUS, J.: (a) Ätiologie der Myopie mit anatomischen Demonstrationen. Ber. 16. Versg rhein.-westfäl. Augenärzte Düsseldorf, 4. Febr. 1906; Klin. Mbl. Augenheilk. **44** (N. F. 1), 398—407 (1906). (b) Die Refraktionsverhältnisse bei den Juden. Z. Augenheilk. **48**, 215—218 (1922). (c) Über die Refraktionskurve. 44. Versg rhein.-westfäl. Augenärzte Elberfeld, Sitzg 6. April 1924. Klin. Mbl. Augenheilk. **73**, 491 (1924). (d) Über Anisometropie. Ver. rhein.-westfäl. Augenärzte Düsseldorf, Sitzg 9. Nov. 1924. Klin. Mbl. Augenheilk. **73**, 771—772 (1924). — GAMPER, F. H.: Die Stilling'schen Anschauungen über die Entstehung der Myopie unter besonderer Berücksichtigung des Röntgenbildes. Diss. Zürich 1914. — GASSLER, V. J.: Über eine bis jetzt nicht bekannte recessive Verknüpfung von hochgradiger Myopie mit angeborener Hemeralopie. Arch. Klaus-Stiftg **1**, 259—272 (1925). — GERMANN, TH.: Beitrag zur Kenntniss der Refraktionsverhältnisse der Kinder im Säuglingsalter sowie im vorschulpflichtigen Alter. Graefes Arch. **31** II, 122—146 (1885); Ber. Zbl. prakt. Augenheilk. **9**, 378, 379 (1885). — GEYER, W. H.: Beitrag zu der Frage der Myopieoperation mit Berücksichtigung der Späterfolge. Diss. Breslau **1920**. — GIFFORD, S. R.: Ocular complications of diabetes. Med. Clin. N. Amer. **12**, 423—431 (1928); Michel-Nagels Jber. **55**, 68 (1928). — GILBERT, W.: (a) Zur Anatomie der myopischen Augenhintergrundveränderungen. Arch. Augenheilk. **86**, 282—288 (1920). (b) Ist Kurzsichtigkeit mit Konkav- oder Konvexgläsern zu behandeln? Eine Besprechung des Buches: WISER, Die Erhaltung des Augenlichtes. Die Gefahren der Kurzsichtigkeit und deren Verhütung durch sachgemäße Behandlung. Med. Klin. **23**, 11—13 (1927). — GOLDZIEHER, W.: Über die Operation der Kurzsichtigkeit höchsten Grades. Med. Klin. **6**, 653—656 (1910). — GRAEFE, A. v.: Mittheilungen von Krankheitsfällen und Notizen vermischten Inhalts. Graefes Arch. **1**, 283—465 (1854). — GREEN, J.: Transient myopia after iritis (Americ. ophthalm. Soc. 23. Meeting). Ophthalm. Rev. **1887**, 305; Trans. amer. ophthalm. Soc. **1887**, 599; Michel-Nagels Jber. **18**, 474 (1887). — GRIMSDALE, H.: Rapid change in refraction in connection with diabetes. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **19**, 267—271 (1899). — GRÖNHOLM, V.: (a) Über prä-äquatoriale Sklerektomie bei Netzhautablösung. Graefes Arch. **105**, 899—915 (1921). — (b) Über prä-äquatoriale Sklerektomie bei maligner Myopie. Graefes Arch. **107**, 489—495 (1922). — GRUNERT, K.: (a) Verhütung und Behandlung der Kurzsichtigkeit und ihrer Folgeerscheinungen. 90. Versg dtsh. Naturforsch. Hamburg, 16.—21. Sept. 1928. Abh. Augenheilk. **81**, 521—523 (1928). (b) Die Insuffizienz des Ciliarmuskels. 91. Versg Naturforsch. Königsberg i. Pr., 8.—11. Sept. 1930. Zbl. Ophthalm. **24**, 190. — GUÉRIN: Traité sur les maladies des yeux. Lyon 1769. —

GULLSTRAND, A.: (a) Ett fall af Lenticonus posterior. Nordisk ophthalm. Tidskr. 5, 18—26 (1892). Deutsche Übersetzung: Sv. Läk.sällsk. Hdl. 48, 119—124 (1922). Sonderdruck 1922. 75—80. (b) Die Dioptrik des Auges. Zusätze zu H. v. HELMHOLTZ, Handbuch der physiologischen Optik, 3. Aufl., Bd. I, S. 158—160, 192—194, 225, 226—376. Hamburg u. Leipzig 1909. — GUNNUFSEN, THS.: Untersuchungen über Volksschulmyopie in Christiania. Arch. Augenheilk. 69, 400—407 (1911). — GUTFREUND, F.: Ein Fall von beiderseitiger pulsierender Vortexvene. Klin. Mbl. Augenheilk. 60, 259—261 (1918). — GUTTMANN, E.: (a) Doppelte Refraction auf einem Auge infolge Kern-Sclerose. Cbl. prakt. Augenheilk. 22, 193—198 (1898). (b) Ein zweiter Fall von Doppel-Refraction eines Auges infolge Sclerose des Linsenkerns. Cbl. prakt. Augenheilk. 24, 297—299 (1900).

HAAB, O.: Das erste ophthalmoskopische Bild des Staphyloma verum bei Myopie. Klin. Mbl. Augenheilk. 66 I, 231—240 (1921). — HAGEN, S.: Ein Fall von hochgradiger Linsenmyopie (Linse mit doppeltem Brennpunkt). Acta ophthalm. (Københ.) 7, 174—177 (1929). — HANDMANN, M.: Über temporäre Myopie bei orbitalen Neubildungen. Z. Augenheilk. 28, 542—550 (1912). — HANSELL, H. F.: Accommodation in myopia. Amer. J. Ophthalm. 7, 606—607 (1924). — HANSEN, R.: (a) Beitrag zur Histologie des myopischen Auges, insbesondere zur Lückenbildung in der Retina und zur Entstehung der Netzhautablösung. Klin. Mbl. Augenheilk. 63, 295—336 (1919). (b) Drei Fälle von „Pseudotumor“ des Auges mit Beiträgen seltener Befunde myopischer Veränderungen und zur Frage der Retinitis exsudativa Coats. Klin. Mbl. Augenheilk. 65, 703—718 (1920). (c) Zur Genese der Myopie. Klin. Mbl. Augenheilk. 67, 171—172 (1921). — HARMAN, N. B.: (a) An analysis of 300 cases of high myopia in children, with a scheme for the grading of fundus changes in myopia. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. 33, 202—218 (1913). (b) Case of high myopia in an infant, hereditary and congenital. Proc. roy. Soc. Med. 8, 3—4 (1914); Jb. Ophthalm. 45 I, 168 (1914). (c) The consequences of myopia as an industrial disease of the eyes. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. 42, 20—25 (1922). (d) The consequences of myopia as an industrial disease of the eyes. J. ind. Hyg. 4, 371—374 (1923). — HASNER, J. v.: Über die Ätiologie des Langbaues. Vjschr. prakt. Heilk. (herausgeg. med. Fak. Prag) 1, 31. Jg. (1874); der ganzen Folge 121, 50—54. — HAY, P. J.: The development of myopia. Ophthalmoscope 12, 20—21 (1914); Zbl. Ophthalm. 45 I, 167. — HEINE, L.: (a) Änderungen in der Gestalt und dem Brechungsindex der menschlichen Linse nach Durchschneidung der Zonula, mit Bemerkungen über den Brechungsindex von Linsen aus myopischen Augen. Ber. 27. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1898, 33—37. (b) Neuere Arbeiten über die Anatomie des kurzsichtigen Auges. Klin. Mbl. Augenheilk. 37, 462—476 (1899). (c) Beiträge zur Anatomie des myopischen Auges. Arch. Augenheilk. 38, 277—290 (1899). (d) Weitere Beiträge zur Anatomie des myopischen Auges (Form, Ciliarmuskel, Opticus, Maculaerkrankung). Arch. Augenheilk. 40, 160—173 (1900). (e) III. Mitt. betreffend die Anatomie des myopischen Auges (beginnender Conus, ringförmiger Conus). Arch. Augenheilk. 43, 95—104 (1901). (f) Über Vollkorrektur der Myopie. Ber. 29. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1901, 114—121. (g) Beitrag zum stereoskopisch-medizinischen Atlas NEISSERS, 1901. (h) Über Zerreibungen der Elastica im kurzsichtigen Auge. Ber. 30. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1902, 333—338. (i) Die Anatomie des myopischen Auges. Arch. Augenheilk. 44, 66—78 (1902). (k) Klinisches und Theoretisches zur Myopiefrage. Arch. Augenheilk. 49, 14—40 (1903). (l) Demonstrationen von Photographien und Schnitten von zentralen und peripheren Aderhautveränderungen bei Myopie. Verh. Ges. dtsh. Naturforsch. 76. Verslg Breslau 1905; Michel-Nagels Jber. 36, 663—664 (1905). (m) Die Krankheiten des Auges im Zusammenhang mit der inneren Medizin und Kinderheilkunde. Enzyklopädie der klinischen Medizin. Berlin 1921. (n) Über okuläre Indikationen zur Unterbrechung der Schwangerschaft und zur Sterilisierung. Arch. Augenheilk. 100/101, 439—459 (1929). (o) Die Anatomie der Myopie. 90. Verslg Naturforsch. u. Ärzte, Hamburg, 16.—21. Sept. 1928. Klin. Mbl. Augenheilk. 81, 520 (1928). — HEINONEN, O.: (a) Vergleichende Untersuchungen über die Brechungsverhältnisse des Auges bei der finnischen und schwedischen Bevölkerung Südwest-Finnlands. Eine anthropologische und allgemein-histologische Studie. Finska Läk.sällsk. Hdl. 65, 172 bis 192 (1923); Zbl. Ophthalm. 11, 58. (b) Über die Refraktion bei eineiigen Zwillingen, speziell in Hinsicht der asymmetrischen Fälle. Acta ophthalm. (Københ.) 2, 35—53 (1924). (c) Über die Bedeutung der Naharbeit für das Entstehen der Kurzsichtigkeit. Duodecim (Helsingfors) 42, 106 bis 114 (1926); Zbl. Ophthalm. 10, 205. (d) Liegt die Ursache der sog. Arbeitsmyopie hauptsächlich in der Naharbeit oder in anderen Faktoren? (Congressus septimus ophthalmicorum septentrionalium, Oslo, Sitzg 28.—30. Juni 1928.) Acta ophthalm. (Københ.) 6, 480—481 (1928). (e) Über Beziehungen zwischen Myopie und Hornhautastigmatismus. Acta ophthalm. (Københ.) 6, 145—156 (1928). (f) Entsteht die Schul- und Berufsmyopie infolge der Naharbeit, oder gibt es andere Faktoren, welche sich an erster Stelle hierbei geltend machen? Acta ophthalm. (Københ.) 6, 238—250 (1928). (g) Untersuchungen betreffend die Refraktion des Auges, speziell mit Berücksichtigung einiger Spezialfragen. Acta Soc. Med. fenn. Duodecim 9, 1—31 (1928); Zbl. Ophthalm. 20, 639. (h) Zum Problem der Frequenzveränderungen der Myopie. Acta ophthalm. (Københ.) 7, 301—320 (1929); Zbl. Ophthalm. 23, 238. — HELMHOLTZ, H. v.: Handbuch der physiologischen Optik,

III. Aufl., ergänzt u. herausgeg. in Gemeinschaft mit Prof. Dr. A. GULLSTRAND u. Prof. Dr. J. v. KRIEBS von Prof. Dr. W. NAGEL. Bd. 1.: Die Dioptrik des Auges, herausgeg. von Prof. Dr. A. GULLSTRAND. Hamburg u. Leipzig 1909. — HENSEN, H.: Über die Erfolge der Myopieoperation nach Fukula. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **69**, 89—93 (1922). — HENSEN, V. u. C. VOELKERS: Experimentalluntersuchung über den Mechanismus der Accommodation. Kiel 1868. — HERN u. MAC CALLAN: Discussion in relation to the prevention of myopia. *Brit. med. J.* **1913 II**, Nr. 25/57, 1139. — HERRMANN: Ein Fall von doppelseitigem Mikrophthalmus, kompliziert durch Katarakt, exzessive Myopie und Drucksteigerung. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **79**, 838 (1927). — HERTTEL, E.: (a) Ein Beitrag zur Frage der Myopieoperation. *Graefes Arch.* **48**, 420—426 (1899). (b) Über Myopie. *Klinisch-statistische Mitteilungen.* *Graefes Arch.* **56**, 326—386 (1903). (c) Über Ersatz der operativen Korrektur hochgradiger Myopie durch eine Gläserkombination (Fernrohrbrille). *Graefes Arch.* **75**, 586—604 (1910). — HESS, C.: (a) Über exzentrische Bildung des Linsenkerne und die Histologie des Lenticonus posterior. *Ber. 25. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1896*, 301 bis 304. (b) Über foetale Zerreißen der äußeren Linsenkapsel und über Lenticonus posterior. *Z. Augenheilk.* **1**, 427—435 (1899). (c) Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie und Morphologie des Accommodationsvorganges. *Arch. Augenheilk.* **62**, 345—392 (1909). (d) Vergleichende Untersuchungen über den Einfluß der Accommodation auf den Augendruck in der Wirbelthierreihe. *Arch. Augenheilk.* **63**, 88—95 (1909). (e) Die Refraktion und Akkommodation des menschlichen Auges und ihre Anomalien. *GRAEFES-SAEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde*, 3. Aufl., herausgeg. von TH. SAEMISCH u. C. HESS. Leipzig 1910. (f) Pathologie und Therapie des Linsensystems. *GRAEFES-SAEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde*, 3. Aufl. Leipzig 1911. — HESS, C. u. L. HEINE: Arbeiten aus dem Gebiet der Accommodationslehre. IV. Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß der Accommodation auf den intraocularen Druck nebst Beiträgen zur Kenntnis der Accommodation verschiedener Säugethiere. *Graefes Arch.* **46**, 243—276 (1898). — HESSE, R.: Hat die operative Therapie der hochgradigen Myopie eine Berechtigung? *Z. Augenheilk.* **25**, 417—442 (1911). — HILL, E.: The refraction of myopes. A consideration of current American teachings. 30. ann. meet. Chicago, 5.—7. Okt. 1915. *Trans. amer. Acad. Ophthalm. a. Otol.* **1915**, 268—278; *Jb. Ophthalm.* **45 II**, 83. — HIPPEL, A. v.: (a) Über die operative Behandlung der hochgradigen Myopie. *Ber. 24. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1895*, 17—25. (b) Über die dauernden Erfolge der Myopieoperation. *Graefes Arch.* **49**, 387—404 (1899). — HIPPEL, E. v.: Der jetzige Stand der Lehre von der Kurzsichtigkeit. *Rektorsrede Göttingen*, 4. Juli 1923. — HIRSCH, G.: (a) Die Kurzsichtigkeit. *Das Tuberkulin und seine Anwendung.* Halberstadt 1922. (b) Beziehungen zwischen Tuberkulose und Kurzsichtigkeit. *Z. Tbk.* **44**, 52—56 (1925). (c) Zur Myopiegenese. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **74**, 404 (1925). (d) Einwendungen gegen „Kurzsichtigkeit und Tuberkulose“. *Z. Tbk.* **45**, 32—33 (1926). — HIRSCHBERG, J.: (a) Zur Anatomie der spontanen Luxation. *Graefes Arch.* **22**, 65—72 (1876). (b) Diabetische Kurzsichtigkeit. *Cbl. prakt. Augenheilk.* **14**, 7—8 (1890). (c) Über die Verminderung der Kurzsichtigkeit durch Beseitigung der Krystalllinse. *Cbl. prakt. Augenheilk.* **21**, 65—73 (1897). (d) Die Behandlung der Kurzsichtigkeit. *Dtsch. Klin. Sonderabdr. Michel-Nagels Jber.* **35**, 678 (1904). — HOLM, E.: (b) Die Ätiologie der Myopie. *Hosp.tid. (dän.)* **68**, 697—709 (1925); *Zbl. Ophthalm.* **15**, 900. (b) Pathogenese der Myopie. *Hosp.tid. (dän.)* **68**, 729—741 (1925); *Zbl. Ophthalm.* **16**, 39. (c) Investigations of myopia in danish secondary schools. *Acta ophthalm. (Københ.)* **3**, 121—130 (1925); *Zbl. Ophthalm.* **16**, 584. (d) The pathogenesis of reading myopia. *Acta ophthalm. (Københ.)* **3**, 234—244 (1926); *Zbl. Ophthalm.* **16**, 861. (e) Myopia from the point of view of heredity. *Acta ophthalm. (Københ.)* **3**, 335—347 (1926); *Zbl. Ophthalm.* **17**, 184—185. (f) Myopie und Hornhautflecke. *Hosp.tid. (dän.)* **70**, 926—932 (1927); *Zbl. Ophthalm.* **19**, 533. (g) Myopia and maculae corneae. *Acta ophthalm. (Københ.)* **6**, 157 bis 164 (1928); *Zbl. Ophthalm.* **20**, 641 (1929). (h) Die Verhütung der Kurzsichtigkeit. *Hosp.tid. (dän.)* **71**, 110—117 (1928); *Zbl. Ophthalm.* **20**, 31. — HOLTZ, S.: (a) Neue operative Behandlung der Netzhautablösung und der hochgradigen Myopie. *Trepanatio sclerae praeaequatorialis*, 8 II. 1911 *Ber. 37. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1911*, 293—315. (b) Weitere Erfahrungen mit *Sclerectomia praeaequatorialis* bei Netzhautablösung und Myopie. *Ber. 39. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1913*, 179—193. (c) Weitere Erfahrungen mit *Sclerectomia praeaequatorialis* bei Netzhautablösung und bei hochgradiger Myopie. *Norsk Mag. Laegevidensk.* **75**, 173—186 (1914); *Michel-Nagels Jber.* **45**, 126 (1914). — HÖPNER: Dauererfolge der vom 1. X. 1893 bis 30. VI. 1906 in der Leipziger Universitäts-Augenklinik operierten Myopien mit besonderer Berücksichtigung der postoperativen Netzhautabhebung. *Graefes Arch.* **70**, 1—64 (1909); *Inaug.-Diss. Leipzig.* HOOR, K. v.: Sehstärke, Sehstörungen des hypermetropischen Auges und die das hypermetropische Auge bedrohenden Gefahren im Vergleich mit der Sehschärfe, den Sehstörungen und Gefahren des myopischen Auges. *Orv. Hetil. (ung.)* **64**, 13—16 (1920); *Zbl. Ophthalm.* **4**, 245. — HORNER: Refraktionsänderungen. *Sitzgsber. ophthalm. Ges.* **1873**; *Klin. Mbl. Augenheilk.* **11**, 488 bis 491 (1873). — HORSTMANN, C.: (a) Über Netzhautablösung. *Ber. Verh. ophthalm. Sekt. Naturforsch.-Ver. Baden-Baden, Sept. 1879*; *Klin. Mbl. Augenheilk.* **17**, 487, 488 (1879). (b) Über Myopie. *Arch. Augenheilk.* **9**, 208—224 (1880). (c) Über Refractions-

bestimmungen bei Neugeborenen unter 20 Tagen. Tagebl. Naturforsch.-Ver. Danzig 1880, 256. Zit. nach STEIGER 27. — HOSCH, G.: Zur neuesten Theorie der progressiven Kurzsichtigkeit von Prof. LANGE. Graefes Arch. **61**, 227—236 (1905). — HUBER, F.: Über Spätergebnisse der Myopieoperation. Beitr. Augenheilk. **7**, 175—232 (1908); H. **64**, 1—58.

IGERSHEIMER, J.: Operation der Myopie durch Beseitigung der Linse, Bd. 1, S. 1249 bis 1288. A. ELSCHNIG: Augenärztliche Operationslehre. GRAEFES-SÄEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 2. u. 3. neubearbeitete Aufl., herausgeg. von TH. AXENFELD u. A. ELSCHNIG. Berlin 1922. — IMAI, SH.: Das Schicksal des Myopieoperierten. Beitr. Augenheilk. **8**, 27—128 (1912); H. **72**, 1—102. — INCZE, A.: (a) Körperbau und Refraktion. Z. Augenheilk. **66**, 50—58 (1928). (b) Über die Myopie als eine konstitutionelle Veränderung. Z. Augenheilk. **67**, 20—41 (1929). — INOUE, S.: Über die sog. Auffaserung der Membrana elastica chorioideae im Sehnervenkopfe und ihre Rolle bei der myopen Konusbildung. Klin. Mbl. Augenheilk. **74**, 124—128 (1925). — INOUE, T.: Über die Korrektur von leichter Myopie durch neue Behandlung mit Gummidruckverband. Graefes Arch. **110**, 337—353 (1922). — ISAKOWITZ, J.: Glaskörperabhebung mit Einriß der Grenzsicht. Scheinbare Lochbildung der Netzhaut. Klin. Mbl. Augenheilk. **77**, 121—127 (1926). — IWANOFF, A.: (a) Glaskörperablösung. Sitzgsber. ophthalm. Ges. **1868**; Klin. Mbl. Augenheilk. **6**, 297 bis 299 (1868). (b) Beiträge zur normalen und pathologischen Anatomie des Auges. I. Beiträge zur Ablösung des Glaskörpers. Graefes Arch. **15 II**, 1—69. 3. Das Oedem der Netzhaut, 1869, S. 88—107. (c) Beiträge zur Anatomie des Ciliarmuskels. Graefes Arch. **15 III**, 284 bis 298 (1869).

JABLONSKI, W.: (a) Zur Vererbung der Myopie. Klin. Mbl. Augenheilk. **68**, 560—573 (1922). (b) Ein Beitrag zur Vererbung der Refraktion menschlicher Augen. Arch. Augenheilk. **91**, 308—328 (1922). (c) Über die Vererbung der Refraktionszustände des menschlichen Auges. Schweiz. med. Wschr. **53**, 846—848 (1923); Zbl. Ophthalm. **11**, 398. (d) Zur Genik der Refraktionszustände. IV. Über die Vererbung der Achsenlänge des Auges. Klin. Mbl. Augenheilk. **73**, 302—311 (1924). (e) Zur Genik der Refraktionszustände. V. Über die Refraktion von 29 Affen. Arch. Augenheilk. **97**, 369—374 (1926). (f) Eine neue Theorie über die Entstehung der Kurzsichtigkeit? Dtsch. opt. Wschr. **13**, 681 (1927). — JANKOWSKI, B.: Beitrag zur Myopiefrage. Diss. Bern 1893; Mitt. Klin. u. med. Inst. Schweiz. **1**. Beitr., H. 2; Michel-Nagels Jber. **24**, 118—122 (1893). — JAWORSKI, A.: Ein Fall von Lenticonus anterior und über dessen Entstehung. Arch. Augenheilk. **65**, 313—317 (1910). — JESSNER: Über Salvarsanschädigungen. Südostdtsch. Augenärzte-Ver.igg Breslau, Sitzg 24. Jan. 1926; Klin. Mbl. Augenheilk. **76**, 431—432 (1926). — JUNIUS: Die Probleme der Vererbung und der Erwerbung der Kurzsichtigkeit. Z. Augenheilk. **44**, 262—302 (1920). — JUNK, W.: Tabulae Biologicae, Bd. 1. Herausgeg. von C. OPPENHEIMER u. L. PINCUSSEN. Berlin 1925.

KATEL-BLOCH, R.: Die Beziehungen des Hornhautastigmatismus zur Myopie an Hand des Materials der Berner Universitäts-Augenklinik. Klin. Mbl. Augenheilk. **44 II**, Beil.-H., 66—92 (1906). — KEY, A.: Gutachten der schwedischen Schulkommission. Stockholm 1885. Zit. nach A. STEIGER (c), S. 33. — KIRCHNER: Untersuchungen über die Entstehung der Kurzsichtigkeit. Z. Hyg. **7**, 3, 397 (1889). Zit. nach Michel-Nagels Jber. **20**, 466 (1889). KLINKOWSTEIN, R.: Bericht über 50 von Prof. Dr. O. HAAB ausgeführte Myopie-Operationen. Inaug.-Diss. Zürich 1899. — KNAGGS, L.: On lenticonus. Lancet **2**, 657 (1891); Michel-Nagels Jber. **22**, 407 (1891). — KNAPP, H.: (a) Ein Fall von Lenticonus posterior. Arch. Augenheilk. **22**, 28—31 (1891). (b) Glaukoma in myopic eyes (61. ann. meet., Washington, 4. 5). Trans. amer. ophthalm. Soc. **23**, 61—70 (1925); Jber. Ophthalm. **16**, 411. — KOEGLER, H.: Pupillenabstand und Refraktion. Z. ophthalm. Opt. **3**, 129—142 (1925). — KÖHNE, G.: Die Myopie-Operationen in der Tübinger Augenklinik. Inaug.-Diss. Tübingen 1900. — KÖNIGSHÖFER: Über Kurzsichtigkeit. Württemberg. Korresp.bl. **75**, Nr 23 (1904); Michel-Nagels Jber. **36**, 664—665 (1905). — KÖNIGSTEIN, L.: Untersuchungen an den Augen neugeborener Kinder. Wien. med. Jb. **1881**, 47; Michel-Nagels Jber. **12**, 468 (1881). — KOSTER, GZN.: (a) Die nicht operative Behandlung der Myopia gravis. Z. Augenheilk. **34**, 215—225 (1915). (b) Ursache und Behandlung der stationären Myopie. Z. Augenheilk. **34**, 225—245 (1915). (c) Über drei seltenere Arten der Kurzsichtigkeit: Die kongenitale oder optische Myopie; der stationäre Buphthalmus oder das spontangeheilte infantile Glaukom und die cyclische Kurzsichtigkeit. Z. Augenheilk. **35**, 12—26 (1916). — KRASSMÖLLER, W.: Die physikalisch-mathematische Beweisführung der Myopiegenese nach LEVINSON. Klin. Mbl. Augenheilk. **80**, 62—66 (1928). — KRAUPA, E.: (a) Zur Kenntnis der ringförmigen hinteren Glaskörperabhebung. Cbl. prakt. Augenheilk. **38**, 129—131 (1914). (b) Studien über die Melanosis des Augapfels. Arch. Augenheilk. **82**, 67—93 (1917). (c) Literatur und Genese des „Staphyloma posticum verum“ (Graefe). Klin. Mbl. Augenheilk. **66**, 735, 736 (1921). (d) Beiträge zur Morphologie des Augenhintergrundes II. Graefes Arch. **105**, 865—879 (1921). (e) Die ringförmige Glaskörperabhebung. Klin. Mbl. Augenheilk. **70**, 716—720 (1923). (f) Die Ribbildung der Glaskörpergrenzhaut. Klin. Mbl. Augenheilk. **72**, 476—478 (1924). (g) Hintere Glaskörperabhebung, Einriß und Trübung in Ringform. Klin. Mbl. Augenheilk. **85**, 708—711 (1925). (h) Das myopische Glaukom und die glaukomatöse Myopie. Ver. mitteldtsch. Augenärzte 35. Tagg Jena, 5./6. Sept. 1931. Ber.

klin. Mbl. Augenheilk. **87**, 837 (1931). — KRETZ, T.: Il rapporto fra l'astigmatismo ed il cono dei miopi. Boll. Ocul. **8**, 62—65 (1929); Zbl. Ophthalm. **21**, 710—711. — KRIEGER, E.: Abortus artificialis wegen komplizierter Myopie. Zbl. Gynäk. **1929**, 2150 bis 2153; Zbl. Ophthalm. **22**, 306. — KRON, W.: Über die Häufigkeit der spontanen Netzhautablösungen bei hochgradiger Kurzsichtigkeit. Inaug.-Diss. Berlin 1911. — KRONFELD, P.: Ein Fall von doppeltem zentralem schwarzem Fleck bei Myopie. Ophthalm. Ges. Wien, Sitzg 15. Dez. 1924; Z. Augenheilk. **55**, 193—196 (1925). — KROTOSCHIN, A.: Anatomischer Beitrag zur Entstehung der Myopie. Arch. Augenheilk. **22**, 393—422 (1890). — KRÜCKMANN, E.: Über einige Aderhautveränderungen bei Myopie. 32. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1905**, 291—297. — KRUSIUS, F. F.: Über 2 seltene Anomalien des Linsensystems. I. Ein partieller Lenticonus anterior (Ectasie der vorderen Linsenhülle). Arch. Augenheilk. **65**, 233—235 (1910). — KUBLI: (a) Zur Ätiologie, Prognose und Behandlung der Myopie. Vestn. Oftalm. (russ.) **1913**, 35; Michel-Nagels Jber. **44**, 601—602 (1913). (b) Zur Korrektur der Myopia magna und maxima. Vestn. Oftalm. (russ.) **1913**, 71; Michel-Nagels Jber. **44**, 603. — KURZ, H.: Über die Refraktion bei Schwachsinnigen. (Ein weiterer Beitrag zur Refraktionsfrage.) Graefes Arch. **118**, 500—505 (1927). — KUSCHEL: Die Erschlaffung der Körperkonstitution als Veranlagung der Kurzsichtigkeit. I. Die Stützgeweberschlaffung. Z. Augenheilk. **51**, 339—358 (1923). — KYRIELEIS, W.: Doppelrefraktion der anscheinend klaren Linse infolge rudimentärer Cataracta fusiformis. Z. Augenheilk. **58**, 202—205 (1926).

LAAN, VAN DER: Una nuova anomalia de conformaço del cristallino. Period. de oftalm. prat. **1880**, No 3; Michel-Nagels Jber. **11**, 369 (1880). — LACROIX, A.: La tension oculaire dans la myopie élevée progressive chez l'adulte. Annales d'Ocul. **159**, 730—745 (1922); Zbl. Ophthalm. **9**, 60. — LAMBERT: (a) Removal of the lens in high myopia. J. amer. med. Assoc. **59**, 1007 (1912); Michel-Nagels Jber. **43**, 919 (1912). (b) The surgical treatment of high myopia. Ophthalmology **9**, 507 (1913); Michel-Nagels Jber. **44**, 604 (1903). — LANDOLT, E.: (a) La myopie. Rev. internat. **1879**. Zit. nach STEIGER (c), S. 87. (b) On myopia. Ophthalm. Hosp. Rep. **9 III**, 345 (1879). Zit. nach Michel-Nagels Jber. **10**, 391 (1879). — LANDOLT, H.: Myopie und Lichtsinn. Klin. Mbl. Augenheilk. **47 II** (N. F. 8), 369—381 (1909). — LANGE, O.: (a) I. Zur Anatomie des Ciliarmuskels des Neugeborenen. Klin. Mbl. Augenheilk. **39**, 1—6 (1901). (b) Zur Frage nach dem Wesen der progressiven Myopie. Graefes Arch. **60**, 118—126 (1905). — LAQUEUR: Beitrag zur Lehre von den hereditären Erkrankungen des Auges. Z. Augenheilk. **10**, 477—485 (1903). — LAUBER, H.: Die Erkrankungen des Glaskörpers. GRAEFES-SÄEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, herausgeg. von TH. AXENFELD u. A. ELSCHNIG, 2. Aufl., II. Teil, Bd. 5, Kap. VI, 3. Berlin 1922. — LEBENSOHN, J. E.: Monocular Myopia. Illinois med. J. **46**, 254—259 (1924); Zbl. Ophthalm. **14**, 661. — LEBER, TH.: Die Krankheiten der Netzhaut. — GRAEFES-SÄEMISCH-HESSS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 2. Aufl., II. Hälfte, Bd. 7, Kap. X, A. Leipzig 1916. — LEDERER: Gedanken zur Myopiefrage. Verslg dtsch. Augenärzte Böhmen u. Mähren. Klin. Mbl. Augenheilk. **49 II**, 748 (1911). — LE FEVER: Myopia, etiology and the optical management. Ophthalmology **9**, 507 (1913). Zit. nach Michel-Nagels Jber. **44**, 598 (1913). — LEHMUS, E.: Die Erkrankungen der Macula lutea bei progressiver Myopie. Diss. Zürich 1875; Michel-Nagels Jber. **6**, 471—472 (1875). — LEWINBERG, N.: Klinisch-statistische Beiträge zur Myopie. Inaug.-Diss. Würzburg 1886. — LEVINSOHN, G.: (a) Das wesentliche Moment bei der Entstehung der Kurzsichtigkeit. Ber. 35. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1908**, 38—51. (b) Die Entstehung der Kurzsichtigkeit. Berlin 1912. (c) Die Entstehung der Kurzsichtigkeit mit Demonstration kurzsichtig gemachter Affen. Ber. 39. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1913**, 217—227. (d) Über den histologischen Befund kurzsichtig gemachter Affenaugen und die Entstehung der Kurzsichtigkeit. Graefes Arch. **88**, 452—472 (1914). (e) Demonstration histologischer Schnitte von kurzsichtig gemachten Affenaugen und die Entstehung der Kurzsichtigkeit. Berl. ophthalm. Ges., 19. März 1914. Klin. Mbl. Augenheilk. **52**, 720—721 (1914). (f) Zur Frage der Entstehung der Kurzsichtigkeit. Z. Augenheilk. **35**, 243—248 (1916). (g) Zur Frage der künstlich erzeugten Kurzsichtigkeit bei Affen. Klin. Mbl. Augenheilk. **62**, 794—803 (1919). (h) Zur Frage der Myopiegenese. Augenärztl. Ges. Berlin, Sitzg 21. Juni 1923. Z. Augenheilk. **52**, 178 (1924). (i) Myopie, Senium und Vererbung. Klin. Mbl. Augenheilk. **74**, 377—388 (1925). (k) Notes on the genesis of myopia. Arch. of Ophthalm. **54**, 434 bis 439 (1925). (l) Zur Myopiegenese. Klin. Mbl. Augenheilk. **66**, 84—95 (1921). (m) Myopiegenese und Sehnervenschlängelung. Augenärztl. Ges. Berlin, Sitzg 23. März 1922. Dtsch. med. Wschr. **48**, 1121 (1922). (n) Kurze Bemerkungen über Sehnervenschlängelung und Myopiegenese. Klin. Mbl. Augenheilk. **68**, 574—577 (1922). (o) Zur Frage der „Sehnervenschlängelung und Myopie“. Kurze Erwiderung auf die Bemerkung von R. HANSSENS zur Myopiegenese. Klin. Mbl. Augenheilk. **70**, 757 (1923). (p) Zur Frage der Myopiegenese. Klin. Mbl. Augenheilk. **71**, 205—211 (1923). (q) Zur Myopiegenese. Kurze Bemerkungen auf die Erwiderung von WICK, im März/Aprilheft dieser Zeitschrift, 1924. Klin. Mbl. Augenheilk. **73**, 194—198 (1924). (r) Zur Kritik der Myopiegenese. Z. Augenheilk. **56**, 351—356 (1925). (s) Neue Wege zur Bekämpfung der Kurzsichtigkeit. Nach einem Vortrag im Berliner Verein für Schulgesundheitspflege am 13. Jan. 1928. Arch. Augenheilk. **99**, 569—586

- (1928). (t) Zur Kritik der Myopiegenese. Augenärztl. Ges. Berlin, Sitzg 25. April 1929. Z. Augenheilk. **68**, 194 (1929). (u) Zur Anatomie des kurzsichtig gemachten Affenauges und ihre Bedeutung für die Myopiegenese. Arch. Augenheilk. **100/101**, 138—163 (1929). (v) Nochmals zur Kritik der Myopiegenese. Arch. Augenheilk. **102**, 308—314 (1929). (w) Zur Anatomie der Sehnervenfaserschleife beim kurzsichtig gemachten Affenauge. Arch. Augenheilk. **104**, 82—88 (1931). — LISTING, J. B.: Über einige merkwürdige Punkte in Linsen und Linsensystemen. Ber. Naturforsch.-Verslg **40**, 106—109 (1865); Poggen-dorffs Ann. Phys. Chem. **129**, 466—472 (1866); Astr. Nachr. **68**, 129—134 (1866/67). — LÖHLEIN, W.: Über Netzhautablösung und ihre Behandlung. Zbl. Ophthalm. **24**, 289 bis 302 (1930). — LOHMANN, W.: Zur Theorie der Myopiegenese. Klin. Mbl. Augenheilk. **48 I**, 417—426 (1910). — LUNDSSGAARD, K. K. K.: (a) Transitorische Refraktionszunahme (Myopie). Klin. Mbl. Augenheilk. **63 II**, 349—355 (1919). (b) Prognose der hohen Myopie Hosp.tid. (dän.). **70**, 549—559 (1927); Zbl. Ophthalm. **18**, 777.
- MADDOX: A new operation for moderate short-sight. Brit. med. J. **1905**, 21; Michel-Nagels Jber. **36**, 363 (1905). — MAGITOT: Quatre cas de myopie traumatique. Annales d'Ocul. **187**, 680—692 (1920). — MALLWITZ, A.: Die Wirkung der subkonjunktivalen Kochsalzinjektionen bei den intraokularen Komplikationen der hochgradigen Myopie. Klin. Mbl. Augenheilk. **55**, 365—381 (1915). — MARCHESANI: (a) I. Zum Problem der experimentellen Myopieerzeugung. Klin. Mbl. Augenheilk. **83**, 338 (1929). (b) Untersuchungen über die Myopiegenese. (Die experimentelle Affenmyopie.) Arch. Augenheilk. **104**, 177 bis 191 (1931). — MARSCHKE, E.: Beiträge zur pathologischen Anatomie der Myopie und des Hydrophthalmus. Klin. Mbl. Augenheilk. **39** (N. F. **1**), 705—730 (1901). — MARX: Die Spätresultate der Myopieoperation nach dem Materiale der Rostocker Univ.-Augenklinik. Inaug.-Diss. Rostock 1905. — MATSUO, Y.: Über die Beziehung zwischen Refraktion und Pupillenweite. Acta Soc. ophthalm. jap. **35**, 39—52 (1931). — MAVAS MEER, J. P. G. VAN DER: Onderzoek der oogen van de leerlingen van het stedelijk gymnasium en van de middelbare Scholen te Amsterdam gedurende 1898. Diss. Amsterdam 1901. — MENDE, E.: Statistische Untersuchungen über die Beziehungen des Hornhautastigmatismus zur Myopie. Klin. Mbl. Augenheilk. **44**, Beil., 26—65 (1906). — MENESTRINA, G.: Astigmatismo corneale inverso e miopia (Nota prelim.). Boll. Ocul. **5**, 106—112 (1926); Zbl. Ophthalm. **17**, 638. — MEYER, F.: Ein Fall von Lenticonus posterior. Cbl. prakt. Augenheilk. **12**, 41—46 (1888). — MEYER, H.: Linsenmyopie durch kongenitale Mikrophakie. Klin. Mbl. **84**, 525—531 (1930). — MEYERHOF, M.: (a) Die Myopie-Operationen der Bromberger Augenklinik. Arch. Augenheilk. **44**, 135—152 (1902). (b) Über Kurzsichtigkeit bei Analphabeten, bei Astigmatismus und Trübungen der Hornhaut in Ägypten. Cbl. prakt. Augenheilk. **34**, 193—204 (1910). (c) Über Myopie und Rasse in Ägypten. Klin. Mbl. Augenheilk. **48** (N. F. **10**), 220—230 (1910). (d) Etude sur la myopie comm maladie de race et maladie héréditaire chez les Egyptiens. Annales d'Ocul. **151**, 257—273 (1914); Jb. Ophthalm. **45 I**, 165 (1914). (e) Glaucoma and high myopia. Bull. ophthalm. Soc. Egypt. **1924**, 35—40; Zbl. Ophthalm. **14**, 795. — MILLAN: Troubles visuels par le 914. Leur pathogénie. Bull. Soc. méd. Hôp. Paris **40**, 1765—1771 (1925); Zbl. Ophthalm. **15**, 368. — MITVALSKY, J.: Ein neuer Fall von Lenticonus posterior mit theilweiser Persistenz der Arteria hyaloidea. Cbl. prakt. Augenheilk. **16**, 65—70 (1892); Michel-Nagels Jber. **23**, 282—283 (1892). — MIYASHITA: Die Pupillenweite bei starker Myopie und bei der Pigmentdegeneration der Retina. Klin. Mbl. Augenheilk. **74**, 157—159 (1925). — MOAURO, G.: Di alcune alterazioni oculari in malattia epatiche. Lavori Clin. ocul. Napoli **1893 III**, 100; Michel-Nagels Jber. **24**, 403 (1893). — MOHR, TH.: Ein Beitrag zur Pathogenese des Lenticonus anterior. Klin. Mbl. Augenheilk. **48 II**, 157—167 (1910). — MOTAIS: De l'hérédité de la myopie. Arch. d'Ophthalm. **8**, 32 (1889); Michel-Nagels Jber. **20**, 465 (1889). — MOUTNHO u. MATTOS: Die Schulmyopie in Portugal. 13. internat. ophthalm. Kongr. Amsterdam 1929. Zbl. Ophthalm. **22**, 740. — MOXON, F. A.: A reading and writing desk for myopes and those predisposed to myopia. Proc. roy. Soc. Med. **14**, 65—67 (1921); Zbl. Ophthalm. **6**, 314. — MÖLLER, H. U.: Über Hyperrefractio axialis lentis. Acta ophthalm. (Københ.) **5**, 258—266 (1927); Zbl. Ophthalm. **19**, 135. — MÜLLER, L.: (a) Hat der Lenticonus seinen Grund in einer Anomalie der hinteren Linsenfläche? Klin. Mbl. Augenheilk. **32**, 178—194 (1894). (b) Über die Entstehung der Myopie. 85. Verslg dtsh. Naturforsch. Wien, Abt. Ophthalm. Klin. Mbl. Augenheilk. **51 II**, 614. 615 (1913); Z. Augenheilk. **30**, 463 (1913). (c) Über Pathogenese und Behandlung der Kurzsichtigkeit und ihrer Folgen. Wien. klin. Wschr. **39**, 321—325 (1926); Z. Augenheilk. **60**, 101—106 (1926). — MÜNCH: Über Anisometropie bei eineiigen Zwillingen. Ber. 43. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Jena, Sitzg 8.—10. Juni **1922**, 241—245.
- NAGEL, A.: Die Anomalien der Refraction und Accommodation des Auges. Handbuch der gesamten Augenheilkunde von GRAEFE u. SAEMISCH, Bd. 6, X. Kap., S. 257—503. 1880. — NEISSER, A.: Stereoskopischer medizinischer Atlas. Ophthalmologie, redigiert von W. UHTHOFF, 4. Folge, Lieferung 44. Leipzig 1901. — NETOLICZKA, E.: Untersuchungen über Farbenblindheit und Kurzsichtigkeit. 28. u. 29. Jahresbericht der steiermärkischen Landes-Oberrealschule in Graz über das Studienjahr 1878/79, S. 17—42 u. 1879/80, S. 1—32. Graz 1879 u. 1880. Ber. Cbl. prakt. Augenheilk. **1880**, 510; Michel-Nagels Jber. **11**, 450 (1880). — NETTLESHIP, E.: The Bowman lecture on some hereditary diseases of

the eye. *Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd.* **29**, 57 bis 198 (1909). — NEWMAN, F. A.: Acquired axial myopia. *Amer. J. Ophthalm.* **12**, 714—719; *Zbl. Ophthalm.* **22**, 472. — NICATI: La myopie des écoles de Marseille. *Gaz. Sci. méd. Bordeaux* **1879**, 695; *Michel-Nagels Jber.* **10**, 397 (1879). — NICOLATO, A.: Della genesi della miopia. *Nota prev. Arch. Ottalm.* **36**, 453—468 (1929); *Zbl. Ophthalm.* **23**, 237, 238. — NICOLETTI, G.: Limiti ottici e limiti funzionali nella atrofia coroidale circumpapillare dei miopi. *Ann. Ottalm. e Clin. ocul.* **53**, 882—899 (1925); *Zbl. Ophthalm.* **15**, 901. — NOSZCZYŃSKI, Sr.: Über mehrere Spätresultate der Myopieoperation nach dem Materiale der Greifswalder Univ.-Augenklinik. *Diss. Greifswald* 1917.

OESCH, H.: Über das Vorkommen des Astigmatismus inversus corneae bei Myopen und im Senium. *Z. Augenheilk.* **56**, 320—332 (1925). — OLIVER, M. W. B.: A high degree of myopia. *Brit. J. Ophthalm.* **5**, 68 (1921). — OPPENHEIMER, E. H.: Astigmatism in high myopia and a new way of testing it. *Amer. J. Ophthalm.* **7**, 530—531 (1924). — OTT, Fr.: (a) Die hochgradige Myopie. *Diss. Straßburg* 1891. (b) Beobachtungen über hochgradige Kurzsichtigkeit und ihre operative Behandlung. *Graefes Arch.* **43**, 323—474, 543—596 (1897). (c) Berichtigung der sogenannten Richtigstellung des Herrn Dr. Fukala zu meiner Abhandlung über operative Behandlung hochgradiger Kurzsichtigkeit. *Graefes Arch.* **47 I**, 244—248 (1898).

PADERSTEIN: Kurzsichtigkeit und Vererbung. *Dtsch. med. Wschr.* **49**, 1337—1338 (1923). PAPAIONE, E.: Diplopia monoculare e miopia traumatica. *Giorn. med. ferrov.* **1**, 212—219 (1921); *Zbl. Ophthalm.* **6**, 189. — PASCHÉFF, C.: La myopie transitoire dans la cellulite orbitaire. *Annales d'Ocul.* **151**, 426—430 (1914); *Jb. Ophthalm.* **45 I**, 396. — PAULSEN, O.: (a) Über die Entstehung des Staphyloma posticum chorioideae. *Graefes Arch.* **28 I**, 225—244 (1882). (b) Die Entstehung und Behandlung der Kurzsichtigkeit. *Berlin* 1883. *Michel-Nagels Jber.* **14**, 590 (1883). — PAUSE, G.: Über Dauererfolge der operativen Behandlung hochgradiger Kurzsichtigkeit. *Z. Augenheilk.* **15**, 115—125, 212—227 (1906). — PEARSON, K. u. M. MOUL: The problem of alien immigration into Great Britain, illustrated by an examination of Russian and Polish Jewish children. *III. Ann. of Eugen.* **2**, 111—244, 290—317; **3**, 1—76 (1927); *Zbl. Ophthalm.* **19**, 6. — PERGENS, E.: (a) Buphthalmus mit Lenticonus posterior. *Arch. Augenheilk.* **35**, 1—8 (1898). (b) Lenticonus posterior beim Menschen. *Z. Augenheilk.* **7**, 451—458 (1902). — PÉSMÉ, P.: (a) L'extraction du cristallin transparent dans la myopie forte. *Clin. ophtalm.* **16**, 334—344 (1927). (b) *Bull. Soc. franç. Ophtalm.* **40**, 409—420 (1927). — PFALZ, G.: Über die Entwicklung jugendlich myopischer Augen unter dem ständigen Gebrauch vollcorrigirender Gläser. *Ber. 29. Verslg. ophtalm. Ges. Heidelberg* **1901**, 103—113. — PFINGST, A. O.: Unilateral progressive Myopia. *Amer. J. Ophthalm.* **3**, 129—130 (1920). — PFLÜGER, E.: (a) Über Pupillendistanz. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **13**, 451—455 (1875). (b) Kurzsichtigkeit und Erziehung. *Wiesbaden* 1887. (c) Zur Myopiefrage. *Z. Schulgesdh.pfl. u. soz. Hyg.* **7**, 346 (1894). (d) Stilling's Untersuchungen über die Entstehung der Kurzsichtigkeit, kritisch beleuchtet. *Z. Schulgesdh.pfl. u. soz. Hyg.* **1**, 135 (1897). — PILLAT, A.: (a) Zur Kenntnis der ringförmig abgerissenen hinteren Glaskörperabhebung im lebenden Auge. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **69 II**, 429—445 (1922). (b) Über hintere Glaskörperabhebung. *Z. Augenheilk.* **57**, 347—373 (1925). — PINCUS, F.: Myopische Einstellung der Papille bei Emmetropie. (Beitrag zur Frage des nasalen Konus.) *Arch. Augenheilk.* **92**, 260—263 (1923). — PLOCHER, R.: Ein Beitrag zur Dehiscenz der Sklera bei hoher Myopie. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **62**, 94—98 (1919). — POLATZ, A.: Kavernöse (lakunäre) Sehnervenatrophie und Dehiscenz der Sklera bei hochgradiger Myopie. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **44** (N. F. **1**), 14—27 (1906). — POLJAK, B. u. N. NOSKOV: Zur Frage der Ätiologie der Myopie. *Vrač. Gaz. (russ.)* **1929**, 2406—2411; *Zbl. Ophthalm.* **23**, 237 (1930). — POOS, F.: (a) Schwerkraftwirkung und Bulbuswachstum. *13. internat. ophtalm. Kongr. Amsterdam* 1929. *Zbl. Ophthalm.* **22**, 770. (b) Bulbusentwicklung unter dem Einfluß eines vergrößerten Schwerefeldes. *Experimenteller Beitrag zur Frage der Umweltfaktoren bei der Myopiegenese.* *Graefes Arch.* **125 I**, 1—13 (1930). — PROSKAUER, Th.: Ein Beitrag zur Myopiestatistik. *Graefes Arch.* **37 II**, 199—219 (1891).

RAEDER, J. G.: Untersuchungen über die Lage und Dicke der Linse im menschlichen Auge bei physiologischen und pathologischen Zuständen nach einer neuen Methode gemessen. I. Die Lage und Dicke der Linse bei Emmetropen, Hypermetropen und Myopen. *Graefes Arch.* **110**, 73—108 (1922). — RANDALL, B. A.: An Analysis of the Statistics of the Refraction of the human Eye. *Ber. 7. internat. ophtalm. Kongr. Heidelberg* **1888**, 511—529. REDSLOB, E.: Beitrag zur Lehre über die Entstehung der Kurzsichtigkeit. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **46 II**, 380—406 (1908). — REDSLOB, E. et G. LÉVY: Myopie spasmodique novarsénobenzolique. *Rev. d'Otol. etc.* **6**, 801—804 (1928); *Zbl. Ophthalm.* **21**, 599. — REHSTEINER, K.: Ophthalmoskopische Untersuchungen über Veränderungen der Fundusperipherie in myopen und senilen Augen. *Graefes Arch.* **120**, 282—316 (1928). — REICH, M.: Einiges über die Augen der Armenier und Georgier in den Schulen von Tiflis. *Graefes Arch.* **24 III**, 231—238 (1878). — REUSS, A. v.: Augenuntersuchungen an 2 Wiener Volksschulen. *Wien. med. Presse* **1881**, Nr 7, 200; Nr 8, 234; *Michel-Nagels Jber.* **12**, 117 (1881). — RISLEY, P. D.: Two cases of marked and rapid change in refraction in patients suffering from glycosuria, associated with variation in the amount of sugar secreted in the urine.

Trans. amer. ophthalm. Soc. **33**, 121; Michel-Nagels Jber. **28**, 441 (1897). — ROCHON-DUVIGNEAUD: Déformation et lésions de l'oeil myope. Bull. Soc. Ophthalm. Paris **1927**, 157—162; Zbl. Ophthalm. **18**, 536. — ROHR, M. v.: (a) Zur Dioptrik des Auges. Erg. Physiol. **8**, 541—592 (1909). (b) Zur Theorie der Fernrohrbrille. Graefes Arch. **75**, 561 bis 585 (1910). (c) Die optischen Instrumente. 4. Aufl. Berlin 1930. — ROMANO-CATANIA, A.: Contributo anatomico allo studio della miopia. Sicilia medica, p. 593. Palermo 1889. Michel-Nagels Jber. **20**, 466 (1889). Siehe A. KROTOSCHIN, Arch. Augenheilk. **22**, 421 (1890). — RÖNNE, H.: Konusbildung und exzessive Myopie, nasal zur Papille. Klin. Mbl. Augenheilk. **47**, 512—517 (1916). — ROSENSTEIN, M.: (a) Transitorische Myopie bei Diabetes mellitus. Ver. Augenärzte Schlesien u. Posen Breslau, Sitzg 25. Nov. 1923. Klin. Mbl. Augenheilk. **71**, 764 (1923). (b) Zur transitorischen Myopie bei Diabetes mellitus. Klin. Mbl. Augenheilk. **72**, 487—491 (1924). (c) Auftreten von Myopie bei Arteriosklerose (vorl. Mitt.). Wien. klin. Wschr. **40**, 1287—1288 (1927). — ROSSI, D.: Note sulla etiologia della miopia assile. Boll. Ocul. **6**, 345—362 (1927) Zbl. Ophthalm. **19**, 18. — ROTHEMANN: Zur Therapie der hochgradigen Myopie. Diss. Straßburg 1913. — RUFF, O.: Wo stehen wir in der Frage der Kurzsichtigkeit? Z. Schulgesdh.pfl. u. soz. Hyg. **42**, 400—405 (1929); Zbl. Ophthalm. **22**, 472.

SACHS, M.: Spontane Pulsation einer atypischen nahe der Macula gelegenen Wirbelvene. Ophthalm. Ges. Wien, 4. April 1906. Z. Augenheilk. **15**, 532—538 (1906). — SAEGER, F.: Hochgradige Myopie durch angeborene kleine Kugellinse (Mikrophakie) ohne Dislokation. Klin. Mbl. Augenheilk. **80**, 177—180 (1928). — SAGAGUCHI: Über die Beziehungen der elastischen Elemente der Chorioidea zum Sehnerveneintritt. Klin. Mbl. Augenheilk. **40 II**, 126—134 (1902). — SALZMANN, M.: (a) Die Chorioidalveränderungen bei hochgradiger Myopie. Ber. 29. Verslg Heidelberg **1901**, 122—129. (b) Die Atrophie der Aderhaut im kurzsichtigen Auge. Graefes Arch. **54**, 337—410 (1902). (c) Anatomie und Histologie des menschlichen Augapfels im Normalzustande, seine Entwicklung und sein Altern. Leipzig u. Wien 1912. (d) Über die Sichtbarkeit der Ora serrata, die Ablösung dieser Gegend und die traumatische Myopie. Verh. außerord. Tagg ophthalm. Ges. Wien, 4.—6. Aug. **1921**, 416—423; Zbl. Ophthalm. **7**, 504 (1922). — SÄTTLER, H.: (a) Über die elastischen Fasern in der Lamina cribrosa und im Sehnerven. Ber. 26. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1897**, 50—52. (b) Über ein vereinfachtes Verfahren bei der operativen Behandlung der Myopie und die damit erreichten Ergebnisse. Ber. 27. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1898**, 207—215. (c) Zur Behandlung der Myopie. Internat. med. Kongr. Lissabon, Sekt. Ophthalm. Klin. Mbl. Augenheilk. **44 I**, 465—474 (1906). (d) The pathology and treatment of myopia beeing the Bowman Lecture. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **27**, 1—26 (1907); Michel-Nagels Jber. **38**, 720 (1907) [s. **37**, 644 (1906)]. (e) Aussprache zu G. LEVINSOHN **1908**, 51, 52. — SCALINCI: Sulla etiologia e patogenesi della miopia progressiva. Ann. Ottalm. **41**, 539 (1912); Michel-Nagels Jber. **43**, 908 (1912). — SCHALL: Zur Frage der Vollkorrektion bei Myopie. Ver.igg hess. u. hessen-nassau. Augenärzte Marburg a. L., Sitzg 30. Mai 1925; Klin. Mbl. Augenheilk. **75**, 243 (1925). — SCHAPRINGER, A.: Zur Erklärung der transitorischen Myopie bei Iritis, nebst Bemerkungen über diabetische Kurzsichtigkeit. N. Y. med. Mschr. **5**, 423 (1893); Michel-Nagels Jber. **24**, 310 (1893). — SCHEERER, R.: (a) Netzhaut und Sehnerv. Bericht über die Jahre 1906—1925. Erg. Path. **21 I**, 71—375, Erg.-Bd. **2**, 1. Allgemeine Pathologie und pathologische Anatomie des Auges, II. Teil, 1. Hälfte. München 1928. (b) Zur entwicklungsgeschichtlichen Auffassung der Brechungszustände des Auges. Ber. 47. Zus.kunft dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1928**, 118—126. (c) Zur Topographie der Papille Nervi optici in kurzsichtigen und nichtkurzsichtigen Augen. 13. internat. Ophthalm.-Kongr. Amsterdam 1929. Zbl. Ophthalm. **22**, 741/2 (1930). — SCHEERER, R. u. A. SEITZER: Über das Auftreten von sogenannten myopischen Veränderungen am Augenhintergrund bei verschiedenen Brechungszuständen des Auges. Klin. Mbl. Augenheilk. **82**, 511—515 (1929). — SCHIECK, F.: Über temporäre Myopie. Klin. Mbl. Augenheilk. **45 II**, 40—46 (1907). — SCHLEICH: (a) Klinisch-casuistische Beiträge zur Lehre von der Myopie. Nagels Mitt. ophthalm. Klin. Tübingen, H. 3, S. 1; Michel-Nagels Jber. **13**, 530 (1882). (b) Die Augen hundertfünfzig neugeborener Kinder ophthalmoscopisch untersucht. Nagels Mitt. ophthalm. Klin. Tübingen **2**, 44 (1884); Michel-Nagels Jber. **15**, 657. (c) Vergleichende Augenheilkunde, GRAEFE-SÄEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 2. Aufl., Bd. 10, Kap. XXI B, herausgeg. von TH. AXENFELD u. A. ELSCHNIG. Berlin 1922. — SCHMIDT-RIMPLER, H.: (a) Zur Frage der Schulmyopie. Ber. 17. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1885**, 146—155. (b) Graefes Arch. **31 IV**, 115—182 (1885). (c) Untersuchungen über die Entstehung der Kurzsichtigkeit. Wiesbaden 1887. (d) Kurzsichtigkeit und Augenhöhlenbau. Graefes Arch. **35 I**, 200 bis 219 (1889). (e) Zur Frage der Schulmyopie. Zweiter Teil. Graefes Arch. **35 IV**, 249 bis 286 (1889). — SCHNABEL, J.: Zur Lehre von den Ursachen der Kurzsichtigkeit. Graefes Arch. **20 II**, 1—70 (1874). — SCHNABEL u. HERRNHEISER: Über Staphylooma posticum, Conus und Myopie. Z. Heilk. **16**, 1—48 (1895). — SCHOUTE, G. J.: (a) Einige Bemerkungen zur Straubschen Theorie der Emmetropie. Z. Augenheilk. **33**, 245—256 (1915). (b) Die Entstehung der Kurzsichtigkeit nach Levinsohn. Arch. Augenheilk. **103**, 288—292 (1930). — SCHREIBER, P.: Wie korrigiert man die Kurzsichtigkeit am zweckmäßigsten? Klin. Mbl.

Augenheilk. **40** (N. F. **1**), 179—191 (1902). — SCHULTZ-ZEHDEN: Atropinkuren bei Kurzsichtigkeit. *Med. Klin.* **4**, 1111—1113 (1908). — SCHWEIZER, A.: Über die deletären Formen der Myopie, insbesondere die Erkrankungen der Macula lutea. Diss. Zürich 1890. — SÉDAN, J.: (a) Myopie inflammatoire à la suite d'une iritis syphilitique. *Marseille méd.* **59**, 871—874 (1922); *Zbl. Ophthalm.* **9**, 170. (b) Effets thérapeutiques du nitrate de pilocarpine en injections sous cutanées dans les chorio-rétinites myopiques. *Sud. méd. et chir.* **57**, 3539—3543 (1925); *Zbl. Ophthalm.* **17**, 37. (c) Note sur l'action de l'homatropine dans les myopies graves progressives de l'enfance. *Clin. ophtalm.* **15**, 193—197 (1926); *Zbl. Ophthalm.* **17**, 442. — SEEFELDER, R.: (a) Über Astigmatismus bei Soldaten nebst Bemerkungen über die Beziehungen des Astigmatismus zur Myopie. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **45** II, 486—501 (1907). (b) Über die Entwicklung des Sehnerveneintritts beim Menschen, zugleich ein Beitrag zur Frage der Faltenbildung in der embryonalen Netzhaut. *Graefes Arch.* **106**, 114—126 (1921). — SEGEL, C.: (a) Die Zunahme der Kurzsichtigkeit in den höheren Unterrichtsanstalten. *Bayer. ärztl. Intell.bl.* **1878**, 33; *Michel-Nagels Jber.* **9**, 419—421 (1878). (b) Über die Prüfung des Licht- und quantitativen Farbensinnes und ihre Verwerthung für die Untersuchung des Sehvermögens der Rekruten, nebst Bemerkungen über die nachtheilige Einwirkung des myopischen Processes auf das Sehvermögen. *Arch. Augenheilk.* **18**, 303—328 (1888). (c) Über die Abhängigkeit der Myopie vom Orbitalbau und die Beziehungen des Conus zur Refraction. *Graefes Arch.* **36** II, 1—65 (1890). (d) Über das Verhältnis von Schädel- und Gehirnentwicklung zum Längenwachstum des Körpers. *Arch. f. Anthropol., N. F.* **1**, H. 1 (1903). *Zit. nach Michel-Nagels Jber.* **34**, 11 (1903). (e) Meine Erfahrungen über Eintritt und Fortschreiten der Myopie, sowie über den Einfluß der Vollkorrektur auf letzteres. *Graefes Arch.* **56**, 551—581 (1903). (f) Die Schädigung des Lichtsinnes bei den Myopen. *Graefes Arch.* **59**, 107—130 (1904). (g) Myopie und Lichtsinn. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **44** II, 361—365 (1906). — ŠEVELEV, M.: Transplantation der Fascia lata auf verdünnte Sklera bei progressiver Myopie und Skleralektasien. *Russk. oftalm. Ž.* **11**, 107—110 (1930); *Zbl. Ophthalm.* **23**, 466. — SIDLER-HUGUENIN: Kann man durch geeignete Mittel die Kurzsichtigkeit zum Stillstand bringen und die degenerativen Veränderungen derselben verhüten? *Arch. Augenheilk.* **79**, 117—134 (1915). — SIEBENLIST, W.: Zur Myopiefrage. (Statistische Untersuchungen.) *Inaug.-Diss. Greifswald 1911*; *Z. Augenheilk.* **25**, 443—459 (1911). — SIEGRIST, A.: (a) Über die Notwendigkeit, die Augen der schulpflichtigen Kinder vor dem Schuleintritt untersuchen zu lassen. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **44**, Beil. 1—26 (1906). (b) Refraktion und Akkommodation des menschlichen Auges mit Berücksichtigung der Lehre von den Brillen und der Sehschärfe. *Berlin 1925*. — SMITH, PRIESTLEY, H.: (a) Short-sight in relation to education. An address delivered to the Birmingham Teachers. *Assoc. Birmingham*, 2. Nov. 1880, *zit. nach STEIGER* (c). (b) Introduction to a discussion on the diagnosis, prognosis, and treatment of pernicious myopia. *Ophthalm. Rev.* **20**, 331—339 (1901). — SONDER: De l'influence des maladies infantiles dans l'évolution de la myopie progressive. *Arch. d'Ophthalm.* **37**, 290—298 (1920); *Zbl. Ophthalm.* **3**, 256. — SÖRENSEN: Untersuchungen über den Refraktionszustand des Pferdeauges. *Mh. prakt. Tierheilk.* **31**, 341—362 (1920). — SOURASKY: Über die Ätiologie der Myopie. *13. internat. ophthalm. Kongr. Amsterdam 1929*. *Zbl. Ophthalm.* **22**, 741. — SOURDILLE: Des changements brusques de la réfraction oculaire dans le diabète sucré. *Clin. d'Ophthalm.* **1900**, No 10. *Ref. Michel-Nagels Jber.* **31**, 657 (1900). — SPEIDEL: Die Augen der Theologie-Studierenden in Tübingen. *Diss. Tübingen 1905*. — STARGARDT: Der zentrale grüne Fleck bei Myopie. *Z. Augenheilk.* **27**, 327 (1912). — STEIGER, A.: (a) Über Beziehungen zwischen Myopie und Astigmatismus. *Z. Augenheilk.* **20**, 97—118 (1908). (b) Sind Hornhauttrübungen eine Ursache der Myopie? *Z. Augenheilk.* **25**, 41—48 (1911). (c) Die Entstehung der sphärischen Refraktionen des menschlichen Auges (Übersichtigkeit — Normalsichtigkeit — Kurzsichtigkeit). *Berlin 1913*. (d) Streiflichter zur Myopiefrage (Autoreferat). *Sitzgsber. Ges. schweiz. Augenärzte Luzern*, 18. Mai 1916; *Klin. Mbl. Augenheilk.* **57**, 588—590 (1916). (e) Streiflichter zur Myopiefrage. *Z. Augenheilk.* **36**, 127—146 (1916). (f) Einige Bemerkungen zu Dr. BECKERS' Aufsatz: „Klinische Beobachtungen über die Ursache der Kurzsichtigkeit“. *Berl. klin. Wschr.* **56**, 419, 420 (1919). — STEPHENSON, S.: The relative frequency of myopia among Christians and Jews. *Ophthalm. Rev.* **1892**, 110. *Zit. nach Michel-Nagels Jber.* **23**, 433 (1892). — STILLING, J.: (a) Eine Studie zur Kurzsichtigkeitsfrage. *Arch. Augenheilk.* **15**, 133—158 (1885). (b) Über Entstehung der Myopie. *Ber. 18. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg*, 10. Aug. 1886, 14—26. (c) Untersuchungen über die Entstehung der Kurzsichtigkeit. *Wiesbaden 1887*. (d) Über Schädelbau und Refraction. *7. periodischer internat. Ophthalm. kongr. Heidelberg*, 8.—11. Aug. 1888, 97—104. (e) Schädelbau und Kurzsichtigkeit. Eine anthropologische Untersuchung. *Wiesbaden 1888*. (f) Über das Wachstum der Orbita und dessen Beziehungen zur Refraction. *Arch. Augenheilk.* **22**, 47—60 (1890). (g) Ein Rückblick auf die Myopiefrage. *Z. Augenheilk.* **9**, 1—29 (1903). (h) Zur Myopiefrage. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **42** I, 557—560 (1904). (i) Zur Anatomie des myopischen Auges. *Z. Augenheilk.* **14**, 23—31 (1905). — STILLING, J. u. H. LANDOLT: Über die Beziehung des Lichtsinnes zur Refraction. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **46** I, (N. F. **5**), 490—505 (1908). — STOCK, W.: (a) Über Sehnervenänderungen bei Myopie. *Ber. 34. Verslg ophthalm.*

- Ges. 1907, 261—263. (b) Über kavernöse Sehnervenatrophie bei Myopie. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **46 I** (N. F. 5), 342—358 (1908). — STOCKARD: *Amer. J. Anat.* **31**, 276 (1923). *Zit. nach Zbl. Ophthalm.* **14**, 661. — STRAUB, M.: (a) Über die Ätiologie der Brechungsanomalien des Auges und den Ursprung der Emmetropie. *Graefes Arch.* **70**, 130—199 (1909); s. a. Aussprache zu HEINE und zu PFALZ. **29. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1901**, S. 132. (b) La part de l'hérédité et de l'étude dans le développement de la myopie. *Arch. d'Ophthalm.* **36**, 68 (1918). — STREBEL, J.: Über einen Fall von Typus monolateralis einer Myopia permagna mit sogenanntem Staphyloma verum posticum totale S-Sclerectasia circumscripta postica totalis. *Beitr. Augenheilk.* **9**, H. 84, 305—350 (1912—1915). — STREIFF, J.: (a) Fragmente über Refraktions- und korrelative Anomalien. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **55**, 1—22 (1915). (b) Zum myopischen und senilen Glaskörperzerfall. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **73**, 703—708 (1924). — STUBBE, E.: Die Augen der Theologiestudierenden in Tübingen und der Einfluß des Studiums auf die Zunahme der Refraktion. *Inaug.-Diss. Tübingen 1910*. — SYMENS, H.: Anatomischer Befund bei einem myopischen nasalen Konus. *Arch. Augenheilk.* **44**, 336—338 (1902). — SZILLY, A.: (a) Der Conus nach unten. *Cbl. pr. Augenheilk.* **7**, 358—362 (1883). (b) Augenspiegelstudien zu einer Morphographie des Sehnerveneintritts im menschlichen Auge. *Wiesbaden 1901*. — SZILLY, A. v. sen.: (c) Über ektopische hintere Staphylome. *Ber. 39. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1913*, 265—270. — SZILLY, A. v.: (a) Das Problem der Augenbecherspalte — seine Beziehung zur normalen Entwicklung und zu den Mißbildungen der Papilla nervi optici. *Ber. 42. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg 1920*, 200—209. (b) Die Deutung der Zusammenhänge der wichtigsten Entwicklungsphasen des Wirbeltierauges. *Graefes Arch.* **106**, 195—284 (1921). (c) Über den „Conus in heterotypischer Richtung“. *Graefes Arch.* **110**, 183—291 (1922).
- TENNER, A. S.: Refraction in school children. 4800 refractions tabulated according to age, sex and nationality. *N. Y. med. J.* **102**, 611—614 (1915); *Jber. Ophthalm.* **45 II**, 82. — TERRIEN, F.: Les petits signes oculaires du diabète: presbytie, hypermétropie, myopie. *Paris méd.* **11**, 312—315 (1921); *Zbl. Ophthalm.* **7**, 238. — THOMPSON, A. H.: (a) The operative treatment of high myopia. *Ophthalm. Rev.* **1910**, 321—335; *Michel-Nagels Jber.* **41**, 721. (b) Late results of operative treatment of high myopia. *Proc. roy. Soc. Med.* **9**, sect. ophthalm., 15—24 (1915); *Jber. Ophthalm.* **45 II**, 86. — THOMSON, E.: Some statistics of myopia in school children; with remarks thereon. *Brit. J. Ophthalm.* **3**, 303—310 (1919). — THORNER, W.: Über den Zusammenhang zwischen Nahearbeit und Kurzsichtigkeit. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **46** (N. F. 5), 10—20 (1908). — TRIEPEL: Über Sehleistung bei Myopie. *Graefes Arch.* **40**, 50 (1894). — TRON, E.: (a) Variationsstatistische Untersuchungen über Refraktion. *Graefes Arch.* **122**, 1—33 (1929). (b) Über Refraktionsmyopie. *Graefes Arch.* **126**, 454—464 (1931). — TROTSENBURG, VAN: Refractie afwijkingen en trachoom bij West-Indische Schoolkinderen. *Nederl. Tijdschr. Geneesk.* **1908 I**, 1221; *Michel-Nagels Jber.* **39**, 748 (1908). — TSCHERNING, M.: (a) Zur Statistik der Augenkrankheiten. *Hosp.tid. (dän.)* **1881**; *Michel-Nagels Jber.* **12**, 176 (1881). (b) Studien über die Ätiologie der Myopie. *Graefes Arch.* **29 I**, 201—272 (1883).
- UHTHOFF, W.: Myopiefrage mit besonderer Berücksichtigung der Vererbungsfrage. *Ver.igg Augenärzte Schlesien u. Posen Breslau, Sitzg 25. Nov. 1923*. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **71**, 763—764 (1923). — USHER, C. H.: A pedigree of microphthalmia with myopia and correctopia. *Brit. J. Ophthalm.* **5**, 289—299 (1921).
- VACHER, L.: (a) Traitement de la myopie progressive chorioïdienne et prophylaxie du décollement de la rétine par l'extraction du cristallin transparent. *Soc. Ophtalm. Paris 1891*; *Michel-Nagels Jber.* **22**, 396 (1891). (b) De l'extraction du cristallin transparent comme moyen prophylactique de la myopie très forte progressive et du décollement de la rétine. *Annales d'Ocul.* **116**, 5 (1896); *Michel-Nagels Jber.* **27**, 334 (1896). — VARELMANN, H.: Die Vererbung der Hemeralopie mit Myopie. Ein Beitrag zur Vererbung der geschlechtsgebundenen Krankheiten. *Arch. Augenheilk.* **96**, 385—405 (1925). — VENNEMANN, E.: Un cas de lenticône double antérieur. *Annales d'Ocul.* **105**, 158 (1891); *Michel-Nagels Jber.* **22**, 213 (1891). — VOGT, A.: (a) Neue Beobachtungen über menschliche Krystallinsen mit doppeltem Brennpunkt. *Z. Augenheilk.* **50**, 145—152 (1923). (b) Über Berührungspunkte der senilen und der myopischen Bulbusdegeneration. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **72**, 212—230 (1924). (c) Zur Genese der sphärischen Refraktionen. *Ber. 44. Zus.kunft dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg 1924*, 67—71. — VOIGT: Über die operative Behandlung hochgradiger Kurzsichtigkeit mittels der primären Linearextraktion der klaren Linse und ihre Erfolge. *Graefes Arch.* **54**, 227—255 (1902). — VRIES, W. M. DE: Een en ander over het oog van den zuigeling. *Nederl. Tijdschr. Geneesk.* **1**, 325 (1901); *Michel-Nagels Jber.* **32**, 13 (1901).
- WAARDENBURG, P. J.: Über die Korrelation von Achsenmyopie und anderen Augenfehlern. *Nederl. ophthalm. Ges. Amsterdam 12. u. 13. Dez. 1931*. *Ber. Klin. Mbl. Augenheilk.* **88**, 397—398 (1932). — WAGENMANN, A.: Verletzungen des Auges mit Berücksichtigung der Unfallversicherung. **3. Aufl.** GRAEFE-SÄEMISCH-HESS'S Handbuch der gesamten Augenheilkunde, **3. Aufl.**, II. Teil, 17. Kap. Bd. 1. Leipzig 1915. — WÄTZOLD, P.: Beobachtungen bei Refraktionsfehlern. *Ber. 44. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg 1924*, 71—76. — WEBER, F.: Hohe Myopie und Gravidität. *Kasuistischer Beitrag. Z. Augenheilk.* **69**, 344 bis

347 (1929). — WEBSTER, D.: Ein Fall von Lenticonus aus der Praxis des Dr. C. R. AGNEW. Arch. Augenheilk. 4, 262 bis 264 (1874). — WEIGELIN: Der Einfluß der Vollkorrektion auf die Progression der Myopie nach dem Material der Klinik. Inaug.-Diss. Tübingen 1905; Michel-Nagels Jber. 36, 667 (1905). — WEINLAND, E. F.: Zur Ätiologie der Myopie. Beitr. Augenheilk. 3, 449—476 (1887). — WEISS, A.: Ein Fall von vorderem Lenticonus. Russk. oftalm. ž. 6, 281—285 (1927); Zbl. Ophthalm. 18, 619. — WEISS, L.: (aa) Beiträge zur Anatomie des myopischen Auges. I. Zur Anatomie des schwach kurzsichtigen Auges. Nagels Mitt. ophthalm. Klin. Tübingen 1882, H. 3, 63—88; Michel-Nagels Jber. 13, 536—540 (1882). (a) Beiträge zur Anatomie des myopischen Auges. II. Zur Anatomie des hochgradig myopischen Auges mit ringförmigem Staphylom (Erblindung bei schwerem Ikterus). Nagels Mitt. 1882, H. 3, 89—117; Michel-Nagels Jber. 13, 536—540 (1882). (b) Beiträge zur Anatomie des myopischen Auges. III. Zur Anatomie des myopischen Auges mittleren Grades (Verletzung durch Pulverexplosion). IV. Zur Anatomie des hochgradig myopischen Auges (Erblindung durch Drucksteigerung). Mitt. ophthalm. Klin. Tübingen 21, 69 (1884); Michel-Nagels Jber. 15, 663—665 (1884). (c) Über Länge und Krümmung des Orbitalstückes des Sehnerven und deren Einfluß auf die Entstehung der Kurzsichtigkeit. Tagebl. 58. Verslg. dtsh. Naturforsch. Straßburg i. E. 1885. (d) Über die ersten Veränderungen des kurzsichtigen bzw. kurzsichtig werdenden Auges. 17. Verslg. ophthalm. Ges. Heidelberg. Ber. Klin. Mbl. Augenheilk. 23, 138—146 (1885). (e) Über den an der Innenseite der Papille sichtbaren Reflexbogenstreif und seine Beziehung zur beginnenden Kurzsichtigkeit. Graefes Arch. 31 III, 239—320 (1885). (f) Beiträge zur Anatomie der Orbita. I. Über Länge und Krümmung des Sehnerven und deren Beziehungen zu den Veränderungen an der Papille. (Makroskopischer Befund.) Tübingen 1888. Michel-Nagels Jber. 19, 498 (1888). (g) Zur Beziehung der Form des Orbitaleingangs zur Myopie. Klin. Mbl. Augenheilk. 26, 349—356 (1888). (h) Über das Vorkommen von scharf begrenzten Ectasien am hinteren Pol bei hochgradiger Myopie. Arch. Augenheilk. 23, 194—202 (1891). (i) Über das Vorkommen von scharf begrenzten Ektasien am hinteren Pol bei hochgradig myopischen Augen. Verh. Ges. Naturforsch. 1896 II, 2, 327; Michel-Nagels Jber. 27, 426 (1896). (k) Über das Wachstum des menschlichen Auges und über die Veränderungen der Muskelinsertionen am wachsenden Auge. Sonderabdr. aus Anat. H. 8, H. 24/27, 193—248 (1897). — WENTINK, L.: Bijdrage tot de kennis des bijziendheid. Diss. Amsterdam 1908; Michel-Nagels Jber. 39, 759 (1908). — WESCOTT and ELLIS: Refraction changes in diabetes. Sect. of Ophthalm. amer. med. Assoc. Ophthalm. Rec. 1911, 576; Michel-Nagels Jber. 42, 760, 761. — WESSELY: (a) Störungen der Dunkeladaptation der Augen im Kriege. Kriegsarztl. Abende Würzburg, 23. Juli 1918. Zit. nach JUNIUS. (b) Über das Verhalten der Zonula bei Spontanluxation der Linse in die Vorderkammer. Arch. Augenheilk. 85, 63—69 (1919). — WIBAUT, F.: (a) Über die Emmetropisation und den Ursprung der sphärischen Refraktionsanomalien. Graefes Arch. 116, 596—612 (1926). (b) Bemerkung zu der Arbeit von K. BERTSCH in Kl. M. Augenheilk. März 1929: „Über die menschliche Refraktionskurve.“ Klin. Mbl. Augenheilk. 82, 684 (1929). (c) Statistische Untersuchungen über das Entstehen und die Vererbung der Refraktionszustände. Arch. Augenheilk. 105, 209 bis 289 (1931). — WICK, W.: (a) Der heutige Stand der Forschung über Kurzsichtigkeit. Zbl. Ophthalm. 8, 113—124 (1922). (b) Zur Myopiegenese. Erwiderung auf die Arbeit von Levinsohn im Augustheft dieser Zeitschrift, 1923. Klin. Mbl. Augenheilk. 72, 491 bis 495 (1924). (c) Zur Myopiegenese. Erwiderung auf die Ausführungen von Levinsohn im Juli-Augustheft der Klin. Monatsblätter, 1924. Z. Augenheilk. 54, 363—364 (1925). (d) Zur Myopiegenese. Erwiderung auf die vorstehende Arbeit von Prof. Levinsohn. Z. Augenheilk. 56, 356—358 (1925). — WIDMARK, J.: (a) Statistische Studien über Kurzsichtigkeit. Nord. med. Ark. (schwed.) 8, (1897); Michel-Nagels Jber. 28, 542 (1897). (b) Statistische Untersuchungen über die Kurzsichtigkeit. Nord. med. Ark. (schwed.), Festband 1897. Mitt. Augenklin. Carolin. med.-chir. Inst. Stockholm 1898, H. 1, 17—30. (c) Zur Ätiologie der Kurzsichtigkeit. Mitt. Augenklin. Carolin. med.-chir. Inst. Stockholm 1902, H. 4, 61—94. (d) Bidrag till närsynthetens etiologie. Hygiea (Stockh.), Aug. 1902; Sv. Läk.sällsk. Förh., Juni 1902; Michel-Nagels Jber. 33, 665. (e) Aftagandet af närsyntheten i de högre allmänna läroverken. Hyg. Tidskr. 2, H. 1 (1909). (f) Über die Abnahme der Kurzsichtigkeit in den höheren Knabenschulen Schwedens. Mitt. Augenklin. Carolin. med.-chir. Inst. Stockholm 1909, H. 10, 41—62 (g) Om närsynthetens aftagande i de högre allmänna läroverken för gossar i Sverige under perioden 1883—1908. (Von der Abnahme der Kurzsichtigkeit in den höheren Knabenschulen Schwedens.) Sitzsber. schwed. ärztl. Ges., 19. Jan 1909; Hygiea (Stockholm); Michel-Nagels Jber. 40, 778 (1909). — WIENER, MEYER: Epinephrine in progressive myopia. J. amer. med. Assoc. 89, 594—596 (1927); Zbl. Ophthalm. 19, 205. — WIESER, St.: Sehschärfe und Refraktion bei 46 Sudanegern. Arch. Klaus.-Stiftg. 3, 85—94 (1927); Zbl. Ophthalm. 20, 274. — WILSON (a): Keratitis as a cause of myopia. Glasgow med. J. 77, 242 (1912); Michel-Nagels Jber. 43, 916 (1912). (b) Myopia: Review of five hundred cases, with special reference to etiology. Glasgow med. J. 79, Nr 4 (1913); Michel-Nagels Jber. 44, 598 (1913). — WIRTZ: Späte Entwicklung hoher Kurzsichtigkeit bei gleichzeitiger Kropfbildung und Fettsucht. Wschr. Ther. u. Hyg. Aug. April 1911; Michel-Nagels Jber. 42, 764 (1911). — Graf WISER: Die Erhaltung des Augenlichtes.

Die Gefahren der Kurzsichtigkeit und deren Verhütung durch sachgemäße Behandlung. Berlin [o. J. wohl 1927]. — WITTE, O.: Zur Myopiefrage. *Z. Augenheilk.* **51**, 163—180 (1923). — WÖLFFLIN, E.: (a) Der Einfluß des Lebensalters auf den Lichtsinn bei dunkeladaptiertem Auge. *Graefes Arch.* **61**, 524—560 (1905). (b) Über temporäre Refraktionsabnahme bei Diabetes mellitus. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **49 II**, 426—430 (1911). (c) Über die verschiedenen Ursachen der monokularen Diplopie. *Arch. Augenheilk.* **68**, 348—361 (1911). — WOOD, D. J.: Calcium deficiency in the blood with reference to spring catarrh and malignant myopia. *Brit. J. Ophthalm.* **11**, 224—230 (1927). — WORTH, CL.: Hereditary Influence in myopia. *Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd.* **26**, 141—144 (1906).

YAMAZAKI, Z.: Beiträge zur Vererbung der Kurzsichtigkeit. *Z. Augenheilk.* **62**, 49 bis 56 (1927).

Z'BRUN, TH.: Untersuchungen über das Vorkommen seniler Glaskörpertrübungen an 200 Augen gesunder Personen. *Graefes Arch.* **107**, 61—70 (1922). — ZEEMAN, W. P. C.: Over het verband tusschen de refractie en het brekende Stelsel von het oog. Diss. Amsterdam 1905; Michel-Nagels Jber. **36**, 661—662 (1905). Siehe auch STRAUB: *Graefes Arch.* **70**, 137f. — ZEHENDER, W.: Die Accommodations- und Refractions-Anomalieen des Auges. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **4**, 279—462 (1866).

### Der Astigmatismus des Auges.

ALEXIADÈS: Note sur l'astigmatisme post-opératoire chez les opérés de cataracte avec suture cornéenne ou pont conjunctival. *Arch. d'Ophthalm.* **37**, 554—559 (1920); *Zbl. Ophthalm.* **4**, 148 (1921). — ANDREAE, P.: Der postoperative Astigmatismus nach Staroperationen. Diss. Marburg 1923. — ASCHHEIM, H.: Über einen Fall von erworbenem Hornhautastigmatismus von 32 Dioptrien. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **35**, 108—113 (1897). — AWERBACH, M.: Über Linsenastigmatismus. *Augenärztl. Ges. Moskau Wratsch (russ.)* **20**. Michel-Nagels Jber. **31**, 652 (1900). — AXT, G.: Statistische Zusammenstellung über die Häufigkeit des Astigmatismus unter dem poliklinischen Material der Universitätsaugenklinik zu Jena vom 1. Okt. 1910 bis zum 31. Dez. 1912. Diss. Jena 1914.

BÄR, CARL: Notizen über die Ausbreitung des Hornhautastigmatismus. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **74**, 374—375 (1925). — BATES, W. H.: Ein Vorschlag den Astigmatismus der Cornea auf operativem Wege zu beseitigen. *Arch. of Ophthalm.* **23**, 9—13 (1894). Übersetzt von R. GREEFF, *Arch. Augenheilk.* **30**, 51—52 (1895). — BECCARIA, F.: Variazioni delle curve corneali per propulsione del bulbo in avanti. *Ann. Oftalm.* **22**, 32 (1893); Michel-Nagels Jber. **24**, 402 (1893). — BECKER, CL.: Lochbrille D.R.P. 314 505 vom 10. Aug. 1918, ausgeg. 23. April 1919. — BĚLEHRÁDEK, J.: Sur l'astigmatisme instantané cristallinien provoqué par la fatigue du muscle ciliare humain. *Inst. physiol. univ. Charles IV. Prague. Arch. internat. Physiol.* **20**, 52—61 (1922); *Zbl. Ophthalm.* **9**, 193 (1922). — BERG, F.: (a) Über die Einwirkung der Lider auf die Form der vorderen Hornhautfläche. *Acta ophthalm.* (Köbenh.) **8**, 1—21 (1930). (b) Hornhautastigmatismus und Bulbusform. *Acta ophthalm.* (Köbenh.) **10**, 212—231 (1932). — BIRCH-HIRSCHFELD, A.: (a) Der Druck des Lides auf den Bulbus, seine Bedeutung und Messung. *Ber. 43. Verslg dtshc. ophthalm. Ges. Jena*, 10. Juni 1922, 238—241. (b) Zur Bedeutung und Messung der Lidbulbusspannung. *Z. Augenheilk.* **49**, 79—89 (1922). — BRONSTEIN: A propos de la diminution de l'astigmatisme avec l'âge. *Bull. Soc. Ophthalm.* Paris 1927, 177—182; *Zbl. Ophthalm.* **18**, 684. — BRÜCKNER, A. u. W. MEISSNER: Grundriß der Augenheilkunde. Leipzig 1920. 2. Aufl. 1929. — BRUNETIÈRE u. AUBARET: Les Variations de la réfraction statique chez les glaucomeux. *Soc. franç. Ophthalm.*, Mai 1910; *Graefes Arch.* **30**, 386 (1910). — BULL, G. J.: Lid Pressure on the cornea. *Trans. 8. internat. ophthalm. Kongr. Edinburgh*, 7.—10. Aug. 1894.

CABANNES et MARCAT: Spasmes de l'accommodation et astigmatisme cristallinien. *Arch. d'Ophthalm.* **32**, 93—100 (1912). — CADY: Color dispersion in the astigmatic eye. *Science (N.Y.)* **34**, 26 (1912); Michel-Nagels Jber. **43**, 906 (1912). — CAVARA, V.: Studio clinico-statistico sull'astigmatismo inverso. *Boll. Ocul.* **1**, 301—334 (1922); *Zbl. Ophthalm.* **8**. — CLARKE: Astigmatism. Section on Ophthalm. College of Physic. of Philadelphia. *Ophthalm. Rec.* **193** (1905); Michel-Nagels Jber. **36**, 675 (1905). — COMBERG, W.: Über irregulären Linsenastigmatismus. *Arch. Augenheilk.* **88**, 1—15 (1921). — CZELLITZER: Totalrefraktion und Hornhautrefraktion mit besonderer Berücksichtigung des physiologischen Linsen-Astigmatismus. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **79**, 301—312 (1927).

DARLING: Relief of eye strain in high astigmatism by the use of a different axis of the cylinder for distance and near. *Chicago ophthalm. Soc. Ophthalm. Rec.* **1913**, 249. Michel-Nagels Jber. **44**, 609. — DOESSCHATE, TEN G.: Über den Zusammenhang zwischen Augendruck und Exophthalmus und zwischen Augendruck und Hornhautwölbung. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **61**, 411—423 (1918). — DONDEERS, F. C.: (a) Beiträge zur Kenntniss der Refractions- und Accommodationsanomalien. *Graefes Arch.* **71**, 155—202 (1860). (b) Die Anomalien der Refraktion und Akkommodation. Unter Mitwirkung des Verfassers, herausgeg. von O. BECKER. Wien 1866 und 1888. — DOLGANOFF, W.: Über Veränderungen des Wundastigmatismus der Hornhaut nach der Cataracta-Extraction. *Arch. Augenheilk.* **29**, 13—28 (1894).

ESSEN, W.: Hornhautkrümmung bei erhöhtem intraokularem Druck. Graefes Arch. **34** II, 1—66 (1888). — ELLIS, E. W.: Irregular astigmatism due to the use of the microscope. Arch. of Ophthalm. **25**, 287 (1897); Ber. s. Arch. Augenheilk. **34**, 253 (1897). — ELSCHNIG, A.: (a) Das Colobom am Sehnerveneintritt und der Conus nach unten. Graefes Arch. **51**, 391 (1900). (b) Der normale Sehnerveneintritt des menschlichen Auges. Denkschriften der Kl. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. **70** (Sonderdruck) (1900); Michel-Nagels Jber. **31**, 11—14 (1900). (c) Die Staroperation 963—1248 der augenärztlichen Operationslehre im Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl., herausgeg. von TH. AXENFELD und A. ELSCHNIG. Berlin 1922. — EMSLEY, H. H.: Irregular astigmatism of the eye. Effect of correcting lenses. Trans. opt. Soc. **27**, 28—42 (1925—26). — ENGELBRECHT, K.: Zur Frage des Biastigmatismus und der Anwendung von Bizylindern. Graefes Arch. **90**, 160—164 (1915).

FARID BEY, N.: Beitrag zum Verhalten des Visus bei Astigmatismus. Z. Augenheilk. **42**, 55—63 (1919). — FATER, S.: Hydrodiaskop und Keratoconus. Klin. Mbl. Augenheilk. **44** (N.F. II), Beilageh. 93—109 (1906). — FERREE, C. E. and G. RAND: Intensity of illumination and other factors influencing the sensitivity of the radial test for astigmatism. Amer. J. Ophthalm. **12**, 809—814 (1929). — FICK, A. E.: Über das Accommodieren der Astigmatiker bei ungewungenem Sehen. Graefes Arch. **52**, 175—190 (1901). — FROST: Linsenastigmatismus nach Iridocyclitis. Vestn. Oftalm. (russ.) **32**, 449—450 (1915); Jber. Ophthalm. **45** II, 86 (1915). — FUCHS, A.: Ein Fall von Biastigmatismus (Marquez) (Ophthalm. Ges. Wien, Sitzg. 21. Juni 1920). Klin. Mbl. Augenheilk. **65**, 423 (1920). — FUCHS, E.: (a) Beitrag zu den angeborenen Anomalien des Sehnerven. Graefes Arch. **28**, I, 139—169 (1882). (b) Über nasalen Conus. Klin. Mbl. Augenheilk. **62**, 433—438 (1919).

GRADLE, H.: Zur Correction des Astigmatismus durch ungleichmäßige Anspannung des Ciliarmuskels. Graefes Arch. **43** I, 252—256 (1897). — GRÄPER, L.: Sehstörungen beim monokularen Mikroskopieren. Med. Welt **1** (1927). — GREEN, J.: Minor palpebral and conjunctival affections associated with refractive and muscular errors. Arch. of Ophthalm. **50**, 158 (1921). — GULLSTRAND, A.: (a) Beitrag zur Theorie des Astigmatismus. Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) **2**, 269—359 (1890). (b) Ein Fall von Keratoconus mit deutlicher Pulsation der Hornhaut. Sv. Läk.sällsk. Hdl. **48**, 103—118 (1922); Wien d. Schwedisch Mitt. Nord. ophthalm. Tidskr. **4**, 142—169 (1891). (c) Die Dioptrik des Auges. H. v. HELMHOLTZs Handbuch der physiologischen Optik, 3. Aufl., 1909. — GUTZERT, R.: Die Correction des unregelmäßigen Astigmatismus der Hornhaut. Dtsch. opt. Wschr. **10**, 102—104 (1924).

HAMBLIN, J. R. and T. H. WINSER: On the resolution of gratings by the astigmatic eye. Trans. opt. Soc. Lond. **29**, 28—42 (1928); Zbl. Ophthalm. **21**, 763. — HARTINGER, H.: Die prismatische Wirkung dezentrierter astigmatischer Brillengläser. Z. ophthalm. Opt. **17**, 1—13, 33—48 (1929). — HESS, C.: (a) Über das Vorkommen partieller Ciliarmuskelcontraction zum Ausgleiche von Linsenastigmatismus. Graefes Arch. **42** II, 80—137. (b) Über das Vorkommen partieller Ciliarmuskelcontractionen. Graefes Arch. **43** I, 257—260 (1897). (c) Arbeiten aus dem Gebiete der Accommodationslehre. II.

INOUYE, T.: Eine Achsenbezeichnung nach dem kombinierten Uhr- und Gradsystem. Klin. Mbl. Augenheilk. **87**, 335—339 (1931). — ISAKOWITZ: Kompensation eines gemischten Astigmatismus durch Fingerdruck (Berl. ophthalm. Ges. 18. Juli 1912). Zbl. prakt. Augenheilk. **36**, 268 (1912).

JACKSON, E.: Astigmatism unrecognized. Amer. J. Ophthalm., III. s. **14**, 537 (1931). — JAVAL, E.: (a) Histoire et bibliographie de l'astigmatisme. Annales d'Ocul. **55**, 105—127 (1866). (b) De l'astigmatisme. Annales d'Ocul. **97**, 225—226 (1887). (c) Geschichte und Quellensammlung des Astigmatismus. C.ztg. Opt. u. Mech. **45**, 20—21, 30—32 (1924). — JESSOP, Committee Report on the unification of notations of the meridians of Astigmatism. 11. internat. ophthalm. Kongr. Neapel, 2.—7. April 1909. — JUSELIUS: Jakttagelser rörande för hållandet mellan den korneale och totale regelbundna astigmatismen vid olika refraktionsstillstånd. (Beobachtungen über das Verhältnis zwischen dem kornealen und dem totalen regelmäßigen Astigmatismus bei verschiedenen Refraktionszuständen). Finska Läk.sällsk. Hdl. **52**, Nr 2 (1910); Michel-Nagels Jber. **41**, 723—724 (1910).

KAYSER: Über Veränderlichkeit des Astigmatismus. Klin. Mbl. Augenheilk. **83**, 355 (1929). — KATEL-BLOCH, R.: Die Beziehungen des Hornhautastigmatismus zur Myopie an Hand des Materials der Berner Universitätsaugenklinik. Klin. Mbl. Augenheilk. **44** II, Beilageh., 66—92 (1906). — KNAPP, J. H.: Über die Asymmetrie des Auges in seinen verschiedenen Meridianebenen. Graefes Arch. **8** II, 185—241 (1862). — KODAMA, R.: Über die in unserer Erfahrung beobachtete Häufigkeit und Schädigung des Astigmatismus regularis. Acta Soc. ophthalm. jap. **34**, 650—658 u. deutsche Zusammenfassung, 1931, S. 79—81. Zbl. Ophthalm. **24**, 308, 309. — KOSTER, W.: (a) Über die Beziehung der Drucksteigerung zu der Formveränderung und der Volumzunahme am normalen menschlichen Auge, nebst einigen Bemerkungen über die Form des normalen Bulbus. Graefes Arch. **52**, 402—435 (1901). (b) Stereoscopie bij het zien der astigmaten (Stereoscopie beim Sehen der Astigmatischen). Festschr. f. Prof. H. TREUB, Leiden. Leiden: S. C. VAN DOESBURGH. 1912, S. 23; Michel-Nagels Jber. **43**, 919 (1912). — KRÄMER, R.: Bemerkungen zu der Arbeit von TRON: Über einige Eigentümlichkeiten des Wundastigmatismus nach der

Kataraktextraktion usw. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **75**, 713—716 (1925). — KREIKER, A.: Über Biastigmatie. *Ges. ungar. Augenärzte*, Sitzg 7. Juni 1924. *Orv. Hetil.* (ung.) **68**, 430 (1924). *Ber. Klin. Mbl. Augenheilk.* **73**, 496 (1924). — KRONFELD, P. C. u. CL. DEVNEY: The frequency of astigmatism. *Arch. of Ophthalm.* **4**, 873—884 (1930).

LAGRANGE, F.: De la correction de l'astigmatisme envisagée au point de vue du service militaire. *Arch. d'Ophthalm.* **34**, 401—415 (1914). — LAGRANGE, F. u. E. VALUDE: Encyclopédie française d'Ophthalmologie, Tome 3. Paris 1904. M. TSCHERNING, Dioptrique oculaire. — LANG, B. T.: The position of the axis in astigmatism, and the amount of the astigmatic error from an analysis of four thousand prescriptions. *Brit. J. Ophthalm.* **4**, 126—128 (1920). (1928). — LANS, L. J.: Experimentelle Untersuchungen über die Entstehung von Astigmatismus durch nicht-perforierende Corneawunden. *Graefes Arch.* **45 I**, 117—152 (1898). — LAQUEUR: Über die Hornhautkrümmung im normalen Zustande und unter pathologischen Verhältnissen. *Ophthalmometrische Untersuchungen. Graefes Arch.* **30 I**, 99—134 (1884). — LEIBOWITZ, M.: Hornhautkrümmung und Astigmatismus. *Z. ophthalm. Opt.* **16**, 33—70 (1928). — LEVINSOHN, G.: Beitrag zur operativen Behandlung des regelmäßigen Astigmatismus. *Münc. med. Wschr.* **58**, 2613—2614 (1911). — LINT, VAN: Astigmatisme post-opératoire dans l'extraction de la cataracte avec glissement de la conjonctive. *Bull. Soc. franç. Ophtalm.* **31**, 448—450 (1914); *Michel-Nagels Jber.* **45 I**, 73. — LO CASCIO, G.: (a) L'astigmatismo dell'aberrazione nell'occhio umano. *Ann. Oftalm.* **51**, 147—192 (1923); *Zbl. Ophthalm.* **10**, 425. (b) Untersuchungen über die Brechnung bei schiefer Incidenz im menschlichen Auge. *Graefes Arch.* **121**, 411—442 (1929). (c) Influenza della superficie posteriore del cristallino sull'astigmatismo periferico dell'occhio. *Atti Congr. Soc. ital. Oftalm.* **1929**, 290—291. — LOHNSTEIN, TH.: (a) Zur Gläserbehandlung des unregelmäßigen Hornhautastigmatismus. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **34**, 405—423 (1896). (b) Die Berechnung der Planconvexlinse des Hydrodiaskops. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **35**, 266—271 (1897). — LUCCIOLO, J.: The surgical Treatment of Astigmatism. *Ophthalm. Rev.* **15**, 351—357 (1896). — LÜHL, C.: Über die Häufigkeit des Astigmatismus und seiner Beziehungen zur Sehschärfe. *Inaug.-Diss. Marburg 1909.* — LUNDGAARD, K. K. K.: Der postoperative Astigmatismus. *Ophthalm. Ges. Sitzg 27. Sept. 1924. Hosp. tid. (dän.)* **68**, 16—29 (1925); *Zbl. Ophthalm.* **16**, 323 (1926).

MAGGIORE, L. (a) La visione attraverso le lenti inclinate (Ricerche diottica fisiologica). *Ann. Oftalm.* **55**, 140—169 (1927). (b) Sull'effetto correttivo delle lenti inclinate nelle ametropie astigmatiche. *Atti Congr. Soc. ital. Oftalm.* **1927**, 307. — MARKBREITER: Die Beziehungen des Astigmatismus zur Gesamtrefraktion des Auges und zur Akkommodation. *Szemészet (ung.)* **1913**, 347. 9. Verslg ungar. ophthalm. Ges. Budapest. *Z. Augenheilk.* **30**, 558 (1913). — MÁRQUEZ, M.: (a) Sobre el biastigmatismo (span.). *11. Congr. internat. Ophthalmologia*, 2.—7. April 1909. (b) Ein neuer Refraktionsfehler des Biastigmatismus, sein Nachweis und seine Korrektion. *Arch. Oftalm. hisp.-amer.* **1912** (Sept.), 474; *Michel-Nagels Jber.* **43**, 920—922 (1912). (c) Über die Diagnose des Biastigmatismus und dessen Behandlung durch bilyndrische Gläser mit schrägen Achsen. *Internat. med. Kongr. London Sect. Ophthalm.* 6.—12. Aug. 1913; *Ber. Klin. Mbl. Augenheilk.* **51 II** (N.F. **16**), 419—420 (1913). (d) Erwidrerung auf die Kritik von STOCK, betreffend meine Arbeit über „Biastigmatismus“. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **51 II**, 756—758 (1913). (e) Diagnose und Korrektion des Biastigmatismus. *Arch. Oftalm. hisp.-amer.* **14**, 147 (1914); *Michel-Nagels Jber.* **45 I**, 170/171. (f) A propos du diagnostic du biastigmatisme et de son traitement par les verres bicylindriques à axes obliques. *Clin. Ophthalm.* **20**, 221—229 (1914); *Zbl. Ophthalm.* **1**, 358—359 (1914); *Michel-Nagels Jber.* **45 I**, 170 (1914). (g) Häufigkeit des Biastigmatismus und seine wichtigsten Arten. *Arch. Oftalm. (span.)* **21**, 573—587 (1921); *Zbl. Ophthalm.* **7**, 68 (1922). (h) Häufigkeit des Biastigmatismus. *Verh. außerordentl. Tagg ophthalm. Ges. Wien*, 4.—6. Aug. 1921. — MARTIN, G.: (a) De l'astigmatisme associé. *Bruxelles S. 63.* *Michel-Nagels Jber.* **18**, 476—478 (1887). (b) Croissants de la papille et contractions astigmatiques. *Annales Ocul.* **97**, 166 bis 227 (1887); *Rev. gén. Ophtalm.* **1887**, 195; *Michel-Nagels Jber.* **18**, 479 (1887). — MENDE, E.: Statistische Untersuchungen über die Beziehung des Hornhautastigmatismus zur Myopie. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **44** (Beilageh.), 26—65 (1906). — MENESTRINA, G.: (a) Contributo allo studio dell'obliquita simmetrica quale meccanismo correttivo dell'astigmatismo bilaterale. *Boll. Ocul.* **4**, 621—627 (1925). (b) Contributo allo studio dell'accomodazione negli astigmatici (Nota prelim.). *Lett. oftalm.* **3**, 356 bis 363 (1926); *Zbl. Ophthalm.* **18**, 18 (1927). (c) Astigmatismo corneale inverso e miopia (Nota preliminare). *Boll. Ocul.* **5**, 106—112 (1926); *Zbl. Ophthalm.* **17**, 638—639 (1927). (d) Astigmatismo corneale ed ametropie assile. *Arch. Ottalm.* **33**, 399—438 (1926); *Zbl. Ophthalm.* **18**, 172. — MENDOZA, R.: Der Biastigmatismus in der Klinik. *Arch. Oftalm. hisp.-amer.* **30**, 243—247 (1930); *Zbl. Ophthalm.* **23**, 666 (1930). — MONOD, M.: Les modifications de l'astigmatisme cornéen avec l'âge. *Bull. Soc. franç. Ophtalm.* **40**, 230—239 (1927); *Zbl. Ophthalm.* **20**, 5 (1929). — MÜGGE, F.: (a) Über die Häufigkeit des Astigmatismus und seine Beziehungen zur Sehschärfe. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **46 I**, 474—489 (1908). (b) Refraktionsanomalien und Sehvermögen. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **61**, 423—432 (1918).

NAGEL, A.: Die Refraktions- und Akkommodationsanomalien des Auges. *Tübingen 1866.* — NICOLETTI, G.: Influenza della superficie posteriore della cornea sull'astigmatismo

totale dell'occhio umano. *Ann. Oftalm.* **55**, 987—991 (1927). — NORDENSON, J. W. u. M. MARQUEZ: Bericht über die einheitliche Bezeichnung der Achsenlage bei Astigmatismus. Amsterdam u. Den Haag, Sitzg 5.—13. Sept. 1929. Verh. 13. internat. Kongr. Ophthalm. **4**, 9—11 (1930); *Zbl. Ophthalm.* **25**, 84 (1931).

OESCH, H.: Über das Vorkommen des Astigmatismus inversus corneae bei Myopen und im Senium. *Z. Augenheilk.* **56**, 320—332 (1925). — ORMOND, A. W.: Notes on three cases of acquired astigmatism associated with meibomian cysts. *Brit. J. Ophthalm.* **5**, 117—118 (1921).

PAYNE, S. M.: Hypermetropia responsible for heterophoria, astigmatism, and myopia. *Amer. ophthalm. Soc. Amer. J. Ophthalm.* **1**, 860 (1918); *Zbl. Ophthalm.* **46**, 392 (1918). — PEARSON, K. u. M. MOUL: The problem of alien immigration into Great Britain, illustrated by an examination of Russian and Polish Jewish children. III. *Ann. of Eugen.* **2**, Nr 1/2, 111—244 (1927); *Zbl. Ophthalm.* **19**, 6 (1927). — PFALZ, G. (a) Über den Einfluß des Astigmatismus auf die Tauglichkeit für verschiedene Waffengattungen. *Dtsch. mil.ärztl. Z.* **28** (1899), zit. nach SEEFELDER. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **45** II, 487. (b) Ophthalmometrische Untersuchungen über Cornealastigmatismus. *Graefes Arch.* **31** I, 201—228 (1885). (c) Über Astigmatismus perversus, eine erworbene Refraktionsanomalie. *Z. Augenheilk.* **3**, 16—26 (1900). — POSCHOGA, N.: Der einseitige Astigmatismus und sein Einfluß auf das binokulare Sehen. *Z. Sinnesphysiol.* **57**, 127—143 (1926).

RÉE, O. M.: Undersøgelse af øjet med et lysende punkt. Kjøbenhavn 1896. — REUSS, A. v.: Studien über das Sehen in der Strahlkreise. *Graefes Arch.* **87**, 519—562 (1914); *Zbl. Ophthalm.* **1**, 309. — REYMOND, CH.: Sur la correction opératoire des défauts minimes de courbure de la partie optique de la cornée. 9. Congr. internat. d'Ophthalm. Utrecht, 14.—18. Aug. 1899. — ROHR, M. v.: (a) Über ältere Arbeiten zur Feststellung des Augenastigmatismus. *Z. Ophthalm. Opt.* **13**, 42—51 (1925). (b) Die Brille als optisches Instrument. GRAEFE-SÄEMISCH Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl. Berlin 1921. — ROSSI, D.: Astigmatismo inverso e glaucoma. *Boll. Ocul.* **7**, 1047—1060; *Zbl. Ophthalm.* **21**, 219 (Zitat im Zentralblatt stimmt nicht). — ROURE: De l'astigmatisme bi-oblique et de sa correction. *Arch. d'Ophthalm.* **16**, 241—247 (1896).

SALZMANN, M.: Zur Anatomie der angeborenen Sichel nach unten. *Graefes Arch.* **39** IV, 131—150 (1893). — SCHELSKE, R.: Über das Verhältnis des intraoculären Drucks und der Hornhautkrümmung des Auges. *Graefes Arch.* **10** II, 1—46 (1864). — SCHÖTZ, H.: (a) Mensurations ophthalmométriques de l'astigmatisme. Mailand, 1.—4. September 1880; 6. internat. ophthalm. Kongr. 1881, 12—13. (b) Ein Fall von Linsenastigmatismus nach Iridectomie. *Arch. Augenheilk.* **15**, 283—286 (1885). — SCHLEICH: Klinisch-statistische Beiträge zur Lehre von der Myopie. *Nagels Mitt. ophthalm. Klinik Tübingen* 1882, H. 3, 1—62. — SCHLEY: Über Häufigkeit und Sehschärfe des Astigmatismus. *Dtsch. mil.ärztl. Z.* **1905**, Nr 6. — SCHOEN, W.: Die Funktionskrankheiten des Auges. Wiesbaden 1893. — SCHONEBECK: Über operative Behandlung des regelmäßigen Astigmatismus. Inaug.-Diss. Berlin 1912. — SCHOTTENHEIM, O.: Ergebnisse der Brillenverpassung, Vorschläge zur Neuverteilung von Gestellen und Gläsern im Brillenvorratskasten. *Graefes Arch.* **98**, 141 bis 151 (1919). S. Ber. klin. med. Augenheilk. 1917. — SEALE, E. A.: Exophthalmos and mixed astigmatism caused by large ethmoid mucocele. *Brit. J. Ophthalm.* **13**, 503—505 (1929); *J. med. Assoc. S. Afrika* **3**, 709 (1929). — SÉDAN: Aussprache zu MONOD. — SEEFELDER, R.: (a) Über Astigmatismus bei Soldaten nebst Bemerkungen über die Beziehungen des Astigmatismus zur Myopie. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **45** II (N. F. 4), 486—501 (1907). (b) Berichtigung zu der Arbeit von MÜGGE: Über die Häufigkeit des Astigmatismus und seine Beziehungen zur Sehschärfe. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **48** II, 73 (1908). — SERGIEWSKI, L.: Astigmatismus und Sehschärfe. *Russk. oftalm. Ž.* **3**, 620—634 (1925); *Zbl. Ophthalm.* **15**, 31 (1925/26). — SHAHAN, W. E.: A case of ocular tuberculosis with notable astigmatic variations. *Am. J. Ophthalm.* **30**, 165 (1913); zit. nach *Klin. Mbl. Augenheilk.* **51** II (N. F. 16), 441 (1913); *Michel-Nagels Jber.* **44**, 607 (1913). — SILEX, P.: Zur Frage der operativen Behandlung des angeborenen Astigmatismus. *Z. Augenheilk.* **16**, 516—519 (1906). — SIEGRIST, A.: Über die Notwendigkeit, die Augen der schulpflichtigen Kinder vor dem Schuleintritt zu untersuchen zu lassen, sowie über die Beziehungen des Astigmatismus zur Myopie. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **44**, Beil.-H., 1—26 (1906). — SNELLEN: Die Richtung der Hauptmeridiane des astigmatischen Auges. *Graefes Arch.* **15** II, 199 bis 207 (1869). — SONDER: Les photophobies astigmatiques (Paris 4.—7. Mai 1914). *Bull. Soc. franç. Ophthalm.* **31**, 609—617 (1914); *Jber. Ophthalm.* **45**, 171. — STÄHLI, J.: Untersuchungen zur Pathogenese des Astigmatismus (Ges. schweiz. Augenärzte, Schaffhausen, Sitzg 24. u. 25. Juni 1922). *Klin. Mbl. Augenheilk.* **69**, 124 (1922). — STEIGER, A.: (a) Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Hornhautrefraktion. Wiesbaden 1895. — (b) Zur Ätiologie und Variabilität des Hornhautastigmatismus. *Arch. Augenheilk.* **36**, 128—139 (1898). (c) Sehschärfe und Astigmatismus. *Arch. Augenheilk.* **44** (Erg.-H.), 15 bis 30 (1902). Studien über die erblichen Verhältnisse der Hornhautkrümmung. (d) I. Heredität des Hornhautastigmatismus. *Z. Augenheilk.* **16**, 229—242 (1906). (e) II. Heredität der Hornhautrefraktion. *Z. Augenheilk.* **17**, 307—317 (1907). (f) Über Veränderungen des Hornhautastigmatismus und der Hornhautrefraktion im Zeitraum von 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Jahren

an Hand von 3000 Doppelmessungen. I. Mitt. Z. Augenheilk. **18**, 103—116, 223—336 (1907). (g) Über Beziehungen zwischen Myopie und Astigmatismus. Z. Augenheilk. **20**, 97—118 (1908). (h) Über die Veränderlichkeit des Hornhautastigmatismus. Z. Augenheilk. **43**, 144—172 (1920). — STIRLING, A. W.: (a) Astigmatism — especially with regard to the influence of age upon the axis. Arch. of Ophthalm. **50**, 19—27 (1921); Zbl. Ophthalm. **6**, 34 (1922); The optician **64**, Nr 1647, 131—134; Zbl. Ophthalm. **9**, 192—193 (1923). (b) The law of rotation of the astigmatic axis. Arch. of Ophthalm. **52**, 62—67 (1923); Zbl. Ophthalm. **9**, 444—446 (1923). — STOCK, W.: (a) Zu MARQUEZ (s. d. Kl. Mbl. 1913). (b) Erwiderung an Prof. MARQUEZ. Klin. Mbl. Augenheilk. **52**, 113—114 (1914). (c) Schießbrillen und andere optische Korrekturen. a) Über das Schießen mit Brillen. Ber. der Verslg. ophthalm. Ges. Heidelberg **1916**, 281—286. — STRAUB, M.: Über die Ätiologie der Brechungsanomalien des Auges und den Ursprung der Emmetropie. Graefes Arch. **70**, 130—199 (1909). — SULZER: La forme de la cornée humaine et son influence sur la vision. Arch. d'Ophthalm. **11**, 419 (1891); **12**, 32 (1892). — SZILI, AD.: (a) Der Conus nach unten. Cbl. prakt. Augenheilk. **7**, 358—362 (1883). — SZILY, A. v.: (a) Die Deutung der Zusammenhänge der wichtigsten Entwicklungsphasen des Wirbeltierauges. Graefes Arch. **106**, 195—284 (1921). (b) Über ektopische Staphylome. Ber. 39. Verslg. ophthalm. Ges. Heidelberg **1913**, 265—270. (c) Über den „Conus in heterotypischer Richtung“. Graefes Arch. **110**, 183—291 (1922).

THOMSON: (a) Can staphyloma posticum be induced by astigmatism? Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **1875**, 310—318; Michel-Nagels Jber. **6**, 478 (1875). (b) On the connection between staphyloma posticum and astigmatism. Amer. J. med. Sci. **70**, 383—397 (1875); Michel-Nagels Jber. **6**, 478 (1875). — TODD: Variation in the axis of astigmatism in distant and near vision. Ophthalm. Rec. **1912**, 71; Michel-Nagels Jber. **43**, 923 (1912). — TREUTLER, B.: Über die Krümmungsänderungen der Hornhaut nach Staroperationen. Z. Augenheilk. **3**, 484—498 (1900). — TRON, E.: (a) Über einige Eigentümlichkeiten des Wundastigmatismus nach der Katarakt-Extraktion nebst einigen Bemerkungen über die Ursachen der normalen Hornhautkrümmung. Klin. Mbl. Augenheilk. **75**, 333—344 (1925). (b) Hornhautastigmatismus, Limbus und Schädelbau. Klin. Mbl. Augenheilk. **75**, 623—637 (1925). TSCHERNING, M.: (a) Étude sur la position du cristallin de l'oeil humain. C. r. Acad. Sci. Paris **106**, 1185—1187 (1888). (b) Dioptrique oculaire, p. 105—286. Encyclopédie franç. Ophthalm., Tome 4. Paris 1904.

VALERO: (a) Nota clinica sobre la corrección subjección del astigmatismo. Semana méd. Buenos Aires **20**, No 24, 12. Juni 1913; Michel Nagels Jber. **44**, 605. (b) Bemerkungen betreffs des Astigmatismus. Arch. Oftalm. hisp.-amer. **1913**, 505—569; Michel-Nagels Jber. **44**, 605. (c) Über die subjektive Korrigierung des Astigmatismus. Arch. Oftalm. hisp.-amer. **1913**, 119; Michel-Nagels Jber. **44**, 605. — VOGT, A.: Durch Orbitaltumor bedingter Astigmatismus regularis der Cornea. Klin. Mbl. Augenheilk. **55**, 652—656 (1915).

WEBER, A.: (a) Operative Beseitigung des Astigmatismus. 9. Congr. internat. d'Ophthalm. Utrecht, 14.—18. Aug. **1899**, 612—615. (b) Studien über operative Behandlung des Astigmatismus. Ber. dtsh. Augenheilk. **2**, Erg.-H., 96—98 (1899). — WINSELMANN, G.: Beitrag zur operativen Behandlung des Astigmatismus. Z. Augenheilk. **22**, 426—427 (1909). — WORTON, A. S.: Fuchs coloboma and astigmatism. Ophthalmoscope **9**, 833—838 (1911). — WRAY, C.: Diseases of the cornea. Case of 6 D of hypermetropic astigmatism cured by the cautery. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **34**, 109—110 (1914).

ZAMORA, C.: Kasuistik der Refraktionsanomalien in drei Untersuchungsreihen der Schulkinder von Valladolid. Arch. Oftalm. **24**, 491—499 (1924); Zbl. Ophthalm. **14**, 548 (1924).

### Die Akkommodation des Auges und ihre Störungen.

ABE, T.: Zur Frage der Akkommodationsparese bei der sog. Retinitis centralis. Klin. Mbl. Augenheilk. **83**, 55—67 (1929). — ALEXANDER, G. F.: The influence of age on the power of the crystalline lens. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **41**, 219—223 (1921). — ALLEN, TH. D.: Anomalies of accommodation, their frequency and variety. Arch. of Ophthalm. **4**, 84—89 (1930). — AWERSBACH, M.: Über Botulismus bei 4 Mitgliedern einer Familie. Russk. oftalm. Ž. **2**, 402—404 (1923); Zbl. Ophthalm. **11**, 396 (1923). — AXENFELD, TH.: Tonische Akkommodation. Klin. Mbl. Augenheilk. **62**, 59—68 (1919). — AXENFELD, TH. u. E. SCHÜRENBERG: Beiträge zur Kenntniss der angeborenen Beweglichkeitsdefekte der Augen. I. Angeborene cyclische Oculomotoriuskrankung. Einseitiger Accommodationskrampf. Klin. Mbl. Augenheilk. **39 I**, 64—73.

BAKLY, M. A.: A case of post-diphtheritic paralysis of accommodation, soft palate and lower limbs. Bull. ophthalm. Soc. Egypt **22**, 92—96 (1929); Zbl. Ophthalm. **23**, 627 (1929). — BALL, L., T. HARRISON BUTLER, P. H. ADAMS, CRIDLAND, ARCHER-HALL and WHEELER: Discussion on the ocular manifestations of encephalitis lethargica. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **45**, 884—889 (1925); Zbl. Ophthalm. **17**, 383 (1925). — BANISTER, H. and K. G. POLLOCK: The accommodation time of the eye. Brit. J. Psychol. **19**, 394—396 (1929); Zbl. Ophthalm. **22**, 169 (1929). — BÄUERLEIN, A.: Zur Accommodation des menschlichen

Auges. Würzburg 1876. — BEAUVIEUX et DELONNE: Paralyse bilatérale de l'accommodation. Arch. d'Ophthalm. **32**, 163 (1912); Michel-Nagels Jber. **43**, 925. — BECKER, O. v.: Zur Anatomie der gesunden und kranken Linse. Wiesbaden 1883. Michel-Nagels Jber. **14**, 3—4 (1883). — BEER, TH.: Die Akkommodation des Auges in der Tierreihe. Wien. klin. Wschr. **1898**, Nr. 42. — BEHR, C.: Über die tonische Konvergenzreaktion scheinbar lichtstarrer Pupillen (Pupillotomie). Klin. Mbl. Augenheilk. **66**, 770—796 (1921). — BERENS, C. u. E. K. STARK: Studien über die Augenermüdung. Akkommodationsermüdung. Experimentelle und klinische Untersuchungen. 13. internat. ophthalm. Kongr. Amsterdam 1929. Zbl. Ophthalm. **22**, 744. — BERNSTEIN, F.: Alterssichtigkeit. Ein Maßstab für die Lebensdauer. Cz. Opt. u. Mech. **52**, 321, 322, 29. Aug. 1931. — BERNSTEIN, F. und H. STEINHAUS: Untersuchungen über den Zusammenhang von Presbyopie und Lebensdauer, unter Berücksichtigung der Todesursachen. Arch. Augenheilk. **105**, 731—760. — BETHE, A., G. v. BERGMANN, G. EMBDEN u. A. ELLINGER: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie mit Berücksichtigung der experimentellen Pharmakologie, Bd. 12, 1. Hälfte Receptionsorgane II. Photoreceptoren, 1. Teil. Berlin 1929. — BIEDERMANN, H.: Untersuchungen über die Sehschärfe beim Nahsehen. Z. ophthalm. Opt. **15**, 1—10, 34—45 (1927). — BIELSCHOWSKA, A.: Über Motilitätsstörungen nach Kriegsverletzungen. 40. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1916, S. 107—116. — BISTIS, J.: Über Augenerkrankungen bei dem Denguefieber. Z. Augenheilk. **67**, 158—160 (1929). — BLATT, N.: (a) Zur Kasuistik der Augenveränderungen bei Vergiftung durch Schlangenbiß. Z. Augenheilk. **49**, 280—282 (1923). (b) Vorzeitige Alterssichtigkeit und vorzeitiges Ergrauen der Haare. Sonderdruck aus Miscarea med. (rum.) **25**, 6, 68 (1931). Zbl. Ophthalm. **26**, 530 (1932). (c) Akkommodationskrisen bei Tabes. Graefes Arch. **125**, 236—244 (1930). (d) Akkommodationsstörungen nach Iridocyclitis. Graefes Arch. **125**, 125—146 (1930). (e) Akkommodationslähmungen und Pupillenstörungen nach Bleivergiftungen. Klin. Mbl. Augenheilk. **82**, 482—491 (1931). — BLUM, J.: Contribution à l'étude du syndrome oculo-moteur tardif de l'encéphalite épidémique. Clin. ophthalm. **17**, 123—178, 183—206 (1928). Zbl. Ophthalm. **20**, 650. — БОССТ: Über den Akkommodationsmechanismus des Auges für die Ferne. Subjektive Prüfung beim Menschen und objektive beim Tier. Z. Sinnesphysiol. **46**, 379 (1912). — BROWN, A. S.: A case substantiating the relaxation accommodation. Amer. J. Ophthalm. **11**, 383 bis 385 (1929); Zbl. Ophthalm. **21**, 147 (1929). — BRÜCKNER, A.: Zur Kenntniss einiger subjectiver Gesichterscheinungen. Arch. Augenheilk. **64**, 54—88 (1909). — BUSACCA, A.: Contributo clinico alle lesioi oculari nell'encefalite letargica. Boll. Ocul. **2**, 502—513 (1923); Zbl. Ophthalm. **11**, 456 (1923).

CAMERON, W. G.: Clinical aspects of eye symptoms in encephalitis lethargica. Amer. J. Ophthalm. **6**, 389—392 (1923); Zbl. Ophthalm. **10**, 435 (1923). — CAMPBELL, J. A.: Accommodation in aphakia. J. of Ophthalm. etc. **31**, 255—260 (1927); Zbl. Ophthalm. **19**, 251 (1927). — CATTANEO, D.: Quelques observations sur le mechanisme de l'accommodation. Ann. d'Ocul. **166**, 32—52 (1929); Zbl. Ophthalm. **21**, 596. — CHOLINA, A. A.: (a) Über die Augensymptome bei Encephalitis epidemica. Ges. Neur. u. Psychiatr. Kiew, Sitzg. 28. Nov. 1922. Zbl. Ophthalm. **10**, 231 (1922). (b) Zur Frage über die Konstitution der Augen. Trudy 1. vseross. S-ezda glasn. Vrač. (russ.) **1929**, 145—151. Zbl. Ophthalm. **22**, 219. — CLARKE: Der Einfluß des Alters auf die Akkommodation. Internat. med. Kongr. Sekt. Ophthalm., Sitzgsber. 6.—12. Aug. **1913**; Klin. Mbl. Augenheilk. **51** II, 422 (1913). — CLARKE, E.: Errors of accommodation and refraction and their treatment. 5. edit. New York 1924. — COCCIUS: Die vollständige Wirkung des Tensor chorioideae. Ber. 7. period. internat. Kongr. Heidelberg 1888, 197—199. — COLLIN: Parésie de l'accommodation dans l'amibiase. Clin. ophthalm. **14**, 68—71 (1925); Zbl. Ophthalm. **15**, 601. — COLLINS, E. T.: (a) On the Development of the accommodative power of the human Lens. 10. internat. Kongr. ophthalm. Luzern, 13.—17. Sept. 1904, S. 244—251. (b) Diseases of the lens. Apparent accommodation with aphakia. (Ann. gen. meet. London, 22. April 1915.) Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **35**, 314—331 (1915). Jber. Ophthalm. **45**, 88 (1915). — CORDS, R.: Die Ergebnisse der neueren Nystagmusforschung. Zbl. Ophthalm. **9**, 369—390 (1923). — CORDS, R. u. J. BLANK: Okuläre Restsymptome nach Encephalitis epidemica. Klin. Mbl. Augenheilk. **72**, 394—404 (1924). — COSTELLO, B.: Alcune considerazioni circa l'influenza dell'accomodazione sulla grandezza delle immagini retiniche. Ann. Oftalm. **55**, 923—925 (1927); Zbl. Ophthalm. **19**, 577. — CRAMER: (a) Tijdschr. d. Maatschappij vor Geneeskunde **11**, 115; Nederl. Lancet, II. s. 1, 529 (1851). (b) Het accommodatie vermogen der oog, physiologisch toegelicht. Haarlem 1853. (c) Physiologische Abhandlung über das Accommodationsvermögen der Augen. Aus dem Holländischen übers. v. DODEN, eingeführt durch STELLWAG von Carion (Preisschr.). Leer 1855. — CRZELLITZER, A.: Die TSCHERNINGSche Accommodationstheorie, eine zusammenfassende Darstellung nach den TSCHERNINGSchen Arbeiten und nach eigenen Versuchen. Graefes Arch. **42**, 4, 36 bis 96 (1896). — CUCCHIA, A.: La stigmatoscopia subbietiva come metodo di esame e di misura dell'accomodazione. (Clin. oculist. unio. Perugia.) Ann. Ottalm. **53**, 998—1002 (1925); Zbl. Ophthalm. **16**, 41 (1925). — CZERMÁK, J. N.: (a) Über das Accommodationsphosgen. Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. **1857**. (b) Über das Accommodationsphosphen. Graefes Arch. **71**, 147—154 (1860).

DALÉN, A.: Ophthalmometrische Messungen an der toten menschlichen Krystalllinse. WIDMARKS Mitteilungen aus der Augenklinik des Carolinischen Med.-Chir. Instituts zu Stockholm, 1908, H. 8, S. 45—68. — DANADSCHIEFF, ST.: Zur Klinik der Folgezustände der Encephalitis lethargica. Z. Neur. **68**, 1—8 (1921). — DANIELS, B.: Über die Akkommodationsbreite bei Alkoholikern. Z. Augenheilk. **62**, 288—300 (1927). — DECKER, JAY C.: Cycloplegics in refraction, permanent loss of accommodation following the use of homatropin. (Cycloplegia und Refraktionsbestimmung; dauernder Verlust der Akkommodation nach Homatropin.) Amer. J. Ophthalm. **7**, 443—445 (1924); Zbl. Ophthalm. **13**, 316 (1924). — DEJEAN, CH.: Recherches sur la zonule de Zinn. Développement. Structure. Topographie. Physiologie. Arch. d'Ophthalm. **45**, 65—96, 145—171 (1928); Zbl. Ophthalm. **20**, 224—227. — DÉMÉTRIADIS, J.: Des modifications du „Tonus“ oculaire pendant l'accommodation à l'état normal et dans quelques états pathologiques. Ber. 28. Sitzg. augenärztl. Ges. Ägypten **24** (1929). — DEUSCH, G.: Zur Symptomatologie und Ätiologie der Myelitis (Encephalomyelitis) disseminata acuta. Dtsch. Z. Nervenheilk. **80**, 211—217 (1923). — DIMMER, F.: Ein Fall von tonischer Reaktion der Pupille und des Ziliarmuskels. Klin. Mbl. Augenheilk. **49** II, 332—337 (1911). — DOBROWOLSKY, W.: Beiträge zur Lehre von den Anomalien der Refraction und Accommodation des Auges. I. Myopie. Ihre Complicationen mit Accommodations-Krampf; Ursachen und Folgen des Krampfes; Diagnose derselben; Therapeutische Indikationen. Klin. Mbl. Augenheilk. **6**, Beil.-H., 1—93 (1886). — DONDEERS, F. C.: Die Anomalien der Refraction und Accommodation unter Mitwirkung des Verfassers herausgeg. von O. BECKER. Wien 1866 (u. 1888). — DREYFUS, P.-A., et S. WENGER: Paralysie unilatérale de l'accommodation. Rev. d'Otol. etc. **6**, 513—523 (1928); Zbl. Ophthalm. **20**, 810 (1928). — DUANE, A.: (a) An attempt to determine the normal range of accommodation at various ages, beeing a revision of DONDEERS' experiments. Trans. amer. ophthalm. Soc. Forty-fourth Annual Meeting **11**, 634 (1908). Michel-Nagels Jber. **39**, 751—753 (1908). Trans. sect. ophthalm. amer. med. Assoc. **1909**. (b) The accommodation and DONDEERS' curve and the need of revising our ideas regarding them. (Sect. on Ophth. of the Americ. Med. Assoc.) Ophthalm. Rec. **1909**, 403. Michel-Nagels Jber. **40**, 35 (1909). (c) Studies of the accommodation. Ophthalmoscope **10**, 486 (1912, Sept); Michel-Nagels Jber. **43**, 82 (1912). (d) Normal values of the accommodation at all ages. J. amer. med. Assoc. **59**, 1010 (1912); Michel-Nagels Jber. **43**, 82 (1912). (e) Studies in monocular and binocular accommodation, with their clinical application. Trans. amer. ophthalm. Soc. **20**, 132—167 (1922); Amer. J. Ophthalm. **5**, 865—877 (1922); Zbl. Ophthalm. **10**, 220 (1922). (f) Are the current theories of accommodation correct? Amer. J. Ophthalm. **8**, 196—202 (1925). (g) Accommodation. Arch. of Ophthalm. **5**, (62) 14 (1931). — DUPUY-DUTEMPS et PÉRIN: Myopie spasmodique transitoire arsénobenzolique. (Vorübergehende spastische Myopie durch Arsenobenzol.) Annales d'Ocul. **163**, 123—127 (1926); Zbl. Ophthalm. **17**, 369.

ERGGELET, H.: (a) Über den äußeren Erfolg der Akkommodation bei Brillenträgern. Z. ophthalm. Opt. **8**, 161—173 (5. Juli 1920). b) Zur Frage des Glasmacherstars. Ber. 46. Zus.kunft dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1927**, 234—239, 243—248. (c) Über Akkommodationshilfen. Ber. 47. Zus.kunft dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1928**, 426—433.

FAVORY, A.: A propos d'un cas d'ophtalmoplégie intrinsèque isolée. Arch. d'Ophtalm. **46**, 257—271 (1929); Zbl. Ophthalm. **22**, 114. — FILETI, A.: Fenomeni d'astenopia accommodativa nella visione d'imagini sfocate e meccanismo del riflesso accommodativo. Ann. Oftalm. **55**, 258—265 (1927); Zbl. Ophthalm. **19**, 37. — FINCHAM, E. F.: (a) The changes in the form of the crystalline lens in accommodation. Trans. opt. Soc. **26**, 239—269 (1924/25); Amer. J. Physiol. opt. **7**, 469—521 (1926); Optician **70**, 451—453; **71**, 3—6, 19—21, 53—59, 69—75 (1926). S. a. Besprechung. Z. ophthalm. Opt. **14**, 22—31 (1926/27). (b) The mechanism of accommodation — its anatomical and physiological aspect. Proc. Opt. Convent **1**, 454 (1926). (c) The function of the lens capsule in the accommodation of the eye (13. Dez. 1928). Trans. opt. Soc. Lond. **30**, 101—114 (1928/29). Besprechung s. Z. ophthalm. Opt. **17**, 154—160 (1929). — FISCHER, F.: Über Fixierung der Linsenform mittels der Gefriermethode. Arch. Augenheilk. **56**, 342—349 (1907). — FLIERINGA, H. J.: (a) Untersuchungen auf dem Gebiete der relativen Akkommodationsbreite. Diss. Leiden **1923**; Zbl. Ophthalm. **10**, 389—391 (1923). (b) Einseitige Akkommodationslähmung. (Nederlandsch oogheek. gez., Amsterdam, 15.—16. Dez. 1923.) Nederl. Tijdschr. Geneesk. **68**, 1091—1092 (1924). Zbl. Ophthalm. **13**, 153 (1924). (c) Einseitige Akkommodationslähmung nach Diphtherie. Klin. Mbl. Augenheilk. **72**, 405—409 (1924). (d) A case of unocular paralysis of the accommodation. Brit. J. Ophthalm. **8**, 367—370 (1924); Zbl. f. Ophthalm. **14**, 96 (1924). (e) Die Myodioptrie. Nederl. Tijdschr. Geneesk. **68**, 2839—2842 (1924); Zbl. f. Ophthalm. **14**, 650 (1924). — FLIERINGA, H. J. u. J. VAN DER HOEVE: Arbeiten aus dem Gebiete der Akkommodation. (Univ.-Augenkl. Leiden.) Graefes Arch. **114**, 1—46 (1924). — FORTIN, E. P.: (a) Zeigt die Fovea während der Akkommodation Veränderungen? Rev. Especial. méd. **2**, 761—769 (1927); Zbl. f. Ophthalm. **19**, 764 (1927). (b) Beobachtungen über Akkommodation. Arch. Oftalm. Buenos Aires **2**, 421—428 (1927). Zbl. Ophthalm. **18**, 687 (1927). (c) Falsche moderne Auffassungen über die Retina. Rev. Especial. méd. **5**, 387—400 (1930); Zbl. Ophthalm. **24**, 234. (d) Die Unrichtigkeit der modernen Auffassungen von der Retina. Kritik der GOLGI-

CAJALSchen Methode. Arch. Ophthalm. Buenos Aires 5, 301—313 (1930); Zbl. Ophthalm. 24, 703. — FRIEBERG, T.: Astenopia dolorosa. Verh. ophthalm. Ges. 1928, 15—16; Hosp.tid. (dän.) 1929 I; Zbl. Ophthalm. 22, 256. — FUCHS, E.: (a) Presbyopia. Arch. of Ophthalm. 51, 21—28 (1922); Zbl. Ophthalm. 7, 239 (1922). (b) Über den Ciliarmuskel. Graefes Arch. 120, 733—741 (1928).

GALA, A.: Mouvements des masses troublés du cristallin et phénomène orbiculaire du cristallin. Arch. d'Ophthalm. 42 I, 17—28 (1925); Zbl. Ophthalm. 21, 824. — GEHRCKE: Über tonische Konvergenzbewegungen der Pupille und tonische Akkommodation. Neurol. Zbl. 40, Erg.-Bd., 93—99 (1921). — GENET, L.: (a) Paralysie bilatérale de l'accommodation sans troubles pupillaires. Clin. ophthalm. 10, 363—373 (1921); Zbl. Ophthalm. 6, 244. (b) Encéphalite léthargique, séquelles oculaires. J. Méd. Lyon 4, 169—174 (1923); Zbl. Ophthalm. 10, 232. — GERTZ, H.: Über das sekundäre katadioptrische Bild des Auges. Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) 22, 299 (1909). — GIORDANO, G.: Influenza dell'eta sul potere di accomodazione. 11. Kongr. internat. Ophthalm., 2.—7. April 1909, 303—307. — GLEICHEN, A.: Zur Theorie der Sehschärfe. Graefes Arch. 93, 303—356 (1917). — GRAFE, E.: Pharmakologische Wirkungen auf Iris und Ciliarmuskel. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie mit Berücksichtigung der experimentellen Pharmakologie, herausgeg. von A. BETHE, G. v. BERGMANN, G. EMBDEN und A. ELLINGER †, Receptionsorgane II Photoreceptoren I. Tl., S. 196—232. Berlin 1929. — GRAVES, B.: (a) The response of the lens capsules in the act of accommodation 861. ann. meet. Washington, 4. Mai 1925. Trans. amer. ophthalm. Soc. 23, 184—198 (1925); Zbl. Ophthalm. 16, 524 (1925). (b) Change of tension on the lens capsules during accommodation and under the influence of various drugs. Brit. med. J. 1926, Nr 3393, 46—50. — GREEN, J. jr.: Painful accommodation. Amer. J. Ophthalm. 1, 240 (1918). — GREEN, J. jr. and G. SLUDER: Control of pain in functional hyperaesthesia of the ciliary muscle (painful accommodation. Through the nasal (Sphenopalatine, Meckel's) ganglion. An. med. Assoc. San Francisco, 27.—29. Juni 1923; Trans. Sect. Ophthalm. Amer. med. Assoc. 1923, 147—159; Zbl. Ophthalm. 11, 280 (1924). — GRÖNHOLM, V.: Studien über den zeitlichen Ablauf der Akkommodation und der mit der Akkommodation assoziierten Fusionsbewegungen des Auges unter normalen und einigen pathologischen Verhältnissen. Arch. Augenheilk. 67, Erg.-H., 119—212 (1910). — GROSS, K.: Über Akkommodation im Alter. Z. Sinnesphysiol. 62, 49—51 (1931). — GRUNERT, K.: (a) Zur Ätiologie der Ophthalmoplegia interna. Ber. 37. Verslg ophthalm. Ges. 1911, 148. (b) Erfahrungen über Pilocarpinbehandlung bei Asthenopia dolorosa. Klin. Mbl. Augenheilk. 81, 44—58 (1928). — GUGLIANETTI, L.: (a) Nuovo metodo per la misura dei tempi di accomodazione. Arch. Ottalm. 30, 25—46 (1923); Zbl. Ophthalm. 10, 233. (b) Intorno all'influenza della fatica sui tempi di accomodazione e sull'ampiezza accomodativa. Arch. Ottalm. 31, 108—129 (1924); Zbl. Ophthalm. 14, 97. — GULLSTRAND, A.: (a) Die Dioptrik des Auges. H. v. HELMHOLTZ'S Handbuch der physiologischen Optik, 3. Aufl., Bd. 1. 1909. (b) Einführung in die Methoden der Dioptrik des menschlichen Auges. Leipzig 1911. (c) Wie ich den intrakapsulären Akkommodationsmechanismus fand. Nobelvortrag. Arch. Augenheilk. 72, 169—190 (1912).

HAISSST: Über Augenerscheinungen bei Encephalitis lethargica. Klin. Mbl. Augenheilk. 71, 219 (1923). — HANSELL: Toxic paralysis of accommodation. (College of Physic. of Philad., Section on Ophth.) Ophthalm. Rec. 1911, 104, 122, 165; Michel-Nagels Jber. 42, 769, 770. — HARTGRAVES, HALLIE and PETER C. KRONFELD: The synergistic action of atropine and epinephrine on the intrinsic muscles of the eye. Arch. of Ophthalm. 5, 212—218 (1931); Zbl. Ophthalm. 25, 234. — HARTINGER, H.: Zur Akkommodation mit der Fernrohrbrille. Z. ophthalm. Opt. 11, 161—170 (1913). — HARTRIDGE, H. and K. YAMADA: Accommodation and other optical properties of the eye of the cat. Brit. J. Ophthalm. 6, 481—492 (1922); Zbl. Ophthalm. 9, 195 (1922). — HEGNER, C. A.: (a) Bemerkungen über das Verhalten der Zonulafasern bei der Ectopia lentis. Klin. Mbl. Augenheilk. 55 II, 22—30 (1915). (b) Refraktion, Sehschärfe, Akkommodation und Refraktionsanomalien des Auges. Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, herausgeg. v. EML ABDERHALDEN, Abt. V. Methoden zum Studium der Funktionen der einzelnen Organe des tierischen Organismus. Teil 6, H. 4, Lief. 138. Sinnesorgane. Lichtsinn u. Auge. Berlin u. Wien 1924. — HEINE, L.: (a) Die accommodative Linsenverschiebung im Auge, subjectiv und objectiv gemessen. Graefes Arch. 44 II, 299 bis 319 (1897). (b) Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Linse. I. Radien der Leichenlinse bei gespannter und entspannter Zonula. II. Der Brechungscoefficient der accommodirten, nicht accommodirten, myopischen und cataractösen Linse. Graefes Arch. 46, 525 bis 552 (1898). (c) Die Anatomie des accommodirten Auges. Mikroskopische Fixirung des Accommodationsactes. (24. Okt. 1899.) Graefes Arch. 49, 1—7 (1900). (d) Ein Versuch über Accommodation und intraokularen Druck am überlebenden Kinderauge. Graefes Arch. 60, 448—450 (1905). — HELMHOLTZ, H.: (a) Über eine bisher unbekannte Veränderung am menschlichen Auge bei veränderter Accommodation. Mittheilung vorgelegt von Du Bois-Reymond in der Gesamtsitzung der Akademie am 3. Februar 1853. Verh. preuß. Akad. Wiss. Berlin 1853, 137—139. (b) Über die Accommodation des Auges. Graefes Arch. 1 II, 1—74 (1855). (c) Handbuch der physiologischen Optik. Leipzig 1867. (d) Handbuch der physiologischen Optik, 2. umgearb. Aufl. Hamburg u. Leipzig 1896.

- (e) Handbuch der physiologischen Optik, 3. Aufl., ergänzt u. herausgeg. in Gemeinschaft mit A. GULLSTRAND u. J. v. KRIES von W. NAGEL. Hamburg u. Leipzig 1909. — HENDERSON, Th.: (a) The mechanism of accommodation and comparative anatomy of the ciliary region. *Ophthalmoscope* **10**, 502 (1912); Michel-Nagels Jber. **43**, 81. (b) The postural activity and evolution of the ciliary muscle in mammalia: a study of the mechanism of accommodation. *Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd.* **45 II**, 521—531 (1925); *Zbl. Ophthalm.* **17**, 153 (1925). (c) The Doyne memorial lecture: The anatomy and physiology of accommodation in mammalia (16. ann. Meet. of the Oxford ophthalm. congr. Oxford. 15.—17. Juli 1926.) *Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd.* **46**, 280—308 (1926); *Zbl. Ophthalm.* **18**, 686 (1926). — HENSEN u. VÖLCKERS: Über die Accommodationsbewegung der Chorioidea im Auge des Menschen, des Affen und der Katze. (März 1873.) *Graefes Arch.* **19 I**, 156—162 (1873). — HENSEN, V. u. VOELKERS, C.: Experimentaluntersuchung über den Mechanismus der Accommodation. (Verlag nicht mehr erkennbar.) Kiel 1868. — HESS, C.: (a) Arbeiten aus dem Gebiet der Accommodationslehre. I. Einige neue Beobachtungen über den Accommodationsvorgang. *Graefes Arch.* **42**, H. 1, 288—315 (1896). (b) Arbeiten aus dem Gebiet der Accommodationslehre. II. Über das Vorkommen partieller Ciliarmuskelcontraction zum Ausgleich von Linsenastigmatismus. *Graefes Arch.* **42 II**, 80—137 (1896). (c) Arbeiten aus dem Gebiete der Accommodationslehre. III. Ortsveränderungen der menschlichen Linse während der Accommodation und ihre Messung, nebst Beiträgen zur Theorie der Accommodation. *Graefes Arch.* **43 IV**, 477—542 (1897). (d) Modern Views on the Physiology and Pathology of Accommodation. *J. amer. med. Assoc.* **49**, 230 (1907). (e) Vergleichende Untersuchungen über den Einfluß der Accommodation auf den Augendruck in der Wirbeltierreihe. *Arch. Augenheilk.* **63**, 88—95 (1909). (f) Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie des Accommodationsvorganges. *Arch. Augenheilk.* **62**, 345—392 (1909). (ff) Vergleichende Untersuchungen über den Einfluß der Accommodation auf den Augendruck in der Wirbelthierreihe. *Arch. Augenheilk.* **63**, 88—95. (g) Beiträge zur Kenntniss accommodativer Änderungen im Menschenauge. *Arch. Augenheilk.* **65**, 170—178 (1910). (h) Die Refraktion und Akkommodation des menschlichen Auges und ihre Anomalien. GRAEFE-SÄEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl. Leipzig 1910. (i) Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie und Morphologie des Ziliarringes. *Zool. Jb.* **3**, Suppl. XV (Festschrift für SPENGLER), 155 (1912); Michel-Nagels Jber. **43**, 83. — HESS, C. v.: (k) Die Akkommodation beim Menschen. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, herausgeg. von A. BETHE, G. v. BERGMANN, G. EMBDEN und A. ELLINGER †, Receptionsorgane II, Photoreceptoren I. Tl. S. 145—155. Berlin 1929. — HESS, C. u. L. HEINE: Arbeiten aus dem Gebiet der Accommodationslehre. IV. Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß der Accommodation auf den intraocularen Druck nebst Beiträgen zur Kenntniss der Accommodation bei Säugethieren. *Arch. f. Ophthalm.* **46 II**, 243—276 (1898). — HILBERT: Akkommodationslähmung bei Ikterus. *Zbl. prakt. Augenheilk.* **1918**, 604. — HILDEBRANDT, H.: Experimentelle Untersuchungen über das Sehen bei nichtoptimaler Akkommodation. *Psychol. Forschg.* **6**, 113—120 (1924). — HIPPEL, E. v.: Über angeborene zyklische Oculomotorischerkrankung mit einseitigem Akkommodationskrampf (AXENFELD und SCHÜRENBERG). *Klin. Mbl. Augenheilk.* **52**, 99—111 (1914). — HJORT: Die Ciliarfortsätze während der Accommodation. Ein Fall von totaler acquirirter Irideremie. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **14**, 205—250 (1876). — HOFMANN, F. B.: Über die Lösung von Konvergenz und Akkommodation. (Physiol. Inst. Univ. Verlin.) *Z. Augenheilk.* **58**, 42—57 (1925). — HOLTH, S.: Ophthalmometrische Untersuchungen über das menschliche Auge nach dem Tode. C. r. IX. internat. Ophthalm.-Kongr. Utrecht 1899. Amsterdam 1900. — HÖNIG, A.: Studien aus dem Bereiche der Akkommodation. Lebensalterbestimmungsversuche aus dem Auge. *Ber. 7. Verslg. ungh. ophthalm. Ges. Budapest* (ohne Datum); *Z. Augenheilk.* **27**, 91—92 (1911). — HORTON, J. J.: Apparent accommodation in the aphakic eye. *Amer. J. Ophthalm.* **12**, 489—490 (1929); *Zbl. Ophthalm.* **22**, 134 (1929). — HOWE: The crystalline lens as figured in the text and as seen in the eye. *Ophthalmology* **8**, 160 (1912); Michel-Nagels Jber. **43**, 80 (1912). — HUDELO, A.: Mécanisme de l'accommodation et myopie diabétique. *Arch. d'Ophthalm.* **47**, 70—95 (1930). *Zbl. Ophthalm.* **23**, 695.
- IKEZAWA, F.: Über den Zusammenhang zwischen der Naheinstellung und der Pupillenweite. *Acta Soc. ophthalm. Jap.* **34**, 1549—1557 (1930). *Zbl. Ophthalm.* **24**, 585. — IMRE, sen.: Beiträge zur Lehre von der Akkommodation. I. Die Bestimmung des Nahpunktes. *Szemészet* (ung.) **2**, 101 (1911); Michel-Nagels Jber. **42**, 56 (1911). — ISRAEL, E. B.: Accommodation in lensless eyes. *J. med. Assoc. S. Africa* **3**, 13—14 (1929). — IWANOFF, A.: Beiträge zur Anatomie des Ciliarmuskels. *Graefes Arch.* **15**, 284—298 (1869).
- JABLONSKI, W.: Eine neue Theorie über die Entstehung der Kurzsichtigkeit? *Dtsch. opt. Wschr.* **13**, 681 (1927). — JACKSON, EDWARD: Accommodation with aphakia. *Optician* **64**, 127—128 (1922). — JACOBSON, P. J.: Klinische Mitteilungen I. Über eine Refraktionsveränderung des Auges, welche nach Accommodations-Lähmung beobachtet wird. *Graefes Arch.* **10 II**, 47—55 (1864). — JAENSCH, P. A.: Spät- und Restsymptome an den Augen bei Encephalitis epidemica. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **77**, 213—821 (1926). — JAKOVLEVA, A.: Augenschädigungen durch Pech und verwandte Stoffe. *Russk. oftalm. Ž.* **13**, 330 (1931).

Zbl. Ophthalm. **26**, 169. — JESS, A.: (a) Beitrag zur Kenntnis der tonischen Akkommodation. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **64**, 114—117 (1920). (b) Über den Verlauf der tonischen Akkommodation. *Ver. hess. u. hess.-nass. Augenärzte.* Frankfurt a. M., 27. Okt. 1922. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **69**, 837 (1922). — JESUS GONZALES, JOSÉ DE: Augensymptome bei der Vergiftung durch den Stich des Alacrán (Skorpion). *Intern. Congr. Ophthalm.* Washington 1922, p. 81—95.

KARPOW: Myotonische Akkommodation und Pupillenreaktion. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **71**, 218 (1923). — KASSNER, H.: Augenkomplikationen als Spätfolgen von Encephalitis lethargica. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **72**, 59—74 (1924). — KENNEDY, F.: Ocular disturbances in epidemic encephalitis. *Arch. of Ophthalm.* **1**, 346—350 (1929). *Zbl. Ophthalm.* **21**, 840. — KIRSCH, R.: Sehschärfeuntersuchung mit Hilfe des Visometers von Zeiss. *Graefes Arch.* **103**, 253—269 (1920). — KÖNIGSHÖFER: Akkommodationskrampf. *S.-A. a. d. Württemb. Med. Correspondenz-Blatt und Ophth. Klinik*, 1906, Nr. 23 u. 24. *Michel-Nagels Jber.* **37**, 648 (1906). — KRÖMER: Bemerkungen zu den PURKINJE-SANSONSchen Reflex-Bildern. *Z. Augenheilk.* **62**, 405—407 (1927). — KUSCHEL: (a) Das Verhalten des Akkommodations-Apparates, bei der Achsenverlängerung des Auges im besonderen. *Z. Augenheilk.* **22**, 283 (1909). (b) Der akkommodative Stauungsdruck stromaufwärts vom CLOQUETSchen Kanale als örtliche Ursache der Refraktionserhöhung des Auges und der Kurzsichtigkeit. *Z. Augenheilk.* **22**, 97 (1909). — KYRIELEIS, WERNER: Doppelrefraktion der anscheinend klaren Linse infolge rudimentärer Cataracta fusiformis (Univ.-Augenkl. in Würzburg.) *Z. Augenheilk.* **58**, 202—205 (1926).

LANCASTER, W. B. and EDW. R. WILLIAMS: (a) New light on the theory of accommodation, with practical applications. (19. ann. meet. Boston, 19.—21. Okt. 1914.) *Trans. amer. Acad. Ophthalm. a. Oto-Laryng.* **1914**, 170—195. (b) The effect on accommodation of the viscosity of the lens. (Laborat. of ophth. Harvard Med. School, Boston.) *Ophthalmoscope* **13**, 112—118 (1915). — LANDOLT, EDM.: Einfluß des Alters auf die Akkommodationsbreite. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **14**, 235—238 (1876). — LANGENBECK, M.: Musculus compressor lentis-accommodatorius. *Klinische Beiträge aus dem Gebiete der Chirurgie und Ophthalmologie*, S. 46—51. Göttingen 1849. — LAUBER, H.: Die Akkommodationsbrille. *Graefes Arch.* **89**, 401—407 (1915). — LEDERER, R.: (a) Einfluß der strahlenden Energie auf die Akkommodation. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **78**, 97—98 (1927). (b) Die vorzeitige Presbyopie der Feuerarbeiter. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **82**, 656—661 (1929). — LEIRI, F.: Gibt es einen extralenticulären Akkommodationsmechanismus im Auge? *Graefes Arch. u.* **121**, 213—224 (1928). — LEPEGER, O.: Tonische Reaktion der Pupille und des Ciliarkörpers. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **53**, 241 (1914). — LEPLAT, G.: De quelques cas de spasme de l'accommodation. *Bull. Soc. belge Ophthalm.* **1928**; *Zbl. Ophthalm.* **20**, 348. — LESZSZYNSKI, J.: Wirkung des Hydrastinins auf das Auge. *Polska Gar. lek.* **2**, 789 (1923); *Zbl. Ophthalm.* **12**, 120 (1924). — LEWIS, PARK: Focal Adjustment in Aphakic Eye. *Trans. amer. Acad. Ophthalm. a. Oto-Laryng.* **1920**, 182. — LEWITSKY, M.: Zur Technik der Nahepunktbestimmung. *Z. Augenheilk.* **71**, 152—155 (1930). — LI, T. M. and H. T. PR: The importance of cycloplegia in refraction. *China med. J.* **43**, 497—506 (1929). — LIBBY, G. F.: Epidemic encephalitis from the standpoint of the ophthalmologist. *Amer. J. Ophthalm.* **5**, 785—791 (1922). — LIGHTWOOD, L. M.: Mydriasis and cycloplegia as a result of herpes ophthalmicus. *Edinburgh med. J.* **34**, 423—424 (1927). — LINCK, A.: Parotitis epidemica. *Arch. Ohren- u. Nasenheilk.* **111**, 1—44 (1923). — LINDSAY JOHNSON: (a) A new theory of accommodation. *Arch. of Ophthalm.* **53**, 426—430 (1924). (b) Une nouvelle théorie de l'accommodation. *Arch. d'Ophthalm.* **41**, 746—750 (1924). — LO CASCIO: Studi sulla cosiddetta accommodatione intracapsulare. Metodi per la determinazione dell'indice totale di rifrazione del cristallino. I. Determinazione dell'indice totale di rifrazione del cristallino fuori dell'occhio. (Soc. ital. Oftalm. Roma, 27.—30. Okt. 1925.) *Atti Congr. Soc. ital. Oftalm.* **1926**, 164—172. — LÖHLEIN: Paese der Akkommodation. (Med. Ver. Greifswald.) *Dtsch. med. Wschr.* **1909**, 1209. — LOHMANN, W.: (a) Über die Frage: Konvergenz oder Akkommodations-Verengerung der Pupille bei der Nahe-Einstellung. *Ber. 35. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg* **1908**, 264. (b) Zur Genese der akkommodativen Mikropsie und Makropsie. (Univ.-Augenkl. München.) *Arch. Augenheilk.* **88**, 149—154 (1921). — LOTTRUP, ANDERSEN CHR.: Versuch röntgenographischer Darstellung von Akkommodationsveränderungen. *Ophthalm. Ges. Kopenhagen, Sitzg 30. März 1924. Hosp.tid. (dän.)* **67**, 46—48, 49 (1924). — LUEDDE, W. H.: (a) A study of certain ocular changes induced by Atropine and Eserine. *11. internat. ophthalm. Kongr. Neapel*, 2.—7. April 1909, S. 385—388. (b) Indications for the Use of Pilocarpine in Dislocation of Crystalline Lens. *Trans. amer. ophthalm. Soc.* **33**, 71 (1925). (c) Mechanism of accommodation. *Amer. J. Ophthalm.* **10**, 15—32 (1927, Jan.). (d) Der Akkommodationsmechanismus. (17. Mai 1926.) *Vortr. ophthalm. Ges. Chicago Amer. J. Ophthalm.* **1926**. Übertrag. v. H. HARTING. *Cztg Opt. u. Mech.* **48**, 192—194, 206—209, 220—221 (1927). (e) HENSEN and VOELCKERS's experiments on the mechanism of accommodation: An interpretation. *Trans. amer. ophthalm. Soc.* **25**, 250—267 (1927). (f) *Ber. Physiol.* **47**, 301, 303 (1929). (g) The mechanism of accommodation Facts and Fancies. Papers to be presented before the Section on ophthalmology of the American medical

associationi Philadelphia, Pernis, 8.—12. Juni 1931, p. 239—269. (h) The mechanism of accommodation. *Facts and fancies*. *Arch. of Ophthalm.* **7**, 40—70 (1932).

MACCO, G. DI e A. FIUMARA: Modificazioni del tempo di reazione discrimination e di acomodazione sotto la influenza della cocaina. *Arch. Farmacol. sper.* **37**, 278—286 (1924); *Zbl. Ophthalm.* **13**, 456 (1924). — MAKLAKOW: Modifications des éléments dioptriques de l'oeil pendant l'accommodation (mensurations faites avec l'ophtalmophakomètre du Dr. TSCHERNING). *Annales d'Ocul.* **142**, 456 (1909). — MAKROCKI: Doppelseitige Akkommodationslähmung nach Salvarsan. *Berl. klin. Wschr.* **1911**, 1417; *Michel-Nagels Jber.* **42**, 770. MARBAIX: (a) À propos du spasme d'accommodation. *Rev. internat. Hyg. et Ther. oculair.* **1912**, 33. (b) Un mot sur le spasme de l'accommodation. *Clin. ophtalm.* **10**, 663—666 (1922); *Le Scalpel* **75**, 61—63 (1922). — MARIN AMAT, M.: Augenstörungen als erstes Symptom der Encephalitis lethargica. *Siglo méd.* **71**, 356 (1923). — MARLOW, F. W.: Persistent accommodative spasm due to latent hyperphoria. *Arch. of Ophthalm.* **51**, 223—226 (1922); *Zbl. Ophthalm.* **8**, 251. — MARX: Untersuchungen über Formveränderung der Linse während der Akkommodation. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **47 II** 280 (1909). — MAWAS: (a) Sur la forme, la direction et le mode d'action du muscle ciliaire chez l'homme. *C. r. Acad. Sci. Paris* **155**, 1542 (1913). (b) Notes sur l'anatomie et la physiologie de l'appareil accommodateur de l'oeil. *Annales d'Ocul.* **150**, 182 (1913). — MENESTRINA, G.: Contributo allo studio dell'accomodazione negli astigmatici (nota preliminare). *Lett. oftalm.* **3**, 356 bis 363 (1926). — MEYER, A.: Beiträge zur Encephalitis epidemica. *Arch. f. Psychiatr.* **70**, 466—528 (1924). — MEYER, M.: Über seltene Folgezustände bei chronischer Encephalitis. *Dtsch. med. Wschr.* **49**, 1333—1335 (1923). — MILIAN, G.: Paralysie arsénicale de l'accommodation. *Rev. franç. Dermat.* **6**, 349—354 (1930); *Zbl. Ophthalm.* **24**, 267. — MORAT, J. P. et M. DOYON: (a) Le grand sympathique nerf de l'accommodation pour la vision des objets éloignés. *C. r.* **112**, 1327—1329 (1890). (b) Du rôle du nerf sympathique cervical dans l'accommodation from la vision des objets éloignés. *Acad. Sci. France méd.*, 1. Jan. 1891, p. 393. — MOREL, CH. et DE ST. MARTIN, R.: Une épidémie de botulisme. *Presse méd.* **30**, 829—831 (1922). — MUELLER, H.: (a) Anatomische Beiträge zur Ophthalmologie. Über einen ringförmigen Muskel am Ciliar-Körper des Menschen und über den Mechanismus der Accommodation. (April 1857.) *Graefes Arch.* **3 I**, 1—24 (1857). (b) Einige Bemerkungen über die Binnen-Muskeln des Auges. *Graefes Arch.* **4 II**, 277—285 (1858). — MÜLLER, H. K.: Akkommodation im Greisenalter oder Linse mit doppeltem Brennpunkt? *Z. Sinnesphysiol.* **62**, 137—140 (1931).

NAGEL, W. A.: Sehschärfe und Netzhautbildgröße bei verschiedenen Refraktionen und bei verschiedenem optischem Bau des Auges. *GRAEFES-SÄEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde*, 1. Aufl., Bd. 6/IV, S. 371—409. 1880. — NICOLAU, L.: Drei Fälle von Augenstörungen bei Botulismus. *Rev. Stiinț. med. (rum.)* **14**, 242—251 (1925); *Cluj med. (rum.)* **7**, 100 (1926). — NOISZEWSKI, K.: (a) Blinzeln als Akkommodation des Auges für die Ferne. Die Fernakkommodation. *Klin. oczna (poln.)* **5**, 51—55 (1927). (b) Die Akkommodation oder die Einstellung für die Ferne. *Klin. oczna (poln.)* **6**, 129—133 (1928); *Zbl. Ophthalm.* **21**, 428. (c) Accommodation pour la vision des objets éloignés. *Arch. d'Ophtalm.* **47**, 601—605 (1930); *Zbl. Ophthalm.* **24**, 496. — NOJZ, R.: Die Beziehung des Nahepunktes zur Kopfhaltung und der Einfluß des letzteren auf die relative Akkommodationsbreite. *Nippon Gankakai Zasshi (jap.)* **31**, 327—346 (1927). — NORDENSON, J. W.: (a) Über die Form der Linsenflächen im menschlichen Auge. *Nord. med. Ark. (schwed.)* **46 (III. F. 13)**, Afd. II. Innere Medizin, H. 1, Nr 1. (b) Zur Kenntnis der Form der Linsenoberfläche beim Akkommodieren. *Schwed. augenärztl. Ver. Upsala*, Juni 1916. *Arch. Augenheilk.* **82**, 195 (1917). (c) Über die Form der Linsenflächen im menschlichen Auge bei der Akkommodation (21. Juni 1916.) *Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.)* **35**, 101—116 (1918). — NOTT, IVAN S.: (a) Dynamic skiametry, accommodation and convergence. *Amer. J. physiol. Opt.* **6**, 490—503 (1925). (b) Dynamic skiametry. Akkommodative convergence and fusion convergence. *Amer. J. physiol. Opt.* **7**, 366—374 (1926).

OLOFF: Ein Fall von persistierender Akkommodationslähmung nach Diphtherie. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **50 I**, 551 (1912).

PASCAL, J. I.: (a) A sensitive test for equality of accommodation. *Amer. J. Ophthalm.* **12**, 29—31 (1929). (b) Dynamic retinoscopy for finding the amplitude of accommodation. *Optician* **1**, 459—460 (1929). (c) Dynamic retinoscopy in presbyopia. *Optician* **1**, 3—4 (1929). — PASSOW, A.: Über Augensymptome bei interner Anwendung der auf das parasympathische Nervensystem wirkenden Medikamente. *Arch. Augenheilk.* **97**, 432—459 (1926). — PATRY, F. L.: The diagnosis and treatment of post-encephalitic parkinsonism, with case reports. *J. nerv. Dis.* **69**, 617—641 (1929); *Zbl. Ophthalm.* **22**, 278. — PEARSON, K. and M. MOUL: The problem of alien immigration into Great Britain, illustrated by an examination of Russian and Polish Jewish children. *III. Ann. of Eugen.* **2**, 111—244, 290 bis 317; **3**, 1—76 (1927); *Zbl. Ophthalm.* **19**, 6. — PERRIN, R.: Paralysies de l'accommodation an cours de l'allaitement. 41. *Congr. Soc. franç. Ophthalm. Paris* 1928. *Bull. Soc. franç. Ophtalm.* **41**, 14.—16. Mai 1928; *Zbl. Ophthalm.* **21**, 633. — PFALZ: (a) Klinische Erfahrungen über Spasmus und Tonus des Akkommodationsapparates. (14. Sept. 1903.) *Ber. 31. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg* **1903**, 91—99—103. (b) Adaptiver Langbau

- und aphakische Akkommodation bei angeborener Linsenluxation. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **47 II**, 594 (1909). (c) Zur Frage der aphakischen Akkommodation. *Z. Augenheilk.* **24**, 274 (1910). (d) Nochmals zur Frage der aphakischen Akkommodation. *Z. Augenheilk.* **25**, 102—103 (1911). — PFLUGK, A. VON: (a) Über die Akkommodation des Auges der Taube nebst Bemerkungen über die Akkommodation des Affen (*Macacus cynomolgus*) und des Menschen. Wiesbaden 1906. (b) Die Linsenform in der Wirbeltierreihe. 11. internat. ophthalm. Kongr. Neapel, 2.—7. April 1909, S. 351—354. (c) Noch einmal die Akkommodation der Schildkröte. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **47 I**, 313, 314 (1909). (d) Die Fixierung der Wirbeltierlinsen, insbesondere der Linse des neugeborenen Menschen. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **47 II** (N. F. 8), 1—14 (1909). (e) Neue Wege zur Erforschung der Lehre von der Akkommodation. *Ophthalm. Ges. Kopenhagen*, Sitzg. 12. Dez. 1931. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **88**, 109—111 (1932). *Berl. augenärztl. Ges.*, Sitzg. 28. Jan. 1932. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **88**, 389 (1932); *Graefes Arch.* **128 I**, 179—200 (1932). — PRICK: Versuchsordnung zur Feststellung, welchen Anteil Konvergenz- oder Akkommodationsbewegungen auf die Verengerung der Pupille haben. *Z. Augenheilk.* **44**, 329 (1920). — PILTZ, J.: Experimentell erzeugter Wechsel der Pupillendifferenz bei progressiver Paralyse. *Neur. Zbl.* **1900**. — PLANTENGA: Over accommodatiekramp. *Nederl. Tijdschr. Geneesk.* **1**, 795 (1908); *Michel-Nagels Jber.* **39**, 753. — PLOMAN, K. G.: On postdiphtheric changes in the eye. *Acta ophthalm. (Københ.)* **9**, 221—248 (1931). — POOS, F.: (a) Zur Pharmakologie der Akkommodationsmuskulatur. Die Wirksamkeit der Sympathicusreizmittel am normalen Auge und bei Sympathicuslähmung. *Ber. 46. Zus.kunft dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg*, 9. Juni 1927, 133—139, 151—154. (b) Zur Frage der sympathischen Innervation des Ciliarmuskels und ihrer Bedeutung für die Akkommodation. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **80**, 749—766 (1928). (c) Sulla fisiologia e farmacologia degli organi muscolari lisci dell'occhio. *Soc. ital. Oftalm.* Roma, 3.—5. Nov. 1927; *Zbl. Ophthalm.* **21**, 69—70 (1929). — POOS, F. u. G. SANTORI: Die pupillomotorische und akkommodationsbeeinflussende Wirkung der autonomen Nervenstoffe bei relativ aufgehobener Blutkammerwasserschranke (Sympathicuslähmung). *Graefes Arch.* **121**, 443—470 (1929). — PRANGEN, A. D.: Spasm of the accommodation with report of thirty cases. *Trans. sect. on ophthalm., Amer. med. Assoc.*, St. Louis, 22.—26. Mai 1922, 295 bis 303; *Trans. sect. on ophthalm., amer. med. Assoc.*, 73. ann. sess. St. Louis, 22.—26. Mai 1922, 282—292. *Zbl. Ophthalm.* **8**, 331; **9**, 162. — PURKINJE: Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne. Berlin 1825.
- REDSLOB, E.: Spasme brusque de l'accommodation. *Rev. d'Oto-Neuro-Ocul.* **4**, 667 bis 670 (1926); *Zbl. Ophthalm.* **18**, 253. — REDSLOB, E. u. G. LÉVY: Myopie spasmodique novarsénobenzolique. *Rev. d'Otol. etc.* **6**, 801—814 (1928); *Zbl. Ophthalm.* **21**, 599. — REITSCH, W.: Beitrag zur Pupillotonie und Akkommodationstonie. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **74**, 159—165 (1925). — REYS, L.: L'encéphalite épidémique. *Clin. ophthalm.* **12**, 438—451 (1923); *Zbl. Ophthalm.* **11**, 185, 186. — ROELOFS, C. O.: Betrachtungen über die Myodioptrie FLIERINGAS und VAN DER HOEVES. *Graefes Arch.* **115**, 638—654 (1925). — ROHR, M. v.: (a) Zur Theorie der Fernrohrbrille. *Graefes Arch.* **75**, 561—585 (1910). (b) Zur Theorie der LAUBERSCHEN Akkommodationsbrille. *Graefes Arch.* **89**, 408—413 (1915). (c) Zur Akkommodation von Brillenträgern. (15. Juni 1920.) *Z. ophthalm. Opt.* **9**, 1—8 (1921). — ROHR, M. v. u. O. HENKER: Über binokulare Lupen schwacher und mittlerer Vergrößerung. *Z. Instrumentenkd.* **29**, 280—286 (1909). — ROHRSCHEIDER: Akkommodationsparese nach Schädelverletzung. 21. Tagg südstdtsh. Augenärzte-Ver. Breslau, 1.—2. März 1930. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **84**, 548 (1930). — RÖNNE, H.: Über tonische Akkommodationsreaktion lichtstarker Pupillen. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **47**, 41—46 (1909). — ROSENBERG, M.: Diabetes und Auge. *Z. Augenheilk.* **73**, 207—213 (1931). — RUEDEMANN, A. D.: The ductless glands as they appertain to eye diseases and to surgery. *J. amer. med. Assoc.* **97**, 1700—1704 (1931); *Zbl. Ophthalm.* **26**, 818.
- SALZMANN, M.: (a) Das Sehen in Zerstreuungskreisen. *Graefes Arch.* **39**, H. 2, 83 (1893); **40**, H. 5, 102—159 (1894); **49**, H. 1, 168—189 (1900). (b) Anatomie und Histologie des menschlichen Augapfels im Normalzustande, seine Entwicklung und sein Alter. Leipzig u. Wien 1912. (c) Dioptrik und Anomalien der Refraktion und Akkommodation (Jg. 1915.) *Z. Augenheilk.* **35**, 51—59 (1916). — SCHMIDT-RIMPLER, H.: Die Accommodationsgeschwindigkeit des menschlichen Auges. *Arch. f. Ophthalm.* **26**, 103—114 (1880). — SCHNEIDER, E.: La forme du cristallin accommodé. *Annales d'Ocul.* **151**, 221—224 (1914); *Michel-Nagels Jber.* **45**, 1, 175. — SCHOEN, W.: Die Accommodations-Überanstrengung und deren Folgen. Aetiologie des Glaucoms und der Alters-Cataract. *Graefes Arch.* **33**, 195—244 (1887). — SCHOUTE, G. J.: (a) Die scheinbaren Accommodationsfähigkeit der aphakischen Längaugen. *Graefes Arch.* **48**, 438—442 (1899). (b) Die Myodioptrie. *Nederl. Tijdschr. Geneesk.* **68**, 504—511 (1924); **69**, 2230—2236 (1925); *Zbl. Ophthalm.* **14**, 494; **15**, 689. (c) Akkommodation durch Verschieben der Brille. *Nederl. Tijdschr. Geneesk.* **64**, 403—409 (1920); *Zbl. Ophthalm.* **4**, 120. — SCHWARZ, O.: Zur Diagnose der „latenten Akkommodationsparese“. *Arch. Augenheilk.* **53**, 363—365 (1905). — SELINGER, E.: Cyclic or rhythmic oculomotor paralysis. *Arch. of Ophthalm.* **4**, 32—36 (1930); *Zbl. Ophthalm.* **24**, 103. — SHAW, M.: Eye paralysis in diphtheria. *Guy's Hosp. Rep.* **81**, 247—252 (1931); *Zbl. Ophthalm.* **25**, 847. — SKLARZ, E. u. FR. W. MASSUR: Akkommodationslähmung nach

Caseosaninjektion. *Med. Klin.* **17**, 346—347 (1921). — SOBHY, M.: Paralysis of accommodation after faucial diphtheria without mydriasis. *Bull. ophthalm. Soc. Egypt* **1923**, 43—48. STANKA, R.: Akkommodative Lageveränderungen von Linsentrübungen. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **69**, 731, 732 (1922). — ŠTĚPKA, J.: Akkommodationslähmung nach Ergotin. *Čas. lék. česk.* **1929 I**, 305—307; *Zbl. Ophthalm.* **21**, 845. — STEFFLER: Fall von beiderseitiger, isolierter, reflektorischer Pupillenstarre mit Kombination einer leichten linksseitigen Akkommodationsparese. *Ver. Ärzte Oberösterreich. Wien. klin. Wschr.* **1913**, 1185; *Michel-Nagels Jber.* **44**, 612. — STILLING, J.: (a) Über den Mechanismus der Akkommodation. *Z. Augenheilk.* **25**, 15—27 u. 141—153 (1911). (b) Zur Kritik meiner Hypothese über den Akkommodationsmechanismus. *Z. Augenheilk.* **27**, 236—237 (1912). — STORY, J. B.: Aniridia: Notes on accommodation changes under eserine. *Irish ophthalm. Soc. Belfast*, 31. Mai 1923. *Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd.* **44**, 413—417 (1924). — STREBEL, J.: Un nouveau modèle de l'accommodation. *Rev. gén. Ophtalm.* **38**, 115—128 (1924); *Zbl. ophthalm.* **14**, 234. — STRULLI, H.: Die Akkommodation des Wirbeltierauges. Ein vergleichender anatomisch-physiologischer Überblick. *Naturwiss.* **13**, 477—485 (1925).

TAKAHASHI, TOMOJI: Die relative Akkommodationsbreite der Japaner. *Nippon Gankai Zasshi* (jap.) **25**, 1053—1067; 1150—1177; **26**, 79—91 (1922); *Zbl. Ophthalm.* **7**, 331. — TEFFT, LLOYD E. and ELISABETH K. STARK: Speed of accommodation as a practicable test for fliers. *Amer. J. Ophthalm.* **5**, 339—342 (1922); *Zbl. Ophthalm.* **8**, 238. — TESSIER, G.: (a) Sui disturbi funzionali traumatici dell'iride e del corpo ciliare. *Ann. Ottalm.* **57**, 105 bis 119 (1929); *Zbl. Ophthalm.* **21**, 831. (b) La tensione endoculare dell'occhio normale nell'accommodazione e convergenza. *Ann. Ottalm.* **57**, 799—819 (1929); *Zbl. Ophthalm.* **23**, 317. — THEOBALD, S.: Subnormal accommodation power in young people a not infrequent cause of asthenopia. *Trans. amer. ophthalm. Soc.* 27. meeting, 127; *Michel-Nagels Jber.* **22**, 411 (1891). — THOMSON, H.: Eye symptoms in 115 cases of encephalitis lethargica. *Acta ophthalm.* (Kjøbenh.) **3**, 131—140 (1925). — THOREY, M. u. M. TSCHERNING: HERMANN VON HELMHOLTZ und die Akkommodationstheorie. Leipzig 1910. — THORNER, W.: Über den Zusammenhang zwischen Nahearbeit und Kurzsichtigkeit. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **46** (N. F. **5**) 10—20 (1908); *Berl. klin. Wschr.* **1908**, 794. — TRONCOSO, M. U.: Theories of accommodation. *Amer. J. Ophthalm.* **11**, 976—979 (1928). — TSCHERNING, M.: (a) *Optique Physiologique*. Paris 1899. (b) *Dioptrique oculaire*, *Encycl. franç. d'Ophtalm.* **3**, 105 bis 286. Paris 1904. (c) HERMANN VON HELMHOLTZ und die Akkommodations-Theorie. Übersetzt von M. THOREY. Leipzig 1910. — TIMJANZEV, N.: Zum Mechanismus der Akkommodation. *Russk. oftalm. Ž.* **7**, 20—26 (1928); *Zbl. Ophthalm.* **19**, 646.

UHTHOFF: Ein Beitrag zur Akkommodationsfrage. (Beobachtungen bei einem Fall von congenitaler totaler doppelseitiger Aniridie). (3. Aug. 1912.) *Ber.* **38**. *Verslg ophthalm. Ges.* **1912**, 331, 332. — ULBRICH, H.: Zur Lehre von der intraokulären Flüssigkeitsströmung. *Ber.* **34**. *Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg* **1907**, 105—116.

VERBITZKY, V. C.: The new reduced eye adapted to accommodation. *Brit. J. Ophthalm.* **7**, 237—239 (1923). — VOGT, A.: (a) Ein Wahrscheinlichkeitsbeweis für den HELMHOLTZ'schen Akkommodationsmechanismus. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **72**, 412—413 (1924). (b) *Lehrbuch und Atlas der Spaltlampenmikroskopie des lebenden Auges*, 2. Aufl. des *Atlas der Spaltlampenmikroskopie*. II. Teil: Linse und Zonula.

WENDEROWIČ, E.: Zur Symptomatologie und Diagnostik der epidemischen Encephalitis. *Arch. f. Psychiatr.* **70**, 427—451 (1924). — WIEGER, G.: Über den Canalis Petiti und ein „ligamentum hyaloideo-capsulare“. *Inaug.-Diss. Straßburg* 1883. — WOLFF, J.: A new method for the study and determination of the accommodative requirements. *Amer. J. physiol. Opt.* **5**, 96—108 (1924); *Michel-Nagels Jber.* **51**, 158 (1924). — WOOD, D. J.: Accommodative failure in Malaria and influenza. *Brit. J. Ophthalm.* **4**, 415—416 (1920).

YOUNG, TH.: (a) S. M. v. ROHR. *Z. ophthalm. Opt.* **10/11**, 102—155 (1922/23). (b) On the mechanism of the eye. *Philos. Trans.* **1**, 43 (1801). *Deutsch s. M. v. ROHR. Z. ophthalm. Opt.* **10/11**, 102—155 (1922/23).

ZEEMAN, W. P. C.: Über die Form der hinteren Linsenfläche. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **46 I**, 83—86 (1908). — ZEHENDER, W.: Die Accommodations- und Refraktions-Anomalieen des Auges. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **4**, 279—462 (1866). — ZENTMAYER, WM.: (a) Apparent accommodation in aphakia. *Amer. J. Ophthalm.* **1**, 570 (1918). (b) Apparent accommodation in aphakia. (Sect. on ophth., college of physicc. of Philadelphia.) *Amer. J. Ophthalm.* **1**, 583 (1918). — ZIEMANN: Ein Beitrag zur Frage des Akkommodationskrampfes. *Diss. Leipzig* 1910.

# Brillenlehre.

Von

H. ERGGELET-Jena.

Mit 85 Abbildungen.

## A. Die Geschichte der Brille.

Die Abfassung einer Brillengeschichte ist darum schwierig, weil gleichzeitige Bearbeitungen dieses Gebietes so gut wie völlig fehlen. Man ist für die ältesten Zeiten auf Darstellungen (Bilder mit Brillen) und auf Sammlungsstücke angewiesen. Nur sehr allmählich finden sich Mitteilungen zur Brillentechnik, hauptsächlich in Gildenordnungen. Erst in den letzten 3—4 Jahrzehnten hat man sich emsiger bemüht, Stoff zur Geschichte zu sammeln. Zu dem Versuch, die gewonnenen Mosaiksteinchen zu einem Bild zu vereinigen, ist es kaum gekommen. Wenn wir heute dennoch da und dort die deutlichen Züge dieses Bildes erkennen, so haben wir das in erster Linie der Forscherarbeit M. v. ROHR'S zu danken. Aus seiner Feder ist vor kurzem eine Zusammenfassung der heute vorliegenden Kenntnisse hervorgegangen. Auf ihn stützt sich das Folgende.

Die Brille (das nahe dem zu unterstützenden Auge angebrachte Brillenglas) hat sich anscheinend zuerst um den Ausgang des 13. Jahrhunderts in Venedig — wo in den Muraner Spiegelglashütten einigermaßen dickes Plattenglas zu Gebot stand — aus dem Lesestein entwickelt. Dieses auf die zu entziffernde Handschrift zu setzende Hilfsmittel (meist wohl aus Quarz) ist nach mehrfacher Erwähnung durch die deutschen Minnesänger auf die erste Hälfte des 13. Jahrhunderts zu verlegen. Erst längere Zeit später wurde diese Sehhilfe von der Lesefläche getrennt und dem Auge nahe gebracht. An Stelle des Steines trat später das Glas. Diese wichtige Erfindung wanderte im Anfang des 14. Jahrhunderts mit dem damals aufblühenden Schiffsverkehr zwischen Venedig und den flandrischen Städten nach Flandern und gab dort Anlaß zur Begründung eines Brillenmachergewerbes, das zunächst für die Gebiete diesseits der Alpen vornehmlich in Betracht kam. Während die neue Augenhilfe in Italien die Namen *ocularia*, *occhiale* erhielt, nannte man sie in Flandern den *bril* (von *Beryll*) und den herstellenden Handwerker *brillemaker*. Diese veränderte Namengebung macht es uns heute möglich, den Einfluß des flandrischen Brillengewerbes einigermaßen abzuschätzen: in Deutschland der *Brill*, der *Brillenmacher*, in Frankreich *béricles*, *besicles*, selbst in Genua *baricolo*, in England gelegentlich *burral glasses*.

Das alte Vorhalteglas für ein Auge wurde bald für beide Augen verdoppelt, so entstand die *Nietbrille*. Mit der Verdoppelung der Gläser trat ihr Name überall in die Mehrzahl, um erst ziemlich spät in Würdigung des einheitlichen Stückes wiederum zu einer neuen Einzahl zu werden. In Deutschland wird so der *Brill* in der Verdoppelung „die Brillen“ genannt und als einheitliches Gerät empfunden, später „die Brille“.

Es sieht so aus, als habe in der Zeit bis zur Verbreitung der Buchdruckerkunst Flandern seinen Vorrang auf diesem Gebiete bewahrt. Jedoch treten von 1450 ab im deutschen Sprachgebiet immer deutlicher Brillenhändler (wohl auch Brillenhersteller) auf, bis es um 1480 zu einem Brillenmachergewerbe in Nürnberg kommt, das um 1505 sogar eine Ordnung vom Rat erhielt. Nürnberg eignete sich gut zu solchem Gewerbe nicht allein wegen der Handwerkstüchtigkeit seiner Bewohner, sondern auch wegen seiner günstigen Lage zu den nahen bayrisch-böhmischen Glashütten für geblasenes (also dünnes) Glas. Für starke Sammellinsen blieb man immer noch auf den Muraner Werkstoff angewiesen.

Die Verfahren der Glasbearbeitung waren in so früher Zeit wohl überall noch sehr kümmerlich. Gleichseitige Gläser waren die Regel, und die Hauptaufgabe der alten Zeit war die Ausbildung einer Fassung, die die Brillengläser leicht und bequem vor den Augen festhielt, da man sich natürlich mit den Vorhaltegläsern nicht begnügen wollte. Abgesehen von den Versuchen, die Brillen an einem von der Kopfbedeckung festgehaltenen Träger anzubringen, kam damals nur die Nase als tragender Körperteil in Betracht. Man hat sich

anfangs mit einfachen Bogenbrillen aus Horn beholfen. Aus dieser einfachen Form entstand in der letzten Hälfte des 16. Jahrhunderts unter spanischem Einfluß (wo die Brille früh hoffähig wurde, während sie die Gesellschaft der Renaissance verpönte) die Fadenbrille, eine Bügelbrille, die sich mittels zweier, die beiden Ohren umgreifender Fäden vor den Augen hielt. In dieser für Mongolengesichter besonders geeigneten Form wurde die Fadenbrille durch spanisch-italienische Jesuiten als Missionare in China und Japan eingeführt, wo sie sich bis auf unsere Tage im Gebrauch gehalten hat. Indessen scheint es aber ziemlich früh — vor der Mitte des 16. Jahrhunderts — zur Ausbildung der viel bequemer sitzenden Schlitzbügelbrillen gekommen zu sein. Sie sind uns aus der Regensburger Brillenmacherordnung um 1550 bekannt, werden vermutlich früher in Flandern gemacht worden sein und erhielten sich in Italien (Rom, Genua, Venedig) sowie besonders lange in England (bis tief ins 18. Jahrhundert) in großer Wertschätzung. — Vielleicht als eine billigere Ersatzware verbreitete sich — ebenfalls seit der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts — die recht bequem sitzende und haltbare Lederbrille, die zu Nürnberg in ganz großen Mengen hergestellt und abgesetzt worden ist. Den Vertrieb übernahmen wohl überall Wanderhändler ohne optische Kenntnis, die die Hauptwaren, die Arbeitsbrillen, nach den auf die Gläser geritzten Alterszahlen verkauften.

Was die Brillengläser angeht, so scheinen um den Anfang des 17. Jahrhunderts die Venediger Werkstätten am höchsten gestanden zu haben, die bereits eine Ordnung der Brillengläser nach der Brechkraft versuchten und dafür ein rein optisches Meßgerät entwickelt hatten. Sie wußten, daß mindestens für die schwächeren Sammelwirkungen die eben-erhabene Form (mit der ebenen Seite nach dem Auge zu) vor der gleichseitigen den Vorzug verdiene.

Im Hinblick auf die Menge der hergestellten Brillen und ihren niedrigen Preis standen die Nürnberger Betriebe voran, und sie bevorzugten bereits in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts die Metallfassung der Klemmbrille. Sie war zunächst noch plump, doch lernte man bald, sie aus Kupferdraht mit Hilfe eines Walzwerks herzustellen, das später sogar Namen, Wohnort und Meisterzeichen des Herstellers auf den Fassungsrand aufprägte. Die Ware wurde zu erstaunlich niedrigen Preisen nur im großen an Wiederverkäufer abgegeben.

Während so in Nürnberg (und seit 1710 im benachbarten Fürth) eine Fabrikware hergestellt und namentlich in dem Norden und nahen Osten abgesetzt wurde, ging die junge (1629 begründete) Londoner Brillenmachergilde einen ganz entgegengesetzten Weg, nämlich zur Entwicklung des handwerksmäßigen Optikermeisters, der etwa seit dem Ausgang des 17. Jahrhunderts die Herstellung und Anpassung der Brille mit bemerkenswerter Einsicht und Geschicklichkeit pflegte. Dort in England entstand ebenfalls vor 1728 die Schläfenbrille, deren „Federn“ seitlich gegen die Schläfen drückend eine Bügelbrille gut vor den Augen festhielten. Neben dieser anfangs wohl etwas plumpen Form tritt dort gleichzeitig eine viel zierlichere, die Klemmbrille, auf, die sich durch Federung auf der Nase hielt. Die Glasränder aus Horn, Schildpatt oder vorbehandeltem Leder waren durch feste aber zierliche Niete mit der stählernen Feder verbunden. Damit erlangte die Londoner Optikerschaft für die ganze feine Welt den Vorrang als Brillenhersteller, und ihre Erzeugnisse wurden auf dem Festland überall nachgeahmt, wo sich ein leistungsfähiges optisches Gewerbe entwickelt hatte.

**Die Anfänge der Brillenanpassung.** Die Brillenwahl für das einzelne Auge, die wir aus DAÇA DE VALDES Schrift von 1623 sowie aus J. ZAHNS Buch von 1686 kennen, wurde von diesen Meistern verbessert. 1752 ist dazu eine Reihe von 32 Gläsern vorhanden, und noch feinere Abstufungen konnten durch Vorschalten eines Linsenpaares erzielt werden, wie aus dem Sammlungsstück mit ziemlicher Sicherheit zu schließen ist. W. CARY wußte, wie TH. YOUNG berichtet, von einer Besonderheit des Auges, die durch die Achsenwirkung sphärischer Gläser nicht zu verbessern war, wohl aber durch die Neigung eines solchen gegen die Achse; damit war also der Astigmatismus des Auges bemerkt, gleichzeitig mit einem Hilfsmittel zu seinem Ausgleich. Das ist ein Vorgehen, das unbewußt noch bis in unsere Zeit verwendet wird. Man denke an die Starbrillen.

Das Brillengestell erfuhr verschiedene Änderungen. So ließ man die immer noch federnden Bügel um den Kopf herumgreifen und zerlegte sie durch ein oder gar zwei Zwischengelenke in zwei oder drei Glieder, so daß man sie zusammengefaltet bequem tragen konnte.

Am Brillenglas selber kam man über die Kenntnisse der Venediger Fachleute nicht viel hinaus. Die von J. KEPLER hervorgehobene und benannte Linsenform des Meniscus ist zwar im 17. und 18. Jahrhundert von verschiedenen Fachmännern (in Frankreich, Italien, Deutschland und England) für Brillengläser verwandt worden, konnte sich aber allem Anschein nach keine durchgreifende Anerkennung schaffen, bis der technisch sehr beanlagte Londoner Arzt W. H. WOLLASTON 1804 seine periskopischen Brillengläser empfahl. Er erkannte, daß ihre Leistung von einer bestimmten Blende abhängig sei. Daß er sie bewußt auf Grund einer Erkenntnis der Drehung um einen bestimmten Punkt im Augeninnern gestaltet habe, ist nicht sehr wahrscheinlich. Die ausführende Werkstätte ging damals leider

auch von der vorgeschriebenen tieferen Durchbiegung ab, und in dieser schwach durchgebogenen Form haben sich diese, ausdrücklich zur Erweiterung des seitlichen Feldes bestimmten Brillengläser bei den Optikern bis in den Ausgang des 19. Jahrhunderts gehalten. — Ein weiterer Anstoß ging 1825 von dem englischen Sternforscher G. B. AIRY aus, der den von TH. YOUNG messend behandelten Augenastigmatismus an seinem eigenen kurzsichtigen und astigmatischen Auge mit einer sphäro-zylindrischen Linse ausglich.

Verschiedene Anstöße etwa von C. M. GOULLIER und G. B. AMICI, bewußt diesen Augenfehler zu heben, waren ohne wirklichen Erfolg, bis um 1860 durch F. C. DONDERS und J. H. KNAPP die Kenntnis von der Notwendigkeit unter den Augenärzten Boden gewann. Es traf sich dafür glücklich, daß um eben diese Zeit das HELMHOLTZISCHE Ophthalmometer entwickelt worden war.

Die Richtung der Zeit ging, was das Brillengestell angeht, auf die Entwicklung der Ohrenbrille. Vermutlich seit dem ersten Viertel des 19. Jahrhunderts bildete sich allmählich die Ohrenbrille weiter aus. Daneben entstand (vielleicht aus der alten englischen Klemmbrille mit Stahlfeder) seit dem Anfang der 40er Jahre der Klemmer. Er erhielt allmählich seine Seitenstege und — im Anfang der 90er Jahre — mit deren selbständiger Beweglichkeit im COTTERTSCHEN Fingerklemmer die vollkommenste Form, bei der der Bügel wieder so gut wie starr wurde.

Im Hinblick auf die Brillengläser bildete sich durch das Aufkommen gut geleiteter Brillenfabriken (zunächst in Rathenow, später auch in Nordamerika) die Umstellung des Brillenverkäufers vom Handwerker zum Brillenanpasser mehr und mehr durch. Die Bestrebungen zur Verbesserung des Brillenglases waren merkwürdig dürftig. In Deutschland wollte es das Unglück, daß der bedeutende L. J. SCHLEIERMACHER starb, ohne daß sich seine ungeheuer wichtige Erkenntnis von der Bedeutung des Augendrehpunktes für die Brille unter den Fachleuten hätte durchsetzen können. Obwohl er seine Ansicht in einer Schrift veröffentlicht hatte, unterblieb die Lösung der klargestellten Aufgabe noch mehr als 50 Jahre, bis FR. OSTWALT und M. TSCHERNING um den Ausgang des 19. Jahrhunderts die richtigen Formen für achsensymmetrische Gläser zur Unterstützung des bewegten Auges erstrebend ihre Wege bekannt gaben.

Durch A. GULLSTRANDS Wunsch nach einer Lupe, bei welcher der Augendrehpunkt Blendenort sein sollte, der Verantlupe, wurde die ZEISSISCHE Werkstätte 1902 mit der Bedeutung des Augendrehpunktes für eine Reihe optischer Geräte vertraut. Auf diese Kenntnis konnte dann zurückgegriffen werden, als sich M. v. ROHR 1908 der optischen Aufgabe der Brille zuwandte. Nicht nur auf die sphärischen, sondern auch zum erstenmal auf astigmatische Brillengläser wurde die strenge Rechnung zur Ermittlung der für das blickende Auge günstigsten Form angewandt. In rascher Folge wurden auch Sehhilfen für Sehschwache, für Linsenlose und Ungleichsichtige entwickelt in Gestalt von Einzellinsen oder von Linsenfolgen, die alle neben den besonderen für die Erfüllung ihrer Einzelaufgabe nötigen Eigenschaften auch den Vorzug vor früheren tastenden Versuchen hatten, daß sie von störenden Fehlern im Blickfeld ganz oder zu einem sehr großen Teil befreit waren. Eine weite Verbreitung hat vor allem die Fernrohrbrille gefunden.

## B. Allgemeines zu dem üblichen Brillenglas in endlichem Abstand.

Zunächst sollen die in der üblichen Form der Brille getragenen Gläser betrachtet werden. Unter solchen Brillen versteht man heute eine Sehhilfe, die sich dazu eignet, vor den Augen getragen zu werden, ohne die Bewegungen des Kopfes und den Gebrauch der Hände bei der Arbeit zu behindern, und die, wie es meistens geschieht, an einem auf der Nase aufliegenden und an den Ohren festgehaltenen Gestell angebracht sind. Mit dieser Forderung ist eine gewisse Begrenzung des Umfanges, des Gewichtes und des Abstandes vom Auge gegeben. Nach der Einteilung des Handbuches ist hier im wesentlichen nur von denjenigen Sehhilfen zu handeln, denen die Beeinflussung der Strahlenrichtung und der Strahlenbegrenzung obliegt, während die Schutzbrillen an anderer Stelle untergebracht sind, Brillen, die zu einer Änderung in der sonstigen physikalischen Beschaffenheit des durchtretenden Lichtes (Stärke, Zusammensetzung, Polarisationszustand u. dgl.) oder zur Fernhaltung von Schädlichkeiten bestimmt sind (s. Bd. 7, S. 884 dieses Handbuchs).

**Der Werkstoff (das Material) für das Brillenglas.** Schon oben (auf S. 463) waren optische Angaben über das meistens zu Brillengläsern verwandte Spiegelglas gemacht worden. Das optische Glas (Borosilikatkron), das gelegentlich für gewöhnliche Brillengläser vorgeschlagen wurde, wird dafür heute kaum mehr verwandt. Optisches Glas ist nicht zu entbehren bei verschmolzenen Zweistärkengläsern, wo zuerst schwachbrechendes Kron und hochbrechendes Flint, heute an manchen Stellen hoch- und niedrigbrechendes Kron verwandt werden muß. — Gelegentlich wird auch Quarz benutzt. Er ist ausgezeichnet durch ein geringes Farbenzerstreuungsvermögen, Freiheit von Schlieren und sonstigen Glasfehlern, ein gutes Wärmeleitungsvermögen, das eine geringere Neigung der Gläser zum Beschlagen bedingt, und durch große Härte. Er ist indessen durchlässig für ultraviolettes Licht und doppelbrechend, eine Eigenschaft, die nur dann nicht stört, wenn er senkrecht zur Achse geschliffen ist.

Dann kann für die Zwecke der Brille  $n = 1,544$  gesetzt werden, während für den außerordentlichen Strahl sonst  $n$  mit 1,553 zu beziffern ist.



Abb. 1.  
Bild einer kreisförmigen Winkelkante an einem astigmatischen Glase.

Abgesehen von diesen Werkstoffen kommt auch aus technischen Gründen gelegentlich Glas von besonders hoher Brechzahl ( $n = 1,6$ ) vor, was für die Auswertung der vielfach noch üblichen Sphärometermessungen zu beachten ist. Eine so hohe Brechzahl erlaubt z. B. bei astigmatischen Stargläsern eine bessere Fehlerberichtigung im Blickfeld, wenn man mit einer beschränkten Anzahl asphärischer Flächen auskommen will.

**Der Brillenrand.** Als Brillengläser für nichtastigmatische Augen werden in der Regel beiderseits kugelflächige Linsen (sphärische Gläser) verwendet, für astigmatische Augen bedarf es einer zweifach symmetrischen (zylindrischen oder torischen) Fläche meist in Verbindung mit einer Kugelfläche. Als Grenzrand kann ein zur Achse gleichgerichteter Zylinder dienen, wie es die Regel ist bei Gläsern zu Glasbrillen, auch kann er — bei Drahtbrillen — eine Furche tragen, die den Draht ring der Fassung aufnimmt. Viel häufiger wird ein kantiger Rand angeschliffen, dessen dachförmiger First oder *Winkelkante* gebrochen wird, um Aussprünge bei sorgloser Behandlung zu vermeiden. Auf den Seitenkanten ruht die Nut der Metallfassung.

Während früher die ovalen Fassungen zahlreich waren, werden in neuerer Zeit die kreisförmigen fast allein verlangt. Ein mit der Achse gleichgerichteter Randungszyylinder schneidet astigmatische Flächen natürlich in einer *Raumkurve*. Es sei an die Hornhaut-Lederhautgrenze bei gewissen Tieraugen wie von Rindern, Schweinen, Ziegen erinnert, die ebenfalls nicht in einer Ebene verläuft. Beim Anschleifen der Winkelkante geht man zweckmäßig von der kugligen Grenzfläche aus und schleift die andere Kante so an, daß sich ein kreisförmiger First ergibt (Abb. 1). Man nimmt dabei von der astigmatischen Fläche größere oder kleinere Stücke weg, die ihre größten und kleinsten Werte in den beiden Symmetrieebenen haben. Man gewinnt aber den Vorteil einer kreisförmigen (also in einer Ebene liegenden) Winkelkante, so daß die käuflichen ebenen Fassungen gut verwandt werden können, während sonst leicht Spannung eintritt, wenn die Winkelkante eine Raumkurve ist und die Fassung nicht sachgemäß vorbereitet wird.

**Die Scheibenform und -größe.** Die *Form der Scheibe* wurde sehr verschieden, kreisrund, oval, schuppenförmig oder auch eckig, ausgebildet. Heute kommen, wie gesagt, weitaus am häufigsten Kreisscheiben vor.

Hinsichtlich der *Scheibengröße* ist in den letzten Jahren durch die Aufstellung von Richtlinien vom technischen Ausschuß für Brillenoptik (Tabo) eine gewisse Einigung erzielt worden, indem der Umfang der Winkelkante der gerandeten Gläser so abgestuft werden soll wie die Randlänge der im Großbetrieb angefertigten Fassungen. Die ovalen Scheibenmaße, die sich etwa bei M. v. ROHR (f, S. 19) finden, können wir hier, als weniger wichtig, beiseite lassen.

Für die Scheibengröße und -form ist die Lage und die Ausdehnung des, zumal für die Arbeit geforderten, Blickfeldes (das ist besonders für Nahbrillen, Zweistärkengläser und Vorhänger zu beachten, vgl. S. 816f.), die Größe des Gebietes guter Bildbeschaffenheit einerseits und die Beziehung zwischen Augenabstand und Schläfenbreite, sowie die Grenze des erträglichen Gewichtes andererseits maßgebend. Auch das Vorzeichen des Glases spielt insofern eine Rolle, als Zerstreuungsgläser in einer kleineren Scheibe das gleiche dingsseitige Blickfeld vermitteln können wie

größere Scheiben von Sammelgläsern (s. S. 805). Um Gewicht zu sparen, hat man sowohl bei den Zerstreuungsgläsern wie bei den Sammelgläsern höherer Stärke die Scheibengröße vermindert, und um dabei das ungewöhnliche Aussehen sehr kleiner Scheiben zu vermeiden,

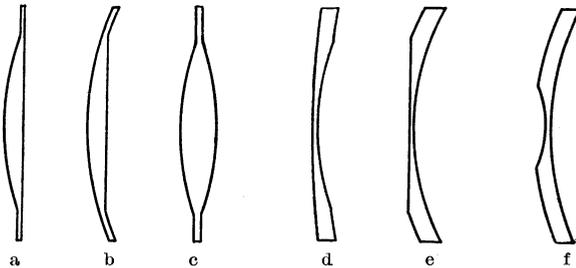


Abb. 2. Achsenschnitte durch verschiedene Tragrandgläser.

die Tragrandgläser [Lentikulare ausgebildet (Abb. 2)]. Die Tragrandfläche kann beiderseitig eben oder durchgebogen sein [M. v. ROHR (f, S. 21)].

**Die Änderungen in dem Sehvorgang des Brillenträgers.** Die Anpassung des eigentlichen Brillenglases hat man in früherer Zeit als ganz einfach angesehen. Man überließ vielfach auch noch in der Zeit nach dem Handbuch von F. C. DONDERS die Auswahl des Brillenglases dem Kunden.

In Wirklichkeit aber liegen die Dinge doch ganz anders. Es handelt sich hier genauer um den Einfluß des Brillenglases auf den Aufbau des dünnen in die Pupille eintretenden Strahlenbündels. Dabei ist das Ziel, ein deutliches oder doch ein möglichst deutliches Netzhautbild hervorzubringen, *die Deutlichkeit der Wahrnehmung ist also die Hauptforderung*. Es ist zwar unbestritten, daß wir imstand sind, in sehr vielen Fällen den Wunsch nach deutlichem Sehen in die Ferne voll zu befriedigen. Weniger bekannt ist aber die Tatsache, daß wir mit dem Glas, dem wir diesen großen Erfolg, das deutliche Sehen für die Ferne, verdanken, eine ganze Reihe von teilweise recht tiefgreifenden *Veränderungen* im Sehvorgang des Trägers einführen. Im allgemeinen ändert sich die *Netzhautbildgröße*, sei es, daß wir das neue Bild vergleichen, wie eingangs gewünscht, mit dem des rechtsichtigen Auges oder mit dem früheren deutlichen oder undeutlichen des Trägers. Wir ändern ferner, um einmal beim nichtblickenden Auge zu bleiben, die *Lage* und *Größe* des *Akkommodationsgebietes* und überdies die *Akkommodationsbreite*, wir ändern die *Richtungen*, in denen im indirekten Sehen die Gegenstandspunkte der Außenwelt erscheinen, wir ändern das *Gesichtsfeld*. Untersuchen wir das blickende Auge, so tritt, um nur das Wichtigste zu nennen, in vielen Fällen mit zunehmendem Blickwinkel eine *Abnahme* der Deutlichkeit des ursprünglichen Bildes auf. Die Richtungsänderung für die direkt gesehenen Punkte veranlaßt eine *Änderung der wahrgenommenen Perspektive* und als deren Folge eine *Änderung der Größe* und eine *Änderung der Raumauffassung*. Da es sich um dünne Linsen handelt, so ist das Tangenten-

verhältnis der Blickwinkel des bewaffneten zu denen des freien Auges nicht im ganzen Blickfeld gleich, sondern es kommt des weiteren zu Formänderungen der gesehenen Dinge infolge der *Verzeichnung*. Da meist nur eine Einzellinse zugelassen ist, lassen sich auch die *Farbenfehler* nicht heben.

Gehen wir über zum *beidäugigen Sehen*, so sind die Umwälzungen im Zusammenhang zwischen *Akkommodation* und *Konvergenz* schon durch die Untersuchungen von F. C. DONDERS bekannt, werden aber doch wohl meist auch heute noch von dem Verordnenden dem Träger mit einer Selbstverständlichkeit aufgeladen, die bei näherer Betrachtung nicht minder erstaunen muß als die Leichtigkeit und Schnelligkeit, mit der sie und die anderen Änderungen im Sehvorgang meist ertragen und ausgeglichen werden. Dies hervorzuheben ist man berechtigt. Erleiden doch die Beziehungen, die zwischen den Gesichtseindrücken und -wahrnehmungen und der Umwelt jahre-, ja jahrzehntelang gegolten haben und benutzt wurden, mit einem Schlag eine Umwälzung, durch die dieses Sinnesgebiet in Widerspruch mit anderen, insbesondere dem Tastsinn, geraten muß.

An einem Beispiel wird uns diese Tatsache nicht ganz selten besonders klar vorgeführt. Ich meine den erfolgreich am Star Operierten, bei dem eben beides, zum einen die Änderung des Sehvorganges wegen der meist hohen Glaswirkung in einem sehr hohen Grad eintritt und zum andern die genannten Verknüpfungen von Sinnes- und Außenwelt meist besonders tief eingewurzelt sind; handelt es sich doch in der Regel um alte Leute, die ihr ganzes Leben unter anderen Bedingungen zu sehen gewohnt waren; und sie können davon schwer lassen, da ihre für diese Umstellung nötige Spannkraft schon nachgelassen hat.

Hier soll nicht weiter auf das noch vielfach ungeklärte Gebiet des beidäugigen Sehens mit der Brille eingegangen werden. Auch an die eigentümlichen und verwickelten Verhältnisse im ein- und beidäugigen Sehen des Astigmatikers ist nur zu erinnern.

*Die optische Aufgabe*, die ein scheinbar so einfaches Gerät wie die Brille in sich trägt, gehört also keineswegs zu den leichten, die dem technischen Optiker gestellt werden können. Im Gegenteil, die Forderungen, die sich aus den Wünschen des Trägers oder des Augenarztes ergeben, sind restlos gar nicht erfüllbar, zumal über die rein optischen Forderungen hinaus noch andere gestellt werden, von denen die kosmetischen keineswegs in zweiter Linie kommen. Wenn nämlich, und darauf läuft die Forderung meist hinaus, nur dünne, einfache Gläser zugelassen sind, so liegt darin eine der wesentlichen Ursachen für die großen Schwierigkeiten, die der rechnende Optiker überwinden soll und oft nicht heben kann. Denn die Forderung dieses dünnen Einzelglases bedeutet eine starke Beschränkung der Mittel, mit denen er arbeiten soll — und doch findet nur ein solches Gnade vor den Augen der Hilfsbedürftigen und vor allem der eigentlich gar nicht dabei beteiligten Menge.

Ein weiterer, sehr schwerwiegender Grund für das Auftreten der meisten hiermit angedeuteten Schwierigkeiten liegt in dem *Abstand zwischen Auge und Brillenglas*. Dieses, das Ausgleichsmittel, greift eben nicht am Ort des Fehlers selber an, sondern in einer gewissen Entfernung davon. Dieser endliche Abstand wirkt sowohl auf die Vorgänge beim Sehen mit ruhendem Auge als auch ganz besonders auf das Sehen mit blickendem Auge, denn hierbei entsteht eine Verbindung von zwei optischen Flächenfolgen, wie sie sonst kaum vorkommt: ist doch ein ruhendes mit einem bewegten Glied verbunden.

Für die *Gliederung der folgenden Darstellung* war die Bedeutung maßgebend, die der behandelte Stoff für den Brillenträger hat. Da die Deutlichkeit des Sehens

dabei in erster Linie steht, ist der Einfluß der Brille auf das dünne, achsenparallele, durch die Pupille eintretende Strahlenbündel vorangestellt.

Wenn wir uns in Kürze über ein so schwieriges Gebiet unterrichten sollen, so wird natürlich allein ein Überblick in Frage kommen. An einzelnen Stellen soll etwas verweilt werden, wo für die Ausübung der Brillenbestimmung wichtige Dinge vorkommen; auf die an sich wohl richtigste und nützlichste Art der Behandlung, die an Hand der durchgesprochenen Rechnung, muß leider verzichtet werden. Die Herleitung der wenigen zur Rechnung nötigen Formeln kann unterbleiben; sie finden sich in allen hierfür zuständigen Büchern.

## C. Das ausgerichtete (zentrierte) Brillenglas vor dem Einzelauge.

Im allgemeinen wird man den Augendrehpunkt  $Z'$  nicht allein auf der Achse des Brillenglases, sondern auch in einer bestimmten Entfernung vom inneren Brillenscheitel anzunehmen haben. Wir schicken das schon hier voraus, obwohl die Bedeutung dieser Forderung erst später völlig gewürdigt werden wird.

### I. Die Wirkung anastigmatischer Linsen.

Soweit es sich um achsenrecht angepaßte (zentrierte) Brillengläser handelt, kommen fast allein die drehrunden (sphärischen) Formen in Frage. Wir werden am Schluß dieses Abschnittes (s. S. 787) auf die zweifach symmetrischen Formen eingehen, deren Bedeutung aber nur gering ist. Dabei beginnen wir verständlicherweise mit der Annahme des ruhenden, entlang der Achse schauenden Auges. Anschließend werden die Verhältnisse bei dem hinter vom Brillenglas bewegten Auge zu behandeln sein.

#### 1. Die achsensymmetrischen Brillengläser.

a) Der Fall dünner Strahlenbündel in der Richtung der Glasachse. (Der Augapfel steht hinter dem Brillenglas still.)

Vor oder hinter  $R$  (dem Fernpunkt) liegende Achsenpunkte (Abb. 68, S. 521) werden im Auge auch vor oder hinter (der Netzhaut) abgebildet, d. h. nicht deutlich auf der Netzhaut wiedergegeben, strenggenommen nicht deutlich gesehen, insbesondere nicht der unendlich ferne, der für das nicht akkommodierende emmetropische Auge deutlich erscheint. Soll auch der Fehlsichtige diesen scharf sehen, so müssen eben die in das Auge eintretenden Strahlen so gerichtet sein, als kämen die von dem fernen Dingpunkt stammenden Lichtstrahlen aus der achsensenkrechten Ebene in  $R$ . Das kann geschehen, sei es, daß man mit einer wiederholenden Zwischenabbildung arbeitet und etwa eine Photographie des fernen Dinges an die Stelle  $R$  stellt — das ist nur bei Kurzsichtigen möglich — oder mit einem Kugelspiegel ein Bild der fernen Dinge in  $R$  entwirft — für die Übersichtigen nur mit einem Hohlspiegel zu machen — oder mit Hilfe von Linsen. Bei den letzterwähnten Möglichkeiten kommt es nur darauf an, daß der bildseitige Brennpunkt der Linse  $F_1'$  mit  $R$  zusammenfällt (Abb. 4). Wo das Gerät selber steht, ist an sich gleichgültig, somit auch die Wahl der Brennweite. Man kann dasselbe Auge mit einer kurzen oder langen Brennweite ausgleichen, und selbst das Vorzeichen ist nur für Übersichtige von vornherein bestimmt. Für Kurzsichtige dagegen können grundsätzlich bei der gestellten Aufgabe Sammel- oder Zerstreuungslinsen

verwendet werden (s. Abb. 3 und 4). [Es sei an ROBERT HOOKE (1681) erinnert (s. Abb. 3).]

Sobald wir aber als Brillengläser möglichst leichte, dauernd und nah vor dem Auge zu tragende Linsen verlangen, ist der Ort des Glases bestimmt, und eine dünne Einzelscheibe Voraussetzung. Dann ist aber auch zugleich

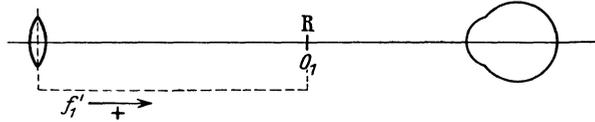


Abb. 3. Ein kurzsichtiges Auge mit Hilfe einer Sammellinse in großem Abstand für die Ferne ausgeglichen. **R** der Fernpunkt des Auges. Die Sammellinse mit der bildseitigen Brennweite  $f_1'$  entwirft von dem  $\infty$  fernen Achsenpunkt ein Bild  $0_1'$  in ihrem Brennpunkt, der mit **R** zusammenfällt. (Statt  $0_1$  muß es  $0_1'$  heißen.)

über Größe und Vorzeichen der Brennweite entschieden, denn dann ist auch der andere bisher noch freie Endpunkt der Brennweite festgelegt.

Wir pflegen die Brechungsfehler durch dieses Ausgleichsmittel zu bezeichnen. Durch die Angabe der Brennweite aber hat, wie aus dem Vorhergehenden schon

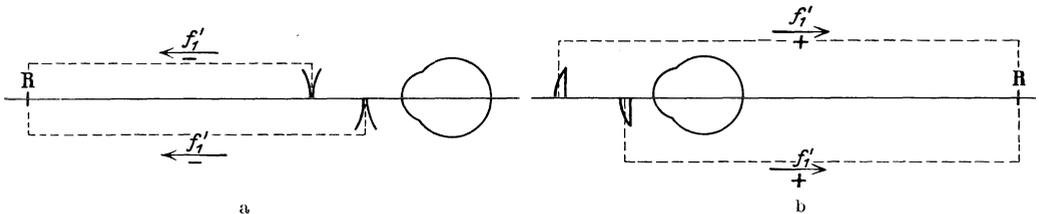


Abb. 4. Ein kurz- und ein übersichtiges Auge je mit zwei Brillengläsern von verschiedenem Abstand. Da sie v o l . usgleichen sollen, müssen sie verschieden lange Brennweiten haben.

hervorgeht, eine Kennzeichnung des Brechungsfehlers oder seines Ausgleiches noch nicht stattgefunden. Es muß auch die Beziehung dieser Strecke zum Auge, d. h. der Ort des Glases dem Auge gegenüber bekannt sein (s. Abb. 4). Man bezeichnet ihn durch die Angabe des Glasabstandes von irgendeinem bestimmten Punkt des Auges.

*α) Die axiale Refraktion und der Korrektionswert.*

**Die Messung des Abstandes vom Auge.** Will man einen Abstand vom Auge messen, so muß man sich natürlich an greifbare oder sichtbare Punkte halten. Das gilt sowohl für die Strecke **HR** (s. Abb. 5), für den Kehrwert des Hauptpunktsbrechwertes (s. u.), wie auch für den hier verlangten Abstand  $d$ . Zu greifbaren oder sichtbaren Punkten gehört der Hauptpunkt **H** nicht. Er liegt ja in der Vorderkammer. Immer zugänglich und sichtbar aber ist der Hornhautscheitel **S**. Man wird also messen  $S_2S = d$ .  $H_1'S_2 = 0$  und findet dann durch Ergänzung

$$H_1' H = H_1' S + S H$$

$$\delta = d + S H$$

wobei **SH** nach GULLSTRAND 1,35 mm beträgt

$$\delta = d + 1,35 \text{ mm.}$$

Jetzt kann man strenge Angaben über diesen Fehler machen.

Gilt allgemein

$$H_1' F_1 = f_1 = \frac{1}{D_1}; \quad H R = a = \frac{1}{A}; \quad H_1' H = \delta,$$

so kann man für beide Brillengläser gemeinsam schreiben:

$$\begin{array}{l|l}
 H_1' F_1' = H_1' H + H F_1' = H_1' H + H R & H R = H H_1' + H_1' R = - H_1' H + H_1' F_1' \\
 f_1' = & = \delta + a \\
 \frac{1}{f_1'} = D_1 = \frac{1}{\delta + a} = \frac{1}{1 + \delta A} & \frac{1}{a} = A = \frac{1}{f_1' - \delta} = \frac{D_1}{1 - \delta D_1}
 \end{array}$$

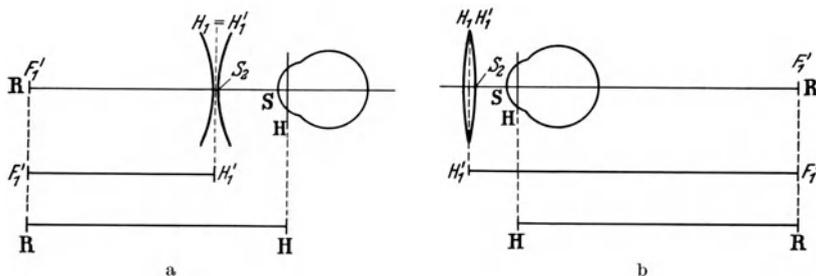


Abb. 5. Das Bild  $F_1'$  des unendlich fernen Achsenpunktes wird durch das Fernbrillenglas mit den Hauptpunkten  $H_1, H_1'$  im Fernpunkt  $R$  des kurzsichtigen (a), übersichtigen (b) Auges entworfen. Die Brennweite der ausgleichenden Linse ist  
 kürzer als der Fernpunktsabstand vom zugehörigen Augenhauptpunkt. länger

Man hat also auseinander zu halten den *Hauptpunktsbrechwert* (die axiale Refraktion)  $A$  vom *Ausgleichswert*  $D_1$  (Korrektionswert; C. HESS) des Brechungsfehlers.

Um die Beziehungen deutlich zu machen, sei ein besonders grobes Beispiel (1) angeführt. Vor ein paar Jahren wurde von einem ungewöhnlich hohen Grad von Kurzsichtigkeit berichtet, nämlich von  $-60$  dptr. In dubio muß es sich um den Ausgleichswert, vielleicht kürzer *Glaswert* zu nennen, handeln. Die dazugehörige Angabe des Abstandes fehlt. Nimmt man einmal

1. Beispiel:

$$\begin{aligned}
 D_1 &= -60 \text{ dptr}, f_1' = -\frac{1}{60 \text{ dptr}} = -0,0167 \text{ m} = -16,7 \text{ mm} \\
 f_1' &= -16,7 \text{ mm}; \quad = -16,7 \text{ mm} \\
 -\delta &= -20 \text{ mm}; \quad = -8 \text{ mm} \\
 a &= f_1' - \delta = -36,7 \text{ mm}; \quad = -24,7 \text{ mm} \\
 \frac{1}{a} &= A = -\frac{1}{0,0367 \text{ m}} = -27 \text{ dptr}; \\
 &= -\frac{1}{0,0247 \text{ m}} = -40 \text{ dptr}
 \end{aligned}$$

Grenzwerte für den Glasort an, nämlich 20 oder 8 mm, so würde daraus ein Hauptpunktsbrechwert von  $-27$  ( $-40$ ) dptr abzuleiten sein. Die unbestimmte Angabe läßt also für  $A$  einen Spielraum von nicht weniger als 13 dptr zu, obwohl die Angabe durch eine einzige Zahl 60 gemacht war, oder eben weil nur diese Zahl genannt war.

2. Beispiel: Um noch ein Beispiel zu nennen, so wird durch ein Glas von  $- (+) 10$  dptr bei einem Abstand  $\delta = 10$  mm ein  $A$  bestimmt sein von  $- 9$  ( $+ 11$ ) dptr.

$$\begin{aligned}
 \delta &= 10 \text{ mm} \\
 D_1 &= +10 \text{ dptr} \quad = -10 \text{ dptr} \\
 f_1' &= +0,1 \text{ m} = 100 \text{ mm} = -0,1 \text{ m} = -100 \text{ mm} \\
 -\delta &= -10 \text{ mm} \quad = -10 \text{ mm} \\
 a &= f_1' - \delta = 90 \text{ mm} = -110 \text{ mm} \\
 \frac{1}{a} &= A = \frac{1}{0,090 \text{ m}} = 11 \text{ dptr} \\
 &= -\frac{1}{0,110 \text{ m}} = -9 \text{ dptr}.
 \end{aligned}$$

Das HENKERSche Schichtenbild. Einen Überblick über den Zusammenhang zwischen beiden Größen liefert die Auswertung der Formel, wie sie in dem HENKERSchen Schichtenbild vereinigt ist (s. Abb. 6 u. 7). Den gleichen Dienst

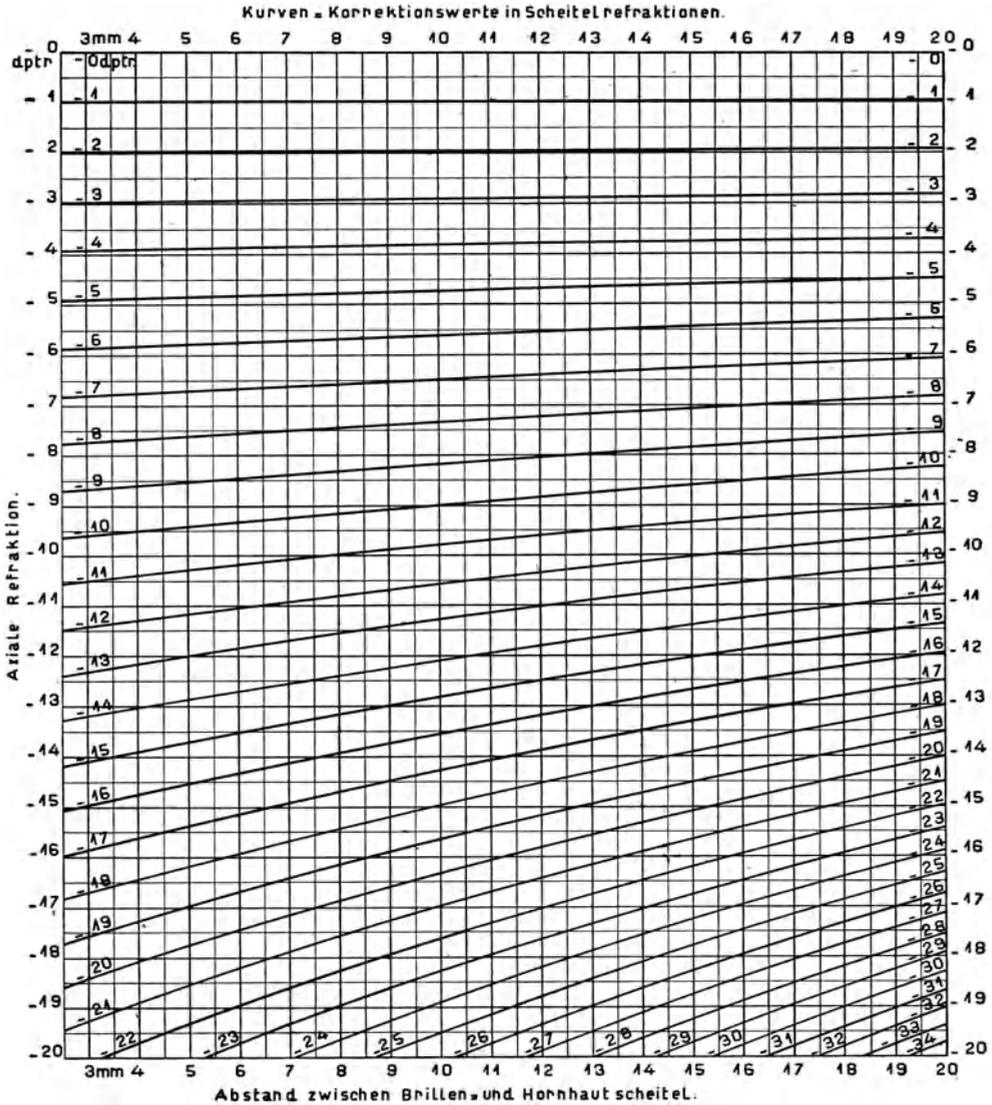


Abb. 6.

Abb. 6 u. 7. Die HENKERSchen Schichtenbilder

kann auch die Zahlzusammenstellung geben; (s. auch Abb. 9 auf S. 756 in diesem Band).

**Der Rechenschieber.** Schließlich erhält man genaue Werte ohne die Unannehmlichkeit der Interpolation durch die Rechnung, sei es mit der Logarithmentafel, wozu in bekannter Weise die dreistelligen genügen, oder noch bequemer mit Hilfe des Rechenschiebers; übrigens ist der Rechenschieber

von ROCHAT (s. Abb. 8) ein auch für andere Zwecke durchaus brauchbares Mittel. An einem Maßstab sind zu den Teilstrichen die Kehrwerte der entsprechenden Längen angeschrieben.

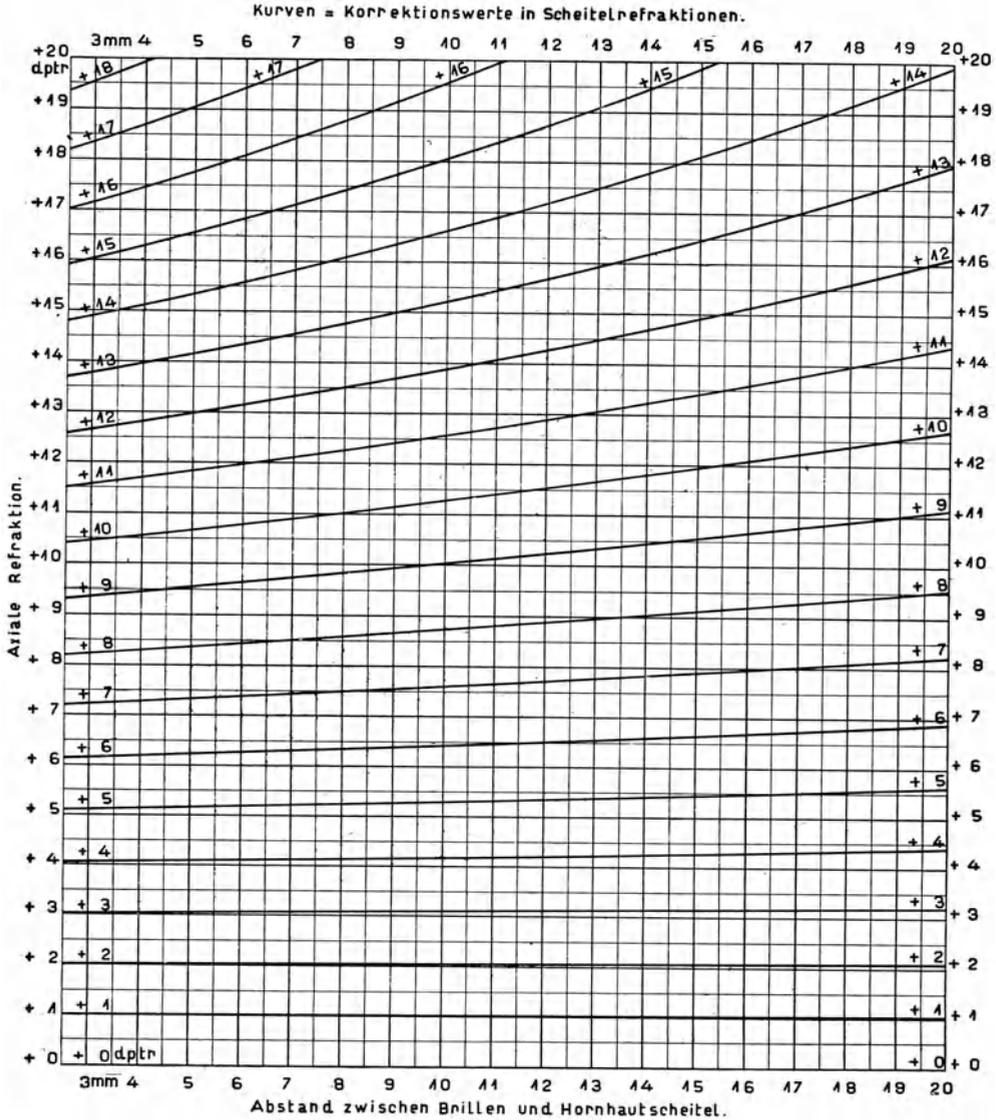


Abb. 7.

zur Entnahme der Glaswerte  $D_1$  aus A und  $\delta$ .

Der Übergang von einer zu einer anderen Glasstellung verlangt nach dem oben Gesagten auch eine Änderung des Ausgleichwertes, d. h. eine Änderung der Brennweite. Um den neuen Glaswert zu finden, hat man nur nötig, die alte Brennweite um die gewünschte Ortsveränderung zu verlängern oder zu verkürzen bzw. auf dem Maßstab den Teilstrich der neuen Länge aufzusuchen. Bei ihm steht ja der Kehrwert dieser Länge, und das ist die gesuchte

Linsenstärke. Wie man so die Werte neuer Linsenorte findet, so kann man auch vom Glaswert zum Hauptpunktsbrechwert übergehen.

**Die Refraktion und der Brillenkasten.** Im allgemeinen pflegt man Fehlsichtigkeiten mit Hilfe von Brillenkästen zu bestimmen, die im Bereich der

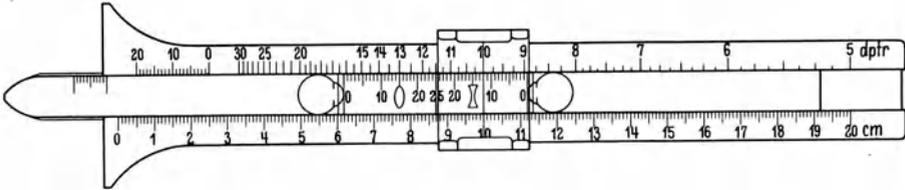


Abb. 8. Ein ROCHAT'Scher Rechenschieber.

niedrigen Glasstärken in  $\frac{1}{4}$  dptr abgestuft sind. Damit ist gesagt, daß man Fehler bis zu  $(\pm 0,125 = \frac{1}{8})$  dptr in Kauf nimmt, oder sie als unmerklich betrachtet.

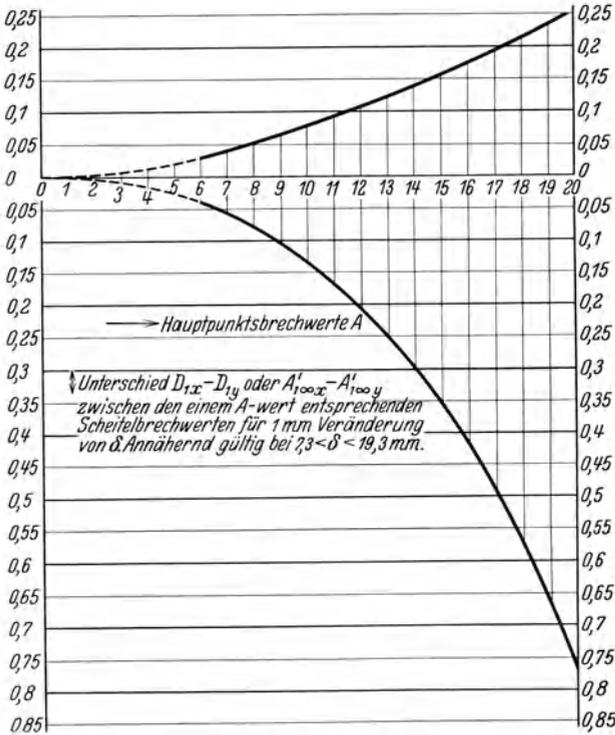


Abb. 9. Zur Abhängigkeit des Korrektionswertes vom Glasort. Die Ordinate gibt an, um wieviel Dioptrien sich etwa der Ausgleichswert  $D_1$  eines Auges mit dem Hauptpunktsbrechwert A verändert, wenn der Abstand für das ausgleichende Brillenglas vom Auge um 1 mm kürzer oder länger gewählt wird.

z. B. eine Kurzsichtigkeit mit einem Hauptpunkt-Fernpunktsabstand von 1,02 m mit einem Glas in 2 cm Entfernung vom vorderen Augenhauptpunkt richtig ausgeglichen werden soll, so muß das Glas die Wirkung  $-1,0$  dptr haben. Aber auch andere kleinere und größere Kurzsichtigkeiten würden zu  $-1,0$  dptr bestimmt, und zwar liegen die A-Grenzen bei  $(-1,0 - 0,125 =) -1,125$  dptr und bei  $(-1,0 + 0,125 =) -0,875$  dptr. Dem entsprechen die beiden a-Grenzen von  $1/(-1,125 \text{ dptr} =) -0,89$  m und  $1/(-0,875 \text{ dptr} =) -1,144$  m. Den Ausgleichswert  $-1,125$  dptr aber besitzt das eingangs angenommene Auge, wenn der Glasort 111 mm

für den unmerklichen Fehler gibt nun die Grenze an, bis zu der Abweichungen des Glasortes unberücksichtigt bleiben dürfen. In unserem Beispiel kann die große Verschiebung bis 111 mm noch eben als belanglos gelten, weil sie einer Abweichung des Brechwertes von nicht mehr als  $\frac{1}{8}$  dptr gleichkommt. Da

aber der Bau des Gesichtsschädels und die Maße der üblichen Probierbrillengestelle für den Glasabstand vom Auge im allgemeinen einen Spielraum von höchstens 25 mm zulassen, so hat man die Angabe des  $d$ -Wertes erst bei größeren Brechkraften nötig. Die Schriften von C. ZEISS, in welchen die bekannten Punktalgläser in den Handel eingeführt wurden, verlangen die Ortsangabe von 6 dptr Glaswert an. Da aber hier stetig sich ändernde Verhältnisse vorliegen, so ist natürlich nicht für jede Glasstärke über 6 die gleiche Genauigkeit nötig.

Dasselbe zeigt das HENKERSche Bild (Abb. 6 u. 7) deutlich durch die Häufung der Schichtenlinien im Gebiete der hohen Kurzsichtigkeiten oder starken Zerstreuungsgläser. Dort kommt eine Ortsveränderung von 1 mm schon einer Glasstärkenänderung von 1 — 1,5 dptr gleich.

**Eine weitere graphische Darstellung.** Es scheint mir wünschenswert, auf die naheliegende, streng allerdings gar nicht zu beantwortende Frage, was für eine Brechkraftänderung denn einer Glasverschiebung von 1 mm entspreche, wenigstens eine begrenzt gültige annähernde Auskunft zu geben. Dazu ist die Kurvenzeichnung (Abb. 9) bestimmt. Auf der Abszissenachse sind die Hauptpunktbrechwerte aufgetragen, durch die Höhe der Ordinaten in den verschiedenen Abszissenpunkten, also den verschiedenen Fehlsichtigkeiten entsprechend, ist der Unterschied wiedergegeben, den der Ausgleichswert dieses Fehlers bei einer Änderung des Glasortes um 1 mm erleidet. Die nach unten aufgetragenen Werte von  $D_{1x} - D_{1y}$  beziehen sich auf die Kurzsichtigkeit, die nach oben gehören zu den Übersichtigkeiten. Dabei muß man eine gewisse Unstrenge mit in Kauf nehmen, da ja nicht, wie für die Herstellung der Kurve vorausgesetzt werden muß, die Größe des Unterschiedes  $D_{1x} - D_{1y}$  dem Betrag der Ortsänderung proportional verläuft. Der Fehler ist aber zu vernachlässigen, solange man das Gültigkeitsbereich nicht überschreitet. Die Kurve gilt nämlich nur in dem Bereich von  $7,3 > \delta > 19,3$  mm, d. h. für Abweichungen von dem kanonischen Glasort (12 mm vor dem Augenhauptpunkt) bis zu  $\pm 6$  mm. Ist die Beziehung zwar nicht überall streng, so gibt die Kurve doch zunächst eine Anschauung von dem Zusammenhang zwischen Glasort, Ausgleichswert und Hauptpunktbrechwert einmal im Gebiet der Übersichtigkeit, dann im Gebiet der Kurzsichtigkeit.

Bei den Sammelläsern der Übersichtigen steigt die Linie mit zunehmendem  $A$ -Wert zwar etwas schneller an als in der Nähe von  $A = 0$ , doch könnte man zur Not auch hier noch ohne allzu große Fehler Proportionalität gelten lassen, wenigstens für kleine Abweichungen. Bei den Zerstreuungslinsen der Kurzsichtigen aber ist die Kurve stärker gekrümmt, so daß die Behandlung des Zusammenhangs als eines proportionalen schon erhebliche Fehler in sich schließen dürfte. Wo man also keine ungewöhnlich großen Änderungen im Glasort auszugleichen hat (nicht größer als 12 mm), wird man die Kurve verwenden dürfen; mindestens gibt sie darüber Auskunft, mit was für Fehlergrößen man zu rechnen hat, und das in einer bequemen Art der Ablesung, während die HENKERSche Kurve (Abb. 6 u. 7) zwar an sich ein genaueres Ablesen gestattet, das aber im Gedränge einer lebhaften Sprechstunde nicht immer sicher durchzuführen sein dürfte. Man muß sich nur bewußt sein, daß die Überslagskurve eben mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet ist. Die Größe des begangenen Fehlers wechselt natürlich mit der Höhe der Fehlsichtigkeit und der Größe der Abweichung des  $\delta$ .

Sie sei an zwei Beispielen je für zerstreue und sammelnde Gläser dargetan. Nach der Überslagskurve würde  $D_{1x} - D_{1y}$  für  $A = \begin{matrix} -20, & +20 \text{ dptr} \\ -10, & +10 \text{ dptr} \end{matrix}$  die Werte  $\begin{matrix} 0,76, & 0,26 \\ 0,13, & 0,08 \end{matrix}$  annehmen.

Man ersieht das aus der Durchführung der Rechnungen je mit den Verschiebungen von 7,3 und 8,3 mm, sowie von 18,3 und 19,3 mm, sehr deutlich.

Bei den hier für die Verschiebungen  $\delta_x$  und  $\delta_y$  eingehaltenen Grenzen zeigt sich nur bei der sehr starken Zerstreulinse von  $-20$  dptr eine merkliche Abweichung, die aber auch nicht  $\frac{1}{4}$  dptr übersteigt. Schon bei den Sammellinsen von  $20$  dptr geht die Abweichung der Grenzwerte auf  $\frac{1}{20}$  dptr herab und ist bei der mittleren Stärke von  $\pm 10$  dptr ganz unbedeutend.

Man erkennt also, daß man ohne Gefahr für die in der Sprechstunde meist vorkommenden mittelstarken Linsen die Kurve von Abb. 9 verwenden kann.

*β) Das Brillenglas und die Größe des Netzhautbildes.*

**Der Einfluß der Fehlsichtigkeit (Ametropie).** Wir haben gesehen, daß ein und dasselbe fehl-sichtige Auge durch verschiedene Linsen be-richtigt werden kann. Da wir außerdem wissen, daß die Bildgröße ferner Gegenstände der Brennweite der Linse

proportional ist, so erhellt, daß bei verschiedenem Ausgleichsort, also verschiedenen Linsen, verschieden große Bilder entstehen.

Man erkennt ferner, daß die Bilder mit wachsendem Abstände des ausgleichenden Glases bei übersichtigen Augen größer werden, bei kurzsichtigen kleiner<sup>1</sup>. Da nun diese verschieden großen Bilder nach Voraussetzung (es soll sich ja nur um ausgleichende Gläser handeln) dem Auge an derselben Stelle, eben in der Fernpunktebene **R**, dargeboten werden, und dieses hier-nach und nach der gleichen Voraussetzung seinen Einstellungszustand nicht ändern darf (und es auch nicht braucht), so wird die Größe des so entstehen-den Netzhautbildes im gleichen Maße schwanken wie die Linsenbrennweite (s. Abb. 10).

Der Fehlsichtige sieht also die fernen Gegenstände durch die verschiedenen ausgleichenden Brillen verschieden groß. Da die Sehschärfe der Größe der Netzhaut-bilder proportional ist, so hängt somit auch sie von dem Glasort, von  $\delta$ , ab und

für A = $-20$ dptr; $\delta_x = 7,3$ mm; $\delta_y = 8,3$ mm	
$D_{ix} = \frac{-20 \text{ dptr}}{1 - 0,0073 \times 20} = -\frac{20 \text{ dptr}}{0,854} = -23,42 \text{ dptr}$	
$D_{iy} = \frac{-20 \text{ dptr}}{1 - 0,0083 \times 20} = -\frac{20 \text{ dptr}}{0,834} = -23,98 \text{ dptr}$	
—	+
$D_{ix} - D_{iy} = 0,56 \text{ dptr}$	
für A = $-20$ dptr; $\delta_x = 18,3$ mm; $\delta_y = 19,3$ mm	
$D_{ix} = \frac{-20 \text{ dptr}}{1 - 0,0183 \times 20} = -\frac{20 \text{ dptr}}{0,634} = -31,54 \text{ dptr}$	
$D_{iy} = \frac{-20 \text{ dptr}}{1 - 0,0193 \times 20} = -\frac{20 \text{ dptr}}{0,614} = -32,55 \text{ dptr}$	
—	+
$D_{ix} - D_{iy} = 1,01 \text{ dptr}$	
der Mittelwert $\frac{0,56 + 1,01}{2} = 0,785$ ; der Kurvenwert = 0,76	
für A = $-10$ dptr; $\delta_x = 7,3$ mm; $\delta_y = 8,3$ mm	
$D_{ix} = \frac{-10 \text{ dptr}}{1 - 0,0073 \times 10} = -\frac{10 \text{ dptr}}{0,927} = -10,788 \text{ dptr}$	
$D_{iy} = \frac{-10 \text{ dptr}}{1 - 0,0083 \times 10} = -\frac{10 \text{ dptr}}{0,917} = -10,905 \text{ dptr}$	
—	+
$D_{ix} - D_{iy} = 0,117 \text{ dptr}$	
für A = $-10$ dptr; $\delta_x = 18,3$ mm; $\delta_y = 19,3$ mm	
$D_{ix} = \frac{-10 \text{ dptr}}{1 - 0,0183 \times 10} = -\frac{10 \text{ dptr}}{0,817} = -12,24 \text{ dptr}$	
$D_{iy} = \frac{-10 \text{ dptr}}{1 - 0,0193 \times 10} = -\frac{10 \text{ dptr}}{0,807} = -12,39 \text{ dptr}$	
—	+
$D_{ix} - D_{iy} = 0,15 \text{ dptr}$	
der Mittelwert $\frac{0,117 + 0,15}{2} = 0,133$ ; der Kurvenwert = 0,13	

<sup>1</sup> Natürlich sofern man in der Richtung zum Fernpunkt hin diesen nicht überschreitet.

macht die damit verknüpften Schwankungen der Brillenbrennweite mit. Der Sinn der Größenänderung, den der Übergang zu einem bestimmten anderen  $\delta$

für $A = 20$ dptr; $\delta_x = 7,3$ mm; $\delta_y = 8,3$ mm	
$D_{1x} = \frac{20 \text{ dptr}}{1 + 0,0073 \times 20} = \frac{20 \text{ dptr}}{1,146} = 17,45$ dptr	
$D_{1y} = \frac{20 \text{ dptr}}{1 + 0,0083 \times 20} = \frac{20 \text{ dptr}}{1,166} = 17,15$ dptr	
—	—
für $A = 20$ dptr; $\delta_x = 18,3$ mm; $\delta_y = 19,3$ mm	
$D_{1x} = \frac{20 \text{ dptr}}{1 + 0,0183 \times 20} = \frac{20 \text{ dptr}}{1,366} = 14,64$ dptr	
$D_{1y} = \frac{20 \text{ dptr}}{1 + 0,0193 \times 20} = \frac{20 \text{ dptr}}{1,386} = 14,427$ dptr	
—	—
$D_{1x} - D_{1y} = 0,213$ dptr	
der Mittelwert $\frac{0,30 + 0,213}{2} = 0,256$ ; der Kurvenwert = 0,26	
für $A = 10$ dptr; $\delta_x = 7,3$ mm; $\delta_y = 8,3$ mm	
$D_{1x} = \frac{10 \text{ dptr}}{1 + 0,0073 \times 10} = \frac{10 \text{ dptr}}{1,073} = 9,32$ dptr	
$D_{1y} = \frac{10 \text{ dptr}}{1 + 0,0083 \times 10} = \frac{10 \text{ dptr}}{1,083} = 9,234$ dptr	
—	—
für $A = 10$ dptr; $\delta_x = 18,3$ mm; $\delta_y = 19,3$ mm	
$D_{1x} = \frac{10 \text{ dptr}}{1 + 0,0183 \times 10} = \frac{10 \text{ dptr}}{1,183} = 8,453$ dptr	
$D_{1y} = \frac{10 \text{ dptr}}{1 + 0,0193 \times 10} = \frac{10 \text{ dptr}}{1,193} = 8,383$ dptr	
—	—
$D_{1x} - D_{1y} = 0,070$ dptr	
der Mittelwert $\frac{0,086 + 0,070}{2} = 0,078$ ; der Kurvenwert = 0,08	

bewirkt, ist verschieden, je nachdem es sich um kurz- oder übersichtige Augen handelt.

Bei Kurzsichtigen (Übersichtigen) vergrößert (verkleinert) sich das Netzhautbild und damit die Sehschärfe, wenn das ausgleichende Glas näher am Auge sitzt und umgekehrt.

$$V = \frac{\beta_{1x}}{\beta_{1y}} = \frac{f'_{1x}}{f'_{1y}} = \frac{D_{1y}}{D_{1x}}$$

Hier bedeuten  $\beta$  Bildgrößen, die Zeiger  $\beta_1$  die Zugehörigkeit zu einem Brillenglas und durch  $x$  und  $y$  sind die verschiedenen Ausgleichsorter angegeben.

In dieser Formel fehlt die Beziehung zum Auge ganz. Der mit dem Glas  $D_1$  ausgeglichene Fehler ist nicht gekennzeichnet. Dazu gehört, wie wir gesehen haben, auch die Angabe von  $\delta$ . Diese beiden Größen  $D_1$  und  $\delta$  stellen die vermißte Beziehung her. Sie liegt

in der Formel:  $D_1 = \frac{A}{1 + \delta A}$  (s. S. 753), nach der wir in der Gleichung  $D_{1y}$  und  $D_{1x}$  einsetzen:

$$V = \frac{A}{1 + \delta_y A} \cdot \frac{1 + \delta_x A}{A} = \frac{1 + \delta_x A}{1 + \delta_y A} = \frac{S_x}{S_y}$$

**Der Einfluß des Glasabstandes.** Dieser Zusammenhang ist nun nicht mehr leicht zu überblicken. Wählen wir eine Stellung des Glases zum Vergleich, nämlich den Fall, wo gilt  $\delta = f_{11}'$ , d. h. der bildseitige Brillenhauptpunkt  $H_1'$  im dingseitigen Brennpunkt  $F$  (des Auges) liegt. Die Anordnung ist dadurch ausgezeichnet, daß die Brechkraft der Verbindung: Brille + Auge gleich ist wie

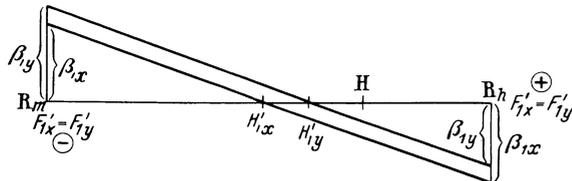


Abb. 10. Zur Größenänderung der Netzhautbilder bei einer Verschiebung des ausgleichenden Glases. H Augenhauptpunkt.  $R_h, R_m$  Fernpunkt eines hyperopischen (myopischen) Auges.  $H_1, H_1'$  Hauptpunkte,  $F, F_1'$  bildseitige Brennpunkte des jeweils ausgleichenden  $\oplus$  sammelnden ( $\ominus$  zerstreuen) Glases. Die Zeiger  $x$  und  $y$  unterscheiden die zwei verschiedenen Ausgleichsorter.

die der Flächenfolge des Auges allein, und daß daher auch die Netzhautbildgröße nicht anders ist, als wenn das vorliegende Auge rechtsichtig (nicht zu lang und nicht zu kurz) wäre. Das sieht man leicht an der Abb. 11.

So ist der qualitative Zusammenhang. Wie sich die Sache zahlenmäßig darstellt, können nur die Formeln oder die aus ihnen abgeleiteten Bilder angeben.

Nehmen wir ein unendlich fernes Ding an, dessen eines Ende  $0$  auf der Achse und dessen anderes  $\bar{0}$  um den Winkel  $w$  seitlich der Achse liegt (s. Abb. 11). Von allen Strahlen die  $0$  ausschickt, verfolgen wir allein denjenigen, der in der Achsenrichtung verläuft. Er geht ohne Ablenkung durch alle Flächen durch. Da alle Strahlen, die im Dingraum von einem Punkt ausgehen, auch im Bildraum auf einen gemeinsamen, den ihm zugeordneten, den Bildpunkt, gerichtet sind, so liegt das Bild von  $0$  irgendwo auf der Achse. Aus dem von  $0$  stammenden Bündel nehmen wir den heraus, der durch den dingseitigen Brennpunkt des Auges  $F$  geht. Von ihm wissen wir, daß er im Glaskörper der Achse parallel

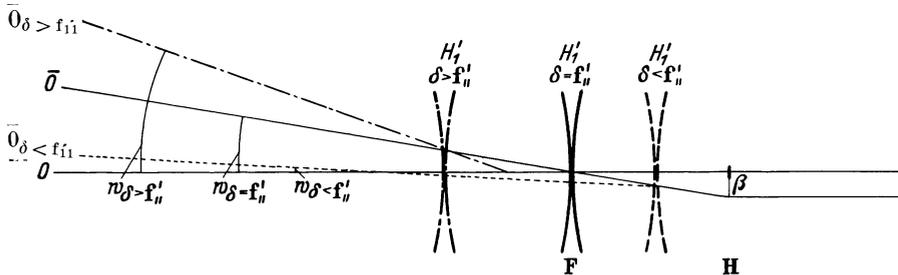


Abb. 11. Die Größenänderung der Netzhautbilder beim Ausgleich eines kurzsichtigen Auges durch das Brillenglas in der Regel- oder Normalstellung  $\delta = f_{11}'$ , vor und hinter ihr. (Erklärung im Text.)

weiterverläuft. Auf ihm muß aus den soeben für den ersten Achsenstrahl angegebenen Gründen der Bildpunkt von  $0$  liegen. Da nun die beiden Strahlen, die nach den Bildern von  $0$  und  $\bar{0}$  zielen, gleichgerichtet sind, so kann das Bild von  $0\bar{0}$ , wo es auch liegen mag, nicht größer oder kleiner sein als eben der Abstand  $\beta$  der beiden Geraden.

Nehmen wir nun ein fehlsichtiges Auge an und stellen das ausgleichende Glas so, daß  $H_1'$  mit  $F$  zusammenfällt, so behalten die beiden vorhin aus den beiden dingseitigen Bündeln ausgewählten Strahlen ihren Verlauf unverändert bei<sup>1</sup>, also auch die beiden ihnen entsprechenden Strahlen im Glaskörper. Mithin bleibt die Bildgröße  $\beta$  unverändert, gleichviel, ob das Glas ein sammelndes oder zerstreues ist. Aus der gleichbleibenden Bildgröße aber folgern wir, daß auch die Brechkraft der bilderzeugenden Flächenverbindung Brillenglas + Auge die gleiche ist, wie die des Auges allein. Abweichungen von diesem Glasort wirken in dem schon angegebenen Sinn, was auch aus der Abb. 11 zu entnehmen ist.

Verfolgt man einen Strahl, der im Glaskörper im Abstände  $\beta$  der Achse gleichgerichtet ist, rückwärts aus dem Auge nach außen, so führt er bei näherer [fernerer] Linsenstellung  $\delta < f_{11}$  [ $\delta > f_{11}$ ] getüpfelt [strichpunktirt] zu einem andern Punkte  $\bar{0}$ , der von dem fernen Achsenpunkt  $0$  einen geringeren [größeren] Winkelabstand hat. Er würde mit  $0$  zusammen einen kleineren oder größeren Gegenstand begrenzen, wenn wir wieder zur wirklichen Strahlenrichtung zurück-

<sup>1</sup> Denn ein Strahl, der auf der Dingsseite einer vorn und hinten an das gleiche Mittel grenzenden Linse auf den dingseitigen Hauptpunkt hin gerichtet ist, verläßt den bildseitigen Hauptpunkt unter der gleichen Neigung zur Achse: Knotenpunkteigenschaft der Hauptpunkte.

kehrten. Einem kleineren [größeren] Ding als beim rechtsichtigen, freien Auge entspricht das gleichgroße Netzhautbild. Ein dingseitiger Strahl braucht also das in geringerer Entfernung vom Auge angebrachte Zerstreuungsglas nur unter geringerer Achsenneigung zu treffen, wenn er nach der Brechung die gleiche Bahn zurücklegen soll wie im ersten Falle, und umgekehrt bei fernerstehendem Glas. (Die Flächenverbindung Brille + Auge vergrößert bei  $\delta < f_{11}$  [verkleinert bei  $\delta > f_{11}$ ] also verglichen mit dem Falle  $\delta = f_{11}$ ). Das gilt für Zerstreuungsgläser.

Die Überlegung für Sammelgläser führt in jedem Falle auf das Gegenteil der soeben für Zerstreuungsgläser geschilderten Lage.

**Die Vergrößerung abhängig von  $\delta$  und A.** Kehren wir zurück zu unserem Vergleich der Netzhautbildgröße bzw. der Sehschärfe und bringen unsere Voraussetzung  $\delta = f_{11}$  in der obigen Formel zum Ausdruck, wählen also bei gleichbleibendem A für  $\delta_v$  als festen Glasort F, den dingseitigen Augenbrennpunkt, so lautet sie:

$$V = \frac{1 + \delta A}{1 + f_{11} A}.$$

Im Nenner des Bruches steht  $f_{11}$ , die Brennweite des Auges, d. h. diese Gleichung besitzt nur so lange Geltung, als man es mit Augen von derselben Flächenfolge (Breckkraft) zu tun hat. Natürlich sind damit auch Akkommodationsanspannungen ausgeschlossen. Man kann in dieser Formel einmal für ein gegebenes Auge von der Fehlsichtigkeit A ein von  $f_{11}$  verschiedenes  $\delta$  wählen und dazu das Sehschärfeverhältnis ermitteln, das die ausgleichenden Gläser bedingen. Hat man sodann den Wunsch, die Bildgröße oder Sehschärfe zu vergleichen, die verschiedenen Graden von Fehlsichtigkeiten eigen sind, so wird man gleiche Brillenörter annehmen, d. h.  $\delta$  unverändert lassen und verschiedene A-Werte ansetzen, während wieder  $f_{11}$  als fester Wert zu erhalten ist. Diesen Vergleich kann man jeweils für verschiedene Werte der veränderlich gewählten Größen anstellen, und das Ergebnis wird man gerne übersichtlich als eine Kurve in ein Koordinatenkreuz eintragen. Die eine Koordinate bildet die veränderliche, die andere Koordinate die davon abhängige Größe V.

Schließlich aber kann auch die Aufgabe gestellt werden, den Einfluß anzugeben, den die gleichzeitige Änderung sowohl von  $\delta$  als von A ausübt. Dieser Zusammenhang ist nicht einfach. Einige wenige entsprechend gewählte Einzelauswertungen geben zwar Aufschluß über die Grenzgrößen. Einen wirklichen Überblick über die ganzen Beziehungen liefert aber erst eine Darstellung, wie wir sie M. v. ROHR (f, S. 43) verdanken (s. Abb. 12).

**Räumliche Darstellung der V-Fläche.** Da es sich hier um eine grundsätzliche Art der Darstellung handelt, so sei ein wenig dabei verweilt. In die Augenheilkunde ist sie zuerst von M. v. ROHR eingeführt worden. Wir haben zwei voneinander unabhängige Veränderliche,  $\delta$  und A, d. h. es ist möglich, daß irgendein fehlsichtiges Auge gegeben wird, dann ist uns  $\delta$  noch gar nicht vorgeschrieben. Wie uns ein beliebiges A sozusagen durch den Kranken gebracht werden kann, so kann von uns aus das  $\delta$  ganz unabhängig von der Art des Auges gewählt werden. Wir haben also zwei voneinander unabhängige, veränderliche Größen, die beide auf die von uns gesuchte dritte Einfluß ausüben, die von diesen beiden abhängige Größe V, die Vergrößerung. In einem Koordinatennetz, in dem die Länge der einen Ordinate die Größe von A, die Länge der Abszisse die von  $\delta$  ausdrückt, kennzeichnet somit ein Punkt der Fläche die gegebenen bzw. gewählten Bedingungen für das ausgleichende Brillenglas. Die in unserer Gleichung ausgedrückte von diesen beiden abhängige dritte Größe V kann nur dargestellt werden durch die Höhe einer in dem genannten Punkt errichteten senkrechten Geraden. Die Gesamtheit der oberen Enden dieser sämtlichen Geraden bildet zusammen eine Fläche, und zwar meist nicht eine ebene, sondern, wie auch hier,

eine gekrümmte Fläche (Abb. 13). Wir sehen hier die Fläche vor uns, die dieser unserer Formel entspricht. Auf mathematische Genauigkeit erhebt sie keinen Anspruch. Immerhin habe ich sie mit Sorgfalt herstellen lassen.

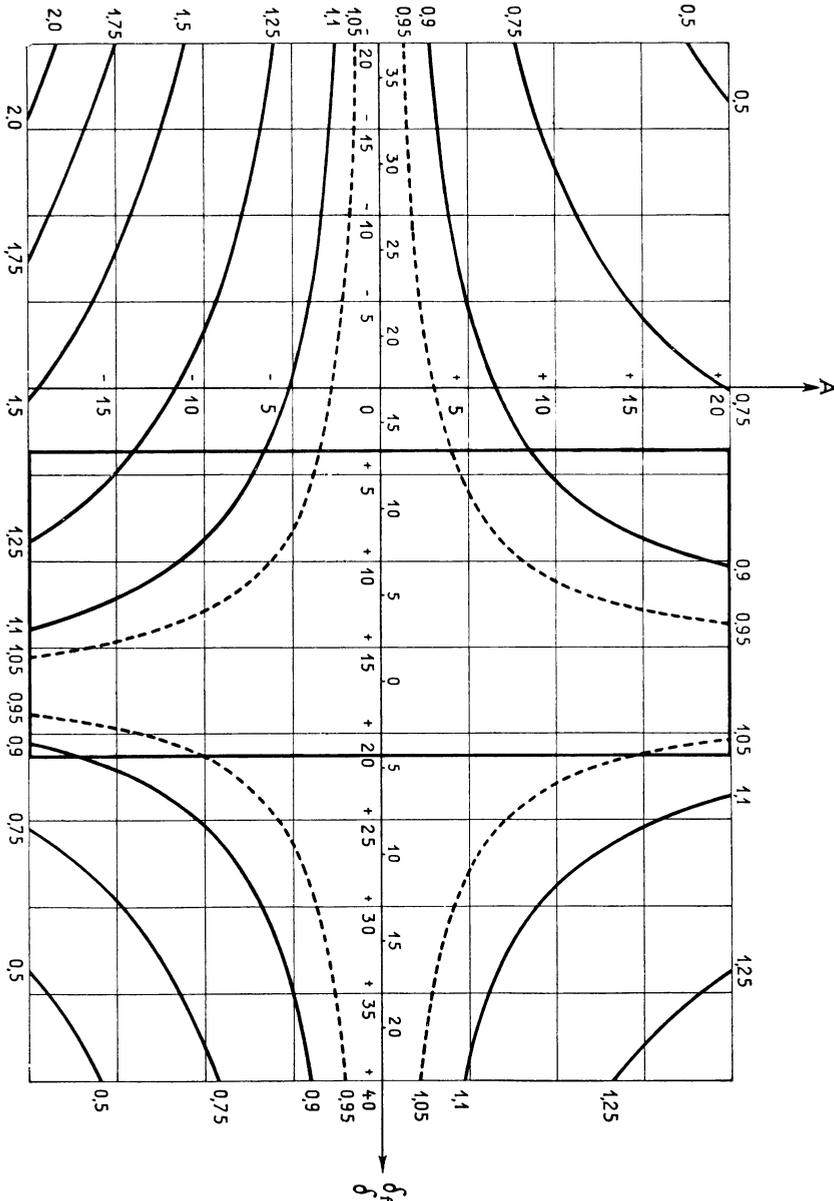


Abb. 12. Schichtenbild für  $V$  abhängig von  $\delta$  und  $A$ .  
 $\delta_r$  ist der Abstand des Brillenhauptpunkts vom vorderen Augenbrennpunkt.

Die kürzere (in der Aufnahme von links nach rechts verlaufende) Seite ist die Richtung der Ordinaten, durch deren Länge der Grad der Fehlsichtigkeit  $A$  unmittelbar als Hauptpunktsbrechwert angegeben wird. Nullpunkt ist der Sonder-

fall der Fehlsichtigkeit  $A = 0$ , die Rechtsichtigkeit. Die Abszissen drücken die Länge des Glasabstandes  $\delta$  aus. Der Nullpunkt entspricht dem dingseitigen Augenhauptpunkt  $H$ . Sowohl für alle möglichen Glasabstände  $\delta$  bei  $A = 0$ , wie für alle anderen möglichen Grade von Fehlsichtigkeit  $A$  mit ein und demselben Glasabstand  $\delta = f'_{11}$  wird  $V = 1$ .

Da, wie gesagt,  $V$  durch die Höhe der Senkrechten in den entsprechenden Flächenpunkten des ebenen Koordinatennetzes angegeben ist, so sieht man, daß über allen Ordinatenpunkten  $A = 0$ , wie über allen Abszissenpunkten  $\delta = f'_{11}$  als dritte Koordinaten unter sich und der Einheit gleiche Höhen stehen müssen, und da sie jeweils gleichen  $x$  — bzw. gleichen  $y$  — ( $\delta$  bzw.  $A$ ) Koordinaten

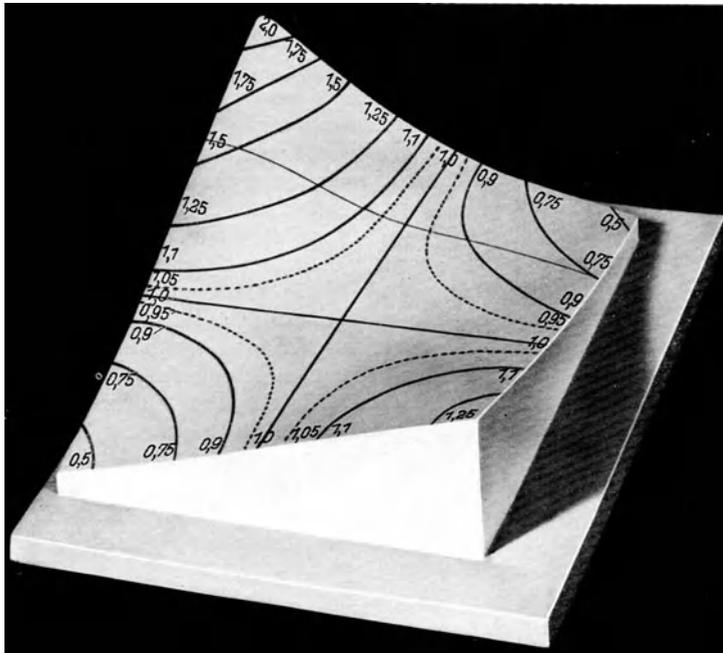


Abb. 13. Eine perspektivische Aufnahme der  $V$ -Fläche im Raum.

zukommen, bildet die Verbindung dieser Flächenpunkte zwei aufeinander senkrechte gerade Linien. Entfernt man sich von diesen Punkten der Einheit, so betritt man entweder höhere oder tiefere Punkte, ganz entsprechend unserer Ableitung über den Einfluß von  $\delta$  (s. oben).

Bemerkenswert ist, daß das Gebiet der Kurzsichtigkeit und kleinerer  $\delta$ -Werte bevorzugt ist. Es erhebt sich höher als das andere entsprechende Viertel der Übersichtigkeit mit großem  $\delta$ -Wert. Daraus können wir zweierlei schließen, einmal, daß wir dem Kurzsichtigen gelegentlich durch Verkürzung von  $\delta$  nützen können. Daß der Einfluß der  $\delta$ -Änderung auf die Netzhautbildgröße bei Kurzsichtigen merklich wirksamer ist als bei Übersichtigen, ist ein glückliches Zusammentreffen. Einmal gibt es häufig Kurzsichtige dieser Grade, selten hohe Hypermetrope. Dann können die Kurzsichtigen, deren Sehschärfe bei höheren Graden meist beträchtlich vermindert ist, eine solche Hilfe sehr gut brauchen. Es liegt gewissermaßen ein kleiner Ausgleich für die von Natur aus mit höherer Kurzsichtigkeit Belasteten darin, daß die in Rede stehende Wirksamkeit der  $\delta$ -Verkürzung gerade bei diesen hochgradigen und

daher sehschwachen Kurzsichtigen besonders groß ist. Man kann gelegentlich einem solchen unglücklichen Menschen mit diesem einfachen Mittel eine Freude machen und Nutzen stiften.

**Sehschärfe und  $\delta$ -Wert.** Wird z. B. ein kurzsichtiges Auge ( $A = -20$  dptr) durch ein dünnes Brillenglas von  $D_1 = -32$  dptr im Abstände  $\delta = 18$  mm für die Ferne eingestellt, und wir erreichen, wie häufig in einem solchen Falle, nur die Sehschärfe  $\frac{5}{20}$ , so läßt sich der Fehler auch durch ein näher, z. B. in  $\delta = 8,4$  mm Entfernung stehendes Glas von  $D_1 = -24$  dptr ausgleichen. Da die von diesen beiden Gläsern gelieferten Bilder sich verhalten wie die Brennweiten, nämlich  $\frac{1}{24} : \frac{1}{32} = \frac{32}{24} = \frac{4}{3}$ , so erzielt man durch das nahe Glas eine Vergrößerung von  $\frac{4}{3}$ , also 33% über die Netzhautbildgröße mit dem fernen hinaus, d. h. in diesem Falle eine Hebung der Sehschärfe auf  $\frac{5}{15}$ , sicherlich eine für den Fehlsichtigen nicht unwesentliche Verbesserung.

Als zweite Folgerung sieht man umgekehrt, daß es gelegentlich notwendig ist, bei einer *Sehschärfe*angabe außer dem verwendeten Glas auch das zugehörige  $\delta$  zu vermerken, und zwar um nicht bloß den Grad der Fehlsichtigkeit, sondern auch die gefundene Sehschärfe eindeutig zu kennzeichnen. Bei der Abgabe von Gutachten kann das wohl auch dann und wann wichtig sein. So könnte z. B. ein hochgradig Kurzsichtiger zu seinem Nachteil beurteilt werden, wenn der Fehlerausgleich bei der Prüfung mit der Probierbrille mit einem ausnahmsweise nahestehenden, also schwachen, große Bilder liefernden Glas erfolgt war. Eine solche

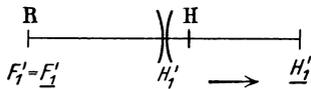


Abb. 14.  
Die Verlängerung der Brennweite des ausgleichenden Glases durch Verschiebung des Hauptpunktes  $H_1'$  nach  $H'$ .

Anordnung kann sehr wohl für die kurze Zeit der Untersuchung ohne Störung ertragen werden, nicht aber im gewöhnlichen Gebrauch bei der Arbeit, wo Beschmutzung durch die Wimpern oder durch Schweiß sehr bald eintreten würde. Da also das Glas in der Gebrauchsbrille weiter vom Auge entfernt, somit stärker sein muß als in der Probierbrille, so wird für die berufliche Tätigkeit des Mannes die erst gefundene Sehschärfe gar nicht ausgenutzt werden können, sondern nur eine geringere.

**$\delta$ -Werte  $< f_{11}$ .** Mathematisch kann man natürlich die Flächen beliebig ausdehnen. Hier sind hinsichtlich der Ordinaten die Grenzen eingehalten worden, die die Natur für die Größe der Fehlsichtigkeit gezogen hat, wenn man von ungewöhnlich hohe Ausnahmefällen absieht. Nach der Seite der kleinen  $\delta$ -Werte aber ist bei 0 nicht haltgemacht worden, sondern auch für negative Größen  $\delta$  bis  $-20$  mm findet man die Fläche ausgedehnt. Was sagt uns die Fläche? Die Höhe hier sagt, daß wir im Gebiet dieser  $\delta$ , d. h. bei hochgradiger Kurzsichtigkeit von 20 dptr eine 2fache Vergrößerung erhalten, wenn wir diese  $\delta$ -Werte verwirklichen könnten. Wir befinden uns hier in einem merkwürdigen Gebiet, in dem der Fernrohrbrille für Kurzsichtige (s. S. 765).

Kehren wir zurück zu unseren eingangs gepflogenen Überlegungen, daß die Bildgröße proportional sei der Brennweite der ausgleichenden Gläser (s. S. 758). Steigern wir für einen angenommenen Betrag von Kurzsichtigkeit, von einem gegebenen ausgleichenden Glas ausgehend, die Vergrößerung weiter und weiter. Das geschieht, wie wir sahen, durch Verlängerung der Brennweite. Da der bildseitige Brennpunkt festgelegt ist — er muß, wenn das Glas die Kurzsichtigkeit ausgleichen soll, mit dem Fernpunkt  $R$  zusammenfallen —, so bleibt für eine Verlängerung der Brennweite nur die Verschiebung des anderen Endpunktes der Brennweite, des bildseitigen Hauptpunktes  $H_1'$ , übrig. Wird etwa eine Vergrößerung von bestimmtem Betrag, sagen wir  $V = 2$ , gefordert, so ist über die Lage des Hauptpunktes keine Wahl mehr. Die Brennweite muß zu

diesem Zweck verdoppelt werden, der bildseitige Hauptpunkt muß vom Fernpunkt  $R$  auf die doppelte Entfernung hinausgerückt werden. Eine dünne Linse in dieser Entfernung würde, wie das die Zeichnung (Abb. 14) zeigt, das Bild von der gewünschten Größe liefern. Ich sagte ausdrücklich, der Hauptpunkt sei zu verschieben, denn für gewöhnlich wird der so ausgerechnete Ort merklich hinter dem Auge liegen. Dorthin kann eine Linse nicht gebracht werden, wenn die sie verlassenden Strahlen ins Auge eintreten sollen. Ein Ausweg, auf dem man mit Hilfe einer verhältnismäßig dünnen Linse zum Ziel der vorgeschriebenen Vergrößerung gelangen könnte, wäre das schon auf S. 752 kurz erwähnte HOOKESCHE Verfahren, sie jenseits des Fernpunktes  $R$  aufzustellen. Das gibt umgekehrte Bilder; auch wäre obendrein die Befestigung so gut wie unmöglich.

**Die Fernrohrbrille.** Soll die Sehhilfe als Brille im üblichen Sinn auf der Nase getragen werden, so muß die Aufgabe etwas genauer und anders lauten: Es soll eine Sehhilfe mit ihrem augen-

seitigen Scheitel an der gleichen Stelle angeordnet werden, wie die gewöhnliche Brille, die gleiche Schnittweite erhalten wie sie, aber die doppelte Brennweite. Dann können die aus ihr austretenden Strahlen auf ihrem weiteren Weg auch ins Auge gelangen. Es fragt sich, ob man den bildseitigen Hauptpunkt aus der Flächenverbindung her austreiben kann. Das gelingt und läßt sich leicht formelmäßig

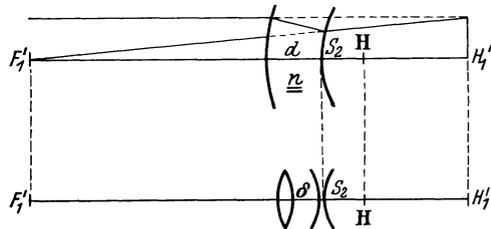


Abb. 15. Die Lage des hinteren Hauptpunktes  $H_1'$  bei einer Stöpsellinse (oben) und bei einer entsprechenden Fernrohrbrille (unten).  $H$  Augenhauptpunkt;  $\delta = \frac{d}{n}$ ;  $S_2$  hinterer Brillenscheitel.

herleiten. Ich verweise auf ERGGELETS Aufsatz (b) und beschränke mich darauf, an Hand der Zeichnung zu zeigen, daß eine geeignete Flächenverbindung — sie muß eine endliche Dicke haben — die Aufgabe leicht erfüllt. Die erste und die letzte Fläche muß so gekrümmt sein, wie sie der obere Teil der Abb. 15 zeigt (Stöpsellinse).

Auch kann man mit weniger stark gekrümmten und obendrein mit einer geringeren Linsendicke der Flächenverbindung<sup>1</sup> auskommen, wenn man die nötigen Brechkraften an jedem Ende, statt sie je einer Einzelfläche aufzuladen, auf je zwei Flächen, nämlich auf je eine Einzellinse, überträgt (*Fernrohrbrille*). Wie die gewünschte Brennweite hierbei erzielt wird, erläutert ein Blick auf die Abb. 15, die uns in ihrer Entstehung nicht unbekannt ist (s. S. 475).

Das Mittel, das uns die Verfügung über die Hauptpunktswahl bei der Fernrohrbrille in die Hand gibt, ist die geeignete Verteilung der vorgeschriebenen Gesamtbrechkraft auf die beiden Glieder der Verbindung bei einem endlichen Abstand zwischen ihnen. In unserm oben angenommenen Beispiel ist dieser Abstand die Dicke des Glasblockes (Stöpsellinse), der von den beiden Flächen begrenzt ist, in Wirklichkeit der Abstand der beiden Linsen. Aus der Formel  $h_{12} = -\delta D_1/D_{12}$  geht das ja ohne weiteres hervor (s. S. 478).

V gilt bei Fernrohrbrillen im Vergleich mit  $\delta = f_{11}$ . Bezogen auf  $\delta < f_{11}$  gewöhnlicher Gläser hat V andere, bei Myopen kleinere, Werte (HARTINGER).

**Brillengläser endlicher Dicke.** Auch bei den gewöhnlichen Brillengläsern haben wir es mit Linsen endlicher Dicke, wenn auch nicht so großer wie soeben, zu tun. Die meisten unserer Sammellinsen gehören hierher, während die

<sup>1</sup> Statt der Dicke  $d$ , die optisch ja nur  $\delta = d/n$  bedeutet, kann man mit dem geringeren  $\frac{d_1}{1} = d_1 = \delta$  die gleiche Wirkung erzielen.

Zerstreuungslinsen wenigstens genügend dünn hergestellt werden können, daß man ihre Dicke für unsere Zwecke vernachlässigen darf.

Hiermit haben wir die dünnen Linsen verlassen und sind zu den dicken übergegangen und müssen uns jetzt mit dem Verstoß gegen unsere eingangs gemachte Voraussetzung dünner Linsen auseinandersetzen. Wir erinnern uns der Gleichung, die (s. S. 753) beim Ausgleich eines Brechungsfehlers gelten muß, nämlich

$$\begin{aligned} H_1' F_1' &= H_1' H + H R \\ f_1' &= \delta + a \end{aligned}$$

Auf Grund unserer Voraussetzung, daß  $S_2$  und  $H_1'$  zusammenfielen, durften  $f_1'$  und  $\delta$  von  $S_2$  aus gemessen werden. Wie wir aber gesehen haben, hat die Lösung der Aufgabe, eine vergrößernde Sehhilfe anzugeben, gerade die Trennung dieser beiden Punkte, des bildseitigen Brillenhauptpunktes vom hinteren Brillenscheitel gebracht. Daher ist die eben wiederholte Gleichung mit Rücksicht auf den allgemeineren Fall der dicken Linse noch einmal anzusehen. Das kann am anschaulichsten an der Hand der schon näher bekannten Fernrohrbrille erfolgen.

**Der Scheitelbrechwert (die Scheitelrefraktion).** Um den Ausgleich einer Fehrsichtigkeit mit dem Brillenglas endlicher Dicke zu kennzeichnen, braucht man die Brennweite  $f_1'$  und den bildseitigen Brillenhauptpunkt  $H_1'$  gar nicht. Dazu genügt die Kenntnis des Brennpunktsabstandes von irgendeinem Bezugspunkt X des Brillenglases und die Angabe der Entfernung von diesem Bezugspunkt zum Augenhauptpunkt  $H$ . Der Bezugspunkt muß leicht zugänglich und gut sichtbar sein, wie etwa der hintere Brillenscheitel  $S_2$ .

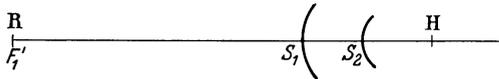


Abb. 16. Eine Fernrohrbrille zur Einführung des Scheitelbrechwertes  $A'_\infty$ . (Erklärung im Text.)

Die Gleichung heißt dann (s. Abb. 16)

$$\begin{aligned} S_2 F_1' &= S_2 H + H R \\ s_1' &= \varrho + a \end{aligned}$$

In dieser Gleichung steht also nicht mehr die Brennweite der Sehhilfe, sondern ihre Schnittweite und nicht mehr der Abstand der einander zugewandten Hauptpunkte  $\delta = H_1' H$  der Glieder der Verbindung Brille + Auge, sondern der Abstand des hinteren Brillenscheitels vom Augenhauptpunkt  $S_2 H = \varrho$  (eine Strecke, die im Fall der dünnen Brille beide Bedeutungen in sich schloß [für die dünne Brille galt  $\varrho = \delta$ ]).

Daher ist auch die Brennweite  $f_1'$  des Glases als Mittel zum Ausgleich der Fehrsichtigkeit entbehrlich geworden, und wir verwenden dafür nunmehr des Glases bildseitige Schnittweite  $s_1'$  oder vielmehr ihren Kehrwert  $A'_\infty$ . Für den Zweck der Brillenbestimmung würde die Benutzung der Brennweite ja nur einen Umweg bedeuten. Einen Bezugspunkt brauchten wir doch, müßten von ihm aus zum bildseitigen Brillenhauptpunkt messen und von dort zum Brennpunkt. M. v. ROHR hat daher als Stärkenbezeichnung statt der Brechkraft  $D_1$ , des Kehrwertes der Brennweite  $f_1'$ , den Kehrwert der Schnittweite  $s_1'$  verwendet und *Scheitelrefraktion*  $A'_\infty$  oder *Scheitelbrechwert*<sup>1</sup> genannt. Ob Fernrohrbrille, ob Probierglas, gleiche  $A'_\infty$  bedeuten gleiche Korrektionswerte. Die Beziehung zum Grad der Fehrsichtigkeit kann mit Hilfe dieser Größen auf die gleiche Form gebracht werden wie mit den früheren Werten  $D_1$  und  $\delta$ . Es ist nämlich (s. oben)

$$\begin{aligned} S_2 F_1' &= S_2 H + H R \\ s_1' &= \varrho + a \\ \frac{1}{s_1'} &= A'_\infty = \frac{1}{\varrho + a} = \frac{A}{1 + \varrho A}. \end{aligned}$$

<sup>1</sup> O. HENKER (a) benutzt statt  $A'_\infty$  das Zeichen  $A'_\infty$ , um die Bildseitigkeit hervorzuheben.

Hierbei ist aber zu unterscheiden  $S_2 \mathbf{H} = \delta$  und  $H_1' \mathbf{H} = \delta$  und das in jedem enthaltene  $S_2 \mathbf{S} = d$ .

Wenn an jedem Fernrohrbrillenstück neben  $A_\infty$  die Vergrößerung angegeben ist, so dürfte nach den vorhergehenden Überlegungen klar sein, daß damit die Brennweitenangabe in verhüllter Form enthalten ist. Diese Ableitungen sind keineswegs allein für den Sonderfall der Fernrohrbrillen bestimmt. Sie sind auch für unsere gewöhnlichen Brillengläser von Bedeutung.

*γ) Die verschiedenen Linsenformen und das Auge.*

Bei Sammelgläsern wird also das Verhältnis der Brechkräfte der beiden Flächen im kleinen seinen Einfluß auf die Hauptpunktlage ausüben wie bei den Fernrohrbrillen im großen. Unter diesem Gesichtspunkt sollen nun die als Brillengläser vorkommenden Linsenformen betrachtet werden.

Es lassen sich folgende Arten unterscheiden: beiderseits gleich stark gekrümmte, als Bi-Gläser bekannte Linsen, solche mit einer ebenen Fläche (ebenhohle [plan-konkave] und eben-erhabene [plan-konvexe] Linsen) und Menisken im weiteren Sinne. Besitzt eine Fläche eine feste „Grund“wirkung von  $+ (-) 1,25$  dptr

(sehr häufig hat man als Grundkrümmung diesem Betrage naheliegende Werte

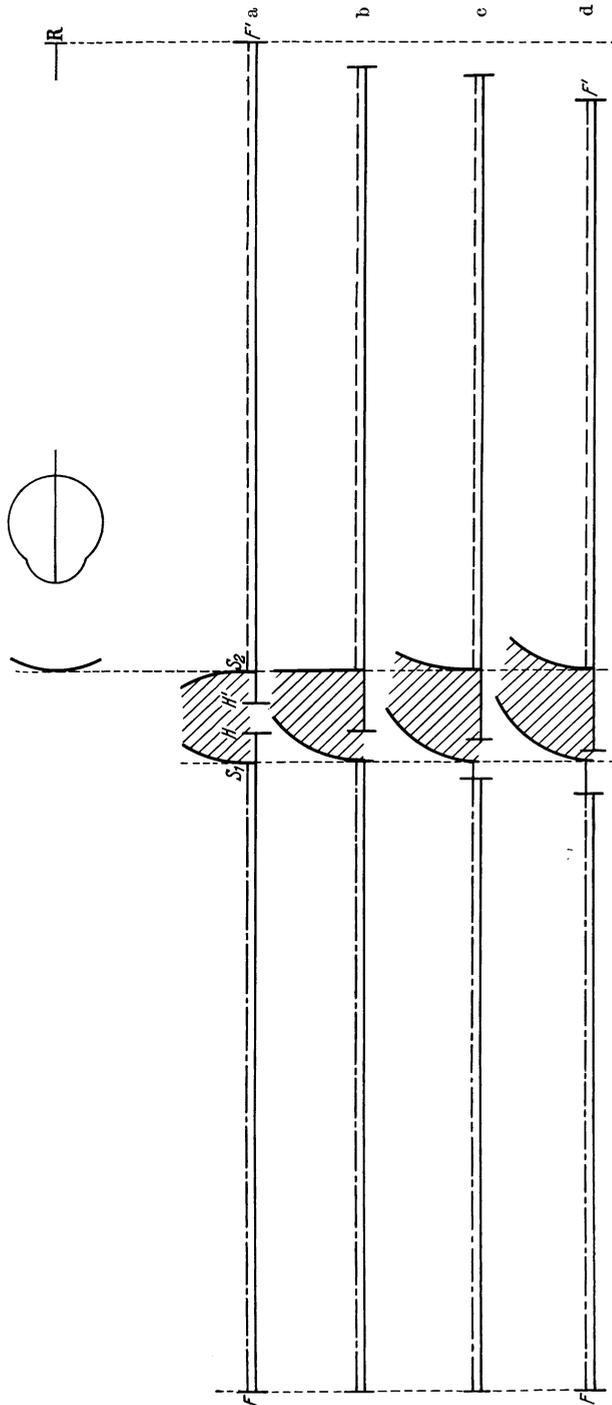


Abb. 17 a-d. Die Durchbiegung der Linse verstärkt bei unveränderter Scheitellage infolge der Verschiebung der Hauptpunkte den Ausgleichswert des Glases für das Auge.

verwendet), so spricht man von periskopischen, bei einer Grundwirkung von  $+(-) 6$  dptr von Halbmuschelgläsern (oder Menisken im engeren Sinn)<sup>1</sup>.

**Die Durchbiegung der Brillengläser und der Scheitelbrechwert.** Läßt man die Gesamtbrechkraft oder auch den Scheitelbrechwert einer Linse unverändert, gibt ihr aber ausgehend von der gleichseitigen Form im Sinne der soeben aufgeführten Reihe nach und nach andere Halbmesserverhältnisse, so erfolgt bei dieser — wie die Optiker sagen — *Durchbiegung* eine stetige Hauptpunktverschiebung, über deren Sinn die Abb. 17a—d Auskunft geben soll. Sie mag eine Durchsprechung der Formeln ersetzen.

Dort sind die Grundwerte eingetragen für eine Linse, deren dingseitiger Scheitelbrechwert  $A'_\infty$  durch Neutralisation zu  $+ 12$  dptr bestimmt sei, wobei die Werte der HENKERSchen Zusammenstellung (Abb. 6 u. 7) verwendet worden sind. Die Glasscheitel sollen alle in der gleichen Lage zu dem oben rechts in der Abbildung angedeuteten Auge stehen.

Nimmt man an, in der ersten Zeichnung (Abb. 17a) sei der Ausgleich einer Fehlsichtigkeit im Probiertestell mit einer gleichseitigen Linse erreicht, so bleibt dieser Ausgleich erhalten, wenn die Linse umgedreht wird. Sollen die weiterhin verwendeten mehr und mehr durchgebogenen Gläser bei unveränderter Scheitellage  $S_1 S_2$  (Abb. 17b—c) so vor dem Auge angebracht werden, wie es die Rücksicht auf die Bildgüte beim bewegten Auge verlangt, also mit der schwächer gekrümmten (hohlen, konkaven) Fläche dem Auge zugewendet, so sieht man an den folgenden Bildern, daß der bildseitige Brennpunkt  $F'$  des Brillenglases immer weiter vom Fernpunkt  $R$  weg gegen das Glas heranrückt. Diese Bewegung macht auch der bildseitige Brillenhauptpunkt  $H'$  mit. Der bildseitige Scheitelbrechwert, auf den es für das Auge allein ankommt, nimmt immer mehr zu. Das geschieht, obwohl scheinbar gleich starke Gläser vorliegen. Denn, wie die linken Hälften der Bilder zeigen, bliebe der Fehlerausgleich durchaus erhalten, wenn der andere Brillenscheitel zum Auge gewendet wäre; der dingseitige Brennpunkt  $F$  liegt bei allen Glasformen an der gleichen Stelle, in der gleichen Entfernung vom Scheitel, der oft genug fälschlicherweise zur Glasstärkenmessung durch Neutralisation benutzt wird.

Auf diese Schnittweite und ihren Kehrwert, den dingseitigen Scheitelbrechwert  $A_\infty$ , kommt es aber bei richtigem Gebrauch der Gläser gar nicht an. Sind auch, wie die HENKERSchen Zahlen (Abb. 6 u. 7) zeigen, diese Abweichungen nicht allzu groß, wenn man mittlere Glasstärken betrachtet, so spielen sie doch eine Rolle, weil es sich meist um staroperierte Augen handelt, deren Sehschärfe häufig sehr gut ist, und die darum gegen Fehler sehr viel empfindlicher sind als etwa Kurzsichtige ähnlichen Grades mit ihrer in der Regel mehr oder weniger verminderten Sehschärfe. Außerdem kann es zu einer Summation der Fehler kommen, wenn etwa die angegebene Abweichung in einem Fall wirksam wird, wo in die Brillenbestimmung ein zulässiger, an sich unmerklicher Fehlerbetrag gleicher Richtung einging. Wird womöglich noch auf Grund dieser Untersuchung an Stelle eines bisher getragenen gleichseitigen Glases ein stark durchgebogenes in die alte Fassung gesetzt, so bleibt der augennahe Brillenscheitel nicht am gleichen Ort, den er beim alten Glas innehatte. Er rückt vielmehr, wenn der Glasrand in der Ebene der alten Fassung angebracht wird, wie das Abb. 17 zu erkennen erlaubt, vom Auge weg, so daß sich der bildseitige Brennpunkt noch mehr aus dem Fernpunkt entfernt. Auf diese Weise entsteht eine weitere Verstärkung der Glaswirkung.

Es soll die hohle (konkave) Fläche dem Auge zugekehrt werden, wie es die Rücksicht auf die Bildgüte verlangt. Man sieht bei Sammelgläsern beide Hauptpunkte

<sup>1</sup> Auch eine Grundwirkung von  $+(-) 3$  dptr wird oft verwendet.

mit der Durchbiegung entgegen der Lichtrichtung von der Hohlseite wegwandern. Bei Zerstreuungsgläsern findet das Entgegengesetzte statt. Für unsere gewöhnlichen Brillengläser würde dieser Vorgang keine große Bedeutung haben, wenn die Bezeichnung durch den bildseitigen Scheitelbrechwert  $A'_\infty$  nach dem ROHRschen Vorschlag schon überall durchgeführt wäre — das ist aber nicht der Fall —, und wenn man bei der Ermittlung der bildseitigen Scheitelbrechwerte mit den mechanischen Mitteln des Sphärometers wie in dem bekannten Neutralisationsverfahren nicht auf Schwierigkeiten stieße. Diese Umstände ließen neben anderen in der ersten Zeit der ausgedehnten Einführung der durchgebogenen Gläser eine Menge von Mißverständnissen und Unstimmigkeiten im Ablauf des Verkehrs zwischen Optiker und Augenarzt erwachsen, wobei das Hand-in-Hand-Arbeiten wohl gelegentlich durch einen gewissen erhöhten Stimmungsgehalt gewürzt wurde, wenn sich der eine von beiden und meistens der weniger Sachkundige dem Brillenträger gegenüber über vermeintliche Fehler und Übergriffe des anderen Teils aussprach.

**Neutralisation und Scheitelbrechwert.** Eine wichtige Fehlerquelle ist die übliche Art der Bezeichnung der Glasstärke in den Probierkästen. Von den Zerstreuungsgläsern wird dabei ausgegangen und bei der Benennung der Sammelläser folgendermaßen verfahren: Das Sammelglas erhält die Nummer des Zerstreuungsglases, durch das bei Berührung beider Gläser im Scheitel seine Wirkung aufgehoben wird. Gewöhnlich werden ja auch die unbekanntenen Glasstärken irgendeines Brillenglases durch „Neutralisieren“ ermittelt. Man achtet hierbei in der Regel nicht auf die Bildgröße der Verbindung als vielmehr auf das Verschwinden der parallaxischen bzw. prismatischen Ablenkung.

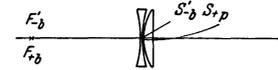


Abb. 18. Diese Neutralisation ergibt den *dingseitigen* Scheitelbrechwert.

Bei Einzelflächen ist der Vorgang einfach. Die bildseitige Brennweite  $f'_1$  des ersten Glases muß entgegengesetzt gleich sein der dingseitigen  $f_2$  des zweiten, und das findet statt, wenn beide Flächen bei gleichen brechenden Mitteln gleich gekrümmt sind und sich berühren, wie wenn etwa bei Linsen die andere Fläche eben ist.

Bei Linsen mit beiderseits gekrümmten Flächen, z. B. einer gleichseitigen erhabenen (konvexen) Linse liegt die Sache etwas anders. Hier ist *im günstigsten Fall* die bildseitige Schnittweite  $s'_1$  gleich der dingseitigen Schnittweite  $s_2$  der ausgleichenden zweiten Linse; denn die Brennweite wird gemessen vom bildseitigen Hauptpunkt zum Brennpunkt, und der bildseitige Hauptpunkt liegt bei der dicken Sammellinse im Innern der Linse, nicht im Scheitel. Daraus geht hervor, daß die Neutralisation uns die Schnittweite bzw. den Scheitelbrechwert liefert. Bei der gleichseitigen Sammellinse sind sie auf der Dingseite und Bildseite gleich. So sind auch die Sammellinsen unserer Probierkästen — ohne Absicht — nach bildseitigen Scheitelbrechwerten geordnet. Das ist der Vorzug gleichseitiger Probierlinsen. Linsen mit einer gewölbten, bei dicken Linsen also erhabenen Fläche aber können nicht mit der ebenen, sondern höchstens mit der erhabenen Fläche zur Berührung mit dem Scheitel einer Hohlfläche gebracht werden. Daher wird einfach der dingseitige Scheitelbrechwert ermittelt, und man findet, wenn man die eben-erhabenen (plan-konvexen) Linsen mancher Probierkästen prüft, daß tatsächlich die gleichbenannten Zerstreuungslinsen ihre Wirkung nur dann ausgleichen, wenn sie auf der gewölbten Seite, also der Dingseite angelegt werden. Diesen Wert aber brauchen wir gar nicht, wenn wir die Linse so anordnen, wie es die Rücksicht auf die Bildgröße verlangt. Ganz entsprechend liegen die Dinge bei Menisken, die zwar selten als Probiergläser vorkommen, uns aber um so häufiger zur Ermittlung ihrer Stärke von den Trägern der Brille vorgelegt werden. Es wird wohl in der Regel der dingseitige

Scheitelbrechwert neutralisiert. Wollte man ohne Rücksicht auf den zwischen den beiden Scheiteln bleibenden Zwischenraum von der Bildseite her neutralisieren, so müßte man den Abstand der einander gegenüberstehenden, sich aber nicht berührenden Scheitel messen und dann mittelbar den Scheitelbrechwert berechnen. Diese Dinge klargelegt zu haben ist das Verdienst HENKERS (a).

**Die Messung mit dem Sphärometer.** Sobald die Bezeichnung nach bildseitigen Scheitelbrechwerten durchgeführt ist, verliert dieser Zusammenhang etwas an Anziehungskraft, aber nicht ganz; deshalb nicht, weil die Ermittlung des Brechwertes eines vorliegenden Brillenglases immer wieder vorkommen wird und auf einfache Weise mit dem gewöhnlichen Sphärometer nicht zu erledigen ist.

Daher sei mit ein paar Worten auf die Wege eingegangen, die hier zum Ziel führen. Die Messung jeder Fläche mit dem Sphärometer und das Zusammen-

zählen der abgelesenen Werte, wird wohl heute niemand mehr befriedigen. Man wird also noch die Dicke zu messen und auf Luft zurückzuführen haben, und das Produkt  $\delta D_1 D_2$  von deren Summe  $D_1 + D_2$  abziehen (s. S. 478). Man hätte dann  $D_{12}$  und

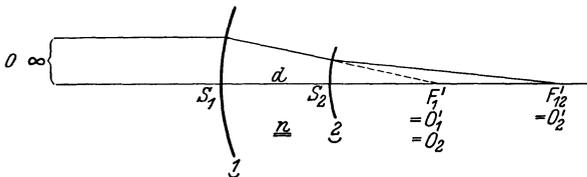


Abb. 19. Die Ableitung des Brechwertes der Fläche 1 im Achsenpunkte  $S_2$ .

hieraus die Brennweite. Aber die Lage der Brennweite ist noch unbekannt und verlangt die Berechnung des Hauptpunktvorschubs. Aber auch die zu dieser Rechnung nötigen Angaben lassen sich manchmal mit dem Sphärometer nicht gewinnen. Das gilt leider gerade für die Fälle, wo es einem besonders wertvoll wäre, den Scheitelbrechwert zu bestimmen, bei den stark durchgebogenen Sammelläsern der Staroperierten. Die erhabene Seite ist übrigens oft stärker gekrümmt, als daß die 3 Punkte des Sphärometers gleichzeitig mit ihr in Berührung gebracht werden könnten. Sonst läßt sich auf folgende Weise die Rechnung ansetzen.

Der *Scheitel-Sphärometer* von A. KÜHL beruht darauf, daß man bei einer dicken durchgebogenen Linse die Krümmung der Vorder- und der Hinterfläche sowie die Dicke mißt und die Brechzahl des Glases meist mit einer großen Wahrscheinlichkeit als 1,52 anzunehmen berechtigt ist. Zur Ermittlung des gesuchten Scheitelbrechwertes  $A'_\infty$  aus diesen Bestimmungsstücken wird aus der Brechkraft  $D_1$  der Vorderfläche ihr Brechwert für den Ort des zweiten Scheitels gebildet. Dieser Wert und die ebenfalls bestimmte Brechkraft  $D_2$  der zweiten Fläche können wie die Brechkraft zweier einander im Scheitel berührender Einzelflächen zusammengezählt werden, und ihre Summe ist der gesuchte Wert  $A'_\infty$ . Die Ableitung des Brechwertes der Fläche im Ort  $S_2$  geschieht in bekannter Weise unter Berücksichtigung der Rückführung der Glaslänge  $d$  auf Luft zu  $\delta = \frac{d}{n}$  (s. Abb. 19).

$$\frac{n}{s_2} = \frac{1}{s_2} = \frac{D_1}{1 - \delta D_1}$$

$$A'_\infty = \frac{D_1}{1 - \delta D_1} + D_2^1.$$

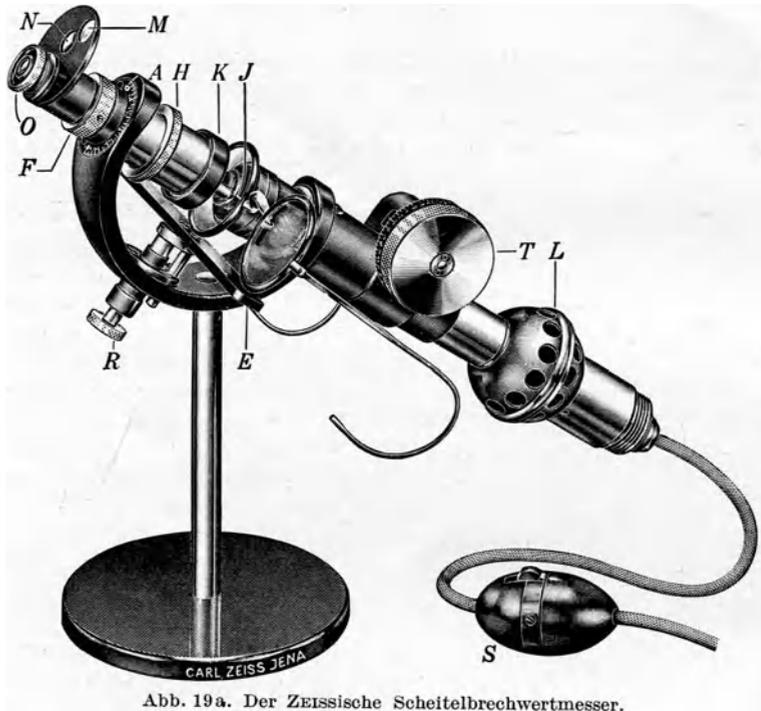
<sup>1</sup> Wer diese Ableitung zu kurz findet, möge die einzelnen Stufen wiederholen:

$$A'_\infty = \frac{1}{s_2'} = \frac{1}{S_2 F_{12}'} = A_2 + D_2$$

$$A_2 = \frac{1}{s_2} = \frac{n}{s_2} = \frac{n}{S_2 O_2} = \frac{n}{S_2 S_1 + S_1 F_1'} = \frac{n}{-d + n f_1'}$$

$$= \frac{1}{-\delta + f_1'} = \frac{1}{-\delta + 1} = \frac{D_1}{1 - \delta D_1} \text{ q. e. d.}$$

Die Auswertung des Bruches für die in Brillengläsern vorkommenden Brechkräfte  $D_1$  kann an der Hand von Kurventafeln geschehen. A. KÜHL hat eine solche Kurvenzusammenstellung in Kreisform gebracht und Scheitelbrechwertmesser genannt. Allerdings ist dessen Verwertung insofern begrenzt, als die meisten Sphärometer nicht so starke Krümmungen zu messen gestatten, wie sie bei den durchgebogenen Sammelgläsern höheren Scheitelbrechwertes vorkommen. Dann bleibt nur die Rechnung, wenn man kein Gerät zur Hand hat, das allein mit optischen Mitteln arbeitet.



**Scheitelbrechwertmesser (Scheitelrefraktometer).** Die erwähnten Fehler, die beim Neutralisieren und bei der Anwendung des Sphärometers auftreten können, werden vermieden durch die unmittelbare Messung der optischen Leistung mit Hilfe des wirklichen Scheitelbrechwertmessers. Er ist 1915 von O. HENKER dafür eingerichtet worden, den Scheitelbrechwert achsensymmetrischer und astigmatischer Gläser, ihre prismatische Ablenkung bzw. Dezentration zu messen, die Lage des Hauptschnittes abzulesen und diese wie auch den Scheibenmittelpunkt anzuzeichnen. Das Gerät hat jetzt eine einfachere und handlichere Form erhalten (s. Abb. 19a).

Die optischen Grundlagen (s. Abb. 19b) sind folgende: Ein Fernrohr (Objektiv B und Okular O) wird vom Beobachter auf unendlich eingestellt. Vor dem Objektiv wird das zu messende Brillenglas D angebracht mit seiner Außenfläche ihm zugekehrt. Sieht der Beobachter im Fernrohr das vom Brillenglas gelieferte Bild eines Maßzeichens deutlich, so steht das Maßzeichen selbst im augenseitigen Brennpunkt des Brillenglases. Da diese Stelle aber nicht bei allen vorkommenden Glasarten und -stärken erreichbar und für die Maßzeichen zugänglich war, ist eine Zwischenabbildung nötig. Sie wird von einer sammelnden

Folge C geleistet. Diese steht in unveränderlichem Abstand vom Brillenglas D. Das von der Lampe L beleuchtete Meßzeichen Z kann der Folge genähert oder von ihr entfernt werden, so daß sie diesseits oder jenseits des Brennpunkts



Abb. 19b. Ein Achsenschnitt durch die Linienfolge eines ZEISS'schen Scheitelbrechwertmessers mit dem Strahlengang. (Abweichend von den anderen Bildern gibt dieses die Lichtrichtung von rechts nach links.)

liegt. Je nachdem erhält natürlich das Brillenglas von den einzelnen Punkten des Sehzeichenbildes divergente oder konvergente Bündel zugeschickt. Da der augenseitige Brillenglasscheitel in den bildseitigen Brennpunkt der sammelnden Folge C zu liegen kommt, so ist nach der HELMHOLTZ-LAGRANGESchen Formel

$$(l' = ff')$$

die Verschiebung des Sehzeichens  $l = \frac{f^2}{l'}$  proportional dem gesuchten Scheitelbrechwert.

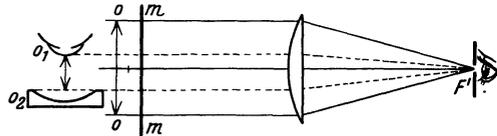


Abb. 20. Ein Längsschnitt durch das WESSELY'sche Keratometer.

Die Teilung kann demnach in gleiche Teile geteilt und nach Dioptrien bezeichnet werden.

In Abb. 19b gilt der ausgezogene Strahlenverlauf für die Einstellung Null, also für ein brechkraftloses Glas, und die gestrichelte Linie zeigt den Fall eines (gleichfalls gestrichelt angegebenen) Zerstreuungsglases an.

Wie von ZEISS werden jetzt auch von anderen Werkstätten solche Geräte gebaut, die aus der Vielfältigkeit des ursprünglichen Arbeitsbereiches das für die Sprechstunde nötige allein bieten und ausreichende Dienste tun werden.

Die Messung des Abstandes zwischen dem augenseitigen Glasscheitel und dem Hornhautscheitel erfolgt am sichersten und ziemlich bequem mit dem Keratometer von WESSELY.

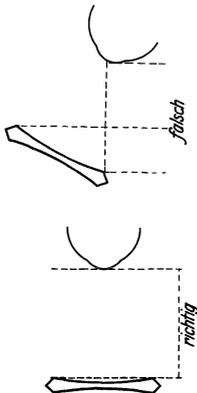


Abb. 21. Eine richtige und eine unrichtige Verwendung des WESSELY'schen Keratometers. Das Keratometer ist in beiden Fällen, wie in Abb. 20, rechts von der zu messenden Strecke zu denken.

Es besteht aus einer — zur Vermeidung von störenden Spiegelbildern an den Flächen — in ein Rohr eingeschlossenen Sammellinse, in deren augenseitigem Brennpunkt eine enge Blende angebracht ist. Diese läßt im wesentlichen nur solche Strahlen austreten, die auf der Dingseite achsenparallel laufen. Daher erscheinen innerhalb gewisser Grenzen auch verschieden weit entfernte achsenkrechte Strecken gleich lang. Sie werden im telezentrischen Strahlengang gesehen (telezentrische Perspektive). Unbeschadet dieser Eigenschaft werden natürlich die Bilder verschieden weit entfernter Dingpunkte auch in verschiedener Entfernung entworfen, diesseits oder jenseits von

unendlich, je nachdem es sich um Punkte vor oder hinter dem dingseitigen Brennpunkt handelt.

Dementsprechend fällt auch die Deutlichkeit der Bilder verschieden aus, je nach der Fähigkeit des Beobachters, seine Augen an diese verschiedenen Entfernungen anzupassen. Die Beobachtung wird zur Messung durch den Vergleich mit einem im dingseitigen Brennpunkt angebrachten achsenkrechten Maßstab.

Streng genommen mißt man also den gegenseitigen Abstand zweier achsenparalleler Geraden, die durch zwei Dingpunkte gehen (s. Abb. 20).

Liegen die beiden Punkte nicht in einer achsensenkrechten Geraden, so wird die Projektion ihrer Verbindungslinie auf eine achsensenkrechte Gerade gemessen. Daraus geht die Mahnung hervor, bei der Messung des Glasabstandes dafür zu sorgen, daß die Beobachtungsrichtung wirklich senkrecht auf die zu messende Strecke gerichtet ist. Sonst werden zu kleine Zahlen abgelesen. Ob man die richtige Richtung hat, davon überzeugt man sich so, daß man zwei Punkte miteinander zur Deckung bringt, die sicher in einer zu der zu messenden Strecke senkrechten Ebene liegen, etwa dem Gestellrand angehören oder den Rändern des kreisrunden Probierglases. Dann braucht man sich um das andere Ende der Meßstrecke nicht zu kümmern und kann den Ort des Hornhautscheitels an der Teilung einfach ablesen. Die Teilung liegt, wie gesagt, in der Nähe des dingseitigen Brennpunktes.

Fehler laufen unter, wenn nur der nächstliegende Fassungs- oder Glasrand ins Auge gefaßt wird, wie es leicht bei Zerstreuungsgläsern vorkommt (s. Abb. 21), oder wenn man an einem Punkt zu messen beginnt, der gerade infolge der zufälligen Beleuchtungsverhältnisse deutlicher als andere zu sehen ist. Das kommt wohl bei Sammellinsen am häufigsten vor, an welchen der Scheitel, ja nicht als solcher gekennzeichnet ist. Vom Beobachter wird oft der Punkt als Scheitel angesprochen, der von ihm aus am weitesten augenwärts liegt.

Auch auf die Blickrichtung des Kranken muß man achten. Wenn seitliche Blickrichtungen eingehalten werden, so ist der Hornhautscheitel weiter vom Glasscheitel entfernt, als wenn die Blickrichtung mit der Glasachse zusammenfällt.

Um wirklich gut ablesen zu können, muß für gute Beleuchtung gesorgt werden. Das geschieht bei ungünstigen Lichtverhältnissen leicht mit einer Taschenlampe, die in der die Meßröhre führenden Hand gehalten werden kann. Der Beobachter muß eine bequeme, mindestens eine sichere Haltung haben. Er sitzt am besten etwas tiefer als der Brillenträger, damit die Messung etwas von unten-außen her erfolgen kann. An dieser Stelle ist in der Regel am meisten Platz neben den Gestellteilen, und man kommt mit dem Teilungsende der Meßröhre am nächsten an die Meßstrecke heran. Daß man bei Zerstreuungslinsen die Scheiteltiefe zu der gemessenen Länge hinzuzählen muß, braucht man eigentlich nicht eigens zu sagen.

δ) *Der Einfluß des Brillenglases auf den äußeren Akkommodationserfolg.*

**Der äußere Akkommodationserfolg  $\mathcal{A}_k$  und die Refraktion A.** Wenn wir bisher jede Akkommodationsanspannung aus unserer Betrachtung ausgeschlossen haben, so sei jetzt der Einfluß der Brille auf den Erfolg der Akkommodation mit ein paar Worten erledigt. Auf eine eingehendere Begründung muß verzichtet werden. Die Verhältnisse sind lange bekannt. Eine strenge, allgemein gültige Darstellung für die Brillengläser verdanken wir M. v. ROHR.

Wieder handelt es sich um die Abhängigkeit einer Größe von zwei unabhängigen Veränderlichen, nämlich von der Akkommodationsbreite  $A_k$  des Auges und der Stärke des Glases. Die Schichtendarstellung (Abb. 22) erläutert auf einen Blick die Erscheinungen.

Beispiele:

A	+ 5	— 5	— 14,5 dptr
$A_k$	— 3,5	— 3,5	— 4
$\mathcal{A}_k$	— 3,1	— 4	— 6

Eine Häufung der Schichtlinien besteht in der Gegend der Myopie. Bei der Fernrohrbrille aber ist in der Regel die Verminderung des Akkommodations-

erfolges so groß, daß auch bei jüngeren Leuten die Akkommodationsbreite nicht ausreicht.

**Altersbrillen** ermöglichen bei Akkommodationseinbuße das Nahsehen und werden zu **Lupenbrillen**, wenn sie beim Fehlen aller Akkommodation die Arbeitsfläche im Unendlichen abbilden.

**Die Fernrohrbrille für die Naharbeit.** Bei dem Entwurf der Fernrohrbrille ist auch noch die Frage nach der zweckmäßigen Höhe der Vergrößerung offen. Sie ist beantwortet worden im wesentlichen durch die Berücksichtigung klinischer Gesichtspunkte. Man war ausgegangen von den Verhältnissen des Idealfalles einer Operation nach FUKALA, dem nämlich, daß ein kurzsichtiges Auge nach der Entfernung der Linse eben rechtsichtig geworden sei. Dabei ergibt sich eine 1,3fache Vergrößerung. Diese wählte auch der erste Träger der Versuchsbrillen unter den 3 ihm vorgelegten als die brauchbarste und angenehmste. Doch man hat heute die 1,3fache Vergrößerung verlassen und führt nur noch die 1,8fache. Auch ihr ursprüngliches Hauptanwendungsgebiet, das der hochgradigen Kurzsichtigkeit, besitzt nicht mehr die alte Bedeutung. Nach meinem Eindruck ist eine Verschiebung zur Rechtsichtigkeit hin erfolgt. Die Mehrzahl der Schwachsichtigen wird nicht von den Kurzsichtigen gestellt, sondern wie unter gesunden Augen dürften auch unter den durch Verletzungen und Krankheiten schwachsichtig gewordenen die der Rechtsichtigkeit nahen Brechungs-

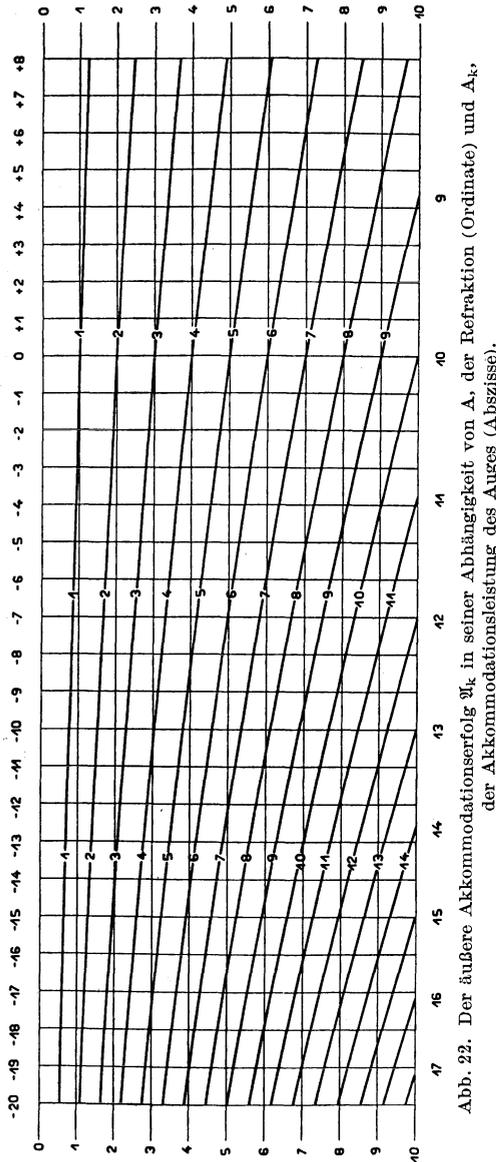


Abb. 22. Der äußere Akkommodationserfolg  $A_k$  in seiner Abhängigkeit von  $A$ , der Refraktion (Ordinate) und  $A_k$ , der Akkommodationsleistung des Auges (Abszisse).

zustände die häufigsten sein. Der Krieg hat vorwiegend die Schwachsichtigen dieser Art vermehrt.

Eine Überlegung wegen der Stärke der Vergrößerung fällt heute weg, weil eine eigentliche Brille, d. h. eine Sehhilfe in einem auf der Nase ruhenden Brillengestell verlangt wird. Da gibt es nur die eine Fernrohrbrille von 1,8facher Vergrößerung. Die frühere Wahl der schwächeren 1,3fachen Vergrößerung ist verständlich, wenn man bedenkt, daß ganz natürlicherweise in der Zeit, als man solche punkt-

mäßig abbildenden Fernrohrbrillen plante, an eine dauernd zu tragende Fernbrille gedacht wurde. Beim Gehen auf der Straße wird eine stärkere Vergrößerung Störungen verursachen können, weil ja jede Körperbewegung, Kopfdrehung, Erschütterung ebensooft vergrößert wird, und überdies das Blickfeld im allgemeinen mindestens entsprechend der Vergrößerung abnimmt. Ein weiter Überblick ist dabei erwünscht und noch erwünschter als die Vergrößerung, denn es kommt dem Menschen eben nur darauf an, Hindernisse beim Gehen zu erkennen, wenn er seinen Weg ohne Störung verfolgen will. Es ist für die Sicherheit des Trägers ziemlich gleichgültig zu sehen, ob ein Wagen, der daherkommt, etwa zerkratzte Wände hat oder gut lackiert ist, auf jeden Fall muß er einen Zusammenstoß vermeiden. Das wird der Kurzsichtige aber um so sicherer können, je früher, besonders auch von der Seite her, er diesen Wagen herankommen sieht. In dieser Beziehung wird, wie schon gesagt, der Verzicht auf Vergrößerung zugunsten der Feldgröße im allgemeinen ein Vorteil sein.

Andererseits verlangt die Naharbeit genaueres Erkennen von Einzelheiten, und infolgedessen verstehen wir hier die Forderung nach einer Steigerung der ursprünglich gewählten schwachen Vergrößerung. Doch ist damit der Wunsch der Leute noch keineswegs erfüllt. Aus leicht verständlichen Gründen legen sie viel seltener Wert auf ein gutes Sehen in großer Entfernung, als vielmehr auf eine Verbesserung für die Nähe.

Es erhebt sich daher regelmäßig die Frage, was für eine dingseitige Zusatzlinse gegeben werden soll. Daß grundsätzlich eine solche für das Nahsehen zu geben sei, daran ist mit Rücksicht auf die erhöhten Anforderungen, die von der Fernrohrbrille an die Akkommodation gestellt werden, festzuhalten. Das empfiehlt sich für unsere Überlegungen deshalb, weil dann die Verhältnisse der Vergrößerung ganz einfach und durchsichtig bleiben. Die Beantwortung der aufgeworfenen Frage kann nicht erfolgen, ohne daß die Voraussetzungen und die Aufgabe klargelegt sind, ganz ähnlich wie bei der Verordnung des Nahglases für alte Leute überhaupt. Es ist also zunächst die Gegenfrage zu stellen, was soll der Bedürftige mit der Fernrohrbrille anfangen, was für eine Tätigkeit soll er damit ausüben; im einfachsten Fall etwa, welche Schrift muß bei der Ausübung des Berufes entziffert werden. Nehmen wir an, eine Schrift wie die Probe NIEDEN Nr. 3. Die zweite Vorfrage lautet: Was für eine Sehschärfe liegt vor? Wird mit dem gewöhnlichen Glas eine Sehschärfe von  $\frac{5}{18}$  erreicht, dann hebt die Fernrohrbrille die Sehschärfe auf  $\frac{5}{10}$ . Denn das Netzhautbild der Schriftzeichen wird 1,8fach vergrößert, so daß die Zeichen der Tafel in der 1,8fachen Entfernung erkannt werden müssen, und die Sehschärfe sich jetzt ergibt zu  $\frac{1,8 \cdot 5}{18} = \frac{5}{10}$ . Das Auge kann für unsere Frage des Nahsehens mit seiner Fernrohrbrille zusammen nun behandelt werden wie ein emmetropisches Auge ohne Brille mit der Sehschärfe  $\frac{5}{10}$ , dem die Aufgabe gestellt ist, NIEDEN Nr. 3 zu lesen.

Verwenden wir jetzt die NIEDENSche Tafel nicht anders, als wir es mit einer Sehprobentafel für die Ferne gewohnt sind, so ließe sich daraus die Sehschärfe ermitteln. Könnte der Fernrohrbrillenträger in der Entfernung X NIEDEN Nr. 3

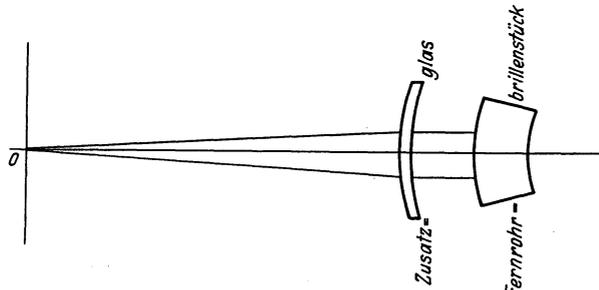


Abb. 23. Das dingseitige Zusatzglas (Nahglas) vor der Fernrohrbrille.

entziffern, so wäre die Sehschärfe  $= \frac{X}{0,6}$ . Da wir aber angenommen haben, daß das Nahsehen bei entspannter Akkommodation also mit Hilfe eines Nahzusatzglases erfolgen soll, so haben wir auch die gleiche Sehschärfe zu erwarten wie beim Lesen an der Ferntafel, und es muß daher gelten

$$\frac{X}{0,6} = \frac{5}{10}; \text{ woraus folgt } X = 0,6 \cdot \frac{5}{10} = 0,3 \text{ m.}$$

Die Schrift NIEDEN Nr. 3 muß in 30 cm gehalten werden oder näher: wenn der Mann mit der Fernrohrbrille Schriftzeichen in 5 m Entfernung erkennt, die ein Durchschnittsauge in 10 m liest; wenn also der Schwachsichtige die Proben nur in der halben Entfernung erkennt wie der Normale, so muß ihm auch NIEDEN Nr. 3, das von den meisten in 60 cm gelesen wird, in der halben Entfernung dargeboten werden, also in 30 cm. Das zu verordnende Nahglas + 3,0 dptr sorgt nur dafür, daß das Bild des in genügender Nähe liegenden Schriftblattes deutlich auf der Netzhaut abgebildet wird. Wird mit der Fernrohrbrille nur  $\frac{5}{25} = \frac{1}{5}$  erreicht, und soll NIEDEN Nr. 1 gelesen werden, so muß diese Schrift NIEDEN Nr. 1 auf  $\frac{40}{5} \text{ cm} = 8 \text{ cm}$  herangebracht werden. Für das dingseitige Zusatzglas wäre also die Brechkraft + 12,5 dptr nötig.

Ähnlich erledigt sich die Frage: Was für eine Schrift kann in 25 cm bei einer gegebenen Sehschärfe noch gelesen werden?  $\frac{0,25 \text{ m}}{n} = S$ . Ist S durch die Fernproben zu  $\frac{1}{4} = 0,25$  bestimmt, so ergibt sich  $n = \frac{0,25 \text{ m}}{0,25} = 1 \text{ m}$ . Das ist NIEDEN Nr. 7.

Schließlich muß noch ein dritter Fall überlegt werden. Manchmal ist die Wahl der Arbeitsentfernung nicht in das Belieben des Einzelnen gestellt. Vielmehr muß eine Mindestentfernung eingehalten werden (z. B. Arbeiter an Maschinen, wie Drahtweber). Ist weiter verlangt, daß zugleich gewisse feine Unterscheidungen (Drahtdicke, Maschengröße) durchgeführt werden sollen, dann ist durch die zwei Umstände ein Mindestbetrag von Sehschärfe bestimmt, der zur Ausübung dieser Berufstätigkeit erforderlich ist. Erreicht das Auge des Arbeiters diese Sehschärfe nicht, so bleibt als einziges Mittel eine vergrößernde Brille übrig. Es muß eine Brille von der Art der Fernrohrbrille sein. Denn das für schwachsichtige Zeitungsleser übliche Mittel der starken Sammelläser schlägt hier nicht an, weil die Verkürzung des Dingabstandes, die erst die starken Sammelläser wirksam macht, hier nicht zulässig ist. In einem solchen Falle kommt erst die wertvolle Eigenschaft der Fernrohrbrille zum Vorschein: nämlich die Vergrößerung bei großem Arbeitsabstand im Gegensatz zur Lupe. (Hier muß im Zusammenhang der andere Vorzug erwähnt werden: das im Vergleich zur Lupe große Feld, dessen Ausdehnung ungefähr umgekehrt proportional ist zur Vergrößerung.)

Ob die eben gestellte Forderung überhaupt zu erfüllen ist, hängt natürlich von den Mitteln ab, die aufgewendet werden können. Wären etwa Dinge zu unterscheiden von der Feinheit der NIEDENSchen Schrift Nr. 1, und zwar in 30 cm, so wird eine Sehschärfe von  $\frac{3}{4}$  ( $= \frac{0,3}{0,4}$ ) verlangt. Ist die vorliegende Sehschärfe aber nur  $\frac{1}{2}$ , so wäre Hilfe mit einer Fernrohrbrille zu bringen, die die Sehschärfe  $\frac{1}{2}$  mindestens auf  $\frac{3}{4}$  hebt. Sie müßte also vergrößern

$$V \cdot \frac{1}{2} = \frac{3}{4}, \text{ woraus folgt } V = 2 \times \frac{3}{4} = 1,5.$$

Die im Handel befindliche Fernrohrbrille würde also dazu ausreichen.

Ähnlich liegen die Fälle, wo ein Kurzsichtiger (Schwachsichtiger) die Fernrohrbrille schätzen lernt, weil er ohne Glas bei der Möglichkeit genügender

Annäherung eine oft stärkere und natürlich sehr viel billigere und bequemere Vergrößerung besitzt. Billiger nicht im Hinblick auf die Geldausgaben, sondern hinsichtlich der mit dem Tragen einer Fernrohrbrille verbundenen Unbequemlichkeit und der Feldverkleinerung. Häufig ist das Klavier- und Vielinespielen eine solche Aufgabe.

Werden die Anforderungen noch größer, soll etwa NIEDEN Nr. 1 in 40 cm erkannt werden, besteht aber nur Sehschärfe  $\frac{1}{2}$ , so ist die verlangte 2fache Vergrößerung mit der Fernrohrbrille nicht mehr zu erreichen. Dann sind Fernrohlupen am Platze, von welchen aber hier nicht weiter gesprochen werden soll.

Im übrigen ist es nicht unnötig, besonders auf die erhebliche Feldbeschränkung aufmerksam zu machen, die sich bei den Fernrohrbrillen um so unangenehmer fühlbar macht, je stärker die Schwachsichtigkeit, bzw. je kürzer ihretwegen die Dingweite gewählt wird. Mir erscheint diese Art der Brillenwahl bequemer, als die mit der HENKERSchen Tafel. Sie ist in einer Arbeit erschienen; die sehr viel Wissenswertes über die Leistung von Hilfsmitteln für Schwachsichtige bringt: [HENKER (d)].

b) Der Fall dünner Bündel von endlicher Achsenneigung der Hauptstrahlen. (Das blickende Auge dreht sich hinter dem Brillenglas.)

Unsere bisher durchgeführten Betrachtungen waren dadurch umgrenzt, daß die Wirkung des Glases nur entlang seiner Achse untersucht wurde, und zwar unter der Voraussetzung der GAUSSischen Bedingungen. Damit war, wenn es auch nicht besonders hervorgehoben wurde, nur das direkte Sehen in einer einzigen Richtung (also der Blick des ruhenden Auges in der Richtung der Glasachse) zugelassen, das indirekte Sehen aber und die übrigen Richtungen des direkten waren ausgeschlossen. Wir treten jetzt aus diesen engen Grenzen heraus, indem wir die Annahme des ruhenden Auges fallen lassen und das in seiner Höhle bewegte, das blickende Auge untersuchen. Wir halten aber weiterhin die Einschränkung fest, daß nur das direkte Sehen in den Kreis unserer Betrachtungen gezogen werden soll.

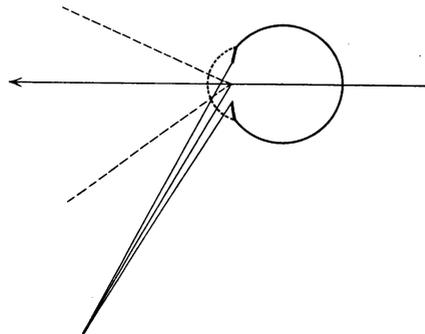


Abb. 24. Das Gesichtsfeld des ruhenden Auges.

#### a) Der Einfluß auf die Perspektive.

Die Perspektive des indirekten Sehens. Bevor wir zur Brille übergehen, sei über den Sehvorgang ein kurzes Wort gestattet. Die optische Flächenfolge des Auges hat nur eine Blende und ein ungeheuer großes Gesichtsfeld von etwa  $150^\circ$  bis  $110^\circ$  scheinbarem Durchmesser. Jeder Punkt dieses Gebietes der hellen Außenwelt schickt ein Lichtbündel in das Auge. Von diesen sich in der Pupille kreuzenden Bündeln ist eines bevorzugt, das nämlich, das sein Bild in die Netzhautgrube (Fovea centralis) entwirft. Dank der Güte der Strahlenvereinigung in dieser Richtung und der anatomisch-physiologischen Auszeichnung dieser Netzhautstelle findet hier die deutlichste Wahrnehmung statt. Nach den Seiten hin fällt die Sehschärfe bekanntlich rasch ab (DOR, WERTHEIM; s. S. 385 in diesem Band). Diese nicht zur Netzhautgrube führenden dingseitigen Richtungen bilden

als Gesamtheit der dingseitigen, durch die Pupillenmitte verlaufenden Bündelachsen die *Perspektive des indirekten Sehens*.

**Die Perspektive des direkten Sehens.** Wollen wir aber vom Aussehen eines Gegenstandes in seiner ganzen Ausdehnung eine genaue Kenntnis erwerben, so muß einer nach dem andern wenigstens seiner wesentlichen Punkte auf der Netzhautgrube abgebildet werden. Dazu muß sich das Auge mit seiner „Achse“ auf die verschiedenen Dingpunkte richten. Es dreht sich dabei in seinem Lager annähernd

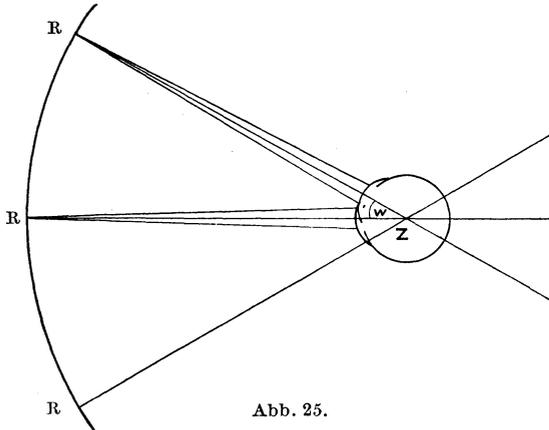


Abb. 25.

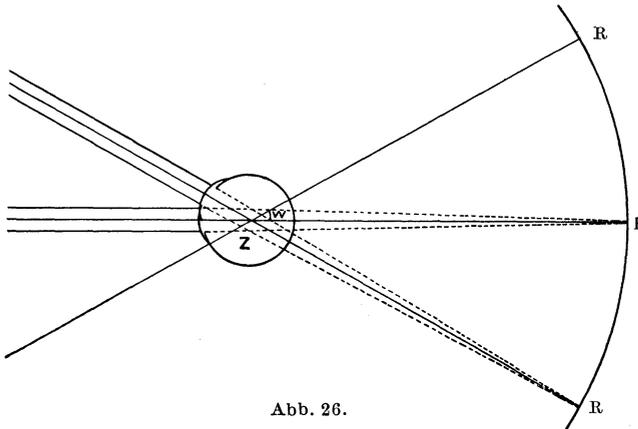


Abb. 26.

Abb. 25 u. 26. Die Fernpunktskugeln für ein stark kurz- und ein stark übersichtiges Auge.

um einen Punkt in seinem Innern, um den *Augendrehpunkt*; die dingseitigen Richtungen, die die Achse nacheinander annimmt, kreuzen sich im Augendrehpunkt, und ihre Gesamtheit bildet die *Perspektive des direkten Sehens*. Bei dieser Drehung läuft die Pupille auf einer Kugeloberfläche. In jeder neuen Stellung des Auges hat somit das Zentrum des indirekten Sehens einen andern Ort; auch ein fehlsichtiges Auge dreht sich in der geschilderten Weise. Es erhält im wesentlichen die gleiche Perspektive, nur sind die Bilder im allgemeinen undeutlicher als beim rechtsichtigen Auge.

**Die Fernpunktskugel.** Nehmen wir ein fehlsichtiges achsensymmetrisches Auge in Akkommodationsruhe an, so sieht man, daß der dabei im Endlichen liegende Fernpunkt *R* beim Übergang aus einer in eine andere Augenstellung einen Kreisbogen beschreibt bzw., daß

er bei einer weiteren Drehung, da sich in Wirklichkeit alles im dreidimensionalen Raum abspielt, auf einer Kugelschale läuft, der *Fernpunktskugel* v. ROHRs. Wird ein anderer Akkommodationszustand angenommen und bei den Blickbewegungen festgehalten, so ändert sich nur die Länge des Kugelhalbmessers; an die Stelle der Fernpunktskugel treten andere *Schärfenkugeln*.

**Der Einfluß der Brille auf den Sehvorgang bei bewegtem Auge.** Greifen wir nun zurück zu unserem eingangs als Idealforderung erwogenen Ziel eines Glasausgleiches, der dem Brillenträger durch sein Glas womöglich denselben Sehvorgang vermitteln soll, wie er dem rechtsichtigen Auge eignet. Was würde das für das hier in Rede stehende direkte Sehen bedeuten? Beschränken wir uns auf unendlich ferne Dingpunkte, dann müßte das Brillenglas, die von

den verschiedenen fernen Dingpunkten kommenden dünnen Bündel jeweils auf der Fernpunktskugel zum Schnitt bringen, zum Bildpunkt vereinigen, und zwar ebenso, wie wir es vorher für die Glasachsenrichtung gesehen haben, d. h. Deutlichkeit, Größe und Richtung müßten gleich sein wie bei einem rechtsichtigen Auge, dessen Drehpunkt den gleichen Ort einnimmt.

Wir haben jetzt zu untersuchen, ob diese Forderung von den Brillen erfüllt werden wird, bzw. in welchen Grenzen sie erfüllt werden kann. Durch die Verfolgung der Strahlen in umgekehrter Richtung aus der Netzhautgrube (Fovea centralis) nach außen durch die Hornhaut — eine Überlegung, die wir eingangs für das ruhende Auge durchgeführt haben — wissen wir, wie das Strahlenbündel beschaffen sein muß, wenn es auf der Netzhaut des vorliegenden fehlsichtigen Auges vereinigt werden soll. Durch die Blickbewegung ändert sich nichts an dem Bündel als seine Gesamtrichtung. Wie die von den unendlich fernen Dingpunkten ausgeschickten und zum Eintritt ins Auge durch die Blende

zugelassenen Bündel gebaut sind, wissen wir auch. Es sind eben dünne Bündel, jeweils aufgebaut, aus Strahlen unter sich gleicher Richtung. Wir kennen die Beziehungen beider von unserer eingangs (s. S. 752 u. 753) für die Glasachsenrichtung durchgeführten Untersuchung und wissen, daß dort die Umwandlung des einen (dingseitigen) Bündels in das geforderte (augenseitige) nach Wunsch erfolgt. Man könnte die Untersuchung so durchführen, daß man die aus dem Auge austretenden Bündel weiterhin auch durch das Glas durch verfolgt und zusieht,

ob jedes Bündel, wie es nach unserer Forderung sein müßte, in einem unendlich fernen Dingpunkt zur Vereinigung kommt, und ob dieser Punkt wirklich derselbe ist, den das gleichgerichtete freie rechtsichtige Auge deutlich sieht, d. h. ob er in der Richtung des aus dem Auge ausgetretenen Hauptstrahles liegt oder nicht.

Man könnte den Strahlengang im Augenraum eines sammelnden Glases dadurch einigermaßen nachahmen, daß man das Auge ganz wegläßt, an den Ort des Augendrehpunktes eine der Pupillengröße etwa gleichkommende Blendenöffnung bringt und auf einer zu ihrer Mitte konzentrischen Kugel einen leuchtenden Punkt beliebig verschiebt. Ein Brillenglas würde dann genau in der von unserer Überlegung vorgeschriebenen Weise, nur in umgekehrter Strahlenrichtung, durchstrahlt. In einem gegebenen Zeitpunkt, d. h. in jeder Stellung der Lichtquelle kommt wie beim natürlichen Gebrauch des Glases im direkten Sehen jeweils nur ein kleiner Teil der Scheibe zur Wirkung. Die Querschnittgröße des Bündels wird von der Größe der Augenpupille, hier durch die entsprechend gewählte Blendenöffnung bestimmt. In der Richtung der Glasachse ist es bei kreisförmiger Blende (Pupille) ein kleines Gebiet um den Scheitel herum, bei anderen Richtungen ein mehr oder weniger davon entferntes, nicht viel größeres, etwas anders, elliptisch, geformtes. In der Glasachse ist es ein seitlich durch einen Kegelmantel begrenztes Stückchen, bei dem die Tangentialebenen im Durchstoßungspunkt des mit der Glasachse zusammenfallenden Hauptstrahles einander parallel laufen. Auf diesen Hauptstrahl wirkt das Scheitelstückchen wie eine Glasscheibe mit gleichgerichteten ebenen Flächen,

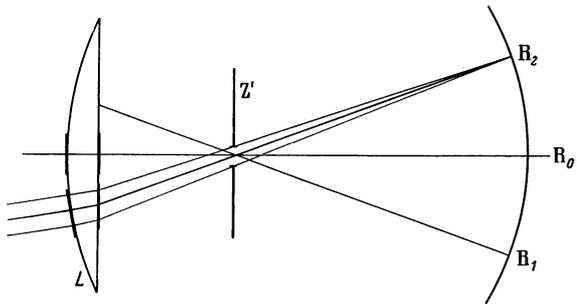


Abb. 27. Das fehlsichtige (übersichtige) Auge hinter einem (sammelnden) Brillenglase ersetzt durch die Hinterblende  $Z'$  am Orte des Augendrehpunktes. Man beachte, daß das von dem schiefen Bündel durchsetzte Linsenstück auf den Hauptstrahl als Keil (Prisma) wirkt.

die von Senkrechten getroffen werden. Der Strahl geht ohne Ablenkung hindurch. Über die Wirkung auf die anderen zum Bündel gehörenden, den Hauptstrahl umhüllenden Strahlen wissen wir von unseren früheren Überlegungen Bescheid. Sie erhalten nach der Wahl der Flächenkrümmung die vorgeschriebene gegenseitige Neigung auf den Fernpunkt hin, wenn wir wieder die wahre Lichtrichtung gelten lassen.

Optisch gesprochen stellt sich dann die Aufgabe für den Rechner bei drehenden Brillengläsern dar als die einer Hebung des Astigmatismus schiefer Bündel (s. S. 488 f.) für eine Einzellinse mit der Hinterblende in einem festen (von der Stärke unabhängigen) Achsenabstände ( $S'Z' = 25$  mm) gemessen von dem inneren Brillenscheitel.

**Die Scheitelkugel.** Zur Wiedergabe der rechnerisch ermittelten Größe auf den Bildern (namentlich für die astigmatischen Brillengläser) mag noch eine Bemerkung eingeschoben werden.

Die Rechenergebnisse für die Abstände der Bildpunkte (seien sie positiv wie bei sammelnden oder negativ wie bei zerstreuenden Brillengläsern) werden auf der allgemeinen

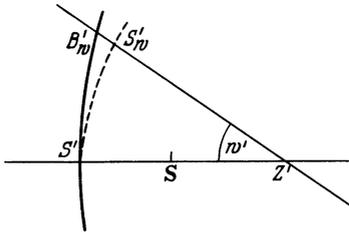


Abb. 28. Die Einführung der Scheitelkugel mit dem Halbmesser  $S'Z'$  als Bezugsfläche zu strenger Vergleichbarkeit der Rechenergebnisse.  $S$  der Ort des Hornhautscheitels beim Blick längs der Brillenachse.

Blickrichtung  $B'wZ'$  mit der Neigung  $w'$  von dem zugehörigen Einfallspunkt  $B'w$  aus auf der unter  $w'$  geneigten Geraden gemessen (s. Abb. 28). Da nun die augennahe Fläche im allgemeinen ihren Krümmungsmittelpunkt nicht in  $Z'$  hat, so kann die Beziehung auf die Einfallspunkte  $B'w$  Irrtümer dadurch hervorrufen, daß die Bezugspunkte  $S'w$  und  $B'w$  von den verschiedenen Orten des Hornhautscheitels  $S$  verschiedene Abstände haben. Da längs der Achse die Lage des Scheitels  $S'$  den Scheitelbrechwert  $A'_\infty$  bestimmt, so wird es sich zu strenger Vergleichbarkeit der Rechenergebnisse empfehlen, die schiefen Bildabstände auf die durch  $S'$  gelegte und um  $Z'$  beschriebene *Scheitelkugel* zu beziehen.

**Die Ablenkung der Hauptstrahlen beim schiefen Durchtritt durch das Brillenglas.** Die Tangentflächen des vom geneigten Strahl

durchsetzten seitlichen Glasstückes schließen einen Winkel ein, bilden also ein Prisma und lenken daher den Hauptstrahl ab. Damit ist eine Abweichung von dem Sehvorgang beim freien Auge eingeführt, deren Folgen später noch genauer zu untersuchen sind. Auch von der Wirkung auf das Strahlenbündel, das zu diesem abgelenkten geneigten Hauptstrahl gehört, können wir schon von vornherein aussagen, daß sie ganz allgemein gefaßt anders ausfallen muß als in der Achse, somit anders als die Vorschrift verlangt. Diese Aussage können wir deshalb machen, weil die für die Achsenrichtung gültige GAUSSISCHE Bedingung nicht erfüllt ist, eine Bedingung, von der die für die Achse erwünschte und erzielte Wirkung durchaus abhängig ist. Wenn wir nach Voraussetzung nur dünne Bündel zulassen, so haben diese entgegen der GAUSSISCHEN Bedingung eine endliche Neigung zum Flächenlot. Ein spitzes konzentrisches Bündel bleibt dann nach der Brechung eben nicht mehr spitz. (Über die Art des Bündelaufbaues ist alsbald genauer zu handeln.)

Man sieht leicht ein, daß wir bei unserer Betrachtung wieder einen etwas eigentümlichen Gang gewählt haben, der aber berechtigt und zweckmäßig scheint, weil er von einfacheren zu verwickelteren und vor allem von im allgemeinen bekannteren zu weniger bekannten Verhältnissen führt. Wir haben nämlich jetzt erst beim blickenden Auge den allgemeinen Fall der Brillenbenutzung bzw. einer Linsenwirkung vor uns, der zugleich auch der häufigere ist, während in dem eingangs gewählten ein weniger häufig vorkommender, aber besonders einfacher Sonderfall dieses allgemeinen durch die eingehaltenen Beschränkungen herausgehoben worden war. Merkwürdig ist dieser Fall schon

von vornherein darum, weil hier eine Verbindung zweier optischer Geräte vorliegt, deren eines ruht, während das andere sich bewegt, so daß sich, streng genommen, für jede Stellung des blickenden Auges ein neues indirektes Sehen als Aufgabe der Untersuchung darbietet.

β) *Der Astigmatismus schiefer Bündel.*

Es ist jetzt zu untersuchen, welche Folgen aus den beiden eben angedeuteten neuen, d. h. von der Wirkung des Glases in der Achsenrichtung abweichenden Erscheinungen erwachsen. Da die Frage nach der Bildgüte ohne Zweifel allen anderen vorgeht und diese von der Strahlenvereinigung abhängt, so soll auch zunächst die Wirkung des Glases auf das dünne, in endlicher Neigung zur Achse einfallende Bündel betrachtet werden (s. S. 671, Abb. 173).

Für alle Blickrichtungen seitlich von der Mitte wird also das Brillenglas immer schief von den Strahlen durchsetzt. Wir brauchen daher nur auf S. 488f.

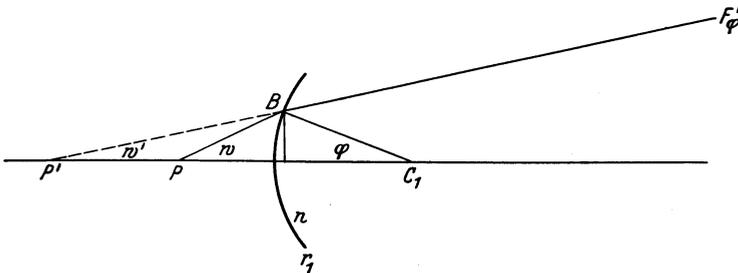


Abb. 29. Zur Erläuterung des Tscherningschen Vorgehens.

dafür zurückzuverweisen, daß es sich für Linsen allgemeiner Form um die Fehler schiefer Bündel handeln wird. Beschränkt man sich auf die einfarbigen (monochromatischen) Abweichungen, so werden hier der Astigmatismus schiefer Bündel und die Verzeichnung in Betracht kommen. Schon auf S. 491 war auf die Erscheinung hingewiesen worden, daß astigmatische Linsen bestenfalls Linien einer gewissen Richtung (*abbildbare Linien*) als Linien erscheinen lassen können, daß aber ein Kreuz von ihnen unter allen Umständen mit großer Unschärfe wiedergegeben werden muß. Da es sich hier um die Erzielung eines deutlichen Bildes handelt, so werden wir uns zunächst die Aufgabe stellen, den Astigmatismus schiefer Bündel wenn möglich zu vernichten.

**Der Ausgleich des Astigmatismus schiefer Bündel.** Bereits früh, jedenfalls schon um 1719, war es guten Beobachtern aufgefallen, daß Menisken eine bessere Verteilung der Abbildungsfehler besitzen; seit 1804 hatte (s. S. 746) W. H. WOLLASTON eine ziemlich starke Durchbiegung für seine periskopischen Brillengläser vorgeschlagen, doch konnte er bei seinem Brillenhersteller keine wirkliche Durchführung seiner Gedanken erreichen. Nach anderen unvollkommenen Versuchen nahm FR. OSTWALT seit 1898 die Aufgabe auf, in einem Brillenglas für eine achsenrechte Augenlage den Astigmatismus schiefer Bündel zu heben, und zwar suchte er die richtige Form durch „Pröbeln“ (ausprobieren) auf dem Papier zu erreichen. Dabei ging er dem Wunsche nach, durch strenge trigonometrische Rechnung (unter Benutzung der Formeln von S. 491) die Hebung des Astigmatismus schiefer Bündel für eine endliche Hauptstrahlneigung darzutun.

**Das Tscherningsche Vorgehen.** Ein solches unserer Ableitung gut entsprechendes Verfahren ist von vornherein einleuchtend und streng, liefert aber wie alle auf Pröbelrechnungen gegründeten Aussagen keinen deutlichen Überblick über den Zusammenhang

der möglichen Lösungen. In Gegensatz dazu steht das 1899 von M. TSCHERNING zuerst hierfür empfohlene analytische Verfahren.

Da es ausgeschlossen ist, daß man hier das TSCHERNINGSche Verfahren im einzelnen schildert, so wollen wir den Gang der Ableitung in großen Zügen angeben.

Wenn wir die Hauptstrahlen vor der Kugelfläche  $C_1$ ,  $r_1$  (s. Abb. 29) von einem im Endlichen liegenden Kreuzungspunkt P ausgehen lassen, so handelt es sich bestimmt um eine Neigung  $w$  im Ding- und  $w'$  im Bildraum, wenn man dem Kugelwinkel  $\varphi$  eine gewisse Größe erteilt. (S. a. Abb. 11a u. b S. 468; dort steht i u.  $i'$  statt j u.  $j'$ .)

Hatte man im GAUSSischen Raum die Kugelwinkel unendlich klein angenommen, so geht man für diese Überlegung aus dem fadenförmigen Raum etwas hinaus, indem man Winkel  $\varphi$  von solcher Größe berücksichtigt, daß erst die 3. und höhere Potenzen vernachlässigt werden, während man die Glieder mit  $\varphi^2$  in der Rechnung mitnimmt. Es ist ganz klar, daß man für ein gegebenes kleines  $\varphi$  das zugehörige  $w$  und  $j$ ,  $j'$ , die Pfeilhöhe, die Größe PB usw. berechnen kann, und zwar erscheinen dort Ausdrücke mit  $\varphi^2$ .

Beachtet man, daß in den Gleichungen für die schiefen Schnittweiten

$$\frac{n \cos^2 j'}{t'} - \frac{\cos^2 j}{t} = \frac{n \cos j' - \cos j}{r_1}; \quad \frac{n}{f'} - \frac{1}{f} = \frac{n \cos j' - \cos j}{r_1}$$

von Winkelfunktionen nur der Cosinus vorkommt, der eine gerade<sup>1</sup> Funktion ist, so erkennt man, daß man — zunächst für einen fernen Gegenstand ( $t = \infty = f$ ) — für  $t'$  und  $f'$  Glieder ohne  $\varphi$ , aber mit  $\varphi^2$  erhalten wird.

Beschränkt man sich der Einfachheit wegen auf dünne Linsen, so kann man aus der zweiten Fläche  $C_2$ ,  $r_2$  ein von  $\varphi_1$  abhängiges  $\varphi_2$  berechnen und in ähnlicher Weise wie in diesem Falle die Glieder bestimmen, die wieder ohne  $\varphi_1$ , aber mit  $\varphi_1^2$  multipliziert sind, und erhält schließlich einen Ausdruck für  $B_2' F_t'$  und für  $B_2' F_f'$ , die beiden Brennpunkte der felgen- (sagittalen) und der speichenrechten (tangentialen) Büschel.

Natürlich sind nicht mehr viele Größen verfügbar, denn den Abstand von P' von der letzten Fläche wird man so wählen, daß man den Augendrehpunkt Z' mit ihm zusammenbringen kann. Ferner wird man nur den ersten Radius  $r_1$  frei wählen können, der zweite Halbmesser  $r_2$  wird durch die vorgeschriebene Brechkraft

$\frac{1}{f_1'}$  des Brillenglases aus der bekannten Gleichung bestimmt:

$$\frac{1}{f_1'} = (n - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

Der Unterschied

$$B_2' F_t' - B_2' F_f' = B_2' F_f' + F_f' F_t' - B_2 F_f' = F_f' F_t'$$

enthält ein Glied mit  $\varphi^2$ , denn dieser Astigmatismus muß ja für  $\varphi = 0$ , d. h. für die Achse, verschwinden.

In dem Ausdruck kommt die Brechzahl  $n$ , die Brechkraft  $D_1$ , der Blendenabstand  $\xi$  und der Halbmesser  $r_1$  vor, und zwar hat er etwa die Form

$$A_2 \varphi_1^2 + A_1 \varphi_1 + A_0; \quad \varphi_1 = \frac{1}{r_1},$$

wo die A-Größen nur von  $n$ ,  $D_1$  und  $\xi$  abhängen, die bei einer bestimmt vorliegenden Aufgabe fest gegeben sind.

Setzt man

$$A_2 \varphi_1^2 + A_1 \varphi_1 + A_0 = 0,$$

so verschwindet der Astigmatismus schiefer Bündel für den kleinen Wert  $\varphi_1$  und man kann (mit GULLSTRAND) von einer (punktuellen) *punktmäßigen* (d. h. vom Astigmatismus schiefer Bündel freien) *Abbildung* in diesem Winkelbereich sprechen.

Zu dieser ganzen Überlegung sind aber verschiedene Bemerkungen zu machen.

Was die festen Werte angeht, so wird man für  $n$  meist nach S. 463 den Wert  $n_D = 1,523$  wählen. Der Einfluß von anderen Werten der Brechzahl auf  $A_2$ ,  $A_1$  und  $A_0$  ist nicht sehr groß.

Für  $\xi'$  setzt man meistens 25 mm, weil dann die augennahe Brillenfläche von den Wimpern nicht beschmutzt wird. Ein größerer Wert, etwa  $\xi' = 28$  mm, führt zu einem

<sup>1</sup> Man sieht aus dem nebenstehenden Bilde (Abb. 30), daß  $\cos \alpha = \frac{AC}{BC} = \cos(-\alpha)$  von dem Zeichen von  $\alpha$  unabhängig ist, und kann daraus schließen, daß bei einer Reihenentwicklung nach  $\varphi$  im Cosinus nur gerade Potenzen vorkommen.

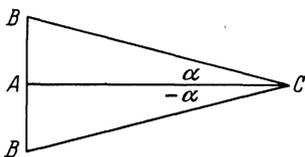


Abb. 30. Der Cosinus als gerade Funktion.

größeren Gewicht der Brillengläser und hat auch noch einen anderen Nachteil, der sogleich besprochen werden wird.

Was  $D_1$  angeht, so sind offenbar viele verschiedene Aufgaben zu lösen, da man je nach den Anforderungen des brillenbedürftigen Auges sehr verschiedene Werte für  $D_1$  einzusetzen haben wird.

Da für  $\varrho_1$  eine quadratische Gleichung besteht, so sind die drei Fälle möglich:

1. zwei reelle Wurzeln,
2. eine reelle (doppelt zu zählende) Wurzel,
3. zwei imaginäre Wurzeln.

Schon der einfache Fall, daß von einem außerhalb des Kreises C (s. Abb. 31) liegenden Punkte A geradlinige Strahlen gezogen werden sollen, liefert eine brauchbare Veranschaulichung dieser Möglichkeiten: Die Strahlen haben mit dem Kreisumfang entweder (1) zwei reelle Punkte, (2) einen zusammenfallenden Punkt oder (3) keinen reellen Punkt gemeinsam.

Folgt man nun dem Vorgange M. TSCHERNINGS und stellt für die unabhängigen Veränderlichen  $\varrho_1$  und  $D_1$  die Kurve dar, für die

$$A_2 \varrho_1^2 + A_1 \varrho_1 + A_0 = 0$$

gilt, so erhält man eine bestimmte Ellipse, die hier für  $\xi' = 28$  mm dargestellt (s. Abb. 32) ist, und erkennt leicht, daß reelle Lösungen nur liegen zwischen

$$-21 \cdot 3 \text{ dptr} \leq D_1 \leq 7 \text{ dptr}; (\xi' = 28 \text{ mm}).$$

An den beiden Grenzwerten gibt es nur je eine (doppelt zählende) Lösung, während für alle Zwischenstärken zwei verschiedene  $\varrho_1$ -Werte, ein größerer (mit kürzerem Halbmesser oder stärkerer Durchbiegung) und ein kleinerer (mit längerem Halbmesser oder schwächerer Durchbiegung) vorhanden sind. Man hat die Linsen mit stärkerer Durchbiegung als den WOLLASTONSchen Zug zusammengefaßt und ihm den OSTWALTSchen Zug mit den Linsen schwächerer Durchbiegung (und von viel größerer Bedeutung für die Anwendung) gegenübergestellt.

Führt man einen kürzeren Blendenabstand von etwa  $\xi' = 25$  mm ein, so erweitert sich die TSCHERNINGSche Kurve, und man erhält als Grenzen etwa

$$-25 \text{ dptr} \leq D_1 \leq 7\frac{1}{2} \text{ dptr}; (\xi' = 25 \text{ mm}).$$

Die so erkennbare Einschränkung der Grenzen wird immerhin als der oben berührte Nachteil für größere Abstände zwischen Drehpunkt und innerem Brillenscheitel aufgefaßt werden können, wengleich der Hauptteil der Erweiterung auf Linsen für besonders kurzsichtige Augen entfällt, deren geringe Sehschärfe den Vorteil punktmäßiger Abbildung fraglich erscheinen läßt.

Als eine Eigentümlichkeit zu bemerken ist bei den Fernbrillengläsern ( $A = 0$ ) der Umstand, daß der Halbmesser der Vorderfläche nie negativ ausfällt. Abgesehen von einer bestimmten stark zerstreuen Linse eben-hohler Form sind alle Fernbrillengläser nach der Dingseite erhaben. (Vgl. S. 787.)

Wie oben (S. 782) gesagt, war bei der ursprünglichen TSCHERNINGSchen Rechnung die Dicke vernachlässigt, was für Sammellinsen unzulässig ist. Diese

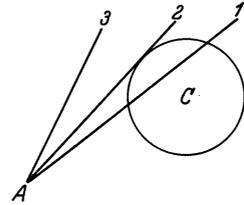


Abb. 31. Zur Veranschaulichung der reellen und der imaginären Wurzeln einer quadratischen Gleichung.

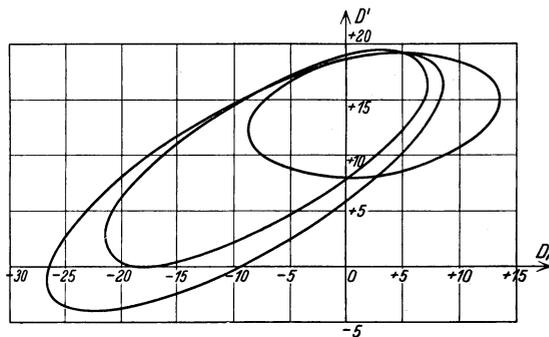


Abb. 32. TSCHERNINGSche und entsprechende Ellipsen. Die innere der beiden auf der linken Seite liegenden Ellipsen mit stark geneigten Hauptachsen ist die TSCHERNINGSche Ellipse für  $a_1 = \infty$ ;  $A_1 = 0$  und  $\xi' = 28$  mm. Die äußere ergibt sich, ebenfalls nach TSCHERNING, für  $\xi' = 28$  mm und  $a_1 = -0,33$  m (s. S. 787). — Die Ellipse rechts oben mit wenig geneigten Hauptachsen gilt für punktmäßig abbildende Lupenbrillen (s. S. 787), ebenfalls für  $\xi' = 28$  mm.

Lücke hat E. WEISS (a) 1920 für die analytische Behandlung in dem Bereich der kleinen Kugelwinkel ausgefüllt.

Diese Überlegungen haben aber auch für endliche Winkel  $w$ ,  $\varphi$  eine Bedeutung, weil die einfache Anlage der Brillengläser mit mäßigen Winkeln  $j$ ,  $j'$  auf sehr geringe Zwischenfehler für Astigmatismus und Bildfeldkrümmung führt. Die mit einer derartigen Vorrechnung ermittelten Formen bedürfen nur einer sehr geringen Verbesserung auf Grund der trigonometrischen Durchrechnung etwa nach dem ursprünglichen Plan FR. OSTWALTS.

### $\gamma$ ) Die Blickfeldfehler.

Am günstigsten für das blickende Auge würde es verständlicherwise sein, wenn die Brennfläche des punktmäßig abbildenden Brillenglasses mit der Fernpunktskugel des brillenbedürftigen Auges<sup>1</sup> zusammenfielen. Leider ist das nur für ganz starke zerstreue Gläser der Fall, so daß dieser Vorteil nur Augen zugut kommt, die infolge geringer Sehschärfe keinen besonderen Vorteil davon ziehen können.

Bei allen anderen Fehlsichtigkeiten muß der für die seitlichen Teile der Brennfläche geändert

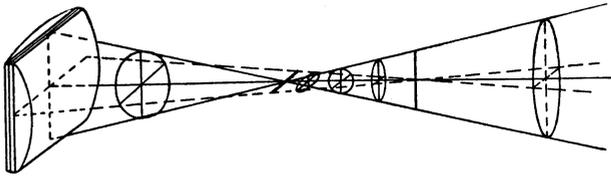


Abb. 33. Übersichtsbild für den Kreis kleinster Verwirrung in einem dünnen astigmatischen Bündel.

Akkommodationszustand werden, und zwar wird für zerstreue Gläser ein Nachgeben, für sammelnde eine Anspannung der Akkommodation verlangt. Da die Erschlaffung über die Fernpunkteinstellung hinaus nicht möglich ist, so hat A. GULLSTRAND 1911 empfohlen,

das kurzsichtige Auge für die Mitte des Feldes ein wenig überzukorrigieren, mit anderen Worten, es hinsichtlich der Akkommodation längs der Achse mit einem schwach übersichtigen Auge vergleichbar zu machen. Bei den so erforderlichen geringen Beträgen der Akkommodationsanspannung, wie sie selbst ziemlich gealterten Augen möglich sind, hat er an seinem Vorschlag nichts Bedenkliches gesehen, der Beurteilern von viel geringerer Erfahrung ebenso neu wie verwunderlich vorkam.

Es fragt sich nun, was zu geschehen hat, wenn das Akkommodationsvermögen wie bei Greisen und bei Linsenlosen gänzlich geschwunden ist. Hier hat A. GLEICHEN 1921 den Vorschlag einer solchen Behandlung der schiefen Bündel gemacht, daß die beiden astigmatischen Bildschalen nicht mehr zusammenfallen, sondern die Fernpunktskugel des brillenbewaffneten Auges (s. S. 778) einschließen. Man kann alsdann auch (s. Abb. 25/26) davon sprechen, daß der Kreis kleinster Verwirrung (s. Abb. 33) mehr oder minder genau im ganzen Blickfelde auf die Fernpunktskugel falle, und hat auch solche Brillengläser als „refraktionsrichtige“, d. h. von *gleicher* Einstellung (im ganzen Blickfelde) genannt. Für Brillenträger mit einer gewissen Akkommodationsbreite haben sie den Nachteil, daß in den seitlichen Teilen des Blickfeldes unter allen Umständen ein unscharfes Bild zustand kommt, und zwar derart, daß dessen Undeutlichkeit nach dem Rand des Blickfeldes mit dem Durchmesser des Kreises kleinster Verwirrung wächst (s. auch S. 662).

<sup>1</sup> E. WEISS hat 1920 ein derartiges Brillenglas als *refraktionsrichtig* bezeichnet. Ich werde weiter unten darauf noch eingehen.

δ) Die Verzeichnung punktuell abbildender Brillengläser.

Hat man zur Hebung des Astigmatismus schiefer Bündel längs den Blicklinien über die Form des Brillenglases, die einzige frei verfügbare Veränderliche, nämlich die Durchbiegung, eine Wahl getroffen, so muß man die Verzeichnung eben hinnehmen. Sie tritt bei zerstreuenden Brillengläsern als tonnen-, bei sammelnden als kissenförmige auf (Abb. 34 u. 35), wird übrigens von den meisten Brillenträgern übersehen. Bestrebungen, sie im Blickfeld zu heben, sind nicht einmal in erster Annäherung zu erfüllen, wenn man sich auf Kugelflächen beschränkt, da ein der auf S. 782 angegebenen TSCHERNINGSchen Gleichung nunmehr für die Verzeichnungsfreiheit entsprechender Ausdruck keine reellen Wurzeln hat, die ihn verschwinden ließen. Wir werden auf S. 808 auf die Verzeichnung noch zu sprechen kommen.

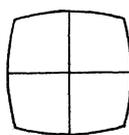


Abb. 34.

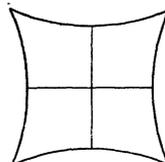


Abb. 35.

Abb. 34 u. 35. Übersichtsbild der Erscheinungsform der tonnen- und kissenförmigen Verzeichnung für ein Quadrat.

ε) Besondere Formen punktuell abbildender Brillengläser.

Fernbrillengläser über 7,5 dptr; Stargläser. Mit dieser Behandlung der punktmäßig abbildenden Fernbrillengläser ist aber das ganze hier darzustellende Gebiet noch nicht erschöpft. Für die Fernbrillengläser ergibt sich zunächst die Frage, was zu geschehen habe, wenn sammelnde Brillengläser von einer

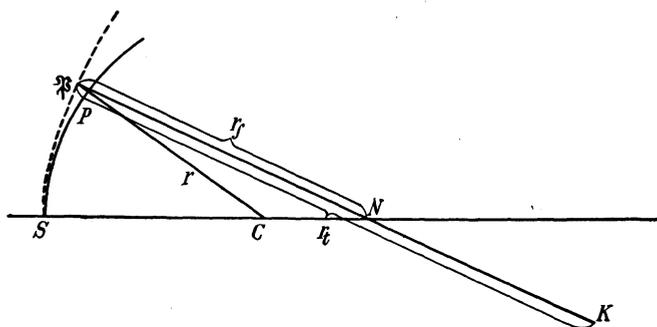


Abb. 36. Anlage und Wirkung einer unregelmäßigen (asphärischen) Fläche.

+ 7 $\frac{1}{2}$  dptr merklich übersteigenden Stärke verlangt würden, da hier ein Ausgleich des Astigmatismus schiefer Bündel mit sphärischen Flächen nicht möglich ist (S. 783 u. Abb. 32). Ein solcher Fall tritt sehr häufig bei linsenlosen Augen ein.

Das rechnerisch einfachste Mittel in einem solchen Falle ist die Verwendung einer unregelmäßigen (asphärischen) Fläche, deren Wesen im Bild (Abb. 36) gekennzeichnet ist. Durch eine — allerdings sehr genau auszuführende — Auftragung nach dem Rande zu wird die neue Flächennormale in  $\mathfrak{B}$  gegen die entsprechenden Kugelhalbmesser in P um einen endlichen Winkel geneigt, und die Berechnung der schiefen Schnittweiten ist — was für den vorliegenden Zweck das Wichtigste ist — nicht mit einem und demselben Kugelradius r, sondern für die  $\beta$ -Büschel mit einem Radius r und für die t-Büschel mit einem davon verschiedenen Radius  $r_t$  auszuführen. In der Verschiedenheit von r, und  $r_t$  ist eine neue Veränderliche verfügbar; man kann nun auch für Stärkenzahlen außerhalb der TSCHERNINGSchen Grenzen den Astigmatismus schiefer Bündel heben. Zur Bildgütes. Abb. 81, S. 829.

Wie H. ERGGELET (a) gezeigt hat, ist bei einem solchen Katralglas — aus Aufmerksamkeit gegen den großen Augenforscher wurden sie als GULLSTRANDSche Gläser auf den Markt gebracht — die Verzeichnung bereits merklich geringer als bei den alten gleichseitigen Starlinsen. Es würde für den Rechner ein leichtes sein, nicht nur bei Starlinsen, sondern auch bei schwächeren Linsen punktueller Abbildung beide Fehler schiefer Bündel zu heben, wenn man nicht bis jetzt, sei es die größere Auffälligkeit der stärkeren Durchbiegung, sei es den höheren Preis fürchten mußte.

**Die Fernrohrbrillen und Fernrohlupen.** Wendet man sich nun zu den optischen Eigenschaften der für Schwachsichtige (s. S. 774) empfehlenswerten Fernrohrbrillen, so ist deren Verwendung — mindestens auf der Anfangsstufe des vorgehaltenen Handfernrohrchens — ungemein alt. Schon sehr früh sind solche Augenhilfen — 1631 von Gustav Adolph von Schweden — benutzt worden, sie haben sich durch das 18. Jahrhundert hindurch gehalten und sind auch von F. C. DONDERS in seinem großen Lehrbuch empfohlen worden.

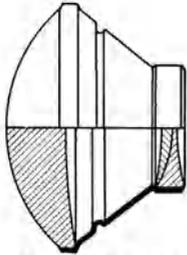


Abb. 37. Eine Fernrohrbrille für schwachsichtige Augen geringer Fehlsichtigkeit.

Eine genauere Kenntnis ihrer optischen Eigenschaften geht nicht vor 1910 zurück, wo zum erstenmal solche Vorkerungen vor, dem blickenden Auge beschrieben und Angaben zu den mit Vorteil zu wählenden Vergrößerungen gemacht wurden. Man darf eben nicht vergessen, daß es sich hier um ein Gerät handelt, das, dem schwachen Operngläse verwandt, doch eine Hebung der Farbenfehler im Objektiv nicht zuläßt, weil sich dann bei entsprechend ausgedehntem Blickfeld ein viel zu großes Gewicht ergeben würde (Abb. 37).

Hält man die Fernrohrbrille gegen ein gewöhnliches Brillenglas, so sind viel mehr optische Mittel vorhanden. Man ist daher imstande gewesen, den Astigmatismus schiefer Bündel, die Verzeichnung und die Farbenverschiedenheit der Hauptstrahlneigung zu heben, freilich nur für ein kleineres Blickfeld, weil sich infolge der großen Einfallswinkel an den inneren Flächen merkbare Zwischenfehler einstellen würden, wenn man das Blickfeld vergrößerte. Eben wegen dieser großen Einfallswinkel sind die Brillen gegen eine falsche Anpassung sehr empfindlich, und das bereitet ihrer Verwendung unzweifelhaft Schwierigkeiten.

Als Vergrößerungsgrenze muß man, wie auf S. 774 gesagt, etwa 1,8fach ansetzen (s. a. S. 775 bis 777).

Der äußere Akkommodationserfolg wird stark eingeschränkt, worüber bei H. HARTINGER (a) nachzulesen ist.

Noch stärkere Vergrößerungen sind nur mit den vorzuhaltenden Fernrohlupen möglich. Es handelt sich dabei der Handlichkeit wegen um ein Prismenfernrohr 3- oder 6maliger Vergrößerung, dem eine Lupenbrille vorgeschlagen ist, während man die Anpassung an den Einstellfehler des zu unterstützenden Auges mit einem Nachsteckglas erreichen kann.

**Die Nahgläser punktueller Abbildung.** Bei der Ableitung der Fernbrillengläser war, ihrer Begriffsbestimmung entsprechend, auf der Dingseite  $A_1 = 0$  gesetzt worden. An dem Wesen der Formeln ändert sich nichts, wenn man für Nahgläser in 30 oder 25 cm Achsenabstand von dem nahen Gegenstand  $a_1 = -0,3$  oder  $-0,25$  m und somit  $A_1 = -3\frac{1}{3}$  oder  $-4$  dptr setzt. Geht man dabei von einer Dingebene (etwa einer zur Augenachse senkrechten Buchseite) aus, so müssen verständlicherweise die von der dingseitigen Hauptstrahlneigung w abhängenden *schiefen* Abstände, wie sie ja zwischen Dingebene und Eintrittspunkt an der vorderen Brillenfläche entstehen, berücksichtigt werden. Der

Grad der Gleichungen wird nicht geändert, so daß unsere Überlegungen im Hinblick auf die Wirklichkeit oder Unwirklichkeit der Wurzelwerte ihre Bedeutung auch hier behalten. M. TSCHERNING hatte bereits 1904 auch diesen Fall rechnerisch behandelt. Zeichnet man seine für  $A = 0$  entworfene Kurve auch für Nahgläser  $A_1 = -3$  dptr (s. Abb. 32), so bleibt es bei einer Ellipse, doch erhält sie eine andere Lage und Ausdehnung, und der für Fernbrillengläser gültige Satz, daß bei Fernbrillen punktueller Abbildung keine zerstreuen Vorderflächen vorkämen, verliert für entsprechende Nahbrillengläser seine Gültigkeit. (Vgl. S. 763.)

Als ein Zusatz mag die Bemerkung hier stehen, daß Nahgläser mit punktmäßiger Abbildung ihrer Durchbiegung nach mit refraktionsrichtigen Fernbrillengläsern so ziemlich zusammenfallen. Man erkennt dabei den Einfluß des Dingabstandes  $s_1$  auf den Astigmatismus schiefer Bündel, der sich ja auch durch die Veränderung der TSCHERNINGSchen Ellipse kundgab.

**Die Lupenbrillen.** Setzt man den Fall, daß eine Lesebrille für einen alterssichtig gewordenen Emmetropen zu berechnen sei, so muß sie von den seitlichen Punkten  $0_w$  der Leseffläche parallele Strahlenbündel auf den Augendrehpunkt des Trägers zu austreten lassen. In der Sprache des Optikers handelt es sich also um eine Einzellinse mit Vorderblende; eine solche sei als Lupenbrille bezeichnet. Man kann diese Aufgabe in der gleichen Weise behandeln, wie es M. TSCHERNING mit den eigentlichen Brillengläsern getan hat, und erhält hier eine anders liegende Ellipse, die nach M. v. ROHR (f, S. 99) bei einem Blendenabstande von 28 mm ziemlich weit (bis zu 13 dptr) in das Gebiet der Sammellinsen hineinreicht. Nur solche können Alterssichtigen als Lupen dienen.

Setzt man an der Stelle des rechtsichtigen einen fehlsichtigen Alterssichtigen voraus, so kann man ihm durch das Vorsetzen einer solchen Lupenbrille ebenso die deutliche Wahrnehmung der Leseffläche vermitteln, wenn nur die Entfernung zwischen der Innenfläche der Lupenbrille und dem scheinbaren Drehpunkt des Brillenträgers nicht zu groß wird.

Wir werden bei den Vorhängern darauf zurückkommen (s. S. 820).

## 2. Die zweifach symmetrischen Gläser ohne astigmatische Wirkung.

Einige Worte seien diesem Gegenstande gewidmet, obwohl seine tatsächliche Bedeutung nur ganz gering ist. Gläser dieser Art traten im Handel um 1819 als CHAMBLANTSche Gläser auf und erregten bis in die 30er Jahre des vorigen Jahrhunderts hinein ziemliches Aufsehen, scheinen später aber mehr ihrer Merkwürdigkeit halber bekannt geblieben als tatsächlich verwandt worden zu sein. Man sagte ihnen ohne Grund eine größere Freiheit von Verzeichnung nach. Die Strahlenvereinigung im geraden Bündel ist sicherlich mangelhaft, doch ist es möglich, daß sie bei bestimmten Hornhautformen den Fehler mehr ausgleicht und so zu einem deutlicheren Netzhautbild führt. Über die Fehler schiefer Bündel sind Untersuchungen — der oben erwähnten Behauptung über die Verzeichnung ungeachtet — nicht veröffentlicht worden.

Die Anlage ist für endliche Hauptstrahlneigungen 1911 von H. BOEGEHOLO für den Fall von  $A'_\infty = -5$  dptr untersucht worden (s. Abb. 38). Es zeigte sich dabei, daß man in dem großen Blickfeld die Schärfenfehler ebenso gut heben kann, wie mit drehrunden Flächen. Ein Vorteil über diese hinaus ergab sich aber nicht, und so hat man damals diese Möglichkeiten nicht weiter untersucht, weil solche Gläser stärker durchgebogen ausfielen, also auffälliger und teurer waren als entsprechend wirkende drehrunde Formen. (Wegen astigmatischer Gläser ähnlicher Anlage siehe Astigmatismus S. 672.)

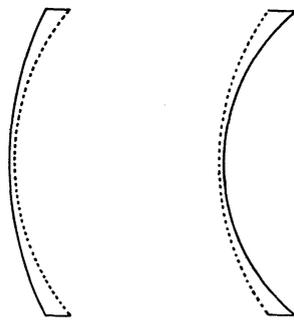


Abb. 38. Die Symmetrieebenen eines zweifach symmetrischen, punktmäßig abbildenden Glases  $D_1 = -5$  dptr mit gekreuzten Rotationsachsen. Die Rotationsbrennpunkte sind punktiert.

## II. Die Wirkung astigmatischer Linsen.

### 1. Der Fall dünner Strahlenbündel in der Richtung der Glasachse. (Der Augapfel steht hinter dem astigmatischen Brillenglas still.)

Der Strahlenverlauf in den Hauptschnitten des astigmatischen Auges. Denkt man sich bei einem ruhenden astigmatischen Auge die Mitte der Netzhautgrube (Fovea centralis) leuchtend und verfolgt man die von ihr ausgeschickten Strahlen

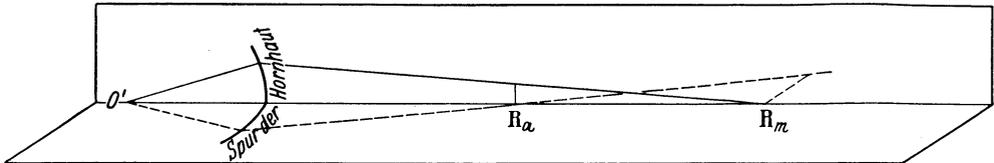


Abb. 39. Zur Verdeutlichung der Abbildung bei einem astigmatischen Auge.

durch die Pupille nach außen, so schneiden sich die Strahlen nicht in einem gemeinsamen Achsenpunkt. Läßt man eine Vereinfachung des sehr verwickelten und nur wenig bekannten Aufbaues zu, so kann man sagen (s. Abb. 39), daß nur zwei ebene, zueinander senkrechte Büschel je einen gemeinsamen vom anderen

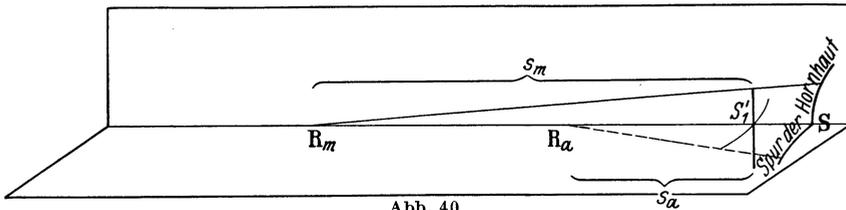


Abb. 40.

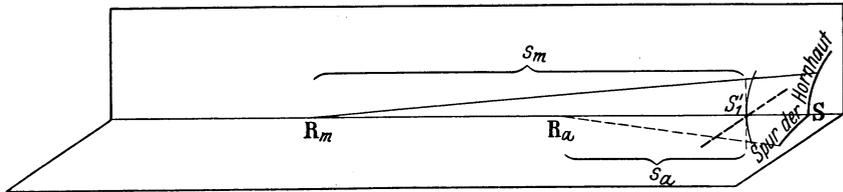


Abb. 41.

Abb. 40 u. 41. Zur Hebung des Augenastigmatismus durch dünne Zylinderlinsen. Die Krümmung des Zylinders ist auf die augennahe Fläche zu beziehen. In Abb. 40 handelt es sich um einen sammelnden Zylinder mit senkrechter Achse, in Abb. 41 um einen zerstreuenen Zylinder mit waagrechtter Achse.

entfernt liegenden Schnittpunkt auf der Achse  $R_a$  und  $R_m$  besitzen. Jedes der beiden ebenen, in dem Hauptschnitt verlaufenden Büschel hat seinen besonderen Fernpunkt. Der Brechungszustand ist im ersten Hauptschnitt anders als im zweiten.

Das astigmatische Auge ist also gekennzeichnet durch die zwei Hauptpunktsbrechwerte (Refraktionen) und die Lage seiner beiden Hauptschnitte. Die Richtung der Hauptschnitte wird durch die Winkel angegeben, die sie bei aufrechter Kopfhaltung mit der Waagrechten bilden. Die Zählung erfolgt nach den Vorschlägen des Tabo vom Arzt aus gesehen entgegen der Uhrzeigerbewegung, und zwar für jedes Auge, indem als Nullrichtung die Waagrechte gewählt wird (vgl.

Abb. 76, S. 531)<sup>1</sup>. Gemäß den geschilderten Eigenschaften der brechenden Flächenfolge werden auf der Dingseite von einem Achsenpunkt ausgehende, also spitze (homozentrische) Bündel im astigmatischen Auge nicht mehr spitz bleiben, und das Netzhautbild wird für keine Dingtfernung deutlich ausfallen.

**Der Ausgleich des Astigmatismus.** Will man den Astigmatismus eines Auges ausgleichen<sup>2</sup> und nimmt man einen einfachen (myopischen oder hyperopischen) Astigmatismus an (s. S. 649), so liegt die Aufgabe vor, etwa den Achsenpunkt  $R_m$  durch ein ebenes in dem Hauptschnitt verlaufendes Büschel in den Fernpunkt  $R_a$  abzubilden (s. Abb. 41), während der andere Hauptschnitt unbeeinflusst bleibt. Man hat also ein Glas nötig, das in einem Schnitt die Wirkung Null und in dem dazu senkrechten eine durch die gewünschte Abbildung vorgeschriebene positive oder negative Brechkraft besitzt. Im einfachsten Fall verwendet man eine *Zylinderlinse*. Sie hat eine ebene und eine gekrümmte, und zwar *zylindrische* Fläche. Die zu dem wirksamen Hauptschnitt senkrechte Richtung mit der Wirkung Null heißt *Achsenrichtung*, da sie die Richtung der Achse der Zylinderfläche ist<sup>3</sup>. Ihre Lage wird zur Festlegung der Glasanordnung vor dem astigmatischen Auge angegeben. Der Astigmatismus kann durch die dünne Zylinderlinse in  $S_1$  mit der Entfernung  $S_1 S$  vom Hornhautscheitel zunächst einmal dadurch ausgeglichen werden, daß man die Zylinderwirkung (Abb. 40) in dem äquatorialen (gestrichelten) Hauptschnitt wirken läßt. Die Aufgabe ist dabei, den Punkt  $R_a$  nach  $R_m$  zu verlegen.

Nach der allgemeinen Formel (auf S. 469 [1]) für dünne Linsen ist

$$D = B - A$$

oder hier

$$\begin{aligned} D_a &= \frac{1}{s_a'} - \frac{1}{s_a}; \quad s_a' = s_m \\ &= \frac{1}{s_m} - \frac{1}{s_a}. \end{aligned}$$

Unter den Verhältnissen der Abb. 40 ist der Wert von  $D_a$  positiv; das ist durch die Krümmung in  $S_1'$  angedeutet, die sich auf die augennahe Fläche bezieht. Das zylindrische Brillenglas in Abb. 40 hat also sammelnde Wirkung.

Man kann nun aber wie in Abb. 41 den Astigmatismus auch durch eine dünne Zylinderlinse an demselben Achsenort  $S_1$  ausgleichen, wenn ihre Zylinderwirkung in den meridionalen Hauptschnitt fällt. Dann ergibt sich

$$\begin{aligned} D_m &= \frac{1}{s_m'} - \frac{1}{s_m}; \quad s_m' = s_a \\ &= \frac{1}{s_a} - \frac{1}{s_m} = -D_a. \end{aligned}$$

Die Wirkung ist in diesem Falle von gleicher Größe aber entgegengesetztem Zeichen.

<sup>1</sup> Die frühere internationale Teilung, die sich indessen nicht allgemeiner einführen konnte, stimmt am rechten Auge mit der Taboteilung überein, während für das linke Auge ihr Spiegelbild galt, indem von der Waagrechten aus im Sinn des Uhrzeigers gezählt wurde.

<sup>2</sup> Von der Behandlung der astigmatischen Brillengläser hat man die Zeichen für die Unterscheidung der beiden Hauptschnitte A (= äquatorial) und M (= meridional) auch auf das Auge übernommen, obwohl diese Buchstaben beim Auge nicht begründet sind wie beim torischen Brillenglas, also auch beliebig und farblos sein könnten. Ich habe mich aber doch meinen Vorgängern angeschlossen, weil deren Darstellungen weit verbreitet sind, und ich mich der dafür entworfenen Kurvenzeichnungen ebenfalls bedienen werde, die natürlich die alte M- und A-Beschriftung tragen.

<sup>3</sup> Um Mißverständnisse zu vermeiden, wird das Wort Zylinderachse nur mit der Bedeutung der oben näher bestimmten Hauptschnitttrichtung gebraucht, während unter *Glasachse* die Schnittgerade der Symmetrieebenen des Brillenglases verstanden wird. Diese letzte ist bei sphäro-zylindrischen, bei torischen, sphäro-torischen, sowie bei gekreuzten Zylindern an sich schon eindeutig bestimmt. Bei reinen Zylindergläsern hingegen wird die Gerade erst durch die Lage des Augenhauptpunktes aus einer unendlichen Mannigfaltigkeit herausgehoben.

Nach beiden Abbildungen, sei es 40 oder 41, vereinigen sich die Strahlen in beiden ebenen Büscheln (der Hauptebenen) in einem einzigen Punkt des Augenraums, und zwar bei Abb. 41 in  $R_m$ , bei Abb. 40 in  $R_a$ . In der anderen, nunmehr wieder natürlichen Richtung verfolgt, haben die Büschel mit der Spitze in  $R_m$  ( $R_a$ ) wieder auf der Netzhaut ihren Bildpunkt.

Liegen die Fernpunkte der beiden Hauptschnitte nicht im Unendlichen, so bleibt nach dem Ausgleich des Astigmatismus noch ein Brechungsfehler, eine Übersichtigkeit oder eine Kurzsichtigkeit, übrig. Der Ausgleich dieser Fehlsichtigkeit hat dann nach den im ersten Abschnitt gegebenen Gesichtspunkten mit Hilfe eines achsensymmetrischen Glases zu geschehen. Hat das zylindrische und das achsensymmetrische Glas je eine ebene Fläche, mit der man sie aneinanderlegen kann, so ergibt sich ein sphäro-zylindrisches Glas. In jedem Hauptschnitt ist dann der gleiche Betrag von Brechkraft zu der Wirkung des zylindrischen Glases hinzugekommen. Man kann auch von vorherhin dadurch zu diesem Ziel gelangen, daß man zunächst jeden Hauptschnitt für sich behandelt wie einen Achsenschnitt eines achsensymmetrischen Auges und dann die gefundenen Brechwerte in einem Glas vereinigt.

Akkommodiert ein astigmatisches Auge, so wächst der Ausgleichswert seines Astigmatismus. (Näheres bei Astigmatismus S. 672.)

Der Ausgleich eines astigmatischen Auges durch eine Brille ist dann eindeutig gekennzeichnet, wenn nicht nur die Scheitelbrechwerte  $A'_\infty$ ,  $M'_\infty$  des Glases in den beiden Hauptschnitten und sein Abstand vom Auge angegeben sind, sondern auch die Richtung eines Hauptschnittes der Zylinderachse. Diese Richtung wird in der gleicher Weise beziffert wie die der Hornhautmeridiane, nämlich nach der Taboteilung (s. oben Abb. 76, S. 531.)

Wird für jeden Hauptschnitt des astigmatischen Auges der gleiche Hauptpunktsort  $H$  auf der Achse angenommen, was für die gewöhnlichen Fälle ohne Bedenken geschehen darf, und seien die beiden Hauptpunktsbrechwerte des Auges mit  $M$  und  $A$  bezeichnet, so gilt

$$M = \frac{D_{1m}}{1 - \delta D_{1m}}; A = \frac{D_{1a}}{1 - \delta D_{1a}},$$

wo man (s. S. 753) unter  $D_{1m}$ ,  $D_{1a}$  bei dünnen Brillengläsern die Brechkräfte, (s. S. 766), bei dicken die Scheitelbrechwerte verstehen wird.

**Die Vergrößerung in den Hauptschnitten des korrigierten astigmatischen Auges.** Nimmt man an, der eine Hauptschnitt des Auges entspreche dem GULLSTRANDSchen Übersichtsaug, und das dünne Glas stehe in dem dingseitigen Brennpunkt dieses Hauptschnittes, so hat die Verbindung Auge + Brille in diesem Hauptschnitt die gleiche Brechkraft wie im unbewaffneten Hauptschnitt bzw. das Übersichtsaug. Da beim astigmatischen Auge dem anderen Hauptschnitt eine andere Brechkraft zukommt, somit auch eine andere Brennweite, so steht das Brillenglas für diesen zweiten Hauptschnitt nicht im zugehörigen Brennpunkt, sondern diesseits oder jenseits. Im allgemeinen wird daher die Verbindung Auge + Brille eine andere Brennweite besitzen als das Übersichtsaug. Daher muß auch die Vergrößerung beim voll ausgeglichenen astigmatischen Auge in beiden Hauptschnitten verschieden groß ausfallen. Ein Ausdruck für das Vergrößerungsverhältnis ist leicht abzuleiten (s. Abb. 64 a, S. 517).

Die von dem Brillenglas dem Auge in den beiden Hauptschnitten dargebotenen Bilder erscheinen vom Augenhauptpunkt aus unter dem Winkel

$$w_a = \beta_{1a} A$$

in dem einen, und unter

$$w_m = \beta_{1m} M$$

in dem anderen Hauptschnitt. Also

$$v = \frac{w_a}{w_m} = \frac{\beta_{1a} A}{\beta_{1m} M}.$$

Die Bildgrößen ferner Dinge verhalten sich umgekehrt wie die Brechkräfte, so daß also gilt

$$\frac{\beta_{1a}}{\beta_{1m}} = \frac{D_{1m}}{D_{1a}}$$

Mithin wird

$$v = \frac{D_{1m}A}{D_{1a}M}$$

und unter Berücksichtigung der obenstehenden Formel

$$v = \frac{D_{1m}}{D_{1a}} \cdot \frac{D_{1a}}{1 - \delta D_{1a}} \cdot \frac{1 - \delta D_{1m}}{D_{1m}} = \frac{1 - \delta D_{1m}}{1 - \delta D_{1a}}$$

Um einen Überschlagn über den Wert des Bruches zu erhalten, sei der Ausdruck für  $v$  ausgewertet für den ziemlich hohen Glasastigmatismus von 4 dptr, und zwar für die Wertepaare in dptr immer für  $\delta = 0,012$  m:

$$\begin{array}{l} D_{1m} \quad 2 - 4, - 10 \\ D_{1a} \quad 6 - 8, - 14. \end{array}$$

Man erhält die drei Ausdrücke

$$\frac{1 - 0,024}{1 - 0,072} = \frac{0,976}{0,928} = 1,054$$

$$\frac{1 + 0,048}{1 + 0,096} = \frac{1,048}{1,096} = 0,956$$

$$\frac{1 + 0,12}{1 + 0,168} = \frac{1,12}{1,168} = 0,959$$

Fehler

5,4 %

4,4 %

4,1 %

Es wird danach unnötig sein, diesem Fehler ein großes Gewicht beizulegen.

**Torische Linsen.** Statt eines Zylinder-  
glases oder einer sphäro-zylindrischen Linse  
können auch Gläser mit einer torischen<sup>1</sup>

Fläche verwendet werden. Eine torische Fläche entsteht, wenn man einen Kreisbogen, den Meridiankreis, um eine in seiner Ebene liegende, aber nicht durch seinen Mittelpunkt gehende Gerade umlaufen läßt (Abb. 42). Dann entsteht eine Fläche, die in der Ebene des Meridiankreises eine andere Krümmung und damit eine andere Brechkraft  $M$  besitzt als in der dazu senkrecht stehenden  $A$  des größten Umdrehungshalbmessers, dessen Endpunkt den Rotationskreis oder Äquatorialkreis beschreibt. In keiner Richtung ist die Krümmung unendlich bzw. die Brechkraft Null wie bei der Zylinderfläche. Der Unterschied ihrer Brechkräfte ist der Astigmatismus des Glases.

Je nachdem der Umdrehungshalbmesser größer oder kleiner ist als der Halbmesser des Meridiankreises, erhält man eine tonnenförmige oder eine wurstförmige Fläche. Die zweite ist etwa so beschaffen wie die Oberfläche einer zu einem Kreis gebogenen dünnen, langen Wurst oder der Gummireifen eines Kraftwagenrads (s. Abb. 43 u. 44).

<sup>1</sup> torisch von torus = Wulst.

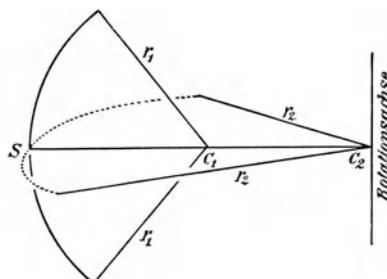


Abb. 42. Die Entstehung einer torischen oder Wulstfläche. Der zu dem Radius  $r_2$  gehörige Umlaufbogen ist zum Unterschied von der Meridiankurve punktiert ..... worden.

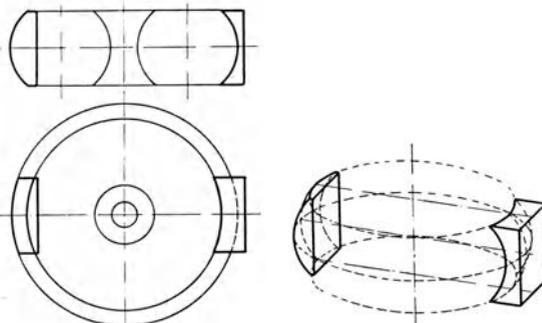


Abb. 43. Eine wurstförmige torische Fläche. Oben: Ein Schnitt durch die Drehachse. Unten: Ein Schnitt senkrecht zur Drehachse. Rechts eine perspektivische Darstellung planotorischer Linsen von sammelnder und zerstreuer Wirkung.

**Andere Möglichkeiten zum Ausgleich des Augenastigmatismus.** Auf welche Weise der Astigmatismus der ausgleichenden Gläser herbeigeführt wird, ist hier, wo ein dünnes, in der Glasachse verlaufendes Bündel zu betrachten ist, gleichgültig. Man braucht grundsätzlich keineswegs nur einzelne zylindrische oder torische Flächen; gekreuzte Zylinder oder toro-torische Linsen können dasselbe leisten. Setzt man nämlich beliebige zylindrische und torische Gläser

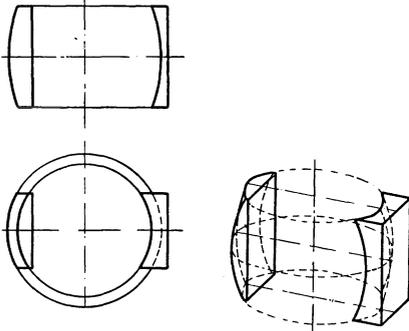


Abb. 44. Eine tonnenförmige torische Fläche. Oben: Ein Schnitt durch die Drehachse. Unten: Ein Schnitt senkrecht zur Drehachse. Rechts: eine perspektivische Darstellung planatorischer Linsen von sammelnder und zerstreuer Wirkung.

mit beliebigen, untereinander verschiedenen Hauptschnittrichtungen hintereinander, so kommt als Enderfolg immer ein Strahlenbündel zustande, das in zwei zueinander senkrechten Ebenen einen Höchst- und einen Mindestwert an Schnittweite besitzt, eben ein astigmatisches Bündel. Voraussetzung ist nur, daß die Linsen und die Blenden ausgerichtet (zentriert) sind. Ganz anders liegen die Dinge, wenn man Bündel endlicher Weite mit einer endlichen Neigung zur Glasachse untersucht.

**Die Gesamtwirkung mehrerer hintereinander geschalteter zylindrischer Linsen.** Schaltet man zwei dünne astigmatische Linsen so hintereinander, daß ihre Scheitel sich berühren, und fallen die Symmetrieebenen zusammen, dann ergibt sich die

Gesamtwirkung durch einfaches Zusammenzählen. Wenn aber ihre Hauptschnitte nicht zusammenfallen, so läßt sich ihre Wirkung ausdrücken durch die einer anderen zylindrischen Fläche, deren Hauptschnittlage im allgemeinen von denjenigen der Glieder abweicht. Ihre Bestimmungstücke sind aus einer

Formel zu entnehmen, die bei P. CULMANN unter M. v. ROHR (a, S. 193/194) zu finden ist. Um ihre Ermittlung auf nicht rechnerischem, sondern zeichnerischem Wege hat man sich in letzter Zeit mehrfach bemüht (A. SONNEFELD [b], R. KRÄMER, F. VICTORIN, L. KOEPPE).

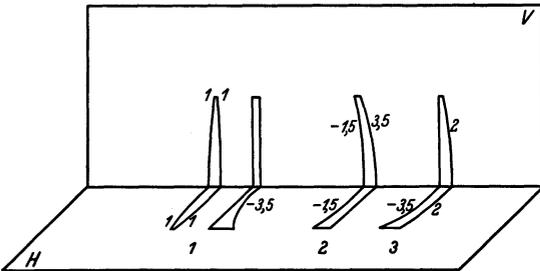


Abb. 45. Übersichtsbild zu dem für jeden Hauptschnitt getrennten Ansatz, nach CH. F. PRENTICE entworfen. V = vertikal; H = horizontal.

Hat man die Gesamtwirkung verschiedener, hintereinander angeordneter Gläser anzugeben, so führt, besonders wenn mehrere astigmatische Linsen mit rechtwinklig gekreuzten Achsen darunter sind, der folgende für jeden Hauptschnitt getrennte Ansatz sicher zum Ziel. Man kann sich seiner auch bedienen, um etwa Sphärometernmessungen an beiden Flächen einer astigmatischen Linse zusammensetzen (s. Abb. 45).

Hauptschnitt	H	V
+ 2,0 dptr sphärisches Glas . . . . .	+ 2,0	+ 2,0 dptr
— 3,5 Zylinderachse in V . . . . .	— 3,5	— „
	— 1,5	+ 2,0 dptr.

Ganz gleich bedeutend sind:

- 1,5 dptr sph. . . . .	- 1,5	- 1,5 dptr
+ 3,5 zyl. Achse hor. . . . .	—	+ 3,5 „
	- 1,5	+ 2,0 dptr
oder		
+ 2 dptr sph. . . . .	+ 2,0	+ 2,0 dptr
- 3,5 zyl. Achse vert. . . . .	- 3,5	— „
	- 1,5	+ 2,0 dptr.

Eine Entscheidung über die Güte der beiden (hier abgeleiteten sphäro-zylindrischen) Formen kann man auf dieser Stufe nicht geben. Das geschieht erst, wenn man auf die Unterstützung des blickenden Auges eingeht.

**Die Verordnung von Nahbrillen beim Augenastigmatismus.** In gleicher Weise empfiehlt es sich bei der Verordnung von Nahbrillen vorzugehen, besonders, wenn man etwa wegen des Vorzeichenwechsels bei gemischtem Astigmatismus die Verhältnisse nicht ganz leicht überblicken kann. Soll z. B. zu dem oben angegebenen Fernglas das Nahglas durch Zusatz von + 4,0 dptr verschrieben werden, so kann man gar nicht irren, wenn man in jedem Hauptschnitt + 4 addiert. Unter Umständen ist auch die Aufzeichnung in eine Taboteilung nützlich.

20°	110°
- 1,5	+ 2,0 dptr
+ 4,0	+ 4,0 „
+ 2,5	+ 6,0 dptr.

Bei der Aufzeichnung einer Astigmatismusbestimmung scheint es richtig, den Ausdruck auf die einfachste Form zu bringen, also z. B. statt + 3,5  $\subset$  - 5,0 zyl. Achse 20° zu schreiben - 1,5  $\subset$  + 5,0 zyl. Achse 110°. Denn die Verwendung dieser letzten beiden Gläser als der schwächeren ist bei der Bestimmung mit den Probierrgläsern auch vorzuziehen, weil dann weniger Störungen und Täuschungen eintreten können durch ungenaue Ausrichtung und schiefe Blickrichtung.

Wenn man mehrere Gläser im Prüfgestell hintereinander gesetzt hat, so haben sie meist einen kleinen Abstand voneinander. Als Scheitelbrechwert einer solchen Verbindung darf streng genommen nicht einfach die Brechwertsumme der Glieder gesetzt werden. Man würde sonst einen Fehler begehen, der nur bei schwachen Gläsern und geringem Abstand belanglos ist. Hat man es aber mit höheren Brechwerten zu tun, wie das bei den Stargläsern meist der Fall ist, so gehört zu einer eindeutigen Angabe über die Brillenbestimmung die Mitteilung des Scheitelbrechwertes eines jeden Gliedes, ihre Form, ihre Dicke, ihre Reihenfolge und ihres gegenseitigen Luftabstandes abgesehen von dem früher schon erwähnten Abstand zwischen dem augennahen Brillen- und dem Hornhautscheitel.

In diesem Zusammenhang macht O. HENKER (b, 245) darauf aufmerksam, daß wie die sphärischen Gläser, so auch die sammelnden Zylinder mit einer ebenen Fläche nach Scheitelbrechwerten bezeichnet sind, wenn man sie mit der gewölbten Seite dem Auge zukehrt. Meist werden sie aber gerade umgekehrt angeordnet, da diese Stellung gewisse Vorteile bietet (s. unten). Der so zur Wirkung kommende Scheitelbrechwert ist aber dann etwas verschieden von der Benennung. Daher ist bei der Zusammenstellung zweier Gläser mit Scheitelberührung die Gesamtwirkung verschieden von der einfachen Summe; bei größeren Stärken wird dieser Unterschied auch merkbar.

Es stehe z. B. in der Probierrille ein gleichseitiges Glas mit dem Scheitelbrechwert + 13 dptr und ein eben-erhabenes Zylinderglas von 3 dptr, das kugelflächige Glas sei 6 mm dick, das Zylinderglas stehe dingseitig von ihm mit 8 mm gegenseitigem Scheitelabstand.

Dieser Verbindung kommt im wirksamen Hauptschnitt eine Gesamtwirkung von 16,12 dptr zu, bezogen auf den bildseitigen Scheitel der sphärischen Linse. Wird das Zylinderglas mit dem gleichen Scheitelabstand augenseitig aufgestellt und mit seiner gewölbten Fläche der Hornhaut zugekehrt, so hat diese Verbindung einen Brechwert von 17,8 dptr bezogen auf den augennahen Scheitel des Zylinderglases.

Für die gewöhnlich vorkommenden Brillengläser hat O. HENKER (b, 246) die Rechenergebnisse in einem Täfelchen zusammengestellt. Der Augenarzt hat übrigens selten nötig, die Umrechnung durchzuführen.

Das Ergebnis der Brillenbestimmung ist eindeutig festgehalten, wenn die Stärke, Form, Stellung und Abstand der verwendeten Gläserverbindung aufgezeichnet sind, und kann in dieser Form an die ausführende Stelle weitergegeben werden. Der Unterschied zwischen der einfachen Brechwertsumme und dem wahren Scheitelbrechwert bei Berücksichtigung der Abstände ist bedeutend größer, wenn das sammelnde Zylinderglas augenseitig, das starke, sphärische Glas dingseitig steht. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich, den Zylinder immer dingseitig und so nahe wie möglich am sphärischen Glase anzubringen. Eine Änderung des Abstandes einer solchen Verbindung vom Auge wirkt sich in der gleichen Weise aus wie bei einfachen sphärischen Linsen, natürlich in jedem Hauptschnitt für sich. Daher lautet auch der Unterschied zwischen den Brechwerten der beiden Hauptschnitte, der Glaswert eines gegebenen Augenastigmatismus, verschieden je nach dem Glasort. Zerstreuungsgläser sind als unendlich dünne Linsen zu betrachten. Das Zusammenzählen ihrer Wirkung bei Berührung ist daher unbedenklich; nur gegenseitige Abstände sind zu berücksichtigen.

## 2. Der Fall dünner Bündel von endlicher Achsenneigung der Hauptstrahlen. (Das blickende Auge dreht sich hinter dem astigmatischen Brillenglas.)

**Die Aufgabe des Brillenglases beim astigmatischen bewegten Auge.** Geht man über zum bewegten astigmatischen Auge, so erhebt sich die Frage, ob es möglich ist, den Fehlerausgleich, den die astigmatischen Gläser in der Glasachsenrichtung herbeiführen, auch für endliche Blickneigungen zu dieser Achse aufrechtzuerhalten. Nach den Ausführungen auf S. 779 würde das der Fall sein, wenn das Brillenglas imstand wäre, dünnen, von unendlich fernen Dingpunkten kommenden Bündeln gleichgerichteter Strahlen den gleichen Aufbau zu verleihen, wie ihn ein von einem Punkt der Netzhautgrube (Fovea centralis) ausgeschicktes und aus der Hornhaut austretendes Bündel besitzen würde, und wenn sich die Strahlenwege in diesen beiden gleichgebauten Bündeln völlig deckten. Des Genaueren wäre also nötig, daß einmal augenseitigen Hauptstrahlen bestimmte dingsichtige Richtungen zugeordnet seien, und daß zum anderen die Hauptebenen der beiden astigmatischen Bündel des Augenraumes einander gleichgerichtet seien, und daß schließlich die bildseitigen Teilbrennpunkte jeder Hauptebene des Glases in die entsprechenden Fernpunkte des Auges fielen.

**Der Strahlenverlauf.** Gehen wir der Reihe nach auf diese Punkte ein, so wird zweckmäßig das augenseitige Hauptstrahlenbündel vom Augendrehpunkt  $Z'$  aus rückläufig verfolgt. Selbstverständlich findet man zu jeder augenseitigen Richtung eine dingsichtige. Daß es sich dabei um eigenartige Ablenkungen handelt, ist für die hier zu erledigende Frage gleichgültig. (Wegen der dabei entstehenden Verzerrung s. unten S. 808.) Entlang diesen augenseitigen Hauptstrahlen verläuft nun jeweils das von der Pupille begrenzte, aus der Hornhaut austretende astigmatische Bündel. Die Lage seiner Hauptebenen wird bestimmt durch die Eigenart der Augenbewegung (F. C. DONDERS, J. B. LISTING, L. BURMESTER). Im Versuch können die Lagen dadurch festgestellt werden, daß man das Bündel auf eine Ebene stoßen läßt, auf der seine Querschnitte und damit die Spuren

seiner Hauptebenen als kurze Gerade etwa als Nachbilder erscheinen. Man denke sich, man könnte hierzu die Scheibenebene des dünnen Brillenglases verwenden (s. a. A. TSCHERMAK).

Verfolgen wir jetzt anderseits die dünnen, jeden dingseitigen Hauptstrahl umhüllenden, in natürlicher Lichtrichtung verlaufenden Bündel. Wenn sie nach der Brechung in astigmatische Bündel verwandelt in den Augenraum eintreten, so ist klar, daß die Lage ihrer Hauptebenen völlig von den Eigenschaften des Brillenglases bestimmt wird. Daß die Hauptschnittlagen der beiden astigmatischen Bündel, nämlich die des dingseitigen, vom Brillenglas gelieferten Bündels und die des dingseitigen rückläufig aus dem Auge kommenden Bündels gleich ausfallen werden, kann man von vornherein nicht erwarten, da für jedes Bündel ganz verschiedene und völlig voneinander unabhängige Einflüsse bestimmend sind.

Würde man die gleiche Ebene wie für das rückläufige Bündel, nämlich die Ebene des Brillenglases, zur Untersuchung der Querschnitte des von der Brille gelieferten Bündels verwenden und die Spuren der Hauptebene als Linienstückchen eintragen, so würde man eine anschauliche Vergleichsdarstellung erhalten. Darin würde sich zeigen, daß sich grundsätzlich nur in zwei zueinander senkrechten Richtungen des Blickfeldes die für unsere Aufgabe erwünschte Übereinstimmung der Hauptschnittlage findet. Wenn man nämlich ausgehend von der Stellung des Auges in der Richtung der Glasachse endliche Blickbewegungen in der Richtung der ins Endliche erweiterten beiden Hauptschnitte des Auges ausführen läßt, so bleibt je ein Hauptschnitt des Auges in der Ebene der Blickbewegung und der andere, der ja senkrecht dazu verlaufen muß, ist seiner Lage nach bekannt. Mit den Symmetrieebenen des Brillenglases fallen aber die Einfallsebene und damit auch die Brechungsebene der Zylinderfläche zusammen. Der geneigte Hauptstrahl bleibt somit auch nach der Brechung in der Achsenebene, wie jeder andere in dieser Ebene verlaufende Strahl, also auch der in diese Symmetrieebene fallende Hauptschnitt des geneigten Bündels. Weiß man daher, daß die Lage dieses Hauptschnittes bestehen bleibt, so ist auch die des anderen ihn senkrecht durchdringenden bekannt. In den genannten Symmetrieebenen ist also die Vorbedingung einigermaßen bequem erfüllt, die der Weiterverfolgung der oben gestellten Bedingungen erst einen Sinn gibt, nämlich die Möglichkeit einer Auskunft über die Strahlenvereinigung im einzelnen Bündel.

**Verfahren zum Ausgleich der Fehler.** Die rechnende Optik hat verständlicherweise — von ganz verschwindenden Einzelfällen abgesehen — darauf verzichtet, die ungeheuer mühsame und ungeheuer umfangreiche Arbeit der vollständigen Untersuchung astigmatischer Linsen im Wege der Durchrechnung auszuführen. Vielmehr hat man sich ganz auf die beiden Symmetrieebenen beschränkt und einzelne in ihnen verlaufende Hauptstrahlen durchgerechnet. Man kennt also nur einzelne Stellen im Glas genau, die man in der Scheibenebene (s. Abb. 46) durch kleine Kreuze andeuten kann. Für diese Strahlenneigung wurde die Abhängigkeit des Bündelaufbaues von gewissen, noch zu besprechenden Krümmungsänderungen der Linsenflächen ermittelt und danach eine zweckmäßige Form gewählt. Auf die großen zwischen den Symmetrieebenen gelegenen Glasgebiete hat man dann statt der Rechnung ein photographisches Prüfungsverfahren angewendet.

Man wird damit rechnen müssen, daß im allgemeinen die Beträge des Astigmatismus (bezogen auf die Scheitelkugel) längs den schiefen Strahlen von den vorgeschriebenen Werten  $M$  und  $A$  abweichen. Wir werden nach Abb. 46 für die Randstellen der Symmetrieebenen die Werte  $M^m$  und  $A^m$  (in der meridionalen) und  $M^a$  und  $A^a$  (in der äquatorialen) unterscheiden müssen. Der

einzigste Ausweg, der bei einer Beschränkung auf die gewöhnlichen Mittel dem Rechenmeister offenbleibt, ist wie bei den drehrunden Gläsern die Änderung der Form oder die Durchbiegung. Das führt zu der schon auf S. 791 eingeführten torischen Fläche mit  $A_{st} = M - A = \frac{n-1}{r_1} - \frac{n-1}{r_2}$ , die nur in dem besonderen Fall von  $r_1 = \infty$  oder  $r_2 = \infty$  zu der alten zylindrischen Form wird.

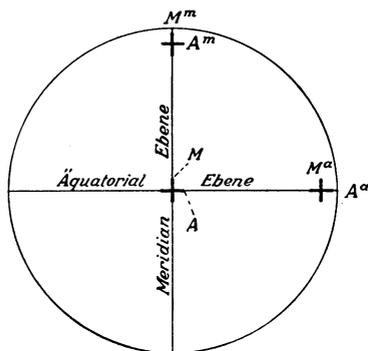


Abb. 46. Die Spuren in der Glas-scheibe von rechnerisch verfolgten Büscheln.

**Verfügbare Mittel zur Verbesserung des bildseitigen Strahlenganges.** Die bisher verwendeten Mittel zur Verbesserung des bildseitigen Strahlenganges an den soeben behandelten Symmetrieebenen des astigmatischen Brillenglases seien in aller Kürze im Anschluß an H. BOEGEHOLD (b, c, d, e) besprochen. Soll das Glas eine torische und eine sphärische Fläche erhalten, so sind vier Anlagen möglich.

Entweder der Torus liegt augenseitig (innen) oder dingseitig (außen). In jedem dieser beiden Fälle kann eine tonnenförmige oder eine wurstförmige torische Fläche gewählt werden, indem der Meridian-

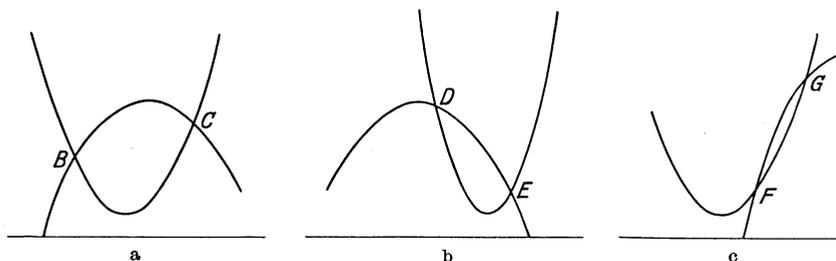


Abb. 47. Entgegengesetzt gerichtete Parabeln mit zwei Schnittpunkten.

kreis und der Schwingungskreis ihre Hauptebene vertauschen. Bei jeder dieser vier Möglichkeiten ist dann das Mittel der Durchbiegung anzuwenden, das sich schon bei den achsensymmetrischen Gläsern als wirksam erwiesen hat.

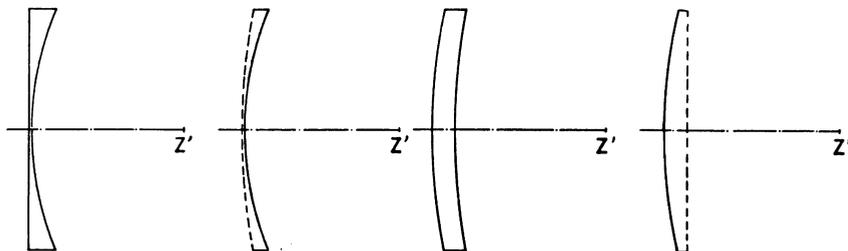


Abb. 48. Sie Symmetrieebenen je eines sphäro-zylindrischen Glases.

Als abhängige Veränderliche steht nur *ein* Krümmungshalbmesser zur Verfügung. Wenn nämlich in einem Hauptschnitt die eine Flächenkrümmung bestimmt ist, so bleibt für die andere keine Wahl mehr, da ja die Gesamtbrechkraft des Hauptschnittes vorgeschrieben ist. Da überdies eine Kugelfläche vorausgesetzt ist, so ist damit auch für den anderen Hauptschnitt die Brechkraft der einen Fläche schon festgelegt, und die der zweiten Fläche ebenfalls,

deswegen nämlich, weil durch sie die erste zu der schon vorgeschriebenen Gesamtbrechkraft dieses Hauptschnittes ergänzt werden muß. Von einer technisch noch brauchbaren Mindestlänge aus hat man für alle vier Anlagen den beliebig zu wählenden Krümmungshalbmesser wachsen zu lassen und unter den so entstehenden Linsenformen diejenige auszusuchen, die den günstigsten Aufbau des maximal geneigten bildseitigen Bündels liefert.

Der eingangs geschilderte vollkommenste Zustand wäre der, daß  $M_m = M_a = M$ ,  $A_m = A_a = A$ , wobei die Größen  $M_a$ ,  $M_m$ ,  $A_a$ ,  $A_m$  von der Scheitelkugel aus zu messen wären. Doch haben Durchrechnungen gezeigt (M. v. ROHR [f], E. WEISS [a, b, c], J. SPANUTH [a], H. BOEGEHOLD [b]), daß man sich mit Geringerem zufrieden geben muß. Es ist nun zweifellos richtig, daß man bei einem derartigen Verzicht in erster Linie das Ziel festhalten muß, den Astigmatismus in den Symmetrieebenen bis zum Rand möglichst unverändert zu erhalten. Denn jeder Abweichung im Betrag des Astigmatismus von dem Ausgleichswert des Auges steht der Träger hilflos gegenüber. Er kann ja nach der von C. HESS begründeten Auffassung keinen Astigmatismus von sich aus unschädlich machen. Ist aber das in ein Auge eintretende Bündel von solchen astigmatischen Abweichungen frei, so kann ein etwa bestehender Einstellungsfehler entweder mit der Akkommodation oder wenigstens durch Verlängerung oder Verkürzung des Beobachtungsabstandes, schließlich auch mit Hilfe der Tiefenschärfe bis zu einem gewissen Grad ausgeglichen werden.

Man könnte sich daher damit begnügen, wenigstens den Astigmatismus eines jeden in einer Symmetrieebene geneigten Bündels dem des axialen Bündels gleich zu machen, daß also gilt  $M_a - A_a = M_m - A_m = M - A$ . Aber auch dies ist nicht vollkommen zu erreichen. Es haben sich vielmehr Abweichungen ergeben, wenn man Randbündel in den Symmetrieebenen mit dem axialen Bündel vergleicht. Diese Abweichungen

$$(M_m - A_m) - (M - A) = Y_1$$

$$(M_a - A_a) - (M - A) = Y_2$$

nennt E. WEISS (b) die astigmatischen Fehler.

Man muß sich mit noch Geringerem begnügen. Nach H. BOEGEHOLD (a, b) ist es zu empfehlen, wenigstens die beiden Fehler  $Y_1$  und  $Y_2$  einander gleich zu machen; d. h. es wird eine Änderung des Astigmatismus in Kauf genommen, wenn man den Blick aus der Glasachse in einer oder der anderen Symmetrieebene wendet, und zu den Randstellen der Symmetrieebenen übergeht. Man hat

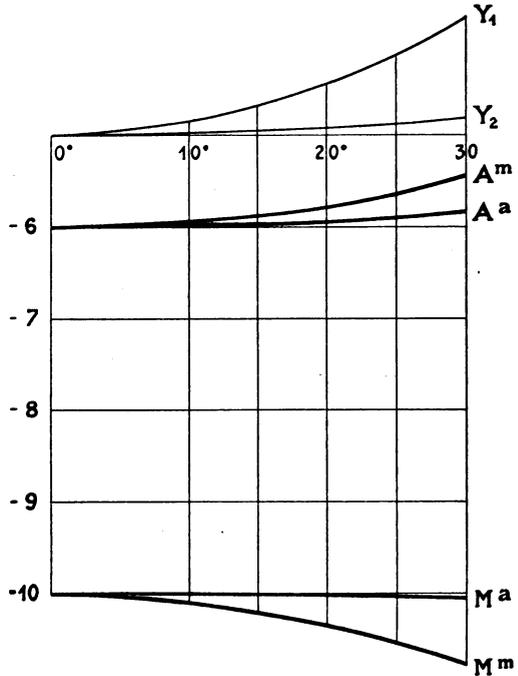


Abb. 49. Die Änderung der Korrektionswirkung mit der Blickneigung in den Symmetrieebenen sphäro-zylindrischer Gläser. Darstellung der vier auf die Scheitelkugel (S. 780) bezogenen Kehrwerte  $M^m$ ,  $M^a$ ,  $A^m$ ,  $A^a$ , sowie der astigmatischen Fehler  $Y_1$  und  $Y_2$  in ihrer Abhängigkeit vom Blickwinkel  $w'$ .  $M = -10$  dptr;  $A = -6$  dptr;  $w' = 30^\circ$ .

auch einen Vorteil darin gesehen, daß diese Abweichungen in den beiden Symmetrieebenen verschieden ausfallen, so daß beim Übergang von der Achse aus jeweils nur der halbe Fehlerbetrag wirksam wird. Doch haben sich dagegen Stimmen erhoben (E. WEISS [b, c]). Die Entscheidung der Streitfrage dürfte besondere und ausgedehnte Untersuchungen voraussetzen.

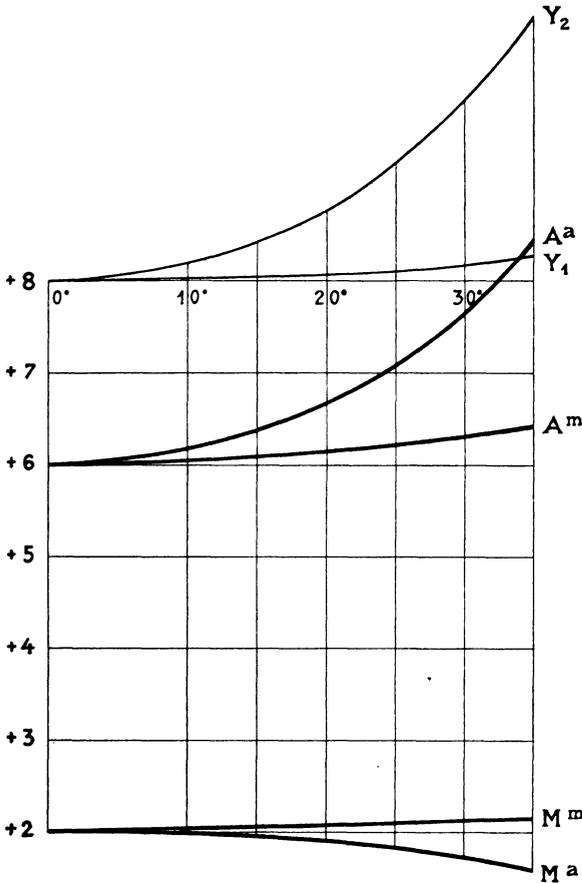


Abb. 50. Die Änderung der Korrektionswirkung mit der Blickneigung in den Symmetrieebenen sphäro-zylindrischer Gläser. Darstellung der vier auf die Scheitelkugel (S. 780) bezogenen Kehrwerte  $M^m$ ,  $M^a$ ,  $A^m$ ,  $A^a$ , sowie der astigmatischen Fehler  $Y_1$  und  $Y_2$  in ihrer Abhängigkeit vom Blickwinkel  $w'$ .  
 $M = +2$  dptr;  $A = +6$  dptr;  $w' = 35^\circ$ .

BOEGEHOLD (b) hat die Sachlage in einer anschaulichen Weise dargestellt. Danach sind die beiden zu einem Glas gehörigen Fehler  $Y_1, Y_2$  in der Form einer Parabelgleichung auszudrücken. Wenn man sich in einem rechtwinkligen Koordinatenkreuz die gewählte sphärische Krümmung als Abszisse und die zugehörigen astigmatischen Fehler  $Y$  als Ordinate aufträgt, so erhält man für jede Symmetrieebene eine Fehlerparabel (größte augenseitige Neigung  $30$  bzw.  $35^\circ$ ). Meist schneidet eine der beiden Kurven die andere oder ihr Spiegelbild derart, daß bei einer schwächeren oder stärkeren Krümmung der Kugelfläche der größere der beiden astigmatischen Fehler größer wird. Solche Schnittpunkte sind in den als Beispiel wiedergegebenen Kurven Abb. 47 die Punkte BCE nicht aber FG. Unter den 4 bis 12 relativen Optimis, die bei den 4 genannten, jeweils möglichen Glasanlagen vorkommen, hat man das Günstigste als absolutes zu wählen, und wird dazu das herausgreifen, bei dem die Fehler, die man

nun einmal in Kauf nehmen muß, möglichst klein sind, und die nach BOEGEHOLD (b) die eben bezeichnete Eigenschaft wie BCE besitzen.

Für den Gang der Fehler gibt M. v. ROHR zwei Bilder zunächst für die sphäro-zylindrischen Gläser (s. Abb. 48, 49 u. 50).

Die Flächen der Zylinderlinse wurden so angesetzt, daß ihre Hohlungen, soweit es sich um endliche Halbmesser handelte, dem Augendrehpunkt zugekehrt waren. Trotz alledem ist der Zustand der schiefen Bündel wenig befriedigend, und die Bedingung  $Y_1 = Y_2$  ist in keiner Weise erfüllt.

Mit den für unendlich dünne Linsen unter Benützung der Konstanten gewonnenen Kurven stimmen die auf trigonometrischem Wege errechneten

ziemlich gut überein. H. BOEGEHOLD (b) gibt dazu folgende Rechenergebnisse für den astigmatischen Fehler  $Y_1 = Y_2$  wieder:

Astigmatismus von 4 dptr			Astigmatismus von 6 dptr		
für 30°			für 30°		
- 20,0 dptr	- 16,0 dptr	+ 0,06 dptr	- 20,0 dptr	- 14,0 dptr	+ 0,01 dptr
- 18,0 „	- 14,0 „	- 0,01 „	- 18,0 „	- 12,0 „	- 0,06 „
- 16,0 „	- 12,0 „	- 0,09 „	- 16,0 „	- 10,0 „	- 0,16 „
- 14,0 „	- 10,0 „	- 0,14 „	- 14,0 „	- 8,0 „	- 0,19 „
- 12,0 „	- 8,0 „	- 0,14 „	- 12,0 „	- 6,0 „	- 0,18 „
- 10,0 „	- 6,0 „	- 0,11 „	- 10,0 „	- 4,0 „	- 0,10 „
- 8,0 „	- 4,0 „	- 0,06 „	- 8,0 „	- 2,0 „	- 0,04 „
- 6,0 „	- 2,0 „	0,00 „	- 6,0 „	0,0 „	+ 0,02 „
- 4,0 „	0,0 „	+ 0,02 „	- 4,0 „	+ 2,0 „	+ 0,11 „
- 2,0 „	+ 2,0 „	+ 0,07 „			
für 35°			für 35°		
- 2,0 dptr	+ 2,0 dptr	+ 0,10 dptr	- 2,0 dptr	+ 4,0 dptr	+ 0,22 dptr
0,0 „	+ 4,0 „	+ 0,17 „	0,0 „	+ 6,0 „	+ 0,32 „
+ 2,0 „	+ 6,0 „	+ 0,25 „	+ 2,0 „	+ 8,0 „	+ 0,60 „
+ 4,0 „	+ 8,0 „	+ 0,40 „	+ 4,0 „	+ 10,0 „	+ 0,77 „
+ 6,0 „	+ 10,0 „	+ 0,58 „	+ 6,0 „	+ 12,0 „	+ 1,22 „

Als ein Musterstück dessen, was durch eine zweckmäßige Durchbiegung erreicht werden kann, mögen sphäro-torische (rechnungsmäßig ermittelte) Brillengläser der gleichen Wirkung mitgeteilt werden (Abb. 51, 52 u. 53).

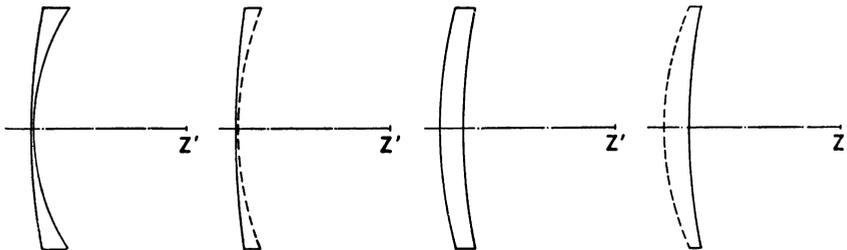


Abb. 51. Die Symmetrieebenen je eines sphäro-torischen Glases zweckmäßiger Durchbiegung.

Die in Millimetern angegebenen Krümmungshalbmesser sind in der

	ersten Symmetrieebene	zweiten Symmetrieebene
für die Linse - 10 dptr, - 6 dptr	$\left\{ \begin{array}{l} r_1 = 144,8 \\ r_2 = 38,4 \text{ (mer.)} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} r_1 = 144,8 \\ r_2 = 53,3 \text{ (rot.)} \end{array} \right.$
für die Linse + 2 dptr, + 6 dptr	$\left\{ \begin{array}{l} r_1 = 72,2 \text{ (mer.)} \\ r_2 = 97,3 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} r_1 = 47,3 \text{ (rot.)} \\ r_2 = 97,3 \end{array} \right.$

Astigmatische Fehler				
für $w' = 30^\circ$ , bei zerstreuen Linsen (- 6, - 10 dptr)				
	$Y_1$		$Y_2$	
	dptr	%	dptr	%
von sphäro-zylindrischer Form . . . . .	1,30	32,5	0,19	4,75
von zweckmäßiger Durchbiegung . . . . .	- 0,11	2,75	- 0,11	2,75
für $w' = 35^\circ$ , bei sammelnden Linsen (+ 6, + 2 dptr)				
von sphäro-zylindrischer Form . . . . .	0,27	6,7	2,85	71,25
von zweckmäßiger Durchbiegung . . . . .	0,4	10,0	0,28	7,0

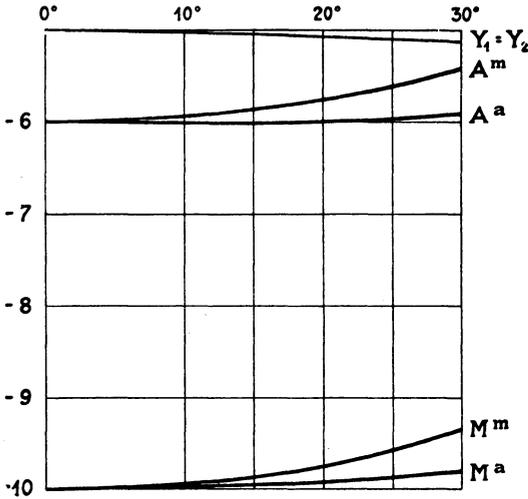


Abb. 52.  
 $M = -10$  dptr;  $A = -6$  dptr;  $w' = 30^\circ$ .

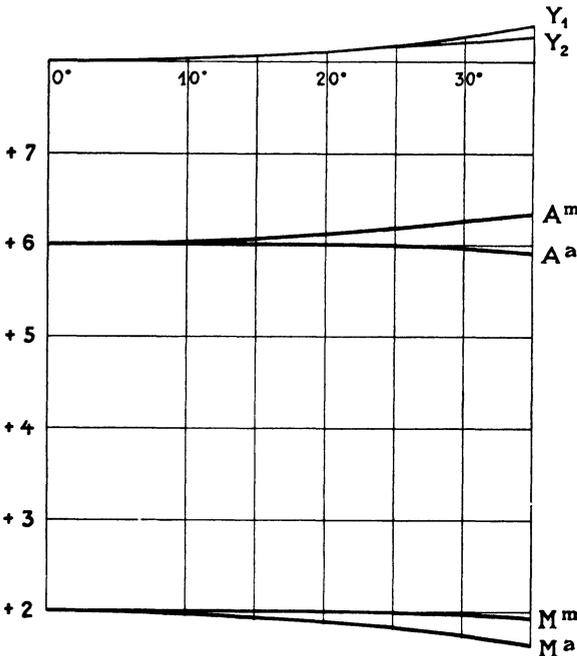


Abb. 53.

$M = 2$  dptr;  $A = 6$  dptr;  $w' = 35^\circ$ .

Abb. 52 u. 53. Die Änderung der Korrektionswirkung mit der Blickneigung in den beiden Symmetrieebenen sphäro-torischer Gläser zweckmäßiger Durchbiegung. Darstellung der vier auf die Scheitelkugel (S. 780) bezogenen Kehrwerte  $M^m$ ,  $M^a$ ,  $A^m$ ,  $A^a$ , sowie der astigmatischen Fehler  $Y_1$  und  $Y_2$  in ihrer Abhängigkeit vom Blickwinkel  $w'$ .

Bereits die Betrachtung der Abb. 52 u. 53 wird den Fortschritt deutlich machen. Mankanauch (S. 749 unten) die astigmatischen Fehler  $Y_1$  und  $Y_2$  in Hundertteilen des Astigmatismus von 4 dptr ausdrücken, wie er längs der Achse vorgeschrieben ist.

Man sieht, daß die Bedingung  $Y_1 = Y_2$  im Falle der Sammellinsen noch nicht ganz erfüllt worden ist, und man erkennt ferner noch, daß die zerstreuernden Gläser auch bei astigmatischen Wirkungen in bezug auf die Ausgleichung der astigmatischen Fehler vor den sammelnden bevorzugt sind.

Es sei wieder auf das Bild hingewiesen, in dem O. HENKER (b) seine photographischen Prüfungsergebnisse eines sphäro-torischen Glases zusammengestellt hat. Dabei ergab sich, daß sie nicht nur in den berechneten Symmetrieebenen gut waren, sondern auch in den nicht berechneten Zwischengebieten. Schließlich hat auch die Prüfung durch astigmatische Brillenträger bestätigt, daß man den richtigen Weg gegangen war und einen Fortschritt erzielt hatte (Abb. 83 auf S. 829).

**Die Grenzen des Fehlerausgleiches.** Auch für diese astigmatischen Linsen gibt es eine bildliche Darstellungsweise, die der TSCHERNINGSchen Ellipse für achsensymmetrische Gläser entspricht. Nach J. SPANUTH (b) sind diese ja als Sonderfälle mit dem Astigmatismus Null aufzufassen. Er macht auf die Grenzen aufmerksam,

die der genügenden Verminderung des astigmatischen Fehlers sphäro-torischer Linsen in der Gegend der höheren Sammelgläser etwa bei + 8 bis

+ 9 dptr gesetzt wird<sup>1</sup>. Das brauchbare Gebiet umfaßt die Stärken von — 25 bis + 7,5 dptr (O. HENKER [b, 271, c, 200]). Jenseits dieser sind höhere Mittel nötig. Die doppelte Anwendung eines Torus (Doppeltorus mit gekreuzten oder gleichgerichteten Achsen) hilft nicht nennenswert weiter. Dagegen ist es bemerkenswert, daß, wie H. BOEGEHOLD (b) zeigte, auch Gläser von großem Astigmatismusbetrag in befriedigender Weise verbessert werden können. Schließlich muß auch hervorgehoben werden, daß bei den hohen Kurzsichtigkeiten zerstreuernde Vorderflächen auftreten (J. SPANUTH [b]). Für Sammelgläser ist der Außentorus, für Zerstreuungsgläser der Innentorus günstig.

### III. Die Farbenfehler der Brillengläser.

Beschränkt man sich, wie es bei diesem Abschnitt notwendig ist, auf die Verundeutlichung des Netzhautbildes, und zwar zunächst längs der Achse, so tritt bei dem einfachen Brillenglas — und dazu gehören die überwiegende Anzahl der Brillengläser — eine Längsabweichung auf, deren Betrag auf S. 477 bereits zu

$$D_{1F} - D_{1C} = \frac{D_1 D}{\nu}$$

bestimmt worden war.

Beachtet man aber, daß das Auge selbst mit farbiger Längsabweichung behaftet ist, und zwar von großem Betrage, wie er einer Brechkraft von 58,64 dptr entspricht, so wird man die Bedeutung dieses Fehlers bei den viel schwächeren Wirkungen der sammelnden Brillengläser (die zerstreuernden Gläser würden die farbige Längsabweichung des Auges sogar vermindern) nicht hoch anschlagen.

Die älteren Versuche mit farbfehlerfreien Brillengläsern — sie treten schon im Ausgang des 18. Jahrhunderts auf — haben auch keinen Anklang gefunden.

Wo man neuerdings — wie für bestimmte Arten (S. 819) von Zweistärkengläsern — an eine Beeinflussung der farbigen Abweichungen gedacht hat, geschah es zur Verminderung der Farbenverschiedenheit der Hauptstrahlneigung. Sie ist der störendste Farbenfehler der Brille, muß aber in einem der folgenden Abschnitte (S. 810) behandelt werden.

### IV. Der Einfluß des Brillenglases auf die Richtung der schiefen Hauptstrahlen.

Da, wie wir wissen, Brillengläser geeigneter Form auch für Blickrichtungen endlicher Neigung zur Glasachse deutliche Bilder vermitteln, so ist es nicht unnütz, sich auch um die Richtung zu kümmern, in der diese Bilder dem Auge geboten werden.

#### 1. Die Folgen der Neigungsänderung einfarbiger Hauptstrahlen.

Aus der Tatsache, daß im allgemeinen nur Einzellinsen als Brillengläser verwendet werden, ergibt sich als notwendige Folge, daß alle nicht mit der Glasachse zusammenfallenden Hauptstrahlen am Glas Ablenkungen aus ihrer Richtung erfahren, eine Tatsache, die wir auch schon (S. 780) erwähnt haben. Der Sinn der Ablenkung ist aus dem Vorzeichen der Linse ohne weiteres ersichtlich (vgl. Abb. 54). Ein mit der Neigung  $w$  zur Achse ankommender Strahl erhält von einer Sammellinse eine Vermehrung seiner Neigung, so daß er im Augenraum des Glases den größeren Winkel  $w'$  zur Achse bildet (obere Hälfte der Abb. 54a und b).

<sup>1</sup> Derartige Kurven hat WHITWELL (a) für einzelne Beträge von Astigmatismus (1, 2, 3, 4 dptr) bekanntgegeben.

Umgekehrt ist  $w'$  bei einer Zerstreuungslinse kleiner als  $w$  (untere Hälfte der Abb. 54 a und b). Gleiche, achsensenkrechte Strecken des Dingraums scheinen dem brillenbewaffneten Übersichtigen größer, dem Kurzsichtigen kleiner als dem Rechtsichtigen.

a) Die Änderung der Größe des Blickfeldes.

Nehmen wir einmal an, daß ein dingsseitiges Hauptstrahlenbündel endlicher Öffnung auch nach der Brechung an einem dünnen Brillenglas noch spitz

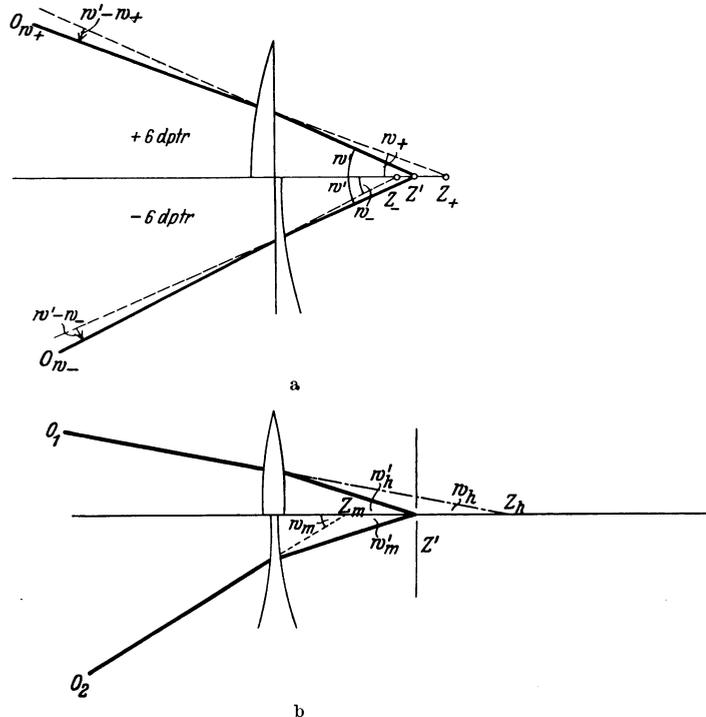


Abb. 54 a u. b. Die Ablenkung ( $w' - w_+$  auf die Achse zu) bei sammelnden und ( $w' - w_-$  von der Achse weg) bei zerstreuenen Linsen.

(homozentrisch) verliefte, d. h. daß alle auch verschieden stark geneigten Strahlen, die im Augenraum durch  $Z'$  ziehen, auch auf der Dingseite die Richtung nach einem gemeinsamen Punkt, nach  $Z$ , besäßen (Abb. 54). Dann würde für einen im Dingraum stehenden Beobachter der Drehpunkt, bzw. die ihn vertretende Blende in  $Z$  erscheinen, weil eben die sein Auge treffenden Strahlen eine solche Richtung besitzen, als kämen sie aus dem Punkt  $Z$ , der darum der *scheinbare Augendrehpunkt* heißt. Bei Kurzsichtigen liegt entsprechend den geschilderten Ablenkungen dieser Punkt  $Z$  vor, bei Übersichtigen dagegen hinter dem wirklichen Augendrehpunkt  $Z'$ . Der Abstand zwischen den verschiedenen in den äußersten Fällen von Fehlsichtigkeit möglichen Lagen von  $Z$  beträgt indessen nur wenige Millimeter.

Diese Verschiedenheit des Beobachtungsortes im Dingraum kann als belanglos gelten, weil die Akkommodationsbreite eine zu große Nähe der Gegenstände nicht zuläßt. Daher dürfen die Winkel, unter welchen die Gegenstände von dem Punkt  $Z$  aus erscheinen, für die verschiedenen Fehlsichtigkeiten als gleich

gelten. Unter diesen Umständen ist in jedem Falle ein unmittelbarer Vergleich der dingseitigen  $w$  mit den zugehörigen augenseitigen Blickwinkeln  $w'$  zulässig, und gleichbedeutend mit diesem ein Vergleich zwischen den Blickwinkeln des Brillenträgers und denen des unbewaffneten Rechtsichtigen<sup>1</sup>.

Man kann also, wenn man, wie auch sonst in der Optik, die Winkeltangente als einen Ausdruck der scheinbaren Größe wählt, das Größenverhältnis leicht angeben, das besteht zwischen der Beobachtung mit und ohne Brille, nämlich durch den Bruch

$$v = \frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w} = \frac{h}{S Z'} \cdot \frac{S Z}{h} = \frac{S Z}{S Z'}.$$

Die Größe  $S Z' = 25$  mm setzt sich zusammen aus dem Abstände  $S Z$  zwischen Hornhautscheitel und dem Augendrehpunkt sowie der bekannten Strecke  $\vartheta = 12$  mm, die in Rücksicht auf die Sauberkeit des Glases infolge der Liddicke und der Wimperlänge zu wählen ist.  $S Z$  hängt in erster Linie von der Stärke des Glases  $a b$  und läßt sich leicht berechnen<sup>2</sup>. ( $h$  ergibt sich ohne weiteres aus Abb. 54.) ( $S$  ist der Scheitel des dünnen Glases.) Mit zunehmender Brechkraft wächst natürlich auch die scheinbare Größe.

Der Gang dieser Wirkung ist recht merkwürdig, sobald man über die häufig vorkommenden Glasstärken hinausgeht zu den seltener angewandten. Diese seltenen Fälle sind zugleich auch fast immer solche, deren Sehvorgang ganz abgesehen von der Fehlsichtigkeit an sich irgendwie von der Regel abweicht. Bei den hochgradig Kurzsichtigen hat man es wegen der begleitenden Hintergrundsveränderung eigentlich immer mit Schwachsichtigkeit zu tun, bei ungewöhnlich hohen Übersichtigen oft mit Schwachsichtigkeiten infolge von Verletzungen (Aphakische). Auf diesen Leuten lastet dann, wenn sie die ersehnte Sehhilfe erhalten, neben den Mühen, die ihnen trotz der Brille noch immer erwachsen, das Gewicht der sog. Brillenfehler in besonders hohem Maß, weil eben diese unerwünschten und unvermeidbaren Nebenwirkungen wegen der notwendigen hohen Brechkraft in mancher Hinsicht besonders stark in die Erscheinung treten.

Darum ist es nicht überflüssig, die Untersuchung auch auf diese seltenen Fälle auszudehnen im Gegensatz zur sonst üblichen Beschränkung auf die gangbaren Glasstärken. Ich habe dies für die Blickwinkelveränderung getan. In dieser Kurve sieht man, als Abszisse die Glasstärke  $D_1$  eingetragen, als Ordinate die Größe  $v = \operatorname{tg} w' / \operatorname{tg} w$ . Die Linie durchläuft den Ordinatenwert 1 natürlich bei  $D_1 = 0$ , wo  $w' = w$  ist. Sie sinkt nach links hin mit zunehmender Kurzsichtigkeit in vermindertem Gefälle ab und steigt nach rechts bei der Übersichtigkeit an, wie wir schon wissen. Bei  $D_1 = -25$  beträgt  $v$  etwas über 0,75, bei  $-60$  dptr wird der Wert  $v = 0,4$  erreicht. Sonst übt die Seite der Kurzsichtigkeit keine weitere Anziehung aus. Hingegen fällt beim

<sup>1</sup> Ebenso ein Vergleich der Blickwinkel bei verschiedenen Fehlsichtigkeiten untereinander. Es brauchte das nicht ohne weiteres zulässig zu sein. Man denke sich ein optisches Gerät, das Verlagerungen des scheinbaren Drehpunkts  $P$  von endlicher Größe hervorbrächte bei sehr geringer Dingtfernung. — Als ein Beispiel diene eine Fernrohrlupe (S. 786) für einen Übersichtigen von hohem Grade, die, mit einem äußeren Aufsteckglas kurzer Brennweite versehen, zur Betrachtung eines kleinen Bildwerks gebraucht werde. Alsdann liegt der Hauptstrahlenkreuzungspunkt in der Mitte der Eintrittspupille, also ungefähr am Scheitel des äußeren Aufsteckglases und ist damit dem Bildwerk so nahe gebracht, wie es sonst dem Übersichtigen ganz unmöglich wäre. Mithin ist die Perspektive ihm völlig ungewohnt, und er betrachtet sie auch noch mit der Vergrößerung der Fernrohrlupe.

<sup>2</sup>  $Z$  und  $Z'$ , scheinbarer Drehpunkt und Drehpunkt, sind einander für das Brillenglas  $D_1$  als Ding und Bild zugeordnet, so daß also für dünne Linsen — wo  $H_1$ ,  $H'$  und  $S$  zusammenfallen — gilt

$$\frac{1}{S Z'} = D_1 + \frac{1}{S Z}.$$

Überschreiten der Brechkraft 0 nach der anderen Seite der steile und rasch zunehmende Anstieg der Kurve auf.  $D_1 = 13$  dptr bringt die Vergrößerung  $v = 1,48$  mit sich und bei  $+ 20,0$  wird  $v = 2,0$  und bei einer Brechkraft von 22 dptr, einer Glasstärke, die ich mehrmals zu verordnen Gelegenheit hatte, wird sogar  $v = 2,16$  überschritten. Selbstverständlich hängt dies  $v$  ab von dem Glasabstand,

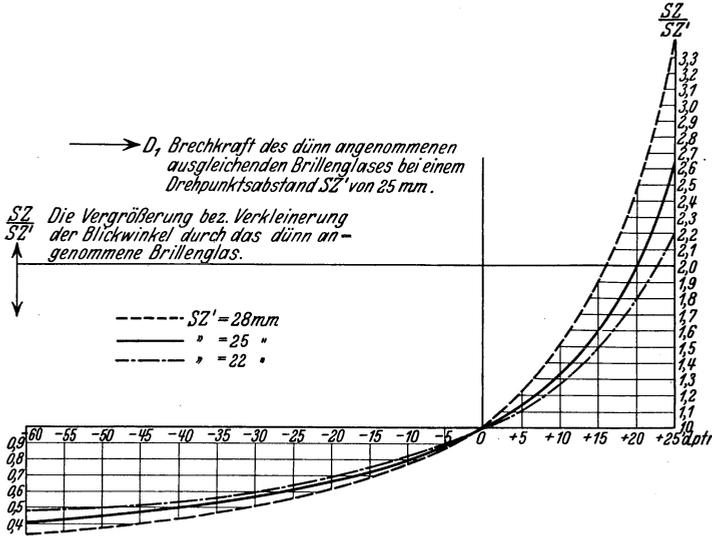


Abb. 55. Das Verhältnis der Richtungstangenten  $\frac{\text{tg } w'}{\text{tg } w} = \frac{SZ}{SZ'}$  im GAUSSISCHEN Raum des brillenbewaffneten Auges für die drei Drehpunktsabstände von — — — mit 28 mm, ————— mit 25 mm und - · - · - mit 22 mm für eine große Ausdehnung von  $D_1$ -Werten  $- 60 \text{ dptr} \leq D_1 \leq + 25 \text{ dptr}$ .

doch nur in sehr bescheidenem Maße und etwa in dem Sinn, daß die Kurve sich mit abnehmenden  $SZ'$  um den Punkt  $x = 0$ ;  $y = v = 1$  im Sinne des Uhrzeigers dreht<sup>1</sup>.

b) Die Änderung der Perspektive beim Sehen durch ein Brillenglas.

Wenn man dem Einfluß dieser Winkeländerung mit M. v. ROHR nachgeht, so findet man, daß sie als eine Änderung der Perspektive auf die Raumdeutung in verschiedener Weise einwirkt, je nachdem man bekannte oder unbekannt Gegenstände vor sich hat. Halten wir an unserer obigen Annahme fest, daß Z der Kreuzungspunkt aller dingseitigen und Z' der Kreuzungspunkt aller augenseitigen Hauptstrahlen sei, so haben wir zwei voneinander verschiedene Perspektiven vor uns. Die Hauptstrahlen vor der Brechung bilden die dingseitige Perspektive mit ihrem Mittelpunkt Z, die Strahlen nach der Brechung mit ihrem gemeinsamen Kreuzungspunkt Z' würden die Perspektive des Augenraums darstellen (Abb. 54a).

Doch ist uns diese letzte nicht eben wichtig, weil wir die Beobachtungen im Augenraum ohne weiteres auf den Dingraum vor dem Brillenglas beziehen. Daher werden wir die Hauptstrahlneigungen bei Z' besser auffassen als Anzeichen, unter welchen Winkeln der Brillenträger die Perspektive des Dingraums — sie sei bei Fernbrillen auf der unendlich fernen Ebene entworfen gedacht — auffaßt.

<sup>1</sup> Diese Rechnungen sind außerdem nur für verschwindende Winkel  $w'$  und  $w$  zuverlässig. Sobald man zu endlichen Winkeln übergeht, macht sich die Tatsache bemerkbar, daß der scheinbare Augendrehpunkt häufig mit ganz großen Längsabweichungen behaftet ist. Ich habe selber (a) einen solchen Fall 1913 beschrieben, worauf hier hinzuweisen ist.

Die Gesamtheit der Durchstoßungspunkte eines perspektivischen Bündels mit der fernen Ebene ist ja eine perspektivische Darstellung, wie wir sie als Zeichnung, Gemälde oder Photographie kennen.

Die perspektivische Darstellung hängt im einzelnen von den Gegenständen des Dingraums und der Lage von Z ab, bei der Betrachtung werden aber die Winkel geändert, und zwar entsprechend dem oben betrachteten Verhältnis

$$v = \frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w} = \frac{SZ}{SZ'}$$

Nehmen wir zunächst nicht die äußersten Fälle starker Brillengläser an, sondern bleiben bei mittleren und schwachen, so ist jenes Verhältnis auch für endliche Winkel  $w, w'$  noch einigermaßen gültig. Man kann aus den allgemeinen Regeln der Perspektive Aussagen über die Formänderungen machen, die auftreten müssen, sobald die perspektivischen Winkel  $w$  durch das Brillenglas vergrößert (oder verkleinert) werden, wie das bei Sammell- (oder Zerstreuungs-)linsen geschieht.

Sind die Winkel  $w' < w$ , wie bei Zerstreuungslinsen, so steigert sich die Tiefenausdehnung (Abb. 56 1, 3, 5), oder die hinteren Teile des Dingraums erscheinen zu klein; sind umgekehrt die Winkel  $w' > w$ , wie bei Sammellinsen (Abb. 56 2, 4, 6), so nimmt im Gegenteil die Tiefenausdehnung ab oder die hinteren Teile des Dingraums erscheinen zu groß. Natürlich sind in beiden Fällen auch Mischdeutungen zwischen den beiden Grenzmöglichkeiten denkbar.

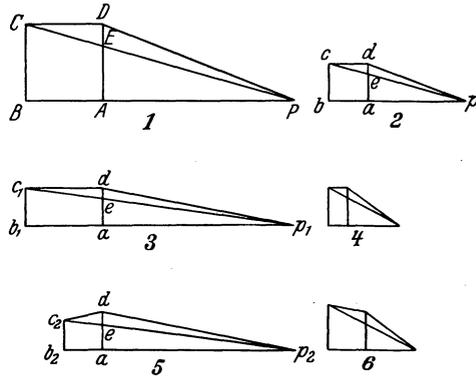


Abb. 56. Allgemeine Darstellungen zum Einfluß geänderter Blickwinkel auf die Deutung perspektivischer Darstellungen.

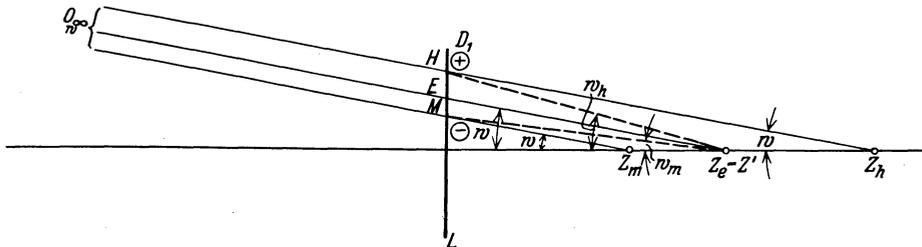


Abb. 57. Die Einfallshöhe in der Glasscheibe bei gleicher dingseitiger Neigung  $w$ , aber verschiedener Brechkraft des Brillenglases (verschiedenem Ort des scheinbaren Drehpunktes). Erklärung im Text.

**Die Anpassung an die veränderte Perspektive.** Wer weiß, als wie knetbar sich die räumlichen Gesichtswahrnehmungen erweisen unter der Einwirkung verschiedener Beobachtungsbedingungen und unter der bewußten und unbewußten Berücksichtigung der Erfahrung, der darf sich nicht wundern über die Mannigfaltigkeit der Beobachtungsergebnisse an verschiedenen Dingen und bei verschiedenen Personen. Man kann sich von diesen Dingen leicht selbst überzeugen, wenn man einäugig ein genügend großes Bild beobachtet und ausgehend vom wirklichen perspektivischen Mittelpunkt Z den Abstand stetig vermindert oder vermehrt und dies an verschiedenen Bildern vornimmt. Der Blick in lange Straßenzüge läßt uns bei verkürztem Beobachtungsabstand die fernen Gebäude unverhältnismäßig hoch und ihren Abstand unverhältnismäßig gering erscheinen. Der umgekehrte Fehler ist uns allen sozusagen geläufig von der

Betrachtung der Erzeugnisse unserer Handkammern, die meist mit Linsen kurzer Brennweite ausgestattet sind, während die Bilder regelmäßig in bequemer Entfernung besehen werden. Wir sind geradezu schon daran gewöhnt, den Hintergrund geschrumpft und in weiter Ferne zu finden. Die Gebäude in den Häuserzeilen verkleinern sich mehr und mehr je weiter entfernt sie sind, die Straßen erscheinen ungeheuer lang, oder beides tritt zusammen auf.

Die Ablenkung, der zur Achse geneigten Strahlen in einer Einzellinse, wie sie gewöhnlich als Brillenglas verwendet wird, bewirkt also eine Änderung der Perspektive durch die scheinbare Verlagerung des Augendrehpunktes, und diese wieder eine Änderung der Raumdeutung im einäugigen Sehen. Sie hat aber noch augenfälligere Folgen. Wenn wir die Ebene der Fassung des Brillenglases achsensenkrecht annehmen, so wird diese von verschiedenen parallelen Strahlen eines unendlich fernen, außerhalb der Achsenrichtung liegenden Punktes in verschiedener Höhe durchstoßen (s. Abb. 57). Unter ihnen werde einer, nämlich  $O_w Z'$  vom freien Auge herausgegriffen, wenn in  $Z_r (= Z')$  sein Augendrehpunkt ist. Die anderen beiden treffen die Achse jeweils vor und hinter  $Z_e$  in  $Z_m$  u  $Z_h$ . Sobald das Glas aber von endlicher Brechkraft ist, wird  $O_w Z'$  aufgegeben, und bei einem Sammelglas aus dem dingseitigen Strahlenbündel  $O_w Z_h$  ausgewählt, dem durch die Brechung die Richtung  $HZ'$  verliehen wird. Bei einem Zerstreuungsglas hingegen tritt an Stelle von  $O_w Z_h$  der Strahl  $O_w MZ_m$ , der infolge der Brechung auf der Augenseite die Richtung  $MZ'$  annimmt.

Alle drei dingseitigen Strahlen zielen rückwärts verfolgt nach dem gleichen Dingpunkte  $O_w$ ; sie bilden auch alle die gleichen Neigungswinkel  $w$  zur Achse. Die durch sie bestimmte dingseitige Feldgröße ist also gleich. Aber sie wird im Augenraum des Brillenglases durch sehr verschieden große Winkel begrenzt, nämlich  $w_m$ ,  $w$ ,  $w_h$ . Diese verschiedenen großen Winkel, die vom Auge beim Blicken im gleichen Achsenpunkt durchlaufen werden, führen zu verschiedenen großen Einfallshöhen in der Glasebene.

Daraus geht hervor, daß verschiedene Fehlsichtigkeiten sehr verschiedene Scheibengrößen verlangen, wenn sie das gleiche dingseitige Blickfeld gewähren sollen. Beim Kurzsichtigen genügen kleinere Gläser, beim Übersichtigen müssen sie größer sein als eine am gleichen Ort befindliche (etwa farbig zu wählende) Planscheibe, die für den Rechtsichtigen das gleiche Feld (farbig) abgrenzen sollte. Das bedeutet natürlich eine größere Gewichtszunahme für das Sammelglas, als der gleichen Flächenvergrößerung der Planscheibe entspräche, weil die Dicke der Linse notwendigerweise mit dem Scheibendurchmesser wachsen muß. Beim Zerstreuungsglas würde bei vorgeschriebener dingseitiger Feldgröße eine Verminderung der Scheibengröße und eine Gewichtersparnis infolge des wegfallenden Randes eintreten.

### c) Das Gesichts- bzw. Blickfeld des Brillenträgers.

**Der Anschluß der mit und ohne Brillenglas gesehenen Gesichtsfeldteile.** Betrachtet man den Anschluß der einerseits durch die Brille und andererseits der vom freien Auge gesehenen Gesichtsfeldteile aneinander, so findet sich beim Sammelglas (s. Abb. 58, oberer Teil) ein bei keiner Augenstellung für den Blick erreichbares Gebiet, dessen Größe dem Ablenkungswinkel der Randstelle gleich ist. Blickt das Auge hinter der Brille von der Achse aus allmählich nach der Seite, so stammt der letzte Strahl, der noch eben durch den Rand des Glases geht, von  $O_i$ . Der unmittelbar benachbarte aber, der streifend am Glasrand ungebrochen vorbei ins Auge eintritt von  $O_a$ . Von allen zwischen  $O_i$  und  $O_a$  liegenden Punkten gelangt kein Strahl ins Auge.

Im Gegensatz dazu ist beim Zerstreuungsglas (s. Abb. 58, unterer Teil) das entsprechende Gebiet doppelt sichtbar, sowohl durch die Brille als auch ohne sie. Denn der letzte im Glasrand noch gebrochene Strahl kommt vom Punkt  $O_a$  auf den Weg  $O_aRZ'$ , während der unmittelbar benachbarte, ungebrochene von  $O_i$  stammt ( $O_iRZ'$ ). Der Punkt  $O_a$  ist aber auch unmittelbar sichtbar, wenn das Auge mit stärkerer Neigung in der Richtung ( $Z'O_a$ ) am Glas vorbei blickt. Die zwischen  $O_i$  und  $O_a$  liegenden Punkte werden von den freien Blicklinien  $O_iRZ'$  (ausgezogene Gerade) und  $O_aZ'$  (Strich-Punkt-Linie) im Winkel  $O_iZ'O_a$  eingeschlossen. Die gleichen Dingpunkte zwischen  $O_i$  und  $O_a$  sind mittelbar durch das Glas bei geringeren Blickneigungen zu erreichen ( $O_iMZ'$  und  $O_aRZ'$ ). Für den durch das Zerstreuungsglas Blickenden sind sie dann eingeschlossen in den Winkel  $MZ'R$ .

**Folgen der Änderung der Raumfassung durch das Brillenglas.** Die bekannten Schwierigkeiten des hochgradig Übersichtigen, insbesondere des am Star Operierten beim Treppensteigen beruhen gewiß zum Teil auf diesem Gesichtsfeldausfall, wobei doch auch die veränderte Richtung des gesehenen, sowie die durch die veränderte Perspektive eingeführte neue Raumfassung und nicht zum mindesten auch die jeder Einzellinse anhaftende Verzeichnung eine Rolle spielen.

Wenn man sich nach einer Abhilfe umsieht, so ist zunächst die Unmöglichkeit zu betonen, bei sphärischen Einzellinsen die Richtungsänderung und ihre Folgen — einschließlich der Verzeichnung — zu beseitigen. Das gilt somit auch für den Gesichtsfeldausfall bei Sammellinsen. Es kann sich nur um eine möglichst weitgehende Verkleinerung des Fehlers handeln. Der Feldausfall wird um so größer, je größer der Blickwinkel  $w'$  ist. Eine Beschränkung der Scheibengröße, auf die ein solcher hinleitet, schaltet aber mit der Verkleinerung des nicht zugänglichen Blickfeldabschnittes eben ein großes Gebiet vom deutlichen Sehen aus und würde dadurch zu teuer erkaufte. Es müssen hier in einfacher Weise Kopfbewegungen als Hilfe eintreten. Diese werden tatsächlich vom Brillenträger ohne Aufforderung, und ohne daß er den Zusammenhang erkennt, herangezogen. Die vorsichtig tastend vorgestreckten Füße und Hände, der stark vorgeneigte Kopf des mit einer Brille versehenen Staroperierten, ist ein typisches, jedem Augenarzt geläufiges Bild. In der geschilderten unsicheren, ja oft mehr oder weniger hilflosen Haltung sehen wir — und die Jüngeren unter uns anfangs wohl mit einer gewissen kritischen Verwunderung — auch die „Glücklichen“ sich bewegen, die mit voller Sehschärfe das Haus verlassen. Die Freude über das wiedergewonnene Sehen ist daher verständlicherweise nicht selten recht gedämpft, wenn mit der ersehnten Brille der erste Ausgang gewagt wird. Man denke an die Gegensätze in der Größenänderung, der Blickwinkel und der Netzhautbilder, an die Vergleichsgrößen für den Brillenträger, sein Sehen vor und nach der Operation, an die vor

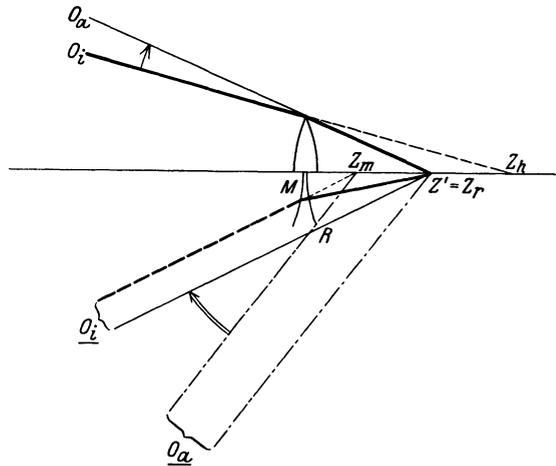


Abb. 58. Die am Brillenrand vorbei erblickten Seitendinge schließen sich an den Rand des Blickfeldes der Brille bei Sammellinsen mit einem Ausfall, bei Zerstreuungslinsen mit einer Überdeckung an.

der Operation ganz verschwommenen unscharfen, auch mit Glas meist gar nicht zu verbessernden Netzhautbilder.

#### d) Die Verzeichnung der Brillengläser.

Für die oben ausgeschlossenen Fälle der stärkeren Brillengläser muß mit einer Eigenschaft gerechnet werden, die gelegentlich sehr störend ist, nämlich mit der Verzeichnung der Brillengläser. Ein Quadrat des Dingraums wird dann nicht mehr als ein Quadrat abgebildet, sondern als ein Viereck mit krummen Seiten (der Fall kissenförmiger Verzeichnung bei Sammellinsen und tonnenförmiger bei Zerstreuungslinsen).

Ich habe (a) den Fall der Verzeichnung einer Starlinse von  $A'_\infty = +13$  dptr genauer behandelt und verweise darauf, wenn eine solche Darlegung fesselt.

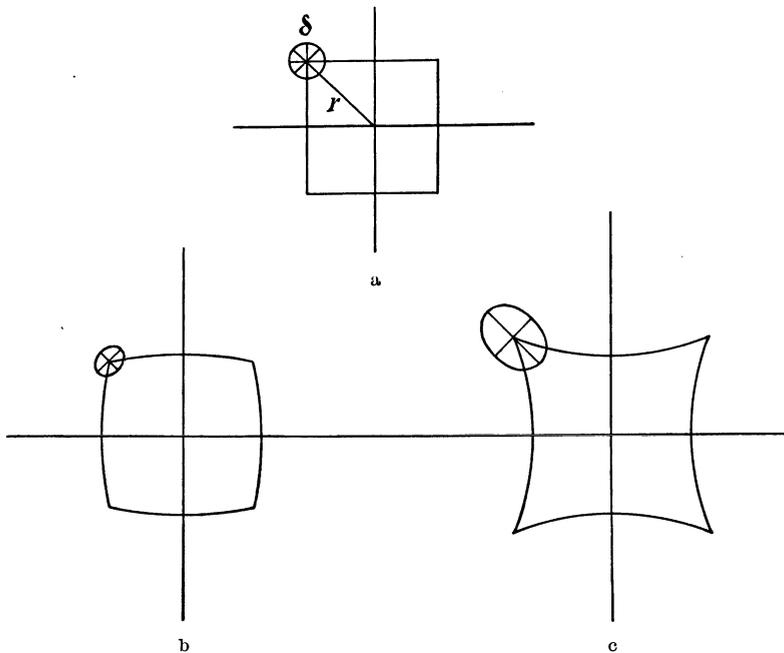


Abb. 59. Die Erscheinungsform der Verzeichnung eines seitlich gelegenen kleinen Kreises. a Das Kreislein im Dingraum, b im Augengeräum eines zerstreuen, c im Augengeräum eines sammelnden Brillenglasses.

Die Verzeichnung ist auch bei punktmäßig abbildenden Brillen vorhanden, und zwar wurde schon 1911 von M. v. ROHR der Grund dafür hervorgehoben. Wenn man bei den das blickende Auge möglichst vollkommen unterstützenden Brillen die bildseitigen Brennpunkte der schiefen Büschel hat zusammenfallen lassen ( $F'_{/w} = F'_{tw}$ ), so gilt das durchaus nicht für die schiefen Hauptpunkte ( $H'_{/w}$  ist verschieden von  $H'_{tw}$ ). Für Sammellinsen ergeben sich die Brennweiten in den schiefen Büscheln unter sich ungleich, beide aber länger als die Brennweite im geraden Bündel. Für Zerstreuungslinsen ist es gerade umgekehrt. Über die Wiedergabe eines Quadrats haben wir S. 785 gesprochen, seinem Aussehen entspricht genau eine Verzerrung kleiner Randkreise. Diese erscheinen als Ellipsen, und zwar ist in den speichenrechten (tangentialen) Büscheln die Vergrößerung bei Sammellinsen zu stark (verlängerte Ellipse), bei Zerstreuungslinsen zu schwach (gedrückte Ellipse) (s. Abb. 59).

Dieser Verzeichnungsfehler kann Brillenträgern mit besonders guter Schulung des Auges für die Form störend sein; ich entsinne mich eines Steinzeichners, den die Verzeichnung seiner schwach sammelnden Arbeitsbrille bereits störte. Im allgemeinen fällt dieser Fehler nicht auf. Ich führe dazu die Aussage eines Bekannten mit einer ganz beachtenswerten Kenntnis der perspektivischen Gesetze an. Er erkennt als Kurzsichtiger von  $-7$  dptr die tonnenförmige Verzeichnung an seitlichen Senkrechten sehr wohl, wird aber bei unbefangener Betrachtung der Außenwelt dadurch nicht gestört.

Immerhin muß auf M. TSCHERNINGS Vorschlag hingewiesen werden, der verzeichnungsfreie Brillengläser empfahl. Schon die Notwendigkeit, auf die Punktmäßigkeit der Abbildung zu verzichten, erschwert es, ihm zu folgen, und außerdem läßt sich mit kuglig begrenzten Linsen die Verzeichnung mittels Durchbiegung nur mindern, nicht heben.

**Der Ausgleich der Verzeichnung.** Auf die Möglichkeit, unter Verwendung einer nicht sphärischen Fläche neben dem Astigmatismus schiefer Bündel auch noch die Verzeichnung des einzelnen Brillenglases zu heben, hat M. v. ROHR 1911 hingewiesen, was hier wenigstens erwähnt sei.

Bei Brillen von verwickelterer Zusammensetzung, wie etwa den Fernrohrbrillen, ließen sich verständlicherweise die reichlicheren Mittel auch zur Hebung der Verzeichnung heranziehen (s. M. v. ROHR [c. 583]), doch ist diese Möglichkeit auf die Fernrohr- und Anisotropiebrillen beschränkt.

Soll die Verzeichnung vermindert werden, so ist zu untersuchen, welche Bestimmungsstücke eines Glases geändert werden können, wobei aber die vorgeschriebene Brechkraft erhalten bleibt. Hier erweist sich die schon im vorigen Kapitel zur Beseitigung des Astigmatismus schiefer Bündel so erfolgreich verwendete Durchbiegung als wirksam. Da die Deutlichkeit des Bildes auch im blickenden Auge nicht leiden darf, so ist streng genommen nicht viel Wahl übrig, nämlich nur die zwischen den beiden Formen der punktuell abbildenden Gläser, nämlich der OSTWALTSchen und der WOLLASTONSchen. Die WOLLASTONSche besitzt in dieser Hinsicht entschieden den Vorzug vor der OSTWALTSchen. Immerhin läßt sich die Durchführung eines Vergleiches auch für andere Formen rechtfertigen, weil sie noch häufig genug getragen werden. Angaben über den Grad der Verzeichnung macht HENKER (b, 142, c, 215). Wir entnehmen ihm die nachstehende Tafel.

Die Verzeichnung verschiedener Brillengläser.

Scheitel- brechwert	Die Verzeichnung von					
	gleich- seitigen Gläsern in %	Plangläsern in %	peri- skopischen Gläsern in %	Halb- muschel- gläsern in %	Punktal- gläsern OSTWALTScher Form	Punktal- gläsern WOLLASTON- scher Form
+ 2	+ 5,4	+ 4,9	+ 4,4	+ 2,9	+ 2,7	+ 1,5
+ 4	+ 11,0	+ 8,9	+ 7,9	+ 5,1	+ 4,6	+ 2,7
+ 6	+ 17,0	+ 12,2	+ 10,8	+ 6,9	+ 5,9	+ 4,2
+ 8	+ 23,9	+ 15,1	+ 13,2	+ 8,5	+ 6,2	+ 6,2
- 2	- 3,6	- 3,3	- 2,8	- 1,7	- 1,5	- 0,5
- 4	- 7,7	- 6,2	- 5,5	- 3,4	- 3,6	- 1,5
- 6	- 12,3	- 9,1	- 8,0	- 5,2	- 5,7	- 2,5
- 8	- 17,9	- 11,8	- 10,5	- 6,9	- 7,9	- 3,6
- 10	- 24,8	- 14,6	- 13,0	- 8,6	- 10,4	- 4,9
- 12	- 33,8	- 17,5	- 15,6	- 10,5	- 12,8	- 6,4
- 14	- 46,5	- 20,6	- 18,3	- 12,4	- 15,6	- 8,1
- 16	- 67,2	- 23,9	- 21,2	- 14,6	- 18,3	- 10,2
- 18	- 110,3	- 27,5	- 24,5	- 16,9	- 21,1	- 12,5
- 20		- 31,6	- 28,1	- 19,6	- 31,5	- 15,5

Es zeigt sich, daß die Verzeichnung der Sammelläser abnimmt, wenn man von den gleichseitigen über die mit einer ebenen Fläche, die periskopischen Halbmuschelgläser zu den Punktalgläsern OSTWALTScher Form übergeht, um dann bei den WOLLASTONSchen ihren Mindestwert zu erreichen. Dieser liegt in der Reihe der Zerstreungsgläser zwar auch weitaus bei den WOLLASTONSchen Formen, doch stellen sich die OSTWALTSchen in dieser Hinsicht nicht mehr so gut wie die Halbmuschelgläser. Und bei  $-20$  rücken die periskopischen an die bisher von den OSTWALTSchen Formen eingenommene 3. Stelle.

## 2. Die Neigungsverschiedenheit farbiger Hauptstrahlen.

Was bisher über die prismatische Ablenkung gesagt worden ist, gilt unter der stillschweigenden Annahme einfarbigen Lichtes. Berücksichtigt man die Zusammensetzung weißen Lichtes aus seinen verschiedenen Wellenlängen, so ergeben sich Unterschiede in den Beträgen der Ablenkung in dem Sinne, daß für eine Sammellinse einer augenseitigen Hauptstrahlenneigung ein stärker geneigter längerwelliger und ein schwächer geneigter kürzerwelliger Strahl entspricht. Die Grenzen würden von je einem roten und blauen (vioioletten) Strahl gebildet.

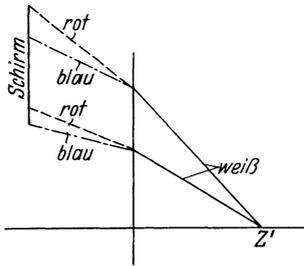


Abb. 60. Die Ableitung der farbigen Ränder am hellen Hintergrunde eines dunklen Schirms für eine Sammellinse. Ein zur Achse geneigter augenseitiger Strahl würde aufgebaut durch eine Reihe verschiedenfarbiger verschieden stark geneigter dingseitiger Strahlen. Der dunkle Schirm schließt jedoch alle bis auf je einen farbigen Randstrahl aus. Der achsennahe Schirmrand erscheint daher vom Augendrehpunkt  $Z'$  aus blau (strichpunktirt), der achsenferne rot (gestrichelt).

denke sich (Abb. 60), es würde in ein dingseitiges Winkelgebiet, aus dem ein geneigter augenseitiger Hauptstrahl die Bestandteile zum Aufbau eines „weißen Strahles“ bezieht, von der Seite her eine schwarze Fläche auf die Achse zugeschoben. Dann wird durch fortgesetzten, immer stärkeren Ausschluß der Bestandteile vom langwelligeren Ende her der weiße Strahl immer mehr entweißt, bis schließlich als letzter nur noch der blaue (violette) Strahl übrigbleibt. Ein augenseitiger Strahl größerer Neigung würde an der Außenseite jener schwarzen Fläche nur mit seinem längerwelligeren Teile hinausgelassen werden, während die kürzerwelligeren von der schwarzen Fläche verschluckt würden. Der Brillenträger würde die schwarze Fläche also mit einem achsennahen blauen und einem achsenfernen roten Saum erblicken.

Bei zerstreuenden Brillengläsern gilt hinsichtlich der Farben das Umgekehrte. Das Übersichtsbild (Abb. 61) wird nunmehr verständlich sein.

**Der Ausgleich der Farbenfehler.** Eine Hebung dieser störenden Farbenerscheinungen ist nur durch Zwillingslinsen (bei Brillengläsern in der Regel verkittet, s. a. S. 478) möglich. Wenn man schon früher (s. S. 544) solche Versuche machte, so ist — den Erfindern wohl unbewußt — die Beseitigung oder Minderung der Farbenverschiedenheit der Hauptstrahlenneigung dabei der Haupt-

vorteil gewesen. In neuerer Zeit hat man solche verkittete Zwillingenlinsen gelegentlich (übrigens ohne Erfolg im Absatz) für Starbrillen vorgeschlagen, z. B. M. v. ROHR (b). Auch bei Fernrohrbrillen ist dieser Fehler in Übereinstimmung mit älteren GULLSTRANDSchen Vorschriften bewußt nach M. v. ROHR (c) gehoben worden. — Als besonders störend erwies er sich bei älteren sammelnden Zweistärkengläsern aus einem zerstreuend wirkenden Kron- und einem sammelnd wirkenden Flintteil, wo diese Farbenfehler gerade gesteigert wurden.

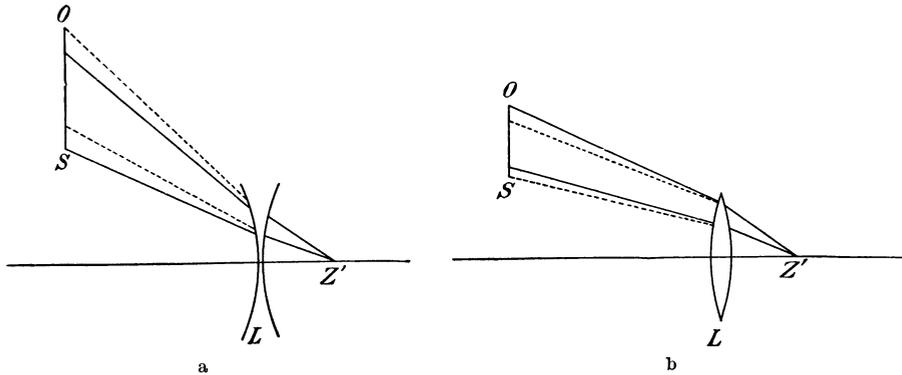


Abb. 61. Die Farbensäume bei Zerstreulinsen (a), Sammellinsen (b). Gestrichelt: blaue, ausgezogen: rote Strahlen.

In neuerer Zeit wählt man zu solchen Anlagen Glaspaaire mit großer Verschiedenheit der Brechzahlen, aber etwa gleichem  $\nu$ -Wert (s. S. 463).

### 3. Die Verzerrung gegen den Rand des Blickfeldes bei astigmatischen Linsen.

Schon oben (S. 795) war darauf hingewiesen worden, daß man durch Rechnung über den Zusammenhang ding- und bildseitiger Hauptstrahlneigungen bei astigmatischen Linsen nur in Einzelfällen (s. M. v. ROHR [d]) unterrichtet ist, weil der Rechenaufwand sehr groß ist. Die zueinander gehörigen Hauptstrahlneigungen sind außerhalb der Symmetrieebenen windschief zueinander. Auch photographische Aufnahmen eines größeren Teiles vom Blickfeld liegen bisher noch nicht vor. Dagegen sind aus den auf S. 800 erwähnten Prüfungsaufnahmen längs außerhalb der Symmetrieebenen verlaufender Hauptstrahlen die Änderungen kleiner Gebiete bekannt geworden: in der HENKERSchen Tafel die  $f$ -Spalte und von einem räumlichen Gebilde bei M. v. ROHR (d, Taf. 27)  $45^\circ$  Streifen. Bei aufmerksamer Betrachtung wird man in beiden Fällen gewisse Verzerrungen selbst der in der Achsenrichtung wiedergegebenen und eben auch nicht mehr ganz dingähnlichen Form (s. S. 791) erkennen (Abb. 83 a. S. 829).

### 4. Nebenbilder durch Spiegelung.

Beachtet man die Tatsache, daß (s. S. 462) mit der Brechung eine schwache Spiegelung verknüpft ist, so versteht man, daß auch bei den Brillengläsern Störungen durch solche schwache Spiegelung auftreten können.

*Spiegelbilder erster Ordnung.* Es ist möglich, daß rückwärts liegende, hell beleuchtete Gegenstände durch einfache Spiegelung an der Rückfläche oder durch doppelte Brechung daselbst und Spiegelung an der Vorderfläche des Brillenglases Störungen in dem auf das Auge des Brillenträgers wirkenden Hauptbilde hervorbringen. Man könnte sie durch geeignete Blendschirme vermeiden oder, was 1913 durch W. STOCK auch vorgeschlagen wurde, dadurch, daß man stark durchgebogene Brillengläser die Umgebung der Augenhöhlen berühren läßt.

*Spiegelbilder zweiter Ordnung.* Wesentlich lichtschwächer sind die durch doppelte schwache Spiegelung entstehenden Nebenbilder der vor dem Brillenglase gelegenen Gegenstände. Bei der großen Leuchtkraft oder Flächenhelle der neuzeitlichen Lichtquellen können auch diese lichtschwachen Nebenbilder stören, wenn sie auf dunkle Gebiete des Hauptbildes fallen. Es liegt hierbei genau der Fall vor wie bei der einfachsten Aufnahmelinse, wobei auch ein einzelnes Spiegelbild stören kann, wenn es zu nahe an der Mattscheibe entsteht. An die Stelle der Mattscheibe müssen wir hier die achsensenkrechte Einstellebene des brillentragenden Auges selbst setzen und die noch vorhandene Akkommodationsbreite beachten. Das Nebenbild stört dann am wenigsten, wenn es weit von den im Akkommodationsgebiet errichteten achsensenkreten Ebenen entfernt liegt. Es sei übrigens darauf hingewiesen, daß bei dünnen Linsen seine Lage nur von der Brechkraft des Brillenglases abhängt und nicht von seiner Durchbiegung, so daß also die Kunst des Rechenmeisters versagt.

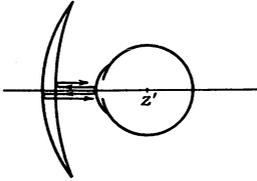


Abb. 62. Die beiden unter Beteiligung der Hornhaut entstehenden Spiegelbilder 2. Ordnung bei Lichteinfall längs der Achse.  
(Nach M. v. ROHR.)

Anders als bei der Landschaftslinse hat das brillenbewaffnete Auge noch zwei Spiegelbilder zweiter Ordnung mehr, die der schwachen Spiegelung an der Hornhaut zusammen mit je einer Glasspiegelung ihre Entstehung verdanken (Abb. 62). Die Orte dieser etwas lichtschwächeren Spiegelbilder hängen von der Durchbiegung der Linse ab. Näheres findet man bei M. v. ROHR (f, § 24) in geschichtlicher Darstellung (s. a. M. SUNDQVIST [a]).

Im allgemeinen wird man ungern von der gegen den Astigmatismus schiefer Bündel besten Durchbiegung abgehen wollen, um die beiden lichtschwächeren Spiegelbilder zweiter Ordnung zu verlagern. Es sieht auch so aus, als wenn heute, wo alle größeren deutschen Brillenwerke punktmäßig abbildende Formen anpreisen, die Klage über die Nebenbilder von unseren Brillenträgern seltener erhoben würde.

## V. Prismatisch wirkende Brillengläser (Schielbrillen im engeren Sinne)<sup>1</sup>.

Bei der Aufgabe eine latente oder manifeste Schielstellung auszugleichen, kann man oft mit Vorteil Brillengläser benutzen, die eine bestimmte Ablenkung der Strahlrichtung des Dingraumes für den Augenraum liefern. Diese Brillen, die man wohl als Schielbrillen im engeren Sinne bezeichnen kann, haben den Zweck, der fehlerhaften Richtung des Schielauges durch eine prismatische Wirkung eine Blickrichtung im Dingraum zuzuordnen, die der Richtung des nicht-schielenden Auges besser entspricht. Genauer wird darauf bei der beidäugigen Brille einzugehen sein. Hier mag die Bemerkung genügen, daß bei einer Fernbrille die mittleren beiden Achsenrichtungen im Dingraum parallel verlaufen sollen.

**Prismenbrillen.** Gemessen wurde in früheren Zeiten — Schielbrillen sind seit den 40er Jahren des 19. Jahrhunderts verordnet worden — der brechende Winkel des Prismas, später die Ablenkung in Graden, wofür man dann um 1890 zunächst die Prismendioptrie (prdp<sub>tr</sub>), eine durch die Tangente des Ablenkungswinkels bestimmte Zahl, einführte und später den Radian<sup>2</sup>, eine durch den

<sup>1</sup> Siehe auch Beitrag CORDS in Bd. 3, S. 462 dieses Handbuches.

<sup>2</sup> Für die Messungen ist der *Radian* (der Einheitswinkel = 57°,3) eine zu große Einheit, und man führte deshalb eine Messungseinheit von  $\frac{\text{Rad}}{100} = 0^\circ,573$  unter dem Namen *Centradian* (ctrd) ein, wo man eigentlich Centiradian hätte erwarten sollen.

Ablenkungswinkel selbst bestimmte Zahl. Die Einheiten der Prismendioptrie und des Centradians sind für Ablenkungswinkel unter  $10^\circ$  als gleich anzusehen.

Ist das schielende Auge rechtsichtig, so ist ein Prisma in Minimalablenkung mit dem Winkel  $\alpha$  für eine Ablenkung  $\varepsilon$  zu wählen, wo die beiden Gleichungen

$$\sin \frac{\varepsilon + \alpha}{2} = n \sin \frac{\alpha}{2}$$

und die daraus folgende

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \sin \frac{\varepsilon}{2} : \left( n - \cos \frac{\varepsilon}{2} \right)$$

jede der beiden Zahlen aus der anderen und der Brechzahl des Brillenwerkstoffs berechnen lassen.

Über die Verzeichnungsfehler von ebenen Prismen vor dem blickenden Auge sehe man H. HARTINGER (b).

Im allgemeinen wird aber das schielende Auge einen dem Glaswert  $D_1$  entsprechenden Refraktionsfehler haben, und man wird daran denken können, mit Hilfe der schon auf Abb. 27

angedeuteten prismatischen Wirkung der Randteile, diese Ablenkung der mittleren Richtung durch eine zweckmäßige Dezentrierung des Brillenglases  $D_1$  zu erreichen.

Dadurch ergibt sich von selbst die Verwendung eines im besten Falle (zur Verschiebungsrichtung) einfach symmetrischen Glases. Wir wollen die verschiedenen Aufgaben nach ihrer Schwierigkeit behandeln.

**Die Dezentrierung sphärischer Brillengläser.** Beschränkt man sich zunächst auf den Raum nahe der Achse und vernachlässigt die Längenabweichung der gebrochenen Strahlen, so ergibt sich nach (Abb. 63) die Ablenkung  $\varepsilon$  durch

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \operatorname{tg} u' = \frac{h}{100}; f_1' = \frac{h}{100} D_1,$$

wo  $h/100$  bedeutet, daß die Verschiebung  $\overline{HH} = h$  in Zentimetern gemessen ist.

Beachtet man, daß  $\operatorname{tg} \varepsilon$  genau die Zahl in Prismendioptrien oder, wie oben gesagt, in Centradian ist, so kann man schreiben

$$\Delta = h D_1; \Delta_{1 \text{ cm}} = D_1,$$

wobei  $\Delta$  in der ebenfalls 100mal kleineren Maßeinheit des Centradian gemessen ist. Dies führt auf PRENTICES Regel, wonach jede sammelnde oder zerstreue Linse  $D_1$  in einem Achsenabstande von 1 cm eine ablenkende Kraft von soviel Centradian besitzt, wie sie Dioptrien aufweist.

Sind Ablenkungen  $\varepsilon_h$  und  $\varepsilon_v$  in der waagrechten und in der senkrechten Richtung vorgesehen, die zu Verschiebungen der Linsenmitte von  $h_h$  und  $h_v$  Zentimetern führten, so setzt man diese (Abb. 64) nach dem Parallelogramm der Kräfte zusammen zu

$$H = \sqrt{h_h^2 + h_v^2},$$

wo die Abweichung  $\beta$  der Dezentrierung von der Waagrechten gegeben ist durch

$$\operatorname{tg} \beta = h_v : h_h.$$

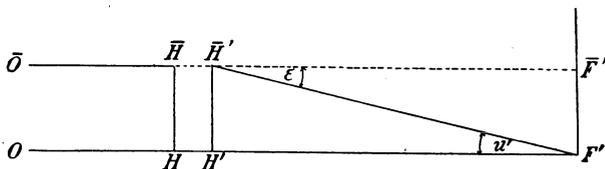


Abb. 63. Zur Beziehung zwischen Brechkraft und prismatischer Ablenkung dezentrierter Linsen.  $\operatorname{tg} u' = \frac{H'H'}{H'F'} = \frac{h}{f_1'} = h D_1 = s/l$ .  $s$  ist die seitliche Versetzung des Durchstoßpunktes des abgelenkten Strahles in einer achsen-senkrechten Ebene von 1 m Abstand. Ist  $h = 1,80$ , wird  $s = D_1$ .  $h$  und  $s$  sind in gleicher Einheit zu messen.

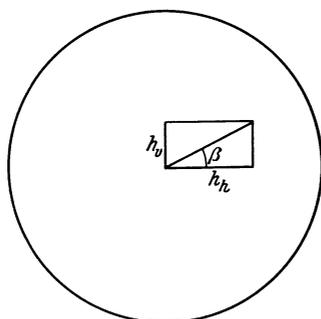


Abb. 64. Gesamtdезentrierung bei Höhen- und Seitenabweichung.

Es sei bemerkt, daß die Richtung der Verschiebung mit der der Achse eine Achsenebene (die Symmetrieebene des dezentrierten sphärischen Glases) be-

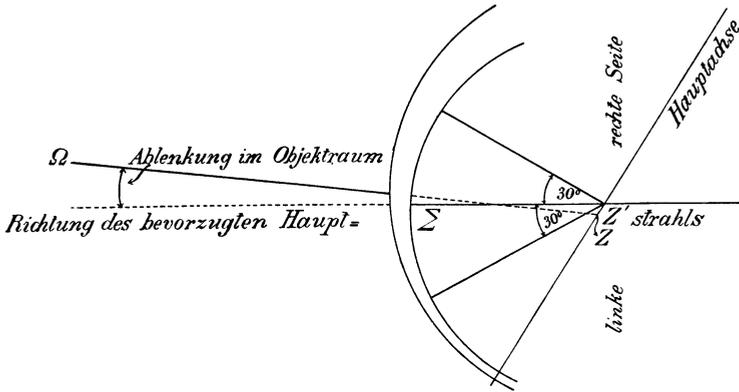


Abb. 65. Die Spuren der Glasflächen einer punktmäßig abbildenden prismatischen Brille in der Symmetrieebene.

stimmt, und daß also die Blickrichtungen in dieser Ebene sie infolge der Brechung nicht verlassen. Mit anderen Worten ist die Richtung der Dezentrierung des Brillenglases auch die Richtung der Achsenablenkung im Dingraum.

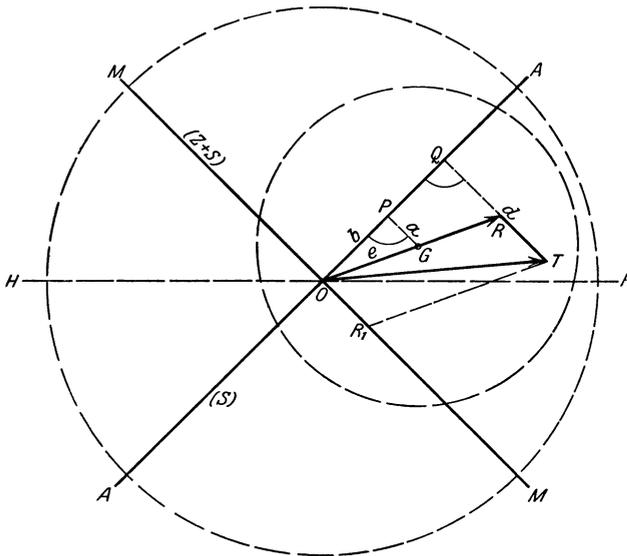


Abb. 66. Zur Dezentration eines astigmatischen Brillenglases. (Nach H. HARTINGER.)

Über die Strahlenvereinigung bei der Benutzung eines solchen dezentrierten Glases im direkten Sehen war lange Zeit nichts bekannt, bis 1911 (s. unter M. v. ROHR [f], S. 154) diese Aufgabe in einem einigermaßen schwierigen Falle gelöst wurde. Das geschah in einer solchen Weise, daß man aus dem sehr großen Blickfelde einer Brille WOLLASTONScher Form (von  $D_1 = -2,6$  dptr) ein exzentrisches Stück ausschchnitt. Die starke Durchbiegung des Glases verbarg dann die Schwenkung um den Augendrehpunkt in

weitgehendem Maße, aber freilich war die Durchbiegung allein auffällig genug.

Infolge dieses Kunstgriffes der Schwenkung (nicht einer einfachen Verschiebung) des punktmäßig abbildenden Brillenglases war der Rechenmeister imstande, nicht bloß über die Strahlenvereinigung im Blickfeld, sondern auch über die Verzeichnung von endlich geneigten Hauptstrahlen in der Symmetrieebene Auskunft zu geben.

**Die Dezentrierung astigmatischer Brillengläser.** Sehr viel schwieriger gestaltet sich die Aufgabe, bei einem astigmatischen Glase gegebener Wirkung die entsprechende Aufgabe zu lösen. Man hat lange Zeit dieser Aufgabe ohne rechtes Verständnis gegenübergestanden, bis H. HARTINGER (c, d) in zwei wichtigen Arbeiten nicht allein die wünschenswerte Klarheit gab, sondern auch Formeln und Schichtenbilder mitteilte, um für die Aufgaben des einzelnen Falles rasche Antwort zu erhalten. Auf sie sei der Leser verwiesen, der Näheres zu wissen wünscht.

Wir entnehmen der ersten Arbeit die Abb. 65 und fügen folgendes dazu:

Das astigmatische Brillenglas sei bestimmt durch die sphärische Wirkung S und die zylindrische Wirkung Z (mit der Achsenrichtung in A). H — — H gibt die Waagrechte an. Ist ein Dezentrationpunkt G nach Mittelpunktentfernung e und Verschiebungsrichtung  $\beta = \text{AOR}$  gegeben, so ist für den sphärischen Bestandteil die sphärische Ablenkung OR nach dem vorigen leicht zu bestimmen, wozu dann noch der zylindrische Anteil RT senkrecht zur Zylinderachse kommt. Die so erzielte Gesamtablenkung OT schließt mit der A-Richtung den Winkel  $\alpha = \text{TOA}$  ein.

Man erkennt, daß man mit HARTINGER (c) sagen kann:

„Die Richtung der durch Dezentration astigmatischer Brillengläser erzielten prismatischen Ablenkung ( $\alpha$ ) stimmt im allgemeinen nicht mit der Richtung der Dezentration ( $\beta$ ) überein. Um bei astigmatischen Brillengläsern eine Ablenkung von bestimmter Richtung ( $\alpha$ ) zu erzielen, muß man also im allgemeinen in einer davon abweichenden Richtung ( $\beta$ ) dezentrieren. Ablenkungs- und Dezentinationsrichtung fallen nur zusammen, wenn in dem einen oder anderen Hauptschnitt dezentriert wird ( $\alpha = \beta = 0^\circ$  oder  $\alpha = \beta = 90^\circ$ ). Für diese Sonderfälle gelten dann die einfachen Gesetze zur Dezentration achsensymmetrischer Gläser; die zu berücksichtigende Brechkraft ist für die Zylinderachse S und für den dazu senkrechten Hauptschnitt S + Z.“

## VI. Probier- und Zielbrillen.

Einige Worte mögen auch diesen Brillengläsern gewidmet werden, die beide die Eigentümlichkeit haben, daß man mit ganz einfachen Formen auskommt, wenn man dafür Sorge trägt, daß sie beim Gebrauch in der Achsenrichtung benutzt werden.

Bei den **Probierbrillen** ist man zu möglichster Vermeidung des die Ergebnisse fälschenden Astigmatismus schiefer Bündel dazu übergegangen, den Durchmesser zu beschränken.

Das kann dadurch geschehen, daß man eine Blende von etwa 1 cm Öffnungsdurchmesser vor gewöhnliche größere Probiergläser setzt. Man kann aber auch zweckmäßiger gleich dünnere Probiergläser so klein randen und vermag ihre Fassung dann so zu gestalten, daß die verschiedenen Gläser in ganz kleinem Abstände einander folgen, was (s. S. 792) nur geringe Umrechnungen nötig macht (s. auch S. 479 in diesem Band).

Sätze von Probierbrillen mögen früh bereit gehalten sein, so die merkwürdigen Vielstärkengläser J. ZAHNS vom Jahre 1686 mit der Verbesserung CHR. HERTELS von 1716. Sorgfältiger durchgebildet finden sie sich in England um 1752 und verbreiten sich, vermutlich langsam genug, auf dem Festlande. Die heutige Anordnung der Probierkästen mit einer ausreichenden Zahl von Gläsern und schwachen vorzuhaltenden Sammel- oder Zerstreulinsen stammt aus dem Jahre 1864, wo sie K. BUROW vorschlug.

Später sind auch Brillenkästen mit punktmäßig abbildenden Gläsern vorgeschlagen worden, um den fälschenden Einfluß des Astigmatismus schiefer Bündel auszuschließen.

Bei den **Zielbrillen** muß man aus einer ziemlichen Anzahl von Schutzschriften schließen, daß das gewöhnliche Brillenglas, so ausgerichtet, daß die Achse durch Kimme und Korn läuft und daß das Auge beim Anschlagen der bildseitigen Achse entlang schaut, immer noch viele Liebhaber zählt. Man versteht es nicht, warum es nicht durch ein gut ausgerichtetes Brillenglas mit punktueller Abbildung ersetzt worden ist, denn die bildseitige Richtung des Hauptstrahls, der im Dingraum durch Kimme und Korn läuft, ist dieser dingseitigen eindeutig zugeordnet und die Bildgüte längs dem nicht besonders stark geneigten Hauptstrahl ist ausreichend.

Über die Zielbrillenformen bis zum Jahre 1921 wolle man bei M. v. ROHR (f) nachsehen. Spätere Anlagen sind in den neueren Jahrgängen der Zeitschrift für ophthalmologische Optik unter den Berichten über die Brillenschutzschriften aufzusuchen.

## VII. Zweistärkenbrillen und Vorhänger.

Der Freude, die manche Alternde über das deutliche Sehen beim Arbeiten mit der neuen Nahbrille äußern, folgt nicht selten der Ausdruck der Enttäuschung über das Undeutlichwerden der Ferne und der Wunsch nach einer Brille, die beides, Ferne und Nähe, deutlich zeigt. Bei völligem Verlust der Akkommodation macht sich gelegentlich das Bedürfnis nach der Einstellung auf verschiedene Nähen in raschem Wechsel geltend, d. h., es ergibt sich die Forderung nach einer Mehrstärkenbrille.

### 1. Die Zweistärkenbrillen (Doppelfocusbrillen).

Die Zweistärkenbrillen sind in verschiedener Form verwirklicht. Des genaueren gibt M. v. ROHR (e) über die zahlreichen Arbeiten an diesen Aufgaben Auskunft. Meist handelt es sich um Zwei- oder Doppelstärkengläser. Der Unterschied der in ihnen zu vereinigenden Wirkungen soll im allgemeinen dem Betrag an Akkommodation<sup>1</sup> gleichkommen, der dem alternden Träger mangelt. Er beläuft sich also zwischen 0 und etwa + 5 dptr. Dabei ist in der Regel die eine Wirkung für den vollen Ausgleich der Fehlsichtigkeit bestimmt, der eine Teil wirkt also als Fernbrillenglas.

Die Ausführung geschieht auf verschiedene Art: entweder wird ein Stück eines Fernglases mit einem entsprechenden eines Nahglases in einer Fassung zu einer Scheibe vereinigt, oder man bringt die beiden verschiedenen Wirkungen an einer ganzen Linsenscheibe an, indem man einem Teil einer Linsenfläche eine andere Krümmung anschleift oder dort eine Zusatzlinse aufkittet oder anschmilzt.

Sinnfälliger als bei anderen Gläsern ist bei diesen Sehhilfen ihre Bestimmung für das blickende Auge. Beschränken wir uns auf achsensymmetrische Gläser und auf solche, bei denen nur zwei brechende Flächen den durchtretenden Strahlen in den Weg gestellt werden. Bei der Beurteilung der Gläser handelt es sich zunächst um die Frage, ob punktuelle Abbildung mit beiden Scheibengebieten erzielt werden kann.

**Der Ausgleich des Astigmatismus schiefer Bündel.** Die Mittel, um an sphärischen Einzellinsen den Astigmatismus schiefer Bündel aufzuheben und dadurch punktuelle Abbildung herbeizuführen, sind uns bekannt für den Fall, daß der als Blendenort wirkende Augendrehpunkt auf der Glasachse liegt. Daher

<sup>1</sup> Genauer dem Betrag des Glaswertes am Akkommodationserfolg.

wird man bei Zweistärkengläsern zunächst verlangen, daß die Achsen beider Gebiete durch den Augendrehpunkt laufen. Steht dann die Wahl der Durchbiegung eines jeden Teiles noch frei, so kann das Ziel der punktuellen Abbildung erreicht werden. Gemäß der TSCHERNINGSchen Kurve (s. Abb. 32, S. 783) wird im allgemeinen dann an beiden Glasgebieten keine gemeinsame Flächenkrümmung vorkommen, sondern streng höchstens in gewissen Einzelfällen, weil ja nach Voraussetzung die beiden Gebiete verschiedene Brechkraft erhalten sollen, und die zur punktuellen Abbildung nötigen Durchbiegungen im allgemeinen für verschiedene Brechkraft verschieden sind. Man müßte also jede Linsenseite zu einer Doppelfläche ausbilden. Der Kosten wegen werden trotzdem die Zweistärkengläser nur mit einer einzigen Doppelfläche ausgeführt. Infolgedessen

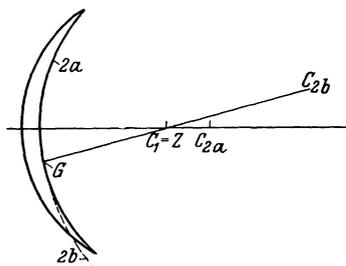


Abb. 67. Stark durchgeboenes Zweistärkenglas aus zwei zentrisch benutzten Linsenteilen mit kleinem Sprung an der Übergangsstelle  $G$ .

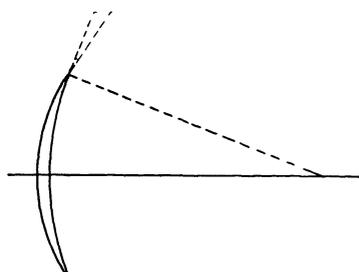


Abb. 68. Das Tangentenpaar an einem Grenzpunkte eines unauffälligen Zweistärkenglases.

läßt sich in der Regel nur eines der beiden Glasgebiete mit punktuell abbildender Eigenschaft ausstatten. Aber auch gleichseitige Zweistärkengläser sind noch im Gebrauch.

Da man also noch mit nicht punktuell abbildenden Glasgebieten zu rechnen hat, so muß man bei der Beurteilung die Frage berücksichtigen, ob es möglich ist, die Achsen beider Glasabschnitte durch den Augendrehpunkt zu führen, denn die gewöhnlich nicht punktuell abbildenden Gläser liefern ja nur in der Achsenrichtung deutliche Bilder. Der Träger kann also dann in beiden Gebieten deutlich sehen, wenn die Achsen durch seinen Augendrehpunkt gehen.

Die Forderung der punktuellen Abbildung in jedem Glasabschnitt läßt sich erfüllen, wenn beide Achsen zusammenfallen, sei es, daß die Teilungslinie an beiden Gläsern durch die Achse geht, oder daß der eine Teil den anderen umschließt. Wenn der Krümmungsmittelpunkt der Einfallfläche mit dem Augendrehpunkt zusammenfällt, dann kann derjenige des Zusatzteiles der Doppelfläche liegen, wo er will. Die Achse des Zusatzteiles als Verbindungsgerade der genannten beiden Krümmungsmittelpunkte geht dann immer durch den Augendrehpunkt  $Z'$ . Dieses Zusammentreffen des Augendrehpunktes mit einem Krümmungsmittelpunkt ist aber ein Sonderfall, weil ja gerade die punktuell abbildenden Gläser keine feste, sondern von Stärke- zu Stärkegrad wechselnde Krümmung haben. Doch konnte HENKER (b) zeigen, daß wenigstens in gewissen Gebieten der Krümmungsmittelpunkt einer Fläche in der Nähe des Augendrehpunktes liegt, und daß es alsdann nützlich ist, die Zusatzachse gleichfalls in der Nähe des Augendrehpunktes durchzuführen.

**Die Art des Aneinandergrenzens der beiden Gläser.** Die Art, wie die beiden Glasgebiete aneinandergrenzen, ist in mehrfacher Hinsicht wichtig (s. Abb. 67 u. 68). Zunächst sei die optische Wirkung betrachtet: Zwei Kugelflächen schneiden sich in einem Kreis, den HENKER (b, 205 bzw. 242) an einer

Zweistärkenfläche *Schnittkreis* nennt (s. Abb. 69). An dieser Stelle zeigt die Fläche eine Unstetigkeit, denn die Tangenten, somit auch die Flächenlote benachbarter Punkte, bilden einen Winkel miteinander. Denkt man sich, es treffe ein augenseitiger Hauptstrahl rückläufig auf diese Grenzlinie, so sind seine beiden

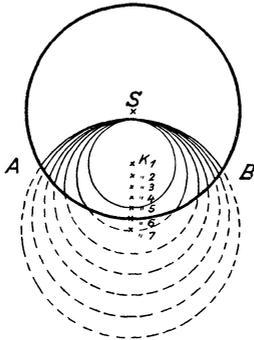


Abb. 69. Schnittkreise verschiedener Größe beim Aufblick auf ein unauffälliges Zweistärkenglas.

Einfallswinkel an diesen beiden Loten natürlich verschieden, und auf der Dingseite entsprechen dieser Blicklinie zwei in verschiedener Richtung verlaufende, also von verschiedenen Dingpunkten kommende Strahlen. Daraus geht hervor, daß der Brillenträger, der seinen Blick von oben allmählich senkt, beim Übergang über diese Grenzfläche eine plötzliche Unterbrechung im Bild erlebt, indem ein Stück des gesehenen Gebildes entweder nach vor- oder nach rückwärts übersprungen wird (s. S. 806/807). Dieser Bildsprung wird vermieden, wenn der Übergang von dem einen zum anderen Flächen-teil ohne eine plötzliche Richtungsänderung des Flächen-lotes erfolgt, oder, was dasselbe ist, wenn die Tangenten benachbarter Punkte an der Grenze gleichgerichtet sind, d. h. aber: die beiden Kugelflächen berühren sich; sie dürfen sich also nicht schneiden. Zwei Kugelflächen können sich aber nur in einem Punkt berühren.

Außerhalb dieses Berührungspunktes entfernen sie sich mehr und mehr voneinander: dort erfolgt der Übergang von einer zur anderen Fläche durch eine Stufe. Die Abgrenzung der beiden Scheibengebiete — um zum Zweistärkenglas zurückzukehren — wird durch eine willkürlich gezogene, natürlich

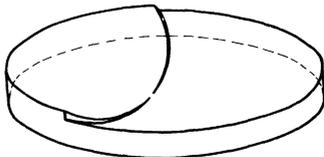


Abb. 70. Ein zerstreutes Zweistärkenglas mit einem Berührungspunkt der beiden Grenzflächen und einer endlichen, nach den Seiten zu anwachsenden Stufe.

durch einen Berührungspunkt geführte Grenzlinie vorgenommen, die in der Regel kreisförmig gewählt wird. Um die tiefer gelegene Kugelfläche freizulegen, hat man also gewissermaßen das über ihr lagernde und bis zur ersten Fläche reichende Glas wegzuschneiden. Die Folge ist entlang der Grenzlinie eben eine Stufe, die nach den Seiten hin höher wird.

Die praktische Ausführung. Betrachten wir nach diesen Überlegungen die Ausführungsweise der Zweistärkengläser. Die erste der oben angeführten Ausführungsarten wird B. FRANKLIN um 1784 zugeschrieben. Ein Fern-

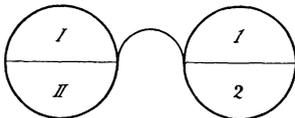


Abb. 71. B. FRANKLINS Zweistärkenbrille vom Mai 1785. I, 1 schwächer, II, 2 stärker sammelnd (zum Lesen).

und ein Nahglas sind so geteilt, daß die Trennungsfläche die Achse enthält, und ein Teil des Fernglases ist mit einem entsprechenden des Nahglases so in einer Fassung vereinigt, daß ihre Achsen zusammenfallen. Deshalb können beide durch den Augendrehpunkt geführt werden. Da die Achsen zugleich Flächenlote sind, so ist am Durchstoßungspunkt der Achse der Bildsprung vermieden. Außerdem können beide Teile von punktuell abbildenden Gläsern genommen werden. Sie werden an den Stirnflächen mittels eines festen, im Wärmerraum getrockneten Kittes verbunden. Diesen optischen Vorzügen, die

keine andere Ausführung von Doppelstärkengläsern in sich vereinigt, steht der kosmetische Nachteil gegenüber: die unvermeidliche Fuge ist auffällig, um so mehr, wenn sich beim Gebrauch Staub darin ansammelt. Sonst ist die Fassung ebenso einfach und so sicher wie bei einer festen Scheibe und auch das Putzen geht ebenso leicht vonstatten. Solche Gläser sind über ein Jahr

lang jeden Morgen mit Seife und Wasser gereinigt und danach trocken gerieben worden, ohne daß die Kittfläche gelitten hätte.

Die *zweite* Möglichkeit der Ausführung eines Zweistärkenglases ist die Ausbildung einer Doppelfläche. Sie kann nach dem Vorstehenden in zweierlei Weise ausgestaltet werden, nämlich so, daß sich die beiden Flächen berühren, oder so, daß sie sich schneiden. Im ersten Fall wird der optische Vorteil, daß der vielen Brillenträgern störende Bildsprung vermieden wird, mit dem kosmetischen Nachteil der seitlichen Stufe erkauft. Durch sie wird die Grenzlinie sehr auffällig, zumal sich in dem Winkel Schmutz anzusammeln pflegt. Außer in dem Fall, wo beide Achsen zusammenfallen, d. h., wenn die Grenzlinie des Zusatzteiles durch die Achse der Trägerlinse geht, lassen sich nicht beide Achsen durch den Augendrehpunkt leiten. Damit ist aber auch die punktuelle Abbildung nur für einen Teil möglich, für den anderen höchstens eine Verminderung des Astigmatismus schiefer Bündel. Im zweiten Fall, wenn sich die Flächen in einem Schnittkreis abgrenzen, findet sich nirgends eine Stufe. Die Grenzlinie fällt kaum auf, das Glas kann leicht tadellos reingehalten werden. Dafür aber ist der Bildsprung nie zu vermeiden. Hinsichtlich der beiden anderen optischen Leistungen gilt dasselbe wie bei dem ersten Fall.

Die *dritte* Ausführungsart der Zweistärkengläser zeigt eine kleine Zusatzlinse. Wird diese aus dem gleichen Glasstoff hergestellt wie die Trägerlinse, so kommen optisch die gleichen Eigenschaften heraus, wie beim

Anschleifen einer Fläche, doch sind die Grenzlinien beim Aufkitten nie unauffällig. An den Grenzlinien bietet sich leicht eine Ansatzstelle, wo am Kittrende Staub festklebt, und bei Erwärmung des Glases, z. B. im Sonnenschein kann es zur Lockerung, Verschiebung und selbst zur Trennung der beiden Teile kommen. Ist das Zusatzlinschen in eine Höhlung der Trägerlinse eingesetzt, so hält es sich etwas besser. Anschmelzen des Zusatzteiles liefert ein einer festen Einzellinse mechanisch gleichwertiges Stück. Optisch ist jedoch die Zwischenschicht nicht leicht einwandfrei zu erhalten (Kryptokgläser, s. Abb. 72). Wird das Zusatzstück aus Glas von höherer Brechzahl angefertigt, so kann bei geeigneter Wahl der Krümmung der Zwischenfläche die äußere Zweistärkenfläche der ganzen Linse, in voller Ausdehnung die gleiche Krümmung erhalten. Die Gläser sind ganz unauffällig, wenn sie zusammengeschmolzen sind. Doch läßt sich der Bildsprung meist nicht vermeiden. Eine richtige Zentrierung ist nur möglich, wenn beide Achsen zusammenfallen, und die punktuelle Abbildung gilt nur in einem Gebiet zu erreichen. Ein weiterer Nachteil ist der, daß in der Regel der Farbenfehler sogar gesteigert wird (s. S. 811), der in der Neigungsverschiedenheit farbiger Hauptstrahlen besteht.

Die Erfahrung zeigt, daß von den hier behandelten Eigenschaften die *Unauffälligkeit* von den Trägern am höchsten bewertet wird. Bei der Wahl der Gläser spielt die Frage nach der Aufteilung des Blickfeldes, nach Länge, Größe und Form eine wichtige Rolle. Dabei hat man sich nach der Tätigkeit des Trägers zu richten. In der Regel liegt der Nahteil nach unten. Meist wird ein Teilgebiet größer gewählt als das andere. Besteht die Haupttätigkeit in Naharbeit, so kann der Fernteil klein gehalten werden: Zweistärkennahglas

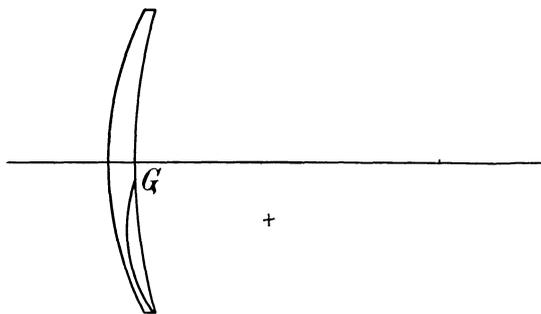


Abb. 72. Ein verschmolzenes Zweistärkenglas (Kryptokglas).  
+ gibt den Mittelpunkt der Innenfläche an.

(HENKER). Will der Träger nur gelegentlich in der Nähe sehen, so kann der Nahteil klein bleiben: Zweistärkenfernnglas. Mit Rücksicht für das Gehen, insbesondere Treppensteigen, wird eine gebogene Grenzlinie, zumal ein kleines, kreisförmiges Nahfeld angenehm empfunden, weil dann schräg nach unten der Blick wieder für das Fernsehen frei ist.

Soll der Gläserausgleich für eine andere Entfernung eintreten, so wird nur ein achsensymmetrisches Zusatzglas nötig, das den Nahpunkt in den unendlich fernen Punkt abbildet, wie es eine Lupenbrille tut.

## 2. Die Vorhänger.

Diese letzte Bemerkung zu zeitweiliger Verwendung zweckmäßig gestalteter Lupenbrillen führt auf die Vorhänger, die vor den Zweistärkengläsern den



Abb. 73. Vorderansicht für den ZEISSischen Vorhänger.



Abb. 74. Blick von oben hinab auf den ZEISSischen Vorhänger.

Vorteil haben, die ganze Brillenscheibe für den Blick in die Ferne freizugeben. Sie treten übrigens schon 1783, also ein Jahr vor B. FRANKLINS Beschreibung seiner Zweistärkengläser, in den Brillenschriften auf.

Über die Güte der Strahlenvereinigung durch eine Lupenbrille von 3 dptr und sehr verschiedenartige Fernbrillen gibt A. SONNEFELD (a) Auskunft. Er

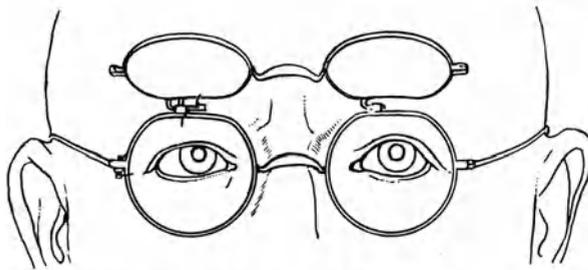


Abb. 75. RHEINBERG'S Brille im aufgeschlagenen Zustande.

hat im einzelnen solche Verbindungen der Lupenbrille von 3 dptr mit punktmäßig abbildenden Brillengläsern der Brechkraft  $D_1 = -10, -6, -1, +3, +8, +10$  dptr für eine achsensenkrechte Dingfläche in 33 cm Abstand durchgerechnet und mit der Leistung punktmäßig abbildender Nahbrillen verglichen.

Versieht man, was sicher schon im ersten Drittel des 19. Jahrhunderts geschehen ist, einen alterssichtig gewordenen Rechtsichtigen mit der unteren Hälfte eines sammelnden Nahglases, so ist ein Gerät geschaffen, das man ebenso wohl als ein Zweistärkenglas wie als einen Vorhänger bezeichnen kann. Bei geringen Graden von Kurzsichtigkeit hat man umgekehrt gelegentlich dem Träger nur die oberen Hälften der Fernbrille vorgeschaltet.

Diese Zusatzgläser sind meistens *Vorgläser*; *Nachgläser* kommen zwar vor, sind aber unvergleichlich seltener zum Musterschutz angemeldet worden.

Die alten Vorgläser waren kreisrund und häufig in einem Brillengestell vereinigt, das bei Nichtgebrauch in die Höhe geklappt werden konnte. Auch die jüngste, auf J. RHEINBERG zurückgehende Form sieht ein solches Aufklappen (durch Federkraft beschleunigt) vor (s. Abb. 75 u. 76), und zwar wird zur Naharbeit vor der Arbeitsbrille ein Paar achsensymmetrischer Zerstreuungsgläser hinaufgeschlagen. Hinabgeklappt ergänzen sie die Arbeitsbrille zu einer Fernbrille. Auf diese Weise ist eine möglichst große Unauffälligkeit gesichert,

da sich die Verwendung dieser Augenhilfe mit hochgeklappten Gläsern im wesentlichen auf das Arbeitszimmer beschränkt. Der Vorteil, immer das ganze Blickfeld zur Verfügung zu haben, ist auch nicht gering anzuschlagen.

Gibt man den sammelnden Vorsteckgläsern, die meistens in einem leichten Gestell vereinigt sind, eine etwa halbkreisförmige Begrenzung, so kommt man auf die namentlich in diesem Jahrhundert angebotenen *Vorhänger* (siehe Abb. 73 u. 74). Für das Nahfeld ist dann natürlich

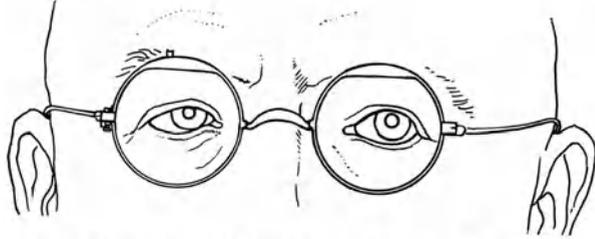


Abb. 76. RHEINBERGS Brille im geschlossenen Zustande.

nur die untere Hälfte vorhanden, aber der bequeme bildsprunglose Übergang vom Fernteil zum Nahteil kann manchen Brillenträgern vorteilhaft erscheinen. Und außerhalb des Arbeitsraumes steht, wie schon oben bemerkt, nach Entfernung des Vorhängers wieder der ganze Kreis für das Fernbrillenglas zur Verfügung.

## D. Die Brille für ein Augenpaar.

### I. Die Wirkung einer gewöhnlichen Fernbrille.

Vernachlässigen wir zunächst, wie schon auf S. 808 bei der perspektivischen Wirkung des einzelnen Brillenglases angedeutet, die Verzeichnung bei nicht besonders starken Brillengläsern, so kann eine richtig sitzend angepaßte Brille, bei der die parallelen Achsen der richtig angepaßten und punktmäßig abbildenden Gläser durch die Augendrehpunkte  $Z'_1$  und  $Z'_r$  des Trägers gehen, ein gutes räumliches Sehen für ein großes Blickfeld vermitteln. Die Änderung der Raumerfüllung ist leicht zu beschreiben: Zerstreuungslinsen mit einem Werte  $v < 1$  ändern an der Höhe und Breite der Sehdinge nichts, vermitteln aber eine auf  $1/v$  erhöhte scheinbare Tiefe ( $v = \text{tg } w' : \text{tg } w$ ; S. 803). Bei Sammellinsen mit  $v > 1$  kommt man verständlicherweise auf eine  $1/v$  entsprechend verminderte scheinbare Tiefe. Diese Verhältnisse wären in aller Strenge zu erwarten, wenn sich später die Herstellung von punktmäßig abbildenden Brillengläsern ohne Verzeichnung (s. S. 809) ermöglichen lassen sollte.

**Die Höhenfehler.** Berücksichtigt man die Verzeichnung, so treten bei der beidäugigen Betrachtung von Raumpunkten allgemeiner Lage (nicht in der Medianebene des Beobachters und nicht in der Ebene der Brillenachsen liegend) Höhenfehler auf, die nur in einem geringen Betrage und nicht ohne Zwang überwunden werden können. Besonders störend werden sie bei astigmatischen und prismatischen Brillen, und es ist möglich, daß die Änderung der zu demselben Dingpunkte gehörigen augenseitigen Blickrichtungen so stark wird, daß die beiden Netzhautbilder nicht verschmolzen werden können. Gelegentlich finden sich Aussagen dazu. Weiter unten wird darauf hingewiesen werden, daß diese Schwierigkeiten viel besser mit einem Haftglas zu heben sind (s. S. 825).

**Die Folgen bei Anisometropie.** Von jeher haben Fälle der Ungleichsichtigkeit, zumal bei einseitig Linsenlosen, auf Überlegungen geführt, wie solchen Leidenden zu helfen sei. Ungleiche Glas-Drehpunktabstände beseitigen Blickwinkelunterschiede nur bei starken Gläsern [ERGGELET (d)]. Wenn man von geringen Winkelverschiedenheiten absieht, wo man mit der Durchbiegung einfacher Brillengläser auskommt, so bedarf es zur Lösung der

vorliegenden Aufgabe ziemlich verwickelt gebauter Linsenfolgen. Genauer lautet die Aufgabe, den Augen ungleicher Einstellung Brillenverbindungen vorzuschalten, bei denen die Hub- und Seitenwendwinkel eines beliebigen Punktes

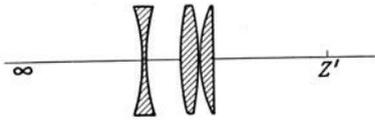


Abb. 77. Eine Anisometropenbrille für einen einseitig-Linsenlosen, bestehend aus einer Folge von 3 Linsen.

der unendlich fernen Ebene für beide Augen gleich ausfielen, während doch die Einstellverschiedenheiten ausgeglichen würden. Zuerst beschrieben — man sehe M. v. ROHR (f, § 177) — wurde 1912 eine solche Brille von  $-7$  dptr, die das Zusammenwirken mit einem rechtsichtigen Auge ermöglichen sollte: noch größere Ungleichsichtigkeiten (bis zu

20 dptr) wurden nach der Entfernung der Krystalline ausgeglichen. Leider spricht die unter diesen Umständen nicht vermeidbare Auffälligkeit des Hilfsmittels gegen seine weitere Verbreitung (s. Abb. 77).

## II. Die Wirkung der Nahbrille.

**Der Abstand der Mittelpunkte der Brillengläser.** Sollen die Gläser einer Nahbrille mit parallelen Achsen im Abstand der Drehpunkte angebracht oder einander genähert werden?

Überlegen wir zunächst einmal, was für ein Ziel etwa verfolgt wurde, wenn man auf die Parallelstellung der Achsen im Drehpunktsabstand verzichtete. Offenbar wollte man dabei doch dem Träger einen Nutzen verschaffen; in der Regel dürfte die prismatische Wirkung bei der Überlegung an erster Stelle gestanden haben, vielleicht an zweiter Stelle die Sorge um die Abbildungsgüte.

Aus Gründen der Zweckmäßigkeit sei der letzte Punkt, *die Abbildungsgüte*, sogleich besprochen. Einen grundsätzlichen Unterschied bedingt es, ob die Gläser der Brille von punktuell abbildender Form sind oder nicht. Handelt es sich um die alten gleichseitigen Gläser, so würden sie bei parallelen Achsen im Drehpunktsabstand den auf einen nahen Dingpunkt gerichteten (konvergenten) Augen schlechtere Bilder geben als den entlang ihrer Achse blickenden. Wollte man also einer bevorzugten Blickrichtung auf einen nahen Punkt gute Bilder sichern, so wären die beiden Glasachsen eben auf diesen Dingpunkt zu richten; bei Lupenbrillen würden die dingseitigen Brennpunkte in ihm zusammenfallen. Dazu genügt es natürlich nicht, die Gläser etwa einfach in ihrer Scheibenebene einander um so viel zu nähern, daß sich diese Verschiebung zur Glasentfernung vom zugehörigen Drehpunkt verhält wie die Einwärtswendung der Pupille beim Nahblicken zu ihrer Entfernung vom Drehpunkt. Vielmehr müßte eine entsprechende Schwenkung um den Augendrehpunkt erfolgen. Bei punktuell abbildenden Gläsern wäre der Bildgüte wegen keine Änderung der für Ferngläser gültigen Ausrichtung nötig. Sie können mit parallelen Achsen im Drehpunkt stehen bleiben. Bei schiefem Blick durch das Glas bedingt nur der endliche Dingabstand einen gewissen, aber sehr kleinen Unterschied der Bildgüte, indem ein geringer Astigmatismus schiefer Bündel eintritt, der aber so klein ist, daß man bisher nicht nötig hatte, seinethalben besondere Nahformen punktuell abbildender Gläser anzufertigen. In den allermeisten Fällen sind die Nahbrillen schwächer als 4 dptr. Deshalb werden die eben erwähnten Fehler im allgemeinen nur ganz niedrige, belanglose Beträge erreichen. Aber selbst bei größeren Stärken wird man nur die nicht punktuell abbildenden der Bildgüte halber schwenken müssen. Solche Formen kommen heute kaum mehr in Betracht, um so weniger als sich der Gewinn ja ganz auf die Hauptblickrichtung beschränkte, während im endlichen Blickfeld jedoch der in der Hauptblickrichtung vermiedene Fehler wieder hervorkäme.

So hat man tatsächlich wesentlich mit dem zweiten Ziel zu rechnen, der *Hilfe für die Augenstellung*. Eine Änderung der gegenseitigen Blickrichtung ist mit jeder Schwenkung oder seitlichen Achsenversetzung unweigerlich verbunden. Gehen wir aus von der Parallelstellung der Gläser in Drehpunktsabstand, so bringt die prismatische Ablenkung ganz andere Verhältnisse für die Blickrichtung hervor als beim Fernsehen. Fordert die Änderung zur Achse geneigter Hauptstrahlen im Fernsehen durch Sammel-(Zerstreuungs-)gläser größere (kleinere) Blickwinkel, als sie das freie Auge an den gleichen Gegenständen ausführt (s. S. 802), so bleiben die Verhältnisse — beiderseits gleiche Gläser vorausgesetzt — ganz symmetrisch, die Blicklinien also parallel. Beim Nahsehen dagegen besteht nur für nahe, in der Medianebene des Körpers liegende Dingpunkte Symmetrie der Blicklinien bzw. der Winkeländerung, in allen anderen Fällen ist die Neigungsänderung am rechten Auge verschieden von der am linken. In der gemeinsamen Achsenebene beschränkt sich der Unterschied auf die bekannte Zu-(Ab-)nahme der Konvergenz der Blicklinien; außerhalb dieser Ebene jedoch kommt zu der Verschiedenheit der Seitenwendungswinkel noch die Verschiedenheit der Hubwinkel hinzu, von den beiden Augen verschieden große Blickhebung oder -senkung verlangend, Bewegungen, die bekanntlich nur in sehr geringem Umfang und meist nicht ohne die peinliche Empfindung des Zwanges geleistet werden.

**Weitere Folgen beim Gebrauch.** Man hat bisher allein die beiden Glasachsen gemeinsame Ebene betrachtet und das Ziel verfolgt, die häufigste Stellungsabweichung der Augen für diese Ebene auszugleichen. Durch enges Zusammenrücken von Sammelgläsern oder durch Auseinanderziehen von Zerstreuungsgläsern erreicht man eine Minderung der Konvergenz und umgekehrt. Man sehe hierzu WHITWELLS (b) Untersuchungen.

Nimmt man dünne, verzeichnungsfreie, achsensymmetrische Gläser an, so läßt sich dies Verhältnis einigermaßen überblicken. Wie schwierig und unübersichtlich die Dinge aber bei astigmatischen Gläsern liegen, deren Hauptschnitte nicht mit der gemeinsamen Achsenebene zusammenfallen, sieht man in H. HARTINGERS Darstellung (c) der Dezentration astigmatischer Gläser.

Beim wirklichen Gebrauch der Brille kommen noch weitere Gebiete des Glases zur Wirkung. Über diese wissen wir wenig. Bei achsensymmetrischen Gläsern läßt sich aus HARTINGERS Aufsatz darüber einiges entnehmen, jedoch ist auch damit die Aufgabe noch keineswegs zu Ende gedacht. Gilt alles dies für die Lupenbrille, so werden zwei nahe achsensenkrechte Dingenebenen deutlich im Unendlichen abgebildet. Im beidäugigen Sehen können sich also die beiden Ebenen decken, wenn die Gläserachsen parallel stehen. Schwenkt man sie aber nach innen, so schneiden sich die beiden Dingenebenen der Brille in einer Senkrechten der Medianebene. Punkte außerhalb der Schnittgeraden können also nur einer oder keiner dieser Einstellebenen angehören und werden streng nur in einem oder in keinem Auge deutlich abgebildet werden. Doch wird hier die Abbildungstiefe helfend eintreten.

Hat man es mit Nahbrillen zu tun, so tritt nach dem CODDINGTON-PETZVALschen Gesetz (s. S. 784) eine Dingkugel an die Stelle der ebenen Dingfläche der Lupenbrille und im beidäugigen Sehen eine Kreislinie an die Stelle der Schnittgeraden<sup>1</sup>. In beiden Fällen der Gläserstellung in der Brille liegt der Schnittkreis in der Medianebene, jedoch sind die Krümmungsmittelpunkte der Dingkugeln bei den einwärts geschwenkten Gläsern einander näher oder ferner als bei den parallelachsigen, je nachdem die Krümmungsmittelpunkte der Dingfläche näher am Dingort liegen als der wirkliche Augendrehpunkt (des Dingraumes) oder ferner.

<sup>1</sup> Auch beim Nahsehen durch die parallelachsigen Fernbrillen gilt ähnliches.

Je größer der Krümmungshalbmesser der Dingfläche, desto näher liegen die einem Dingpunkt zugehörigen Durchstoßungsspuren der Hauptstrahlen in den beiden Dingflächen.

Schließlich muß auch an die Gläser größerer Stärke erinnert werden, da die Ablenkung proportional der Glasstärke erfolgt. Denkt man nun noch an die astigmatischen Gläser, so sieht man, daß die Aufgabe höchst verwickelt ausfallen kann.

Im Hinblick auf die nicht ohne weiteres übersehbare Ablenkungswirkung, die eine in der Glasachsebene vorgenommene Dezentration zur Folge hat, wird man sich scheuen, eine allgemeine Vorschrift zu geben, nach der Nahbrillen für den Arbeitsabstand zu dezentrieren seien. Allzu leicht kann sie zu Mißlichkeiten führen, auch wenn sie etwa auf achsensymmetrische Gläser beschränkt würde.

Bei astigmatischen Nahgläsern kann die besonders nach starker Richtungsänderung zu ermittelnde Schwenkung sehr nützlich sein. Denn das Nahsehen kommt auch bei achsenparallelen Gläsern im Drehpunktsabstand einer Dezentration gleich und kann bei ungeeigneter Ablenkungsrichtung Störungen machen.

Man wird verstehen, daß man bei den älteren Zweistärkengläsern die kleineren Nachteile aufeinander zu versetzt hat. Bei der mangelhaften Bildgüte der älteren Formen würden diese Gebiete anders keine ausreichend deutlichen Bilder vermittelt haben.

## E. Das Haft- oder Kontaktglas.

(Die enge Verbindung eines Brillenglases mit dem Auge ohne gegenseitige Verschiebung.)

**Unerwünschte Nebenwirkungen des üblichen Brillenglases.** Blicken wir noch einmal zurück auf die im vorstehenden behandelten Gegenstände. Man ging von der scheinbar so einfachen Forderung aus, die für eine bestimmte Aufgabe ungünstig liegende Einstellung eines Auges zweckmäßig zu ändern, also Fehlsichtigen deutliches Sehen in die Ferne, Alterssichtigen deutliches Sehen in die Nähe zu vermitteln oder die unzureichende Brechungsweite eines Auges brauchbar zu machen, d. h. in der Regel astigmatische Brechung zu verbessern. Mit recht einfachen Mitteln, leichten dünnen Linsen, ist dieses Ziel zu erreichen.

Aber neben der erstrebten Wirkung kommt, und zwar schon bei der Beschränkung auf die Achsenrichtung des Glases, eine Anzahl *unerwünschter Nebenwirkungen* dieser Mittel zur Geltung, die Änderung der Netzhautbildgröße, damit die der Sehschärfe, die Änderung des Akkommodationserfolges, also schon bei ruhig stehendem Auge Nebenwirkungen. Diese vermehren sich gar sehr und wirken oft recht störend, wenn man die Linsen der natürlichen Art des Sehens entsprechend mit bewegtem Auge gebraucht. Ich erinnere an die Richtungsänderung zweier zur Achse geneigter Hauptstrahlen mit ihren Folgen der Änderung der Blickwinkel, damit der scheinbaren Größe der Gegenstände, der Beschränkung des Blickfeldes, der Änderung des perspektivischen Mittelpunktes und der Änderung der Raumdeutung im einäugigen, der zwingenden Änderung der Raumwahrnehmung im beidäugigen Sehen, die Erscheinung farbiger Säume infolge des Neigungsunterschiedes farbiger Hauptstrahlen. Es sei weiter erinnert an den Astigmatismus schiefer Bündel mit seiner Folge der Verschlechterung der Bilder bei drehrunden (sphärischen) Gläsern und der Abweichung vom vorgeschriebenen Betrag des Astigmatismus, wenn man bei astigmatischen Gläsern ins endliche Blickfeld übergeht.

Nun soll das Glas dauernd als Brille vor dem Auge getragen werden. Daher wird die Einfachheit des Hilfsmittels zu einer Forderung, und gerade dadurch erwachsen der Aufgabe, die erwähnten Nebenwirkungen oder Fehler zu heben, ganz ungeahnt große Schwierigkeiten, die zum Teil bei der erwähnten Beschränkung auf die gewöhnliche dünne Brille gar nicht zu überwinden sind. Wohl hat (s. S. 783) man den Astigmatismus schiefer Bündel im Blickfeld heben können, soweit es sich um ein achsensymmetrisches Glas handelt, aber auch nur in einem beschränkten, wenn auch zufällig den meisten Brillenbedürftigen besonders wertvollen Stärkengebiet. Darüber hinaus, schon bei den Stargläsern, war mit den einfachen Kugelflächen nicht weiterzukommen, man mußte zu stärkeren Mitteln greifen. Bei den astigmatischen Gläsern wachsen die entsprechenden Schwierigkeiten für Hauptstrahlen endlicher Neigung so an, daß eine ganz strenge Hebung der Fehler durch ein am Kople festangebrachtes torisches Brillenglas gar nicht möglich ist.

**Die Sonderstellung des Haftglases.** Die auf den ersten Blick scheinbar so einfache optische Aufgabe, die in der Brille gestellt ist, gehört eben, genau besehen, zu den verwickeltsten und mühevollsten. Auf welchem Boden erwachsen nun alle diese so störenden Nebenwirkungen? Darauf, daß, wie schon auf S. 781 angedeutet, die eigentümliche optische *Verbindung eines festen und eines beweglichen Gliedes* vorliegt, und daß beide darin in *einem endlichen Abstand voneinander angeordnet* sind. Wenn wir uns diese Tatsachen gegenwärtig halten, dann verstehen wir erst die außerordentlich große Bedeutung des FICKSchen Haftglases. Es hat weder einen merklichen Abstand vom Auge, noch ändert es seine Stellung zum Auge. Es liegt vielmehr der Hornhaut an und macht die Bewegungen des Augapfels mit. Damit fallen die geschilderten großen Schwierigkeiten, zu deren Überwindung eine ungeheuerliche Rechenarbeit geleistet worden ist, einfach weg. Sie sind nicht durch die Kunst des Rechners überwunden, sondern die Anlage läßt sie überhaupt nicht entstehen. Man darf also sehr wohl vom Ei des Kolumbus reden. Diese Art, Fehler der Einstellung und Brechung des Auges zu berichtigen, vereint mit der wünschenswerten optischen Einfachheit der Mittel eine ungewöhnliche Wirksamkeit und völlige Unauffälligkeit im Gebrauch.

Die Erkenntnis dieser ungeheuren Vorzüge läßt es einerseits verwunderlich erscheinen, daß seit der Erfindung durch A. E. FICK — er lebt heute noch in Herrsching in Bayern — 40 Jahre haben verstreichen müssen, bis das Haftglas in etwas größerem Umfange in Gebrauch kam, erklärt aber andererseits auch, daß trotz den noch zu besprechenden Hindernissen gegen seine Einführung die Bemühungen darum nie ganz aufgehört haben, bis in jüngster Zeit durch HEINE wieder ein neuer Anlauf genommen wurde.

Bevor wir näher auf diese Sehhilfe eingehen, möchte ich gleich im Anschluß an die einleitenden Allgemeinbetrachtungen erwähnen, daß auch das Haftglas nicht ganz ohne unbeabsichtigte optische Nebenwirkungen ist. Ich meine seinen Einfluß auf die Netzhautbildgröße, über die wir keine Verfügung haben im Gegensatz zum gewöhnlichen Brillenglas, wo wir wenigstens in einem gewissen Maße durch die Wahl des Glasortes bzw. Glashauptpunktes in bezug auf das Auge eine Bestimmung treffen können.

**Der Aufbau des Haftglases und seine optische Wirkung auf Augenfehler.** Die FICKSchen Haftgläser sind dünne, kaum  $\frac{1}{2}$  g schwere Schalen, die auf den vorderen Augapfelabschnitt aufgesetzt und zum Teil von den Lidern gedeckt werden. Damit sie sicher haften, bestehen sie nicht etwa nur aus einem der Hornhaut entsprechenden Hornhautteil, sondern besitzen schon nach der ursprünglichen Vorschrift einen diesen rings umgebenden, dem nächsten Stück der

Lederhaut aufliegenden Lederhautteil. Die Hornhaut kann die Innenfläche des Schälchens in einem mehr oder weniger großen Gebiet berühren, oder die beiden Flächen sind durch einen kleinen Zwischenraum getrennt, der meist mit Tränenflüssigkeit ausgefüllt ist. Im letzten Falle ist die brechende Wirkung der Hornhautoberfläche so gut wie ausgeschaltet. Die Brechung wird dann von der Flüssigkeitslinse allein oder in Verbindung mit der Linsenwirkung des Hornhautteiles übernommen.

Auf diese Weise werden Krümmungsfehler der Hornhaut, wie Narbenastigmatismus und *Keratoconus*, die wir mit gewöhnlichen Brillengläsern nicht ausgleichen können, optisch beseitigt. Diese Aufgabe kann als der Ausgangspunkt für die Erfindung durch A. E. FICK angesehen werden. In seiner im September 1887 eingesandten Arbeit über die „Contactbrille“ machte er aber sogleich auch auf

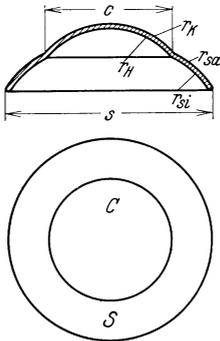


Abb. 78. Achsenschnitt und Grundriß eines geschliffenen ZEISS'schen Haftglases.

den Ausgleich der *hochgradigen Kurzsichtigkeit*. Dieses letzte Ziel hatte sich 1889 unabhängig von FICK der jetzt in München-Gladbach als Facharzt für Massage und Orthopädie tätige Sanitätsrat A. MÜLLER als junger Doktorand in Kiel gesetzt und im ersten Anlauf auch erreicht; denn er ging mit der ausgesprochenen Absicht um, die Form der gewöhnlichen Brille zu vermeiden, die ihm, dem stark Kurzsichtigen, die Lebensfreude merklich zu beeinträchtigen drohte. So gut die optischen Erfolge an sich waren, so konnten sie in der wünschenswerten Weise deshalb nicht ausgenutzt werden, weil die häufigen Reizerscheinungen des Auges das Tragen des Haftglases meist nach  $\frac{1}{2}$  Stunde unmöglich machten. Diese Erfahrung hat schon A. MÜLLER ganz im Anfang machen müssen. Immerhin haben einzelne Leute diese Gläser gut getragen, insbesondere solche mit Hornhautkegel. Ge-

schichtliche Angaben zu diesen Bestrebungen wolle man bei M. v. ROHR (f, § 20) nachsehen.

Ich kann hier von einem jungen Manne berichten, der als Schüler 1915 infolge Hornhautkegelbildung beider Augen so sehr an Sehschärfe einbüßte, daß er am Gymnasium nicht mehr mitkommen konnte. Er erhielt zunächst ein von ZEISS geschliffenes Haftglas, das er morgens vor der Schule einsetzen und nachmittags herausnehmen ließ, und hat so längere Zeit dank der Verbesserung seiner Sehschärfe dem Schulunterricht zu folgen vermocht. Er hat weiterhin, jetzt also 16 Jahre Haftgläser getragen, die ihm möglich machen, seinen Beruf auszuüben. Er trägt seit längerer Zeit von MÜLLER in Wiesbaden geblasene.

**Haftglas und Linsenastigmatismus.** Nach der Ausschaltung der Hornhaut durch ein Haftglas bleibt der Astigmatismus anderer Herkunft, der „Linsenastigmatismus“ übrig. Hält er sich in mäßigen Grenzen, so wird ihn der Haftglasträger gern in Kauf nehmen, wenn er wegen eines vorgeschrittenen Keratoconus allein mit Hilfe eines Haftglases ein brauchbares Sehvermögen erlangt, das gewöhnliche Brillenglas aber keine merkliche Hebung schwachen Sehvermögens bringen kann. Solche Leute werden auch gern zu ihrem Haftglas noch eine gewöhnliche Zylinderbrille tragen, wenn sie ihnen eine weitere Steigerung ihrer Sehschärfe beschert. Immerhin wird sich natürlich bei ihnen der Wunsch regen, die Berichtigung des „Linsenastigmatismus“ auch noch am Haftglas anzubringen. Noch dringlicher wird diese Forderung von solchen Fehlsichtigen erhoben werden, die nur deshalb zum Haftglas gegriffen haben, weil sie zum Ausgleich ihrer Fehlsichtigkeit die gewöhnliche Brille vermeiden wollen. Die damit gestellte Aufgabe ist bisher noch nicht gelöst worden. Schritte dazu hat ERGGELET getan, insofern es ihm gelang, in gewissen Fällen Änderungen

der Meridianlage eines eingesetzten Haftglases auch bei kugliger Form seines Lederhautteils durch geeignete Randgestaltung zu verhüten. Näheres siehe Abschnitt „Astigmatismus“, S. 676.

**Die optischen Nebenwirkungen des Haftglases.** An optischen Nebenwirkungen ist die gelegentlich wesentliche *Vergrößerung des Netzhautbildes* bei der Kurzsichtigkeit und die verständlicherweise mäßige Verkleinerung bei Übersichtigen zu nennen (Abb. 79 u. 82). Der Grund der Erscheinung ist der, daß das Glas nahe am Augenhauptpunkt angreift im Gegensatz zu den gewöhnlichen Gläsern, die nahe am vorderen Augenbrennpunkt sitzen. Steht ein gewöhnliches Glas im vorderen Brennpunkt eines Auges, so ist (s. S. 760) die Gesamtbrechkraft  $D_{12}$  der Verbindung Brille + Auge gleich der des Auges  $D_{11}$ , und der Fehlerausgleich erfolgt bei Kurzsichtigen allein dadurch, daß nicht nur der hintere Brennpunkt aus dem Glaskörper in die Netzhaut rückt, sondern auch der

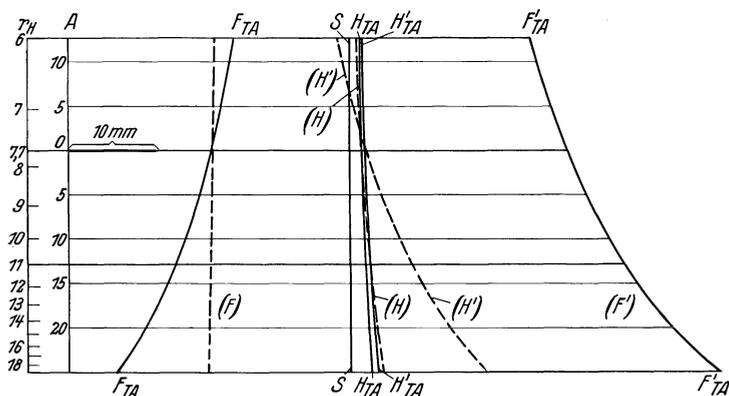


Abb. 79. Darstellung der Lage der Grundpunkte der aus einem brechkraftlosen Haftglas, einer Flüssigkeitslinse von der Dicke  $d_T = 0,5$  mm und dem fehlsichtigen (längenametropen) Auge bestehenden Folge.  $SS$  Ort des Hornhautscheitels.  $H_{TA}H_{TA}$  und  $H'_{TA}H'_{TA}$  Orte der Hauptpunkte der Folge.  $F_{TA}F'_{TA}$  und  $F_{TA}F'_{TA}$  Orte der ding- und bildseitigen Brennpunkte der Folge.  $(H)$  und  $(H')$  Orte der Hauptpunkte für die aus Brillenglas und Auge bestehende Folge, sofern die Berichtigung durch dünne Brillengläser im Abstände von 12 mm vom Hornhautscheitel erfolgt.  $(F)$  und  $(F')$  Ort der ding- und bildseitigen Brennpunkte für den Fall der Brillenberichtigung.

Hauptpunkt, und zwar um den gleichen Betrag. Bei Haftgläsern aber wird der Hauptpunkt fast gar nicht verschoben. Der Ausgleich erfolgt daher nahezu allein durch die Wanderung des bildseitigen Brennpunktes in die Netzhaut nach hinten bei Kurzsichtigen und umgekehrt nach vorn bei Übersichtigen. Über die Bildgröße bei Aphakischen siehe H. HARTINGER (g).

Der *Akkommodationserfolg* unterscheidet sich, da das Haftglas im Hauptpunkt angreift, kaum nennenswert von dem Akkommodationsaufwand des Auges. Das *Gesichtsfeld* und *Blickfeld* sind nicht beschränkt. *Farbenfehler in der Achse* fallen nicht auf, da das Auge selbst damit behaftet ist, und im Blickfeld kommen keine *Neigungsunterschiede farbiger Hauptstrahlen* vor, da ja keine Richtungsänderungen vorhanden sind.

Ein *ungleichsichtiges* (anisometropisches) Augenpaar wird sich bei gutem Sitz der Haftgläser in seinen Blickrichtungen ebenso verhalten wie ohne Glas. Von einer Richtungsänderung des Blickes außerhalb der Primärstellung wie bei den gewöhnlichen Gläsern ist nicht mehr die Rede. Daß beim Haftgläser die natürliche Beziehung zwischen Akkommodation und Konvergenz herrscht, ist wesentlich im Hinblick auf die eigentümlichen Verhältnisse (s. S. 823), die das gewöhnliche Glas beim Nahsehen bedingt.

### Unter welchen Bedingungen sind Haftgläser zu gebrauchen?

Das Anwendungsgebiet des Haftglases betrifft: 1. Diejenigen Fälle, in denen mit gewöhnlichen Gläsern nicht befriedigend auszugleichende Krümmungsveränderungen am besseren Auge bestehen. Hier ist man ganz auf das Haftglas angewiesen.

2. In allen anderen Fällen von Einstellungsfehlern des Auges kommt das Haftglas rein optisch betrachtet nicht ausschließlich, sondern nur neben der gewöhnlichen Brille in Frage, wenngleich es die erwähnten wesentlichen Vorzüge besitzt. Aus nichtoptischen Gründen kann es hier zum *Mittel der Wahl* werden, wenn nämlich gewöhnliche Brillen nicht getragen werden können, sei es, daß der Beruf (Schauspieler, Sänger) sie verbietet, sei es, daß Verstümmelungen es verhindern. Beim Sport kann es den Vorzug vor den gewöhnlichen Brillengläsern verdienen wegen des sicheren Sitzes, der geringeren Verletzlichkeit und des Ausbleibens des Beschlagens. Der höheren Sehschärfe wegen empfiehlt sich das Haftglas bei hochgradig Kurzsichtigen; die Ungleichsichtigkeit ist schon oben berührt.

Die Arten des Haftglases. Die von F. AD. MÜLLER in Wiesbaden *geblasenen* Schalen (Abb. 177, S. 676) verursachten seltener Störungen als die *geschliffenen*,

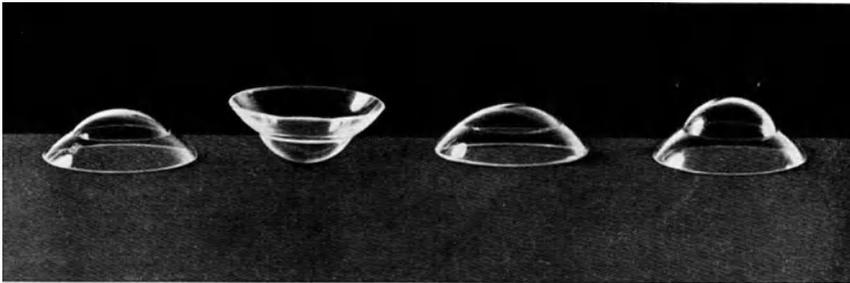


Abb. 80. Vier verschiedene ZEISSISCHE Haftgläser.

von denen zunächst 3, später 4 Formen von rund 6,5, 7, 8 und 9 mm Krümmungshalbmesser der Hornhautinnenfläche bei ZEISS regelmäßig hergestellt wurden (Abb. 80). Daß diese geschliffenen Schalen öfter nicht getragen wurden, liegt, wie L. HEINE gezeigt hat, an der Form. Auf seine Anregung hin hat ZEISS zwei Reihen von Haftgläsern angefertigt von 21 und von 18 Stück. Der erste Satz enthielt Schalen mit dem Krümmungshalbmesser des Hornhautteiles von 5, 6, 7, 8, 9, 10 und 11 mm jeweils mit dreierlei Lederhautkrümmungshalbmessern 11, 12 und 13 mm. Der zweite umfaßt die zwei Stufen von etwa  $\frac{1}{2}$  mm Unterschied zwischen den vorigen. Die Bezeichnung der Form  $\frac{3}{8}$  bedeutet ein Haftglas mit Skleralinnenkrümmung von 13 mm, und mit Kornealinnenkrümmung von 8 mm. Genaueres wolle man bei H. HARTINGER (e) nachlesen.

Tatsächlich finden sich in dieser Auswahl sehr oft passende Gläser für Augen, die keines der ursprünglichen vier ZEISSISCHEN Schälchen tragen konnten. Davon habe ich mich am eigenen Auge, wie bei Kranken überzeugt. Unmittelbar in der Reihe nebeneinanderliegende Stücke können außerordentlich verschieden wirken.

Vermutlich haben wir mit dem HEINESCHEN Glassatz noch nicht die endgültige Form vor uns. Wer sich mit der Anpassung befaßt, kommt notwendigerweise auf bestimmte weitere Forderungen. Doch sei hier von abweichenden Anlagen nur die Möglichkeit noch erwähnt, an geblasenen der eigentümlichen

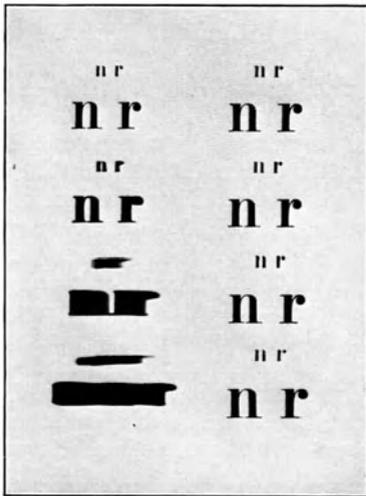


Abb. 81. Vergleichsaufnahmen in grünem Licht durch ein gleichseitiges Brillenglas von + 13 dptr (linke Säule) und durch ein Kontaktglas gleicher Stärke (rechte Säule) bei verschiedener augenseitiger Hauptstrahlneigung  $w'$ , die in der ersten, zweiten, dritten und vierten Linie  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  und  $30^\circ$  beträgt. Der Strahlengang beim richtig angepaßten Brillenglas wurde genau nachgeahmt. (Nach O. HENKER.)

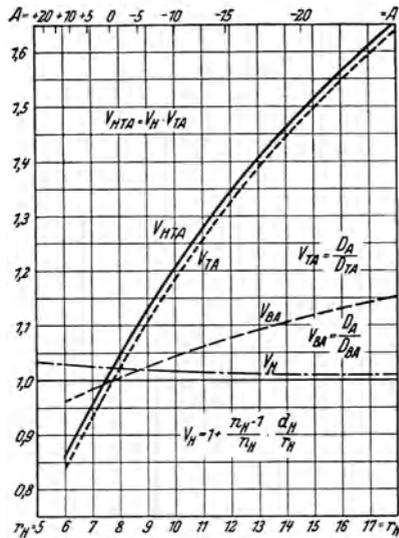


Abb. 82. Die Vergrößerung  $V_{HTA}$  des Netzhautbildes in Augen mit Längfehler beim Ausgleich der Ametropie durch brechkraftlose Haftgläser hängt ab von dem Hauptpunktsbrechwert  $A$  des Auges und vom Krümmungshalbmesser  $r_H$  der Glashornhaut.  $V_H$  die Vergrößerungswirkung des brechkraftlosen Haftglases.  $V_{TA}$  die Vergrößerung des Netzhautbildes durch die gemeinsame Wirkung der Flüssigkeitslinse und der brechenden Flächen des Auges.  $V_{BA}$  die Netzhautbildvergrößerung durch die in 12 mm vom Hornhautscheitel stehenden dünnen ausgleichenden Brillengläser. (Nach H. HARTINGER.)

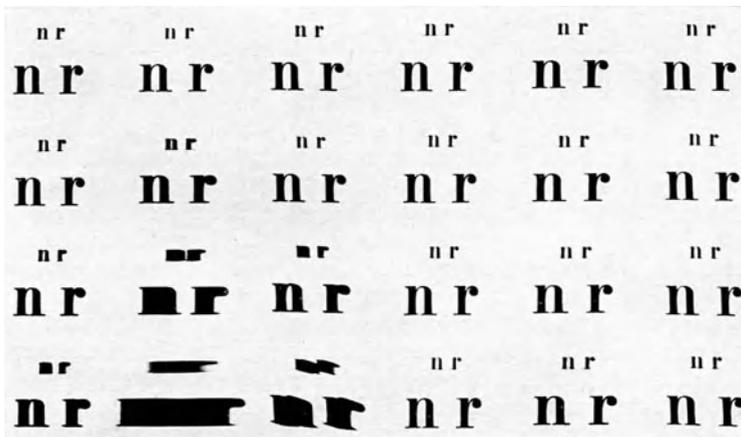


Abb. 83. Vergleichsaufnahmen in grünem Licht durch ein sphäro-zylindrisches (erste bis dritte Säule) und ein sphäro-torisches Brillenglas zweckmäßiger Durchbiegung (vierte bis sechste Säule) von + 4 dptr Scheitelbrechwert im ersten und + 7 dptr im zweiten Hauptschnitt. Die augenseitige Hauptstrahlneigung betrug  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  und  $30^\circ$  (erste bis vierte Linie). Die erste und vierte Säule entspricht dem ersten Hauptschnitt, die zweite und fünfte dem zweiten und die dritte und sechste Säule einer Ebene, die mit beiden Hauptschnitten einen Winkel von  $45^\circ$  einschließt. Wie bei Abb. 81 ist der Strahlengang beim natürlichen Gebrauch des Glases genau nachgeahmt. (Nach O. HENKER.)

Form des einzelnen Auges nach Möglichkeit nachgebildeten Schalen, wie sie MÜLLER in Wiesbaden macht, wirklich einwandfrei optisch wirksame Flächen anzuschleifen. 1913 hat R. HELMBOLD von einem sehr erfolgreichen Fall dieser Art berichtet. H. ERGGELET (c) hat über eigene Bemühungen dieser Art in Heidelberg Mitteilung gemacht.

**Die Erträglichkeit des Haftglases.** Die Hauptfrage ist, ob die Schale sitzt und vertragen wird; dies ist unabhängig von der optischen Leistung. Man hat daher meist eine Anzahl von Haftgläsern durchzuprobieren, um zu ermitteln, welches am besten paßt, d. h. keine Beschwerden verursacht. In der Regel gleichen diese Gläser die Fehlsichtigkeit noch nicht aus. Man bestimmt in der üblichen Weise mit Brillengläsern den noch bestehenden Fehler. Je nachdem ist dann auf der Vorderfläche des gewählten Glases eine stärkere oder schwächere Krümmung anzuschleifen. Je 1 mm Unterschied im Krümmungshalbmesser der Hornhaut bedingt rund 6 dptr Unterschied des Brechwertes.

Ob ein Glas vertragen wird, läßt sich aus dem objektiven Befund am aufgesetzten Glas durchaus nicht immer sagen, jedenfalls nie mit Bestimmtheit. Eher kann man gelegentlich angeben, wenn es vermutlich nicht vertragen werden wird. Das ist der Fall, wenn der Glasaußenrand oder Innenrand episklerale Gefäße leerpreßt. Dann folgt meist nach einiger Zeit Rötung dieser Gegend mit Fremdkörpergefühl und Tränen. Oder es kommt vor, besonders bei Keratoconus, daß der Scheitel gedrückt wird und sich sogar in Falten legt, oder es erscheinen nur soweit Folgen des Druckes, als die Hornhaut etwas trübe wird und die von der Keratitis disciformis her bekannten dunklen Linien zeigt. Dann aber kann sich bei scheinbar ganz gutem Sitz nach längerem Tragen eine Epitheltrübung einstellen, und es mag zur Ausbildung eigentümlich glasheller, oft in Kranz- oder Ringform angeordneter, nur mit dem Mikroskop sichtbarer, perlenartiger Gebilde kommen, Veränderungen, die auch mit Trübung der Füllflüssigkeit einhergehen können. Nach der Entfernung des Glases sieht man in diesen Fällen oft im Gebiet der Perlen feinste Epithelstichelungen, die gelegentlich Fluorescein annehmen, aber meist rasch verschwinden, wenn das Glas entfernt wird.

Die *persönliche Empfindlichkeit* des Auges spielt sicherlich bei der Frage „Reizung oder keine Reizung?“ eine Rolle; hat es sich doch gezeigt, daß durch *Übung* bei manchen Leuten anfängliche Beschwerden aufhörten und das Glas anstandslos stundenlang getragen wurde.

**Die praktische Anwendung des Haftglases.** Zum *Einsetzen* des Haftglases läßt man den Träger den Kopf nach vorn neigen, hält mit einer Hand das Oberlid stark nach oben, während die andere Hand mit den ersten 2 oder 3 Fingern das mit etwas RINGERScher oder physiologischer Kochsalzlösung gefüllte Haftglas umgreift und mit dem kleinen oder dem Ringfinger das untere Lid nach unten zieht. Der Blick soll zuerst nach oben gerichtet werden, dann wird der Rand des Glases in die untere Übergangsfalte angelegt. Läßt man jetzt den Blick senken, dann taucht die Hornhaut gerade in das Haftglas. Dies wird rasch gehoben, und man läßt unverzüglich danach das Oberlid über das Glas gleiten. Wesentlich ist, daß das Auge nicht zugekniffen wird.

Zum *Entfernen* verwende ich einen Irisspatel oder ein Häkchen aus Metall oder Glas, wie es zum Entfernen der Glasaugen verwendet wird.

Der Träger setzt sein Glas selbst am besten vor einem handtuchbedeckten Tisch sitzend ein, indem er mit der einen Hand das Oberlid von oben nach unten zieht, mit der anderen das Haftglas bei zuerst gesenktem Blick unter das Oberlid schiebt. Das Herausnehmen kann ebenfalls mit dem Häkchen geschehen, indem man es auf dem Glas von der Mitte nach dem unteren Rand gleiten läßt, bis es die Bindehaut berührt, oder nach der Seite zu. Manche

Leute lernen sehr rasch, ihr Glas ohne Gerät, allein mit den Fingern einzusetzen und abzulegen. Manche schätzen Gummisauger. Schon die gewöhnlichen Gummisauger für Kindermilchflaschen eignen sich gut zum Haftglashalten beim Einsetzen. Das dünnere Mundende dient mit Watte ausgestopft als Griff; auf das nach oben gekehrte breitere Flaschenende wird das Haftglas aufgelegt. Die Nachgiebigkeit kann wertvoll sein. SIEGRISTS Sauger ist starrer.

Man tut gut, die Patienten von vornherein für ein paar Tage zum Durchprobieren unter Aufsicht zu behalten. Auch sollen sie nicht etwa mit dem eben eingesetzten Glas weggehen oder gar nach Hause fahren, was der eine oder andere in seiner Anfangsbegeisterung zu tun geneigt ist. Man behält sie am besten am Ort, wenn man sich von dem guten Sitz überzeugt hat, und prüft mit Spaltlampe und Hornhautmikroskop in bestimmten Zeitabständen das Auge nach.

Schließlich scheint es ratsam, die Kranken vor zu langem Tragen zu warnen, schon um die wertvolle Sache nicht durch vermeidbares Zuviel in Mißachtung zu bringen. Das Glas soll zur Arbeit ausgenützt, aber, auch wenn es gut vertragen wird, jedenfalls über Mittag für 1—2 Stunden herausgenommen werden. Auch kann man bei gleichwertigen Augen durch abwechselndes Tragen, dem jeweils freien Auge eine längere Erholungszeit verschaffen, ohne den Träger zu benachteiligen. Wirklichen Schaden habe ich bei diesem Verfahren nie gesehen. Nur gelegentlich eine oberflächliche, rasch heilende Erosio, wenn die erlaubte Zeit ununterbrochenen Tragens weit überschritten, und das Glas auch zum Schlafen nicht herausgenommen wurde.

Die Besorgnis, es möchten durch anfliegende Fremdkörper besonders schlimme Verletzungen entstehen, hat durch meine daraufhin angelegten Versuche wenigstens keine Begründung gefunden.

## F. Besondere Brillenformen.

Hier werden kurze Hinweise genügen, da allen diesen Vorkehrungen ein enger Raum bei der Anwendung zugemessen ist.

### I. Die Taucherbrillen.

Solche Hilfen bei Schwamm- und Perlenfischern sind schon im 16. Jahrhundert von Künstlern abgebildet worden, und zum Ende des 17. Jahrhunderts

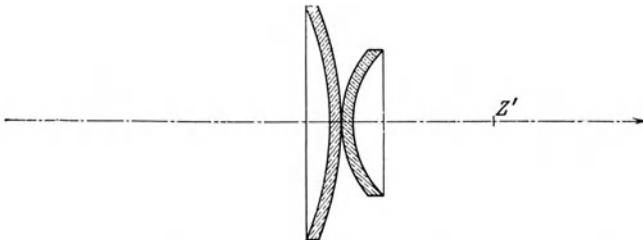


Abb. 84. Eine ZEISSische Taucherbrille mit Angabe des Ortes  $Z'$  für den Augendrehpunkt.

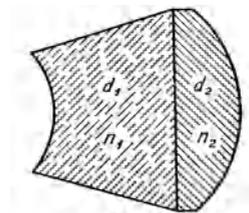


Abb. 85. Ein Achsenschnitt durch eine LOBNEYSsche Wasserkammer. Das Licht tritt aus dem Auge aus.

hat CHR. HUYGENS sehr genaue Angaben über die Flächen einer gleichseitigen Glaslinse gemacht, die den Brechkraftverlust der ins Wasser gebrachten Hornhaut gerade ausglich. In den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts hat R. DUDGEON die zweckmäßige Forderung gestellt, die Brille so einzurichten, daß auch beim Auftauchen die Gegenstände in Luft deutlich erschienen. Die Abb. 84 zeigt eine solche Taucherbrille im Achsenschnitt. Man erkennt,

daß eine (für den Gebrauch in Luft) brechkraftlose Linsenfolge außen und innen Hohlfächen aufweist, die, in Wasser getaucht, den Brechkraftverlust der bauchigen Hornhaut gerade wettmachen.

## II. LOHNSTEINS Wasserkammer (Hydrodiaskop).

Hier handelt es sich um eine gut geplante Anlage für Augen mit Hornhautkegel (Keratoconus), wo eine geräumige Wasserkammer vor dem Auge angebracht ist. Die Anlage würde sich auch für das blickende Auge ausbilden lassen, doch ist die Auffälligkeit groß. Also sprechen die wichtigen kosmetischen Gründe dagegen. Es sei bemerkt, daß wegen der Dicke der Wasserschicht der Akkommodationserfolg hier merklich kleiner ausfällt (man sehe dazu M. v. ROHR [f, S. 49]).

## III. Brillen zur Vergrößerung des Gesichtsfeldes (Rückblickbrillen)

sind wohl hauptsächlich durch die Zunahme der Kraftfahrzeuge hervorgerufen. Es handelt sich um spiegelnde Flächen oder Flächenteile meistens allein an den Schläfenseiten der Brillengläser. Eine ganze Reihe von Schutzschriften besteht bereits dafür und verlängert sich noch ständig.

## IV. Lochbrillen

sind vor allem für alterssichtige Schützen bestimmt, denen durch die Vergrößerung der Abbildungstiefe infolge der Abblendung die deutliche Wahrnehmung von Kanne und Korn erleichtert werden soll.

Doch kommen noch in neuerer Zeit (nach M. v. ROHR [f, S. 6]) Siebbrillen als Hilfsmittel für Fehlsichtige vor. Auch für Kranke mit Keratoconus haben sie Verwendung gefunden. Endlich sei an die frühere Benutzung der Lochbrille bei Schielenden und die neuerdings von LINDNER empfohlene bei Netzhautabhebung erinnert.

### Zur Glaswahl.

Nach der Ermittlung der nötigen Glasstärke spitzt sich die Beratung eines Brillenbedürftigen, abgesehen von der Gestellwahl, nicht selten hinsichtlich der Glasform auf die Frage zu: Sind punktuell abbildende Gläser unbedingt nötig? Die Antwort ist hinsichtlich der Theorie aus der hier gegebenen Darstellung im allgemeinen ohne Schwierigkeit zu entnehmen. Zweifel und Zwist entspringen aus der Kostenfrage. Zwei entgegengesetzte Standpunkte werden verfochten. Das Beste ist für den Fordernden gerade gut genug. Das billigste erscheint manchmal dem häuslicheren Kostenträger als die genügende Leistung. Daß vor 1908 jedermann mit den alten Gläsern hat auskommen müssen, ist natürlich kein Grund, die heute zur Verfügung stehenden besseren Formen abzulehnen. Trotz der wirtschaftlich so schwierigen Zeit bzw. gerade deswegen soll man sie sich zunutze machen. Kommt doch hinsichtlich der Sehschärfe und damit hinsichtlich der Leistungsfähigkeit bei der Arbeit einer guten Brille die gleiche Bedeutung zu wie einer guten Beleuchtung des Arbeitsplatzes. Über die Einwirkung dieser letzten auf die Arbeitsleistung in der Zeiteinheit liegen in Geld auszudrückende Messungen vor, die sich wohl auch auf die Brullenfrage übertragen ließen. Bei beschränkten Mitteln ist natürlich mit den Ausgaben für Sehhilfen hauszuhalten. Für die dann zu entscheidende Frage, wann genügen bescheidene Sehhilfen? und wann sind Opfer für die besten am Platz? ist viererlei maßgebend: Die zu leistende Arbeit, die Sehschärfe, die Art und Höhe des Brechungsfehlers und die Person des Trägers. Einen gewissen Anhaltspunkt für den ersten Fall findet man in der Einteilung der Berufe hinsichtlich seiner Anforderungen an die Sehschärfe, wie man sie für die Berufswahl aufgestellt hat (s. HANKE). Eng verknüpft hiermit ist der zweite Fall. Wer eine schlechte Sehschärfe hat, wird von der Abnahme der Bildgüte nach der Seite im Blickfeld hin ceteris paribus weniger merken als jemand mit sehr guter Sehschärfe. Auch der dritte Fall ist nicht ohne Zusammenhang mit den beiden ersten, insofern die Sehschärfe um so

mehr abzunehmen pflegt, je höher die Kurzsichtigkeit ist, während auf der anderen Seite gerade die hochgradig übersichtigen Augen der Linsenlosen oft eine sehr gute Sehschärfe besitzen. Im gleichen Sinn wie hierdurch wird unsere Entscheidung durch den Zusammenhang beeinflusst, der zwischen der Refraktion und der Bildgüteveränderung im Blickfeld nicht punktuell abbildender Linsen besteht. Der Fehler des Astigmatismus schiefer Bündel ist bei schwachen Gläsern niedrig und steigt mit der Stärke besonders auf der Seite der Sammelgläser rasch an. Man wird also vor allem die Träger starker Sammelgläser mit punktuell abbildenden Formen zu versehen haben. Um zum vierten Fall zu kommen, lassen sich hohe Ausgaben für gänzlich achtlose Leute, wie man sie gelegentlich mit gänzlich verschmutzten Gläsern, schlecht sitzenden, zerdrückten Gestellen einhergehen sieht, kaum rechtfertigen. Ebensowenig aber lohnen sich hohe Kosten für gute Glasformen, wenn man glaubt, auf die Anpassung des Gestells an die Gesichtsform des Trägers verzichten zu dürfen. Geschieht es doch auch heute noch gar nicht so selten, daß man die Abgabe der von zuständiger Seite nach ihrer Stärke richtig verordneten Gläser gänzlich ungeschulten Leuten wie Schreibern überläßt. Der Beurteilung der Gläserpreise, die heute im allgemeinen bei punktuell abbildenden und nicht punktuell abbildenden nicht allzuweit auseinanderliegen, darf nicht nur der Plan der Glasform zugrunde gelegt werden, sondern es ist auch die Güte der Ausführung, der Glasstoff und die Vollkommenheit der Flächenbearbeitung zu prüfen.

### Literatur.

BOEGEHOLD, H.: (a) Über punktuelle Abbildung bei Brillengläsern. Dtsch. opt. Wschr. 1, 436 (1916). (b) Über die Korrektion des Astigmatismus bei sphäro-torischen Brillen. Z. ophthalm. Opt. 4, 161—171 (1916). (c) Physiologische und mathematische Meinungsverschiedenheiten in der Bewertung sphäro-torischer Brillen. Z. ophthalm. Opt. 5, 129—136 (1917). (d) Physiologische und mathematische Meinungsverschiedenheiten in der Bewertung sphäro-torischer Brillen. Z. ophthalm. Opt. 6, 14—21 (1918). (e) Physiologische und mathematische Meinungsverschiedenheiten in der Bewertung sphäro-torischer Brillen. Z. ophthalm. Opt. 6, 60—61 (1918). — BRÜCKNER, A.: (a) Graphisches Rechnen bei der Brillenverordnung. Ber. 43. Verslg dtsch. ophthalm. Ges. Jena 1922, 97—101, 115—117. (b) Grundzüge der Brillenlehre für Augenärzte. Berlin 1924. — BURMESTER, L.: Kinematische Aufklärung der Bewegung des Auges. Münch. Ber. math.-physik. Kl. 1918, 171—202.

ERGGELET, H.: (a) Zur Korrektion der einseitigen Aphakie. Z. ophthalm. Opt. 1, 33—42, 65—73 (1913/14). Ber. 128. (b) Bemerkungen zur Fernrohrbrille. Z. ophthalm. Opt. 8, 146—154 (1920). (c) Aussprache zu HARTINGER (f). (d) Zur Gläserverordnung bei Ungleichsichtigkeit. Ber. 48. Verslg dtsch. ophthalm. Ges. Heidelberg 1930, 227—235.

FICK, A. E.: Eine Contactbrille. Arch. Augenheilk. 18, 279—289 (1888).

HARTINGER, H.: (a) Zur Akkommodation mit der Fernrohrbrille. Z. ophthalm. Opt. 11, 161—170 (1924). (b) Die Verzeichnungsfehler einfacher Prismen. Z. ophthalm. Opt. 15, 129—146 (1927). (c) Die prismatische Wirkung dezentrierter astigmatischer Brillengläser. Z. ophthalm. Opt. 17, 1—13, 33—47 (1929). (d) Über den Richtungsunterschied zwischen Dezentration und entsprechender prismatischer Wirkung bei astigmatischen Brillengläsern. Z. ophthalm. Opt. 18, 1—10, 33—42 (1930). (e) Zur optischen Theorie der Haftgläser. Z. ophthalm. Opt. 18, 135—146, 161—170 (1930). (f) Zur Berichtigung der Fehlsichtigkeiten mittels der geschliffenen Zeißischen Haftgläser. Ber. 48. Verslg dtsch. ophthalm. Ges. Heidelberg 1930, 189—201. (g) Zur Haftglasberichtigung linsenloser Augen. 33. Tagg Ver.igg mitteldtsch. Augenärzte Dresden, Sitzg 30.—31. Aug. 1930; Klin. Mbl. Augenheilk. 85, 584 (1930). — HEINE, L.: (a) Über den Ausgleich sämtlicher Brechungsfehler des Auges durch geschliffene Haftgläser (unter den Lidern getragene Schalen). Münch. med. Wschr. 77, 6—7 (1930). (b) Über den Ausgleich sämtlicher Brechungsfehler des Auges durch geschliffene Haftgläser (unter den Lidern getragene Schalen). (Zur Ergänzung der Mitteilung in Nr 1, 1930 dieser Wochenschrift.) Münch. med. Wschr. 1930, 271—272. (c) Die Korrektur sämtlicher Ametropien durch geschliffene Kontaktschalen. 13. Concil. ophthalm. Amsterdam-den Haag, Sept. 1929. Ber. 1, 232—234. (d) Über die richtige Wahl vergrößernder Korrektionsmittel bei verschiedenartiger Herabsetzung des Sehvermögens. Kriegstagg ung. ophthalm. Ges. Arch. Augenheilk. 81, Erg.-H., 67—81. — HELMBOLD, R.: Beitrag zur Sehverbesserung bei Keratokonus. Z. ophthalm. Opt. 1, 77—80 (1913/14). — HENKER, O.: (a) Die Ordnung der Brillengläser nach der Scheitelrefraktion. Z. ophthalm. Opt. 2, 129—154 (1915). (b) Einführung in die Brillenlehre. Jena, Optikerschule, 1921. (c) Die zweite, vermehrte und verbesserte Auflage wurde nach HENKERS Tod von H. PISTOR 1927 unter dem gleichen Titel herausgegeben. Weimar 1927.

KOEPPE, L.: Bemerkungen zur graphischen Bestimmung der Wirkung von Zylindergläsern in allen Meridianen. Dtsch. opt. Wschr. 8, 787—789, 803—806 (1922). — KRÄMER, R.: Ein Zeichenverfahren zur Bestimmung der Wirkung von Zylinderlinsen in allen Meridianen.

Dtsch. opt. Wschr. 8, 528 (1922). — KÜHL, A.: Das Scheitel-Sphärometer. Z. ophthalm. Opt. 10, 9—11 (1922).

MÜLLER, A.: Brillengläser und Hornhautlinsen. Diss. Kiel 1889.

ROHR, M. v.: (a) Die Bilderzeugung in optischen Instrumenten vom Standpunkte der geometrischen Optik. Berlin 1904. (b) Die Theorie anastigmatischer Starbrillen. Ber. 35. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1908, 25—32. (c) Zur Theorie der Fernrohrbrille. Graefes Arch. 75, 561—585 (1910). (d) Über astigmatische Gläser mit punktueller Abbildung. Ber. 38. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg 1912, 94—99. (e) Über Bifokal- und andere Brillen zur Unterstützung des Altersauges. Z. ophthalm. Opt. 4, 85—122 (1916). (f) Die Brille als optisches Instrument. Berlin 1921. (Die erste Auflage war 1911 erschienen.) — ROHR, M. v. und W. STOCK: Über eine Methode zur subjektiven Prüfung von Brillenwirkungen. Graefes Arch. 83, 189—205 (1912); 84, 152—163 (1913).

SONNEFELD, A.: (a) Fernbrillen und Vorhänger, ein vollwertiger Ersatz für Nahbrillen. Z. ophthalm. Opt. 8, 65—71 (1920). (b) Die Umrechnung schief gekreuzter Zylinder in sphäro-torische Brillen. Z. ophthalm. Opt. 9, 33—40 (1921). Ber. 160. — SPANUTH, J.: (a) Über punktuell abbildende astigmatische Brillengläser. Z. ztg Opt. u. Mech. 37, 478—479, 493 (1916). (b) Über punktuell abbildende sphäro-torische Brillengläser für hochgradige Myopen. Z. ophthalm. Opt. 5, 79—83 (1917). — STOCK: Eine neue Form von Schutzbrillen. Internat. med. Kongr. London, Sekt. Ophthalm., 1913; Klin. Mbl. Augenheilk. 51 II, 416, 417 (1913). — SUNDQVIST, M.: (a) Über Spiegelbilder an Linsen und Brillengläsern. Graefes Arch. 116, 1—95 (1926). (b) Zur Theorie der Brillen- und Vergrößerungsgläser. Graefes Arch. 120, 349—495 (1928); 121, 639—658 (1929); 126, 1—172 (1931).

TSCHERMAK<sup>1</sup>, A.: Augenbewegungen. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie mit Berücksichtigung der experimentellen Pharmakologie, herausgeg. von A. BETHE, G. v. BERGMANN, G. EMBDEN u. A. ELLINGER. II. Tl. Receptionsorgane III. Photoreceptoren II. Berlin 1931. — TSCHERNING, M.: Verres de lunettes orthoscopiques. Arch. Optik 1, 401—414 (1907/08).

VICTORIN, F.: Ein Zeichenverfahren zur Bestimmung der Wirkung von Zylinderlinsen in allen Meridianen. Dtsch. opt. Wschr. 7, 740—741 (1921).

WEISS, E.: (a) Zur Bewertung astigmatischer Fehler torischer Brillengläser. Z. ztg Opt. u. Mech. 38, 184—187 (1917). (b) Über die astigmatischen Fehler sphäro-torischer Brillengläser. Dtsch. opt. Wschr. 2, 370—373 (1927). (c) Physiologische und mathematische Meinungsverschiedenheiten in der Bewertung sphäro-torischer Brillen. Z. ophthalm. Opt. 5, 153—162 (1917). (d) Analytische Darstellung des Brillenproblems für sphärische Einzel-linsen. Z. ztg Opt. u. Mech. 41, 321—325, 337—342, 354—357, 369—370 (1920). Auch gesondert erschienen. — WHITWELL, A.: (a) On the best form of spectacle lenses XL. Optician 69, 133—135 (1925). (b) Convergence and accommodation. Optician 71, 246—249, 373—375, 378 (1926).

# Klinische Untersuchungsmethoden<sup>1</sup>.

Von

A. BRÜCKNER-Basel.

Mit 90 Abbildungen.

## Einleitung.

Unsere Sinnesorgane vermitteln uns Komplexe von Empfindungen, die wir als Gegenstände in unserer Umwelt deuten. Ebenso wie die ältere psychologische Forschung mit derartigen Einheiten rechnete, tut es auch die neue Gestalttheorie. Zur Analyse der Leistungen unserer Sinnesorgane aber bedarf es der Abstraktion, indem wir etwa an einem Gegenstand die Farbe, die Härte, den Geruch und ähnliches unterscheiden. Die Sinnesphysiologie und die experimentelle Psychologie um die Jahrhundertwende haben sich diesen Teilempfindungen eingehend zugewendet und hier wichtige Ergebnisse bezüglich der Abhängigkeit zwischen Reiz und psychischem Erleben festgestellt, die auch der Augenarzt in den Grundzügen kennen sollte.

Vor allem kommt es auf Erkennung von Unterschieden zwischen gleichartigen Inhalten an. Auch die augenärztlichen Untersuchungsmethoden beruhen auf dieser *Unterschiedsempfindlichkeit*.

Die Beurteilung eines Unterschiedes ist darin begründet, daß zwei Empfindungsinhalte, z. B. zwei Farben, gleichzeitig oder nacheinander dargeboten werden (simultaner und sukzessiver Vergleich). Streng genommen wird aber auch beim simultanen Vergleich nur selten eine wirklich vollständig gleichzeitige Apperzeption der Eindrücke erfolgen. Beim Sukzessivvergleich muß der erste Eindruck noch irgendwie im Bewußtsein vorhanden sein. Im Verlauf dieses ganzen Vorganges, insbesondere auch in der Aussage können sich Fehler einschleichen. Durch THEODOR FECHNER ist mittels der Fehlermethoden zuerst der Versuch gemacht worden, zu „wahren“ Werten zu gelangen. Hierzu bedarf es aber sehr ausgedehnter Versuchsreihen, die bei der klinisch-ophthalmologischen Prüfung nicht durchführbar sind. Man wird sich deshalb oft mit einem oder nur wenigen Urteilen seitens der Kranken begnügen müssen.

Während die subjektiv bedingten Fehler unvermeidbar sind und zum großen Teil von der psychischen Konstitution sei es des Beobachters, sei es des Patienten abhängen, läßt sich durch Verfeinerung unserer Instrumente (z. B. stärkere Vergrößerung bei der Lupe, Ophthalmoskopie im rotfreien Licht u. a.) eine Verbesserung der Resultate erzielen. Auch kann durch Verschiebung des Untersuchungsverfahrens auf ein anderes Sinnesgebiet, z. B. bei der Tonometrie vom Tastsinn auf den Gesichtssinn, eine Verfeinerung der Methodik erreicht werden.

<sup>1</sup> Bei der Darstellung der Untersuchungsmethoden des Auges wäre es wünschenswert, die physikalischen, physiologischen und psychologischen Grundlagen, die jeweils in Betracht kommen, zu schildern. Denn nur bei deren Berücksichtigung ist es möglich, die Methodik einerseits voll auszunutzen, andererseits sich vor Fehlern, die sich verhängnisvoll in der Diagnostik auswirken könnten, zu schützen. Der zugemessene Raum verbietet eine auch nur einigermaßen zureichende Darstellung insbesondere auch in kritischer Richtung, so daß das meiste nur angedeutet werden kann. Aus dem gleichen Grunde wurde auch die Zahl der Abbildungen auf ein Mindestmaß beschränkt. Verfahren, die ohne solche nicht wohl verständlich darzustellen sind, müssen in den Originalabhandlungen eingesehen werden. Für den Leser, der sich näher unterrichten will, finden sich Hinweise für ein eindringenderes Studium in der angegebenen Literatur.

**Aufgabe der klinischen Untersuchung des Auges.** Mit Hilfe der klinischen Untersuchungsmethoden soll das Verhalten des Sehapparates bezüglich seiner vegetativen und animalen Funktionen untersucht werden. Diese sind an bestimmte anatomische Grundlagen gebunden, die ebenfalls ermittelt werden sollen. Es handelt sich dabei immer um Feststellung, ob ein Befund normal ist oder nicht. Unter dem Begriff normal versteht man meist ein Verhalten entsprechend der Mehrheit der Individuen. Richtiger dürfte es sein, den Begriff dahin zu präzisieren, daß nur die außerhalb einer gewissen Spielbreite fallenden Varianten oder Veränderungen als abnorm oder krankhaft aufzufassen sind, wie es der modernen Konstitutionsbiologie entspricht.

Wenn möglich sollen dabei *quantitative* Feststellungen gemacht werden. Wo diese nicht ausführbar sind, beschränkt man sich auf eine Beschreibung der Phänomene, die bei neuen oder seltenen Befunden historischen oder archivalischen Charakter haben (Kasuistik), deren Zusammenfassung und Einordnung in das Gebiet der Wissenschaft späteren Untersuchungen vorbehalten bleibt.

**Objektive und subjektive Methoden.** Unter den objektiven Untersuchungsverfahren verstehen wir Feststellung des objektiven Befundes, unter den subjektiven Verfahren die sog. Funktionsprüfung. Nur im zweiten Falle bedarf es der aktiven Mithilfe des Kranken. In vielen Fällen (Kinder, Schwachsinnige, Simulanten) sind sie nicht anwendbar.

*Als das Ziel jeder Untersuchung eines Augenkranken ist zu bezeichnen, Übereinstimmung des objektiven Befundes mit dem Resultat der Funktionsprüfung, das mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln anzustreben ist. Beide Verfahren kontrollieren sich also gegenseitig.*

Herabsetzung der sensorischen Funktionen kann durch Veränderungen in den brechenden Medien (bilderzeugender Apparat), Störungen im bildempfangenden Apparat (Netzhaut, indirekt Aderhaut, Sehbahn) und durch abweichende Refraktion infolge Störung der Korrelation zwischen Achsenlänge und Brechkraft des optischen Systems zustande kommen.

Abgesehen von der speziellen Augenuntersuchung soll sich der Augenarzt immer bewußt bleiben, daß er den ganzen Kranken zu berücksichtigen und eventuell auch zu untersuchen hätte. In vielen Fällen wird er der Mithilfe anderer Spezialfächer nicht entbehren können, da er selbst nur selten über eine zureichende Ausbildung auf den Nachbargebieten, die allen modernen Anforderungen Rechnung trägt, verfügt.

Daß peinliche Sauberkeit nicht nur bei der manuellen Untersuchung des Auges geboten ist, um Übertragung von ansteckenden Krankheiten zu verhüten, sondern auch die Optik an den Untersuchungsinstrumenten stets rein gehalten werden muß, sei nur erwähnt. Auch ist auf genaue Justierung verwickelt gebauter Apparate (Spaltlampe, Hornhautmikroskop) zu achten.

**Gliederung des Stoffes.** Dem oben Gesagten zufolge gliedert sich die Darstellung der Untersuchungsmethoden des Auges in die objektiven und subjektiven (funktionellen) Verfahren. Da bei der Bestimmung der Refraktion beide Arten der Untersuchung zur Anwendung kommen, wird deren Schilderung einem besonderen Abschnitt vorbehalten.

### **Allgemeines zur Untersuchung im reflektierten Licht.**

Nicht nur bei der Untersuchung der Umgebung des Auges und des vorderen Augapfelabschnittes, sondern auch bei der Ophthalmoskopie ist folgendes zu berücksichtigen:

Die Qualität, in der die Einzelheiten des beleuchteten Körperteiles erscheinen, d. h. ihre jeweilige Färbung muß abhängig sein: 1. von dem auffallenden Lichte und 2. von der eigenen physikalischen Beschaffenheit des Körperteiles, d. h. hier von der gleichmäßigen oder nur selektiven Remission des auftreffenden

Lichtes. Hierzu kommt für das Resultat der Beobachtung als wesentlich 3. der jeweilige Zustand, in dem das beobachtende Auge des Arztes sich befindet.

1. Beim **auffallenden Licht** haben wir dessen Qualität und Intensität zu unterscheiden.

Benutzen wir gewöhnliches Tageslicht, so ist dieses im allgemeinen als weiß (neutral) zu betrachten; hier werden keine Fälschungen im Aussehen (der Farbe) der untersuchten Augenteile entstehen. Daß dieses Moment nicht gleichgültig ist, merkt man dann, wenn z. B. bläuliche Fensterscheiben, wie in dem Wartezimmer mancher Augenkliniken, angebracht sind: Man kann dabei den Eindruck gewinnen, der vordere Augapfelabschnitt aller Personen sei ciliar injiziert oder cyanotisch.

Verwendet man künstliche Lichtquellen, wie bei der seitlichen Beleuchtung oder der Ophthalmoskopie, so ist zu bedenken, daß diese meist eine relative Armut an kurzwelligen Strahlen aufweisen, deshalb z. B. eine ciliare Injektion wegen des bläulichen Tones, den sie wohl bei neutraler Beleuchtung aufweist, hier undeutlich werden kann u. ä.

Vielfach wird zur Sichtbarmachung bestimmter Struktureigentümlichkeiten die Qualität der Lichtquelle absichtlich geändert. So hat F. P. FISCHER die vorderen Teile des Augapfels mit verschiedenfarbigem Spektrallicht untersucht. Durch THIEL und VOGT (siehe auch AUBARET) ist das ultraviolette Licht in die Praxis eingeführt worden. THIEL hat es zunächst zum Nachweis des Fluorescinübertrittes in die vordere Kammer, sowie der dabei sich einstellenden Färbung der perivasculären Lymphscheiden der vorderen Ciliarvenen benutzt. VOGT verwendete es, um durch Fluorescenz der Linse den Nachweis von deren Vorhandensein im Auge zu führen, wenn schwartige Auflagerungen im Pupillargebiet die Entscheidung auf andere Weise unmöglich machen<sup>1</sup>.

THIEL verwendete eine Lösung von Nitrodimethylanilin (1 : 229500) und Kupfersulfat (1 : 24); VOGT benutzte dazu Uviolglas.

Bei der Ophthalmoskopie sind selektiv strahlende Lichtquellen namentlich von VOGT angewendet worden, nachdem HELMBOLD bereits auf dieses Verfahren hingewiesen und es benutzt hatte.

Von KOEPPE ist die Untersuchung mit polarisiertem Licht ausgearbeitet worden, das geeignet ist, gewisse Struktureigentümlichkeiten am vorderen Augapfel sichtbar zu machen; weitere klinische Verbreitung hat diese Methode aber bisher noch nicht gefunden<sup>2</sup>.

Von großer praktischer Bedeutung ist die Änderung der *Intensität* der Lichtquelle. Bei Anwendung starker Vergrößerungen, wie sie insbesondere die Spaltlampe ermöglicht, muß natürlich auch eine Steigerung der Stärke der Beleuchtung eintreten, weil sonst das Bild zu lichtschwach wird, was zu Schwierigkeiten in der Erkennung von Einzelheiten Anlaß geben kann. Die Intensitätssteigerung geht mit einer Änderung der Qualität einher, da sich (nach dem WIENSchen Verschiebungsgesetz) das Maximum der Energiekurve nach dem kurzwelligen Ende zu verlagert. Hierdurch wird das ausgesandte Licht „weißer“.

2. **Reflexion.** Im allgemeinen wird angenommen, daß die Albedo, d. h. das Verhältnis der Stärke des auffallenden zum reflektierten Lichte (nach HERING: Remissionsvermögen) eine konstante Größe sei, d. h. es werde von den einzelnen Wellenlängen des zusammengesetzten auffallenden Lichtes immer der gleiche Prozentsatz zurückgeworfen, unabhängig von der Intensität. Innerhalb weiter Grenzen hat diese Annahme Gültigkeit.

Anders wird es aber dann, wenn es sich um kolloide Körper mit wechselndem Dispersitätsgrad handelt. Wie aus der RAYLEIGHschen Theorie der Beugungsstrahlung hervorgeht, nimmt die Intensität des bei der Beugung ausgestrahlten Lichtes mit der 6. Potenz des Durchmessers der dispergierten Teilchen ab (s. WOLFGANG OSTWALD [a], S. 98). Das gilt aber

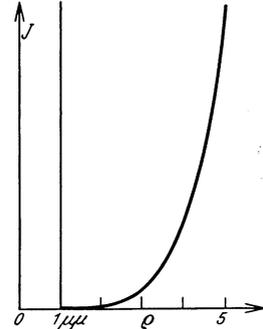


Abb. 1. Abhängigkeit der Beugungsstrübung von der Teilchengröße, diese als Abszissen aufgetragen, die zur Entstehung der Beugungsstrübung notwendige Lichtintensität als Ordinaten. (Nach Wo. OSTWALD.)

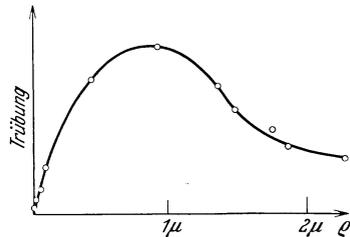


Abb. 2. Abhängigkeit der Stärke der Trübung von der Teilchengröße; sie steigt bis zu einem Maximum, um dann wieder zu fallen. (Nach Wo. OSTWALD.)

<sup>1</sup> Die Fluorescenz der Linse ist den Augenärzten wohl zuerst durch die Demonstrationen von F. SCHANZ bekanntgeworden.

<sup>2</sup> An dieser Stelle sei auch der mikroskopischen Untersuchungen der Augenmedien mit ultraviolettem und polarisiertem Licht von A. KÖHLER und A. F. TOBYG gedacht.

nur im Bereiche der kolloiden Dimensionen von  $1\ \mu\mu$  ab und ist bis zu  $50\ \mu\mu$  experimentell bestätigt (s. Abb. 1). Bei größeren Teilchen kann die Trübung wieder abnehmen (s. Abb. 2).

Wenn also, worauf es bei der Untersuchung mit seitlicher Beleuchtung oder der Spaltlampe wesentlich ankommt, in der Hornhaut oder in der Vorderkammer ein *Tyndalleffekt*, der ja als das Resultat einer Beugung an den dispergierten Teilchen angesehen werden muß, zustande kommen soll, so wird es nicht gleichgültig sein, wie hoch die Intensität der Lichtquelle ist (s. hierzu auch KOEPPE). Daraus ergibt sich, warum bei diffuser Tagesbeleuchtung die Hornhaut oder ein ganz leicht getrübbtes Kammerwasser durchsichtig (optisch leer) erscheinen, während im Licht des Spaltlampenbüschels eine deutliche Trübung wahrzunehmen ist.

Auch durch die *Spiegelungen* an den Grenzflächen der optischen Medien entstehen Lichtverluste (s. Kap. ERGGELET, dieser Band S. 461), die Steigerung der Lichtintensität erfordern (z. B. beim Nachweis der PURKINJE-SANSONSchen Bildchen).

3. Den Einfluß des **Zustandes des beobachtenden Auges** hat BRÜCKNER an der Hand einiger Beobachtungen, die klinische Beispiele herausgreifen, beleuchtet. Die Unterschiedsempfindlichkeit des Auges, auf die es ja bei der Erkennung feiner Veränderungen, z. B. von Hornhauttrübungen sehr wesentlich ankommt, ist abhängig nicht nur von der Intensität der Beleuchtung, sondern auch von dem Zustande des Sehorgans selbst. Ist die Intensität zu hoch, so werden feine Differenzen nicht mehr erkannt, sie werden sozusagen weggeleuchtet. Ist sie zu gering, so sinkt das räumliche Auflösungsvermögen, wie ja jeder Augenarzt es bei der Sehprüfung kennt, wenn sie mit nicht genügend beleuchteter Sehprobentafel vorgenommen wird. Die Leistung des Auges ist also als Funktion der Beleuchtungsintensität auf dem Beobachtungsfeld anzusehen, wobei im allgemeinen mit HELMHOLTZ angenommen wird, daß die Unterschiedsempfindlichkeit innerhalb eines breiten Spielraumes konstant bleibt, wie es das WEBER-FECHNERSche Gesetz behauptet. Daß die Gültigkeit dieses Gesetzes aber nur beschränkt ist, gibt sich gerade auch bei unseren klinischen Untersuchungen am vorderen Augapfelabschnitt zu erkennen. (Man vergleiche hierzu die eingehenden Darlegungen von HERING S. 912.)

Eine gewisse Steigerung der Empfindlichkeit durch einen mäßigen Grad von Dunkeladaptation ist den hier für den Augenarzt in Betracht kommenden Beobachtungen günstig, wie daraus erhellt, daß wir die seitliche Beleuchtung im Dunkelzimmer auszuüben pflegen. Auch bei der Untersuchung mit der Spaltlampe, wo wir sehr intensive Lichtquellen bei stark vergrößernden Beobachtungssystemen benutzen, ist eine möglichst ausgiebige Verdunkelung des Raumes für die Untersuchung von wesentlichem Vorteil.

Die Steigerung der Unterschiedsempfindlichkeit bei der fokalen Beleuchtung im Dunkelzimmer ist aber in der Hauptsache durch die physikalischen Veränderungen (siehe oben) bedingt, wenn auch eine gewisse Dunkeladaptation und damit Empfindlichkeitssteigerung zweifellos von Bedeutung ist. Zu weitgehende Dunkeladaptation, die eine Herabsetzung der Sehschärfe bewirkt, ist andererseits nicht günstig.

## L i t e r a t u r.

### *Einleitung.*

AUBARET: Notes sur l'emploi de la lumière de Wood en ophthalmologie. 39. Congr. Soc. franç. Ophtalm. Paris 1926, 207. Ref. Zbl. Ophthalm. 18, 269.

BRÜCKNER, A.: Zur Psychophysik einiger augenärztlicher Untersuchungsmethoden. Z. Augenheilk. 58, 74 (1925).

FECHNER, G. TH.: Elemente der Psychophysik. 3. Aufl. Leipzig 1907. — FISCHER, F. P.: Über die Leistung der Spektroskopie des vorderen Bulbusabschnittes. Graefes Arch. 114, 113 (1924).

HERING: Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn. GRAEFE-SAEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl., 1905—21.

KÖHLER, A. u. A. F. TOBGY: Mikroskopische Untersuchungen einiger Augenmedien mit ultraviolettem und mit polarisiertem Licht. Arch. Augenheilk. 99, 263 (1928). — KOEPPE, L.: (a) Die Bedeutung der Diffraktion für das Problem der Ultramikroskopie des lebenden Auges im Bilde der GULLSTRANDSchen Nernstspaltlampe. Graefes Arch. 102, 259 (1920). (b) Die biophysikalischen Untersuchungsmethoden der normalen und pathologischen Histologie des lebenden Auges. In Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, herausgeg. von EMIL ABDERHALDEN, Abt. V, 6. Teil, H. 1. Berlin 1920.

MÜLLER, G. E.: Die Gesichtspunkte und die Tatsachen der psychophysischen Methodik. Erg. Physiol. 2, 2 (1904). — MÜLLER, H. K.: Über die Fehlergröße der digitalen Bestimmung des intraokularen Druckes und ihre Bedeutung für diese Methode. Arch. Augenheilk. 102, 668 (1930).

OSTWALD, WILH.: Grundsätzliches zur messenden Farbenlehre. I. Sitzgsber. preuß. Akad. Wiss., Physik.-meth. Kl. 3, 14 (1929). — OSTWALD, Wo.: (a) Licht und Farbe in

Kolloiden. Handbuch der Kolloidwissenschaft, Bd. 1, 1. Teil. 1924. (b) Kolloidwissenschaft, Elektrotechnik und heterogene Katalyse. Kolloidchem. Beih. **32**, H. 1—4 (1930).

THIEL, R.: (a) Untersuchungen zum Flüssigkeitswechsel am lebenden Menschenauge. Graefes Arch. **113**, 347 (1924). (b) Ein Beitrag zur Spaltlampenmikroskopie des Auges im ultravioletten Licht. Z. Augenheilk. **58**, 86 (1925).

VOGT, A.: Der klinische Nachweis der menschlichen Linse in Fällen von Pupillar- und Vorderkammerexsudat, sowie von Linsenluxation. Klin. Mbl. Augenheilk. **57**, 395 (1916).

## A. Die objektiven Untersuchungsmethoden.

### I. Die Untersuchung der äußeren Teile des Auges.

#### 1. Die Inspektion.

In jedem Fall ist die Inspektion auszuführen. Wir achten auf Farbveränderungen, Schwellungen u. dgl. in der Haut und auf die Lidstellung. Die einfache Betrachtung informiert uns über Weite und Differenz der Lidspalten beider Seiten, sowie über die Lage des Augapfels in der Augenhöhle (Schielen, Exophthalmus). Auch der Bulbus selbst und der Bindehautsack werden zunächst mit freiem Auge untersucht.

**Keratoskop von WESSELY.** Sehr oft ist es nötig, Messungen im Bereich des äußeren Auges oder des vorderen Bulbusabschnittes vorzunehmen. Zu diesem Zwecke eignet sich

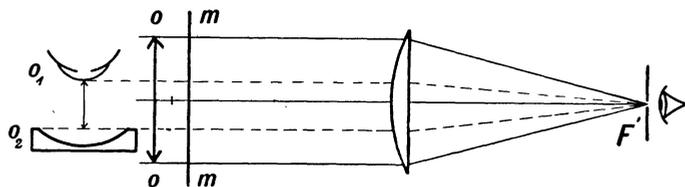


Abb. 3. Strahlengang im Keratometer von WESSELY. Als Beispiel ist die Bestimmung des Abstandes des Brillenglases vom Hornhautscheitel ( $O_1, O_2$ ) gewählt.

sehr gut das Keratometer von WESSELY. Es ist, wie aus dem Diagramm (Abb. 3) zu entnehmen, auf telezentrischen Strahlengang eingerichtet. Durch die Linse von 6 dptr, in deren Brennpunkt  $F'$  eine Blende angebracht ist, wird eine am anderen Ende des Rohres befindliche Skala mm abgebildet, ebenso wie das jeweils zu untersuchende Objekt. Die Vergrößerung beträgt 1,5. Da die Skala in halbe Millimeter eingeteilt ist, sind Schätzungen bis auf  $\frac{1}{4}$  mm möglich.

Eine Vereinfachung hat SATTLEK angegeben (Fabrikant Sydow, Berlin): eine kleine Skala und eine Linse von 6 dptr Brechkraft sind auf einem kleinen Brett ohne Röhre montiert.

#### 2. Die Untersuchung des Bindehautsackes.

Der Bindehautsack muß gegebenenfalls in allen seinen Abschnitten untersucht werden. Insbesondere ist auch der Teil hinter der äußeren Commissur nicht zu vernachlässigen (Abziehen des äußeren Lidwinkels).

Die Untersuchung der Conjunctiva bulbi und der Conjunctiva tarsi et fornicis des Unterlides ist leicht zu bewerkstelligen. Zur Sichtbarmachung der Conjunctiva des Oberlides ist einfaches Ektropionieren in der bekannten Weise notwendig. Für die obere Übergangsfalte kann man sich so helfen, daß man, wie zum einfachen Ektropionieren, das an den Wimpern gehaltene Oberlid um einen Glasstab kantet, diesen aber oberhalb des konvexen Tarsusrandes ansetzt und sich die Übergangsfalte entgegendrängt; oder man kantet das Oberlid um einen DESMARRESSCHEN Lidhalter, den man mit der konvexen Seite von außen gegen die Haut ansetzt. TERSON hat zu diesem Zweck den Stiel des Lidhalters rechtwinklig zum Löffel angebracht; hierdurch wird der Überblick besser. Bei schwer zu behandelnden Patienten kann man nach einfacher Ektropionierung den konvexen Tarsusrand mit zwei chirurgischen Pinzetten fassen und das einfach ektropionierte Lid hochheben. Hierzu eignet sich auch die von HERRNHEISER angegebene Pinzette mit zwei Armen. In allen diesen Fällen ist Blicksenkung notwendig.

Vor allem gilt dieses für das *bimanuelle doppelte Ektropionieren*, das sich in ähnlicher Weise auch für die Vordrängung der unteren Übergangsfalte eignet. (Abbildungen im Lehrbuch

BRÜCKNER-MEISNER.) Man stellt sich an die rechte Seite des Patienten, legt Zeigefinger und Mittelfinger der linken Hand von oben kommend an die Haut des freien Lidteiles, Zeigefinger und Daumen der rechten Hand (bei Linkshändern sind die Hände vertauscht) an die Haut des Unterlides. Wenn man jetzt mit der linken Hand das Oberlid leicht aufwärts hebt (ohne es ektropionieren zu wollen) und mit der rechten Hand den Augapfel durch das Lid hindurch leicht nach rückwärts drückt, so wird durch die Raumbiegung in der Orbita das Orbitalfett an der Stelle geringsten Widerstandes, d. h. in der Gegend der oberen Übergangsfalte vorgedrängt. Durch leichtes Aufwärtsziehen und eventuell unterstützende geringe seitliche Verschiebungen der Finger der linken Hand gelingt es unschwer, das Oberlid zum Umklappen zu bringen, an das sich dann sogleich die Vorwölbung der oberen Übergangsfalte anschließt. Man übersieht sie in ihrer ganzen Ausdehnung bis zum Übergange in die Conjunctiva bulbi. Das Verfahren eignet sich namentlich in Trachomgegenden zur Revision des oberen Fornix. In allen Fällen, wo eine vorhandene oder drohende Perforation der Corneoskleralkapsel besteht, darf es keine Anwendung finden.

Sehr zweckmäßig ist die instrumentelle Methode von OLÁH.

**Die Diaskopie**, in ähnlicher Weise, wie der Dermatologe sie verwendet, hat VONWILLER für die Untersuchung des vorderen Augapfelabschnittes, zunächst nur des Tierauges, angegeben. Er komprimiert die Cornea und Bindehaut durch ein Deckgläschen und untersucht mit Hilfe der Spaltlampe die Blutzirkulation und ähnliches. Die Methode ist beim Menschen noch wenig angewendet worden, dürfte auch nicht von allen Patienten ertragen werden. In manchen Fällen habe ich sie zur Sichtbarmachung von Narben und Follikeln an der Conjunctiva der Lider und der Übergangsfalte mit Erfolg benutzt.

### 3. Die seitliche oder fokale Beleuchtung.

Bei der Untersuchung des vorderen Bulbusabschnittes mit Hilfe der sog. seitlichen Beleuchtung und ihrer Weiterentwicklung bis zur Spaltlampe müssen wir unterscheiden: 1. die Beleuchtungsvorrichtung, die dazu dient, das Beobachtungsfeld mit Licht entsprechender Qualität und Intensität zu bestrahlen, und 2. das Beobachtungsinstrument, das unbewaffnete oder irgendwie bewaffnete Einzel- oder Doppelaug.

**Die Beleuchtungsvorrichtung.** Das Prinzip besteht darin, mit Hilfe einer optischen Vorrichtung das Licht auf diejenigen Teile des Auges zu konzentrieren, die der Untersuchung zugänglich gemacht werden sollen.

Da die gewöhnlichen Linsen mit Abbildungsfehlern behaftet sind, hat GULLSTRAND eine asphärische Lupe empfohlen, die eine lichthoffreie Strahlenvereinigung bewirkt; weil die benutzte Lichtquelle aber in der Regel eine relativ große Flächenausdehnung hat, wird auch unter diesen Umständen der beleuchtete Bezirk oft nicht hinreichend klein. Deshalb sind punktförmige Lichtquellen (z. B. die Pointelitelampe; GULLSTRAND, LAMOINE) angegeben oder enge Blenden in den Strahlengang eingeschaltet worden.

In manchen Fällen ist gerade eine *diffuse Beleuchtung* anzustreben, z. B. zur Erhellung des Operationsfeldes. Dazu wird die Lichtquelle in den Brennpunkt des Sammelsystems gebracht, so daß ein paralleles Strahlenbündel austritt. Hierzu gehören die Hammerlampe von HESS, die SACHSsche und LANGESche Beleuchtungslampe, in denen statt des Glaskegels eine Sammellinse vorgesetzt wird (s. S. 885).

Über die Größe und Helligkeit des Leuchtfeldes sowie seinen Abstand bei der ZEISSschen Beleuchtungslampe siehe die bezüglichen Prospekte.

Beim Halten der Beleuchtungsvorrichtung mit der Hand ist eine schädliche Erwärmung des vorderen Augapfelabschnittes nicht zu befürchten. Bei exakter Einstellung des Lichtkegels kann es bei hochtemperierten Lichtquellen (Nernstlicht, Bogenlampe) zu Verbrennungen kommen. Diese sind bei der Azoprojektionslampe, die von J. STAEHLI wegen ihrer großen spezifischen Helligkeit für diesen Zweck empfohlen ist, nicht zu befürchten, da die Temperatursteigerung hier nur gering ist.

**Die Spaltlampe.** Einen wesentlichen Fortschritt in dem Verfahren der seitlichen Beleuchtung brachte das von GULLSTRAND eingeführte Prinzip der Spaltlampenbeleuchtung. Es besteht darin, daß ein Teil des Strahlenkegels durch einen Spalt ausgeschnitten wird. Damit wird ein rechteckiges „Lichtprisma“ zur Beleuchtung verwendet. Durch Erhöhung der spezifischen Helligkeit der primären Lichtquelle und Wahl einer entsprechenden Abbildungslinse gelingt es, ein sehr intensives Lichtbündel zu erzielen. Es entsteht auf diese Weise, wie man wohl sagt, ein „optischer Schnitt“ durch die Gewebe des Auges,

der in wesentlich vollkommenerer Weise als die ursprüngliche fokale Beleuchtung eine Untersuchung gestattet.

Eine möglichst lighthoffreie Abbildung des Spaltbildes wird durch die aplanatische, asphärische GULLSTRANDSche Linse erreicht. Allerdings ist auch diese nicht vollkommen, insofern als sie eine geringe Kaustik aufweist, wie aus der Abb. 31 auf S. 487 hervorgeht. Bei der praktischen Ausführung des Verfahrens ist es geboten, die engste Einschnürung des Lichtbündels an die Stelle zu führen, die der Untersuchung unterworfen werden soll. Zur Orientierung ist es aber oft wünschenswert, das Lichtbündel auch an anderen Stellen zu verwenden, um eine diffuse Beleuchtung zu erzielen.

Da die Höhe des Lichtbündels mit der gewöhnlichen, dem Apparat beigegebenen Linse relativ gering ist (sie beträgt 4 mm), hat F. E. KOPY empfohlen, das Beleuchtungssystem mit einer Konvexzylinderlinse (Achsenstellung horizontal) von 9–10 dptr zu kombinieren. In der Tat erreicht man auf diese Weise ein sehr hohes Lichtband, das aber naturgemäß eine etwas geringere Lichtintensität aufweisen muß.

Die *Beleuchtung mittels der Spaltlampe* ist in zwei verschiedenen Arten möglich.

Die ältere, von GULLSTRAND angegebene *Montierung* zeigt die Abb. 4a im Strahlengange.

Die Lichtquelle L befindet sich im Brennpunkt der vorderen Kondensorlinse C, während in der Brennebene der hinteren Kondensorlinse der Spalt S steht. Es fällt also das umgekehrte

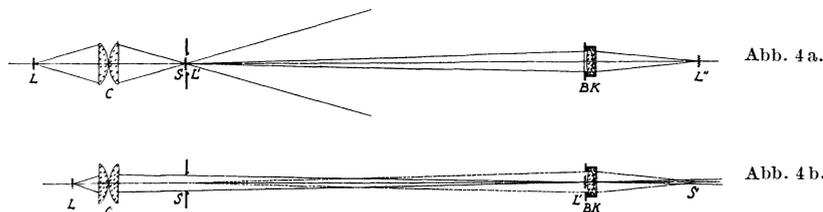


Abb. 4a. Strahlengang der Beleuchtungsvorrichtung der Spaltlampe bei der GULLSTRANDSchen Anordnung.

Abb. 4b. Desgleichen bei der KÖHLER-VOGTSchen Anordnung.

reelle Bild der Lichtquelle L' genau mit dem Spalt zusammen. Dadurch entsteht weiterhin ein divergentes Büschel, das erst durch die Beleuchtungslinse BK zur Vereinigung gebracht wird. Bei der anfänglich verwendeten Nernstlampe war das umgekehrte reelle Bild so beschaffen, daß es den Spalt ausfüllte und daher auch die fokale Abbildung mittels der Beleuchtungslinse angenähert homogen war. Bei Benutzung der jetzt gebräuchlichen Nitalampe wird der Spalt nicht voll ausgefüllt und durch die Beleuchtungslinse entsteht daher einerseits das scharfe Bild des Spiralfadens der Lampe und daneben ein lichtschwacher, unscharf begrenzter Hof. Überdies stellen sich Beugungserscheinungen ein, was alles eine Änderung der Art der Abbildung notwendig machte.

Diese zweite, sog. KÖHLER-VOGTSche *Montierung* ist in ihrem Strahlengange in Abb. 4b dargestellt.

Die Lichtquelle L ist dem Kondensator C so weit genähert, daß das Bild nicht mehr im Spalt S liegt, sondern auf der Vorderfläche der Beleuchtungslinse BK entworfen wird. Hier entsteht ein vergrößertes, umgekehrtes und reelles Bild der Nitalampenspirale (L'), dessen Breite ungefähr derjenigen der schmalen, rechteckig ausgeschnittenen Beleuchtungslinse entspricht, während die Höhe drei- bis viermal so groß ist. Im allgemeinen fallen 5–6 Windungen auf die Spaltlampe (BK). Durch diese wird nur das Bild des Spaltes zur Abbildung gebracht. Da der Spalt aber diffus in Zerstreungskreisen erhellt ist, ist das zur Belichtung des Auges von der Beleuchtungslinse entworfene Leuchtfeld vollständig homogen und scharf begrenzt. Seine Form und Größe ist nur von der Form des Spaltes abhängig.

Aus dieser zweierlei Montierung ergeben sich verschiedene Beschaffenheiten des Lichtbündels, das zwischen Beleuchtungslinse und Auge entsteht. Über diese orientieren photographische Aufnahmen von KOPY und MEESMANN. Man kann daraus ableiten, daß auch bei nicht fokaler Benutzung des GULLSTRANDSchen Strahlenganges die Belichtung gleichmäßig ist, während sie bei der KÖHLER-VOGTSchen Anordnung infolge der Spiralen der Nitalampe außerhalb des Fokus ungleichmäßig sein muß. Man erkennt dieses auch leicht, wenn man die Beleuchtungslinse vor- und zurückschiebt und dadurch verschiedene Stellen des Bündels zur Beleuchtung z. B. der Hornhautoberfläche verwendet oder ein Papierblatt an verschiedenen Stellen in den Strahlengang hält.

Ausgedehntere Verwendung hat die Beleuchtung mittels der Spaltlampe erst gefunden, nachdem HENKER die Gesamtapparatur auf einen Arm montiert

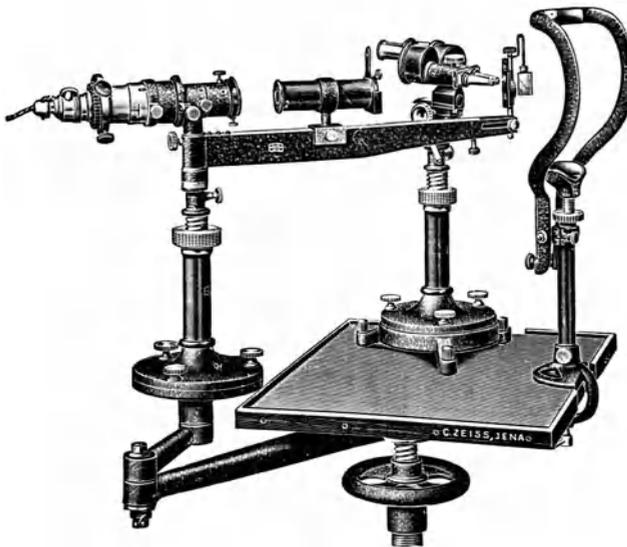


Abb. 5. Spaltlampe und binokulares Hornhautmikroskop von CZAPSKI-ZEISS. Am HENKERSchen Arm ist der KOEPPESche Zylinder montiert (in der Mitte). Am vorderen Ende befindet sich unten die Schraube für die Scharfeinstellung der Linse, oben ist das KOEPPESche Spiegelchen sichtbar.

von verschiedenem Durchmesser). BIRKHÄUSER hat zwei gegeneinander leicht verschobene oder rechtwinklig zueinander gelegene Spalten benutzt und glaubt hierdurch gewisse

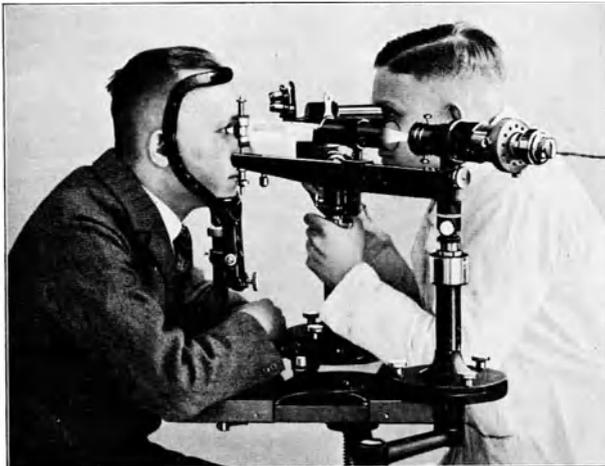


Abb. 6. Spaltlampe und Hornhautmikroskop in Gebrauch. An diesem erkennt man die Revolviervorrichtung zum Wechsel der Objektivpaare. Die Beleuchtungslinse am Spaltlampenarm trägt unten die Schraube für die Höhenverstellung nach ARRUGA.

lang der Achse des HENKERSchen Armes sich dicht daneben befindet (s. Abb. 6).

Neuerdings ist durch doppeltes Schraubengewinde die Möglichkeit gegeben, sowohl die Höhenverstellung der Lupe als auch die Vor- und Rückwärtsverschiebung an derselben Schraubenspinde durch zwei übereinandergelegene Triebköpfe vorzunehmen.

hatte (s. Abb. 5), der eine exakte Einstellung und Festhalten der Brennlinie an einer bestimmten Stelle ermöglichte.

Der „HENKERSche Arm“ besitzt zwar eine gewisse Unhandlichkeit, andererseits aber ist er stabil, so daß in dieser Richtung gewisse Vorzüge gegenüber dem Beleuchtungsarm der von BIRKHÄUSER modifizierten Spaltlampe gegeben sind. Die ältere Art der HENKERSchen Montierung befestigte den Arm am Fuße des ZEISSschen Hornhautmikroskopes. Sie ist jetzt allgemein zugunsten der eine größere Bewegungsfreiheit erlaubenden Befestigung an der Drehspindel des Tisches aufgegeben worden.

Durch Einschalten von Blenden verschiedener Form ist es möglich, die Gestalt des Beleuchtungsbündels in beliebiger Weise zu ändern (Spaltblenden, Lochblenden von verschiedenem Durchmesser). BIRKHÄUSER hat zwei gegeneinander leicht verschobene oder rechtwinklig zueinander gelegene Spalten benutzt und glaubt hierdurch gewisse Vorteile für die Beobachtung gesehen zu haben.

Da es wünschenswert ist, namentlich zur exakten Tiefenlokalisierung den Spalt zu verengern, ist an dem ZEISSschen Apparat durch eine besondere Schraube und Triebvorrichtung dieses ermöglicht.

Eine wesentliche Erleichterung der Spaltlampenuntersuchung bedeutet die Einführung des Linsenhalters nach ARRUGA. Während die Spaltlampe sonst durch einen Trieb auf- und abgestellt werden muß, der es notwendig macht, mit der Hand, die den Spalt dirigiert, wieder weit nach rückwärts zu greifen, ermöglicht der an dem Linsenhalter selbst angebrachte Trieb nach ARRUGA schnell und bequem eine Vertikalverschiebung der Linse, weil der Triebkopf zur Änderung der Linsenstellung ent-

Handelt es sich darum, besonders intensive Beleuchtung zu erzielen, dann ist auch für die Spaltlampe Bogenlicht verwendet worden, so von BIRKHÄUSER und VOGT.

Eigene Modelle sind von MAWAS, LEMOINE und VALOIS und FINCHAM angegeben worden. Im letztgenannten Instrument ist das Beobachtungssystem auf demselben Stativ befestigt wie die Beleuchtungsvorrichtung, also in gewissem Sinne ähnlich wie die ursprüngliche Montierung des HENKERSCHEN ARMES (s. oben). Gewissen Vorteilen stehen hierbei erhebliche Nachteile gegenüber.

**Beobachtungsvorrichtungen bei der seitlichen Beleuchtung.** Da das unbewaffnete Auge in sehr vielen Fällen nicht genügenden Aufschluß über feinere Veränderungen gibt, ist schon früh die Verwendung von Vergrößerungsgläsern bei dem Verfahren herangezogen worden.

Gewöhnliche Lupen von +10 bis +20 dptr geben in manchen Fällen hinreichende Resultate. Stärkere Vergrößerungen erzielt man mit der in der Ophthalmologie viel verwendeten HARTNACKSCHEN Lupe, einem System zweier Sammellinsen. Um das für die Tiefenlokalisation wichtige stereoskopische Sehen zu gewährleisten, ist man dann dazu übergegangen, binokulare Lupen zu benutzen (BERGER, ROTH, ZEISS u. a.), die aber zum Teil durch die geschlossene Fassung den Träger ziemlich hilflos machen. ULBRICH hat dem dadurch abgeholfen, daß er an der Unterfläche der BERGERSCHEN Lupe rechteckige Fenster in die Umrahmung schnitt. Ferner gibt es eine größere Zahl von Binokularlupen, die Brillenform haben und mit Prismen (brechende Kanten nach außen) kombiniert sind. Die Vergrößerung ist allerdings bei allen diesen Verfahren nicht erheblich und geht nicht über sechsfach hinaus.

Erst durch die Verwendung von Stativbinokularlupen ist eine genauere Durchforschung des vorderen Augapfelabschnittes möglich geworden.

Das ältere Modell, das WESTIEN in Rostock auf Veranlassung von ZEHENDER anfertigte, hat jetzt nur noch historische Bedeutung, da es wegen seines sehr hohen Gewichtes zu unhandlich war und überdies auch keine Änderung des Pupillenabstandes der beiden Okulare erlaubte.

Das CZAPSKI-ZEISSISCHE binokulare sog. Hornhautmikroskop (s. Abb. 5 u. 6), welches sich aus der BRAUS-DRÜNERSCHEN Präparierlupe entwickelt hat, entspricht dagegen allen Anforderungen, die wir heutzutage an das Beobachtungsinstrument zu stellen haben.

Das Prinzip besteht in einem binokularen Mikroskop, dessen Bildumkehrung in gleicher Weise wie im ZEISSISCHEN Feldstecher durch zweimalige Reflexion an total reflektierenden (PORROSCHEN) Prismen (einmal von oben nach unten, einmal von rechts nach links) erfolgt. Je nach den benutzten Objektiven und Okularen lassen sich Vergrößerungen von 8—103 erzielen. Zweckmäßig ist es, die Doppelobjektive in einer Revolvervorrichtung zu fassen (s. Abb. 6), die einen schnellen Wechsel ermöglicht. Ein Vorteil des Instrumentes ist der auch bei den starken Vergrößerungen große freie Objektabstand, wodurch eine zu weitgehende Annäherung an das untersuchte Auge vermieden wird.

Die ältere Beleuchtungsvorrichtung mit einem Lämpchen, welches sich oberhalb oder, am späteren Modell, unterhalb der Objektive befand (spätere Modelle brachten nach dem Vorschlage von LUCANUS einen Halbbogen, auf dem das Lämpchen sich verschieben läßt), ist jetzt nur noch bei älteren Augenärzten in Gebrauch. Die jüngere Ärztegeneration verwendet wohl ausschließlich als Beleuchtungsvorrichtung das Spaltlampengerät. In manchen Fällen ist aber eine Kombination beider Beleuchtungsarten erwünscht.

Für besondere Zwecke (ultra- und polarisationsmikroskopische Untersuchungen) hat KOEPPE ein eigens gebautes Hornhautmikroskop mit nur einem Objektiv (Bitumi und Orthobitumi) empfohlen, das durch einen besonders gebauten binokularen Mikroskopansatz stereoskopische Betrachtung erlaubt.

#### 4. Methodik der Untersuchung mit Hilfe der seitlichen Beleuchtung.

Wir unterrichten uns über Verschiedenheiten der Reflexion innerhalb des Gewebes (Parenchym) und über die Beschaffenheit der brechenden Flächen mit Hilfe ihrer katoptrischen Eigenschaften. Beide Verfahren können sowohl mittels der älteren Methodik der seitlichen Beleuchtung als auch bei der Spaltlampenuntersuchung verwendet werden.

**Die Untersuchung der brechenden (spiegelnden) Flächen.** Als spiegelnde Flächen kommen sämtliche Grenzflächen der brechenden Medien in Betracht (HESS fügte den bekannten noch die Linsenkernflächen hinzu; weitere Diskontinuitätsflächen, deren anatomisches Substrat aber noch nicht nachgewiesen ist, haben die Untersuchungen mittels der Spaltlampe kennen gelehrt). Die

Lichtstärke des Spiegelbildchens hängt von der Stärke der Krümmung und von dem Indexunterschied ab. Am hellsten ist das der stark reflektierenden, glatten, mit Tränenflüssigkeit befeuchteten Hornhautoberfläche, am lichtschwächsten das der hinteren Hornhautfläche, das praktisch bei der seitlichen Beleuchtung nicht in Betracht kommt. Das Bild an der Linsenhinterfläche ist umgekehrt (s. hierzu auch KRÄMER).

Die Reflexbilder an der Linsenvorder- und -hinterfläche dienen zum Nachweis der Linse. Wegen der größeren Lichtstärke verwendet man das hintere Linsenbildchen, indem man ein intensives Licht am besten temporal vom Auge bei erweiterter Pupille auf- und abbewegt. Man erkennt dann das umgekehrte Bild an den entgegengesetzt gerichteten Bewegungen.

Das Hornhautreflexbild dient zur Beurteilung der Hornhautoberfläche (Krümmung, Mattigkeit, Stippung, Epitheldefekt usw.; s. Kap. Hornhaut, Bd. 4). Die Änderungen im

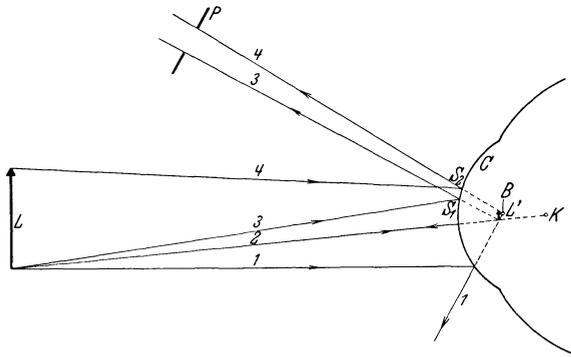


Abb. 7. Zur Veranschaulichung der Lage des Hornhautreflexes und des Spiegelbezirks der Cornea. (Nach einer Zeichnung von H. K. MÜLLER.)

*L* Lichtquelle; *L'* Spiegelbild der Lichtquelle; *C* Cornea (Vorderfläche); *P* Eintrittspupille des Beobachters; *S, S'* Spiegelbezirk der Cornea; *1, 2* Lichtstrahlen, die das von *L* ausgehende, durch die Corneaoberfläche in die Pupille des Beobachters reflektierte Strahlenbündel umgrenzen; *K* Krümmungsmittelpunkt der Corneaoberfläche; *B* Brennpunkt der Corneaoberfläche.

Glanz der Hornhautoberfläche sind auf mangelnde Benetzbarkeit durch physikalisch-chemische Alteration zu beziehen.

Das Hornhautreflexbild ist virtuell und liegt hinter der Hornhaut etwa in der Iriesebene. Die Hornhautoberfläche, von der es entworfen ist, befindet sich also an einer anderen Stelle wenn auch in der Richtung des Reflexbildes (s. Abb. 7). Will man deshalb die für die Spiegelbildschädigung schuldige Partie der Hornhautoberfläche selbst sehen, so muß man das Auge etwas anders einstellen. Auf die analogen Verhältnisse an der Spaltlampe hat VOGT aufmerksam gemacht. Hier ist der Unterschied wegen der starken Vergrößerung und der geringen Tiefenschärfe des optischen Instrumentes viel auffallender als bei Betrachtung mit freiem Auge<sup>1</sup>.

*Keratoskop.* Größere Bezirke der Hornhautoberfläche lassen sich gleichzeitig untersuchen, wenn man sie mit Hilfe des PLACIDOSCHEN Keratoskopes, einem System konzentrischer Ringe (auch andere regelmäßigen Figuren werden verwendet), untersucht. Umschriebene und auch ausgedehntere Änderungen, der Hornhautkrümmung sind damit gut zu erkennen. Die weitere Entwicklung dieses Verfahrens durch WEVE und ZEISS siehe bei WOLFERTS.

*Photographische Verfahren.* Will man den festgestellten Befund objektiv fixieren, so lassen sich die neuerdings beschriebenen photographischen Verfahren anwenden. Sie sind schon früher durch GULLSTRAND empfohlen worden. Exakte Bestimmung der Krümmung eines Keratoconus mit Hilfe eines Stereokomparators nach Photographie der Hornhautoberfläche hat ERGGELET ausgeführt (s. S. 667). Die Methode ist dann für praktisch-klinische Zwecke von DEKKING, AMSLER (Photokeratoskopie) und HARTINGER ausgearbeitet worden. Da kleine Verschiebungen der aufnehmenden Platte Unschärfe der Bilder bedingen, ist es wichtig, sich vor Täuschungen bei zeitlich auseinanderliegenden Aufnahmen zu schützen.

*Die Hornhautreflexphotographie,* von F. P. FISCHER eingeführt, beruht auf dem Verfahren des Mineralogen S. RÖSCH, der zur Ermittlung der Beschaffenheit der Krystalloberfläche das von dieser reflektierte Licht auf einer photographischen Platte auffing. Analog benutzte FISCHER das von der Hornhaut zurückgeworfene Licht, das auf diese durch eine, in einem vor der Hornhaut stehenden Schirm befindliche Bohrung gelangt.

<sup>1</sup> Den Reflex sehen wir oft nur mit einem Auge, liegt doch darin gerade das Wesen des Glanzes, daß bei binokularer Beobachtung ein Auge das regelmäßig reflektierte Licht, das andere nur das diffus zurückgeworfene erhält (s. S. 905 in diesem Band).

Das von der Cornea reflektierte Licht wird dann auf einem weißen Mattschirm oder der photographischen Platte aufgefangen. Die Methode liefert also nicht ein direktes Bild, sondern gestattet indirekte Schlüsse.

**Die Untersuchung des Parenchyms.** Bei seitlicher Beleuchtung ist der Brennfleck je nach der Tiefenlage auf die verschiedenen Teile des vorderen Augapfelabschnittes zu konzentrieren. Wegen der Brechung an den Hornhaut- und Linsenflächen ergeben sich hier theoretisch verwickelte, praktisch aber unwichtige dioptrische Beziehungen. Urteile über die Tiefenlage von Hornhauttrübungen, über Tiefe und abnormen Inhalt der Vorderkammer (insbesondere Trübung des Kammerwassers) lassen sich bei Verengerung des Lichtbüschels leicht wahrnehmen. Ebenso sind Urteile über das Pupillenspiel und die Beschaffenheit der Linse möglich (Verwechslungen von Linsentrübungen mit dem senilen Linsenreflex sind bei dieser Methode zu vermeiden). Auch der retrolentale Raum und die vordersten Teile des Glaskörpers sind der Untersuchung zugänglich. Hier bedarf es aber immer der Kontrolle mittels der Spaltlampe.

Die Photographie des vorderen Bulbusabschnittes ist neuerdings wiederholt empfohlen worden. Sie gibt namentlich in der Form der stereoskopischen Aufnahme (mittels der Apparate von DRÜNER-LENZ und der von ZEISS hergestellten Stereokammer) sehr instruktive Bilder. Einen eigenen Apparat hat HERBERT angegeben. Farbige stereoskopische Aufnahmen sind von WESSELY angefertigt worden.

Zur protokollarischen Festlegung der Irisfarbe kann man sich der Tafeln von SCHULTZ und SALLER bedienen, sowie des OSTWALDSCHEN Farbenatlas.

**Die praktische Verwendung der Spaltlampe.** Wie VOGT gezeigt hat, läßt sich die Spaltlampe auf vier verschiedene Arten verwenden.

1. Die Untersuchung im fokalen auffallenden Lichte. Wird mit Hilfe der auf S. 840 f. beschriebenen Vorrichtung ein schmales Lichtbüschel auf den vorderen Augapfelabschnitt geworfen, so entsteht ein „optischer Schnitt“, dessen Dicke von der Breite des Spaltes abhängt. Für gewöhnlich wird die Spaltbreite zu etwa 1 mm genommen, zur genaueren Tiefenlokalisierung (s. unten) oder zur Feststellung von Dickenänderungen von Hornhaut und Linse muß er bis auf 0,3 mm oder noch weniger verengert werden. Es entspricht das einer Breite des Lichtbüschels an der Stelle engster Einschnürung von etwa 0,5 bzw. 0,15 mm.

In der Hornhaut entsteht auf diese Weise ein etwa prismatisch beleuchteter Bezirk mit vier von oben nach unten verlaufenden, entsprechend der Hornhautkrümmung angenähert sphärisch gebogenen Kanten, ein „Lichtprisma“. Zweckmäßig ist es, die Beleuchtung von temporal her einfallen zu lassen. In Abb. 8 ist das „Lichtprisma“ in der Hornhaut schematisch wiedergegeben. Wir sehen darin die vordere (a c d b) und hintere (e g h f) Prismenfläche durch die diffuse Reflexion an der vorderen und hinteren Hornhautfläche, während die Prismenseiten (a c g e) und (b d h f) die Grenzen zwischen belichtetem und unbelichtetem Hornhautparenchym angeben.

Vogt hat gezeigt, daß wir mit Hilfe dieses belichteten Prisma genauere Tiefenlokalisierungen in der Hornhaut ausführen können. Dabei bedienen wir uns, indem wir das Lichtprisma über die Hornhaut führen, der Feststellung, an welcher Stelle in der Fläche b d h f eine Veränderung, z. B. eine Hornhauttrübung, zunächst mit jener in Berührung kommt bzw. in ihr auftaucht. Findet bei Bewegung von links nach rechts eine scheinbare Berührung zuerst mit der Kante h f statt, so muß es sich um eine Veränderung an der Hornhauthinterfläche (Präcipitate, Zellen oder dgl.) handeln. Erfolgt die Berührung aber erst mit der Kante b d, also der Vorderseite des Lichtprisma, so muß jene in der Hornhautoberfläche liegen. Veränderungen im Hornhautparenchym werden je nach der Tiefenlage in der Prismenfläche b d h f näher oder weiter von der hinteren oder vorderen Kante erscheinen.

In ähnlicher Weise läßt sich feststellen, wie groß der Abstand z. B. zwischen Hornhauthinterfläche und Irisvorderfläche (Tiefe der Vorderkammer) ist: bei aufgehobener Kammer

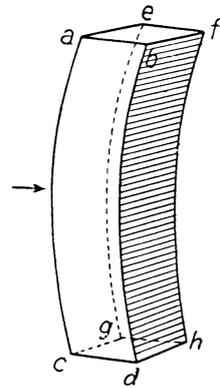


Abb. 8. Schematische Zeichnung des „Lichtprisma“ in der Hornhaut bei der Spaltlampenbeleuchtung. (Nach A. VOGT.)

werden sich die Linie  $f$ ,  $h$  des „Hornhautprisma“ und die Irisvorderfläche berühren, und ähnliches.

Analog wird die Tiefenlokalisation an der Linse vorgenommen, wobei wir uns nach VOGT der Diskontinuitätsflächen bedienen (s. Kap. Linse in Bd. 5 dieses Handbuches) und so angeben können, ob eine Trübung sich z. B. vor oder hinter dem Abspaltungsstreifen, im Bereich des Embryonalkernes befindet und ähnliches.

Zur *messenden Bestimmung* der Tiefenlage bestimmter Veränderungen, Ermittlung der Vorderkammertiefe, der Hornhaut- und Linsendicke hat ULBRICH eine Meßtrommel angegeben, die nach dem bei der Mikroskopie üblichen Prinzip direkte Ablesungen gestattet. Man kann auch nach dem Vorschlag von VOGT ein Meßokular benutzen. Wenn man den wirklichen Wert der Teilstriche des Meßokulars, der im Hornhautmikroskop betrachtet wird, mit Hilfe einer Blutkörperchenzählkammer festgestellt hat, lassen sich unter Anwendung einfacher trigonometrischer Formeln (s. bei VOGT) genaue zahlenmäßige Angaben machen. Nach der schematischen Zeichnung Abb. 9 bedeutet  $a$  den wirklichen Abstand z. B. der vorderen und hinteren Linsenfläche voneinander,  $x$  ist die Projektion dieser Strecke auf die Frontalebene. Wenn man mit Hilfe einer Gradeinteilung den Winkel  $\gamma$ , unter dem die Hornhaut-

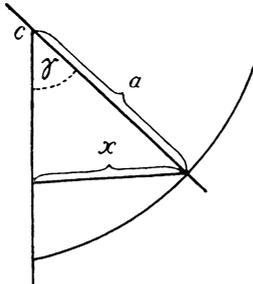


Abb. 9. Zur Tiefenmessung im Spaltlampenbilde. Erklärung im Text. (Nach A. VOGT.)

mikroskopachse zur Frontalebene des Auges steht, mißt, so läßt sich nach der Formel  $\sin \gamma = \frac{x}{a}$  die Tiefe angenähert berechnen. Eine genaue Bestimmung ist hierdurch nicht gegeben, weil die Brechung an den Trennungsf lächen der Hornhaut evtl. der Linse eine Änderung des Winkels  $\gamma$  bedingt. Diese im Einzelfalle rechnerisch festzustellen, ist natürlich möglich, aber so umständlich, daß die Berechnung für die Klinik, wo es ja meist nur auf angenäherte Werte ankommt, nicht Verwendung finden wird.

Für gewisse Zwecke ist es vorteilhaft, nicht die Spaltblende, sondern die *Lochblende* zu verwenden. Man erhält dann einen Lichtzylinder, der namentlich bei starker Einengung des Strahlbüschels (kleine Lochblende) ebenfalls genaue Tiefenlokalisation gestattet.

*Untersuchung des Glaskörpers.* Um auch den vorderen Teil des Glaskörpers zu Gesicht zu bekommen, ist es neben einer oft gebotenen Erweiterung der Pupille notwendig, den Winkel zwischen Beobachtungsinstrument und Beleuchtungsbüschel möglichst spitz zu wählen, weil nur dann das Büschel tief genug in das Auge eindringt, anderenfalls die beleuchteten Partien des Glaskörpers durch die Iris verdeckt werden.

Einen wesentlichen Vorteil bedeutet deshalb für diese Untersuchung die Anwendung des KOEPPESchen *Spiegelchens* (s. Abb. 5). Ähnliches leistet der Spiegel an der BIRKHÄUSERSchen Spaltlampe.

In beiden Fällen wird die Beleuchtungslampe etwa rechtwinklig zu der Beobachtungsrichtung orientiert und der Spiegel schräg gestellt, so daß der Einfall des Lichtbüschels unter etwa  $45^\circ$  auf ihn stattfindet. Man kann dann mit dem Hornhautmikroskop an dem Spiegelchen vorbei ziemlich tief in den Glaskörper hineinschauen. Trotzdem gelangt man nicht über die Grenze zwischen vorderem und mittlerem Drittel des Glaskörpers hinaus. Der Grund liegt, wie KOEPPE gezeigt hat, darin, daß die Divergenz des aus dem Auge austretenden Strahlenbündels um so geringer wird, je weiter der das Licht zurückwerfende Teil vom optischen System des Auges entfernt ist; liegt er in der Netzhaut, so ist bei Emmetropie das austretende Strahlenbündel parallel. Das optische Beobachtungssystem des Hornhautmikroskopes ist aber auf divergente Strahlen eingestellt. Man erhält also in diesem Fall nur ein diffuses Bild ohne Einzelheiten. Hierzu kommt, infolge der sammelnden Wirkung des optischen Systems des Auges, eine derartige Änderung der Form des Spaltlampenbüschels zustande, daß es nicht mehr die optischen Eigenschaften hat, wie wir sie benötigen (s. KOEPPE [a], S. 91 f).

2. *Die Beobachtung im durchfallenden (regredienten) Lichte.* Das Verfahren schließt sich an das der Ophthalmoskopie im durchfallenden Lichte an (s. S. 863). Es wird hier nicht derjenige Teil untersucht, der das auffallende Licht reflektiert, sondern ein Abschnitt der Beobachtung unterzogen, der von dem, meist von der Iris, zurückgeworfenen aus dem Auge wieder austretenden Licht durchstrahlt wird. Naturgemäß können hierbei nur Gewebsteile untersucht werden, die

das Licht mehr oder weniger durchlassen, wie die Hornhaut, die Linse oder die Iris im Bereich von Atrophien des Pigmentepithels.

Auf klinische Einzelheiten kann hier nicht eingegangen werden, nur sei erwähnt, daß die Zirkulation des Blutes in Hornhautgefäßen, die Betauung des Hornhautendothels, Infiltrationen der Cornea, die als tiefdunkle Schatten erscheinen im Gegensatz zum weißen Aussehen im auffallenden Licht, hierdurch oft allein der Beobachtung bzw. Beurteilung zugänglich werden. Wir verwenden dieses Verfahren insbesondere auch bei der Untersuchung auf Veränderungen im Kammerwinkel, indem man das Licht angenähert tangential von der Gegenseite her einfallen läßt.

Zum *Physikalischen* sei folgendes erwähnt: Wenn z. B. eine Hornhautinfiltration im auffallenden Licht weiß aussieht, weil eben alle Lichtstrahlen gleich stark reflektiert werden, so erscheint sie im durchfallenden Licht von hinten her beleuchtet schwarz, weil jetzt das auf die Rückseite des Infiltrates auffallende Licht wieder nach hinten zurückgeworfen wird, infolgedessen also wenig oder gar nichts durchgelassen wird. Hierzu kommt noch die Steigerung des Helligkeitsunterschiedes durch den Kontrast, da die Umgebung, die das Licht durchläßt, heller beleuchtet ist. Es wird verständlich, warum z. B. eine *Cataracta coerulea* im auffallenden Licht blaugrün, in dem von hinten durchfallenden dagegen bräunlich erscheint (s. MEESMANN [b], S. 105). Wenn infolge Reflexion von vorne her die Trübung blau aussieht, gleichgültig, ob Interferenzerscheinungen hier mitwirken oder nicht, so steht zu erwarten, daß dieselbe Lichtzusammensetzung auch das von hinten her auffallende und dann wieder nach rückwärts reflektierte Licht aufweisen wird. Es gelangt also, da wir angenähert weißes Licht bei der Untersuchung verwenden, nur der Rest des Spektrums wieder nach vorne (es kann auch noch ein Teil absorbiert werden); deshalb tritt die Gegen- (Komplementär-) Farbe auf, hier also Orange, das wegen des Schwarzkontrastes braun wird.

3. *Die Beobachtung bei indirekter seitlicher Beleuchtung.* Infolge der inneren Reflexion (Lichtzerstreuung), die bei jeder Durchleuchtung der Gewebe eintritt, wird bei dem intensiven Licht der Spaltlampe auch eine merkliche Erhellung, selbst genaue Fokussierung vorausgesetzt, der angrenzenden Gewebsteile zustande kommen. Stellt man das Beobachtungsinstrument auf diese Partien ein, so sind hier gewisse Veränderungen in dem diffusen Streulicht oft besser zu erkennen als im auffallenden. Die gleichen Verhältnisse treten auch bei Verwendung des durchfallenden (regredienten) Lichtes ein. Beschläge und einzelne Zellen an der Hornhauthinterfläche können auf diese Weise besonders gut gesehen werden. Im allgemeinen hat diese Methode aber keine größere Bedeutung.

4. *Die Untersuchung im Spiegelbezirk.* Wie S. 844 bereits ausgeführt worden ist, müssen wir bei der regelmäßigen Spiegelung an den Grenzflächen der optischen Medien unterscheiden zwischen der Einstellung auf das Spiegelbild und derjenigen auf den spiegelnden Bezirk der Trennungsfläche.

Bei der Spaltlampenuntersuchung kommt man bei der Prüfung der Spiegelbezirke, d. h. derjenigen Teile der Grenzflächen, an denen die Spiegelung erfolgt, am besten in der Weise zum Ziel, daß man bei den vorderen und hinteren Hornhautspiegelbezirken den Beleuchtungsarm ziemlich seitlich, etwa unter einem Winkel von  $50-60^\circ$  zur Betrachtungsrichtung temporalwärts einstellt und zunächst das Spiegelbild der vorderen Hornhautfläche in das Mikroskop (das gelingt immer nur für ein Objektiv, d. h. also für monokulare Beobachtung) zu bringen sucht. Wir müssen uns dabei erinnern, daß nach Abb. 7 der einfallende Strahl denselben Winkel mit dem Einfallslot bildet wie der ausfallende. Man stellt dann zunächst auf das Hornhautreflexbild selbst ein und geht, da dieses Bild etwa in der Irisebene liegt, mit dem Mikroskop ein wenig zurück, d. h. man stellt nicht mehr scharf auf den (virtuellen) Vereinigungspunkt der reflektierten Strahlen ein, sondern auf den Zerstreungskreis, der sich gerade an der spiegelnden Fläche befindet. Der Spiegelbezirk (s. Abb. 122 in Beitrag SCHIECK in Band 4 des Handbuchs, S. 199) liegt demnach innerhalb der vorderen Fläche des Lichtprisma. Aus dem Aussehen dieses Spiegelbezirkes lassen sich Schlüsse über die Oberflächenbeschaffenheit der Cornea ziehen.

Wichtiger ist der hintere Spiegelbezirk der Hornhaut, der, wie der vordere innerhalb der Vorderfläche des Lichtprisma liegt, sich innerhalb der hinteren Prismenfläche findet (s. Abb. ebenda). Hat man den vorderen Spiegelbezirk in der eben angegebenen Weise eingestellt, so sieht man daher meist ohne weiteres bei leichter Tiefenverstellung des Mikroskopes in der hinteren Prismenfläche den Spiegelbezirk der hinteren Hornhautfläche, kenntlich an der normalerweise leicht gelblichen Färbung und feinen Chagrinierung. (Näheres hierzu s. Beitrag SCHIECK in Bd. 4, S. 197f.)

Die Spiegelbezirke der *Linsenvorder-* und *-hinterfläche* lassen sich ebenfalls unschwer einstellen. Für den vorderen Linsenspiegelbezirk orientiert man den Beleuchtungsarm etwa unter  $40^\circ$  gegen die Mittelebene des Patientenkopfes. Wenn man das Auge etwas temporalwärts wenden läßt, so findet man ihn leicht, da er als feiner Chagrin, wie ihn schon C. v. HESS geschildert hat, erscheint. VOGT hat auch den hinteren Spiegelbezirk der Linse

beschrieben, dessen Einstellung in ähnlicher Weise sich ermöglichen läßt. Auch hier ist eine feine Chagriniierung evtl. Faserung erkennbar.

Auch zur *Untersuchung der Bindehaut* läßt sich die Spaltlampe verwenden; so sind an der tarsalen Conjunctiva feine Narben bei Trachom leicht sichtbar und ähnliches.

*Photographie des Spaltlampenbildes.* THIEL hat photographische Aufnahmen des Spaltlampenbildes in 3—4facher Vergrößerung erzielt. Wegen der geringen Tiefenschärfe gibt aber im allgemeinen die direkte Betrachtung durch Vor- und Zurückgehen mit dem Beobachtungsinstrument und Änderung der Spaltlage eine wesentlich lebendigere Vorstellung.

### L i t e r a t u r.

#### *Die Untersuchung der äußeren Teile des Auges. Seitliche Beleuchtung, Spaltlampe.*

AMSLER, M.: (a) De la kératoscope. Rev. gén. Ophthalm. **35**, 193 (1921). (b) Über Photokeratoskopie. 48. Verslg dtsch. ophthalm. Ges. Heidelberg **1930**, 202. — ARRUGA, H.: Ein neuer Linsenhalter für die GULLSTRANDSche Spaltlampe. Klin. Mbl. Augenheilk. **74**, 453 (1925).

BARSAN: Eine neue Universallampe, brauchbar als Spaltlampe und für Operationsbeleuchtung. Cluj med. (rum.) **5**, 191 (1924). Ref. Zbl. Ophthalm. **13**, 380. — BIRKHÄUSER, R.: (a) Eine neue Beleuchtungsvorrichtung mit Bogenlicht (Bogenlicht-Fokallampe) für die Untersuchung des vorderen Bulbusabschnittes sowie für die Ophthalmoskopie mit rotfreiem Licht. Klin. Mbl. Augenheilk. **66**, 240 (1921). (b) L'importance de la forme focale du faisceau lumineux dans l'examen à la lampe à fente. Bull. Soc. franç. Ophthalm. **37**, 341 (1924). Ref. Zbl. Ophthalm. **15**, 107. — BLANCO, T.: Meine Doppel Lupe. Arch. Ophthalm. (span.) **22**, 679 (1922). Ref. Zbl. Ophthalm. **9**, 446.

COMBERG, W.: Festlegung der photographischen Situation. (Ein Vorschlag für medizinische und andere wissenschaftliche Photographie). Münch. med. Wschr. **1930 II**, 1234.

DEKKING, H. M.: Zur Photographie der Hornhautoberfläche. Klin. Mbl. Augenheilk. **82**, 640 (1929); Graefes Arch. **124**, 708 (1930). — DUPONT, G.: Des images secondaires fournies par le système dioptrique de l'oeil et en particulier des images de PURKINJE-SANSON. Annales d'Ocul. **164**, 739 (1927).

ELSCHNIG, H. H.: Kombination der Höhenverstellung der Spaltlampenbeleuchtungs-linse nach ARRUGA mit einer neuen Vor- und Rückstellvorrichtung. Klin. Mbl. Augenheilk. **78**, 226 (1927). — ERGGELET, H.: Das Spaltlampengerät. Die GULLSTRANDSche Blendenlampe und die Beobachtungsmittel zur Untersuchung in fokaler Beleuchtung. GRAEFES-SAEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl. Die Untersuchungsmethoden, Bd. 3, S. 119. Berlin 1925 (enthält Literatur).

FISCHER, F. P.: (a) Über eine optische Darstellung der Hornhautoberfläche und ihrer Veränderungen. Ber. dtsch. ophthalm. Ges. Heidelberg **1927**, 31. (b) Demonstration der Apparatur zur Reflexphotographie. Ber. dtsch. ophthalm. Ges. **1927**, 429. (c) Über die Darstellung der Hornhautoberfläche und ihrer Veränderungen im Reflexbild. Arch. Augenheilk. **98**, Erg.-H., 1 (1928). (d) Über die Darstellung der kranken Hornhaut im Reflexbild. Dtsch. ophthalm. Ges. Heidelberg **1928**, 201. (e) Demonstration einer vereinfachten Apparatur zur Reflektographie. Dtsch. ophthalm. Ges. Heidelberg **1928**, 479.

GRAVES, BASIL: (a) Contact-illumination in the examination of the cornea and anterior part of the eye. Brit. J. Ophthalm. **5**, 212 u. 350 (1921). (b) Some practical notes on slit lamp apparatus. Amer. J. Ophthalm. **8**, 115 (1925). Ref. Zbl. Ophthalm. **14**, 907. — GROS, H.: Mise en évidence des lésions cornéennes par le verre bleu. Clin. ophthalm. **9**, 596 (1920). — GULLSTRAND: Demonstration einer neuen Diaphragmenlampe. Ber. 43. Verslg dtsch. ophthalm. Ges. Jena **1922**, 290.

HARTINGER, H.: (a) Über Neuerungen auf dem Gebiete der ophthalmologischen Untersuchungsinstrumente. Z. ophthalm. Opt. **9**, 116 (1921). (b) Beobachtungs- und Beleuchtungsgeräte für die Mikroskopie des lebenden Auges. Z. ophthalm. Opt. **12**, 162 (1924). Ref. Zbl. Ophthalm. **14**, 750. (c) Ein neues Photokeratoskop. 48. Zus.kunft dtsch. ophthalm. Ges. Heidelberg **1930**, 360. — HENKER, O.: (a) Eine kleine Bogenlampe für augenärztliche Zwecke. Z. ophthalm. Opt. **12**, 129 (1924). (b) Der Spaltlampenlinsenhalter nach Dr. ARRUGA. Z. ophthalm. Opt. **13**, 5 (1925). — HERBERT, J. FREDERICK: Oculo-microscopic and photographic apparatus. Z. ophthalm. Opt. **17**, 73 (1929). — HORVÁTH, BÉLA VON: Modifizierung in der Beleuchtungseinrichtung der GULLSTRAND-Spaltlampe. Klin. Mbl. Augenheilk. **72**, 201 (1924).

JACKSON, E.: The examination of the eye by direct sunlight. Trans. sect. on ophthalm. amer. med. Assoc. 73. ann. sess. St. Louis, 22.—26. Mai **1922**, 131. Ref. Zbl. Ophthalm. **9**, 141.

KOBY, F. ED.: (a) Propriétés optiques du faisceau lumineux de la lampe à fente. Arch. d'Ophtalm. **39**, 662 (1922). Ref. Zbl. Ophthalm. **9**, 263. (b) Une modification de la lampe à fente: Utilisation d'un faisceau lumineux astigmatique. Rev. gén. Ophthalm. **39**, 53 (1925). Ref. Zbl. Ophthalm. **15**, 106. (c) Modifications de l'épaisseur de la cornée, vues

à la lampe à fente. Rev. gén. Ophtalm. **43**, 57 (1929). — KOEPPE, L.: (a) Die biophysikalischen Untersuchungsmethoden der normalen und pathologischen Histologie des lebenden Auges. Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, herausgeg. von EMIL ABDERHALDEN, Abt. 5, 6. Teil. Berlin 1920. (b) Die optischen Hilfsmittel für die mikroskopische Erforschung des lebenden Auges nebst zusammenfassendem Überblick über die bisherigen Ergebnisse der dabei anwendbaren Untersuchungsmethoden. Dtsch. opt. Wschr. **1920**, 258, 280. Ref. Zbl. Ophthalm. **4**, 24. (c) Die Anwendung des Bitumi und Orthobitumi mit Strichglasbeleuchtung an der GULLSTRANDSchen Nernstspaltlampe. Ber. dtsch. ophthalm. Ges. **42**, 322 (1920). — KRÄMER: Bemerkungen zu den PURKINJE-SANSONSchen Reflexbildern. Z. Augenheilk. **62**, 405 (1927). — KREIKER, A.: Einige nicht der Mikroskopie des Auges dienende Verwendungsmethoden der Spaltlampe. Z. Augenheilk. **55**, 45 (1925). — KÜMMELL, R.: Über neuere Untersuchungsmethoden des Auges und einige ihrer wichtigsten Ergebnisse. Jkurse ärztl. Fortbildg **12**, 11 (1921).

LEMOINE: Instrumentation et examen oculaire. Les sources lumineuses punctiformes et à grand éclat. Rev. méd. l'est **53**, 823 (1925). Ref. Zbl. Ophthalm. **16**, 440. — LEMOINE, P. et G. VALOIS: Lampe sténopéique. Rev. d'Opt. **2**, 167 (1923). Ref. Zbl. Ophthalm. **10**, 428. — LIEBERMANN, L. v.: Einige praktische Beleuchtungsapparate für Klinik und Sprechzimmer. Klin. Mbl. Augenheilk. **80**, 90 (1928).

MÁRQUEZ, M.: Erklärung und klinischer Wert der PURKINJE-SANSONSchen Bilder. Arch. Oftalm. hisp.-amer. **26**, 421 (1926). Ref. Zbl. Ophthalm. **17**, 501. — MAWAS, J.: (a) Biomicroscopie de la chambre antérieure de l'iris et du corps ciliaire. Paris 1928. Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 625. (b) Une nouvelle Lampe ophtalmoscopique à fente. Bull. Soc. Ophtalm. Paris **1930**, 167. Ref. Zbl. Ophthalm. **25**, 199. — MEESMANN: (a) Verwendung eines astigmatischen Strahlenganges an der GULLSTRANDSchen Spaltlampe. Dtsch. ophthalm. Ges. **1927**, 421. (b) Die Mikroskopie des lebenden Auges an der GULLSTRANDSchen Spaltlampe mit Atlas typischer Befunde. Berlin 1927 (enthält Literatur).

NORDENSON, J. W.: Über die derzeitige Untersuchung der durchscheinenden Medien des Auges. Uppsala Läk.för. Förh. **31**, 273 (1926). Ref. Zbl. Ophthalm. **17**, 721.

OLÁH, E.: (a) Praktisches Verfahren für Massenuntersuchungen des Bindehautsackes, besonders in Trachomgegenden. Klin. Mbl. Augenheilk. **88**, 95 (1932). (b) Neuer Augenlidspatel. Klin. Mbl. Augenheilk. **88**, 796 (1932).

PAVIA, LIJO J.: Über ein einfaches System der fokalen Beleuchtung. Semana méd. **31**, 491 (1924). Ref. Zbl. Ophthalm. **14**, 549.

ROCHAT, G. G.: Ein Apparat von Dr. DEKKING für die Photographie der Hornhautoberfläche. Nederl. Tijdschr. Geneesk. **1930 II**, 4725. Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 639. — ROTH, A.: Die Prismenlupenbrille, eine Vergrößerungsbrille mit Stereoskoplinsen. Z. ophthalm. Opt. **14**, 134 (1927).

SALLER, K.: Eine neue Augenfarbentafel. Z. Konstit.lehre **15**, 674 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **25**, 65. — SCHULTZ, BRUNO K.: Eine verbesserte Augenfarbentafel. Anthrop. Anz. **6**, 331 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 640. — SHAHAN, W. E.: An ophthalmic illuminator. Trans. amer. ophthalm. Soc. **20**, 245 (1922). — STÄHLI, J.: Die Azo-Projektionslampe (Halbwattlampe) der deutschen Augengesellschaft, ein Ersatz für Nernstlicht. Klin. Mbl. Augenheilk. **54**, 685 (1915). — STREULLI, H.: Beleuchtungstechnik der Spaltlampe. Mitteilung über ein neues Beleuchtungsprinzip und über dessen praktische Bedeutung. Klin. Mbl. Augenheilk. **65**, 769 (1920).

TERSON, A.: (a) Propulsion du cul-de-sac conjonctival supérieur dans l'exploration et la thérapeutique journalières, avec un nouvel instrument. J. des Prat. **37**, 551 (1923). Ref. Zbl. Ophthalm. **11**, 351. (b) Propulseur du cul-de-sac conjonctival supérieure. Annales d'Ocul. **160**, 433 (1923). — THIEL, R.: (a) Untersuchungen zum Flüssigkeitswechsel am lebenden Menschenauge. Graefes Arch. **113**, 247 (1924). (b) Ein Beitrag zur Spaltlampenmikroskopie des Auges im ultravioletten Licht. Z. Augenheilk. **58**, 86 (1925). (c) Photographierte Spaltlampenbilder. 48. Zukunfts dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1930**, 355.

VOGT, A.: (a) Die Tiefenlokalisation in der Spaltlampenmikroskopie. Z. Augenheilk. **43**, 393 (1920). (b) Vergleichende Untersuchungen über moderne fokale Beleuchtungsmethoden. Schweiz. med. Wschr. **50**, 613 (1920). (c) Atlas der Spaltlampenmikroskopie des lebenden Auges. Berlin 1921 (enthält Literatur), 2. Aufl., Bd. I. 1931. — VONWILLER, P.: Die mikroskopische Untersuchung des lebenden Auges mit starken Vergrößerungen. Z. Augenheilk. **63**, 362 (1927).

WEBER, F.: Zur Erlernung der Spaltlampentechnik. Z. Augenheilk. **58**, 368 (1926). — WEVE, H. J. M.: Demonstration einiger technischer Hilfsmittel für augenärztliche Untersuchung. Nederl. Tijdschr. Geneesk. **68**, 1097 (1924). Ref. Zbl. Ophthalm. **13**, 60. — WOLFERTS, O.: Über Neuerungen auf dem Gebiete der ophthalmologischen Untersuchungsinstrumente VI. (Die einschlägigen Patente und Gebrauchsmuster des Jahres 1915—1916.) Z. ophthalm. Opt. **8**, 180 (1920).

ZAMENHOF, A.: Untersuchung des Auges im Spaltlichte mittels elektrischen Augenspiegels. Klin. oczna (poln.) **3**, 68 (1925). Ref. Zbl. Ophthalm. **15**, 860.

## II. Die Lagebestimmung des Auges.

Bei der Bestimmung der Lage bzw. des Ortes des Augapfels ist die relative Lage des Einzelauges in der Augenhöhle und die gegenseitige Lagebeziehung beider Augen zueinander zu ermitteln. Bei der zweiten Aufgabe ist einerseits die Messung des Abstandes beider Augen voneinander (Pupillardistanz), andererseits die relative Lage der Bulbi in ihrem Verhältnis zu derjenigen der Orbita festzustellen, was in der Regel mit der Ermittlung der Lage des Einzelauges gegeben ist. An dieser Stelle nicht zu besprechen ist die Lage der einzelnen Teile des Augapfels relativ zu ihrer Umgebung. Sie ist Gegenstand der Bestimmung des manifesten oder latenten Schielens (s. Bd. 3, Kapitel CORDS, Motilitätsstörungen).

### 1. Exophthalmometrie.

Die Prominenz des Hornhautscheitels über den äußeren Orbitalrand schwankt individuell nicht unerheblich. Eine Vorstellung von den vorkommenden Varianten gibt die Abb. 10.

Streng genommen muß bei der Bestimmung der Lage des Bulbus innerhalb der Orbita nicht nur das Vorstehen des Augapfels in sagittaler Richtung bestimmt

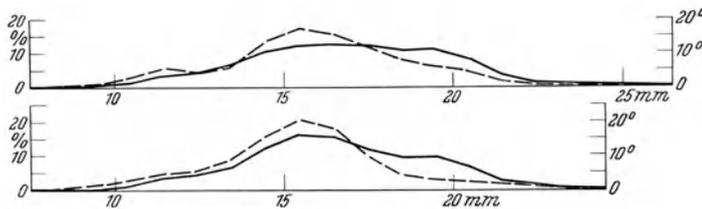


Abb. 10. Die Häufigkeitswerte der Hornhautprominenzen (ausgeglichen), oben für Germanen, unten für Slaven. — für Männer; - - - für Frauen. (Nach HELMBOLD.)

werden, sondern auch eine etwa vorhandene seitliche Dislokation. Die zweite Untersuchung ist aber noch nicht in exakter Weise möglich. Der Ort der hinteren Begrenzung der Orbita läßt sich durch neue Röntgenverfahren ermitteln (s. S. 894).

**Inspektion.** In vielen Fällen genügt es, sich eine Vorstellung über die Lage des einen oder beider Bulbi durch die Inspektion allein zu verschaffen: durch die größere oder geringere Bedeckung der oberen Hornhautpartie ist oft ein Urteil über En- oder Exophthalmus möglich. Dabei sind aber die wechselnden Verhältnisse in Abhängigkeit vom Lebensalter zu berücksichtigen (s. Abb. 83 in Bd. 1, S. 232 von REITSCH). Ob eine Ptosis oder eine Verlagerung des Augapfels in Betracht kommt, ist häufig durch Vergleich beider Seiten zu entscheiden, namentlich dann, wenn man bei gesenkter Blickebene unter leichtem Anheben beider Oberlider von oben her die Lage der Hornhautscheitel zueinander betrachtet. Da Differenzen im Vorstehen beider Augäpfel nach COHN bei 20% aller Individuen bestehen, ist oft ein sicheres Urteil erst durch zeitlich auseinander liegende Bestimmungen der Bulbuslage möglich. Zu derartigen sukzessiven Vergleichen ist die instrumentelle Exophthalmometrie (zum erstenmal von COHN 1861) eingeführt worden.

**Instrumentelle Exophthalmometrie.** Bei Anwendung von Instrumenten zur Bestimmung der Lage des Bulbus in der Orbita muß man sich auf Punkte beziehen, die möglichst fix sind, d. h. die ihre Lage auch bei entzündlichen oder andersartigen Affektionen in der Augenhöhle und ihrer Umgebung nicht ändern. Weichteile erscheinen für diesen Zweck nicht geeignet; insbesondere dann, wenn es sich darum handelt, vergleichende Messungen zu verschiedenen

Zeiten auszuführen, kann daher die äußere Lidcommissur nicht in Betracht kommen.

Die Methode von P. KNAPP, mit Hilfe eines Maßstabes auf dem Bügel des Brillenprobiergestelles den Abstand des Hornhautscheitels von der Fassungsebene oder dem äußeren Lidwinkel zu ermitteln, dürfte für die eigentliche Exophthalmometrie deshalb nicht in Frage kommen. Auch die Beziehung auf den lediglich durch Sondenbetastung festgestellten äußeren Orbitalrand wird hierbei genauere Resultate kaum geben. Ähnliche Bedenken bestehen gegenüber der Methode von ARNOLD, der als Fixpunkt den Nasenrücken benützt. Lediglich Beziehung des Hornhautscheitels auf die Orbitalöffnung schlechthin ist als zu willkürlich abzulehnen.

Es muß deshalb eine knöcherne Unterlage als Fixpunkt genommen werden. COHN erwähnt, daß der äußere Orbitalrand auch bei fetten Patienten niemals Fett zwischen Haut und Knochen eingelagert zeige. Wenn auch Haut- und Muskeldicke an dieser Stelle individuell variieren, so ist daher dieser Punkt am besten verwertbar.

Trotzdem sind Messungen unter Verwendung auch dieses knöchernen Fixpunktes sicherlich nicht unerheblichen Schwankungen bei verschiedenen Beobachtern unterworfen.

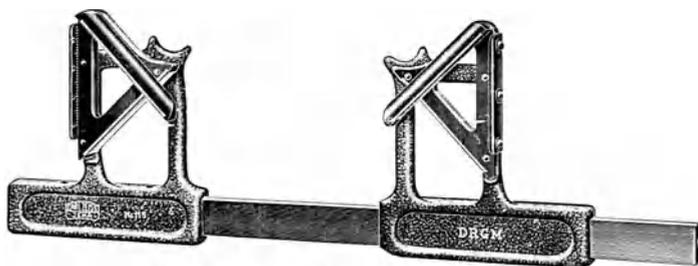


Abb. 11. Exophthalmometer. (Nach HERTEL.)

SCHLABS will zwar mittels des HERTELSchen Exophthalmometers nur Differenzen von 0,5 mm gefunden haben. Doch erscheint dieser Fehler zu klein.

Den knöchernen äußeren Orbitalrand als Fixpunkt benutzen eine große Zahl von Exophthalmometern (COHN, ZEHENDER, EMMERT). Da viele von diesen sukzessives Anlegen des Gerätes erst auf der einen, dann auf der anderen Seite erfordern, dürfte ihre Anwendung mit Fehlern behaftet sein. Zu kompliziert für den praktischen Gebrauch sind der Apparat von SATTLER-HERING und auch der von AMBIALET.

Das HERTELSche *Spiegelexophthalmometer* ist jetzt wohl am meisten in Gebrauch. Es besteht aus einem Metallstab, auf dem zwei symmetrisch konstruierte Spiegelvorrichtungen angebracht sind, von denen die eine fix, die andere gleitend mit dem Leitstab verbunden ist (s. Abb. 11). Die beiden Bügel werden auf die beiden äußeren Orbitalränder aufgesetzt. Im unteren Spiegelchen, das unter  $45^{\circ}$  zu der Frontalfläche des Gesichtes steht, erscheint der Hornhautscheitel, während unmittelbar darüber ein senkrecht zu dem unteren Spiegelchen orientierter Streifen von Spiegelglas eine in sagittaler Richtung gelegene Skala zur Abbildung bringt. Man sieht das Bild der Skala direkt über demjenigen des Hornhautscheitels und kann feststellen, welchem Skalenteile dessen Lage entspricht. Bei der monokular vorzunehmenden Ablesung ist es nötig, die eigene Gesichtslinie mit derjenigen des untersuchten Auges zusammenfallen zu lassen, weil bei schiefer Aufsicht durch die relative (parallaktische) Lageverschiebung der Spiegelbilder von Skala und Hornhautscheitel ein Ablesungsfehler entstehen kann.

Abgesehen von den Fehlern beim Aufsetzen des Apparates können auch Abweichungen bei unbemerkt bleibender Stellungsänderung der untersuchten Augen eintreten.

Auf einem etwas anderen Prinzip beruht der Apparat von TRENDELENBURG. Er verwendet die Raumbildmessung durch eine halb durchlässige Glasscheibe. Diese steht unter  $45^{\circ}$  sowohl zum Patienten als zum Untersucher, der gleichzeitig den Hornhautscheitel und den äußeren Orbitalrand am Kranken, sowie einen verschiebbaren Maßstab sieht. Beide Bilder decken sich und gestatten auf diese Weise eine Messung. Ein Vorteil dieses Instrumentes liegt darin, daß auch Unterschiede in der Vertikallage zwischen beiden Augen ermittelt werden können<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Die in der Arbeit des Autors angegebene Firma fertigt den Apparat nicht an.

Eine Vereinfachung gegenüber dem HERTELSchen Apparat bedeutet derjenige von ROLLET und DURAND, die ein kleines Visierzeichen zur Ablesung verwenden.

Photographische Verfahren, wie sie für wissenschaftliche Zwecke von BIRCH-HIRSCHFELD angegeben worden sind, sind für die Klinik für gewöhnlich noch zu kompliziert. Ähnliches gilt von dem Apparat von LOHMANN.

**Messung der Höhenverschiebung des Bulbus.** Wegen der Asymmetrie der beiden Gesichtshälften sind geringe Unterschiede in der Höhenstellung beider Augen sehr häufig, auch Differenzen, bis zu 2—3 mm sind nicht selten. Für gewöhnlich wird bei der Bestimmung der Bulbuslage eine Vertikalverschiebung freilich nicht messend festgestellt, obwohl das Bedürfnis hierzu oft genug vorhanden wäre.

HASNER hat an einem horizontalen Maßstab an der Seite des verdrängten Auges eine vertikale Skala angebracht und festgestellt, um wieviele Millimeter gegenüber der horizontalen Lage eines zweiten Maßstabes die Pupille des Auges verlagert ist. Zu diesem Zwecke kann man auch den Apparat von CRAWLEY verwenden (s. S. 855).

Eine komplizierte Vorrichtung ist zu dem gleichen Zwecke von GUIST angegeben worden. Er benutzte als Fixpunkt die Knocheneinsenkungen an dem hinteren Ende des horizontalen Astes der Mandibula und hat hierauf dann ein kompliziertes Gestänge befestigt. Durch Anvisieren mit dem einen oder anderen Auge läßt sich feststellen, wie groß die Ablenkung ist. Messende Resultate sind weder von GUIST noch von einem Nachuntersucher mitgeteilt worden. Ganz abgesehen davon, daß der gewählte Fixpunkt von ziemlich dicken Weichteilen überlagert ist, was notwendigerweise an sich schon eine Fehlerquelle bedeutet (siehe oben, S. 851), ist durch die mehrfache Übertragung an verschiedenen Stellen des Apparates eine so gesteigerte Fehlermöglichkeit geschaffen, daß vergleichende Messungen zu verschiedenen Zeiten, bei denen es auf einen oder zwei Millimeter ankommt, kaum mit der nötigen Zuverlässigkeit angestellt werden können.

## A n h a n g:

### Piëzometrie.

In manchen Fällen kann es von Wichtigkeit sein, zu prüfen, ob die Zurückdrängbarkeit des Augapfels in die Augenhöhle Abweichungen gegenüber der Norm aufweist, ob insbesondere Exophthalmus infolge chronischer Entzündung oder Tumor vorliegt.

Zu diesem Zwecke hat LANGENHAN schon 1910 einen Apparat angegeben, der sich aber nicht eingebürgert hat. Dann hat GUTMANN eine Vorrichtung beschrieben, die mit der Hand gehalten wird. Durch wechselnde Belastung (bis zu 50 g) eines ähnlich dem SCHIÖRTZschen Tonometer konstruierten Apparates mit einer oben aufsitzenden tellerförmigen Platte wird die Eindrückbarkeit des Orbitalgewebes geprüft. Da der Apparat mit der Hand gehalten werden muß, ist er mit Fehlern behaftet, die eine genügend zuverlässige Messung wohl kaum gestatten.

Neuerdings hat HELENE PLEGE eine Vorrichtung konstruiert, die sich an das MANGOLDsche Tonometer anschließt. Eine größere Pelotte wird durch ein ZEISSsches Haftglas gebildet; sie wird auf den Bulbus gesetzt und ist mit einem Stift, der durch eine Hebelvorrichtung mit Gewichten bis zu 100 g belastet werden kann, verbunden. Es ergab sich, daß eine mittlere Zurückdrängung des Bulbus bei 100 g Belastung etwa um 4,5 mm eintritt. Das Verfahren müßte noch weiter ausprobiert werden und scheint klinisch gewisse Aufschlüsse geben zu können.

SCHOENBERG will bei Abtastung der Orbita von vorne durch die Lider oder direkt von der Conjunctiva aus mittels eines kleinen Glasstäbchens sich ein besseres Urteil über Veränderungen im vorderen Teile der Augenhöhle verschaffen, als es bei digitaler Palpation möglich sei.

## L i t e r a t u r.

### *Exophthalmometrie.*

AMBIALET: Mesuration des protrusions oculaires. Ophthalmomètre exorbitaire. *Annales d'Ocul.* **130**, 170 (1903). — ARNOLD, G.: Einfache Methode der genauen Messung des Exophthalmus. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **80**, 656 (1928).

BARKAN, OTTO: Die Lage des Auges in der Augenhöhle unter verschiedenen physiologischen Bedingungen. *Arch. Augenheilk.* **80**, 168 (1915). — BIRCH-HIRSCHFELD: Ein neues Exophthalmometer (SATTLEHERING). *Klin. Mbl. Augenheilk.* **38**, 721 (1900).

COHN, H.: Messungen der Prominenz der Augen mittels eines neuen Instrumentes, des Exophthalmometers. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **5**, 339 (1867).

EMMERT, E.: Beschreibung eines neuen Exophthalmometers. *Klin. Mbl. Augenheilk.* 8, 33 (1870). — ENGELKING, E.: Exophthalmometrie. *GRAEFKE-SAEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde*, 3. Aufl. Untersuchungsmethoden, Bd. 3, S. 351. 1925.

GUIST, G.: Über ein Instrument zur Messung von Höhenverdrängungen der Augen. *Z. Augenheilk.* 49, 189 (1923). — GUTMANN, A.: (a) Physiologische Untersuchungen über die Lageveränderung des Bulbus in der Orbita. *Z. Augenheilk.* 31, 109 (1914). (b) Piezometer, zur Diagnose retrobulbärer Orbitageschwülste. *Z. Augenheilk.* 63, 136 (1927).

HELMBOLD, R.: Vergleichende Untersuchungen über den Pupillenabstand zu einigen Massen des übrigen Körpers. *Z. ophthalm. Opt.* 2, 1 (1914); 3, 97 (1916). — HERTEL, E.: Ein einfaches Exophthalmometer. *Graefes Arch.* 60, 171 (1905).

KNAPP, P.: Einfaches Hilfsmittel zur Bestimmung eines Exophthalmus. *Z. Augenheilk.* 47, 213 (1922).

LANGENHAN, F.: (a) Ortsbestimmung des Auges. *GRAEFKE-SAEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde*, 2. Aufl., Bd. 4, 1. Abt., S. 640. 1904. (b) Instrumentelle Messung der Zurückdrängbarkeit des Augapfels in der Augenhöhle. *Z. Augenheilk.* 14, 417 (1910). — LOHMANN, W.: Beschreibung eines Exophthalmometers. *Arch. Augenheilk.* 75, 85 (1913).

PLEGGE, HELENE: Eine neue Methode zur Messung der Zurückdrängbarkeit des Bulbus in der Orbita (Piezometrie). *Klin. Mbl. Augenheilk.* 87, 580 (1931).

ROLLET et DURAND: Mesuration des protrusions oculaires (l'exophtalmie dans l'atrophie optique). *Rev. gén. Ophtalm.* 31, 193 (1912).

SCHLABS, G.: Messungen mit dem HERTELSchen Exophthalmometer. *Klin. Mbl. Augenheilk.* 55, 611 (1915).

TRENDELENBURG, W.: Ein einfacher Apparat zur genauen Messung des Augenabstandes, der Pupillenweite, der Hornhaut und des Exophthalmus. *Klin. Mbl. Augenheilk.* 65, 527 (1921).

ZEHENDER, W.: Noch ein neues Exophthalmometer. *Klin. Mbl. Augenheilk.* 8, 42 (1870). — ZEISS, CARL: Spiegelexophthalmometer nach Prof. HERTEL. *Druckschrift Med.* 8. Febr. 1905.

## 2. Die Bestimmung des seitlichen Augenabstandes.

Die Ermittlung des horizontalen Abstandes beider Augen ist für eine genaue Brillenanpassung wichtig, gelegentlich auch zur Ermittlung eines Zu- oder Ab-



Abb. 12. Doppellineal nach LANDOLT zur Messung des Pupillenabstandes.

nehmens der seitlichen Verdrängung sowie bei wissenschaftlichen Untersuchungen physiologisch-optischer Probleme. Im letzten Falle handelt es sich um die Ermittlung des Drehpunktabstandes, der sog. *Basallinie*. Auch sind korrelative

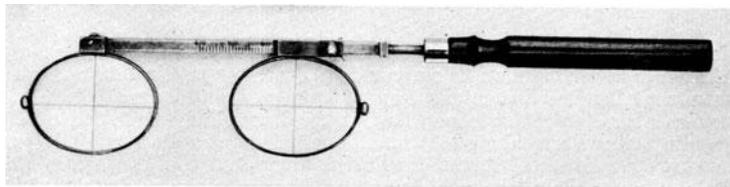


Abb. 13. Pupillenabstandsmesser in Brillenform.

Beziehungen zwischen Schädelbau, anderen körperlichen Merkmalen und dem Augenabstand von HELMBOLD und KÖGEL untersucht worden.

Es ist daran festzuhalten, daß die Ermittlung des Pupillenabstandes, wie sie der Kliniker gelegentlich vornimmt, nicht zugleich diejenige der Basallinie (wegen der Dezentrierung des Auges) darzustellen braucht. Die Abweichungen sind freilich meist nicht groß. Immerhin können bei fehlerhafter Messung hier asthenopische Beschwerden verursacht werden (SCIMEMI).

Die **subjektiven Verfahren** haben durchweg Ermittlung der Basallinie zum Ziel. Sie sind nur ausführbar bei Fixationsmöglichkeit beider Augen und bestehen im Prinzip darin, daß beim Sehen in die Ferne binokular zwei feine Löcher, Nadelspitzen oder dgl. zur Deckung gebracht werden. Aus deren Abstand läßt sich dann der Drehpunktsabstand ermitteln. Derartige Verfahren stammen von HERING, TSCHERMAK und CAMPOS. Auf dem gleichen Prinzip beruht der Pupillendistanzmesser von TRENDELENBURG.

Bei den **objektiven Verfahren** bestimmt man den Abstand der Pupillenmitten. Es kommt wesentlich auf Vermeidung des sog. parallaktischen Fehlers an, ähnlich

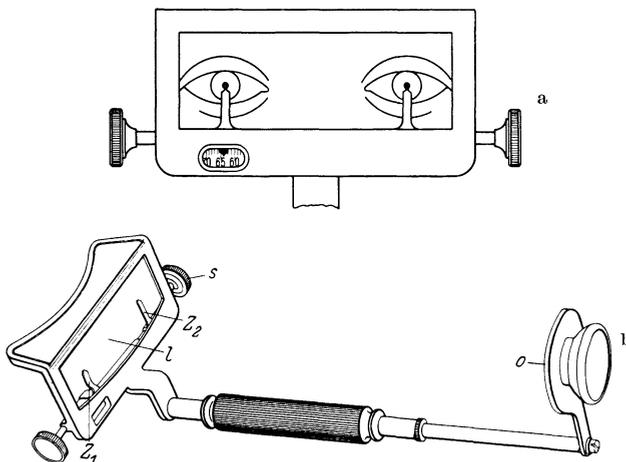


Abb. 14 a u. b. Pupillenabstaudmesser nach OPPENHEIMER.

wie bei der Exophthalmometrie. Auch ist bei Senkung und Hebung des Blickes wegen der Konvergenz bzw. Divergenz das Einschleichen von Fehlern zu berücksichtigen (s. KUNZ und OHM).

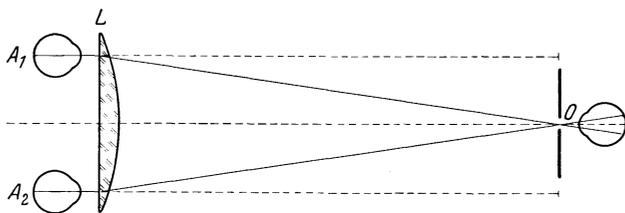


Abb. 15. Pupillenabstaudmesser von BUSCH.

Am einfachsten ist die Messung mittels eines Millimeterstabes, den man über oder unter die Augen hält. Wenn man 25 cm vor dem Patienten stehend die mit den Pupillenmitten zusammenfallenden Skalenteile feststellt, so entsteht dadurch ein parallaktischer Fehler, der sich aber einfach berechnen läßt [s. die Darstellung nach v. ROHR bei HELMBOLD (d)]<sup>1</sup>. Zu seiner Vermeidung läßt man den Patienten in die Ferne blicken und kann dann sich selbst etwas bücken, damit der Patient über den Kopf des Arztes hinweg sieht. Man muß dann unter Parallelverschiebung des Kopfes genau senkrecht visieren. Eine größere Sicherheit in dieser Richtung gewährt das Doppellinial von LANDOLT (s. Abb. 12), bei dem die gleichen Skalenteile zur Deckung gebracht werden müssen.

Genauere Resultate geben Apparate, die in der Regel mit Hilfe eines sog. Diopters, d. h. einer feinen lochförmigen Blende, oder mittels feiner Linien bzw. Spalten ein exaktes Anvisieren der Pupillenmitte erlauben. Ein einfaches derartiges Instrument, das an der Basler Klinik benutzt wird, dessen Beschreibung ich aber sonst nicht habe finden können, ist die in Abb. 13 abgebildete Brille mit Fadenkreuz. Sie wird vor die Augen gehalten

<sup>1</sup> Will man die Pupillardistanz für die Nahbrille bestimmen, so kann man den Patienten auffordern auf die Glabella des Arztes zu blicken.

und ihr beweglicher Teil so lange verschoben, bis beiderseits die Mitte des Fadenkreuzes gerade vor der Pupillenmitte zu liegen scheint.

Auf einem ähnlichen Prinzip beruht der Apparat von CRAWLEY. An ihm ist noch durch Vertikalverschiebung jederseits eine Ablenkung der einen oder anderen Pupille in vertikaler Richtung ablesbar. Ähnlich gebaut ist der kleine Apparat von ZEISS, bei dem es sich darum handelt, einen feinen vertikalen Spalt zwischen zwei Metallbügeln genau mit der Pupille zur Deckung zu bringen. Sowohl dieser wie der Apparat von CRAWLEY erlauben es, den Abstand jeder Pupille von der Mitte des Nasenrückens aus zu messen, was bei den bekannten Asymmetrien des Gesichtsschädels zur Anpassung der Brille wichtig sein kann.

Ähnliches gestatten das Viermaß von HENKER und MÜHSAM, sowie die Apparate von KRÄMER, NITSCHKE und GÜNTHER, BISCHOP-HARMAN, BORGERODIZKIJ und ALEXANDER.

Da bei den erwähnten Verfahren unbemerkt bleibende Konvergenzbewegungen des Patienten nicht ausgeschlossen sind, kann man durch optische Hilfsmittel den Fixierpunkt in unendlicher Entfernung abbilden, wie z. B. bei dem Apparat von OPPENHEIMER (s. Abb. 14). Er enthält eine plankonvexe Linse, die dem Patienten vor das Auge gesetzt wird, der über ein kleines Fadenkreuz, das sich im Brennpunkt der Linse bei 0 befindet, fixiert. Der Arzt sieht durch den Diopter 0 nach den Pupillen und stellt durch zwei kleine Schrauben S die Marken  $Z_1$  und  $Z_2$  genau vor deren Mitte. Der Pupillenabstand ist an der Skala ablesbar. Ähnlich konstruiert ist der Apparat von STEVENSON.

Der von RITZMANN beschriebene Pupillendistanzmesser der Firma BUSCH (s. Abb. 15) verwendet ein ähnliches Prinzip wie derjenige von OPPENHEIMER. Die Messung des Augenabstandes erfolgt auch hier im telezentrischen Strahlengang.

In Deutschland am meisten in Gebrauch dürfte der Apparat von ZEISS sein, dessen Beschreibung von HERTEL gegeben worden ist (s. Abb. 16).

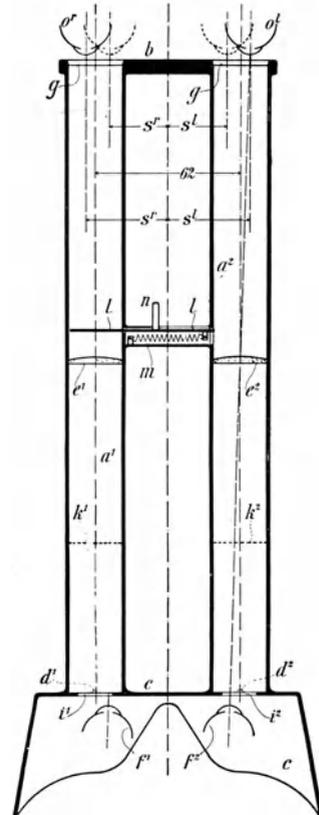


Abb. 16. Pupillendistanzmesser von HERTEL. Er besteht aus 2 Röhren, durch die der Beobachter  $f^1$  und  $f^2$  nach dem Auge des Patienten  $o^r$  und  $o^l$  sieht. In jeder ist eine plankonvexe Linse  $e^1$  und  $e^2$ , deren Brennpunkte sich jeweils an den beiden Enden der Röhren befinden (telezentrischer Strahlengang). Ein Schieber  $l$  erlaubt mittels des Handgriffes  $n$  abwechselndes Verdecken des rechten und linken Rohres, so daß die Ablesung an einer Skala, die sich an dem dem Patienten zugekehrten Auge befindet ( $gg$ ) für jedes Auge vorgenommen werden kann. Eine zweite Skala erlaubt Ermittlung des Pupillenabstandes für die Nahebrille (punktierte Konturen des Patientenauges).

Abstand der Gläsermitten <sup>1</sup>		
für die Fernbrille mm	für die Lesebrille	
	Leseabstand von 25 cm mm	Leseabstand von 30 cm mm
55	49,8	50,6
57,5	52,1	52,9
60	54,3	55,2
62,5	56,6	57,5
65	58,9	59,9
67,5	61,1	62,1
70	63,4	64,4
72,5	65,6	66,7
75	67,9	69,1

Auf anderen Prinzipien beruhen die Apparate von HELMBOLD, TRENDLENBURG und das modifizierte WESSELYSche Keratometer von RUNGE und KAULFUSS.

**Pupillenabstandsmessung für die Nahebrille.** Die beschriebenen Pupillendistanzmesser sind fast durchweg für Parallelstellung der Augen konstruiert. Ein

<sup>1</sup> Nach BUSCH gekürzt.

einfaches Verfahren für die Bestimmung des Gläserabstandes für die Nahebrille ist bereits auf S. 854 erwähnt. Eine Umrechnung des für die Fernbrille ermittelten Abstandes für die Nahebrille bei einem Leseabstand von 25 bzw. 30 cm ist von BUSCH (s. die vorstehende Tabelle), eine ähnliche von WATT mitgeteilt worden.

### L i t e r a t u r.

#### *Bestimmung des seitlichen Augenabstandes.*

ALEXANDER, G. F.: Measurement of the diameters of the cornea and pupil, and the inter-pupillary distance. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **43**, 345 (1923).

BOGÉRODITZKIĀ, N.: Eine neue Konstruktion des Pupillenabstandsmessers. Russk. oftalm. Ž. **7**, Nr 4, 483 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **20**, 231. — BUSCH, EMIL: Pupillenabstandsmesser. Neukonstruktion. Siehe unter RITZMANN.

CAMPOS: Mensuration pratique de l'écartement des lignes visuelles et détermination de la ligne de base. Rev. gén. Ophtalm. **29**, 388 (1910). — CANITANO, S.: Linea base e distanza interpupillare nella correzione dei vizii di refrazione. Arch. Ottalm. **30**, 409 (1923). — CRAWLEY, HENRY: Improvements in and relating to measuring instruments for fitting spectacles, pincenez and the like. Z. ophthalm. Opt. **2**, 168 (1915).

ENGELKING, E.: Die Messung des seitlichen Augenabstandes. GRAEFÉ-SAEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl., Untersuchungsmethoden, Bd. 3, S. 371. 1925.

FREEMAN, H.: An new method of measuring P. D. and height of bridge. Optician **74**, Nr 1905, 87 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **19**, 251.

GRAFF, B.: Vorrichtung zum Bestimmen des Augenabstandes. Z. ophthalm. Opt. **17**, 115 (1925).

HARMAN, BISHOP: New ophthalmic calipers. Ophthalmoscope **9**, 697 (1911). — HELMBOLD, R.: (a) Beitrag zur Bestimmung des Pupillenabstandes. Z. Augenheilk. **16**, Erg.-H., 45 (1906). (b) Weiterer Beitrag zur Bestimmung des Pupillenabstandes. Med. Klin. **1912**, 1354. (c) Pupillenabstandsmesser. Z. Augenheilk. **30**, 566 (1913). (d) Vergleichende Untersuchungen über den Pupillenabstand zu einigen Massen des übrigen Körpers. Z. ophthalm. Opt. **2**, 1 (1914); **3**, 97 (1916). — HENKER, O. u. W. MÜHSAM: Das Viermaß, ein einfaches Instrument zum Ermitteln der beim Verordnen starker Brillengläser nötigen Masse. Z. ophthalm. Opt. **5**, 162 (1917). — HERTEL, E.: Über einen neuen Apparat zur Bestimmung des Abstandes der Gläsermitten für Fern- und Nahbrillen. Graefes Arch. **65**, 176; Z.ztg. Opt. u. Mech. **28**, 61 u. 74 (1907).

KOEGEL, HANNS: (a) Pupillenabstand und Refraktion. Z. ophthalm. Opt. **3**, 129 (1916). (b) Pupillenabstand und andere Körpermaße. Z. ophthalm. Opt. **4**, 1, 33, 65, 129 (1916). — KRÄMER: Pupillendistanzmesser. Z. Augenheilk. **64**, 392 (1928). — KUNZ u. OHM: Über photographische Messung des Augenabstandes und der Pupillen bei Bewegung der Augen von unten nach oben in der mittleren Blickrichtung. Graefes Arch. **89**, 468 (1915).

LANDOLT, E.: Das Chiasmometer. Klin. Mbl. Augenheilk. **11**, 450 (1873). — LANGENHAN, F.: Ortsbestimmung des Auges. GRAEFÉ-SAEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 2. Aufl., Bd. 4, Abt. 1, S. 640. 1904.

NITSCHKE u. GÜNTHER: Brillen- und Pupillenabstandsmesser. Z. ophthalm. Opt. **3**, 89 (1916).

OPPENHEIMER, E. H.: Ein neuer Pupillendistanzmesser. Klin. Mbl. Augenheilk. **50** (1), 570 (1912).

RITZMANN, K.: Pupillenabstandsmesser der Emil Busch A.-G. Optische Industrie, Rathenow. Z. ophthalm. Opt. **2**, 155 (1915). — RUFFELL, ERIC: Calculating the near vision pupillary distance. Optician **1929 I**, 259. Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 257.

SCHROETER, PAUL: Der Basalmesser zur Messung des gegenseitigen Abstandes der Drehpunkte beider Augen. Klin. Mbl. Augenheilk. **11**, 37 (1873). — SCIMEMI: Apparecchio per la misura della linea di base. Atti Congr. Soc. ital. Oftalm. **1925**, 127. Ref. Zbl. Ophthalm. **16**, 211. — STEVENSON, CL.: Device for measuring interpupillary distance. Z. ophthalm. Opt. **1**, 87 (1913).

THORNER, WALTER: Verfahren und Vorrichtung zur Messung des Pupillenabstandes. Z. ophthalm. Opt. **17**, 115 (1929). — TRENDELENBURG, W.: (a) Ein genauer Augenabstandsmesser zu subjektivem Gebrauch. Klin. Mbl. Augenheilk. **61**, 564 (1918). (b) Zwei einfache Methoden zur Messung der Augendistanz. Tagg. dtsh. physiol. Ges. Hamburg, Sitzg. 25. bis 28. Mai 1920. Ref. Zbl. Ophthalm. **6**, 235. — TSCHERMAK, A.: Über einen Apparat (Justierblock) zur subjektiven Bestimmung der Pupillendistanz und zur Festsetzung der Stellung der Gesichtslinien. Pflügers Arch. **188**, 21 (1921).

WATT, NORMAN: The interpupillary distance and its importance in refraction routine. Optician **1928 II**, 291. Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 598.

ZEISS, CARL: (a) Augenabstandsmesser. Druckschr. Med. **6** (1907). (b) Augenabstandsmesser. Ref. Z. ophthalm. Opt. **4**, 158 (1916). (c) Marke für einen Augenabstandsmesser. Z. ophthalm. Opt. **4**, 159 (1916).

### III. Die Untersuchung der Pupille.

Die Untersuchung der Pupille erstreckt sich auf ihre Weite und Form sowie auf ihre Bewegungen.

#### 1. Die Pupillometrie.

**Die Form der Pupille.** Abweichungen von der Kreisform sind fast ausnahmslos pathologisch. Diese Feststellung ist klinisch nur auf Grund des unmittelbaren Eindruckes möglich, wenn man nicht eine photographische Aufnahme machen will. Man beschränkt sich meist auf die Konstatierung einer Entrundung, des Vorhandenseins von Einkerbungen, hinteren Synechien und ähnliches.

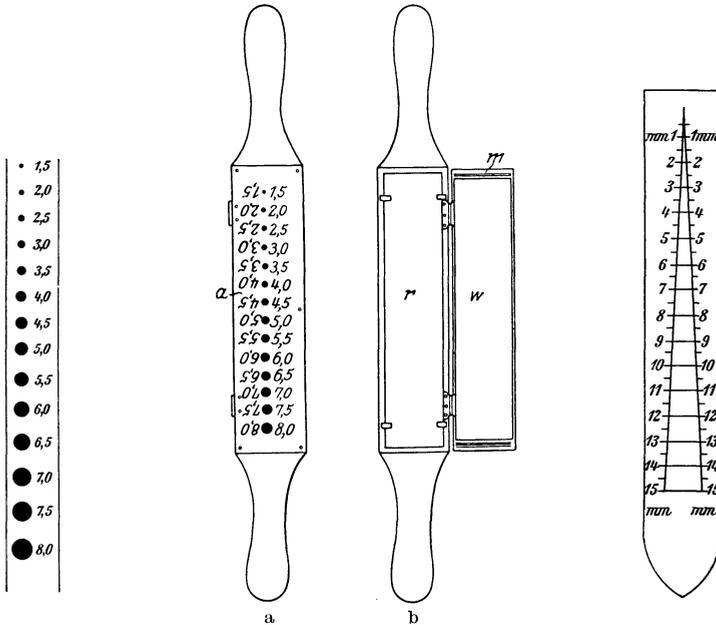


Abb. 17. Pupillometer von HAAB. (Vergrößerung etwa  $\frac{1}{3}$ .)

Abb. 18 a u. b. Pupillometer von KRUSTUS, a von der Vorder-, b von der Rückseite.

Abb. 19. Pupillometer von SCHLÖSSER. (Vergrößerung etwa  $\frac{1}{3}$ .)

Die Messung der Pupillenweite ist leicht nur bei Pupillenstarre auszuführen. Sonst ist sie durch das ständige Pupillenspiel nur in einem bestimmten Augenblick möglich, ohne daß man angeben kann, welche Faktoren für die Weite maßgebend wären.

Von ihnen ist ein Teil statisch, ein Teil dynamisch. Von jenen kommt die mit dem Alter zunehmende Rigidität des Irisgewebes in Betracht.

Neuere Angaben über die Pupillenweite bei Tag und Nacht finden sich in der abgedruckten Tabelle (nach Mitteilungen der Firmen Busch und Nitsche und Günther, Nr. 14, Dezember 1930).

Lebensalter Jahre	Tagespupille mm	Nachtpupille mm	Differenz mm
20	4,7	8	3,3
30	4,3	7	2,7
40	3,9	6	2,1
50	3,5	5	1,5
60	3,1	4,1	1,0
70	2,7	3,2	0,5
80	2,3	2,5	0,2

Über die dynamischen Faktoren ist im Kapitel „Pupille“ in Band 6 dieses Handbuchs das Nötige gesagt. Es möge nur erwähnt sein, daß die Verengung der Pupillen durch Lichteinfall nicht nur von der Intensität der Belichtung sondern auch vom Ort des Auftreffens des Lichtes auf der Retina abhängig ist; die Fovea ist pupillomotorisch stärker erregbar als die Peripherie. Endlich ist der Adaptationszustand von Bedeutung.

Die gegebene Pupillenweite ist also komplexes Resultat verschiedenartiger Einflüsse.

Jede Pupillenmessung bezieht sich nur auf die sog. Eintrittspupille: durch das vorgeschaltete optische System der Hornhaut wird eine Vergrößerung im Verhältnis 10 : 11 bedingt. Da nur bei Wechsel der Vorderkammertiefe sich die Vergrößerung ändert, spielt dieser Faktor für die Pupillometrie keine Rolle.

Die Messung der Pupillenweite mit Maßstäben, die neben das Auge gehalten werden, wie im HAABSCHEN Pupillometer (s. Abb. 17) oder im MORTONSCHEM Augenspiegel geben etwa bis auf  $\frac{1}{4}$  mm genaue Resultate.

Da der schwarze Pupillarsaum bei dieser Art der Messung meist einbezogen wird, wird vielfach die Untersuchung im durchfallenden Licht bevorzugt. Wegen der Irradiation des Lichtes kann aber die aufleuchtende Pupille größer erscheinen als der schwarze Vergleichskreis. Deshalb hat KRUSIUS einen Apparat konstruiert, der auch für die Vergleichsscheiben Durchleuchtung gestattet (s. Abb. 18). Die rote Glasscheibe r, die sich hinter der Skala befindet, dient zur Rotfärbung. Will man die Kreise schwarz verwenden, so klappt man den Rahmen m mit der Metallscheibe vor. Durch das weiße Papier w kann bei schiefer Stellung des Rahmens m das Licht durch das rote Glas geschickt werden, wodurch die Löcher in der Skala aufleuchten.

Die direkte Messung der Pupillenweite ermöglicht das Tangentialpupillometer von SCHLÖSSER, eine in Glas geritzte Skala, die vor die Pupillen gehalten wird (Abb. 19). Auch kann man das Keratoskop von WESSELY (s. S. 839) zu diesem Zwecke benutzen. Wegen des telezentrischen Strahlenganges ist bei diesem der parallaxtische Fehler der sonst wegen des Abstandes der Skala von der Pupille unvermeidlich ist, vermieden. Auch am Hornhautmikroskop kann mit einem Okularmikrometer die Pupillenweite genau gemessen werden. Optische Zuspiegelung einer Skala in die Pupillenebene empfahlen HESS, SCHIRMER, BUMKE und TRENDELENBURG. Man vergleiche auch die Apparate von FERREE und RAND, BLIEDUNG. Exaktere Resultate lassen sich mit dem monokularen bzw. binokularen Pupillometer von KRUSIUS und OHM erreichen.

## 2. Die Prüfung der Pupillenbewegungen (Kinesimetrie).

Die Prüfung der Pupillenreaktion ist methodisch in vielen Richtungen noch unvollkommen. Ein vermeidbarer Fehler liegt darin, daß der Untersucher unbeabsichtigt antagonistische oder synergische Reize auf das Auge einwirken läßt, z. B. die Lichtreaktion in der Weise prüft, daß er sich dicht vor den Patienten stellt und ihn auffordert, den Arzt anzusehen.

Grundsätzliche Fehler liegen in der Schwierigkeit der exakten Ermittlung des zeitlichen Ablaufs der Reaktionen. Hierzu muß man sich der Kinematographie (WEILER, HÜBNER, LÖWENSTEIN, WESTPHAL) oder eines optischen Kymographions (ALFRED FUCHS) bedienen. Im allgemeinen aber werden dem Praktiker diese Verfahren nicht zur Verfügung stehen.

Der zweite Mangel liegt darin, daß wir die Reizstärke quantitativ hinsichtlich Intensität und Dauer nur sehr schwer genau bestimmen können. Dies gilt nicht nur für die Licht-, sondern auch für die Naheinstellungsreaktion, bei der die Größe des vom Patienten aufgetragenen Innervationsimpulses unbekannt bleibt, ebenso wie dessen Ablaufgeschwindigkeit.

Der Einfluß der zeitlichen Dauer des Lichtreizes im Sinne der Chronaxie (LAPICQUE) ist kürzlich durch die Untersuchungen von ZELDENRUST, der einen besonderen Apparat konstruiert hat, berücksichtigt worden.

**Die Untersuchung der Lichtreaktion.** Die Lichtreaktion ist die Antwort auf einen Wechsel der auf die Netzhaut wirkenden Beleuchtungsstärke, sie ist also eine Differenzreaktion, wobei konstanter Adaptationszustand vorausgesetzt ist. Die letzte Forderung ist bei Prüfung im Dunkelzimmer angenähert erfüllt, da wir ja die Untersuchung der Pupillenreaktion innerhalb des Bruchteiles einer Minute vornehmen können<sup>1</sup>. Nicht näher bekannt pflegt dagegen die absolute Höhe des Adaptationszustandes zu sein. Hier kann man bei maximaler Helladaptation (langer Aufenthalt im Freien) bei Prüfung im Dunkelzimmer fälschlicherweise eine Starre annehmen und ähnliches (s. Kap. Pupille in Bd. 6).

<sup>1</sup> Eine Ermüdung des Pupillenspieles kommt, wenn überhaupt, nur nach einer sehr großen Zahl von Verengerungen zustande (NICOLAI).

*Absolute Reizschwelle.* Die Feststellung der minimalen Reizstärke, die nach Aufenthalt im völlig verdunkelten Raum eben noch eine Pupillenreaktion auslöst (BUMKE, ENGLKING u. a.) ist ebenfalls als Prüfung einer Differenzreaktion aufzufassen. Da die Zeitdauer des Reizes bisher nicht Berücksichtigung gefunden hat, ist eine ergänzende Erforschung dieser Reaktion notwendig (s. auch GROETHUYSEN).

Nach den Untersuchungen von HESS ist pupillomotorisch am stärksten die Fovea und ihre unmittelbare Umgebung erregbar. Man tut deshalb gut, vorwiegend diese Partie zu belichten (Blick gegen den hellen Himmel oder direkt in die Lichtquelle). Bei Verdecken und Freigeben des Auges sollte streng genommen jede Berührung der Haut mit der Hand vermieden werden, um nicht den sensiblen Erweiterungsreflex störend eingreifen zu lassen. Neben Ausmaß und Schnelligkeit der Pupillenverengung ist Nachschleppen eines oder des anderen Sektors der Pupille zu beachten. Wirft man, wie im Dunkelzimmer, bei seitlicher Beleuchtung das Licht in die Pupille, so kann wegen der Mindererregbarkeit der peripheren Teile der Netzhaut fälschlich Pupillenstarre oder -trägheit angenommen werden. Bei Betrachtung mit vergrößerndem System, z. B. dem Hornhautmikroskop, sind Störungen der Lichtreaktion leichter festzustellen. Der Patient darf dabei aber nicht etwa das dicht vor dem Auge befindliche Instrument fixieren.

Quantitative Bestimmungen in pathologischen Fällen sind von FACKENHEIM, KOFMAN und BUJADOUX, MAZZUCONI und MODONESI ausgeführt worden.

Auch zur Prüfung der konsensuellen Reaktion kann das Hornhautmikroskop verwendet werden. Meist beobachtet man sie aber beim Blicken gegen den hellen Himmel und abwechselndem Verdecken und Freigeben des anderen Auges. Namentlich achte man beim Verdecken des einen Auges auf Pupillenerweiterung des anderen. Diese Reaktion ist oft deutlicher als die Verengungsreaktion.

#### Die Untersuchung besonderer Verhaltensweisen der Lichtreaktion.

##### *Untersuchung auf hemianopische Pupillenstarre (Hemikinesimetrie).*

Über die Hemikinesimetrie finden sich Angaben in Bd. 6, S. 123 f., auf die verwiesen sei. Wichtig ist, daß die diffuse Beleuchtung der Macula konstant gehalten wird. Das geschieht mittelst des Apparates von HESS (s. Abb. 20), der in Band 6 beschrieben ist. Der Apparat hat den Fehler, daß der Patient genötigt wird, einen nahegelegenen Punkt zu fixieren, wodurch eine Naheinstellungsreaktion der Pupille ausgelöst wird. Diese Fehlerquelle wird auch bei der Methode von BEHR (zwei an Holzarmen hängende, gleich starke Glühbirnen, die wechselweise ein- und ausgeschaltet werden) nicht ganz vermieden. Dem Hessschen Apparat ähnliche Verfahren sind von JESS und BRAUN angegeben. Einwandfrei ist der Apparat von SCHLESINGER, der aber in nur wenigen Exemplaren angefertigt worden ist.

Zur Untersuchung der Unterschiedsschwelle bei sukzessiver Belichtung dient das *Differentialpupilloskop* von HESS (s. Abb. 21), das auch die optische Unterschiedsempfindlichkeit zu bestimmen erlaubt.

Die Beobachtung wird durch ein kleines Fernrohr vollzogen, das eine Vergrößerung von etwa  $8 \times$  besitzt. Zur Belichtung dient eine Nitralampe. Von dieser wird durch ein rechtwinklig zum Beleuchtungsrohr stehendes System in etwa 20 cm von der Frontlinse ein gleichmäßig helles Lichtfeld von 1,5–2 cm Durchmesser entworfen. Unmittelbar vor der Frontlinse ist ein Doppelrahmen angebracht, der zum Zwecke der Wechselbelichtung durch einen Hebel auf und ab bewegt werden kann. Die untere Hälfte wird von zwei durch eine Schraube gegeneinander verschiebbaren Graukeilen (GOLDBERG) eingenommen. In der einen Endstellung überdecken sich die Basen der Keile, und hier wird dementsprechend ein Minimum an Licht durchgelassen, in der anderen decken sich die Kanten, so daß dann das Maximum des Lichtdurchtrittes stattfindet. An einer Millimeterskala kann die gegenseitige Stellung abgelesen werden. Für jede ist in einer Tabelle die Prozentzahl des durchgelassenen Lichtes angegeben. Die obere Hälfte des Doppelrahmens trägt einen Schieber mit 3 Graugläsern oder einen anderen mit 4 farbigen Gläsern. Je nach der

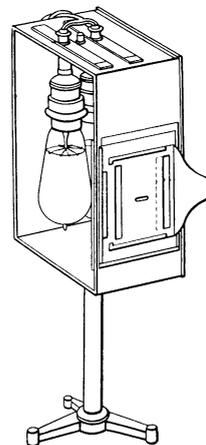


Abb. 20.  
Hemikinesimeter.  
(Nach v. HESS.)

Einstellung des oberen Rahmens wird bei Verschiebung des Hebels eines der Graugläser (von bekannter Lichtdurchlässigkeit) oder ein farbiges Glas in den Strahlengang eingeschaltet. Es läßt sich auf diese Weise feststellen, wie groß der Intensitätsunterschied der im Wechsel das Auge treffenden Strahlungen sein muß, um eine merkliche Pupillenreaktion zu bewirken. Der Apparat dient also nicht nur dazu, bei tonfreier (farbloser) Belichtung die Unterschiedschwelle für sukzessive Belichtungen zu ermitteln, sondern erlaubt auch eine *heterochrome Pupillometrie*.

Durch GROETHUYSEN sind eingehende Untersuchungen mit dem Apparat vorgenommen worden; er findet, daß normalerweise zwei Lichtstärken, die sich wie 95 : 100 verhalten, eine Pupillenverengung bei Einwirkung des intensiveren Lichtes auslösen und umgekehrt (Einwände s. S. 858). Er hat auch an einem größeren Material krankhafter Pupillenreaktionen die Abweichungen von der Norm festgestellt. Dem Apparat haften gewisse

Fehlerquellen an, insbesondere die zeitweise Beschattung durch den Rahmen. Der Fehler ist von ENGEL vermieden worden. Einen handlichen Apparat als Zusatzgerät zum Hornhautmikroskop hat SANDER neuerdings konstruiert.

*Entoptische Methode.* Bei Anbringen eines feinen Loches im vorderen Brennpunkt des Auges erscheint die Pupille im entoptischen Gesichtsfeld als Kreis, dessen Verengung und Erweiterung leicht beobachtet werden kann. So läßt sich nach dem Vorgange von HESS die konsensuelle Reaktion untersuchen. BROCA benutzt neuerdings dazu zwei feine stenopäische Löcher. Der Abstand ihrer Mittelpunkte ist dann gleich dem Durchmesser der Pupille, wenn sich die beiden nebeneinander gelegenen Zerstreuungskreise gerade berühren. Durch Zusatzvorrichtungen kann eine genaue Messung erreicht werden (s. hierzu auch KREIKER).

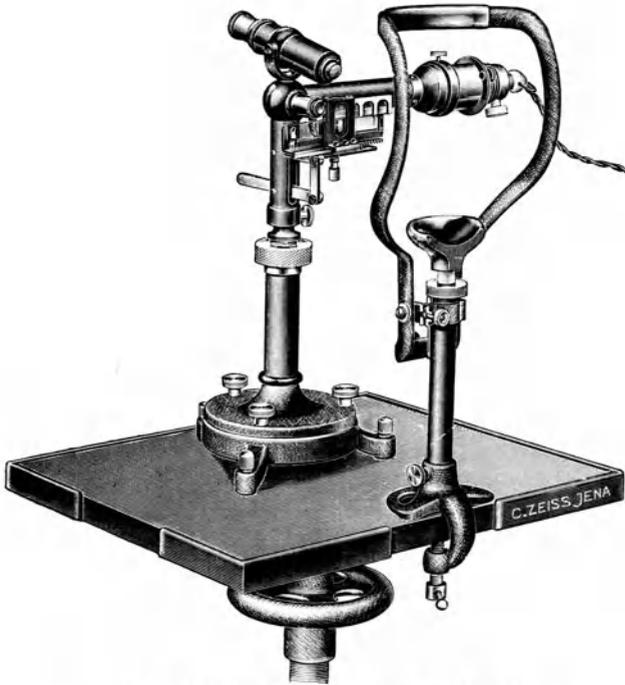


Abb. 21. Differentialpupilloskop. (Nach v. HESS.)

**Die Untersuchung der Naheinstellungsreaktion.** Wegen der Koppelung der Naheinstellungsreaktion mit der Konvergenzbewegung ist ihre Beobachtung erschwert. Insbesondere ist die Prüfung am Hornhautmikroskop hier kaum anwendbar.

Um einen möglichst starken Naheinstellungsimpuls zu erzielen, ist es notwendig, daß man den Patienten erst in die Ferne blicken und dann plötzlich den etwa bis auf 5—10 cm vorgehaltenen Finger des Arztes fixieren läßt.

Von zwei *Fehlern*, die oft gemacht werden, besteht der eine darin, daß man den Finger nur langsam annähert; hierdurch steigt die Innervation für die Naheinstellung und damit auch für den Sphincter pupillae ebenfalls nur allmählich an, so daß die Bewegung der Pupille undeutlich werden kann. Der zweite Fehler beruht darauf, daß man den Patienten gegen eine helle Fläche oder gar gegen den Himmel blicken läßt und nun die Naheinstellungsreaktion untersucht. Hierdurch kann sie als fehlend erscheinen. Auch hier empfiehlt sich, analog wie bei der Prüfung der konsensuellen Reaktion, nicht nur die Verengung bei der Naheinstellung, sondern auch die Erweiterung der Pupille beim Wechsel von der Nah- zu der Feineinstellung zu beobachten.

**Die Untersuchung des Orbicularisphänomens.** Man läßt den Patienten erst zur Übung mehrfach krampfhaften Lidschlag ausführen, wobei darauf zu achten ist, daß auch die für

die Lidschlußreaktion vor allem in Betracht kommende palpebrale Portion des Musculus orbicularis kontrahiert wird. Ist das geschehen, so verhindert man durch Hochziehen des Oberlides den Lidschluß und läßt den Patienten jetzt die Innervation aufbringen. Auf diese Weise kann man die Verengung z. B. bei reflektorischer Starre nachweisen. Noch sicherer gelingt aber in diesem Fall der Nachweis des Orbicularisphänomens, wenn man die Erweiterung der Pupille unmittelbar nach der Lidöffnung feststellt.

**Die Untersuchung der galvanischen Reaktion.** BUMKE empfiehlt eine 80 qcm große Elektrode auf dem Brustbein, die Reizelektrode von 10 qcm auf der Schläfe anzubringen. Will man nur die konsensuelle galvanische Reaktion prüfen, so kann man auch die Elektrode auf das geschlossene Auge aufsetzen. Im ersten Falle genügt eine durchschnittliche Stromstärke von 2—4 Milliampère, im zweiten eine solche von 0,3 Milliampère, um bei Anodenschluß eine Verengung der gleichseitigen bzw. der kontralateralen Pupille zu bewirken.

**Die Untersuchung der Erweiterungsreaktion.** Die Erweiterungsreaktion der Pupille ist von relativ geringer klinischer Bedeutung. Sie spielt bei der psychiatrischen Prüfung auf Katatonie eine Rolle. Hier ist sie vermindert oder aufgehoben.

Man kann sie etwa so prüfen, daß man schmerzhafte Reize auf der Haut des Gesichtes (Kneifen, Nadelstiche oder dgl.) appliziert, doch ist sie bei entsprechender Reizstärke auch von jedem anderen Teil des Körpers auslösbar. So vermag man eine reflektorische Pupillenstarre vorzutäuschen, wenn man im Moment des Einwirkens des Lichtreizes einen schmerzhaften Reiz irgendwo am Körper unbemerkt vom Untersucher ausübt. Genaue quantitative Methoden zur Untersuchung der Erweiterungsreaktion liegen meines Wissens nicht vor.

Über *Untersuchung seltener bzw. ungewöhnlicher Verhaltensweisen* der Pupille, wie die tonische Reaktion und andere, braucht hier nichts gesagt zu werden. Es genügt, in dieser Hinsicht auf das Kapitel „Pupille“ in Band 6 dieses Handbuchs zu verweisen. Aus dieser Darstellung lassen sich unschwer die nötigen Untersuchungsverfahren ableiten.

Die *pharmakologische Untersuchung* der Pupille und ihrer Innervation ist ebenfalls in dem angeführten Abschnitte dieses Handbuchs behandelt. Auch sei unter anderem auf die Untersuchungen von E. BRILL und R. THIEL verwiesen.

## Literatur.

### *Untersuchung der Pupille.*

ALEXANDER, E. F.: Measurement of the diameters of the cornea and pupil, and the inter-pupillary distance. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **43**, 354 (1923).

BARKAN, O.: Differential pupilloscopy. Arch. of Ophthalm. **51**, 29 (1922). — BEHR, C.: (a) Zur Physiologie und Pathologie des Lichtreflexes der Pupille. Graefes Arch. **86**, 468 (1913). (b) Die Lehre von den Pupillenbewegungen. GRAEFE-SÄEMISCH'S Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl., Untersuchungsmethoden, Bd. 2. 1924. (c) Ergebnisse der Pupillenforschung. Zbl. Ophthalm. **14**, 465 (1925). — BLEDUNG: Ein optisches Pupillometer. Dtsch. Z. gerichtl. Med. **6**, 32 (1925). — BRAUN, F.: Ein neues Hemikinesimeter. Klin. Mbl. Augenheilk. **87**, 441 (1931). — BRILL, E. u. R. THIEL: Ein Beitrag zur Methode der pharmakodynamischen Prüfung des vegetativen Nervensystems. Arch. f. exper. Path. **106**, 327 (1925). — BROCA, ANDRÉ: Un pupillomètre. Rev. d'Opt. **3**, 493 (1924). Ref. Zbl. Ophthalm. **14**, 907. — BUMKE: Die Pupillenstörungen bei Nerven- und Geisteskrankheiten, 2. Aufl. Jena 1911.

ENGEL, S.: Widerstandspupilloskop. Ein neuer Apparat zur Messung der motorischen und optischen Unterschiedsempfindlichkeit. Arch. Augenheilk. **103**, 657 (1930). — ENGELKING, E.: Der Schwellenwert der Pupillenreaktion und seine Beziehungen zum Problem der pupillomotorischen Aufnahmeorgane. Z. Sinnesphysiol. **50**, 319 (1919).

FACKENHEIM: „Pupillenreaktionsmesser.“ Ein Apparat zur zahlenmäßigen Feststellung der Pupillenreaktion. Dtsch. med. Wschr. **47**, 238 (1921). — FERREE, C. E. and G. RAND: (a) A pupillometer. Amer. J. Ophthalm. **8**, 945 (1925). (b) An instrument for measuring the breadth of the pupil. Amer. J. Psychol. **38**, 292 (1927).

GIFFORD, SANFORD R. and LEO MAYER: The clinical use of the Sander pupilloscope. Arch. of Ophthalm. **6**, 63 (1931). — GJESSING, HARALD G. A.: A slight improvement in the method of examining the pupil-reaction. (Combined simultaneous use of the Lucanus-Lamp of the corneal microscope and Gullstrands slit-lamp). Acta ophthalm. (Københ.) **8**, 233 (1930). — GROETHUYSEN, G.: Über die Beziehungen zwischen motorischer und optischer Unterschiedsempfindlichkeit bei normalen und krankhaften Zuständen des Sehorgans. Arch. Augenheilk. **87**, 152; **88**, 82 (1921).

HESS, C. v.: (a) Demonstration eines Instrumentes zur Messung von Pupillendurchmesser und Pupillendistanz. Ber. 23. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1893**, 235. (b) Untersuchungen über die Ausdehnung des pupillomotorisch wirksamen Bezirkes der Netzhaut und über die pupillomotorischen Aufnahmeorgane. Arch. Augenheilk. **58**, 182 (1907).

(c) Methoden zur Untersuchung des Licht- und Farbensinnes sowie des Pupillenspieles. *ABDERHALDENS* Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. V, Teil 6, Lief. 41. 1921.

KARPOW, C.: Über die Ergebnisse einiger Untersuchungen mit dem von HESSschen Differentialpupillooskop. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **71**, 57 (1923). — KLEEFELD, G.: Pupillométrie physiologique et pathologique. Une nouvelle méthode de mensuration du réflexe photomoteur de la pupille. *Annales d'Ocul.* **158**, 4 (1921). — KOFMAN et BUJADOUX: (a) Le Réflexomètre pupillaire (présentation de l'appareil). *C. r. Soc. Biol. Paris* **86**, 1165 (1922). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **8**, 324. (b) Les résultats de la réflexométrie dans l'étude du réflexe photomoteur normal. *C. r. Soc. Biol. Paris* **86**, 1166 (1922). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **8**, 324. (c) Recherches sur la réflexométrie pupillaire normal et pathologique. *Annales d'Ocul.* **160**, 943 (1923). — KREIKER, A.: Einige nicht der Mikroskopie des Auges dienende Verwendungsmethoden der Spaltlampe. *Z. Augenheilk.* **55**, 45 (1925). — KRUSIUS: (a) Über ein Unokularpupillometer. *Arch. Augenheilk.* **57**, 97 (1907). (b) Demonstration eines Binokularpupillometers. *Ber. 34. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg* **1907**, 352. (c) Isochrome Pupillenskala zur Messung in auf- und durchfallendem Lichte. *Z. Augenheilk.* **21**, 208 (1909).

LAST, S. L.: Die Frühdiagnose der luischen Pupillenstörung mit dem HESSschen Differentialpupillooskop. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* **107**, 243 (1929). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **21**, 844. — LÖWENSTEIN, O.: Über die Variationsbreite des Lichtreflexes und der Psychoreflexe der Pupillen. *Arch. f. Psychiatr.* **82**, 285 (1927). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **19**, 634.

MAZZUCCONI, M.: La riflesometria pupillare con l'apparecchio KOFMAN e BUJADOUX modificato. *Ann. Ottalm.* **53**, 808 (1925). — MEINERI, L.: Il pupilloscopio differenziale di HESS. *Giorn. Med. mil.* **75**, 593 (1927). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **21**, 211. — MODONESI, FILIPPO: Contributo alla semiologia pupillare con presentazione ed illustrazione di un nuovo apparecchio „il pupilloscopio“ e i suoi vantaggi. *Bull. Sci. med.* **101**, 133 (1929). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **22**, 168.

NICOLAI, G. F.: Erfahrungen mit Pupillenmessung. *Rev. Asoc. méd. argent.* **1929**, 221. *Ref. Zbl. Ophthalm.* **22**, 375.

OVIO: Il metodo di GALILEO GALILEI per misurare la grandezza della pupilla. *Atti Congr. Soc. ital. Oftalm.* **101** (1925). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **16**, 211.

PACALIN, G.: De l'utilisation de l'éclaireur par contact pour la recherche des réflexes pupillaires photo-moteurs et l'examen des images de PURKINJE. *Arch. d'Ophthalm.* **42**, 735 (1925). — PILTZ: Ein neuer Apparat zum Photographieren der Pupillenbewegungen. *Neur. Zbl.* **23**, 801 u. 853 (1904). *Ref. Nagels Jber.* **1904**, 78.

REITSCH, W.: Funktionsprüfung der pupillomotorischen Zone und ihr Wert für die Beurteilung des Auges. *Graefes Arch.* **106**, 166 (1921).

SANDER, E.: Über quantitative Messung der Pupillenreaktion und einen in der Praxis hierfür geeigneten einfachen Apparat. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **83**, 318 (1929). — SCHLESINGER: (a) Ein neuer Apparat zum Studium der Physiologie und Pathologie des Pupillenreflexes (Peripupillometer). *Z. Augenheilk.* **62**, 96 (1927). (b) Zur Physiologie und Pathologie des Pupillenreflexes auf Grund neuer Arbeitsmethoden. *Nervenarzt* **1**, 337 (1928). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **20**, 687. — SCHLÖSSER: Demonstration eines Pupillometers. *Ber. 23. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg* **1893**, 234. — SCHÖFFER: Erfahrungen mit dem SANDERSchen Pupillometer. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **83**, 354 (1929).

TRENDELENBURG, W.: Ein einfacher Apparat zur genauen Messung des Augenabstandes, der Pupillenweite, der Hornhaut und des Exophthalmus. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **65**, 527 (1920).

WEILER: Untersuchung der Pupille und der Irisbewegungen beim Menschen. Berlin: Julius Springer 1911.

#### IV. Ophthalmoskopie.

Bei der Ophthalmoskopie gelten physikalisch ähnliche Bedingungen wie bei der Untersuchung mittels seitlicher Beleuchtung, nur verleiht die Vorschaltung des brechenden Systems der Methode ihre Eigenart.

Der Augenspiegel läßt sich für den vorderen Augapfelabschnitt ebenfalls zur Untersuchung im reflektierten Licht verwenden, wenn man den Fokus des Konkavspiegels statt der Sammellinse benutzt. PICK hat angegeben, daß man bei seitlicher Blickrichtung des Patientenauges dabei die Diskontinuitätszonen der Linse in ähnlicher Weise sehen könne wie an der Spaltlampe.

Die spezifische Anwendung des Augenspiegels im reflektierten Licht erstreckt sich auf die Untersuchung des Augenhintergrundes und die Ophthalmoskopie der Kammerbucht bzw. der Gegend der Ora serrata. Ihr gegenüber steht die Untersuchung im durchfallenden Licht, wobei das aus dem Augeninnern zurückkehrende Strahlengemisch von hinten her die brechenden Medien durchleuchtet.

**1. Die Untersuchung mittels des Augenspiegels im durchfallenden Lichte.**

Für die Sichtbarkeit von Trübungen kommen in Betracht:

1. Die Qualität und Intensität des Lichtes,
2. die Dichte und Ausdehnung der Trübungen und
3. der Adaptationszustand des Beobachters, der den Kontrast, der durch die beiden ersterwähnten Momente entscheidend beeinflusst wird, zu vermindern oder zu steigern vermag.

Da Trübungen einerseits das in das Auge eindringende Licht selbst zurückwerfen, andererseits aber die aus dem Augenhintergrund zurückkehrende Strahlung zum Teil nach hinten reflektieren, zum Teil durchlassen, so setzt sich im Bereich der Trübungen das physiologisch wirksame Strahlungsgemisch aus zwei Komponenten, dem nach vorn reflektierten und dem von hinten her durchgelassenen Lichte, zusammen. Für das Aussehen der Trübung muß sich aber nicht nur diese sozusagen lokale Färbung bemerkbar machen, sondern auch die physiologisch bedingte kontrastive Beeinflussung von der Umgebung, d. h. von dem hellrot aufleuchtenden Teil der Pupille. Der Anteil des reflektierten Lichtes kommt besonders bei ausgedehnten und dichten Trübungen durch Weißfärbung in Betracht. Sonst ist infolge des starken Überwiegens des Kontrast-schwarzes eine dunkler Schatten im Rot der Pupille zu erkennen. Bei schwachem Licht kann dieser Schatten infolge des Kontrastes zum Rot auch grünlich werden (RUERE 1852).

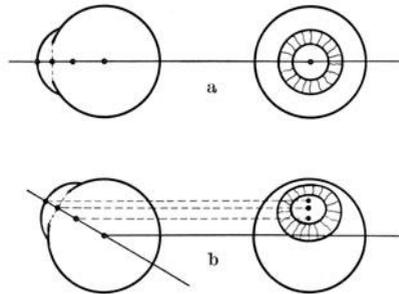


Abb. 22 a u. b. Parallaxische Verschiebung von Trübungen in den brechenden Medien, die an verschiedenen Stellen der optischen Achse liegen (Hornhaut, Pupillarebene, hinterer Linsenpol, Mitte des Glaskörpers). Beim Blick geradeaus (Abb. 22a) decken sich alle Trübungen und es erscheint nur ein Schatten in der Mitte der Pupille. Beim Blick nach oben bewegen sich die vor der Pupillarebene gelegenen Trübungen relativ nach oben, die dahinter gelegenen nach unten. In der Pupillarebene findet keine Verschiebung statt. (Nach BRÜCKNER-MEISNER.)

Da nach physikalischen Gesetzen ein Schatten um so schärfer begrenzt ist, je kleiner die Lichtquelle ist, durch die er erzeugt wird, und wegen des auftretenden Halbschattens um so verwaschener, je breiter jene ist, so steht zu erwarten, daß Trübungen in den brechenden Medien um so schärfere Schatten geben werden, je umschriebener die belichtete Partie im Augenhintergrunde ist, von der die Strahlen wieder zurückgehen. Aus diesem Grunde empfiehlt NORDENSON die Verwendung der Pointelitelampe bei der Untersuchung im durchfallenden Lichte. Hierauf hat neuerdings auch FREY aufmerksam gemacht, der den Konkav- und Planspiegel bei verschiedenen Lichtquellen auf ihre Brauchbarkeit verglichen hat. Auch der Faden des Intensivlichtes gibt oft bessere Resultate als die gewöhnliche Spiegellampe.

Zu hohe Lichtintensität kann auch bei punktförmiger Lichtquelle durch Irradiation bzw. Beugung feinste Trübungen weggleuchten. Licht beschränkter Spektralbereiches, wie z. B. das rotfreie, wird namentlich wegen der Chromasie des Auges die Schatten begrenzen, da die Schärfe des Netzhautbildes steigt.

Bei Verwendung eines Plan- oder Konkavspiegels ist auch von Einfluß, wo das Bild, welches von dem Spiegel entworfen wird, infolge der Brechung im optischen Systeme des untersuchten Auges liegt.

Diffuse Hornhauttrübungen sind schwerer zu erkennen als punktförmige Präcipitate. Auch ist die Abschwächung des Schattens durch das von der Trübung selbst reflektierte Licht zu berücksichtigen.

Manche lokalen Unterschiede in dem Brechungsindex, insbesondere der Linse, lassen im durchfallenden Licht nicht Trübungen, sondern aufleuchtende hellere Striche, Punkte u. dgl. erkennen (Glasspeichen). Das Phänomen beruht darauf, daß eine mehr oder weniger totale Reflexion des von vorne auffallenden Lichtes stattfindet, während das von hinten zurückkehrende entweder ebenfalls wieder nach hinten zurückgeworfen wird oder sich zu dem nach vorn reflektierten addiert.

**Lupenspiegel.** Schon HIRSCHBERG hat für die Untersuchung im durchfallenden Licht empfohlen, nicht nur das unbewaffnete Auge zu benutzen, welches namentlich bei abnehmender Akkommodationsbreite die genügende Annäherung, die bei feinen Trübungen erforderlich ist, verwehrt, sondern den Lupenspiegel. Er besteht darin, daß man im Refraktionsspiegel stärkere Sammellinsen einschaltet. Hierdurch ist es auch ermöglicht, auf verschieden tief gelegene Trübungen einzustellen: je stärker die Lupe gewählt wird, um so weiter vorn müssen die Trübungen liegen, um scharf gesehen zu werden.

Die **Lokalisation der Trübungen** mit Hilfe der parallaktischen Verschiebung läßt sich auf zwei Arten ausführen. Entweder der Patient hält das Auge still und der Arzt bewegt sich frontal parallel in verschiedenen Richtungen zum Auge, oder der Patient bewegt sein Auge. Da es sich hierbei um eine relative (scheinbare) Ortsänderung handelt, muß diese sog. parallaktische Verschiebung<sup>1</sup> in den beiden Fällen natürlich entgegengesetzt gerichtet sein.

Während früher wohl gelegentlich bei Bewegungen des Patientenauges der Ort des Drehpunktes als maßgebend für die Richtung, in der die parallaktische Verschiebung erfolgt, angesehen wurde, ergeben eine einfache Überlegung und die Tatsache, daß wir die genau analogen, nur entgegengesetzt gerichteten parallaktischen Verschiebungen am stillstehenden Patientenauge und frontal parallel zum Gesicht des Kranken vorgenommenen Bewegungen des Arztauges sehen, die Unrichtigkeit dieser Vorstellung. Die relative Lageverschiebung wird bezogen auf die Pupillarebene, auf die sich die Trübungen projizieren (s. Erklärung zu Abb. 22 a u. b). Das Ausmaß der parallaktischen Verschiebung wird um so erheblicher sein, je weiter entfernt die Trübung von der Pupillarebene sich befindet, da die Exkursion des optischen Hebelarmes natürlich dann um so größer ausfällt.

## 2. Die Ophthalmoskopie im engeren Sinne.

### a) Die Farbe des Augenhintergrundes beim Ophthalmoskopieren.

Das Aussehen der Einzelheiten des Augenhintergrundes ist von verschiedenen Faktoren abhängig.

**Art der Lichtquelle.** Da im Vergleich zum Tageslicht unsere künstlichen Lichtquellen relativ mehr langwellige als kurzwellige Strahlen aussenden, erscheinen die Einzelheiten des Augenhintergrundes durchweg in anderer Farbe als bei Verwendung des „weißen“ Tageslichtes.

Dieses ist zum Spiegeln vor allem von LANDOLT empfohlen worden; wegen seiner Inkonstanz wird es aber kaum verwendet. Da auch innerhalb der künstlichen Lichtquellen die Zusammensetzung schwankt, muß man sich vor diagnostischen Fehlern, z. B. beim Rot- oder Weißerscheinen einer normalen Papille hüten. Am sichersten geht der Augenarzt, wenn er stets dieselbe Lichtquelle benützt und sich dadurch gewisse Äquivalentbilder einprägt.

**Die Eigenfarbe** der beleuchteten Partien des Augenhintergrundes wird dadurch bestimmt, daß ein Teil des auffallenden Lichtes absorbiert, ein Teil reflektiert wird. Die Zurückwerfung erfolgt nicht nur an der Oberfläche, sondern auch an den tieferen Lagen. Dadurch kann eine doppelte Absorption bestimmter Wellenlängen eintreten. Für das Aussehen des Fundus ist dieser Anteil des Lichtes wichtig, da der Pigmentgehalt des Pigmentepithels stark variiert (s. Bd. 5, S. 388 f.).

**Blutgehalt.** Ein weiterer Faktor für das Aussehen des Fundus ist das Blutrot. Je nach der verschiedenen Füllung der Capillaren wird der Farbenton sich ändern.

MARX, der für die Fundusfarbe vor allem die verschiedene Pigmentierung als maßgebend ansah, weil er die Hämoglobinlinien im Licht, das aus dem Kaninchenaug zurückkehrte, nicht feststellen konnte, dürfte mit seiner Ansicht nur teilweise Recht haben. Wenn auch zweifellos das Pigmentepithel sehr wesentlich ist (z. B. Abb. 5 in Bd. 5, S. 389 dieses Handbuchs), so ist doch KOPY und neuerdings BAURMANN der spektroskopische Nachweis gelungen, daß auch der Blutgehalt die Färbung wesentlich beeinflusst.

*Zur Feststellung einer bestimmten Farbennuance* im Augenhintergrund kann man nach dem Vorschlage von KLEEFELD eine Vergleichsfarbe sich zuspiegeln, und bei binokularer Beobachtung mit einem Auge das ophthalmoskopische Bild, mit dem anderen die Vergleichsfarbe beobachten. Auch der OSTWALDSche Farbenatlas läßt sich hier verwenden.

<sup>1</sup> Unter Parallaxe (= Abweichung) versteht man in der Astronomie den Unterschied der Richtungen nach dem nämlichen Gegenstand (Stern) von zwei verschiedenen Punkten aus, hier die durch Ortsveränderung des Beobachters auftretende scheinbare Verschiebung von Objekten gegeneinander.

## b) Das Augenspiegelbild.

Die elementaren Fragen bei der Handhabung des Augenspiegels brauchen hier nicht besprochen zu werden. Wie verwickelt das Problem eigentlich ist, zeigen die Darlegungen von GULLSTRAND.

**Die direkte Ophthalmoskopie oder die Untersuchung im aufrechten Bilde.** Diese von HELMHOLTZ im Jahre 1851 angegebene Methode hat zur Voraussetzung, daß die eigene Pupille des Beobachters, die sich auf der Netzhaut des Untersuchten abbildet, leuchtet.

In früheren Zeiten hatte man sich die Frage vorgelegt, warum es für gewöhnlich nicht möglich ist, die Pupille aufleuchten zu sehen, und hierfür insbesondere eine Absorption des Lichtes in den Pigmentschichten des Auges angeschuldigt. Die älteren Aufsätze auf diesem Gebiet von BRÜCKE, CUMMING, KUSSMAUL, die als Vorläufer von HELMHOLTZ angesehen werden können, sind von ARTHUR KÖNIG gesammelt herausgegeben. Sie sind eine anregende Lektüre zur Kenntnis der Vorgeschichte und Entwicklung einer wichtigen Entdeckung.

Ein einfaches Modell in Gestalt einer schmalen Dunkelröhre, die am Ende verschlossen ist, hat LANDOLT angegeben. Blickt man direkt in die Röhre hinein, so erscheint sie im Inneren dunkel, weil der Kopf des Beobachters den Lichteintritt verwehrt. Hält man einen Spiegel vor das Auge, so leuchten die Wände auf.

Bei der Entstehung des Augenspiegelbildes am lebenden Auge erscheinen demgegenüber die Verhältnisse zunächst dadurch verwickelt, daß noch ein Sammelsystem vorgeschaltet ist.

Ist das Auge emmetropisch, so werden die in das Auge einfallenden Strahlen, gleichgültig ob die Lichtquelle in endlicher oder unendlicher Entfernung sich befindet, bei Akkommodationsruhe parallel wieder austreten. Da sich die Netzhaut, wenn wir von dem Astigmatismus schiefer Bündel, der

im menschlichen Auge nicht korrigiert ist, absehen, in dem Abstand der Brennweite vom brechenden System befindet, so wird jeder ihrer Punkte, der beleuchtet ist, Lichtstrahlen von einer solchen Divergenz aussenden, daß sie nach dem Austritt aus dem Auge parallel verlaufen (s. Abb. 23<sup>1</sup>). Ist das Auge fehlsichtig, so werden beim myopischen Auge (Abb. 24), da die Netzhaut sich weiter als die Brennweite vom brechenden System befindet, die Strahlen konvergent, beim hypermetropischen (s. Abb. 25) divergent das Auge verlassen. Das Bild des Augenhintergrundes wird also beim emmetropischen Auge in der Unendlichkeit, beim myopischen in endlicher Entfernung *vor* (reell, umgekehrt) beim hypermetropischen *hinter* dem Auge (virtuell, aufrecht) zustande kommen.

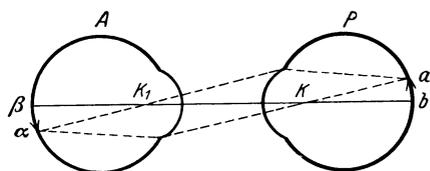


Abb. 23. Entstehung des Augenspiegelbildes bei Emmetropie sowohl des Patienten- ( $P$ ) als auch des Arztauges ( $A$ ). Von einem Gegenstand  $ab$  im Hintergrund von  $P$  treten parallele Strahlen aus, die von  $A$  zu einem umgekehrten Bilde  $\alpha\beta$  vereinigt werden.  $K, K_1$  Knotenpunkte von  $P$  und  $A$ . Der Spiegel ist nicht gezeichnet.

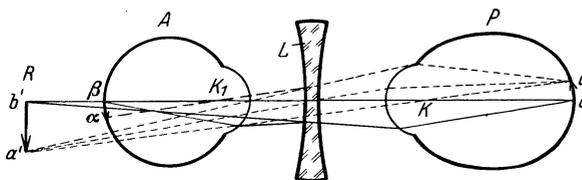


Abb. 24. Entstehung des Augenspiegelbildes bei Myopie des Patientenauges  $P$  und Emmetropie des Arztauges  $A$ . Von  $ab$  würde ohne Einschaltung der Linse  $L$  von  $A$  im Fernpunkt  $R$  ein umgekehrtes Bild  $a'b'$  entworfen werden. Durch Einschaltung der Linse  $L$ , deren Brennpunkt sich in  $R$  befindet, werden die Strahlen parallel gemacht und dadurch die Abbildung in  $A$  ( $\alpha\beta$ ) ermöglicht. Ist  $A$  weiter entfernt, so kann  $a'b'$  direkt als umgekehrtes Bild gesehen werden.

<sup>1</sup> Die Abb. 23, 26 und 28–29 sind unter Benutzung der Figuren von LANDOLT (GRAEFKE-SÄEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl., Untersuchungsmethoden, Bd. 1) angefertigt.

Der Beobachter hat nun die Aufgabe, in allen Fällen von diesem Bilde des Augenhintergrundes, *das für sein eigenes Auge zum Objekt wird*, ein Bild auf seiner Netzhaut zu gewinnen.

Bei *emmetropischer Refraktion* des untersuchten Auges ist das nur möglich, wenn der Arzt sich einen Spiegel vorhält, am einfachsten, eine unbelegte Spiegelglasplatte. Wenn er selbst emmetropisch ist, werden dann die aus dem Auge zurückkehrenden Strahlen zum Teil durch diese durchtreten und nun als paralleles Strahlenbündel in die Untersucherpupille gelangen. Da der Beobachter als Emmetrop bei Akkommodationsruhe auf parallele Lichtstrahlen eingestellt ist, wird er ein scharfes Bild des Augenhintergrundes erhalten.

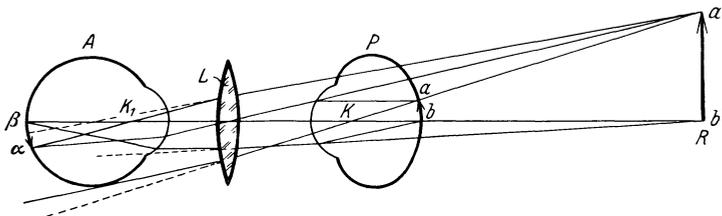


Abb. 25. Entstehung des Augenspiegelbildes bei Hypermetropie des Patientenauges P. Vom Gegenstande *ab* im Hintergrunde von P würde ohne Vorschaltung der Sammellinse *L* im Fernpunkte *R* in *a'b'* ein Bild entworfen werden. Die Linse *L* stellt das emmetropische Beobachterauge *A* auf diese Entfernung ein, so daß ein umgekehrtes Bild *alpha beta* in ihm entsteht.

Gegenstand für dieses Bild ist also das vom Augenhintergrund durch das dioptrische System des untersuchten Auges in unendlicher Entfernung entworfene Bild.

Besteht *Kurzsichtigkeit des untersuchten Auges und Emmetropie des Beobachters*, so lassen sich die Verhältnisse, wenn wir eine stärkere Myopie annehmen, an der Hand der Abb. 24 leicht klarmachen. Ist das Beobachteraue dem Patientenaue soweit genähert, daß es sich innerhalb der Schnittweite, also näher als *R* befindet, so ist es bei emmetropischer oder myopischer Refraktion des Beobachteraues unmöglich, ein scharfes Bild zu erhalten, da die Konvergenz der Strahlen, die aus dem Patientenaue austreten, durch das brechende System des Beobachteraues noch weiter gesteigert wird. Es muß deshalb als Bild in Zerstreuungskreisen auf der Netzhaut des Arztes entstehen. Nur dann, wenn dessen Auge einen passenden Grad von Hypermetropie besitzt, oder ein entsprechendes Konkavglas vorgesetzt erhält, wird es möglich sein, die Einzelheiten des Patientenfundus deutlich zu erkennen.

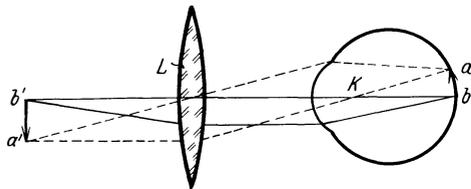


Abb. 26. Entstehung des umgekehrten Augenspiegelbildes. Bei Emmetropie treten die Strahlen parallel aus, durch die Konvexlinse *L* wird vom Objekt im Augenhintergrund *ab* ein umgekehrtes Bild *a'b'* im Brennpunkte der Linse entworfen.

sondern nur ein myopisches, dessen Fernpunkt mit dem Orte des Bildes von dem Augenhintergrund des hypermetropischen Patientenaues zusammenfällt; andernfalls muß dem untersuchenden Auge ein entsprechendes Sammellglas vorgesetzt werden, oder es muß auf den Fernpunkt des Patientenaues akkommodieren.

Die Einstellung auf das vom dioptrischen System des untersuchten Auges in dessen Fernpunkt entworfene System ist, wenn der Beobachter selbst emmetropisch ist, ohne weiteres also nur bei Emmetropie des untersuchten Auges möglich. Anderenfalls bedarf es der Vorschaltung von Hilfsgläsern bzw. der Akkommodation, um ein deutliches Bild zu gewinnen.

Aus den Abb. 23 und 24 geht hervor, daß das Bild im Beobachteraue relativ zu der Lage der Einzelheiten des Augenhintergrundes des untersuchten Auges umgekehrt sein muß. Das im Fernpunkt entworfene Abbild bei Emmetropie und Hypermetropie ist zunächst als aufrecht in bezug auf die Einzelheiten des untersuchten Auges anzusehen und wird erst durch die Sammelwirkung des brechenden Systems des Beobachteraues zu einem umgekehrten Bilde auf dessen Netzhaut. Ähnliches gilt bei Myopie, wenn die aus dem Patientenaue austretenden Strahlen noch nicht vereinigt sind. Die Lage des Bildes relativ zu dem

Gegenstand, den Funduseinheiten des untersuchten Auges, ist also im Beobachterauge umgekehrt, genau entsprechend dem Abbild, das wir von der Umwelt sonst erhalten. Diese aber wird aufrecht gesehen; infolgedessen erscheinen auch die Einzelheiten bei der geschilderten Methode der direkten Ophthalmoskopie aufrecht, d. h. in der wahren Anordnung der Einzelheiten zueinander.

**Die indirekte Ophthalmoskopie oder die Untersuchung im umgekehrten Bilde.** Bei der Untersuchung im umgekehrten Augenspiegelbilde, die zuerst von RUETE (1852), dann in der heute üblichen Form ebenfalls von HELMHOLTZ (1852) angegeben wurde, wird ein reelles, auffangbares Bild dadurch entworfen, daß vor das brechende System des Patienten- auges noch eine Sammellinse von verschiedener Stärke vorgeschaltet wird (in der Regel + 13 dptr, aber auch stärkere und schwächere Linsen kommen zur Verwendung; so empfiehlt neuerdings BUSYGIN eine Linse von + 5 dptr, um etwa dieselbe Vergrößerung zu erhalten, wie beim aufrechten Bilde).

Die dioptrischen Verhältnisse sind aus der Abb. 26 leicht zu entnehmen. Die beleuchtete Netzhautpartie befindet sich je nach dem Refraktionszustande des untersuchten Auges im Brennpunkt des brechenden Systems bzw. vor oder hinter ihm. Für die Bildentstehung ist dieses Moment allein maßgebend. Es werden also die Strahlen, die auf die vorgeschaltete Linse auftreffen, parallel (Emmetropie), divergent (Hypermetropie) oder konvergent (Myopie) sein. Im ersten Fall wird durch die Sammellinse in deren Brennpunkt ein umgekehrtes Bild des Augenhintergrundes entworfen, das entsprechend der Rechtläufigkeit der Abbildung bei Hypermetropie in größerer, bei Myopie in kleinerer Entfernung als der Brennweite der Vorschaltlinse entspricht, zustande kommt. Dieses in der Luft schwebende reelle Bild wird aus deutlicher Sehweite, für gewöhnlich also aus 25 cm Entfernung, betrachtet.

Über die Lage des Bildes läßt sich an der Hand der GULLSTRANDSchen Formeln (s. Kap. ERGGELET in diesem Bande S. 467f.) weiteres für den mit diesen Fragen näher Bekannten ableiten.

**Die Ophthalmoskopie im indirekten Licht.** In manchen Fällen, z. B. bei Blutungen in den tieferen Schichten der Netzhaut, kleinen Herden in der Chorioidea u. dgl., erzielt man ein besseres Resultat, wenn man, analog wie bei der Untersuchung im indirekten Licht der Spaltlampe (s. S. 847), die in Betracht kommende Partie nicht direkt beleuchtet, sondern deren Nachbarschaft. Das im Gewebe diffus zerstreute Licht durchstrahlt dann auch den gerade interessierenden Gewebsteil und man erhält hier mitunter Schattenbilder, die in Analogie zur Methode der Diaphanoskopie weitere Aufschlüsse geben. Dieses Verfahren ist neuerdings auch von ZAMENHOF empfohlen worden.

**Die Vergrößerung im Augenspiegelbilde.** Die Vergrößerung im aufrechten Bild. Bei der Ophthalmoskopie im aufrechten Bild sieht der Untersucher den Augenhintergrund nicht direkt, sondern durch das brechende System des untersuchten Auges hindurch, welches als Lupe wirkt. Die Berechnung der vergrößernden Wirkung einer derartigen Lupe findet sich bei GULLSTRAND und in einer leicht faßlichen Darstellung bei BRÜCKNER. Bei Annahme einer

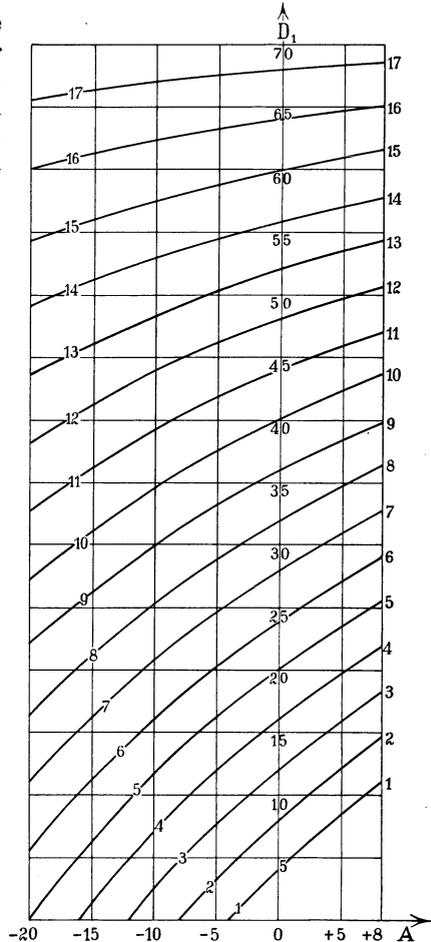


Abb. 27. Schichtenbild für die Vergrößerungen von Lupen bei einer Brechkraft  $D_1$  bis 70 dptr für Refraktionen von -20 bis +8. Die Kurvenschar gibt die jeweils vorhandenen Vergrößerungen für die konventionelle Entfernung von 25 cm an.

konventionellen Beobachtungsentfernung (25 cm) gibt die umstehende Abb. 27 die Vergrößerungszahlen wieder. Man ersieht daraus, daß für eine Lupe von 58,64 dptr, wie sie dem menschlichen Auge entspricht, die Vergrößerungszahl etwa 15—16 beträgt. Die Vergrößerung hängt außerdem noch von der Refraktion des Beobachterauges ab, wenn auch bei starken Lupen nicht wesentlich (s. Abb. 27). Wichtiger ist der Refraktionszustand des untersuchten Auges. Die verwickelte Ableitung findet sich bei GULLSTRAND. Es möge genügen, hier die Zahlen nach LANDOLT, die allerdings für einen Beobachtungsabstand von 24 cm angegeben sind, anzuführen (s. die Tabelle).

*Die Vergrößerung im umgekehrten Bild.* Beim Ophthalmoskopieren im umgekehrten Bild entsteht ein reelles Bild des Augenhintergrundes. Dieses hat natürlich eine absolute Größe und dient als Gegenstand für das Beobachterauge. Es kann daher eine bestimmte Beziehung zwischen der Größe dieses Bildes und der Gegenstandsgröße abgeleitet werden.

Refraktion	Um- gekehrtes Bild ent- worfen mit + 15 dptr	Aufrechtes Bild	Verhältnis
Emmetropie . . . . .	4,4	16	1 : 3,6
Achsenhypermetropie (12,5 dptr) . . . . .	5,58	14,7	1 : 2,6
Krümmungshypermetropie (id.) . . . . .	4,71	12,6	1 : 2,6
Achsenmyopie (12,5 dptr)	3,3	24	1 : 7,2
Krümmungmyopie (id.)	4,2	30,4	1 : 7,2

Zur rechnerischen Ermittlung der Vergrößerungen lassen sich die GULLSTRANDSchen Formeln verwenden. Danach ergibt sich für das emmetropische Auge eine Vergrößerung von 4—5. Für das hypermetropische Auge nimmt die Vergrößerung zu, für das myopische ab (s. hierzu die nebenstehende Tabelle).

**Das ophthalmoskopische Gesichtsfeld.** Die Ausdehnung des Be-

zirkes im Augenhintergrund, der simultan ohne Änderung der Spiegelstellung übersehen werden kann, läßt sich für das aufrechte Bild unter der von HELMHOLTZ gemachten vereinfachenden Annahme einer punktförmigen Beobachterpupille folgendermaßen ableiten.

Wir nehmen zunächst an, daß die Beobachterpupille punktförmig sei. Da bei der Ophthalmoskopie im aufrechten Bild sich die Beobachterpupille sehr viel näher als der Fernpunkt des emmetropischen Auges befindet, so muß auf der Netzhaut des Patienten ein Zerstreuungskreis entstehen; denn die Strahlenvereinigung von einem in endlicher Entfernung vor dem emmetropischen Auge gelegenen Punkt würde sich ja erst weit hinter der Netzhaut vollziehen. Wie aus Abb. 28 a hervorgeht wird das auf diese Weise beleuchtete Feld — bei einem Abstand der Beobachterpupille größer als der Abstand des vorderen Augenbrennpunktes F — im hypermetropischen Auge größer, im myopischen kleiner als dasjenige im emmetropischen Auge sein, weil ein zur Achse des Strahlenkegels im Auge senkrechter Schnitt natürlich um so kleineren Umfang haben wird, je näher er der Spitze des Strahlenkegels liegt und umgekehrt.

Befindet sich die Beobachterpupille dagegen im vorderen Brennpunkt des untersuchten Auges, so wird der Strahlenkegel sich in einen Strahlenzylinder verwandeln, und es wird für die Ausdehnung des Beobachtungsfeldes gleichgültig sein, welche Refraktion das untersuchte Auge hat (Abb. 28 b). Ist der Abstand der Pupille kleiner als der vorderen Brennweite des untersuchten Auges entspricht, so werden die Strahlen im Augeninneren divergent verlaufen und es muß, wie Abb. 28 c zeigt, bei Myopie ein größeres, bei Hypermetropie ein kleineres Beobachtungsfeld resultieren als bei Emmetropie.

Die bisher gemachte Annahme, daß die Pupille des Beobachters punktförmig sei, trifft nun aber nicht zu, sie hat vielmehr eine endliche Ausdehnung. Hierdurch wird das ophthalmoskopische Gesichtsfeld vergrößert. Es können auch weiter seitlich von der optischen Achse gelegene Punkte noch Strahlen an die Beobachterpupille senden, als wenn diese punktförmig ist. In der Regel wird die Beobachterpupille weiter sein als die Öffnung des Augenspiegels. Infolgedessen ist maßgebend für die Größe des ophthalmoskopischen Gesichtsfeldes die engste Blende des Gesamtsystems, die für gewöhnlich durch die Bohrung des Augenspiegels bestimmt sein dürfte, da diese im allgemeinen höchstens 3 mm beträgt.

Immerhin ist es möglich, daß bei höherem Alter oder bei Verwendung sehr intensiver Lichtquellen die Pupille des Arztes noch enger ist, was zu einer Verkleinerung des Beobachtungsfeldes führen muß. In diesen Fällen tut man gut, das nicht beobachtende Auge zu schließen, um dadurch eine konsensuelle Erweiterung der Pupille des ophthalmoskopierenden Auges zu erzielen.

Von der Weite der engsten Blende hängt auch die Lichtstärke des ophthalmoskopischen Bildes ab.

Bei Betrachtung des umgekehrten Bildes stark kurzsichtiger Augen, das direkt von dem Untersucher gesehen werden kann (s. Abb. 24), wird die Ausdehnung des Beobachtungsfeldes durch die Pupille des Patienten Auges begrenzt. Außerdem hängt sie von dem Grad der Myopie ab. Da das umgekehrte Bild um so kleiner ist, je höher die Myopie, so ist bei starker Kurzsichtigkeit das Beobachtungsfeld größer als bei geringer.

Bei Vorschaltung einer Konvexlinse zum Entwerfen des umgekehrten Bildes wird die Pupille des Patienten Auges vergrößert. Bringt man sie in den Brennpunkt der Konvexlinse, so wird das umgekehrte Bild von deren Rand begrenzt (paralleler Strahlengang). Wenn man unter diesen Umständen wieder die Beobachterpupille vereinfachend punktförmig annimmt, so ist, wie aus Abb. 29 zu entnehmen, das Beobachtungsfeld erheblich größer als im aufrechten Bilde. Hierin liegt einer der Vorteile der Untersuchung im umgekehrten Bilde.

**Das ophthalmoskopische Beleuchtungsfeld.** Wohl zu unterscheiden von dem Beobachtungsfeld ist das ophthalmoskopische Beleuchtungsfeld. Während das Beobachtungsfeld von der Ausdehnung der engsten Blende abhängig ist, wird das Beleuchtungsfeld bestimmt von der Bildgröße der zur Verwendung kommenden Lichtquelle auf der Netzhaut. Diese wird für gewöhnlich kleiner sein als das Abbild der engsten Blende an dieser Stelle. Je nach Verwendung eines Konkav- oder Planspiegels, dem Abstande der Lichtquelle von dem Spiegel und dem Refraktionszustande des untersuchten Auges wird auf dessen Netzhaut ein scharfes Bild oder ein Zerstreuungskreis der Lichtquelle entworfen. Im allgemeinen wird es zweckmäßig sein, einen möglichst großen Zerstreuungskreis zu gewinnen, was bei emmetropischen und hypermetropischen Augen und Verwendung eines Planspiegels dann der Fall ist, wenn man bei der direkten Ophthalmoskopie möglichst nahe an das Auge herangeht. Damit nähert man ja auch das Spiegelbild der Lichtquelle dem Patientenauge, das auf eine viel größere Entfernung eingestellt ist.

Bei Kurzsichtigkeit wird je nach deren Grade das Bild mehr oder weniger unscharf, eventuell aber auch scharf sein können. Der letzte Fall wird z. B. eintreten, wenn bei Anwendung eines Konkavspiegels das Bild der Lichtquelle gerade im Fernpunkte des (stark kurzsichtigen) Auges entworfen wird.

Beim umgekehrten Bilde sind die Verhältnisse etwas verwickelter. Hier läßt sich durch Variierung des Abstandes der Lupe vom untersuchten Auge der Zerstreuungskreis in seiner Größe ändern. Da die Gesamtbrechkraft (Auge + Konvexlinse) im allgemeinen ein Bild

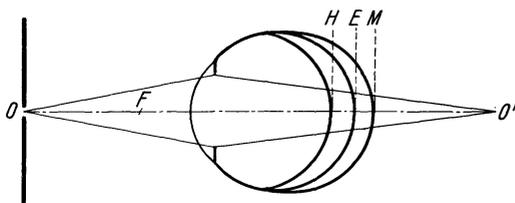


Abb. 28 a.

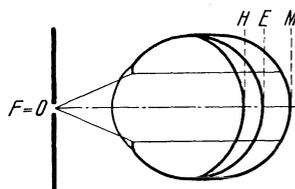


Abb. 28 b.

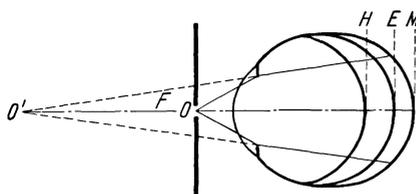


Abb. 28 c.

Abb. 28 a, b, c. Veranschaulicht die Größe des ophthalmoskopischen Gesichtsfeldes je nach der Lage der Beobachterpupille (O) vor, im oder hinter dem vorderen Brennpunkt (F) des Auges. Im 1. Fall (Abb. 28 a) verlaufen die Strahlen im Auge konvergent, im 2. Fall (Abb. 28 b) parallel, im 3. Fall (Abb. 28 c) divergent. Die Größe des Gesichtsfeldes ist nur im 2. Fall für alle Refraktionszustände gleich (s. Erklärung im Text).

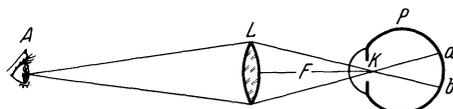


Abb. 29. Zur Veranschaulichung der Größe des Beobachtungsfeldes bei der Ophthalmoskopie im umgekehrten Bilde. Der beleuchtete Bezirk hängt bei Voraussetzung punktförmiger Beobachterpupille von dem Durchmesser der Linse L, deren Abstand vom Auge und der Weite der Pupille des Patienten Auges ab.

wird entstehen lassen, das vor der Netzhaut liegt, so ist es hierbei möglich, ein größeres Beleuchtungsfeld zu erzielen als bei der Ophthalmoskopie im aufrechten Bilde. Darin liegt ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß einerseits starke Annäherung der Lichtquelle, wie sie insbesondere die elektrischen Augenspiegel gestatten, eine Vergrößerung des Beleuchtungsfeldes ermöglicht, andererseits aber ein zu ausge dehntes Zerstreungsbild auf der Netzhaut für dessen Lichtstärke ungünstig ist. Daher wird sich eine Erhöhung der Intensität der benützten Lichtquelle dann als nötig erweisen, wenn die Blenden eng sind und wegen starker Pigmentierung des Augenhintergrundes das ophthalmoskopische Bild sowieso lichtschwach ist, oder durch Trübungen in den brechenden Medien ein Lichtverlust eintritt. Hierzu kommt, worauf bei Besprechung der seitlichen Beleuchtung schon hingewiesen ist, daß das Optimum der Unterschiedsempfindlichkeit des untersuchenden Auges eine gewisse Lichtintensität erfordert (S. 838).

Diese Umstände haben dazu geführt, daß — auf empirischem Wege gefunden — neuerdings zu der Ophthalmoskopie, namentlich bei unerweiterter oder (wie beim Glaukom) absichtlich verengter Pupille, sowie bei Trübungen in den brechenden Medien, sehr intensive Lichtquellen (zweckmäßig Halbwattlampe von 100—150 Kerzen, am besten nicht mattiert) benutzt werden (HAAB, STÄHLI, LAUBER). Diese geben oft dort noch die Möglichkeit, ein Resultat zu erhalten, wo die schwächeren Lichtquellen versagen. Hier ist auch der kürzlich von COMBERG angegebene lichtstarke elektrische Augenspiegel zu erwähnen, der selbst im umgekehrten Bilde ein Ophthalmoskopieren im Hellzimmer erlaubt.

**Die Grenzen des ophthalmoskopischen Gesichtsfeldes.** Nicht ophthalmoskopisch zugänglich ist der peripherste Abschnitt der Retina; die Gegend der Ora serrata läßt sich mit der gewöhnlichen Methode nicht mehr untersuchen. GROENOUW hat auf Grund dioptrischer Überlegungen festgestellt, daß hier abgesehen von der Weite der Pupille die Vorderkammertiefe, die Lage der Linse und daneben diejenige der Pupillarebene maßgebend sind. Bei einem Mittelwert der Vorderkammertiefe von 3,7 mm liegt nach GROENOUW die Grenze des ophthalmoskopisch sichtbaren Bezirkes 7,5 mm hinter dem Hornhautrande (im Bogen gemessen), die sich bei Myopie nach vorn, bei Hypermetropie nach hinten verschiebt. In einem aphakischen Auge lag sie 6,5 mm vom Hornhautrande entfernt. Für den horizontalen Meridian ist nach GROENOUW ein lineares (Bogen-) Maß von 45 mm anzunehmen, vom hinteren Pol jederseits also 22,5 mm oder 16 Papillenbreiten, diese zu 1,4 mm angenommen. Insgesamt ist der ophthalmoskopisch zugängliche Teil des Augenhintergrundes rund 800mal so groß als der Bezirk, den die Papille einnimmt.

**Die Ophthalmoskopie der Ora serrata.** Die für gewöhnlich der Untersuchung nicht zugänglichen Teile des Fundus werden sichtbar, wenn ein Iriskolobom besteht oder wenn sie sich nach dem Innern vorbuckeln, z. B. bei Ablösung des Ciliarkörpers (SALZMANN). TRANTAS drückt die Ciliarkörpergegend von außen ein und vermag auf diese Weise die Ora serrata zu ophthalmoskopieren (bei maximaler Pupillenerweiterung).

### 3. Die Lokalisation im Augenhintergrunde.

Die Lokalisation von Gebilden im Fundus (Fremdkörper, Cysticercusblasen u. a.) ist in neuerer Zeit durch die Ignipunktur der Netzhautrisse bei Ablatio wieder besonders aktuell geworden. Eine ganz exakte Lösung der Aufgabe ist hier jedoch nicht möglich und wird es kaum jemals sein.

**Die Meridianbestimmung.** Bei Fremdkörpern, Blutungen und dgl. kann am Perimeter die korrespondierende Stelle im Gesichtsfeld, die ein Skotom zeigt, oft ermittelt werden. GOLDFEDER benutzt neuerdings hierzu im Dunkelzimmer eine punktförmige Lichtquelle.

Gegenüber dieser subjektiven Methode, die naturgemäß bei einer Netzhautabhebung zur Feststellung des Risses nicht anwendbar ist, bevorzugt man das objektive Verfahren. GONIN empfiehlt, den Netzhautriß in die Mitte des ophthalmoskopischen Gesichtsfeldes einzustellen und dann mit zwei Tuscheflecken an gegenüberliegenden Stellen des Limbus den Meridian zu bezeichnen. P. KNAPP markiert ihn durch Anlegung eines feinen oberflächlichen Ritzes mittels Fremdkörperradel quer über die ganze Breite der Cornea. Fluoresceinfärbung macht dann bei der anschließenden Operation den Meridian sehr gut kenntlich.

**Die Bestimmung des Parallelkreises.** Wesentlich schwieriger ist die Ermittlung der Entfernung vom Limbus bzw. vom hinteren Augenpol. Man kann den Abstand von der

Papille oder der Macula dadurch angenähert ermitteln, daß man feststellt, wieviel Papillendurchmesser die betreffende Partie von dem Fixpunkt entfernt ist. Da der Papillendurchmesser etwa 1,5 mm beträgt, lassen sich leidlich genaue Maßabschätzungen gewinnen. Allerdings ändert sich die scheinbare Größe je nach der Refraktion, und die Abschätzung muß natürlich, da wiederholtes „Anlegen“ des Maßstabes im ophthalmoskopischen Bild notwendig wird, mit Fehlern behaftet sein. GONIN empfiehlt, die Papillengröße mittels des HAABSCHEN Pupillennessers (s. Abb. 17 auf S. 857) zu beurteilen. — Nach dem Vorschlage von ALFRED GRAEFE und LEWITSKY kann man die betreffende Partie des Fundus genau auf die Mitte des Augenspiegels fallen lassen. Wird dann der Perimeterbogen an die Stelle des beobachtenden Auges gebracht, so kann man neben dem Meridian auch den Parallelkreis (Azimut) feststellen. Das Verfahren ist sowohl im aufrechten als auch im umgekehrten Bild anwendbar. Sehr zweckmäßig hat sich hierbei dem Verfasser das Handperimeter erwiesen. Kann der Patient noch fixieren, so sieht er sein eigenes Auge im Spiegelchen. Man ist dann auch in der Lage, bei gehobener oder gesenkter Kopflege, wobei man das Perimeter in fester Verbindung mit dem Kopfe mitgehen läßt, zu untersuchen.

Gut brauchbar ist auch das Verfahren von ERGGELET mittels der Diaphanoskopie. Setzt man die Spitze der LANGESCHEN Durchleuchtungslampe (s. S. 885) auf die Sklera auf, eventuell bei weit hinten befindlichen Veränderungen nach Anlegung eines Schlitzes in der Conjunctiva, so kann man, wenn man gleichzeitig ophthalmoskopiert, ziemlich genau ermitteln, an welcher Stelle sich die Spitze des Glaskegels befinden muß, um mit der betreffenden Partie des Augenhintergrundes zusammenzufallen. Diese ist nämlich maximal belichtet, wenn sich die Kegelspitze der Lampe über ihr auf der Sklera befindet (s. auch MAJEWSKI). Man merkt sich den Punkt dann durch ein Tusche- oder Kopierstiftpünktchen außen an der Sklera bzw. Conjunctiva.

Kommt es auf exakte Messung an, wie bei der Ignipunktur, so kann man vom Hornhautrande (HALLIDIE und DRUAULT) oder der Hornhautmitte (F. P. FISCHER) ausgehen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Grenze des ophthalmoskopisch sichtbaren Bezirkes (s. S. 870) je nach der Refraktion etwa zwischen 6,5 mm und 9,5 mm vom Limbus entfernt liegt.

Neuere Daten stammen von GOLDMANN für einen Durchmesser des Bulbus von 24 mm, Knotenpunktabstand 17 mm vom hinteren Pol, Umfang des Bulbus 74 mm, von dem der Hornhautbogen mit 14 mm abzuziehen ist, so daß für die Sklera 60 mm bleiben. Die zu den jeweiligen Sehwinkeln (Perimeterwinkeln) gehörigen Längenmaße der Sehne bzw. des Bogens finden sich von 5 zu 5° berechnet in der abgedruckten Tabelle.

Ältere Tabellen sind von DONDERS, HAL-LADIE und DRUAULT angegeben worden.

5° Perimeterwinkel entsprechen für die Gegend des hinteren Poles etwa 1,5 mm, nach der Peripherie zu aber verringert sich der Wert bis auf 1,1 mm, weil die Winkel der im Gegenstands- und Bildraum einander entsprechenden Strahlen ungleich sind. Hierzu kommt, daß infolge der fehlenden Korrektur des menschlichen Auges für den Astigmatismus schiefer Bündel sich je nachdem, ob auf den Brennpunkt der Tangential- oder Sagittalstrahlen eingestellt wird, wegen deren etwas asymmetrischer Lage sich eine leichte Änderung des scheinbaren Ortes des Abbildes der betreffenden Netzhautpartie einstellen kann. Wie groß diese Fehlerquellen sind, läßt sich nicht genau ermitteln; sie hängen überdies auch von der Refraktion und damit von dem Bau des Auges ab, dürften praktisch aber nicht sehr ins Gewicht fallen.

Neuere Angaben über die in Betracht kommenden Maße stammen von COLENBRANDER und WEVE. COLENBRANDER gibt für das Vollaue und das linsenlose Auge folgende Maße an:

Winkel nach dem Perimeter in Graden	Entfernung des Punktes vom hinteren Pol in mm (gemessen an der Sklera)	Entfernung des Punktes vom Rande der Hornhaut in mm
0	0	30
5	1,5	28,5
10	3,0	27,0
15	4,4	25,6
20	5,9	24,1
25	7,4	22,6
30	8,8	21,2
35	10,2	19,8
40	11,6	18,4
45	13,0	17,0
50	14,0	15,6
55	15,7	14,3
60	17,0	13,0
65	18,3	11,7
70	19,5	10,5
75	20,7	9,3
80	21,8	8,2
85	22,9	7,1
90	24,0	6,0

Einfallswinkel .	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
Limbusdistanz .	7,5	9,4	11,3	13,4	15,5	17,45	19,2	20,8	22,25	23,15
Idem für Aphaken	4,6	7,4	9,9	12,4	14,8	17,0	18,9	20,7	22,2	23,15

WEVE teilt auf Grund seiner Messungen an einem herausgenommenen Auge in Abhängigkeit von der Größe des Hornhautdurchmessers, der im vertikalen Meridian kleiner war als im horizontalen, folgende Zahlen mit (s. die nebenstehende Tabelle).

Grad	Vertikaler Mittelwert bei 12 mm Hornhautdurchmesser	Horizontaler Mittelwert bei 12 mm Hornhautdurchmesser
80°	9,25	8,5
70°	10,5	10,5
60°	13,0	12,75
50°	14,75	14,5

Wie man sieht, weichen die verschiedenen Angaben nicht sehr erheblich untereinander ab, erreichen immerhin Unterschiede bis zu 1 mm. Für praktisch klinische Zwecke dürfte aber die Genauigkeit genügend sein.

Das Bestreben, ganz genau zu lokalisieren, hat GUIST, LINDNER, IMRE, SAFAR, SALZMANN, und neuerdings F. P. FISCHER zur Mitteilung weiterer Methoden geführt. Eine Kritik der hierbei möglichen Fehler stammt vom letztgenannten Autor, der ein Lokalisationsophthalmoskop selbst beschreibt. Es möge genügen, an dieser Stelle hierauf zu verweisen. Näheres findet sich im Ergänzungsband. Diese Beschränkung erscheint um so berechtigter, als bei Netzhautrissen die Retina abgehoben zu sein pflegt und hieraus eine exakte Bestimmung bei der Parallaxe von unbekannter Größe doch nicht möglich wird. Außerdem wird der Riß seine Lage ändern, wenn vor der Kauterisation eine Netzhautpunktion zur Ablassung subretinaler Flüssigkeit erfolgt (LÖHLEIN).

#### 4. Die Messung im Augenhintergrunde.

**Die Messung nach Breite und Höhe.** Handelt es sich darum, die Ausdehnung eines Herdes, einer Geschwulst oder dgl. im Fundus zu bestimmen, so genügt die Schätzung oder der Vergleich mit dem Erinnerungsbild nicht. Am besten ist noch Anfertigung einer genauen Zeichnung.

LANDOLT hat für das aufrechte Bild vorgeschlagen, eine Skala durch einen vorgeschalteten unbelegten Spiegel zuzuspiegeln, die als Gradnetz über den Einzelteilen des Fundusbildes schwebt. Da die Vergrößerung sich mit dem Abstände zwischen Patienten- und Arztauge ändern muß, sind Fehler bei zeitlich auseinanderliegenden Messungen möglich. Eines ähnlichen Verfahrens bedienen sich BRETAGNE und DUFOUR zur Messung im umgekehrten Bilde, indem sie auf einer plankonvexen Linse ein feines Gitter einritzten (s. auch LEWIS und MORGAN, SCIMEI, LO CASCIO). HENRIKSON (zitiert nach NORDENSON) hat Messungen im umgekehrten Bilde nach dem Prinzip der Verdoppelung vorgenommen. Hierbei ist die Messung in einer einzigen Einstellung auszuführen, so daß störende Augenbewegungen ausgeschlossen sind. Neuerdings hat NORDENSON photogrammetrische Messungen im photographischen Bilde des Augenhintergrundes empfohlen, die von TENGROTH ausgeführt wurden. Mit dem Mikroskoparator oder der Lupenvergrößerung ist die Messung bis auf  $\frac{1}{100}$  Papillendurchmesser genau ausführbar. Wichtig ist Einhaltung derselben Aufnahmerrichtung zeitlich auseinanderliegender Photographien, da sonst Verzerrungen eintreten. NORDENSON schlägt auch vor, mit Hilfe des PULFRICHschen Stereomikrometers an Stereobildern Tiefenmessungen vorzunehmen.

**Die Feststellung von Niveauunterschieden.** *Refraktometrische Bestimmung.* Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß 3 Dioptrien Refraktionsdifferenz im Mittel einer linearen Entfernung in der Tiefendimension von 1 mm entsprechen, können mit dem Refraktionsaugenspiegel ziemlich genaue Messungen von Niveaudifferenzen vorgenommen werden. Da die Gläser der RECOSSSchen Scheibe aber höchstens in halben Dioptrien abgestuft sind, übersteigt die Genauigkeit nicht mehr als ein Viertelmillimeter (s. auch S. 967 f.).

*Parallaktische Verschiebung.* Zur Ermittlung der relativen Tiefenlage zweier Einzelheiten kann man sich der parallaktischen Verschiebung auch bei der Ophthalmoskopie bedienen. Im aufrechten Bilde sieht der Arzt bei Bewegungen seines Auges frontal-parallel zum untersuchten wegen der Rechtläufigkeit der Abbildung weiter nach vorn gelegene Teile vor dem Bilde des übrigen Fundus. Infolgedessen muß bei Bewegungen sich eine Lageverschiebung des dem Auge des Arztes näher gelegenen Bildteiles gegenüber der Umgebung vollziehen, wie bei der Parallaxe von Gegenständen im Außenraum. Dadurch gewinnt man unmittelbar einen plastischen Eindruck, der uns das Urteil „weiter“ oder „näher“ erlaubt. Bei der Untersuchung im umgekehrten Bild sind die Verhältnisse

analog, nur wird jetzt das Urteil über das umgekehrte, reelle, in der Luft schwebende Bild abgegeben; bewegt man die Linse frontal-parallel, so wird wieder wegen der Rechtläufigkeit der Abbildung eine parallaktische Verschiebung der einzelnen Bildteile gegeneinander eintreten.

*Der stereoskopische Augenspiegel.* Die Tiefenschätzung ist mit Hilfe stereoskopischer Ophthalmoskope, deren erstes von GIRAUD-TEULON 1860 beschrieben wurde, leicht möglich. Über die Konstruktion der älteren Modelle findet sich Näheres bei LANDOLT, Ausgedehntere Verwendung hat das Verfahren erst durch die binokularen reflexlosen Augenspiegel von THORNER und GULLSTRAND gewonnen. Das Prinzip besteht darin, durch Zwischenschaltung von Prismen entweder, wie im älteren Modell von THORNER, im Objektiv, oder, wie in den späteren Modellen diese Asutoren und demjenigen von GULLSTRAND, im Okular, eine Zerteilung der Strahlen zu erreichen, von denen je ein Strahl dem rechten und linken Auge des Beschauers zugeleitet wird. Auf diese Weise ist die ja jedem Augenarzt geläufige stereoskopische Betrachtung des Augenhintergrundes Allgemeingut geworden. Sie würde bei Festhaltung bestimmter Konstanten und Einschaltung eines stereoskopischen Maßstabes nach dem Prinzip des PULFRICHschen Entfernungsmessers eine Messung gestatten, die aber immer nur Relativwerte ergeben kann. THORNER u. a. haben auch stereoskopische Photographien des Augenhintergrundes angefertigt.

### 5. Die Lichtquelle bei der Ophthalmoskopie.

Auf S. 864 ist die Bedeutung der Qualität der Lichtquelle für das Aussehen des Augenhintergrundes kurz erwähnt. Will man die natürlichen Farben des Fundus sehen, so müßte man Tageslicht benutzen. Wegen seiner Inkonstanz durch verschiedenen Höhenstand der Sonne und wechselnden Grad der Bewölkung muß man in der Praxis davon absehen. Die älteren Lichtquellen, (Petroleum, Gas, Auerlicht) zeigten durchweg eine geringere Intensität im kurzwelligen Spektralteil. Bei Benutzung von Metallfadenlampen ist jetzt das Licht „weißer“; insbesondere die Einführung von Intensivlampen (STÄHLI, HAAB) ist in diesem Sinne von Vorteil (s. S. 870).

**Die Ophthalmoskopie im rotfreien Licht.** Der Gedanke, verschieden zusammengesetzte Lichtquellen zur ophthalmoskopischen Diagnostik zu verwerten, ist schon von BEZOLD und ENGELHARDT, sowie VALENTIN (verschiedenwelliges Licht zur Sichtbarmachung des Sehpurpurs u. a.) 1878 realisiert worden. Auch das Licht der Quecksilberbogenlampe hat GULLSTRAND benützt, das sich aber bald als zu lichtschwach erwies und insofern als ungeeignet, als die Augenmedien dabei zu stark fluorescieren. Ausgedehntere praktische Verwendung von verschieden zusammengesetzten Lichtquellen hat zunächst HELMBOLD gemacht. Er stellte schon fest, daß im grünen Licht Gefäße und Blutungen schwarz erscheinen; auch empfiehlt er nicht nur monochromatische, sondern Lichtgemische verschiedener Wellenlänge<sup>1</sup>. Ausgedehntere praktische Verwendung hat das Verfahren aber erst durch VOGT erlangt.

Er benutzte nicht spektrale homogene Lichter, sondern schickte das Licht einer Bogenlampe durch Filter (Erioviridinlösung). Von der Firma Zeiß werden jetzt feste Filter geliefert (zum Teil aus zwei Einzelfiltern zusammengesetzt), die im wesentlichen die gleiche Absorption für die langwelligen Strahlen haben wie die ursprüngliche Lösung. Das Filter muß das Rot völlig auslöschen, aber vom Orange ab noch das Spektrum bis zum Blau durchlassen. Abb. 30 gibt ein Spektrum, welches von dem Filter der in Basel verwendeten Rotfreilampe stammt. Andere Filter wurden von LAUBER, DOBSON und FRIEDENWALD angegeben (s. auch OHLSHO).

Wegen des Wegfalles eines Teiles des Spektrums ist es nötig, eine sehr intensive Lichtquelle zu benutzen. Man kommt deshalb meist ohne Bogenlampe nicht aus. Zweckmäßig ist eine Mikrobogenlampe, die von HENKER auch für sonstige Untersuchungszwecke angegeben worden ist (s. auch KRÄMER). Schon die Nitalampe (LAUBER), noch mehr aber die lichtschwächeren, elektrischen Beleuchtungslampen, wie sie an dem SIMONSchen oder anderen elektrischen Augenspiegeln angebracht sind, genügen nicht in ihrer Intensität, um feinere Details im Augenhintergrund, insbesondere die Gelbfärbung der Macula mit ihren Abstufungen wahrzunehmen (METZGER, LAUBER, THORNER u. a.).

Bei der Untersuchung mit der üblichen Bogenlampe erhielt man früher befriedigende Resultate nur bei der Untersuchung im aufrechten Bilde. Man muß hierbei darauf sehen,

<sup>1</sup> Ich möchte dieses besonders betonen, weil VOGT in dem Handbuch von GRAEFE-SÆMISCH es als einen Irrtum von HELMBOLD bezeichnet, wenn er monochromatisches und rotfreies Licht verwechselt.

daß die Lichtstrahlen durch den Kondensator richtig austreten und ein gleichmäßig beleuchtetes Feld liefern. Trotzdem ist es anfangs nicht ganz leicht, mit dem Spiegel das Licht dauernd in richtiger Lage festzuhalten, weil das aufleuchtende Feld im Vergleich zum Spiegeln im gewöhnlichen Licht relativ klein ist, handelt es sich doch um die Abbildung des Kohlenkraters auf dem Augenhintergrund; überdies macht sich hier die Spiegelbohrung als dunkler Fleck störend bemerkbar. Wichtig ist die richtige Stellung der Kohlen (s. bei VOGT).

Infolge der Chromasie des Auges erscheint der erleuchtete Netzhautbezirk in den Randteilen gelblicher als in den mittleren, die grün bis blaßgrünlich sind. Bei der Beurteilung der Farbe der Macula darf man deshalb nicht auf die Randpartien einstellen, sondern muß den zentralen Teil des Kraterbildes verwenden.

Wegen der hohen Lichtintensität, die man in das Auge schickt, ist zu empfehlen, daß man die Untersuchung nicht zu lange fortsetzt, um Blendungsschäden zu vermeiden. Freilich sind solche bisher noch nie beobachtet worden.

Eine weitere Entwicklung der Ophthalmoskopie im rotfreien Licht bedeutet das mit Hilfe des vereinfachten GULLSTRANDSchen Ophthalmoskopes vorgenommene Untersuchungsverfahren von FRANCESCHETTI und H. K. MÜLLER.

Der anfängliche Gedanke, ein größeres ophthalmoskopisch zugängliches Feld dadurch zu erreichen, daß man die Lichtquelle im vorderen Brennpunkt des optischen Systems des

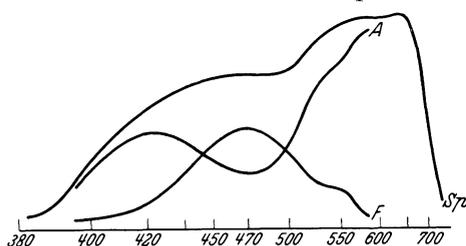


Abb. 30. Die Absorption durch ein Rotfrei-Filter. Ausmessung der Schwärzung einer panchromatischen photographischen Platte mittels des GOLDBERGSchen Densographen. Schwärzungskurve bei gleicher Beleuchtungszeit  $S_p$  des unveränderten Spektrums,  $F$  nach Passieren des Filters,  $A$  Differenz zwischen  $F$  und  $S_p$  = Absorption durch das Filter. (Messung von WOLFGANG BRÜCKNER.)

Auges abbildet, und auf diese Weise ein gleichmäßig beleuchtetes Feld im Augenhintergrund erzielt, erwies sich als nicht gangbar, weil sich Reflexe an den brechenden Medien störend bemerkbar machten. Deshalb ist in Zusammenarbeit mit der Firma Carl Zeiß in Jena das vereinfachte GULLSTRANDSche Ophthalmoskop für diesen Zweck adaptiert worden. Hier gibt die Bogenlampe die genügende Intensität. Man erhält ein Gesichtsfeld von der gleichen Größe wie bei der Untersuchung im gewöhnlichen Lichte, und durch Vorschalten und Wegnahme des Grünfilters ist der große Vorteil der sukzessiven Beobachtung im gewöhnlichen und im rotfreien Licht gegeben. Da wegen der notwendigen Lichtstärke aber nicht eine Nitralampe sondern eine Bogenlampe zur Verwendung kommen muß, erwies es sich als erforderlich, bei Betrachtung im gewöhnlichen Licht noch einen Graukeil vorzuschalten. Hierdurch wird eine genügende Abschwächung der Lichtintensität erreicht, so daß Schädigungen des untersuchten Auges vermieden werden.

THORNER hat an seinem großen Ophthalmoskop (s. S. 876) ebenfalls ein Grünfilter angebracht. Durch Kombination mit einem Beleuchtungsspalt wird das Rotfreibild in mancher Hinsicht noch aufschlußreicher. Da der Apparat keine Bogenlampe hat, ist die Lichtstärke für viele Zwecke aber nicht völlig ausreichend.

**Physikalisches.** VOGT hat darauf aufmerksam gemacht, daß bei der Untersuchung im rotfreien Licht die Aderhaut fast vollkommen unsichtbar wird, da die Netzhaut infolge der Zunahme der „inneren Reflexion“ schon so viel Licht remittiert, daß bis zur Aderhaut nur wenig Licht gelange und infolgedessen von ihr nicht mehr hinreichend Licht reflektiert zu werden vermöge. Hierin liege begründet, daß die feineren Netzhautdetails (Nervenfaserzeichnung, Faltenbildungen, Einscheidung der Gefäße, feinste Veränderungen in der Maculagegend) sichtbar würden. Die Sichtbarkeit der Gelbfärbung der Macula beruhe darauf, daß das von den dahinter gelegenen Augenhäuten beim gewöhnlichen Licht reflektierte Strahlengemisch fehle und deshalb deren rote Farbe fortfalle und das Gelb der Macula nicht mehr überstrahlt werde.

Wie S. 837 f. ausgeführt, ist der Beugungseffekt (Tyndallphänomen im weiteren Sinne) abhängig von der Teilchengröße der dispersen Phase: je größer die Teilchen sind, um so geringerer Lichtintensität bedarf es, um eine Trübung auftreten zu lassen. Bei entsprechender Steigerung der Intensität erscheint deshalb auch die Hornhaut im Spaltlampenbüschel grau, während sie sonst durchsichtig ist. Ähnliches gilt für die Netzhaut, die ihre Durchsichtigkeit offenbar ihrem hohen Dispersitätsgrad verdankt. Steigt die Lichtintensität erheblich, wie z. B. bei Verwendung von Sonnenlicht, so nimmt auch die Netzhaut ein leicht trübes Aussehen an. Hierin liegt wohl mit ein Grund, weshalb ohne klare Erkenntnis der physikalischen Verhältnisse das Sonnenlicht immer wieder zum Augenspiegeln empfohlen worden ist. Diese Auffassung bringt auch das Verständnis dafür, warum bei Verwendung

von Sonnenlicht das Maculagelb gesehen werden kann. Ist das Maculagelb eine Lackfarbe, d. h. ist der Farbstoff in Lösung und nicht wie bei der Deckfarbe in feinsten Suspension gegeben, so muß die Teilchengröße im ersten Fall natürlich ganz außerordentlich abnehmen.

Hierzu kommt bei Verwendung von rotfreiem Licht der Umstand, daß die kurzwelligen Strahlen stärker abgelenkt werden als die langwelligen. Nach RAYLEIGH ist die „Störung“, die ein einfallender Lichtstrahl durch die Beugung an einem kleinen Teilchen erleidet, direkt proportional dem Teilchenvolumen (der dritten Potenz des Teilchenradius), dagegen umgekehrt proportional dem Quadrate der Wellenlänge des Lichtes und umgekehrt proportional dem Abstand der Teilchen (s. bei Wo. OSTWALD). Dem entspricht, daß bei Sonnenuntergang und einer durch Staubpartikelchen getrüben Atmosphäre das durchtretende Licht rötlich erscheint, es werden eben die kurzwelligen Lichtstrahlen abgelenkt und gelangen deshalb nicht in unser Auge. Da nach den Untersuchungen von HOLM und KRAVKOW das Maculagelb Licht vorwiegend aus diesen Bezirk reflektiert bzw. durchläßt, so muß natürlich Licht dieser Wellenlänge in dem Spiegellicht enthalten sein. Deshalb ist die gelbe Farbe der Macula im ultravioletten Licht nicht sichtbar und es bedarf, wie VOGT feststellte, auch der Lichtstrahlen bis ins Orange hinein.

Bezüglich der Einzelheiten, die bei der Ophthalmoskopie im rotfreien Licht sich dem Beobachter im Vergleich zu der Untersuchung im gewöhnlichen Licht darbieten, sei auf die klinischen Kapitel dieses Handbuches verwiesen.

## 6. Besondere Anwendungsweisen der Ophthalmoskopie.

**Auto-Ophthalmoskopie.** Schon von HELMHOLTZ beschrieben worden ist das Aufleuchten der eigenen Pupille, wenn man vor dem Spiegel stehend das Licht des Spiegelbildes einer Flamme in das andere Auge wirft. Von COCCIUS, ZEHNDER und HEIMANN sind dann Verfahren zur Autoophthalmoskopie beschrieben worden. Verwendung findet heute wohl nur das Verfahren von WESSELY.

**Untersuchung des Augenhintergrundes unter Ausschaltung der Hornhautbrechung.** Schaltet man die Brechung an der Hornhautvorderfläche aus, so wird das Auge stark hypermetropisch und die divergent austretenden Strahlen können bei entsprechender Akkommodation des Beobachters zu einem Bilde vereinigt werden. In Form einer vor das Auge geschalteten Glaswanne (Orthoskop) hat CZERMAK dieses Verfahren benutzt. COCCIUS, STILLING und WOLF haben weitere Methoden angegeben. Aber erst durch das KOEPPEsche Auflegeglas ist die Methode ausgedehnter verwendet worden. (Die Berechnungen s. bei KOEPPE.)

Die Technik des Glasauflegens erfordert eine gewisse Übung, die sich aber leicht erwerben läßt. Sie ist ähnlich derjenigen beim Aufsetzen der üblichen Kontaktgläser. Da das Auflegeglas aber etwas dicker ist, kann es sich leicht verschieben; um das zu verhindern, muß man evtl. ein Leinenband, welches am Unterlid vorbeigehend das Auflegeglas fixiert, anwenden.

KOEPPE benützt zur Beleuchtung die Spaltlampe und den von ihm beschriebenen Silberspiegel (s. Abb. 5, S. 842). Als Beobachtungsinstrument verwendete er das Hornhautmikroskop mit dem SIEDENTOPFSchen Objektiv (Bitumi oder Ortho-Bitumi). Dadurch ist stereoskopische Betrachtung möglich. Auf diese Weise gelangt man dazu, im fokalen Licht den Augenhintergrund in Vergrößerungen bis zu 70fach zu sehen. Ein wesentlicher Nachteil, der auch von MEESMANN hervorgehoben wird, besteht aber darin, daß man nur einen ganz kleinen Bezirk in der Gegend des hinteren Poles etwa im Umfange von drei Papillendurchmessern der Untersuchung zugänglich machen kann. Immerhin sind gewisse feine Veränderungen an der Papille nur mit dieser Methode eindeutig erkennbar.

KOEPPE hat empfohlen, diese Methode mit dem rotfreien Licht nach VOGT durch Einschaltung eines Lichtfilters vor den Spalt des Beleuchtungssystems zu kombinieren.

## 7. Die reflexfreie Ophthalmoskopie.

Die Reflexbilder an den brechenden Flächen des Auges und etwa vorgeschalteter Linsen sind oft sehr störend, namentlich bei enger Pupille. Erst 1899, also fast 50 Jahre nach der Entdeckung des Augenspiegels hat THORNER eine Methode angegeben, die erlaubt, die Reflexe an den brechenden Medien des Auges unschädlich zu machen.

Vorläufer sind das oben erwähnte Orthoskop von CZERMAK und die Verfahren von GERLOFF und F. R. FUCHS. Die theoretische Ausarbeitung der modernen Verfahren geschah durch WOLF, GULLSTRAND und v. ROHR.

Das leitende Prinzip bei der reflexlosen Ophthalmoskopie besteht darin, für das Beleuchtungs- und Beobachtungssystem nicht dieselben Bezirke der brechenden Medien zu

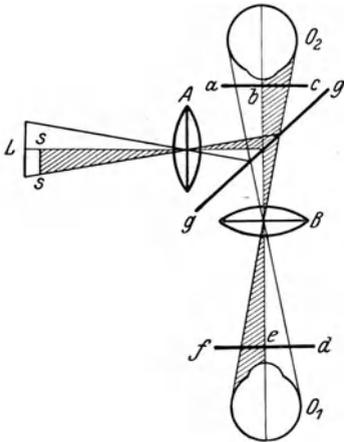


Abb. 31. Erläutert den Strahlengang im THORNERschen reflexfreien Augenspiegel. Die Lichtquelle *L* wird zum Teil durch die Blende *SS* verdeckt, so daß nur die Hälfte der Pupille des untersuchten Auges (*O<sub>2</sub>*) beleuchtet wird, während die Beobachtung durch das untersuchende Auge *O<sub>1</sub>*, durch die andere Hälfte der Pupille erfolgt (schraffierte bzw. nicht schraffierte Bezirke). *gg* Spiegelglasplatte.

verwenden. Die theoretischen Grundlagen zum Verständnis der reflexfreien Ophthalmoskopie sind neuerdings von SPANUTH (b) eingehend auseinandergesetzt worden, auf dessen Darstellung hier verwiesen sei.

Der Strahlengang im THORNERschen stabilen reflexlosen Augenspiegel, der auch zur objektiven Refraktionsbestimmung verwendet werden kann, geht aus der Abb. 31 hervor. Der Apparat hat, namentlich bevor der GULLSTRANDSche Augenspiegel entstand, viel Verwendung gefunden, ist aber jetzt wohl kaum mehr im Gebrauch. Bequemer ist der reflexlose Handaugenspiegel von THORNER, den er neuerdings modifiziert hat. Der Strahlenverlauf ist aus der Abb. 32 zu entnehmen. Kürzlich hat der gleiche Autor auch einen reflexfreien, stereoskopischen Handaugenspiegel angegeben (s. Abb. 33).

Der reflexfreie Augenspiegel von WOLF (Abb. 34) verlegt die Teilung der Strahlen nahe vor das Patientenauge. Als Lichtquelle wird ein in dem Schaft des Ophthalmoskopes befindliches Glühlämpchen verwendet, dessen Bild etwa in der Pupille des Patientenauges entworfen wird. Der Beobachter sieht über das total reflektierende Prisma hinweg. Auf ähnlichem Prinzip beruhen andere elektrische Augenspiegel, z. B. derjenige von MAY. Wegen der starken Annäherung kann der Vereinigungspunkt des Beleuchtungslichtes in den Knotenpunkt des Auges verlegt werden, so daß die Lichtstrahlen ungebrochen zur Netzhaut gehen und das Beobachtungsfeld maximal wird; es ist kreisrund, da es das Zerstreungsfeld der Beleuchtungslinse darstellt.

Wegen der mangelnden Lichtabsorption auf dem Rückwege ist das ophthalmoskopische Bild lichtstark, so daß nicht zu hohe Lichtintensitäten verwendet zu werden brauchen.

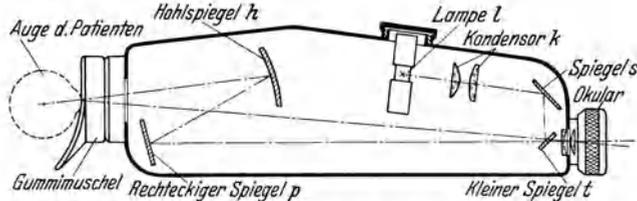


Abb. 32. Reflexfreier Handaugenspiegel. (Nach THORNER.)

Zur Erreichung stärkerer Vergrößerungen des Augenhintergrundbildes, hat WOLF vergrößernde Okulare angegeben. Ähnliches ist von BAUM in seinem Ophthalmofundoskop

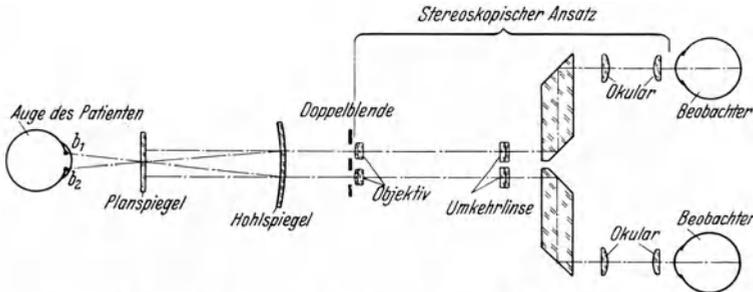


Abb. 33. Reflexfreier stereoskopischer Handaugenspiegel. (Nach THORNER.)

geschehen. Da es sich aber nur um Okularvergrößerungen handelt, ist eine stärkere Auflösung in Einzelheiten hierdurch nicht möglich.

GULLSTRAND hat bei der Verwendung seines großen Ophthalmoskopes zwei Verfahren unterschieden, die zentrische und azentrische reflexfreie Ophthalmoskopie. Auch bei der

zentrischen Ophthalmoskopie ist Beobachtungs- und Beleuchtungsfeld nicht dasselbe, die Lage von Blendenbild und Spaltbild in der Pupille des Patienten Auges fallen nicht zusammen. Hierzu bedarf es jedoch stets der Erweiterung der Pupille, was bei der azentrischen Methode nicht notwendig ist, wohl aber bei stereoskopischer Betrachtung, bei der beide Blendenbilder in die Pupille des Patienten Auges gebildet werden müssen.

Den Strahlengang im großen GULLSTRANDSchen Ophthalmoskop schildert schematisch Abb. 35.

Das vereinfachte große GULLSTRANDSche Ophthalmoskop, welches durch wenige Handgriffe in eine Spaltlampenbeleuchtung umgewandelt werden kann, hat einen anderen Strahlengang (s. bei HENKER).

Über Einzelheiten und die erreichbaren Vergrößerungen vergleiche man die Prospekte von ZEISS.

Durch Einfügung eines Demonstrationsokulares kann eine Ablenkung der Strahlen im Okular stattfinden, so daß ein zweiter Beobachter gleichzeitig den Augenhintergrund beobachten kann. In Anlehnung an das BRÜNINGSSche Laryngoskop für Beobachtung durch mehrere Personen wird neuerdings von ZEISS auf Anregung von WEGNER ein Polyophthalmoskop für neun Beobachter, angefertigt.

Während das ältere Modell des GULLSTRANDSchen Ophthalmoskopes mit einer Nernstlampe ausgerüstet war, wird jetzt der Apparat mit einer Nitalampe geliefert, die ein ausreichend helles Licht gibt.

### 8. Die Photographie des Augenhintergrundes.

Schon 1862 ist von NOYES, dann von BAGNERIS und GERLOFF der Versuch, den Augenhintergrund zu photographieren, gemacht worden. Aber erst durch THORNER, WOLF und DIMMER wurden brauchbare Photographien gewonnen. Ihr Nachteil lag in nicht genügender Auszeichnung am Rande. Durch Verwendung moderner Optik, wie bei der NORDENSONSchen Kamera, ist dieser Fehler vermieden. Versuche, farbige Photographien herzustellen (NIDA) sind wegen der langen Belichtungsdauer vorläufig auf das Tierauge beschränkt. WESSELY hat hierzu (beim Menschenauge) drei verschiedene Platten benützt, so daß mit Hilfe des Projektionsapparates der Augenhintergrund farbig wiedergegeben werden kann. Ein leicht brauchbares Verfahren ist erst zu erwarten, wenn es gelingt, hochempfindliche Farbenplatten herzustellen und ein entsprechendes Kopierverfahren zu gewinnen.

Da die gebräuchlichen photographischen Platten langwelliges Licht nicht befriedigend wiedergeben, hat ERGGELET neuerdings rotempfindliche Platten verwendet, die bessere Sichtbarkeit mancher Details liefern. Notwendig ist, bei jeder Photographie Plattenart und Empfindlichkeit anzugeben (ERGGELET).

Das Verfahren stützt sich auf die reflexlose Ophthalmoskopie, ein Vorteil liegt in der protokollarischen Fixierung des Augenhintergrundsbefundes. Man hat deshalb auch vorgeschlagen, sie zur kriminalistischen Identifizierung zu verwenden (BEDELL, s. auch früher LEVINSOHN). Eine gewisse

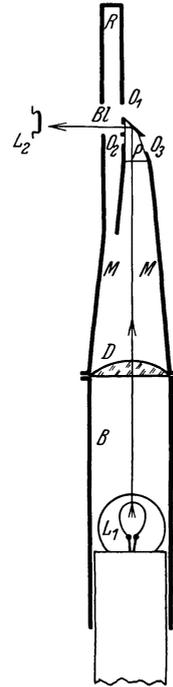


Abb. 34. Reflexfreies Ophthalmoskop. (Nach WOLF.) Von der Lichtquelle  $L_1$  wird durch die plankonvexe Linse  $D$  nach Durchsetzung eines total reflektierenden Prisma  $P$  ein Bild in  $L_2$ , etwa 10 mm vor der RECOSSSchen Scheibe  $R$ , entworfen. Der Beobachter blickt bei  $O_1$  durch die Blende  $Bl$  in das Patientenauge.

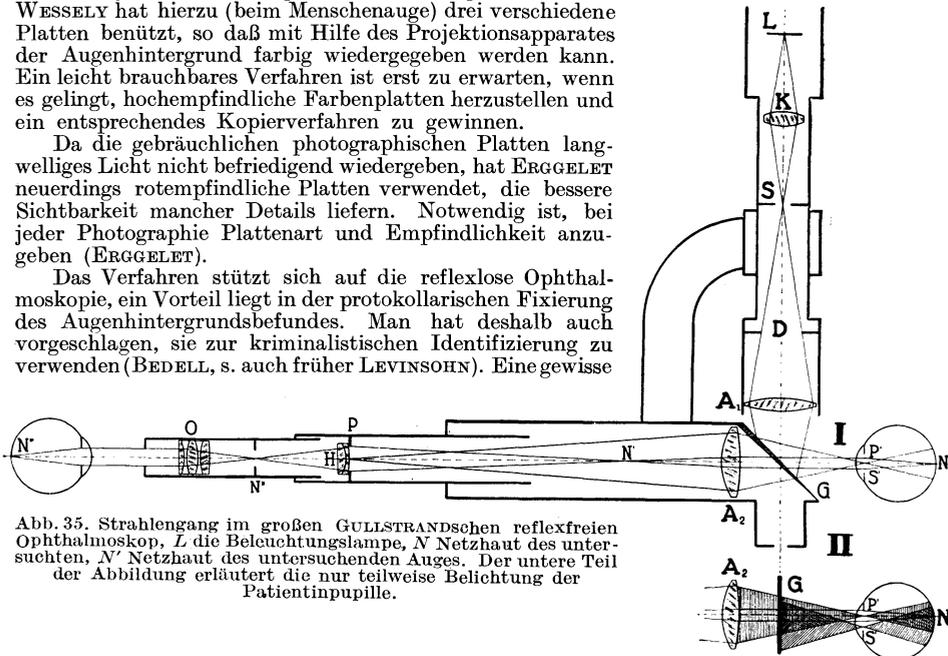


Abb. 35. Strahlengang im großen GULLSTRANDSchen reflexfreien Ophthalmoskop,  $L$  die Beleuchtungslampe,  $N$  Netzhaut des untersuchten,  $N'$  Netzhaut des untersuchenden Auges. Der untere Teil der Abbildung erläutert die nur teilweise Belichtung der Patientinpupille.

Einschränkung bezüglich des Vergleiches zeitlich eingetretener Veränderungen ist aber doch zu machen, da die Konstanz der Aufnahmebedingungen zu verschiedenen Zeiten nicht hinreichend gewährleistet sein dürfte. Das gilt in gewissem Sinne auch von der zunächst von THORNER, neuerdings von NORDENSON empfohlenen Ophthalmostereographie, die an sich eine Bereicherung der unmittelbaren Anschauung, wie das GULLSTRANDSche Stereo-Ophthalmoskop, gewährt.

Nach den komplizierten Apparaten von THORNER und DIMMER ist jetzt die NORDENSONSche Netzhautkammer oder die Vorrichtung von WERTHEIM-SALOMONSSOHN geeignet, in jeder Klinik Aufnahmen zu ermöglichen. Das Verfahren bedient sich der zentrischen reflexlosen Ophthalmoskopie GULLSTRANDS. Näheres siehe in den Originalarbeiten (DIMMER und PILLAT, BEDELL, s. auch HUGHES und METZGER).

### 9. Die Untersuchung des Kammerwinkels (Gonioskopie).

Die Untersuchung des Kammerwinkels ist eine Methode, die bisher noch nicht die Beachtung gefunden hat, die sie verdient, spielen sich doch sehr viele Veränderungen im vorderen Bulbusabschnitt und in der Gegend des Ciliarkörpers gerade in dieser Region ab, so daß ihre frühzeitige oder genauere Diagnostik von Bedeutung werden kann. Dabei ist die Methode seit den ersten Mitteilungen schon bald 20 Jahre alt.

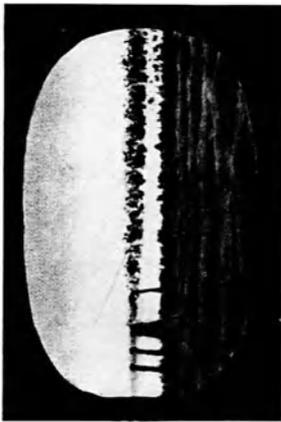


Abb. 36. Ophthalmoskopisches Bild der Kammerbucht. (Nach SALZMANN.)

Da man in den Kammerwinkel, sei es direkt oder unter Zuhilfenahme bestimmter Vorrichtungen, nur in sehr schiefer Richtung relativ zu der Hornhaut hineinschauen kann, muß sich notwendigerweise eine starke Deformation des Bildes infolge des Astigmatismus schiefer Bündel ergeben. Man kann also nicht erwarten, daß, wie etwa bei der Untersuchung mit Hilfe der Spaltlampe, wo die Richtung der Betrachtung nur wenig von der Senkrechten auf der Hornhautoberfläche abweicht, ein objektähnliches Abbild sich erzielen läßt. Wir erhalten nur „Äquivalentbilder“, wenn wir normale und pathologische Verhältnisse miteinander vergleichen wollen. Aus diesem Grunde ist auch vielfach über die Bedeutung der mit Hilfe der Gonioskopie gewonnenen Bilder

keine Übereinstimmung unter den Autoren vorhanden. Wohl mit darin ist neben gewissen technischen Schwierigkeiten der Methode der Grund zu sehen, daß sich das Verfahren relativ geringer Beliebtheit erfreut.

Wir können mehrere Arten bei dieser Methode unterscheiden:

**Die Untersuchung mit dem Lupenspiegel.** Die Untersuchung mit dem Lupenspiegel (aufrechtes Bild) bei dieser Methode ist bequem und zureichend nur für die nasale und temporale Partie. Das Verfahren wird so ausgeübt, daß man den Patienten, zweckmäßig bei enger Pupille, um die Iriswurzel möglichst abzuflachen, nasal bzw. temporal unter gleichzeitiger Kopfdrehung blicken läßt. Man sieht dabei schief durch die Hornhaut zunächst in die Pupille, bewegt sich dann noch weiter seitlich, bis die Pupille völlig verschwindet und der gegenüberliegende Teil der Iris in fast maximaler Verkürzung erscheint. In diesem Augenblick stellt sich vor der Iris ein heller Streifen ein, die Innenfläche des Skleralbordes, vor dem die grauer erscheinende Corneaflächen auftaucht (s. Abb. 36 nach SALZMANN). Die Iriswurzel zeigt oft kleine Vorbuckelungen, die in den weißen Skleralstreifen vorspringen. Mitunter tauchen in diesem einzelnen Gefäße auf, man sieht Zipfel der Regenbogenhaut bzw. das Ligamentum pectinatum. Man kann auch hier wie bei der Ophthalmoskopie des Augenhintergrundes im umgekehrten Bild mit Vorschaltung einer Konvexlinse untersuchen.

Wegen der totalen Reflexion beim Übertritt der Strahlen vom dichteren in das dünnere Medium reicht bei dieser Untersuchung ohne Hilfsmittel der Bezirk, der in der Kammerbucht der Untersuchung zugänglich ist, nicht sehr weit nach vorne. Bei flacher Kammer, wie bei älteren Menschen, oder bei weiter Pupille, wenn die Iris gerefft und infolgedessen verdickt ist, bildet sie ein Hindernis sowohl für den Eintritt als auch für den Austritt der Lichtstrahlen, die nicht bis zum Kammerwinkel gelangen. Das gilt aber zum Teil selbst bei

günstigen Verhältnissen, d. h. bei tiefer Kammer, wie bei Myopen, vor allem bei Hydr-ophthalmus (Fälle, bei denen es sich empfiehlt, zuerst die Methode zu üben), da die Iriswurzel beim Übergang in das Uvealgerüstwerk sich etwas nach rückwärts begibt, so daß hier eine ringförmige Furche entsteht. Den Boden dieser Furche erlaubt dieses Verfahren also nicht zu sehen.

**Die Untersuchung mit dem Auflegeglas.** Die schon besprochene Methode, die von SALZMANN zuerst geübt wurde, ist von diesem Autor, später von KOEPPE, modifiziert worden. SALZMANN verwendete zuerst FICKSche Kontaktgläser, dann ein eigens von ZEISS hergestelltes Auflegeglas, während KOEPPE eine größere Kammer dem Auge vorschaltete und den Zwischenraum zwischen dem Glase und der Hornhaut mit physiologischer Kochsalzlösung, der auf 100 g 8 Tropfen Glycerin zur Erhöhung des Brechungsindex zugesetzt wurden, benutzte. Durch derartige Auflegegläser wird die Brechung zwischen optisch dichterem Medium und Luft weiter nach vorne verlegt und infolgedessen kommt man bei schiefem Hineinblicken weiter nach hinten bzw. nach vorn. Es gelingt damit, einen besseren Überblick über die Verhältnisse des Kammerwinkels zu gewinnen, dem allerdings der Nachteil gewisser Unbequemlichkeiten für den Patienten und eine Komplizierung der Methode gegenüberstehen. Untersucht wird bei dieser Methode mit Hilfe eines Refraktionsaugenspiegels, dem man ein starkes Konvexglas einfügt (+ 12 bis + 20 dptr). In diesem Fall muß man allerdings nahe an das Auge herangehen, was bei Untersuchungen des temporalen Kammerwinkels gewisse Schwierigkeiten durch die Kollision mit der Nase des Patienten ergeben kann. Hier bewährt sich ein elektrischer Augenspiegel mit kleinem Kopf.

Um das Auflegeglas zu vermeiden, empfiehlt TRANTAS, durch die Lider hindurch den der Untersuchung unterworfenen Teil des Skleralbordes etwas mit dem Finger vorzubuckeln. Es entsteht eine leichte Abflachung der Wölbung des Bulbus an dieser Stelle und in der Tat gelingt es so, auch bei flacher vorderer Kammer, die Kammerbucht zu untersuchen.

KOEPPE hat unter Anwendung des Kontaktglases mit Hilfe des Bitumi oder Orthobitumi (s. S. 843) die Gonioskopie ausgeführt und dadurch stereoskopische Betrachtung erzielt.

Zur Untersuchung des Kammerwinkels in dem abhängigen Teil empfiehlt TRANTAS neuerdings die Verwendung des Zeißschen binokularen Hornhautmikroskopes, indem er den Patienten unter Kopfneigung um 30° nach vorn stark abwärts blicken läßt, von unten durch das Lid einen Druck auf den Augapfel ausübt, analog dem oben geschilderten Verfahren für die Untersuchung des nasalen und temporalen Bezirkes, und mit dem Hornhautmikroskop von oben her in den Kammerwinkel hineinblickt. Der obere Teil ist nicht in gleicher Weise zu untersuchen, weil der Patient sich nicht so weit zurücklegen kann und die Montierung des Hornhautmikroskopes die Aufrichtung nicht genügend gestattet.

In dieser Hinsicht ist das Gonioskop von TRONCOSO vielseitiger verwendbar. Hier wird durch eine kleine elektrische Lampe das Licht rechtwinklig in die Gegend des Kammerwinkels geschickt und durch ein anderes Rohr mit Hilfe eines total reflektierenden Prismas die Beobachtung vollzogen. Da das Instrument beliebig gedreht werden kann, ist es auf diese Weise möglich, die Kammerbucht in allen ihren Teilen zu untersuchen. Ein gewisser Nachteil ist die Notwendigkeit, auch bei diesem Verfahren ein Kontaktglas zu verwenden.

TRANTAS hat statt der Benutzung des Augenspiegels empfohlen, den Skleralbord von hinten her mit der LANGESchen Lampe zu durchleuchten. Er benutzt also das Prinzip der Diaphanoskopie (s. S. 883). Auch hier sieht man das Aufleuchten des Skleralstreifens und erkennt Veränderungen im Bereich des Kammerwinkels. Durch Ausübung eines leichten Druckes wird die Übersicht noch verbessert. Anwendung eines starken Konvexglases ist hierbei Voraussetzung. Die Bilder sind aber nicht durchaus in Parallele zu den im reflektierten Licht gewonnenen zu setzen. Denn es ist ja auch hier nur ein Schattenbild bzw. ein Bild, welches durch die von den betreffenden Partien durchgelassenen Strahlen zustande kommt, gegeben (s. darüber S. 883 f.).

## L i t e r a t u r.

### *Ophthalmoskopie.*

ABRAMOWICZ, I.: Über die Untersuchung des Augenhintergrundes mit dem elektrischen Augenspiegel im Halbschatten. *Klin. oczna (poln.)* 5, 55 (1927). *Ref. Zbl. Ophthalm.* 19, 202. — AMSLER, MARC: (a) Da la lueur pupillaire. *Rev. gén. d'Ophthalm.* 37, 473 (1923). *Ref. Zbl. Ophthalm.* 12, 421. (b) Über die GONINSche Operation. *Klin. Mbl. Augenheilk.* 86, 1 (1931).

BARABAŠOV, P.: Die Untersuchung der Ora serrata. *Ukrain. med. Arch.* 3 (1928). *Ref. Zbl. Ophthalm.* 22, 470. — BAUM, F.: Ophthalmo-Fundoskop. Ein neues Instrument zur Untersuchung des Augenhintergrundes in bisher nicht erzielten Vergrößerungen bei reflexlosem Bilde. *Klin. Mbl. Augenheilk.* 47, 161 (1909). — BAURMANN, M.: Spektroskopische Untersuchungen des Augenhintergrundes. *Graefes Arch.* 126, 536 (1931). — BEDELL, A. J.: (a) The Nordenson camera. *Amer. J. Ophthalm.* 10, 319 (1927). (b) Photographs of the fundus oculi, normal and pathological conditions, with case histories, single and

- stereoscopic views. N. Y. State J. Med. **27**, 951 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **20**, 572. — BEZOLD, v. u. ENGELHARDT: Über die Fluorescenz der lebenden Netzhaut. Ber. d. kgl. bayr. Akad. d. Wissensch. **7**, 226 (1878). Ref. Nagels Jber. **1878**, 22. — BISTIS, J.: Sur l'ophtalmoscopie totale par la diaphanoscopie. Arch. d'Ophtalm. **41**, 608 (1924). — BRÄTER, R. u. H. HARTINGER: Über Neuerungen auf dem Gebiete der ophthalmologischen Untersuchungsinstrumente. Z. ophthalm. Opt. **17**, 71 (1929). — BUSYGIN, N.: Ophthalmoskopie mit 5-Dioptrienlinse. Russk. oftalm. Ž. **12**, 94 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 636.
- CANTONNET, A.: Lampe pour l'ophtalmoscopie à la lumière verte. Clin. ophtalm. **9**, 534 (1920). — CASTRESANA, ANGEL: Die Biomikrostereoskopie des Iriscornealwinkels. Siglo méd. **79**, 293, 326 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **18**, 807. — COMBERG: Elektrischer Augenspiegel mit schmalem Lichtbüschel und Wendelinse. Dtsch. ophthalm. Ges. 1932. Ref. Zbl. Ophthalm. **27**, 240.
- DIMMER, F.: (a) Die Lokalisation der Trübungen in den brechenden Medien mittels des Augenspiegels. Graefes Arch. **38** (4), 19 (1892). (b) Über die Photographie des Augenhintergrundes. Ber. 29. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1901**, 162. (c) Die Photographie des Augenhintergrundes. Wiesbaden: J. F. Bergmann. Klin. Mbl. Augenheilk. **45**, Beilageheft, 256 (1907). (d) Der Augenspiegel und die ophthalmoskopische Diagnostik. 3. vollst. umgearb. u. verm. Aufl. Leipzig u. Wien 1921. — DIMMER, F. u. A. PILLAT: Atlas photographischer Bilder des menschlichen Augenhintergrundes. Leipzig u. Wien 1927. — DOBSON, MARGARET A.: Examination of the fundus oculi by light of limited spectral range. Amer. J. Ophthalm. **11**, 431 (1928). — DONDERS, F. C.: Die Grenzen des Gesichtsfeldes in bezug zu denen der Netzhaut. Graefes Arch. **23** (2), 255 (1877). — DUFOUR, M.: La mensuration des détails du fond de l'œil. Annales d'Ocul. **163**, 198 (1926).
- EBER, S. I.: Autoophthalmoscopy. Subjective examination of the retina. Amer. J. Ophthalm. **5**, 973 (1922). — ENGELHARDT: Fluorescenz der lebenden Netzhaut. Ophthalm. Verslg Heidelberg **1878**, 130. — ERGGELET, H.: Lichtbilder des Augenhintergrundes. Arch. Augenheilk. **100/101**, 402 (1929). — ESSER, A.: (a) Einige Bemerkungen zur Autoophthalmoskopie. Klin. Mbl. Augenheilk. **71**, 759 (1923). (b) Autoophthalmoscopie. Clin. ophtalm. **16**, 159 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **19**, 570.
- FISCHER, F. P.: Ein neues Lokalisations-Ophthalmoskop. Klin. Mbl. Augenheilk. **86**, 388 (1931); Z. ophthalm. Opt. **19**, 100 (1931). — FRÄNKEL, F.: Demonstration eines binokularen Augenspiegels. Ber. 36. Zus.-kunft ophthalm. Ges. Heidelberg **1918**, 314; Münch. med. Wschr. **57**, 548 (1910). — FREI, E.: Lupenspiegeluntersuchungen auf Glaskörpertrübungen bei verschiedenen Lichtquellen mit besonderer Berücksichtigung der physiologischen senilen Glaskörpertrübungen. Graefes Arch. **116**, 280 (1925). — FRIEDENWALD, JONAS S.: (a) Freely movable instrument for ophthalmoscopy with yellow green light. Amer. J. Ophthalm. **7**, 940 (1924). (b) A new Ophthalmoscope. Prelim. report. Bull. Hopkins Hosp. **40**, 201 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 533.
- GALLOIS, J.: L'ophtalmoscopie „plan par plan“ à l'image droite. Clin. ophtalm. **17**, 489 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 213. — GARROW, A.: Direct ophthalmoscopy in high myopia. Brit. J. Ophthalm. **11**, 343 (1927). — GERLOFF, O.: Über die Photographie des Augenhintergrundes. Klin. Mbl. Augenheilk. **29**, 397; Arch. f. Anat. **1891**, 536. — GODARD, P. J. E.: Ophthalmoscopie de soi-même. Clin. ophtalm. **15**, 569 (1926). Ref. Zbl. Ophthalm. **18**, 129. — GRAVES, B.: Small electric ophthalmoscopes. Brit. J. Ophthalm. **7**, 562 (1923). — GUILLOZ, TH.: (a) Champ d'observation dans l'examen ophtalmoscopique à l'image droite. Arch. d'Ophtalm. **14**, 118, 163 (1894). (b) Champ d'observation dans l'examen ophtalmoscopique à l'image renversée. Arch. d'Ophtalm. **15**, 84, 239 (1895). — GUINKOFF, V.: Sur un procédé de photographie de la rétine. C. r. **122**, 1017 (1896). Ref. Z. Psychol. **12**, 148. — GUIST, G.: Markierung von Netzhautstellen mittelst Thermokauters bei gleichzeitiger ophthalmoskopischer Beobachtung. Z. Augenheilk. **72**, 230 (1930). — GULLSTRAND, A.: (a) Neue Methoden der reflexlosen Ophthalmoskopie. Ber. 36. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1910**, 75; Z. Augenheilk. **24**, 256 (1910). (b) Die reflexlose Ophthalmoskopie. Arch. Augenheilk. **68**, 101 (1911). (c) Das vereinfachte große GULLSTRANDSche Ophthalmoskop. Klin. Mbl. Augenheilk. **67**, 118 (1921).
- HAAB, O.: Eine wesentliche Verbesserung der Ophthalmoskopie gewisser Augengrundsveränderungen. Münch. med. Wschr. **68**, 1179 (1921). — HAIRI, H.: Ophthalmoscopie sans ophtalmoscope. Rev. gén. Ophtalm. **35**, 297 (1921). Ref. Zbl. Ophthalm. **6**, 315. — HARTINGER, H.: Zur Netzhautlokalisation vom optischen Standpunkt. Z. Augenheilk. **74**, 85 (1931). — HENKER, O.: (a) Einige Zusatzapparate für das große GULLSTRANDSche Ophthalmoskop. 39. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1913**, 350. (b) Das vereinfachte große GULLSTRANDSche Ophthalmoskop. Z. ophthalm. Opt. **8**, 108 (1920). — HELMHOLD: Die Verwendung von Spektrallicht zur Augenuntersuchung. Med. Klin. **1910**, Nr 42. — HELMHOLTZ, H. v.: Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge. Berlin 1851. — HERBERT, J. FREDERICK: Ophthalmoscope sans reflexion de la lumière. Z. ophthalm. Opt. **17**, 75 (1929). — HOLLÓS, LÁSZLÓ: Zwei Modifikationen am GULLSTRAND-Instrumentarium. Gyógyászat (ung.) **67**, 39 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **18**,

166. — HUGHES, WENDELL L.: Stereoscopic photography as applied to the eye. Arch. of Ophthalm. **3**, 583 (1930).

JACKSON, E.: The examination of the eye by direct sunlight. Sect. on ophth. Amer. med. Assoc. St. Louis, 22.—26. Mai 1922, 141. Ref. Zbl. Ophthalm. **8**, 281.

KLEEFELD: (a) Une ampoule électrique à filament invisible. Annales d'Ocul. **158**, 521 (1921). (b) Chromoscopie clinique du fond de l'œil. Bull. Soc. belge Ophtalm. **1927**, 46. Ref. Zbl. Ophthalm. **20**, 450. — KNAPP, P.: Die Behandlung der Netzhautablösung nach GONIN. Schweiz. med. Wschr. **60**, 909 (1930). — KOPY, F. Ed.: (a) L'ophtalmoscopie de l'œil malade à la lumière anérythre. Rev. gén. Ophtalm. **34**, 361 (1920). Ref. Zbl. Ophthalm. **4**, 300. (b) Le rôle du sang dans la production de la couleur rouge du fond de l'œil éclairé à l'ophtalmoscope. Annales d'Ocul. **160**, 638 (1923). — KRÄMER, R.: Eine leicht bewegliche Lampe zur Untersuchung im rotfreien Licht. Z. ophthalm. Opt. **10**, 175 (1922). — KRAVKOV, S. W.: Über die Lichtabsorption im gelben Flecke des lebenden Auges. Pflügers Arch. **210**, 781 (1925).

LANDOLT, E. u. F. LANGENHAN: Ophthalmoskopie. GRAEFES-SÄEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, Untersuchungsmethoden, Bd. 1, 3. Aufl., S. 234. 1914. — LAUBER: (a) Ein neues Filter für rotfreies Licht. Klin. Mbl. Augenheilk. **67**, 648 (1921). (b) Ein Lichtfilter zur Untersuchung im rotfreien Lichte. Klin. Mbl. Augenheilk. **68**, 226 (1922). (c) Lichtquellen zur Augenspiegeluntersuchung im rotfreien Lichte. Z. Augenheilk. **69**, 92 (1929). (d) Vereinfachung und Verbesserung der Ophthalmoskopie im rotfreien Licht. 13. internat. Ophthalm.-Kongr. Amsterdam, 5.—13. Sept. 1929. Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 737. (e) Die Vorteile intensiver Lichtquellen für die Augenspiegeluntersuchung. Z. Augenheilk. **74**, 223 (1931). (f) Eine Niedervoltlampe für Augenspiegeluntersuchung im rotfreien Licht und andere augenärztliche Zwecke. Z. Augenheilk. **74**, 229 (1931). — LEMOINE, P. et G. VALOIS: Les sources lumineuses punctiformes à grand éclat dans la pratique ophtalmoscopique. Arch. d'Ophtalm. **39**, 545 (1922). — LEWITSKY, M.: Einige Bemerkungen über die Methoden der Lokalisation pathologischer Veränderungen im Fundus des Auges und ihre Projektion auf die Außenfläche der Sklera. Z. Augenheilk. **63**, 163 (1927). — LINDNER, K.: Ein neuer Weg zur Lagebestimmung von Stellen des Augenhintergrundes und seine Verwendung bei der GONINSCHEN Behandlung der Netzhautabhebung. Graefes Arch. **123**, 233 (1929). — LÖHLEIN, W.: Diskussion zum Vortrag HARTINGER: Zur Netzhautlokalisierung vom optischen Standpunkt. Z. Augenheilk. **74**, 87 (1931). — LOGINOV, G.: Zur Frage der Lokalisationsbestimmung des unbeweglichen Cysticercus unter der Netzhaut. Russk. oftalm. Ž. **12**, 192 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 760.

MAJEWSKI, K. W.: Essai d'un repérage des lésions ophtalmoscopiques. Arch. d'Ophtalm. **47**, 440 (1930). — MARX, E.: (a) Die Ursache der roten Farbe des normalen ophtalmoskopisch beobachteten Augenhintergrundes. Graefes Arch. **71**, 141 (1909). (b) De l'origine de la couleur rouge de l'œil normal éclairé à l'ophtalmoscope à propos d'un article de M. KOPY. Ann. d'Ocul. **160**, 646 (1923). — METZGER, E.: (a) Eine einfache Einrichtung zum Augenspiegeln im rotfreien Licht. Z. ophthalm. Opt. **11**, 65 (1923); Klin. Mbl. Augenheilk. **69**, 838 (1922). (b) Die Stereophotographie des Augenhintergrundes. Klin. Mbl. Augenheilk. **78**, 338 (1927). — MORGAN, O. GAYER: A retinal graticule. Brit. J. Ophthalm. **11**, 339 (1927).

NAGEL: Handbuch der physiologischen Optik von H. v. HELMHOLTZ, 3. Aufl. Ergänzt u. herausgeg. in Gemeinschaft mit GULLSTRAND u. v. KRIES. Bd. 1. Hamburg u. Leipzig 1909. — NIDA: Farbenphotographie des Augenhintergrundes. 13. internat. Ophthalm.-Kongr. Amsterdam, 5.—13. Sept. 1929. Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 737 (1930). — NORDENSON: (a) Augenkamera zum stationären Ophthalmoskop von GULLSTRAND. Ber. 45. Zus.kunft dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg 1925, 278. (b) Stereoskopische Ophthalmographie (Augenhintergrundphotographie I.) durch einfache Aufnahmen. Uppsala Läk.för. Förh. **32**, 295 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **18**, 533. (c) Über Messungen am Augenhintergrunde. Z. ophthalm. Opt. **19**, 1 (1931). — NEUMANN-KLEINPAUL, K.: Der Neukla-Augenspiegel. Arch. Tierheilk. **58**, 269 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 213.

OLSHO, SIDNEY L.: Red-free filter for electric ophthalmoscopes. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **45**, 814 (1925).

PACALIN, G.: (a) Considérations physiques sur l'image droite du fond de l'œil dans les divers états de réfraction. Arch. d'Ophtalm. **38**, 601 (1921). (b) Etude théorique et pratique de l'image renversée du fond de l'œil. Arch. d'Ophtalm. **39**, 587 (1922). (c) Pratique de l'examen du fond de l'œil à l'image renversée à l'aide de deux lentilles l'une servant d'oculaire et l'autre d'objectif. Annales d'Ocul. **611**, 17 (1924). — PASCAL, JOS. L.: The photoscope. Amer. J. Ophthalm. **10**, 48 (1927). — PASSOW, A.: Demonstration eines Rheostaten in Schnurform zum Anschluß an den SIMONSCHEN Augenspiegel. Ber. dtsh. ophthalm. Ges. **42**, 343 (1920). — PAVIA, LIJO: Neue Fortschritte in der Augenheilkunde. Die Photographie des Augenhintergrundes ohne lästige Reflexe. Die Farbenphotographie des Augenhintergrundes. Rev. méd. lat.-amer. **16**, 483 (1931). Ref. Zbl. Ophthalm. **25**, 375. — PICK: Zur Sicht-

barkeit von Diskontinuitätsflächen der Linse mit dem Augenspiegel. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **74**, 455 (1925). — PURTSCHER, O.: Über Autothalmoskopie. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **72**, 632 (1924).

REITSCH, W.: Zur Lagebestimmung im Augenhintergrund. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **51 I**, 51 (1913). — RUYTER, J. de: (a) Vergleich zwischen elektrischem Augenspiegel und Ophthalmoskopielampe. *Geneesk. Tijdschr. Nederl.-Indië* **65**, 70 (1925). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **15**, 37 (1926). (b) Vergleich zwischen reflexfreien und nicht reflexfreien Augenspiegeln. *Geneesk. Tijdschr. Nederl.-Indië* **65**, 345 (1925). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **15**, 861.

SAFAR, KARL: Ein Zielophthalmoskop für die operative Behandlung der Netzhautabhebung nach GONIN. *Z. Augenheilk.* **71**, 307 (1930). — SALZMANN, M.: Über die Sichtbarkeit der Ora serrata, die Ablösung dieser Gegend und die traumatische Myopie. *Verh. außerordentl. Tagg dtsh. ophthalm. Ges. Wien*, 4.—6. Aug. **1921**, 416. *Ref. Zbl. Ophthalm.* **7**, 504. (b) Ophthalmoskopie der Kammerbucht. *Z. Augenheilk.* **31**, 1 (1914); **34**, 26 und 160 (1915). (c) Ortsbestimmung im Augeninneren. *Graefes Arch.* **123**, 252 (1929). — SCHÖENBERG, MARK J.: The gonin operation for detachments of the retina. *Arch. of Ophthalm.* **3**, 684 (1930). — SCHOUSBOE, M. F.: Sur un procédé d'examen du fond d'œil des myopes forts. *Clin. ophtalm.* **11**, 486 (1922). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **8**, 522. — SCIMEMI: Metodo grafico generale per determinare la posizione d'un punto, o di un cisticerco, nel fondo oculare. *Soc. ital. Oftalm.*, 17.—30. Okt. 1925. *Ref. Zbl. Ophthalm.* **17**, 552. — SEGALLER, M.: Ophthalmoscopec électrique avec la lampe à fente. *Bull. Soc. Ophthalm. Paris* **1927**, 47. *Ref. Zbl. Ophthalm.* **18**, 281. — SPANUTH, H.: (a) Der „Busch“-Hand-Augenspiegel nach Prof. Dr. THORNER. *Psychiatr.-neur. Wschr.* **28**, 520 (1926). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **17**, 885. (b) Dreißig Jahre reflexlose Ophthalmoskopie. *Z. Augenheilk.* **67**, 221 (1929). (c) Über einen reflexlosen stereoskopischen Hand-Augenspiegel. *Dtsch. opt. Wschr.* **1929 I**, 417. — STÄHLI: Zur Augenuntersuchung mit Nernstlicht. *Beitr. Augenheilk.* **1912**, H. 82. — STEWART, D. STENHOUSE: A combined ophthalmoscope, retinoscope, and hand slitlamp. *Brit. J. Ophthalm.* **12**, 519 (1928).

THORBURN, T.: A gonioscopic study of anterior peripheral synechiae in primary glaucoma. *Sv. Läk.sällsk. Hdl.* **53**, 252, 273 (1927). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **19**, 838. — THORNER, WALTER: (a) Über die Photographie des Augenhintergrundes. *Inaug.-Diss. Berlin* 1896. *Ref. Z. Psychol.* **14**, 149. (b) Ein neuer stabiler Augenspiegel mit reflexlosem Bilde. Bericht über die Verhandl. des 9. internat. Ophthalm. Kongresses in Utrecht. *Beilageh. Z. Augenheilk.* **21**, 90; *Z. Psychol. u. Sinnesphysiol.* **20**, 294 (1899). (c) Über reflexlose Augenspiegel. *Dtsch. Naturforsch.verslg Hamburg*. II, **2**, 316 (1902). (d) Ein stereoskopisches Okular zu meinem reflexlosen Augenspiegel. *Arch. Augenheilk.* **47**, 347 (1903). (e) Die Theorie des Augenspiegels und die Photographie des Augenhintergrundes. *Berlin* 1903. (f) Zur Photographie des Augenhintergrundes. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **44 II**, 547 (1906). (g) Zur Photographie des Augenhintergrundes. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **45 II**, 592 (1907). (h) Die stereoskopische Photographie des Augenhintergrundes. *Ber. ophthalm. Sekt. 81. Verslg dtsh. Naturforsch. u. Ärzte. Z. Augenheilk.* **22**, 371; *Klin. Mbl. Augenheilk.* **47 I**, 481 (1909). (i) Ein reflexloser Handaugenspiegel. *Z. Augenheilk.* **24**, 1 (1910). (k) Die stereoskopische Photographie des Augenhintergrundes. *Verh. Ges. dtsh. Naturforsch. u. Ärzte*, 2. Teil, 2. Hälfte **1910**, 224. (l) Ein reflexloser, stereoskopischer Handaugenspiegel. *Ber. dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg* **1928**, 483. (m) Ein Apparat zur stereoskopischen Ophthalmoskopie im rotfreien, fokalen und diffusen Licht. *Ber. 48. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg* **1930**, 182. (n) Die Entwicklung der reflexlosen Ophthalmoskopie. *Z.ztg. Opt. u. Mech.* **52**, 169 (1931). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **25**, 521. — TOBIAS, G.: Eine Lampe von 10 Volt Spannung für den elektrischen Augenspiegel. *Z. Augenheilk.* **55**, 187 (1925). — TRANTAS, A.: (a) Moyen d'explorer par l'ophtalmoscopec — et par translucidité — la partie antérieure du fond oculaire, le cercle ciliaire y compris. *Arch. d'Ophtalm.* **20**, 314 (1900). (b) Ophtalmoscopec de la région ciliaire et rétrociliaire. *Arch. d'Ophtalm.* **27**, 581 (1907). (c) L'ophtalmoscopec de l'angle irido-cornéen (Gonioscopec). *Arch. d'Ophtalm.* **36**, 257 (1918). (d) Ophtalmoscopec totale par éclairage par contact avec pression sur le globe oculaire. *Rev. gén. Ophtalm.* **37**, 480 (1923). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **12**, 418 (1924). (e) Ophtalmoscopec diaphanoscopecique totale par pression sur la sclérotique. *Arch. d'Ophtalm.* **43**, 149 (1926). (f) Sur la gonioscopecie (ophtalmoscopecie de l'angle irido-cornéen). *Arch. d'Ophtalm.* **45**, 617 (1928). (g) Utilisation du microscope de Czapski pour la gonioscopecie et pour la cycloscopecie (ou gonioscopecie postérieure). *Bull. Soc. Ophtalm. Paris* **6**, 345 (1930). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **24**, 636. — TRONCOSO, MANUEL URIBE: (a) Gonioscopecy and its clinical applications. *Amer. J. Ophthalm.* **8**, 433 (1925). (b) Gonioscopecy in glaucoma. *Contrib. ophthalm. Sci., Jackson birthday-Bd.*, 74 (1926). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **17**, 128.

VALENTIN, J.: Beiträge zur Kenntnis des Winterschlafes der Murmeltiere. 24. Abt.: Das Netzhautrot. MOLESCHOTTS Untersuchungen zur Naturlehre **12**, 31 (1930). *Ref. Nagels Jber.* **1878**, 99. — VOGT, A.: (a) Demonstration eines von Rot befreiten Ophthalmoskopielichtes. 39. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1913**, 416. (b) Untersuchungen des Auges im rotfreien Licht. *ABDERHALDENS Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden V. 6.* (c) Die Ophthalmoskopie im rotfreien Lichte. *Münch. med. Wschr.* **72**, 1101 (1925). (d) Die

Ophthalmoskopie im rotfreien Lichte. Handbuch der gesamten Augenheilkunde von GRAEFE-SAEMISCH, 3. Aufl., Die Untersuchungsmethoden, Bd. 3, 1925.

WEGNER, W.: Demonstrationspolyophthalmoskop. Klin. Mbl. Augenheilk. **83**, 544 (1929) und 13. internat. Ophthalm.-Kongr. Amsterdam, 5. — 13. Sept. 1929. Ref. Z. Ophthalm. **22**, 737. — WERTHEIM-SALOMONSON, I. K. A.: A new photographic and a new demonstration ophthalmoscope. Brit. J. Ophthalm. **5**, 163 (1921). — WESSELY: (a) Autophthalmoskopie. Dtsch. med. Wschr. **1906**, 245. (b) Ein einfacher Demonstrationsaugenspiegel im umgekehrten Bild für zwei Beobachter. Arch. Augenheilk. **71**, 267 (1912). (c) Die praktische Bedeutung der Stereoskopie des Augenhintergrundes. Jkurse ärztl. Fortbildg **16**, 1 (1925). — WESSELY, K. u. E. WERTHEIMER: Farbenphotographie des Augenhintergrundes. Klin. Wschr. **1929 II**, 1624. — WEVE, H.: (a) SIMONS Augenspiegel. Nederl. Tijdschr. Geneesk. **71 II**, 2311 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **19**, 570. (b) Über Netzhautablösung und den Thermokauterreiz von GONIN. Nederl. Tijdschr. Geneesk. **1930 I**, 2354. Ref. Zbl. Ophthalm. **23**, 844. — WOLFF, HUGO: (a) Neuer elektrischer Augenspiegel. Berl. med. Ges., Münch. med. Wschr. **1900**, 270 u. Ber. 28. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1900**, 180. (b) Zur Photographie des menschlichen Augenhintergrundes. Arch. Augenheilk. **59**, 115; Verh. Ges. dtsh. Naturforsch. u. Ärzte. 79. Verslg Dresden **2 II**; Klin. Mbl. Augenheilk. **45 II**, 447 (1908). (c) Über die zentrische reflexlose Mikro-Ophthalmoskopie. Z. Augenheilk. **28**, 307 (1912). (d) Demonstration eines neuen Untersuchungsinstrumentes für das menschliche Auge. Ber. 38. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1912**, 348; Zbl. prakt. Augenheilk. **1912**, 197. (e) Über neue ophthalmoskopische Untersuchungsmethoden. Z. Augenheilk. **29**, 215 (1913). — WRIGHT, R. E.: The modern electric ophthalmoscope, its disadvantages and advantages. Brit. J. Ophthalm. **7**, 559 (1923).

ZAMENHOF, A.: (a) Untersuchung des Auges im Spaltlichte mittels elektrischen Augenspiegels. Klin. oczna (poln.) **3**, 68 (1925). Ref. Zbl. Ophthalm. **15**, 860. (b) Über rote Schatten im Augenhintergrund. Klin. oczna (poln.) **5**, 62 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **19**, 58. (c) Sur la photographie stéréoscopique du fond de l'œil. Annales d'Ocul. **166**, 689 (1929). (d) Ein neuer Weg zur Untersuchung des Augenhintergrundes. Graefes Arch. **124**, 87 (1930). (e) Les ombres intrinsèques du fond de l'œil. Annales d'Ocul. **167**, 285 (1930).

## V. Die Diaphanoskopie (die Durchleuchtung mit sichtbaren Strahlen).

### 1. Die Grundlagen der Diaphanoskopie.

Die Durchleuchtung von Organen, insbesondere des Auges mittels sichtbarer Strahlen durch die Sklera oder vom Munde aus ist eine Untersuchungsmethode, die vielfach dort noch Aufschlüsse gibt, wo andere Verfahren versagen. Dem Augenarzt dient sie vor allem dazu, die Ophthalmoskopie zu ergänzen.

**Das Wesen der Methode.** Während bei der sonst üblichen Untersuchung und beim Augenspiegeln das auffallende und dann wieder reflektierte Licht Verwendung findet, wird bei der Diaphanoskopie das *durchfallende Licht* benutzt, ähnlich wie bei der Betrachtung von mikroskopischen Präparaten. Ein Unterschied ist allerdings darin gegeben, daß wir im Mikroskop meist nur sehr dünne Schichten zu durchleuchten haben, die in ihren einzelnen Partien für gewöhnlich in der Durchfallsrichtung des Lichtes als gleichmäßig gefärbt angesehen werden dürfen. Bei der Durchleuchtung von Organen ist das nicht der Fall; vielmehr ist es hier immer eine relativ dicke Gewebsschicht, mitunter von wechselnder Färbung, die durchstrahlt wird. Das austretende Licht, welches wir z. B. durch die Pupille des untersuchten Auges oder in anderen Bezirken des vorderen Augapfelabschnittes zu erkennen vermögen, ist deshalb in der Färbung nicht eindeutig bestimmt. Während wir bei der Ophthalmoskopie eine scharf umschriebene Lichtquelle von einer physikalischen Zusammensetzung benutzen, die wir kennen oder kennen können, bei der meist das ganze Spektrum, wenn auch nicht quantitativ, mit demjenigen des Tageslichtes übereinstimmt, liegen die Verhältnisse bei der Diaphanoskopie daher grundsätzlich anders.

Obwohl die leuchtende Fläche des Instrumentes klein ist, so wird doch durch das Aufsetzen z. B. auf die Sklera, in noch stärkerem Maße vom Munde her nach HERTZELL, durch das trübe Medium der Lederhaut, zu der im zweiten Falle noch die zwischengeschalteten

Gewebe des Rachens, der Orbita und anderer Organe kommen, eine diffuse Lichtzerstreuung durch Beugung des Lichtes bedingt. Hieraus resultiert nicht mehr eine scharf umschriebene Lichtquelle, sondern es werden, von der direkt belichteten Stelle aus abnehmend, größere Teile z. B. der Skleralhülle belichtet und damit ihrerseits zur Lichtquelle, die nun das Augennere von hinten oder von der Seite her durchstrahlen. Auf diese Tatsache hat in neuerer Zeit GUIST an der Hand eines Modellversuches hingewiesen.

Bei einer im Vergleich zu dem Schatten werfenden Objekt großen Lichtfläche kann ein scharfer Schatten für gewöhnlich nicht entstehen. Denn der Ausfall an Licht, der bei Durchstrahlung von einem Element der leuchtenden Fläche her bedingt wird, wird durch Belichtung von einem anderen her, in dessen Lichtweg der den Schatten werfende Gegenstand nicht eingeschaltet ist, überstrahlt, d. h. der Kernschatten fehlt. Ausnahmen machen nur zwei Fälle; wenn der schattenwerfende Körper (das Licht nicht durchlassende Gewebe) der beleuchtenden Fläche nahe anliegt und sie mindestens zu einem erheblichen Teil verdeckt, oder wenn er dem Auffangschirm sehr stark genähert ist. Im ersten Falle wird die Helligkeit der durchleuchteten Gebilde insgesamt geringer werden, z. B. Verdunkelung der Pupille bei einem Melanom. Der zweite Fall läßt sich sehr leicht veranschaulichen, wenn man einer hell beschienenen, weißen Wand gegenübersteht, vor das Auge etwa nicht zu dünnes Seidenpapier nimmt und nun zwischen dieses und die Wand einen Gegenstand, z. B. den Finger schiebt. Man erkennt dessen Schatten nur dann, wenn er dem Auffangschirm sehr stark genähert wird. Wir können deshalb im allgemeinen erst dann damit rechnen, im Augennern Licht absorbierende Gebilde als einigermaßen scharfe Schatten zu erkennen, wenn sie der Skleralwand anliegen oder sich in der Linse befinden, da für gewöhnlich die Ebene der Pupille als Auffangschirm betrachtet werden kann. Das gleiche gilt von Defekten in den Pigmentschichten des vorderen Augapfelabschnittes, da diese der Skleralwand, bzw. der Iris, die ihrerseits auch als Auffangschirm dient, dicht anliegen.

Eine dritte Möglichkeit der Verwendung der Diaphanoskopie liegt darin, daß z. B. bei diffuser diaskleraler Beleuchtung des Augennern von einer Stelle aus, einzelne Teile eine verschieden starke bzw. selektive Lichtremission besitzen. Bei transpupillärer Beobachtung können diese Teile sich dann herausheben. Das Verfahren ist damit eine Abart der üblichen Untersuchung im auffallenden bzw. reflektierten Licht.

**Zusammensetzung des Lichtes.** Da die durchstrahlten Gewebe wegen ihres Blutgehaltes die kurzwelligen Strahlen verschlucken und nur die langwelligen durchlassen, müssen alle Gebilde, die wir aufleuchten sehen, mehr oder weniger rot gefärbt sein. Auf diesem Grunde heben sich die Schatten dann schwarz ab. Deshalb können auch Einzelheiten des Fundus nicht in der natürlichen Farbe gesehen werden, wie bei der gewöhnlichen Ophthalmoskopie. So erscheinen markhaltige Nervenfasern dunkel, da sie als weiß gefärbt von hinten durchtretendes Licht zurückwerfen. Man hat auch zur Diaphanoskopie gefiltertes (z. B. rotfreies) Licht empfohlen, wozu aber sehr intensive Lichtquellen nötig sind (Mikrobogenlampe, PURTSCHER und GUIST). Auch sonst ist wegen des starken Lichtverlustes Verwendung intensiver Lichtquellen nötig. Dabei können feine Schatten überstrahlt werden, weil von der Nachbarschaft durch Beugung in den trüben Medien eine Lichtzerstreuung eintritt. HOLTH empfiehlt deshalb für kleine Geschwülste Anwendung schwächerer Lichtquellen, am besten Einschaltung eines Rheostaten.

**Einfluß der Adaptation.** Da die Durchleuchtung bei ziemlich starker Dunkeladaptation des Beobachters erfolgt (Untersuchung im völlig verdunkelten Zimmer), ist die Sehschärfe nur gering. Erschwerend kommt hinzu, daß meist bei der diaskleralen Durchleuchtung die Nachbarschaft Licht reflektiert. Bei der Durchleuchtung vom Munde nach HERTZELL muß aus diesem Grunde das übrige Gesicht mit einer schwarzen Maske bedeckt werden.

## 2. Die praktische Anwendung der Diaphanoskopie.

### a) Instrumente zur Durchleuchtung.

Das Prinzip dieser Instrumente beruht darauf, daß eine intensive Lichtquelle in ein dunkles Gehäuse eingeschlossen ist, dem mit oder ohne Zwischenschaltung von optischen Systemen ein konisch verjüngter Glasstab mit abgestumpfter Spitze aufgesetzt wird. Dieser, von einer schwarzen Hülle umgeben, ist nur in seinen beiden Frontflächen frei. Infolge totaler Reflexion innerhalb des Glasstabes wird das Licht zum Austritt an der der Lichtquelle abgewandten verschmälerten Stirnfläche gebracht. Diese wird auf das anästhesierte Auge aufgesetzt und durchleuchtet dann das Bulbusinnere. Auch kann man, was oft genügt, den Apparat auf die Lider aufsetzen (TRANTAS).

Die Zahl der beschriebenen Durchleuchtungslampen ist nicht gering. Es seien nur einige näher beschrieben.

**Durchleuchtungslampen.** Die Lampe von SACHS hat sich aus der FUCHSSchen Beleuchtungslampe zum Operieren entwickelt und besteht aus einer elektrischen Birne, deren eine Hälfte mit einem Silberspiegel belegt ist. Sie ist in eine Metallkapsel eingeschlossen, auf deren einer Halbkugel für gewöhnliche Benützung eine Linse vorgeschaltet wird. Diese ist für die Diaphanoskopie durch einen dicht schließenden Metallring ersetzt, in dessen Mitte der Glasconus mit einer Ebonitkapsel zur Abdeckung des Lichtes befestigt wird. Die Lampe hat den Vorzug, daß sie wegen der Silberbelegung ein ziemlich intensives Licht gibt, ist aber wegen ihrer Größe (etwa 10 cm Durchmesser) etwas unhandlich.

Es wird deshalb jetzt mit Vorliebe die LANGESche Lampe benutzt, die kleiner ist, ein 8 Voltlämpchen beherbergt, dem ein Kondensator vorgeschaltet ist; dieser bildet die Lichtquelle in die Austrittsöffnung des Glaskegels ab. Der Glasconus ist schmaler und von verschiedener Form, zweckmäßig vorne abgebogen; für Durchleuchtung des Bulbus von hinten her ist er stärker und doppelt gekrümmt.

Ganz kleine Modelle, zum Teil mit elektrischen Taschenbatterien zu betreiben, sind von WÜRDEMANN und CITELLI angegeben worden. Eine Modifikation hat LINDHAL beschrieben, insbesondere für die von ihm empfohlene, unten beschriebene transpupillare Durchleuchtung. Auch die HESSsche Hammerlampe kann durch einen Glasconus für die Durchleuchtung adaptiert werden, ebenso wie der SIMONSche Augenspiegel mit einem Glaskegel versehen worden ist.

DALÉN hat nach dem Prinzip des Cystoskopes eine Lampe konstruiert in Form einer Metallhülse mit einem kleinen Ausschnitt nahe deren vorderem Ende. An dieser Stelle befindet sich die kleine elektrische Birne. Hierbei ist der Lichtverlust, der natürlich durch die wiederholte Totalreflexion am Glasconus eintreten muß, vermieden, so daß eine intensivere Beleuchtung, die überdies durch das Naheheranföhren der Lichtquelle an die Durchleuchtungsstelle der Sklera gesteigert wird, möglich ist. Ein gewisser Nachteil dürfte darin liegen, daß die Erhitzung des Instrumentes schneller eintritt als bei Anbringen der Lampe hinter dem Glasconus.

### b) Die technische Ausführung der Diaphanoskopie.

Die Durchleuchtung kann auf verschiedene Art vorgenommen werden.

Bei der **diaskleralen Durchleuchtung** wird der Glasconus bzw. die Lampe nacheinander an verschiedenen Stellen der Sklera aufgesetzt. Beobachtet wird durch die Pupille auf durchleuchtete oder beschattete Partien in der vorderen Sklera. Sitzen Tumoren weit hinten, so muß man mitunter den sterilisierten Glasconus durch einen Schlitz in der Conjunctiva und TENONschen Kapsel, am besten zwischen Rectus superior und lateralis einföhren (GOLOWIN, DALÉN, ERGGELET, RÖNNE, DERBY, MAJEWSKI).

Bei der **transpupillaren Methode** von LINDHAL bringt man das Instrument seitlich vor die Pupille und leuchtet durch diese hindurch unter Beobachtung des vorderen Skleralabschnittes. In ähnlicher Weise läßt sich die von GULLSTRAND empfohlene Pointelitelampe verwenden. Die Untersuchung beschränkt sich aber hier auf den vorderen Abschnitt des Augapfels, insbesondere Ora serrata und Ziliarkörper.

Die **Durchleuchtung vom Munde aus** (indirekte Diaphanoskopie) ist ursprünglich von den Rhinologen zur Durchleuchtung der Nasennebenhöhlen angegeben worden. Von HERTZELL ist das Verfahren ausgebaut. Er benutzt eine 100kerzige Lampe mit Wasserkühlung. Die Methode ist etwas unhandlich und nicht frei von Fehlerquellen, da die retrobulbären Gewebe von Einfluß für die Schattenbildung in der Pupille sind (S. 883).

## 3. Die Beurteilung des Befundes bei der Diaphanoskopie.

**Verschattung der Pupille.** Verdunkelung der ganzen Pupille beim Aufsetzen der Spitze des Glasstabes in einem bestimmten Bereich der Lederhaut gilt als charakteristisches Symptom des Melanoms, während Leukosarkome keine Beschattung zu geben brauchen. Andererseits kann der Ziliarkörper bei starker Pigmentierung eine Abnahme der Helligkeit bewirken, die zu diagnostischen Irrtümern zu föhren vermag. Glaskörperblutungen geben Verschattung, meist gleichgültig, an welcher Stelle der Glasconus aufgesetzt wird.

Umschriebene Verschattungen beim Einblick in die Pupille treten dann ein, wenn das im Auginneren reflektierte Licht abgeschwächt wird. So kann man Schatten kleiner melanotischer Tumoren, umgeben von dem übrigen Rot des Fundus erkennen, ebenso die Felderung der Pigmentierung der Aderhaut. Bei bestehender Ablatio kann man hier Fehlschlüsse ziehen.

Trübungen in den brechenden Medien sind als Schatten oder hell leuchtende Gebilde in der Pupille zu erkennen.

**Schattenbildungen im vorderen Bulbusabschnitt.** Das Corpus ciliare gibt, wenn von der Seite durchstrahlt wird, einen dunklen Schatten auf der gegenüberliegenden Zirkumferenz. Ebenso sieht man die Ora serrata. Vor diesen liegt der Orbicularisring (LANGENHAN), der wegen des geringeren Pigmentgehaltes heller aufleuchtet. Als Schattenlinie hebt sich oft bei wenig pigmentierter Iris der Linsenrand heraus, den GUIST richtig als durch Totalreflexion entstanden deutet (Abb. 37), analog wie bei der in die Vorderkammer luxierten Linse. Dehiszenzen im Pigmentblatt der Iris sind bei Sphinkterrissen zu erkennen, solide Tumoren der Iris geben dichte Schatten. Fremdkörper, selbst Wimpern, die dem vorderen



Abb. 37. Aussehen des vorderen Bulbusabschnittes bei Diaphanoskopie nach LANGENHAN (farblos wiedergegeben). Links Diaphanoskopielampe, rechts oben ein Schatten (Tumor des Ciliarkörpers). Auf der Iris erscheint als fast ganz geschlossene Kreislinie der Schatten des Linsenrandes.

Bulbus aufliegen, sind gut als Schatten erkennbar. Das Verfahren ist deshalb von SACHS auch zur Lokalisation intrakularer Splitter verwendet worden. Bei der Operation ist die Diaphanoskopie aber in diesem Falle nicht gut benutzbar, weil wegen der Abdunkelung die Sehschärfe zu gering und daher der Schatten nicht scharf genug wird und die geringste Blutung auf der Sklera eine sehr starke weitere Verschattung ergibt.

Zur Lokalisation von Netzhautrissen ist die Diaphanoskopie ebenfalls gut brauchbar (s. S. 871).

Eine besondere Art der Verwendung der Diaphanoskopie hat TRANTAS angegeben: Bei leichtem Eindringen der Spitze des Instrumentes kann die Gegend der Ora serrata direkt gespiegelt werden (S. 879).

Bei **Durchleuchtung der Lider** (nach TRANTAS) sieht man die Tränenpunkte und die Tränenkanälchen hell aufleuchten. Ist der Tränenpunkt verlegt, so kann man seinen Ort dadurch leicht ermitteln. Die Unterscheidung, ob in einer Lidschwellung sich Eiter befindet oder ob es sich um ein reines Chalazion handelt, ist dadurch möglich, daß sich im ersten Fall ein Schatten (durch Zurückwerfung des Lichtes durch die weißen Eiterzellen) zeigt. Das reine Chalazion ist gleichmäßig durchleuchtbar.

## L i t e r a t u r.

### Die Diaphanoskopie.

CITELLI, SALVATORE: Su un nuovo diafanoscopio. Riv. otol. ecc. **4**, 394 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **19**, 100.

DALÉN, AMIN: Eine einfache und billige Lampe für diasklerale Durchleuchtung des Bulbus. Klin. Mbl. Augenheilk. **75**, 157 (1925). — DERBY, GEORGE S.: Posterior transillumination of the eyeball. Trans. amer. ophthalm. Soc. **21**, 148 (1923); Arch. of Ophthalm. **53**, 152 (1924).

ERGGELET, H.: (a) Zur Diagnose der Geschwülste des hinteren Augenabschnittes. Klin. Mbl. Augenheilk. **79**, 95 (1927). (b) Aussprache zum Vortrage GONIN. Ber. 47. Verslg. dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1928**, 50.

GOŁOWIN: (a) Über die Methode der retrobulbären Durchleuchtung des Auges. Westnik Ophthalm. **1910**, 863. Ref. Nagels Jber. **1910**, 173. (b) Zur Frage über die retrobulbäre Diaphanoskopie. Klin. Mbl. Augenheilk. **77**, 404 (1926). — GRAVES, BASIL: Contact-illumination in the examination of the cornea and anterior part of the eye. Brit. J. Ophthalm. **5**, 212, 350 (1921). — GUIST, GUSTAV: (a) Die sklerale Durchleuchtung mit Bogenlicht. Z. Augenheilk. **48**, 219 (1922). (b) Die Verwendbarkeit starker Lichtquellen zur diaskleralen Durchleuchtung. Klin. Mbl. Augenheilk. **68**, 649 (1922). (c) Die handliche Mikrobogenlampe zur Durchleuchtung des Auges und der Nebenhöhlen. 13. internat. Ophthalm.-Kongr. Amsterdam **1929**. Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 736. — GULLSTRAND, A.: (a) On diaphragm lamps in ophthalmology. Internat. Kongr. ophthalm. Washington, 25.—28. April **1922**, 69. Ref. Zbl. Ophthalm. **10**, 95; Dtsch. ophthalm. Ges. Jena **1922**, 290.

HERTZELL, CARL: (a) Die Betrachtung des Augenhintergrundes im durchfallenden Lichte mittels Durchleuchtung der Orbita von der Nasenrachengegend her. (Mitteilung einer neuen Methode der Untersuchung des Augenhintergrundes und des Bulbusinneren). Berl. klin. Wschr. **1908**, 1149. (b) Das Ophthalmodiaphanoskop und seine Anwendung in

den verschiedenen Zweigen der Medizin. Berl. klin. Wschr. **47**, 2097 (1918). — **HOLTH, S.**: a) Chorioidalsarkom und sklerale Durchleuchtung. Klin. Mbl. Augenheilk. **76**, 510 (1926). **HORVÁTH, BÉLA VON**: Modifizierung in der Beleuchtungseinrichtung der GULLSTRAND-Spaltlampe. Klin. Mbl. Augenheilk. **72**, 201 (1924).

**KREIKER, A.**: Einige nicht der Mikroskopie des Auges dienende Verwendungsmethoden der Spaltlampe. Z. Augenheilk. **55**, 45 (1925).

**LANGÉ, O.**: (a) Zur Diagnose des intraokularen Sarkoms. Klin. Mbl. Augenheilk. **22**, 410 (1884). (b) Zur Diaphanoskopie des Auges. Klin. Mbl. Augenheilk. **64**, 264, 362 (1906). — **LANGENHAN**: (a) Prüfung der Transparenz markhaltiger Nervenfasern der Netzhaut und Papille mittels der Durchleuchtung des Augenhintergrundes. Z. Augenheilk. **24**, 512 (1910). (b) Ergebnisse diaskleraler Augendurchleuchtung mit starker Lichtquelle. Nachweis angeborenen spaltförmigen Mangels des retinalen Irispigmentes nach unten (rudimentärste Form des Iriskoloboms). Berl. ophthalm. Ges., Sitzg. 15. Dez. 1910; Graefes Arch. **79**, 137 (1911). (c) Klinische Verwertung der Durchleuchtung des Augenhintergrundes vom Rachen her, mit besonderer Berücksichtigung der diaphanoskopischen Diagnose intraokularer Tumoren des hinteren Bulbusabschnittes. Z. Augenheilk. **24**, 97 (1910). (d) Ophthalmodiaphanoskopie. **GRAEFE-SÄEMISCHS** Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl., Die Untersuchungsmethoden, Bd. 1, S. 392. 1920. — **LINDAHL, C.**: (a) Eine neue Durchleuchtungslampe. Klin. Mbl. Augenheilk. **52**, 716 (1914). (b) Über Durchleuchtungsmethoden zum Nachweis von Chorioidealtumoren. Klin. Mbl. Augenheilk. **65**, 11 (1920).

**MAJEWSKI, KAZIMIERZ**: Die Bestimmung der Lage ophthalmoskopischer Veränderungen mittels des Diaphanoskops. Klin. oczna (pol.) **8**, 68 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 637.

**PFLUGK, A. v.**: Zur Durchleuchtung des Auges. Klin. Mbl. Augenheilk. **49**, 216 (1911). — **PURTSCHER, ADOLF u. GUSTAV GUIST**: Diasklerale Durchleuchtung mit der Mikrobogenlampe für rotfreies Licht. Verh. außerordentl. Tagg. ophthalm. Ges. Wien, 4., 5. u. 6. Aug. **1921**, 131.

**RÖNNE, HENNING**: (a) Diascleral transillumination of the macula region through conjunctival incision. Acta ophthalm. (Köbenh.) **3**, 188 (1925). (b) Zur Diagnose der chorioidalen Melanosarkome. Ber. 47. Versg. dtsh. ophthalm. Ges. **1928**, 241.

**SACHS**: (a) Über die Entfernung intraokularer Fremdkörper unter Leitung von Durchleuchtungslampen. (Beiträge zur operativen Augenheilkunde). Z. Augenheilk. **7**, 40 (1902). (b) Über eine neue Durchleuchtungslampe und ihre Verwendung in der Augenheilkunde. Münch. med. Wschr. **1903**, 741. — **SCOTTI, PIETRO**: Sulla transilluminazione del globo oculare. Ann. Ottalm. **58**, 618 (1930).

**TRANTAS**: (a) Ophthalmoscopie diaphanoscopique totale par pression sur la sclérotique. Arch. d'Ophtalm. **43**, 149 (1926). (b) Einige Anwendungen der diaphanoskopischen Ophthalmoskopie unter Druck auf die Sklera. 13. internat. Ophthalm.-Kongr. Amsterdam 1929.

**WÜRDEMANN**: Transillumination of the eye in the differential diagnosis of intraocular tumors, with description of an ocular transilluminator. Ophthalm. Rec. **1906**, 209.

## VI. Die Untersuchung mit Röntgenstrahlen<sup>1</sup>.

Obwohl die Röntgenuntersuchung streng genommen nicht unter die augenärztlichen, klinischen Untersuchungsmethoden gehört, so ist doch eine kurze Besprechung der für den Augenarzt wichtigen Fragen an dieser Stelle geboten. Als bekannt vorausgesetzt wird dabei das Grundsätzliche über das Röntgenverfahren überhaupt.

**Allgemeines.** Die diagnostische Untersuchung mittels Röntgenstrahlen erstreckt sich in der Augenheilkunde hauptsächlich auf die Feststellung und Lokalisation von Fremdkörpern im Augapfel oder in der Orbita bzw. der weiteren Umgebung des Auges, sowie auf Veränderungen an dem knöchernen Schädel in der Nachbarschaft des Auges, insbesondere am Canalis opticus, der Sella turcica und an den Nasennebenhöhlen, endlich auf das Verhalten der Tränenabfuhrwege. Die Röntgendiagnostik der Nasennebenhöhlen, die in erster Linie der Rhinologie zufällt, bleibt hier außer Betracht. Auf die neuen Arbeiten von **THIEL** und **HOFFMANN** sei besonders hingewiesen<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Auch an dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. **LÜDIN**, Vorsteher des Röntgeninstitutes der Universität Basel, für manche Ratschläge und Hinweise den allerbesten Dank aussprechen.

<sup>2</sup> Die kürzlich von **HERTEL** angestellten Untersuchungen über die Struktur von Augengeweben mittels Röntgenstrahlen nach dem Prinzip von **LAUE** sind erste Schritte auf diesem Gebiete, die zur Zeit klinisch noch nicht verwertet werden können.

Bekanntlich gibt es zwei Methoden der diagnostischen Röntgenuntersuchung, die *Durchleuchtung* und die *Photographie*.

Voraussetzung zur Sichtbarmachung von Fremdkörpern, Knochenbrüchen usw. ist bei beiden Verfahren eine verschiedene Durchlässigkeit der einzelnen Körperteile bzw. der Fremdkörper für die Röntgenstrahlen. Sie hängt ab von der Härte oder Weichheit der Strahlen (weiche Strahlen  $10^{-7}$ , harte Strahlen bis zu  $10^{-8}$  mm Wellenlänge). Die Durchdringungsfähigkeit der harten Strahlen ist größer als die der weichen, so daß man im allgemeinen bei Schädelaufnahmen harte Strahlen verwenden muß, da die weichen schon von den Weichteilen absorbiert werden.

Die durch das Röntgenverfahren nachzuweisenden Fremdkörper sind den Röntgenstrahlen gegenüber von sehr verschiedener Dichte. Wir können etwa die folgende Reihenfolge in bezug auf die Schattengebung feststellen: Platin, Gold, Blei, Eisen, Glas, Stein, Holz. Die letzten Gebilde, insbesondere Holz, sind röntgenographisch überhaupt nicht oder nur sehr schwer darstellbar, allenfalls noch mit weichen Röhren. Ferner ist die Sichtbarkeit von Fremdkörpern abhängig von ihrer Größe.

Ein zweiter Punkt, der bei jeder Röntgenaufnahme zu berücksichtigen ist, liegt in der Art der Bilderzeugung. Da es sich um reine Schattenbilder handelt, ist die Entfernung der

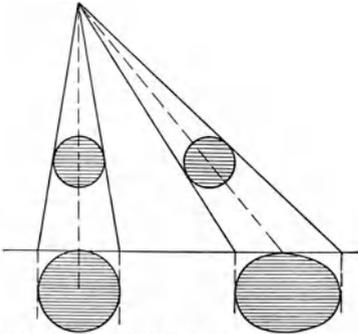


Abb. 38. Perspektivische Verzeichnung des Schattens bei schieferm Einfall des Zentralstrahles auf die Röntgenplatte. (Nach GLASSCHEIB.)

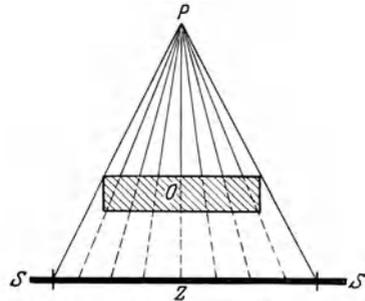


Abb. 39. Zur Erläuterung der Vergrößerung im Röntgenbilde infolge des Abstandes des schattengebenden Objektes O von dem Röntgensschirm SS. (Nach GLASSCHEIB.)

Antikathode von dem zu photographierenden Körperteil bzw. Fremdkörper von Einfluß. Wenn er sich nicht genau im Verlaufe des Zentralstrahles, d. h. der Senkrechten, die von der Antikathode auf die Platte gezogen wird, befindet, muß eine perspektivische Verzeichnung (Abb. 38) und, weil die photographische Platte oder der Durchleuchtungsschirm sich in einem gewissen Abstande von den schattengebenden Gebieten befinden, eine entsprechende Vergrößerung eintreten (Abb. 39). Eine einfache geometrische Überlegung gibt den prozentualen Fehler an, der hieraus entsteht; z. B. sind bei einer Aufnahmedistanz von 60 cm und einem Abstande des Objekts von 6 cm von der Platte alle Maße auf der Röntgenphotographie um  $\frac{1}{10}$  zu reduzieren.

Ein weiteres Moment, das wohl bei den älteren Röntgenröhren als Faktor für eine Verzeichnung in Rechnung gestellt werden mußte, daß nämlich der Brennfleck auf der Antikathode nicht sehr klein ist, kommt praktisch jetzt kaum mehr in Betracht, da die neueren Röhren einen nahezu punktförmigen Brennfleck besitzen.

## 1. Die Röntgendurchleuchtung.

Von der Röntgendurchleuchtung machen wir in der Augenheilkunde nur einen relativ beschränkten Gebrauch. DUKEN hat zwar angegeben, daß auch kleinste Splitter erkannt werden könnten, ebenso wie die Bulbuskontur. Von anderer Seite ist das nicht bestätigt worden. Zum Teil mag das von der Güte des Röntgenschirmes abhängen. So gibt CORDS besonders gute Resultate mit dem Osallschirm an. Zu berücksichtigen ist auch die geringe Sehschärfe des Dunkelauges. CORDS empfiehlt zur Operation bei eisernen Fremdkörpern die Verwendung einer Untertischröhre während der Anwendung des Magneten. Er hat das Verfahren auch auf nichtmagnetische Körper ausgedehnt.

## 2. Die Röntgenphotographie.

Wegen der schwierigen Technik wird meist die Untersuchung in besonderen Röntgenabteilungen auszuführen sein.

Zur oberflächlichen Orientierung kann man sich des einfachen Verfahrens (AHLBORN) — zwei Schädelaufnahmen, eine von hinten nach vorn, eine bitemporal, das verletzte Auge der Platte nahe — bedienen. Schwierig wird die Deutung in diesem Falle, wenn mehrere Fremdkörper vorhanden sind. Erleichtert wird sie, wenn man die Aufnahmen nicht dorsofrontal (Stirn und Nase der Platte aufliegend), sondern occipito-mental (Kinn und Nase aufliegend) (LANGENHAN, WAETZOLD) macht. Hierdurch fällt der Schatten der Felsenbeinpyramide aus der Orbita.

**Die Feststellung von Fremdkörpern.** Größere Fremdkörper sind leicht nachzuweisen, kleinste können vor kompakten Knochenschatten weggeleuchtet werden. Es ist zu empfehlen, bei kleinen Fremdkörpern die Verstärkungsfolie nicht zu verwenden, weil bei ihrer Benützung eine gewisse Granulierung des Bildes wegen der ungleichmäßigen Struktur der Folie auftritt. Dieses muß der Erkennung kleiner Splitter auf der Platte nachteilig sein. Auch lassen sich kleinere Splitter mit nicht zu harten Röhren leichter nachweisen. Sie erfordern allerdings eine längere Expositionszeit, was bei wiederholten Aufnahmen wegen der etwa eintretenden Röntgenschädigung stets berücksichtigt werden muß. Um sich vor Täuschungen durch Plattenfehler oder Fehlern bei der Entwicklung (Luftblasen, die den Filmen anhaften und kleine Schatten geben) zu schützen, hat man Verwendung von zwei Platten übereinander bei der gleichen Aufnahme oder zwei Aufnahmen nacheinander empfohlen.

**Die Lokalisation von Fremdkörpern.** Die Schwierigkeit, ein Urteil über den intraokularen oder extrabulbären Sitz eines Fremdkörpers zu gewinnen, liegt vor allem darin, daß wir kein Verfahren besitzen, das gestattet, am Lebenden die wahre Länge der Augenachse zu bestimmen bzw. zu ermitteln, wie weit die hintere Kalotte des Augapfels in die Orbita hineinreicht. Abweichungen von dieser Auffassung finden sich nur bei DUKEN und SALZER (s. oben). Alle, auch die sog. messenden Verfahren, müssen mit einem Durchschnittswert der Bulbuslänge rechnen, der eben in so und so vielen Fällen tatsächlich nicht vorhanden ist, so daß Fehldiagnosen über intra- oder extrabulbären Sitz des Fremdkörpers durchaus nicht selten sind.

*Die physiologischen Verfahren.* Die älteste hier angewandte Methode ist das von ALBAN KÖHLER u. a. angegebene, sog. „physiologische Verfahren“ (AHLBORN). Es geht von der Annahme aus, daß ein intrabulbärer Sitz des Fremdkörpers dann anzunehmen sei, wenn bei zwei einander folgenden Aufnahmen auf einer und derselben Platte und Wechsel der Augenstellung sich zwei Schatten des Fremdkörpers markieren. Auch ist empfohlen worden, während der Exposition das Auge sich bewegen zu lassen, so daß dann nicht ein scharf umschriebener, sondern bei intrabulbärem Sitz ein strichförmiger Schatten sich auf der Platte zeigt.

Man hat auf Grund der Verschiebung des Fremdkörperschattens auf der Platte Angaben darüber gemacht, wo der Splitter sich befinde, je nachdem er vor oder hinter dem Drehpunkt liegt (GROSSMANN, s. auch ALTSCHUL und AHLBORN) (s. Abb. 40).

Eine Fehlerquelle bei diesem Verfahren liegt darin, daß die TENONSche Kapsel bei Bewegungen des Augapfels sich mitbewegt und wahrscheinlich auch die angrenzenden Teile des Orbitalinhaltes (s. EISLER, Bd. 1, S. 214 dieses Handbuches). Infolgedessen ist eine Lageverschiebung des Schattens nicht beweisend für intrabulbären Sitz. Ferner muß bei Lage des Fremdkörpers auf einem senkrecht nicht durch den Mittelpunkt gehenden Schnitt des Auges, sondern in einem der mehr oder weniger dem jeweiligen Durchstoßungspunkt der Drehungsachse auf der Skleralkapsel näher liegenden, auch das Ausmaß der Bewegung verschieden ausfallen. Hierzu kommt, daß bei der Aufforderung, das Auge zu bewegen, auch der Kopf unwillkürlich eine Verschiebung erfahren kann. KUBORN hat deshalb empfohlen, den Kranken aufzufordern, eine Augenbewegung wie beim Lesen zu machen. Erfahrungsgemäß bleibe dann die Mitbewegung des Kopfes aus.

Diese Verfahren, die auch unter dem Namen der *Doppelaufnahmen* auf dieselbe Platte zusammengefaßt werden können, sind nicht mehr sehr gebräuchlich. Überdies sagen sie zunächst doch noch nichts Genaueres aus über den Ort im Augapfel, an dem sich der Fremdkörper befindet.

*Geometrische Verfahren.* Die älteren Methoden gehen alle darauf aus, durch Beziehung auf bekannte Punkte der Schädelknochen oder Anbringung einer als Schatten auf der Röntgenplatte erscheinende Marke und aufeinanderfolgende Aufnahmen aus verschiedener Richtung, die relative Lageänderung des Fremdkörperschattens zur Marke zur Ermittlung der wirklichen Lage des Fremdkörpers zu benutzen. Eine geometrische Konstruktion (Abb. 41) veranschaulicht das Gesagte unter ganz einfachen Bedingungen.

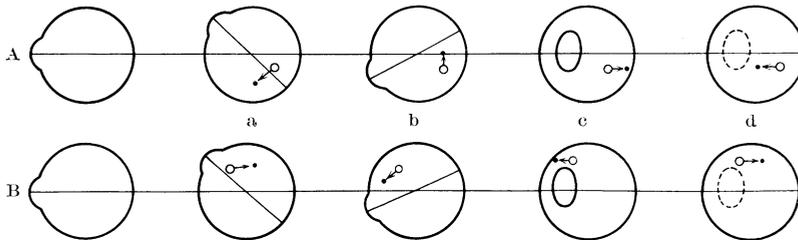


Abb. 40. Verschiebung des Splitterschattens bei Augenbewegungen. A Splitter im hinteren lateralen Quadranten, B Splitter im vorderen oberen medialen Quadranten. (Nach CORDS und ENGELBRECHT.) a Hebt sich der Splitter beim Blick nach oben, so liegt er vor einer durch den Drehpunkt gelegten äquatorialen Ebene, senkt er sich, so liegt er hinter dieser. b Hebt sich der Splitter beim Blick nach unten, so liegt er hinter jener Ebene, senkt er sich, so liegt er vor ihr. c Geht im linken Auge beim Blick nach links der Schatten nach links, so liegt der Splitter in der lateralen Hälfte, geht er nach rechts, in der medialen. d Geht im rechten Auge beim Blick nach rechts der Schatten nach rechts, so liegt der Splitter in der temporalen Hälfte, geht er nach links, in der medialen. Nach der Größe der Exkursion kann man annähernd die Lage des Splitters erschließen, der um so näher der Sklera liegt, je größer die Exkursion ist.

Unter Bezugnahme auf die Schatten der Orbitalknochen arbeitet das Zweiplattenverfahren von HOLZKNECHT, das durch Heranziehen der WESSELYSchen Prothese (s. unten) verfeinert worden ist. Ähnliches leistet die Methode von BAER, der mit Hilfe eines besonderen

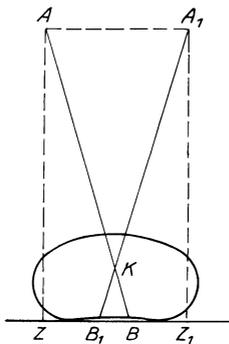


Abb. 41. Schematische Zeichnung zur Veranschaulichung der Änderung der Projektion des Schattens  $B B_1$  eines Fremdkörpers  $K$  auf der Platte  $Z Z_1$  bei Verschiebung der Röntgenröhre von  $A$  nach  $A_1$ . (Nach GLASSCHEIB.)

Apparates zwei Aufnahmen, eine in bitemporaler und eine in fronto-occipitaler Richtung (s. bei SALZER) gleichzeitig mit zwei Röhren unter Einhaltung bestimmter Abstände zwischen Auge und Platte macht. Ein weiteres Zweiplattenverfahren stammt von MÜLLER, das von STUMPF für Aufnahmen des Auges modifiziert ist, und zwar in Anlehnung an ein Verfahren von CHRISTEN (s. SALZER).

Die älteste und in England und Amerika viel benutzte Methode zur Lokalisation, von ENGELBRECHT als *Verschiebungsverfahren* bezeichnet, geht auf SWEET zurück. Sie ist später von dem Autor selbst modifiziert worden.

Unwesentliche Modifikationen sind von THOMPSON und EDWARD angegeben worden.

Zum Verständnis der Verhältnisse wäre Wiedergabe mehrerer Abbildungen erforderlich, die wegen Raummangel unterbleiben muß. Es sei deshalb auf die Beschreibung von v. LIEBERMANN (a) und die Darstellung in der amerikanischen Enzyklopädie der Augenheilkunde verwiesen.

HOLM (Upsala) photographiert gleichzeitig eine Netzskaala auf der Platte, die Ausmessung erfolgt nach dem oben angedeuteten Prinzip (zitiert bei SALZER).

Die Lokalisationsmethode nach FÜRSTENAU-WESKI, wie sie im Kriege bei größeren Fremdkörpern für Chirurgen vielfach verwendet wurde, hat sich in der ophthalmologischen Praxis nicht eingebürgert. Auch das Verfahren von HOLZKNECHT (Fünfblickrichtungsverfahren, wie ENGELBRECHT es nennt) ist anscheinend allgemeiner nicht verwendet worden, trotzdem es HAUDECK wieder empfohlen hat.

Kürzlich hat AHLBORN eine neue geometrische Methode angegeben, die sich durch Blickänderungen auch das physiologische Verfahren nutzbar macht. Grundsätzlich neu ist die Vergrößerung der Fokuspplattendistanz auf 2,75 m. Hierdurch werden Vergrößerung und Verzerrung nahezu vollständig ausgeschaltet, so daß keine verwickelten Berechnungen mehr nötig sind. Durch eine besondere Aufnahmevorrichtung (ein Fadenkreuz, das zur Fixation dient und durch das hindurch kurz vor der Aufnahme die Stellung des Auges kontrolliert wird) läßt sich eine genaue Einstellung erzielen. Bei der Aufnahme von der Seite wird der Hornhautscheitel auf der Platte dadurch sichtbar gemacht, daß vor der Platte ein Aluminiumkeil sich befindet. In der Mitte vor dem Auge hat er eine Dicke von etwa 1 cm und verschmälert sich bis auf 3 mm. Dieser Keil dient dazu, den Schatten der

Hornhaut durch Additionswirkung zu verstärken und dadurch zu verhindern, daß er weggeleuchtet wird. Wenn der Keil sich nach rückwärts, d. h. nach dem Orbital Schatten verjüngt, ist die Gefahr, daß durch seinen Schatten ein Fremdkörperschatten verdeckt wird, nahezu ausgeschaltet. Um ganz sicher zu gehen, empfiehlt es sich, ein Profilbild auch ohne Aluminiumkeil aufzunehmen. Die Ausmessung, ob insbesondere ein Fremdkörper intra- oder extralbulbär liegt, erfolgt nach dem üblichen Prinzip. Hierauf braucht nicht näher eingegangen zu werden.

Nur sei, was auch sonst von Wichtigkeit ist, die folgende Tabelle von AHLBORN angeführt, die dazu dient, zu entscheiden, ob bei einem gegebenen Abstand des Fremdkörperschattens vom Drehpunkt sich der Fremdkörper intra- oder extralbulbär befindet. Hieraus kann man entnehmen, wie groß (Durchschnittslänge des Bulbus mit 2 cm vorausgesetzt) bei dem in der einen Ebene ausgemessenen Abstände der in der anderen gemessene Abstand höchstens sein darf, damit der Fremdkörper intralbulbär liegt.

Das zur Zeit, wie mir scheint, beste Verfahren zur Fremdkörperlokalisation am Auge ist von COMBERG beschrieben. Auch hier erforderte das Verständnis Widergabe mehrerer Abbildungen, was wegen Raumbeschränkung unmöglich ist. Ich verweise daher auf die leicht zugängliche Originalarbeit.

Eigene und fremde Beobachtungen mit diesem Verfahren ergaben in der Tat eine sehr exakte Lokalisation des Splitters.

Allerdings hat auch diese Methode ihre Grenzen, die nicht dem Verfahren als solchem zur Last zu legen sind: es verwendet ebenso wie alle anderen ein schematisches Auge, und zwar von 24 mm Achsenlänge. Infolgedessen ist, da die Methode überdies eine Fehlerbreite von 1—2 mm besitzt, die Möglichkeit gegeben, Verwechslungen zwischen intra- und extralbulbärem Sitz des Splitters zu begehen, wie es Verfasser beobachten konnte.

Es ist ferner ein gewisser Mangel bei dem Verfahren, daß die Prothese sich verschoben kann, namentlich dann, wenn sie sich der Hornhautkrümmung nicht ganz genau anpaßt; deshalb müßte ein Satz verschieden großer Kontaktschalen zur Verfügung stehen.

*Stereoskopische Verfahren.* Die geometrischen Verfahren entbehren der Anschaulichkeit und es ist daher vielfach für den Operateur, wenn es sich darum handelt, auf einen Splitter einzuschneiden, nicht leicht, sich vorzustellen, wo der Splitter gelegen ist. Die Methoden von SWEET, COMBERG und AHLBORN, die genauere Messungen ermöglichen, bringen allerdings eine feste Wegleitung. In bezug auf Anschaulichkeit sind die stereoskopischen Röntgenphotographien gleichwohl meist von Vorteil.

Die beiden Aufnahmen folgen nacheinander auf zwei Platten in einer Schiebekassette. Die relative Verschiebung der Röntgenröhre (Antikathode) wird bei einem Abstand von 60 cm Plattenabstand meist um 6,5 cm vorgenommen, entsprechend der mittleren Pupillendistanz.

Bei der Verschiebung der Röntgenröhre aus der Mittellinie der Blende, wie sie die Stereoaufnahme erfordert, sind, worauf LANGENBECK aufmerksam macht, die Aufnahmen nicht nur stärker verschleiert (Verschiebung des Verhältnisses der Streustrahlung zu der durchgehenden bilderzeugenden Strahlung), sondern auch die Seite des Bildes, nach der die Röhre verschoben wurde, wird weniger geschwärzt als die andere. Der letzte Umstand kann zu Täuschungen führen, wenn ein Vergleich zwischen beiden Seiten sich als notwendig erweist. Deshalb empfiehlt LANGENBECK, statt die Röhre zu verschieben, den Kopf des Patienten bei der Stereoaufnahme um 30° nach rechts bzw. links zu drehen. In der Ophthalmologie hat neuerdings LYDING befriedigende Resultate mit diesem Aufnahmeverfahren mitgeteilt.

Die Betrachtung der Stereo-Röntgenplatten nahm man früher an verkleinerten Diapositiven vor, die sich in einem gewöhnlichen BREWSTERSchen, den speziellen Zwecken angepaßten, Stereoskop ermöglichen ließ. Jetzt wird wohl meist ein WHEATSTONESches Spiegelstereoskop aus etwa 60 cm (der Aufnahmedistanz) unter Verwendung der Originalplatten benützt.

Wenn man nur eine plastisch-stereoskopische Anschauung der Lage des Fremdkörpers oder der Orbitalknochen sowie der Nebenhöhlen haben will, kann man die Anordnung der Platten so treffen, das man den Schädel umgekehrt sieht wie bei der Aufnahmeichtung, d. h., da für gewöhnlich das Gesicht der Platte zugekehrt ist, von vorne. Doch sind hier die Maßverhältnisse verschoben, weil ja nun die der Platte nahen Teile größer erscheinen müssen, als die der Platte fernen. Es ist daher eine genaue Ausmessung des Stereoskopbildes bei dieser Betrachtungsweise unmöglich. Deshalb wird jetzt namentlich da, wo es sich um das stereogrammetrische Verfahren handelt, stets die Betrachtung mit genau dem gleichen Abstände und in derselben Richtung vorgenommen, wie bei dem Aufnahmeverfahren.

Der eine Abstand in einer Ebene betrage mm	dann muß der in der dazu errechneten mindestens sein mm
9	8
9,5	7,5
10	6,5
10,5	6
11	5
11,5	3,5
(12)	(0)

Die beiden Augen des Beschauers befinden sich an denjenigen Stellen, die den Orten der Antikathode bei den beiden Aufnahmen entsprechen. Man sieht deshalb bei dieser Anordnung im WHEATSTONEschen Stereoskop von hinten her entsprechend der (gewöhnlichen) Aufnahmerichtung in den Schädel hinein. Das erfordert eine gewisse Erfahrung, da wir nicht gewohnt sind, den Schädel in dieser Richtung uns anschaulich zu machen, sondern ihn für gewöhnlich immer nur von vorn betrachten. Wenn wir aber wirklich ein orthostereoskopisches Bild gewinnen wollen, so ist diese Art der Betrachtung allein zulässig.

*Stereogrammetrische Verfahren.* Mit Hilfe der Stereoskopie sind von COMBERG, von ENGELBRECHT im Anschluß an die HASSELWANDERSche Methode und von FLEISCHER mit Hilfe des TRENDELENBURGschen Verfahrens messende Methoden zur Lokalisation von Fremdkörpern im Auge ausgearbeitet worden.

COMBERG hat bereits 1914 Messungen gemacht mit Hilfe eines stereoskopischen Betrachtungsapparates, bei dem total reflektierende Prismen die Vereinigung der beiden Stereoriginalplatten vermittelten. Unter Verwendung einer nach dem Prinzip des ZEISSschen Entfernungsmessers konstruierten Skala, deren einzelne Punkte im Stereobild zu schweben schienen und darin an beliebige Stellen des Stereobildes herangebracht werden konnten, waren genauere Ablesungen gegenüber bestimmten Fixpunkten möglich. Der Verfasser hatte Gelegenheit, den Apparat im Krieg an vielen Fällen zu erproben; er hat sich durchaus bewährt, ist aber vor allem wegen des hohen Preises nur in einem Exemplar hergestellt worden.

Das Verfahren von HASSELWANDER beruht darauf, daß in das stereoskopische, in der Luft schwebende Bild eine kleine leuchtende Marke geführt wird, die mit verschiedenen Stellen des Stereokopfbildes zur Deckung gebracht werden kann. Durch feste Verbindung der Marke mit einem Stift ist die Vertikalprojektion auf einen auf dem Tisch liegenden Bogen Papier möglich. Benutzt man, wie HASSELWANDER das beschrieben hat, noch eine Hautmarke, die in derselben Horizontalebene wie der Fremdkörper sich befindet, so läßt sich damit leicht eine Lokalisation erzielen.

ENGELBRECHT hat dieses Verfahren für die Zwecke der Ophthalmologie adaptiert, indem er zur Markierung des vorderen Hornhautpoles, sowie des ganzen vorderen Augapfelabschnittes eine der WESSELYschen nachgebildete Prothese mit einem Drahtkreuz als Zusatzapparat verwendet. Die Enden des Drahtkreuzes ragen etwas über die Prothese hinüber und laufen in kleine Zacken aus. Mit diesen wird die Prothese unverschieblich an vier Stellen der Conjunctiva bulbi fixiert. Man bringt nun in das Stereolufbild bei Betrachtung durch das Spiegelstereoskop einen halben Kunstaugapfel aus durchsichtigem Celluloid, der am vorderen Pol eine halbe Drahtkreuzprothese, am hinteren an einem unelastisch biegsamen Draht eine winzige Kugel, den Kunstfremdkörper, trägt. Wenn man diesen an die Stelle des virtuellen Stereobildes bringt, und so einstellt, daß sich die Schenkel der im Bilde sichtbaren und am Kunstaugapfel angebrachten Drahtkreuzprothese decken, und dann dem Kunstfremdkörper diejenige Lage gibt, sofern er intrabulbär liegt, an der er auch im Stereobild erscheint, so hat der Operateur die maßgenaue, räumliche Nachbildung der Lage des Splitters im Augapfel.

Über die Ausmessung des Stereobildes nach dem HASSELWANDERSchen Verfahren verleihe man die Darstellung von ENGELBRECHT, auf die hier verwiesen sei.

Auch die TRENDELENBURGsche Methode, die von FLEISCHER ebenfalls mit einem Kunstauge kombiniert worden ist, erlaubt direkte Ausmessung mit einem Zirkel oder durch geometrische Projektion auf eine auf der Tischplatte liegende Papierfläche.

Bei allen Verfahren, die eine exakte Lokalisation des Fremdkörpers im Auge anstreben, ist zu berücksichtigen, daß bei nicht festsitzenden Splittern falsche Schlüsse dann entstehen, wenn der Splitter infolge Lagewechsels des Patienten eine Verschiebung erfährt. Bei der Aufnahme liegt er mit dem Gesicht nach unten, bei der Operation in der Regel auf dem Rücken.

*Skelettfreie Aufnahmen.* Um der Durchleuchtung der dicken Schädelknochen bei kleinen Fremdkörpern zu entgehen, ist schon 1896 von LEWKOWITSCH empfohlen worden, die Platte zwischen das Auge und die knöchernen Umrahmung der Orbita einzuschieben und nur durch den vorderen Teil des Augapfels hindurch zu photographieren. Erst durch die Methode von VOGT, der einen besonders geschnittenen, kleinen Film mit Bleiunterlage, um ihm einen gewissen Halt zu geben, verwendete, hat das Verfahren weitere Verbreitung gefunden.

Eine Aufnahme wird von temporal her gemacht, der Film wird dabei nasenwärts vom Bulbus in die Orbita möglichst tief eingeschoben, die zweite erfolgt von oben her, indem der Film das Unterlid vordrängend möglichst weit nach hinten eingeführt wird. Zweckmäßig bedient man sich dabei eines kleinen Plattenhalters, wie er von ERB zuerst beschrieben worden ist. Neuerdings stellt die I. G. Farbenindustrie besondere „Agfa-Augenfilme“ her, die doppelseitig begossen, durch eine Metallfolie gegen Verbiegung und Sekundärstrahlen geschützt sind (ADOLPHI).

VOGT hat empfohlen, feinste Angelhaken, denen die Öse abgeknipst ist, zur Festlegung bestimmter Punkte in der Nachbarschaft des Limbus anzubringen. Macht man in dieser Weise Aufnahmen in verschiedener Richtung, so läßt sich eine ziemlich genaue Bestimmung des Fremdkörperortes relativ zu diesen Fixpunkten ermöglichen. Da überdies weiche Röhren verwendet werden können, so zeichnet sich auf der Platte die Krümmung der Hornhaut ab. Ein messendes Verfahren im eigentlichen Sinne liegt allerdings nicht vor, da die Blicklage nicht genau fixiert ist und die Schlüsse über die relative Lage des Fremdkörpers zu den festen Marken durch die nicht genau festgelegte Distanz des Filmes von dem Hornhautscheitel bzw. dem Zentralstrahl die notwendige Korrektur bei der Abstandsmessung, nicht exakt ermöglicht. Doch gibt das Verfahren, wovon ich selbst wiederholt Gelegenheit hatte mich zu überzeugen, gute Resultate; das beweisen auch die Ergebnisse von HAEMMERLI und WIESER aus der VOGTSCHEN Klinik. Allerdings ist die Methode auf Fremdkörper beschränkt, die vor oder höchstens bis zum Äquator bulbi liegen. (Das hängt naturgemäß von der geringeren oder größeren Prominenz der Bulbi ab.) Bei den meisten Friedensverletzungen, sofern es sich um kleinere Splitter mit geringer lebendiger Kraft handelt (in Betracht kommen hier besonders nichtmagnetische und spezifisch leichte Fremdkörper wie Steine u. ä.), sitzen diese aber in der Regel im vorderen Bulbusabschnitt, mit Vorliebe in der Gegend des Ziliarkörpers (KNOBLOCH). Kleine eiserne Fremdkörper, die wegen ihres hohen spezifischen Gewichts größere lebendige Kraft besitzen, sind mit dem Riesenmagneten auch aus dem hinteren Bulbusabschnitt meist relativ leicht zu entfernen, und größere Splitter zeigt hier schon die gewöhnliche Röntgenaufnahme.

Da das Eindringen des Films neben den Bulbus in die Augenhöhle mit einer gewissen Kraft erfolgen muß, will man genügend weit nach hinten gelangen, so ist bei frischen perforierenden Verletzungen große Vorsicht geboten. Unter Umständen muß man mit der Aufnahme warten, bis ein leidlich fester Wundschluß erreicht ist.

**Aufnahme der Orbita.** Bei der röntgenographischen Darstellung der Augenhöhle handelt es sich mitunter darum, Fissuren im Knochen und die *normalen Öffnungen* (Foramen opticum, Fissura orbitalis superior) sichtbar zu machen.

Die Orientierung in den *Orbitalbegrenzungen*, insbesondere auch die Gewinnung eines Urteils über die Beschaffenheit von Nebenhöhlenwandungen, die in die Orbita vorgewölbt sind, wie es bei Mukocelen, Tumoren u. ä. der Fall ist, pflegt selbst bei der stereoskopischen Betrachtung nicht leicht zu sein. Bei stereoskopischen Photographien ist eine Lichtfläche niemals ohne gewisse Einzelheiten, die stets einen plastischen Eindruck auch einer sonst gleichartigen Fläche machen (Licht und Schatten, die durch kleine Unebenheiten hervorgerufen werden u. ä.). Im Röntgenbilde mit seiner reinen Schattenwirkung fehlt dagegen dieses den stereoskopischen Eindruck wesentlich unterstützende und erhöhende Moment (BARTH). Infolgedessen sieht man auch bei Stereoaufnahmen häufig dünne, flächenförmige Knochen gar nicht oder nur sehr unvollkommen; es bedarf besonderer Aufmerksamkeit, um dabei zu einem einigermaßen sicheren Urteil zu gelangen. Häufig genug ist auch bei bester Röntgentechnik das Resultat nicht eindeutig, und die Operation kann Überraschungen bringen.

Die *Lokalisation von Fremdkörpern in der Orbita* bietet ähnliche Aufgaben wie diejenige im Bulbus selbst. Insofern ist sie hier einfacher, als kleine Splitter reaktionslos einzuheilen pflegen und operativer Behandlung nicht bedürfen. Größere Splitter lassen sich meist nach orientierender Röntgenaufnahme finden, oder mit einem der oben geschilderten messenden Verfahren genauer lokalisieren. Immerhin kann in manchen Fällen die operative Entfernung auf Schwierigkeiten stoßen. Hierfür empfiehlt GOLOWIN die Einführung von Nadeln in die Augenhöhle, die mit auf der Röntgenplatte erscheinen. Aus deren relativer Lage zum Fremdkörper ist dann die Beurteilung und damit die operative Entfernung leichter möglich, wenn man die Nadeln als Leitbahn benützt.

**Aufnahme des Canalis opticus.** Die Röntgenographie des knöchernen Sehnervenkanals hat in neuerer Zeit an Interesse gewonnen, weil man glaubt, aus seiner Beschaffenheit Rückschlüsse nicht nur auf stattgehabte Frakturen, sondern auch auf erhöhte Disposition zu Erkrankung an rhinogener retrobulbärer Neuritis gefunden zu haben. Auch über das Verhalten des Sehnervenkanals bei Turmschädel ließen sich hier Aufschlüsse gewinnen. JONS (Diskussion zu SCHÜLLER) macht freilich darauf aufmerksam, daß Fissuren im Canalis opticus im Röntgenbild nicht sichtbar gemacht werden können. Auch SCHÜLLER ist derselben Ansicht.

GOALWAIN hat sich im besonderen mit der Technik befaßt und zum Teil am skeletierten Schädel, zum Teil am lebenden eine große Zahl von Aufnahmen gemacht. Er glaubt, zu

gewissen Schlußfolgerungen in bezug auf die klinische Bedeutung der verschiedenen Formen des Sehnervenkanals berechtigt zu sein.

Es genüge, hier darauf hinzuweisen, daß zur exakten Darstellung des *Canalis opticus* der Zentralstrahl in der Richtung des Kanals liegen muß. GOALWAIN macht die Angabe, daß die Verlängerung der Achse den unteren Orbitalrand treffen soll. DE KLEYN und STENVERS haben ebenfalls (referiert bei HERRENSCHWAND) eine Methode zur exakten Darstellung des *Canalis opticus* empfohlen. Nach SPECIALE-PICCICHÈ ergeben sich folgende, für die Aufnahmerichtung wesentlichen anatomischen Daten: Die Achsen der beiden Canales schließen im Mittel einen Winkel von  $84^\circ$  ein, also je  $42^\circ$  mit der Sagittalebene des Schädels (siehe auch STANGE, HARTMANN). Der Kreuzungspunkt liegt 12—13 cm hinter dem Tuberculum sellae und ist im Mittel 76 mm von der CLOQUETSchen Schnittfläche des Schädels und 62 mm von der Linea alveolae mastoidea entfernt. DEL DUCA gibt an, daß das geforderte Zusammenfallen von Zentralstrahl mit Kanalachse am sichersten erreicht wird, wenn auf der horizontalen, photographischen Platte das Jochbein, der äußere Rand der Orbita und die Nahtstelle zwischen Stirn- und Jochbein aufliegen. Der Zentralstrahl fällt dabei vertikal 8 cm oberhalb der Spitze und 4 cm hinter dem vorderen Rand des Felsenbeines ein. Alle anderen Aufnahmerichtungen sind wegen Überlagerung des Kanals durch starke Schatten unbrauchbar.

Zweckmäßiger als Einzelbilder sind gerade für die Darstellung des *Canalis opticus* stereoskopische Aufnahmen, die eine sehr gute Anschauung von den topographisch-anatomischen Verhältnissen geben. Allerdings lassen sich auch dann Frakturen röntgenologisch zuweilen nicht darstellen, so daß negative Befunde nichts zu beweisen brauchen (s. oben).

**Darstellung von Weichteilen.** Zur Darstellung von Oberflächen, z. B. der Lider, sind Anstriche mit Bleifarbe empfohlen worden.

Zur *Sichtbarmachung der Hornhautvorderfläche* oder des *Limbus* sind eine Reihe von Prothesen mit eingelassenen, für Röntgenstrahlen undurchlässigen Stoffen angegeben. In erster Linie ist hier die WESSELYsche Prothese zu nennen, die an der Stelle der Cornea eine Bleischale trägt, so daß der Hornhautscheitel ziemlich genau markiert wird. ENGELBRECHT verwendete ein Drahtkreuz (s. S. 892), FLEISCHER einen Drahttring, der an der Stelle des Limbus aufliegt. COMBERG benutzt neuerdings vier Bleimarken, die etwas außerhalb des Limbus gelegen sind. Markierung durch eingeführte kleine Nadeln, Angelhaken oder dgl. sind mehrfach beschrieben worden (s. S. 893). Über die Methode von AHLBORN (s. S. 890).

Vielfach läßt sich schon, namentlich aus der ENGELBRESCHTSchen Drahtkreuzprothese, insbesondere im Stereobild, ein gewisser Rückschluß auf den Verlauf der *hinteren Bulbuskontur* ziehen. Doch wäre es wünschenswert, wenn es gelänge, eine flächenförmige Darstellung durch ein Kontrastmittel, das in den TENONschen Raum eingespritzt wird, zu erzielen. An Versuchen in dieser Richtung hat es nicht gefehlt. So hat z. B. HEUSER in der Gegend des intrabulbär gelegenen Fremdkörpers eine Spur Lipiodol in den TENONschen Raum injiziert, wodurch sich die relative Lage zum Splitter im Stereobild leicht feststellen läßt. Ähnliches empfiehlt SPECIALE-PICCICHÈ. Doch ist dabei zu berücksichtigen, daß das Lipiodol nicht oder nur sehr langsam spontan resorbiert wird. STAUNING und HERRENSCHWAND haben am Kaninchen durch Gas- (Luft-) Füllung des TENONschen Raumes die hintere Bulbuskontur darstellen können. Erfahrungen am Menschen liegen über die wohl nicht ganz indifferente Methode, die sich an die Encephalographie anschließt, erst von SANDER und GEISLER vor. Sie kombinieren beide Verfahren, indem sie einen Tropfen 40% Jodipin mit Luft (15—20 ccm) in den TENONschen Raum (am Rectus externus) einspritzen, bis ein leichter Exophthalmus und ein starkes Emphysem der Lider und der Bindehaut eintritt. Der Bulbus scheint auf der Platte mit einem hellen Kreismantel umgeben, die hintere Sklera ist von einer Jodipinschicht überlagert, die noch etwa eine Woche sichtbar bleibt. Die Methode ist zweifellos außerordentlich wichtig. Es bedarf aber noch weiterer Erfahrungen mit ihr.

Neuerdings ist von THIEL sowie BRUNETTI und KOCK die *Carotis interna* auf dem Röntgenbild dargestellt worden. Man muß hierzu eine schräge Aufnahmerichtung wählen. Für die Ermittlung der Ursache von gewissen Formen der Opticusatrophie ist diese Untersuchung wichtig.

**Darstellung der Tränenwege.** Zum erstenmal wurde von EWING durch Einführen von Kontrastmitteln in die Tränenabfuhrwege eine röntgenographische Darstellung der Tränenwege ermöglicht. Seinem Vorgange folgten AUBARET und namentlich A. VON SZILY, dem wir die weitere Verbreitung dieses Verfahrens verdanken.

A. VON SZILY benutzte Thorium oxydatum anhydricum in Paraffin. Weil dieses Mittel sich aber schlecht entfernen läßt und namentlich, wie das vorkommen kann, Eindringen in die Nachbarschaft der Tränenabfuhrwege zu unangenehmen Störungen zu führen vermag, wird jetzt allgemein das Lipiodol benutzt, das mit einer nicht zu dünnen Kanüle in die Tränenpunkte eingespritzt wird. Da es sich meist spontan innerhalb kurzer Zeit in die Nase entleert,

muß die Aufnahme sehr schnell ausgeführt werden, in der Zeit von  $1\frac{1}{2}$ —8 Minuten. Es gelingt dadurch, die Tränenabfuhrwege, Strikturen im Tränenkanal, sehr schön zur Anschauung zu bringen (s. Abbildungen bei THIEL). Die Tränenkanälchen halten das Lipiodol offenbar nicht genügend fest, da sie nur ausnahmsweise sichtbar werden. Reste von Lipiodol, die am Lidrand haften, gestatten, auch diesen zur Darstellung zu bringen.

Statt Lipiodol wird jetzt auch Jodipin (STEDFELD, WOLLENBERG, MILHAESCU, CASTRESANA), neuerdings auch Jodumbrin (LARSEN und JÜRGENSEN) verwendet. Das Verfahren verdient weitere klinische Verbreitung als es bisher gefunden hat.

CASTRESANA hat zwei Aufnahmen empfohlen (von vorne und von der Seite). Er verwendet sie vor allem zur Kontrolle, ob Durchgängigkeit nach Dacryocystorhinostomie besteht.

Zur Darstellung des *knöchernen Tränenkanals* haben KOPYLOW und BRUNETTI Einführung eines Filmes in den Mund („enorale Film“) angegeben. Inwieweit gegenüber der Darstellung des Weichteilkanals durch Injektion von Kontrastmitteln diagnostische Fortschritte sich hierdurch erzielen lassen, bedarf noch weiterer Untersuchung.

**Aufnahme der Sella turcica.** HAAS hat an skeletierten Schädeln genaue Maße ermittelt, die gewisse Anhaltspunkte auch für die Aufnahmen am Lebenden geben. Die Hauptschwierigkeit liegt in der Orientierung in genau bitemporaler Richtung. Die möglichen Fehler sind von ASSEN und WEVE erörtert worden. Sie bemerken, daß nicht ganz senkrechte Stellung der Platte zum Zentralstrahl erst eine Wirkung bei  $15^\circ$  Abweichung hätte. Auch wenn der Zentralstrahl nicht durch das Zentrum der Grube geht, ist es von relativ geringer Bedeutung, da bei einem Plattenabstand von 45 cm der Zentralstrahl 4 cm seitlich von der Sella turcica fallen kann, ohne dem Bild zu schaden. Um den Projektionspunkt auf der äußeren Schädelwand zu finden, geben die Verfasser folgendes an: Man messe die Entfernung von der Nasenwurzel bis zum äußeren Gehörgang (die Entfernung geometrisch projiziert). Diese Entfernung teilt man in drei gleiche Teile;  $1-1\frac{1}{2}$  cm über dem dem äußeren Gehörgang zunächst liegenden äußeren Teilpunkt findet sich die Projektionsstelle der Sellamitte.

Wichtigere Fehlerquellen sind Stellungsabweichungen des Schädels selbst. Um diese auszuschalten, hat WEVE einen besonderen Stativapparat mit Reißbrett und sonstigen Fixiereinrichtungen angegeben, der von dem Instrumentenmacher Zöllner in Rotterdam geliefert wird.

## L i t e r a t u r.

### Röntgenverfahren.

ADOLPHI, G.: Die Lokalisation intraokularer Fremdkörper nach der Methode Dr. VOGT und die Bedeutung der Filmverpackung für dieses Verfahren. *Röntgenpraxis* **2**, 1098 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 832. — AHLBORN: Ein neues Verfahren zur Lokalisation von Fremdkörpern im Auge usw. *Acta ophthalm.* (Köbenh.) **9**, 1 (1923). — ALTSCHUL, W.: (a) Erfahrungen mit meiner Methode der Lokalisation von Fremdkörpern des Auges. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **82**, 526 (1929). (b) Klinische Erfahrungen mit meiner Methode der röntgenologischen Lokalisation intraokularer Fremdkörper. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **84**, 838 (1930). — ASSEN, Jzn. I. v. u. H. WEVE: Zur Röntgenologie der Sella turcica, zugleich eine Mitteilung über eine einfache Methode zur Anfertigung kongruenter Bilder. *Arch. Augenheilk.* **94**, 79 (1924).

BARTH, WALTER: Die Röntgenstereoskopie vom Standpunkte der physiologischen Optik. *Fortschr. Röntgenstr.* **38**, 299 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 97. — BOKSTEIN, T. S.: Röntgenographie der Tränenwege und ihre klinische Bedeutung. *Russk. oftalm. Ž.* **3**, 32 (1924). Ref. Zbl. Ophthalm. **14**, 328. — BOLLACK, J.: Sur l'exploration radiographique des voies lacrimales par l'injection d'huile iodée. *Annales d'Ocul.* **161**, 321 (1924). — BOLLACK, DARI-AUX et SUZANNE DELAPLACE: L'exploration radiographique des voies lacrymales par l'injection de lipiodol. *Bull. Soc. Radiol. méd. France* **12**, 136 (1924). Ref. Zbl. Ophthalm. **14**, 327. — BRUNETTI, L.: L'indagine radiologica del canale nasolacrimal mediante chassis enorale. *Atti Congr. ital. Radiol. med.* **2**, 25 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 164. — BRUNETTI, L. u. C. KOCK: L'impiego del chassis enorale SAUPE-HEYDEN nella radiologia dei seni etmoido-sfenoidali, del clivo e del tragitto cavernoso della carotide interna. (Nota prev.). *Atti Congr. ital. Radiol. med.* **2**, 19 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 163.

CASTRESANA, A.: Die Röntgenuntersuchung des Tränensackes. *Arch. Oftalm. hisp.-amer.* **30**, 417, (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 314. — CLAY, JOSEPH V. F.: Three cases of optic nerve involvement with a radiographic measurement of the optic canal. *J. of Ophthalm. etc.* **30**, 101 (1926). Ref. Zbl. Ophthalm. **17**, 700. — COMBERG, W.: (a) Eine neue Röntgenprothese. *Z. Augenheilk.* **58**, 171 (1925). (b) Hilfsmittel für die Röntgenlokalisierung. *45. Verslg dtsch. ophthalm. Ges.* **1925**, 254. (c) Ein neues Verfahren zur Röntgenlokalisierung am Augapfel. *Graefes Arch.* **118**, 175; *Klin. Mbl. Augenheilk.* **78**, 106 (1927). — COPPEZ, LÉON: Localisation de corps étrangers intra-orbitaires. *J. belge Radiol.* **16**, 553 (1927). Ref. Zbl. **20**, 230. — CORDS, R.: Fremdkörperextraktion aus dem Augapfel unter

Leitung des Röntgenschirmes. Z. Augenheilk. **37**, 67 (1917). — CORDS, R. u. W. DRÜGG: Die Darstellung der Hornhaut im Röntgenbilde. Klin. Mbl. Augenheilk. **71**, 612 (1923).

DEL DUCA, MICHELE: La radiografia previa irrigazione con lipiodol come mezzo di indagine nella patologia delle vie lacrimali. Saggi Oftalm. **4**, 469 (1929). Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 66. — DONOVAN, CORNELIO: Technik der Radiographie der Orbita. Arch. argent. Neur. **1**, 124 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 470. — DREUSCHUCH, FR. u. ANT. ŠÁCHA: Die Röntgenographie der Tränenwege. Bratislav. lék. Listy **4**, 387 (1925). Ref. Zbl. Ophthalm. **15**, 831. — DUKEN, JOHN: Über Fremdkörperbestimmung mit besonderer Berücksichtigung der Augenverletzungen. Münch. med. Wschr. **1915 II**, 1127.

EDWARDS, H. G. F.: Attachment for sweet eye localizer. Radiology **14**, 600 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **23**, 818. — ENGELBRECHT, K.: Röntgenverfahren in der Augenheilkunde. Handbuch der kriegsärztlichen Erfahrungen von SCHJERNING, Bd. 9, S. 331. 1922. — ERB: Filmhalter zur skelettfreien Röntgenaufnahme des vorderen Bulbusabschnittes nach VOGT. Klin. Mbl. Augenheilk. **72**, 810 (1924).

FLECKER, H.: X-ray demonstration of the ocular bulb. Med. J. Austral. **1929 II**, 123. Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 314. — FRANKLIN, W. S., F. C. CORDES, W. D. HORNER: Fluoroscopy for ocular foreign bodies. Amer. J. Ophthalm. **4**, 123. Ref. Zbl. Ophthalm. **5**, 451.

GANGELÉN, G. VAN: Die Röntgenuntersuchung der Tränenwege. Acta otolaryng. (Stockh.) **2**, 391 (1921). Ref. Zbl. Ophthalm. **6**, 43. — GEISLER: Zur röntgenographischen Lagebestimmung intraorbitaler Fremdkörper. Klin. Mbl. Augenheilk. **84**, 87 (1930). — GLASSCHEIB: Die Röntgentechnik. Berlin 1929. — GOALWIN, HARRY: (a) Die exakte radiographische Darstellung des Canalis opticus. Fortschr. Röntgenstr. **32**, 218 (1924). (b) The clinical value of optic canal roentgenograms. Arch. of Ophthalm. **55**, 1 (1926). Ref. Zbl. Ophthalm. **16**, 754. (c) The Röntgenographie of the orbit and its clinical value. J. of Ophthalm. etc. **30**, 7 (1926). Ref. Zbl. Ophthalm. **17**, 657. (d) One thousand optic canals. A clinical, anatomic and roentgenologic study. J. Amer. med. Assoc. **89**, 1745 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **19**, 637. — GOLOVIN, S.: Zur Technik der radiographischen Diagnostik der orbitalen Fremdkörper. Russk. oftalm. Ž. **11**, 444 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 158. — GRUDZINSKI, ZYGMUNT: Über Lokalisationsverfahren intraokulärer Fremdkörper mittels Röntgenstrahlen mit Berücksichtigung eines eigenen Verfahrens. Klin. oczna (poln.) **7**, 1 (1929). Ref. Z. Ophthalm. **22**, 64.

HAEGER, E.: Verkürzung der Belichtungszeit und Verbesserung der Bildwiedergabe von Röntgenaufnahmen durch Anwendung eines besonderen Fortbelichtungsverfahrens. Fortschr. Röntgenstr. **42**, 233 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 492. — HAEMMERLI, V.: Weitere Erfahrungen mit der skelettfreien Röntgenaufnahme des vorderen Bulbusabschnittes. Klin. Mbl. Augenheilk. **76**, 681 (1926). — HARTMANN, EDWARD: Contribution à la radiographie de l'orbite. Annales d'Ocul. **159**, 415 (1922). — HÉBERT: De l'application du magnétomètre au diagnostic des corps étrangers intraoculaires de petites dimensions. Annales d'Ocul. **163**, 444 (1926). — HENRIARD, ETIENNE: La localisation des corps étrangers de l'œil. Essai de mise au point. J. belge Radiol. **16**, 485 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **20**, 229. — HERRNHEISER, G.: Die röntgenologische Darstellung des Canalis opticus. Dtsch. ophthalm. Ges. tschechoslow. Rep., Sitzg. 9. Dez. **1923**. Ref. Zbl. Ophthalm. **13**, 150. — HERTEL, E.: Weitere Studien über die Feinstruktur von Augengeweben. Ber. 48. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. **1930**, 88. — HEUSER, C.: Neue Methode der Fremdkörperlokalisierung im Auge. Arch. Oftalm. Buenos Aires **2**, 749 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **19**, 201. — HIPPEL, E. v.: Röntgenaufnahmen des Canalis opticus. Verslg nordwestdtsh. u. niedersächs. Augenärzte-Verslg **29**, 5 (1926). Ref. Klin. Mbl. Augenheilk. **76**, 882. — HOEVE, VAN DER: (a) Zusammenarbeiten von Magnet und Röntgenphotographie. Die Diagnose der Anwesenheit von Stahlsplintern im Auge. 45. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. **1925**, 252; Klin. Mbl. Augenheilk. **74**, 172 (1925); Annales d'Ocul. **162**, 286 (1925). (b) Zusammenarbeit von Magnet und Radiographie bei Anwesenheit eines Fremdkörpers im Auge. Nederl. Tijdschr. Geneesk. **70**, 2. Hälfte, 210 (1926). Ref. Zbl. Ophthalm. **17**, 300. (c) Roentgenphotography of the petrous bone, and ophthalmology. Acta oto-laryng. (Stockh.) **9**, 104 (1926). Ref. Zbl. Ophthalm. **16**, 893. — HOEVE, J. VAN DER u. D. J. STEENHUIS: Tränenwege im Röntgenbild nach Füllung mit Lipiodol. Klin. Mbl. Augenheilk. **74**, 671 (1925). — HOFFMANN, W.: Die Röntgendiagnostik und -therapie in der Augenheilkunde. Leipzig 1932. — HOLM: Zit. bei SALZER. — HORVÁTH, B. v.: Über die Technik der ophthalmologischen Röntgenaufnahmen. Jverslg ungar. ophthalm. Ges., 28./29. Juni **1930**. Ref. Klin. Mbl. Augenheilk. **86**, 120 (1931).

KNOBLOCH, R.: Diagnose und Lokalisation intraokulärer Fremdkörper mittels Röntgenstrahlen. Bratislav. lék. Listy **11**, 35 u. dtsh. Zusammenfassung **4** (1931). Ref. Zbl. Ophthalm. **25**, 222. — KOPYLOW, M. B.: Ein neues Verfahren zur röntgenologischen Darstellung des Canalis nasolacrimalis. Röntgenpraxis **2**, 686 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 491. — KUBORN: Zur röntgenologischen Differenzierung intra- oder extrabulbär sitzender Geschoßsplitter. Klin. Mbl. Augenheilk. **61**, 326 (1918).

LANGENHAN, F.: Untersuchung mit Röntgenstrahlen. GRAEFE-SÄEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 2. Aufl., Bd. 4, Untersuchungsmethoden, S. 630. Berlin

1904. — LARSEN, VICTOR AND VICTOR JÖRGENSEN: X-ray examination of the lacrimal passages. *Acta ophthalm.* (Københ.) 5, 213 (1927). Ref. *Zbl. Ophthalm.* 19, 393. — LEMBECK, GÜNTHER: Praktische Erfahrungen mit der Röntgenlokalisation nach COMBERG. *Klin. Mbl. Augenheilk.* 80, 767 (1928). — LIEBERMANN, L. v. JR.: (a) Zur Diagnostik der Fremdkörperverletzungen des Auges und über Indikationen und Technik der Magnetextraktion mit besonderer Berücksichtigung der genauen Lokalisation. *Arch. Augenheilk.* 76, 177 (1914). (b) Zur Röntgenlokalisation von Fremdkörpern, besonders im Auge und in der Orbita, nebst Bemerkungen über Verletzungen des Auges durch Fremdkörper. *Münch. med. Wschr.* 62 II, 1413 (1915). (c) The radiographic localization of foreign bodies in the eye. *Brit. J. Ophthalm.* 8, 109 (1924). Ref. *Zbl. Ophthalm.* 12, 479.

MAYER, ERNST G.: Allgemein-röntgenologische Fortschritte und ihre diagnostische und therapeutische Verwertung in der Ophthalmologie. *Mbl. Augenheilk.* 74, 612 (1925). — MAYER, E. G. u. F. SCHNEK: Über den röntgenologischen Nachweis von Frakturen des Schädels. *Nervenarzt* 4, 129 (1931). Ref. *Zbl. Ophthalm.* 25, 522. — MICHAESCU, PANUEL: Die Röntgenuntersuchung im Studium der Pathologie der Tränenwege. *Cluj med. (rum.)* 6, 39 (1925). Ref. *Zbl. Ophthalm.* 15, 499.

PADERSTEIN: Zur Frage der Leistungsgrenzen beim Nachweis von Eisensplittern im Auge. *Klin. Mbl. Augenheilk.* 81, 686 (1928). — PATTON, JAMES: Contact localization of intraocular foreign bodies. *Amer. J. Ophthalm.* 10, 96 (1927). Ref. *Zbl. Ophthalm.* 18, 283. — POWER, H. D'ARCY: Stereoscopic roentgenography: The vidualization of surfaces for the better localization of underlying foreign bodies. *J. americ. med. Assoc.* 76, 645 (1921). Ref. *Zbl. Ophthalm.* 6 (1922).

REDSLOB, E.: Pourquoi certains corps étrangers intraoculaires ne sont-ils pas décelables par les méthodes usuelles? *Annales d'Ocul.* 163, 755 (1926). — ROBERTS, W. E.: Modification of the Sweet localizing apparatus. *Amer. J. Ophthalm.* 8, 470 (1925).

SALZER, F.: (a) Erfahrungen über die Röntgenlokalisation intraokularer Fremdkörper mit dem STUMPFschen Apparat. *Z. Augenheilk.* 43, 402 (1920). (b) Die Röntgenstrahlen in der Augenheilkunde. In RIEDER-ROSENTHAL, Lehrbuch der Röntgenkunde, Bd. 2, 2. Aufl. Leipzig 1925. — SANDERA, R.: Pneumotenen. Über eine neue kombinierte Kontrastdarstellung des Spatium interfasciale Tenoni und der hinteren Sklera. *Röntgenpraxis* 2, 175 (1930). Ref. *Zbl. Ophthalm.* 23, 553. — SPECIALE-PRICCIÒ, P.: Sulla possibilità di ottenere radiogrammi del globo oculare. Contributo allo studio della localizzazione radiografica dei corpi estranei endoculari. *Ann. Oftalm.* 55, 600 (1927). — STANGE: Röntgenologische Darstellung der Orbita. *Z. Augenheilk.* 44, 334 (1920). — STAUNIG, K. u. v. F. HERREN-SCHWAND: Experimentelle Versuche der Röntgendifferenzierung des Augapfels. *Fortschr. Röntgenstr.* 36, 372 (1927). Ref. *Zbl. Ophthalm.* 19, 426. — STEDEFELD, HUGO: Zur röntgenologischen Darstellung der Tränenwege. *Z. Hals- usw. Heilk.* 17, 7, (1926). — SWEET, W. M.: (a) Apparatus for determining the situation of foreign bodies in the eye by the Roentgen rays. College of physicians of Philadelphia, ophthalmological section. 16. März 1897. *Ref. Ophthalm. Rev.* 16, 131 (1897). (b) The localization of foreign bodies in the eye. *Ophthalmoscope* 4, 8 (1906). (c) Third series of cases of injuries from foreign bodies examined by the Roentgen rays, with results of operation. *Ophthalm. Rec.* 18, 437 (1909).

TERRIEN, F.: Les erreurs de localisation des corps étrangers orbitaires à la suite de l'examen radiographique. *Arch. d'Optalm.* 42, 74 (1925). — TEULIÈRES, M. et J. A. PAR-LANGE: Contribution à l'étude radiologique des voies lacrymales (normales et pathologiques). *Arch. Electr. méd.* 36, 321 (1928). Ref. *Zbl. Ophthalm.* 21, 665. — THIEL, A.: Röntgen-diagnostik des Schädels bei Erkrankungen des Auges und seiner Nachbarorgane. Berlin 1930. — THIENPORT, R.: Réflexions au sujet du radiodiagnostic dans les complications orbito-oculaires des sinusites. *Bull. Soc. belge Ophtalm.* 57, 117 (1928). Ref. *Zbl. Ophthalm.* 21, 468. — THOMPSON, H. B.: An attachment for the Sweet eye localizer. *Radiology* 15, 590 (1930). Ref. *Zbl. Ophthalm.* 24, 706.

VERWEY, A.: Localization of a foreign body in the eye in relation to the rotation center. *Amer. J. Ophthalm.* 7, 337 (1924). — VOGT, A.: Skelettfreie Röntgenaufnahme des vorderen Bulbusabschnittes. *Schweiz. med. Wschr.* 51, 145 (1921).

WAGENMANN: Verletzungen des Auges, Bd. 2, S. 1172. GRAEFE-SÄEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl. Berlin 1921. — WEEKS, J. E.: On the various methods employed for localizing foreign bodies in the eye by means of the Roentgen rays. *Ophthalm. Rec.* 14, 253 (1905). — WEVE, H.: Ein Stativapparat für Röntgenologie der Sella turcica. *Nederl. Tijdschr. Geneesk.* 69, 1392 (1925). Ref. *Zbl. Ophthalm.* 16, 37. — WIESER, ST.: Weitere Mitteilungen über die skelettfreie Röntgenaufnahme des vorderen Bulbusabschnittes nach Prof. Dr. Vogt. (Mit besonderer Berücksichtigung der Lokalisation kleinster, mit keiner anderen Methode nachweisbarer intraokularer Fremdkörper). *Klin. Mbl. Augenheilk.* 81, 234 (1928). — WOLLENBERG, A.: Jodipin als Kontrastmittel in der Radioskopie der Tränenwege. *Klin. Mbl. Augenheilk.* 77, 188 (1926).

## VII. Der Nachweis von Eisensplittern im Auge (Sideroskopie).

Während das Röntgenverfahren Fremdkörper, die für Röntgenstrahlen undurchlässig sind, nachzuweisen erlaubt, sofern sie nicht eine gewisse Größe unterschreiten, gibt es besondere Methoden, zur Ermittlung eiserner Splitter. In erster Linie ist die Magnetnadel herangezogen worden.

Ältere Untersuchungen in dieser Richtung sind von POULAILLE, FRÖHLICH und anderen gemacht worden (s. Literatur bei LANGENHAN). GALLEMAERTS hat ebenfalls einen Apparat, den er neuerdings wieder modifiziert beschrieben hat, mitgeteilt.

**Das Sideroskop von ASMUS.** Im deutschen Sprachgebiet hat sich um die Einführung dieser Methode in allererster Linie ASMUS Verdienste erworben. Er bezeichnet sein Instrument als Sideroskop (*Eisenspäher*, HIRSCHBERG). Das Instrument hat im Laufe der Jahre durch eine Reihe von Verbesserungen, die von ASMUS selber, aber auch von anderen Autoren angegeben worden sind, gewisse Umänderungen erfahren; grundsätzlich ist es aber dasselbe geblieben.

Es besteht in einer Magnetnadel, die an einem Kokonfaden aufgehängt ist. Dieser ist in einer Glasröhre untergebracht und trägt unten ein kleines Spiegelchen, das mit der Magnetnadel in fester Verbindung steht. Die Magnetnadelenden ragen zu beiden Seiten aus einem kleinen Kästchen hervor und sind zum Schutz in Glashülsen eingeschlossen. Zur Ausbalancierung dienen drei Stellschrauben am Fuße des Apparates. Das Auge, welches vermutlich einen Eisensplitter beherbergt, wird dem einen oder anderen Pole der Magnetnadel möglichst von vorne oder von hinten her genähert, und es wird festgestellt, ob die Magnetnadel dabei einen Ausschlag zeigt. Bei größeren Splittern ist dieser Ausschlag schon makroskopisch zu sehen, bei kleineren und kleinsten ist Ablesung mit Hilfe eines Fernrohres und des erwähnten Spiegelchens, in dem eine Skala sich abbildet, die unterhalb des Fernrohres angebracht zu werden pflegt, notwendig.

Man muß bestrebt sein, die Magnetnadel möglichst in die Nordsüdrichtung zu stellen, damit sie nicht am Glasrohr anschlägt und dadurch in ihrer Stellung fixiert wird. Sie vollführt ständig leichte Oszillationen wegen der Erschütterungen, die namentlich in der Großstadt durch den Boden fortgeleitet werden. Man hat deshalb empfohlen, das Sideroskop auf einen, mit dem übrigen Boden des Gebäudes nicht in Verbindung stehenden Betonblock zu montieren. Bei einiger Übung ist aber bei der Fernrohrablesung unschwer festzustellen, ob es sich um fortgeleitete Schwankungen der Magnetnadel handelt, oder ob diese bei Annäherung von Eisen einen Ausschlag, kenntlich an der Wanderung der Skala im Gesichtsfeld des Fernrohres in bestimmter Richtung, zeigt. Wichtig ist, daß die Person, welche den Kopf des Patienten dem Sideroskop nähert, selbst keinerlei Eisen auf sich trägt (Schlüssel, Taschenmesser, Eisenstäbe im Korsett und derartiges).

Bei sehr großen Splittern mit übermäßig großen Ausschlägen der Nadel empfiehlt ASMUS die Anbringung der sog. Dämpfungsnadel, eine Magnetnadel, die mit dem entgegengesetzten Pol dem einen Pol der Magnetnadel auf eine bestimmte Distanz genähert wird, wodurch bei Annäherung des verletzten Auges an das andere Ende der Nadel deren Ausschläge vermindert werden.

Wichtiger ist es, bei kleinen Splittern die Empfindlichkeit des Instrumentes zu erhöhen. Dieses geschieht dadurch, daß man zur Ausschaltung des Erdmagnetismus ein *astatisches Nadelpaar* verwendet. Die Empfindlichkeit wird ferner erhöht durch die von AXENFELD auf Vorschlag von WACHSMUTH empfohlenen Kupferhülsen, die über die Glasröhren, die die Magnetnadel beherbergen, gezogen werden.

Bei kleinen Splittern empfiehlt es sich, sie vorher zu „magnetisieren“, indem man das Auge dem Elektromagneten nähert; oft ist erst nach dieser Maßnahme ein positiver Ausschlag am Sideroskop zu erreichen.

Um vor dem Einfluß vagierender elektrischer Ströme, wie er durch vorbeiführende elektrische Straßenbahnen oder auch durch in der Nähe befindliche Instrumente, die starke elektrische Ströme brauchen (Röntgenapparate, Riesenmagneten), zustande kommen kann, sicher zu sein, hat KOSTER einen starken Magneten unter das Instrument gelegt und es auf diese Weise gegen derartige Einwirkungen unempfindlicher gemacht.

Von Bedeutung für das Resultat der Untersuchung ist außer der Größe auch die Form des Splitters. Kleine, aber längliche Splitter geben eher einen Ausschlag, als etwas größere, aber kürzere, weil im ersten Fall die Polbildung ausgesprochener ist.

Die Empfindlichkeit des ASMUSschen Instrumentes wird von PADERSTEIN für größer eingeschätzt als die der Röntgenaufnahme. Es ist ihm gelungen, einen Splitter von  $\frac{1}{10}$  mg noch nachzuweisen, der auf der Röntgenplatte sich nicht mehr darstellen ließ.

Die Hauptschwierigkeit bei der Verwendung des Sideroskopes liegt darin, daß die Einstellung der Skala am Spiegelchen und weiterhin im Fernrohr oft zeitraubend ist. Man

hilft sich nach dem Vorschlage von ASMUS am besten so, daß man eine Kerze nahe vor den Spiegel bringt und, das Spiegelbild festhaltend, sich dann bis zu drei oder vier Meter Abstand begibt, die Entfernung, die notwendig ist, um bei Fernrohrablesung eine genügende Vergrößerung des Ausschlages zu erzielen. Zur Vermeidung dieses Übelstandes ist von BLESSIG und BJERKE empfohlen worden, den Ort, an dem das Stativ mit dem Fernrohr zu stehen hat, ein für allemal zu fixieren. Da es auch nicht zweckmäßig ist, den Kokonfaden zu entspannen und die Nadel auf die Glasröhren aufliegen zu lassen, ist es dann leichter möglich sofort den Apparat gebrauchsfertig zu haben. Nach eigenen Erfahrungen ist es aber, als Folge geringer Änderungen der Lage des Spiegels, wohl zum Teil bedingt durch Torsion des Kokonfadens, nicht immer möglich, die einmal fixierte Stellung dauernd beizubehalten.

**Andere Modelle des Sideroskops.** Um die eben erwähnte Schwierigkeit, die der Verbreitung des Sideroskops nicht günstig gewesen ist, auszuscheiden, haben HIRSCHBERG und dann namentlich HERTEL, dem wir ein neueres Modell des Sideroskops verdanken, die Ablesung an einer feststehenden Skala an der Wand empfohlen. Ein Lichtstrahl, der von einer Lampe ausgeht, die nahe vor dem Spiegel des Sideroskops angebracht ist (HERTEL verwendete zwei rechtwinklig zueinander stehende Spiegel, entwirft auf einer Skala einen feinen Lichtstreif. Ein positiver Ausschlag der Magnetonadel gibt sich dann objektiv gleichzeitig mehreren Untersuchern zu erkennen, während die Fernrohrablesung immer nur von einem Beobachter vorgenommen werden kann.

Das Instrument ist für viele Zwecke außerordentlich brauchbar, worauf neuerdings u. a. QUINT und PADERSTEIN hingewiesen haben.

**Fehlerquellen.** Genaue Untersuchungen von HERTEL haben gezeigt, daß nicht nur reines Eisen sondern eine Reihe von anderen Metallen, wie z. B. Messing oder das gewöhnliche Handelskupfer wegen der Spuren Eisen, die sie enthalten, auch positive Ausschläge geben, während umgekehrt manche Metalle wie Blei, Wismut, Zink, den Magneten abstoßen. Hierdurch ist das Resultat nicht immer absolut eindeutig, wie z. B. eine Beobachtung von JUNG lehrt, bei dem ein großer Rotgußsplitter im Auge einen starken Ausschlag gab, was zu falschen therapeutischen Maßnahmen führte. Im allgemeinen aber gibt das Sideroskop gute Resultate, und zwar nicht nur in der Hinsicht, daß sich überhaupt Eisen im Auge befindet, sondern auch für die genauere Lokalisation. Bei einiger Erfahrung und Übung des Untersuchers ist es meist leicht festzustellen, bei Annäherung welcher Partie der Corneoskleralkapsel der stärkste Ausschlag am Sideroskop eintritt.

**Verwendung des Elektromagneten zu diagnostischen Zwecken.** Viele Ophthalmologen sehen von der Verwendung des Sideroskops vollständig ab, zum Teil aus den eben erwähnten gelegentlich zu Fehlschlüssen führenden Beobachtungen, zum Teil wegen der komplizierten Handhabung des Instrumentes. Sie ziehen es vor, sofort jeden auf intraokularen Eisensplitter verdächtigen Fall an den Riesenmagneten zu setzen, evtl. nach vorheriger Röntgenuntersuchung. Dabei wird festgestellt, ob bei Annäherung an den großen Magneten eine Schmerzäußerung erfolgt.

Das Verfahren darf nicht als ganz unbedenklich bezeichnet werden, weil einerseits größere Splitter sofort angezogen werden und dann zu schweren sekundären Zerstörungen im Augeninnern Anlaß geben können, andererseits aber auch weil, wenn ein Splitter fest eingeklebt in den Augenhäuten oder in der Linse sitzt, jegliche Schmerzäußerung zu fehlen vermag. Das kann dann zu diagnostischen Fehlschlüssen führen. Das gleiche gilt auch von Splittern, die doppelt perforiert retrobulbär im Orbitalgewebe sitzen.

Es muß deshalb Grundsatz sein, bei Verdacht auf eiserne intraokulare Fremdkörper mindestens neben der Magnetuntersuchung auch noch eine Röntgenaufnahme auszuführen. Wenn diese negativ ausfällt, so ist wenn möglich noch eine Sideroskopuntersuchung oder eine skelettfreie Aufnahme anzuschließen.

## L i t e r a t u r.

### *Sideroskopie.*

ASMUS, EDUARD: Das Sideroskop. Ein Apparat zum Nachweis der Eisen- und Stahlsplitter im Innern des Auges. Graefes Arch. **40 I**, 280 (1894).

BLESSIG: Vorrichtung zur stabilen Einstellung des Sideroskops. Klin. Mbl. Augenheilk. **46 II**, 326 (1908). — BJERKE, K.: Eine veränderte Form des Sideroskops von Dr. ASMUS. Graefes Arch. **51**, 461 (1900).

GALLEMAERTS: Magnétomètre (modèle de Chanaud). Annales d'Ocul. **160**, 161 (1923).

HERTEL, E.: (a) Einiges über den Nachweis von intraokularen Eisensplittern durch ein verbessertes Sideroskop, sowie über die Einwirkung von anderen Metallen auf die Magnetonadel. Graefes Arch. **60**, 127 (1905). (b) Über Sideroskopie. Mit Demonstration eines leicht transportablen Apparates. Münch. med. Wschr. **1915 I**, 577.

JUNG: Zur Sideroskopie. Klin. Mbl. Augenheilk. **77**, 838 (1926).

KUBIK, J.: Die Eisensplitterlokalisation durch Schmerzreaktion bei Verwendung schwacher Magnete. Klin. Mbl. Augenheilk. **78**, 173 (1927).

LANGENHAN, F.: Ophthalmosideroskopie. GRAEFE-SAEMISCH'S Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 2. Aufl., Bd. 4, S. 619. 1904.

PADERSTEIN, R.: Ist das Sideroskop entbehrlich? Z. Augenheilk. 52, 355 (1924).

QUINT, C.: Zur Diagnose intraokularer Stahlsplitter. Klin. Mbl. Augenheilk. 70, 192 (1923).

## VIII. Die Messung des intraokularen Druckes (Tonometrie).

### 1. Allgemeines zur Methodik.

Trotz Vervollkommnung der Methoden in den letzten Jahrzehnten besitzen wir noch kein klinisches Verfahren, um im lebenden menschlichen Auge den tatsächlichen Druck zu bestimmen. Dieses ist nur durch die Manometrie, bei der Einführung einer Kanüle in das Augeninnere notwendig ist, möglich. Diesen intrabulbären stehen die extrabulbären tonometrischen Methoden gegenüber. Bei ihnen soll durch einen meßbaren, von außen auf die Leder- oder Hornhaut ausgeübten Druck ein Rückschluß auf den intraokularen gezogen werden.

Die theoretische Begründung ist von IMBERT und A. FICK versucht worden, aber befriedigend ist das Problem nicht gelöst.

**Physikalische Faktoren.** Es handelt sich bei den Verfahren um Ausübung eines mehr oder weniger starken Druckes auf die Hornhaut-Lederhautkapsel an umschriebener Stelle, der keineswegs vollkommen durch Vergrößerung der Corneoskleralkapsel infolge elastischer Dehnung ausgeglichen wird. Es sind hier deshalb die Gesetze des hydrostatischen Druckes anzuwenden. Diese lehren, daß die Größe der in einem geschlossenen System auftretenden Drucksteigerung von dem Umfang der drückenden Fläche und ihrer Belastung abhängt. Je größer die Fläche ist, um so größer ist auch insgesamt der auf ihr lastende Druck. Man kann deshalb bei gleicher Belastung mit einem kleinen Stempel einem größeren hydrostatischen Innendruck das Gleichgewicht halten als mit einem größeren. Diese Tatsache ist bei der Tonometrie von grundlegender Bedeutung.

Bei der tonometrischen Messung wird aus dem Widerstand, den ein Teil der Corneoskleralkapsel dem Eindringen einer Platte oder eines Stabes, die mit einem konstanten oder variablen Gewicht belastet sind, entgegensetzt bzw. aus der Tiefe ihres Einsinkens ein Rückschluß auf den intraokularen Druck gezogen. Die Eindrückbarkeit der mit Flüssigkeit prall gefüllten Corneoskleralkapsel wird aber nicht nur von ihrem hydrostatischen Druck im Innern abhängen, sondern ganz wesentlich von der Beschaffenheit der Wand, nämlich deren Spannung, Rigidität oder Biegungssteifigkeit und Elastizität.

Die Annahme von A. FICK, daß der erste Faktor fortfalle, wenn die Kalotte vollständig abgeflacht sei, abgeleitet von den physikalischen Verhältnissen bei einem geknickten Faden, ist nicht zutreffend. Damit entfällt die von diesem Autor vorgenommene Trennung in Applanations- und Impressionstonometer. Bei diesen sollte eine Eindellung von (zunächst) unbekannter Form erfolgen. Es hat sich aber gezeigt, daß hier keine grundlegende Verschiedenheit besteht.

Daß die Rigidität der Bulbuskapsel von Einfluß sein muß, lehren nicht nur eine einfache physikalische Überlegung (Vergleich der Eindrückbarkeit eines Gummiballons mit einer Metallkapsel), sondern auch die Untersuchungen von BADER und H. K. MÜLLER, die namentlich eine mit dem Alter zunehmende Biegungssteifigkeit ergaben.

Endlich ist die Elastizität der Corneoskleralkapsel zweifellos individuell variabel, obwohl zuverlässige Messungen über den Elastizitätsmodul (ISCHREYT, KOSTER u. a.) noch nicht vorliegen. Neuere Versuche in dieser Richtung von VOGELSANG und H. K. MÜLLER, die auf eine ballistische Tono- bzw. Elastometrie hinauslaufen, stehen noch in den Anfängen (S. 907).

Die physikalischen Verhältnisse bei der Tonometrie sind also außerordentlich verwickelt und die mathematische Behandlung der Frage (s. hierzu auch OTTO FRANK) ist zur Zeit nur unzureichend möglich. Gleichwohl ist daran festzuhalten, daß die Tonometrie empirisch befriedigende Resultate gibt, wenn sie uns auch nicht in hinreichend zuverlässigem Maße ermöglicht, die absolute Höhe des intraokularen Druckes zu bestimmen.

**Physiologische Faktoren.** Außer den physikalisch bedingten sind noch eine Reihe von physiologischen Faktoren zu nennen, die den Augendruck beeinflussen und zum Teil temporären Schwankungen unterliegen. Hier soll nur einiges kurz erwähnt werden, im übrigen aber sei auf das Kapitel Augendruck in Bd. 4 dieses Handbuches verwiesen (insbesondere S. 666—672).

Spasmus des Musculus orbicularis erhöht ebenso wie Bewegungen des Auges den intraokularen Druck. Schwankungen in der Blutdruckhöhe wirken sich im Augendruck aus, wenn auch länger bestehende Blutdrucksteigerungen schnell vom normalen Auge wieder kompensiert werden. Besonders wichtig sind die zuerst (1904) von MASLENNIKOW festgestellten Tagesschwankungen, deren genauere Kenntnis wir namentlich KÖLLNER verdanken.

Das Lebensalter wirkt ebenfalls auf den Augendruck ein, und zwar, wie die neueren Untersuchungen von H. K. MÜLLER ergeben haben, im Sinne einer Abnahme. Hierzu stimmen auch die Angaben von CRIDLAND.

Während die Refraktion nicht von Einfluß ist, kann ein pathologischer Exophthalmus sowohl eine Steigerung als auch eine Verminderung des Druckes herbeiführen (TEN DOESCHATE). Miosis und Mydriasis scheinen nur von geringem Einfluß zu sein (GRÖNHOLM). Die Wirkung des wechselnden Luftdruckes ist nicht endgültig geklärt. WEIMANN und ASSER fanden den Druck im südamerikanischen Hochgebirge erhöht. ASSER fand in der pneumatischen Kammer ebenfalls einen Einfluß des Luftdruckes.

Von den *Medikamenten* wurden Skopolamin und Atropin für das normale Auge als unwirksam befunden, während Eserin und Pilokarpin den Druck um mehrere Millimeter senken können (LANGENHAN, ISAKOWITSCH, WEGNER).

**Die normale Höhe des Augendruckes.** Zur Beurteilung des Resultates der Tonometrierung wäre es wichtig, die Höhe des normalen Augendruckes zu kennen. Er muß, wie aus

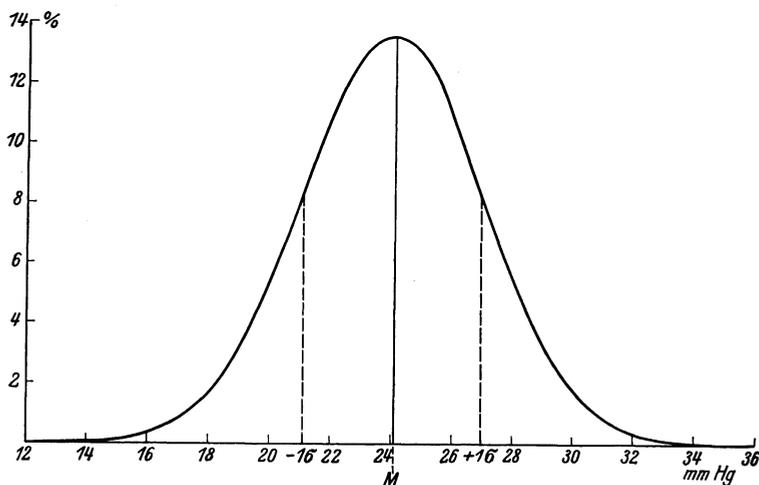


Abb. 42. Berechnete Häufigkeitskurve der intraokularen Druckhöhen gesunder Augen unter der Annahme binominaler Verteilung. (Nach H. K. MÜLLER.)

dem Vorstehenden hervorgeht, stark schwanken. Im allgemeinen wird die normale Spielbreite zwischen 13 und 27 mm Hg liegend angenommen. H. K. MÜLLER kommt auf Grund variationsstatistischer Berechnungen des Zahlenmaterials von GJESSING zu physiologisch möglichen Grenzen von 12 bis 30 mm Hg. Dies entspricht Ausschlägen zwischen 5,5 und 1,8 mit den 5,5-Gewicht nach SCHIÖTZ (S. 906). Die Verteilung der Druckwerte geht aus der beigefügten Kurve (Abb. 42) hervor.

## 2. Die Spezielle Methodik der Tonometrie.

### a) Indirekte Methoden.

Aus Änderungen der Hornhautkrümmung in Abhängigkeit von der wechselnden Höhe des intraokularen Druckes (KOSTER) oder der von KRÜCKMANN angeregten Sensibilitätsbestimmung der Cornea mit von FREYSchen Reizhaaren sind irgendwie brauchbare klinische Vergleichsmessungen nicht durchführbar. Die Methoden haben deshalb nur theoretisches Interesse.

### b) Digitale Tonometrie.

Eine Methode, die klinisch noch vielfach verwendet wird, ist die sog. digitale Tonometrie. Sie ist schon vor über zweihundert Jahren von BRISEAU (1709, zit. nach NICATI) durch Betastung des Augapfels ausgeübt worden; auch COCCUS hat wohl den Augapfel direkt befühlt, um daraus Schlüsse auf den intraokularen Druck zu ziehen. Eine systematischere Ausarbeitung hat BOWMAN dem Verfahren gegeben, der 9 (nicht, wie meist berichtet wird, nur 7) verschiedene Stufen unterscheidet, nämlich außer dem normalen Druck je eine Stufe fraglicher, merklicher, deutlicher und sehr ausgesprochener Erhöhung oder Erniedrigung.

Man geht bei diesem Verfahren meist so vor, daß man den Patienten abwärts blicken läßt und den Augäpfel durch das bedeckende Oberlid im Bereich der Sklera, etwa wie bei der Prüfung auf Fluktuation, palpiert, indem man den Widerstand, den die Sklera dem Eindrücken entgegensetzt, abschätzt (s. hierzu NICATI). Man kann mit einem oder mit zwei Fingern palpieren und benutzt dann zweckmäßig die Zeigefinger beider Hände oder Zeige- und Mittelfinger der gleichen Hand. Bei Verwendung beider Zeigefinger muß man die Augäpfel nacheinander betasten oder den Vergleich mit dem eigenen gesunden Auge anstellen. Es handelt sich also hier um einen Sukzessivvergleich, während bei gleichzeitiger Verwendung beider Hände ein simultaner Vergleich erfolgt.

**Die Fehlerquellen der digitalen Tonometrie** sind folgende: Es ist sorgfältig zu kontrollieren, ob die Palpation wirklich immer die Sklera, und zwar etwa in der Gegend des Äquators betrifft. Blickt der Patient nicht genügend nach abwärts (oder aufwärts), so kommt man beim Betasten entweder auf die Cornea, deren Elastizitätsverhältnisse andere sind, als die der Sklera (s. BADER), oder in den Bereich des Limbus. Dieser setzt aber dem Eindrücken einen erheblich größeren Widerstand entgegen als die gleichmäßig gewölbte Sklera. Ferner muß man jeweils durch die ganze Liddicke hindurch palpieren, ähnlich wie der Gynäkologe durch die Bauchdecken die Kindsteile fühlt. Da nun das Gewebe der Lider mehr oder weniger straff und dick (z. B. ödematös) sein kann, so muß man bei dem „taktilen Erlebnis“ von diesem

Faktor abzusehen lernen. Auch kann bei starkem Eindrücken der wechselnde Widerstand der Orbitalgewebe das Urteil fälschen. Der Patient darf nicht einen krampfhaften Lidschluß ausüben, weil durch die Orbiculariskontraktion der elastische, zu überwindende Widerstand des Lides erhöht, aber auch der intraokulare Druck gesteigert werden kann.

Selbst bei Berücksichtigung und Ausschaltung aller erwänten Fehlerquellen gibt die digitale Tonometrie nur sehr ungenaue Resultate. Subjektiv hat man freilich meist bei entsprechender Übung das Gefühl, als ob das Urteil recht sicher wäre. Wie Untersuchungen, die von H. K. MÜLLER angestellt wurden, lehrten, ist das aber eine Täuschung. Es ergab sich nämlich auf Grund von 1000 Bestimmungen durch geübte Ärzte und nach variationsstatistischer Methode errechnet, daß bei einem tonometrisch nach SCHÖTZ festgestellten Druckunterschied von 1,1:1 bis 1,3:1 die Fehlergröße 50%, bei den höheren Druckunterschieden etwa 17% betrug. Danach ist es wegen des wesentlich in Betracht kommenden Einflusses der individuell verschiedenen Rigidität der Sklera verständlich, daß noch erheblichere Fehler in der Schätzung der absoluten Höhe des intraokularen Druckes unterlaufen

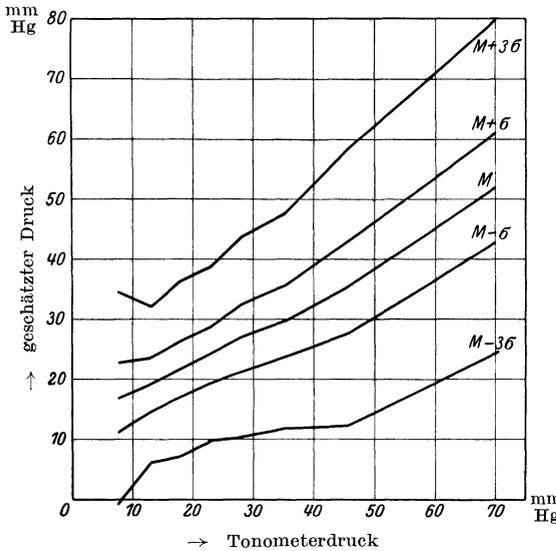


Abb. 43. Streuung bei der digitalen Druckschätzung. (Nach H. K. MÜLLER.) M Mittelwert,  $\sigma$  Standardabweichung. Innerhalb  $M + 1 \sigma$  und  $M - 1 \sigma$  liegen  $\frac{2}{3}$  aller Werte, innerhalb  $M + 3 \sigma$  und  $M - 3 \sigma$  etwa 99%.

müssen. Ein Vergleich zwischen digitaler Tonometrie, bei der von dem untersuchenden Arzt Schätzung des absoluten Druckes in Millimeter Quecksilber verlangt und unmittelbar vor- oder nachher Messung des Druckes mit dem SCHÖTZschen Tonometer erfolgte, ergaben nach H. K. MÜLLER mittlere Fehler von  $\pm 33\%$ , wobei die Neigung bestand, niedere Drucke zu unter-, höhere zu überschätzen. Praktisch vor allem von Bedeutung ist das Resultat, daß man nur dann sicher sein kann, keinen höheren Druck als 25 mm Hg (nach SCHÖTZ Kurve III, s. S. 906; dieses etwa als obere normale Grenze) vor sich zu haben, wenn die Empfindung „sehr weich“ vorliegt.

Die variationsstatistische Berechnung ergab das beifolgende Diagramm für die Streuung der digitalen Druckschätzung (Abb. 43). Selbst, wenn man berücksichtigt, daß das auf die Hornhaut aufgesetzte Tonometer von SCHÖTZ keine eindeutigen, absoluten Werte geben kann (S. 905f.), so zeigt sich doch, daß die digitale Tonometrie nur als eine ganz grob orientierende Methode zulässig erscheint.

Vor allem aber ist dieses Verfahren unzureichend, weil es uns keinen sicheren Aufschluß darüber zu geben vermag, wie sich der Druck zeitlich ändert. Denn das Erinnerungsvermögen für Sinneseindrücke ist außerordentlich schlecht, so daß Vergleiche bei einem längeren, Tage oder gar Wochen betragenden Intervall notwendigerweise mehr oder weniger willkürlich ausfallen müssen.

## c) Die instrumentelle Tonometrie.

a) *Spiralfedertonometer.*

Die älteren Apparate bedienen sich meist der Kraft einer Spiralfeder, die zusammengedrückt wurde, um eine Ablesung zu ermöglichen (MONNIK, HAMER, WEBER, DOR). Wegen der Änderung der physikalischen Eigenschaften der Feder sind sie aber fast durchweg außer Gebrauch gekommen. Nur der Apparat von BAILLIART soll deshalb an dieser Stelle beschrieben werden.

An einem metallenen Hohlzylinder B (Abb. 44) ist unten die Fußplatte N angebracht, die auf die Hornhaut aufgesetzt wird. Ihr Krümmungsradius beträgt 12,5 mm, ist also etwas kleiner als derjenige des älteren SCHIÖTZschen Apparates (15 mm). (Um die Messung auf der Sklera vorzunehmen, wird eine andere Fußplatte aufgesetzt mit einer Krümmung von 14 mm). Der Zapfen A ist mit einer Feder C fest verbunden, die den meßbaren Druck angibt, mit dem der Apparat bzw. der Zapfen auf die Hornhaut drückt. Eine Übertragung auf das Zifferblatt M gestattet Ablesung, wie tief der Zapfen einsinkt. Die Übersetzung beträgt im Gegensatz zu dem SCHIÖTZschen Apparat (mit 20facher Übersetzung) etwa das 84fache, so daß die Ablesungen mit erheblicher Genauigkeit vorgenommen werden können. Der Zapfen hat an seinem unteren Ende einen freien Spielraum bis zur umhüllenden Zylinderfläche (neben A erkennbar), um das Aufsaugen von Tränenflüssigkeit zu verhüten. Der Apparat wird an dem Halter K, der frei beweglich ist, gehalten. Er wird auf die Hornhaut oder auf die Sklera aufgesetzt und kann sowohl am liegenden als auch am sitzenden Patienten angewendet werden. Für die Messung am liegenden Patienten wird die eine, für die am sitzenden eine andere Skala benutzt. Zur Eichung des Apparates wird die Federkraft durch Auswiegen auf einer Waage festgestellt, sodann die Druckkurve mit Hilfe des von MORAX modifizierten WESSELYschen Manometers aufgenommen. GALA macht freilich darauf aufmerksam, daß am sitzenden Patienten andere Werte erzielt werden als am liegenden. (S. auch den Apparat von STEPHENSON).

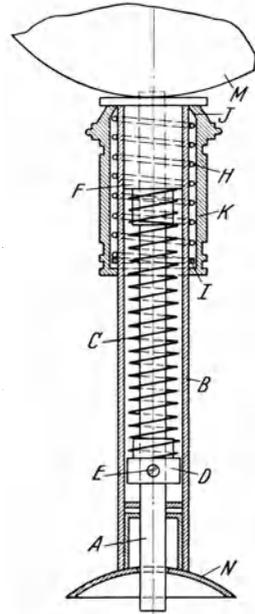


Abb. 44. Tonometer von BAILLIART im Längsschnitt.

β) *Applanationstonometer.*

Die Applanationstonometer wollen bei einer gegebenen Größe der Basalfläche, die auf die Sklera oder die Hornhaut aufgesetzt wird, denjenigen Druck oder das Gewicht ermitteln, welches notwendig ist, um gerade die gesamte Basalfläche mit der Unterlage in Berührung zu bringen, oder sie wollen bei konstanter Belastung die Größe der hierdurch zur Abflachung gebrachten Fläche bestimmen. Abgesehen davon, daß es keineswegs leicht ist, festzustellen, wann eben die vollständige Abflachung des Kugelsegmentes eingetreten ist, ist die Art der Registrierung bzw. Ablesung bei den einzelnen Instrumenten mit gewissen Unvollkommenheiten behaftet. (S. auch die Kritik bei KOSTER).

Das älteste Instrument dieser Art von FICK ist in seiner ursprünglichen Form wohl kaum mehr in Gebrauch. Über die Fehlerquellen, die ihm anhaften, haben sich KOSTER, SCHIÖTZ u. a. geäußert. Schwierig ist es beim FICKschen Tonometer, bei dem eine kleine Platte gegen eine Federkraft auf die Hornhaut soweit aufgesetzt wird, daß gerade eine Abflachung entsteht, den Moment der allseitigen Berührung festzustellen. Dieses hat dazu geführt, eine optische Ablesung zum Teil mit total reflektierenden Prismen (EWALD, LIFSCHITZ, s. auch RÖMER) vorzunehmen.

Der Apparat von LIFSCHITZ liefert, wie Vergleichsversuche mit dem SCHIÖTZschen Apparat und Eichungen an Leichenaugen, die MARIE LÖRTSCHER unter Leitung von H. K. MÜLLER anstellte, ergaben lange nicht so genaue Resultate wie das Instrument von SCHIÖTZ. Es zeigte sich eine wesentlich größere Streuung der Einzelmessungen, die auch für das lebende Auge anzunehmen ist. Eine quantitative Bestimmung ist also nicht exakt möglich; auch die relativen Werte am selben Auge zu verschiedenen Zeiten wiesen mit dem FICK-LIFSCHITZschen Apparat eine größere Streuung auf als diejenigen beim SCHIÖTZschen Tonometer. Die Modifikation von GOLOVIN, der ein Manometer anschließt, behält natürlich grundsätzlich die Fehler bei.

### γ) Das Tonometer von Maklakoff.

Während beim FICKSchen Tonometer und seinen Modifikationen durch eine wechselnde, in ihrer Größe meßbare Kraft jeweils eine Fläche von bestimmtem Durchmesser vollständig mit der Sklera oder der Cornea bei deren Abplattung in Berührung gebracht wird, geht MAKLAKOFF mit seinem Apparat von einem konstanten Gewicht aus. Ein hohler Metallzylinder, der an beiden Seiten mit einer etwas breiteren, halbkugeligen Kapsel, die zum Abschluß eine matte Glasscheibe trägt, versehen ist, beherbergt ein Bleigewicht, welches im Inneren des Hohlzylinders hin- und hergleiten kann. Das Gesamtgewicht des Apparates beträgt 10 g. Die Mattscheibe wird mit Farbe bestrichen (Bismarckbraun). Rezept s. bei LANGENHAN.

Der Apparat wird an einer Handhabe gehalten und am liegenden, gegen die Decke blickenden Patienten auf die Cornea aufgesetzt. Durch die Benetzung mit der Tränenflüssigkeit wird ein Teil der Farbe weggeschwemmt; sodann wird ein Abklatsch auf Fließpapier hergestellt und der Durchmesser des von Farbe freien Bezirkes mit einem Millimetermaßstab ausgemessen.

MAKLAKOFF hat an einer großen Beobachtungszahl festgestellt, daß die Methode insofern brauchbar ist, als aus dem Durchmesser des so gewonnenen Farbkreises sich Rückschlüsse auf die Höhe des intraokularen Druckes ziehen lassen. Das Verfahren hat sich aber wenig eingebürgert; das liegt schon darin begründet, daß bei leichten Augenbewegungen der Abklatsch sich ändern muß, auch der gleichmäßige Farbenauftrag nicht leicht ist und durch Capillarattraktion mehr von der Farbe entfernt wird als der Berührung entspricht. Neuerdings ist der Apparat wieder von KANKROW modifiziert worden. Einen Vergleich zwischen den mit dem MAKLAKOFFSchen und dem SCHIÖTZschen Apparat gefundenen Werten gibt eine Tabelle von PRIESTLEY SMITH, die sehr erhebliche Differenzen erkennen läßt.

### δ) Impressionstonometer.

Wie S. 900 erwähnt, entsteht bei der Impression z. B. des SCHIÖTZschen Tonometers durch Einsinken des Zapfens eine komplizierte Form der Eindellung, die nur rein empirische Eichung zuläßt.

Das Tonometer von SCHIÖTZ. Das ältere, 1905 angegebene Modell (Abb. 45, mit einigen Modifikationen) besteht in einem Hohlzylinder, an dem ein Metallbogen angebracht ist, der oben einen  $7\frac{1}{2}$  cm langen, flachen Aluminiumstab trägt. An ihm ist ein Gradbogen mit Skala befestigt. In dem Hohlzylinder gleitet ein Metallstift von 3 mm Durchmesser, dessen unteres Ende bei dem üblichen Modell konkav ist, und ein Hohlzylinder, dessen Fußplatte ebenfalls von einer konkaven Fläche von früher 15,0, jetzt 7,5 mm Krümmungsradius gebildet wird. Bei den neuesten Modellen ist ein Spielraum zwischen unterem Zapfenteil und umgebendem Zylinder vorhanden, um ein Aufsaugen von Tränenflüssigkeit zu vermeiden. Am oberen Ende ist der Stift zugespitzt und trägt in dem neueren Modell einen Schraubengang, auf dem verschieden schwere Gewichte eingeschraubt werden können. Der Stift spielt mit seinem zugespitzten Ende auf einem bogenförmig gestalteten kurzen Hebelarm, der mit einem, etwa rechtwinklig dazu eingesetzten, langen Hebelarm, einem feinen Aluminiumstabe verbunden ist. Eine Handhabe umfaßt mit einem Hohlzylinder den Stiel. Dieser wird mit möglichst geringer Reibung unter Anwendung von kleinen Rollen gehalten. Schließt das untere Ende des Zapfens glatt mit der Krümmungsfläche der Fußplatte ab (durch Kontrolle auf einer konvexen Metallplatte jeweils zu bestimmen, S. 910), so steht der lange Hebelarm auf dem Nullpunkt der Skala. Tiefertreten des Zapfens um je 0,1 mm bewirkt einen Ausschlag des Zeigers um je einen Skalenteil. Der ganze Apparat wiegt ohne Gewichte und ohne die Handhabe 17,5 g, die Gewichte, die mit 5,5, 7,5, 10 und 15 bezeichnet sind, bedeuten eine Mehrbelastung von 2,5, 5,5, 7,5 und 12,5 g.

Der Apparat wird am horizontal liegenden Patienten senkrecht auf die Hornhaut aufgesetzt, wobei man ihn frei mittels der Handhabe hält. Es lastet also auf dem Auge die Fußplatte und damit das Gesamtgewicht des Apparates mit Ausnahme der Handhabe, sowie der Zapfen mit dem aufgeschraubten Gewicht. Der Zeigerausschlag wird an der Skala abgelesen; er ist um so höher, je tiefer der Zapfen in das Auge einsinkt.

**Modifikationen des Tonometers von SCHIÖTZ.** SCHIÖTZ selbst hat 1924 ein etwas stabileres Modell angegeben. Die Handhabe ist fester gebaut, die Skala wird von zwei Trägern gehalten;

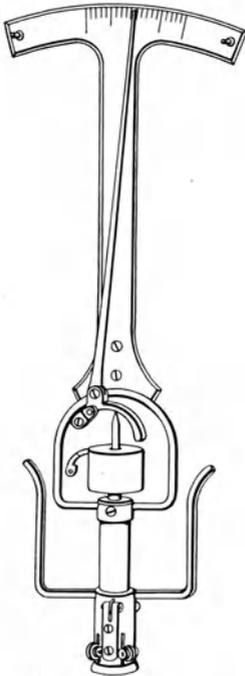


Abb. 45. Tonometer von SCHIÖTZ mit einigen Modifikationen.

der Hauptvorteil aber liegt darin, daß die Gewichte auf den Zapfen aufgesetzt werden können, ohne daß er entfernt werden muß: Sie tragen Schlitzte, die es erlauben, Zusatzgewichte, während das Tonometer auf dem Auge ruht, aufzulegen. Das ist auch bei dem Modell, das von Sydow in Berlin angefertigt wird, möglich. Überdies tragen hier die Gewichte kleine Handhaben, die das Aufsetzen erleichtern (s. Abb. 45).

Da bei schiefer Aufsicht die Projektion des Zeigers nicht auf den genau entsprechenden Skalenteil zu fallen braucht, hat MARX einen kleinen Spiegel angebracht; bei Deckung von Spiegelbild und Zeiger ist man sicher, richtig zu visieren.

Weitere Modifikationen des Apparates sind von LEVINSOHN BADER, RUBEN, TESSIER und COHEN angegeben worden.

In Amerika viel verwendet wird das Tonometer von MACLEAN, das aber von ELLIOT und GJESSING als zu schwer beurteilt wird. Es wiegt 32 g gegenüber 20 g des SCHIÖTZschen Apparates bei Belastung mit dem 5,5 Gewichte. Die Eichkurven geben überdies durchweg höhere Werte an.

Von manchen Seiten ist als störend empfunden worden, daß die Skala, auf der der Zeiger des SCHIÖTZschen Apparates spielt, weit entfernt von der Cornea ist, wodurch die Ablesung erschwert wird. Diesem Übelstand sucht eine Modifikation von BROWN abzuhelpen; hier ist die Skala nahe an der Fußplatte angebracht, so daß der Blick beim Ablesen bei sukzessiver Beobachtung von Cornea und Fußplatte des Apparates nur geringe Exkursionen zu machen braucht.

**Das Tonometer von WENDT.** Eine grundsätzliche Modifikation stellt das Tonometer von WENDT dar, welches die Übertragung der Zapfenausschläge durch Zahnräder auf ein Ziffernblatt vornimmt. Der Apparat wird von ASCHER gelobt; eigene Erfahrungen lassen ihn aber doch nicht als so zuverlässig erscheinen, wie das SCHIÖTZsche Instrument.

**Tonometer mit konvexem Zapfen.** SCHIÖTZ selbst hat Versuche mit einem Zapfen mit konvexer Grundfläche mitgeteilt. Er nennt es das X-Tonometer. Der Vorteil dieses Apparates liegt darin, daß man mit einem einzigen Gewicht (5,5) einen viel größeren Bereich des intraokularen Druckes ausmessen kann als mit dem Modell mit konkaver Grundfläche. Nach den physikalischen Angaben auf S. 894 ist das ohne weiteres verständlich, weil bei konvexem Zapfenende natürlich die Berührungsfläche zwischen Zapfen und Cornea zunächst kleiner sein muß, dementsprechend schon geringere Gewichte ausreichen, um einen höheren intraokularen Druck zu kompensieren. FLEISCHER hat kürzlich die Anwendung des konvexen Zapfens empfohlen.

Eichung des Tonometers an Leichenaugen. (Nach SCHIÖTZ.)

Druck H <sub>2</sub> O	Die Gruppe von 20 Augen Ausschlag des Zeigers			Die Gruppe von 10 Augen Ausschlag des Zeigers		
	Max.	Min.	Mittel	Mittel	Max.	Min.
<b>Das offene Auge (7,5-Gewicht)</b>						
30 cm	19,5	13	15,5	15,1	18	13,75
50 „	7,75	5,3	6,53	6,77	8	5,5
70 „	3,8	2	2,85	2,8	3,5	2
90 „	1,5	0	0,7	0,7	1,75	0,2
100 „	0,7	0	0,3	0,33		
<b>Das geschlossene Auge (7,5-Gewicht)</b>						
30 cm	9,5	5,5	7,3	7,1	8,67	6,55
50 „	5	2,7	3,82	3,8	4,5	3
70 „	2,5	0,87	1,63	1,55	2,3	1
90 „	1	0	0,32	0,22	1,1	0,2
100 „			0	0		

**Eichung des Tonometers von SCHIÖTZ.** Um aus den abgelesenen Ausschlägen einen Rückschluß auf den wahren Wert des intraokularen Druckes zu ziehen, sind Eichungen vorgenommen worden. Dabei erfolgt eine Bestimmung des intraokularen Druckes durch eine Hohlnadel, die mit einem Manometer verbunden und in das Auge eingestochen wird, während man gleichzeitig die Ablesung des Ausschlages am Tonometer vornimmt. Die Eichung ist an Leichenaugen durchgeführt worden (SCHIÖTZ, PRIESTLEY SMITH, H. K. MÜLLER). Läßt man das Auge in Verbindung mit dem Manometer (sog. offenes Auge), so wird natürlich ein Teil der Flüssigkeit in das Manometer gedrückt werden, was wegen der geringen Menge eine Änderung des Manometerstandes nicht bewirkt. Schließt man die Verbindung mit dem Manometer, wie es beim lebenden Auge der Fall ist, so entsprechen

jetzt gleichen Ausschlägen des Tonometers keineswegs die vorher mit dem Manometer festgestellten Drucke, weil durch das Aufsetzen des Tonometers eine Steigerung des intraokularen Druckes unter diesen Umständen bewirkt werden muß.

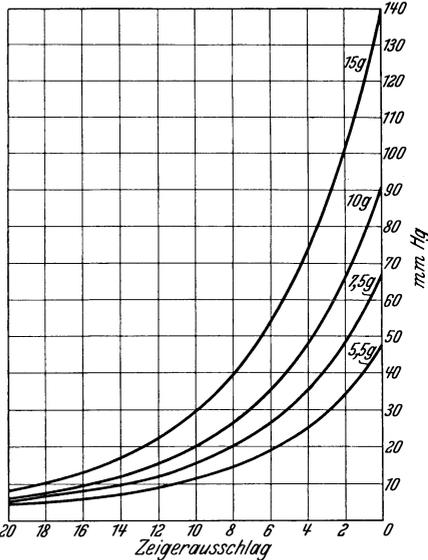


Abb. 46. Abhängigkeit von Zeigerausschlag und intraokularem Druck. Mittelwertskurven nach SCHIÖTZ.

von 3 der intraokulare Druck zwischen 25 und 33 mm Hg liegen kann. SCHIÖTZ selbst (s. auch H. K. MÜLLER) hat deshalb angegeben, daß der Wert für den absoluten intraokularen Druck für das niedrigste 5,5-Gewicht um 6—8, für das 7,5-Gewicht um 8—10, für das 10-Gewicht ungefähr um 13, für das 15-Gewicht um 15 mm Hg schwanken könne.

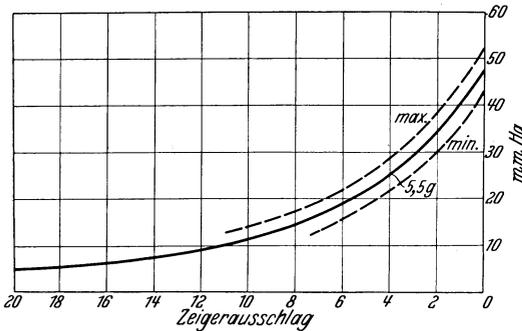


Abb. 47. Streuung der Werte für den intraokularen Druck bei Belastung mit dem 5,5-Gewicht am SCHIÖTZschen Tonometer.

Man muß sich dieser Tatsache bei jeder tonometrischen Messung bewußt bleiben. Es ist also durchaus ungerechtfertigt, wie das wohl in der ersten Zeit der Verwendung des SCHIÖTZschen Tonometers von manchem Ophthalmologen geschehen ist, von vornherein jeden, auf Grund der SCHIÖTZschen Kurven ermittelten Wert von über 28 mm Hg als pathologisch anzusprechen (s. unten).

Außer diesen Faktoren mögen aber auch noch, neben den auf S. 900 genannten Fehlerquellen, andere Momente für die Differenzen in Betracht kommen. Durch Kompression des Auges wird der Druck herabgesetzt, weil ein Teil der intraokularen Flüssigkeit oder des

Die Auswertung der Tonometerausschläge. Es besteht bei den Ophthalmologen vielfach die Neigung, die Tonometerausschläge, die am Lebenden gewonnen sind, nun ohne weiteres in Millimeter Quecksilber für den intraokularen Druck nach diesen Kurven umzurechnen. Die Tabelle auf S. 905, auf die sich diese Kurven stützen, zeigt aber, wie ungerechtfertigt dieses Vorgehen ist. SCHIÖTZ selbst, dann aber auch PRIESTLEY SMITH und andere Autoren, haben darauf hingewiesen, daß es nicht statthaft ist, einem gegebenen Tonometerausschlag auch einen bestimmten intraokularen Druck zuzuordnen. Abb. 47, in der die Maxima und Minima für das 5,5-Gewicht neben der Mittelwertkurve eingetragen sind, läßt z. B. erkennen, daß bei einem Tonometerausschlag

Die großen individuellen Schwankungen in den Tonometerausschlägen trotz manometrisch gleichen intraokularen Druckes beruhen sicher in erster Linie auf der verschiedenen Biegesteifigkeit der Cornea. SCHIÖTZ und andere hatten zunächst angenommen, daß im Gegensatz zu der bekannten individuell wechselnden Rigidität der Sklera solche Differenzen in der Hornhaut nicht vorkommen. Diese Ansicht ist zweifellos nicht richtig, und auch von SCHIÖTZ selbst später korrigiert worden. Daß hierbei das Lebensalter von Bedeutung ist, ging außer den klinisch bekannten Tatsachen auch aus den Messungen von BADER hervor. Neuerdings hat H. K. MÜLLER durch Versuche an Leichenaugen festgestellt, daß gleichen Ausschlägen des Tonometers in verschiedenen Lebensaltern jeweils andere Drucke entsprechen (Abb. 48).

Blutes ausgepreßt wird. Individuell ist dieses Moment wahrscheinlich Schwankungen unterworfen, da z. B. bei einem erhöhten Blutdruck in den Gefäßen oder bei einem Wechsel des Tonus der Wandungen ihre Kompressibilität Schwankungen erleiden muß, und demnach auch die Blutmenge, die sofort beim Aufsetzen des Tonometers aus dem Auge exprimiert wird, verschieden groß ausfallen kann (BAILLIART).

Im allgemeinen sind normaler Weise die Tonometerausschläge auf *beiden Augen* gleich oder es bestehen nur geringe Differenzen. MARX fand unter 83 gesunden Augen 38mal den intraokularen Druck gleich, 38mal links und 13mal rechts höher. Er bezieht das auf den Einfluß der linken Carotis; ferner soll ein Einfluß der Rechts- oder Linkshändigkeit darin zum Ausdruck kommen. Auch CRIDLAND ermittelte Differenzen zwischen den beiden Augen.

#### ε) Stativtonometer.

Die in der Praxis gebräuchlichen Apparate werden frei auf das Auge aufgesetzt. Das Bestreben, exaktere Messungen durch Anwendung von Tonometern, die mittels Stativ

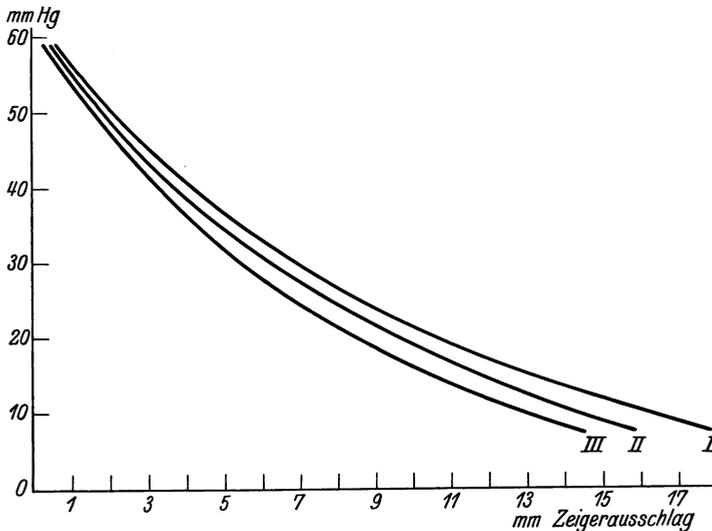


Abb. 48. Tonometereichkurven für die 7,5-Belastung (Original-Schötz-Tonometer). Kurve I bei Kindern im Alter von 1–10 Jahren; Kurve II bei Erwachsenen im Alter von 20–44 Jahren; Kurve III bei Personen im Alter von 45–90 Jahren. (Nach H. K. MÜLLER.)

fixiert sind, zu gewinnen (STEIN, HELMBOLD, LEVINSOHN, MANGOLD und DETERING), erwies sich aber als praktisch undurchführbar, weil kleinste Bewegungen des Patientenauges die Einstellung des Apparates hinfällig werden lassen.

#### ζ) Ballistische Methoden.

Auf ganz anderem Prinzip, als bei den üblichen Tonometern, beruhen die Versuche, die von H. K. MÜLLER, sowie von VOGELSANG zur Bestimmung des intraokularen Druckes begonnen wurden.

VOGELSANG läßt ein bekanntes Gewicht aus wechselnder Höhe auf die Cornea fallen und untersucht mittels photographischer Reproduktion die Ausschläge.

H. K. MÜLLER bediente sich eines ähnlichen Verfahrens, regt aber außerdem an, die elektrisch gemessene Kontaktzeit, d. h. die Dauer, während der das auf das Auge auffallende Gewicht mit dem Bulbus in Verbindung bleibt, zu bestimmen. Je geringer die Prallheit des Auges, um so länger wird die Kontaktzeit sein. Klinische Verwendung haben beide Verfahren noch nicht gefunden. Die Versuche von WEVE bewegen sich in ähnlicher Richtung.

#### d) Die Praktische Anwendung des Tonometers von SCHÖTZ.

Bei der praktischen Ausführung der Tonometrie mittels des SCHÖTZschen Apparates ist ursprünglich empfohlen worden, stets unmittelbar hintereinander drei Messungen auszuführen und aus ihnen den Mittelwert zu ziehen. Nun haben

aber P. KNAPP, REGINE POLACK VAN GELDER u. a. nachgewiesen, daß durch Massage des Auges oder durch wiederholtes Aufsetzen des Tonometers, was ja auch eine Art Massage bedeutet, der intraokulare Druck abnimmt<sup>1</sup>. Es erscheint deshalb richtiger, jeweils nur eine Messung vorzunehmen, was bei einer gewissen Übung des Untersuchers statthaft ist, wenn der Patient das Auge ruhig hält. Wahrscheinlich einwandfrei sind die Messungen dann, wenn der Zeiger des Tonometers entsprechend den pulsatorischen Druckschwankungen im Augeninneren Ausschläge erkennen läßt, die im allgemeinen einen Teilstrich der Skala nicht überschreiten. Dann hat man die Gewißheit, daß der Tonometerzapfen mit möglichst geringer Reibung spielen kann.

Die meisten Autoren neigen dazu, den niedrigsten Stand beim Oszillieren des Zeigers als maßgebend anzusehen, der also dem höchsten intraokularen Druck im Moment des Einschießens der Pulswelle ins Augeninnere entspräche. Bei der Unmöglichkeit, absolute Drucke zu bestimmen, erscheint es aber ziemlich gleichgültig, welchen von diesen Werten oder ob man einen Mittelwert annimmt, was Verfasser vorzieht.

Schwierig wird die Tonometrie, wenn der Patient sehr unruhig ist und das Auge gar nicht in die richtige Stellung zu bringen vermag. Man kann sich dann oft so helfen, daß man einen Fixierpunkt gibt, z. B. die eigene vorgehaltene Hand (s. auch LANGENHAN). Bei Einäugigen ist das natürlich nicht möglich, die Tonometrie kann deshalb hier sehr erschwert sein.

Im Notfall wird man da, wo es auf die Bestimmung des intraokularen Druckes unbedingt ankommt, zur Narkose greifen, muß sich allerdings dabei klar sein, daß hierdurch der intraokulare Druck, wie von GJESSING für die Äthernarkose nachgewiesen ist, erniedrigt wird. Auch bei Ohnmacht fand dieser Autor stark herabgesetzten intraokularen Druck.

**Die Bedeutung der Oszillationen** des Tonometerzeigers ist wiederholt Gegenstand der Betrachtung gewesen. BADER erörtert die Möglichkeit, daß sie zum Teil von den Gefäßpulsationen in der Orbita fortgeleitet sein könnten. Dieses ist aber auszuschließen. BAILLIART ist entsprechend den WESSELYSchen manometrischen Untersuchungen wohl mit Recht der Ansicht, daß die Schwankungen durch die in das Augeninnere einschießende Pulswelle zustande kommen (wobei in der Hauptsache an die Blutgefäße der Aderhaut zu denken ist) und daß die Schwankungen um so ausgiebiger sind, je größer die Differenz zwischen systolischem und diastolischem Blutdruck einerseits und der Unterschied zwischen intraokularem und arteriellem Druck andererseits ist. Dementsprechend findet er, daß beim normalen Auge die Schwankungen erst bei einer Belastung mit dem 7,5-Gewicht des SCHIÖTZSchen Tonometers sich einstellen, beim 10-Gewicht aber schon wieder verschwunden sind. Bei Hypertension treten sie dagegen erst beim 15-Gewicht auf, bei Hypotension schon beim 5,5-Gewicht. Es lassen sich also aus dem Eintritt der Schwankungen bei verschiedener Belastung gewisse Schlüsse auf das Verhältnis zwischen Augeninnendruck und arteriellem Blutdruck ziehen. Dadurch wird es verständlich, daß gelegentlich auch bei einwandfreier Technik ein Oszillieren des Tonometerzeigers nicht einzutreten braucht (s. hierzu auch SALVATI und BETTI, sowie THIEL, WEGNER; man vergleiche auch das folgende Kapitel über Dynamometrie S. 915 f.).

**Die Anästhesierung bei der Tonometrie.** Natürlich kann das Tonometer nur auf die unempfindliche Hornhaut aufgesetzt werden, im Gegensatz zu der auch ohne Anästhesierung ausführbaren Messung auf der Sklera. Als Anaesthetica kommen nur Medikamente in Betracht, die keinen Einfluß auf den intraokularen Druck ausüben. Infolgedessen fallen zunächst alle Mittel fort, die geeignet erscheinen, durch Pupillenerweiterung im glaukomdisponierten Auge Drucksteigerung zu bewirken, wie z. B. das Cocain, das sonst durch Anämisierung eine Herabsetzung des Druckes um etwa 1,5 mm hervorruft. Manche Autoren haben freilich, wenn es in 1%iger Lösung verwendet wird, keine Beeinflussung des intraokularen Druckes gesehen. Alypin ist gelegentlich verwendet worden (OEDING), doch ist es bald durch das Holocain vollständig verdrängt worden. Dieses wird zur Zeit wohl am meisten benutzt. Allerdings soll es nach den Untersuchungen von ISAKOWITSCH eine leichte Druckherabsetzung bewirken; dem stehen Angaben anderer Autoren (LANGENHAN) gegenüber, die keine Beeinflussung gefunden haben. Ein gewisser Nachteil des Holocains ist die stärkere Reizung und Hyperämie der Bindehaut, die manche Patienten belästigen und längere Zeit anhalten können. In dieser Hinsicht ist das von KOPY empfohlene Diocain, welches auch vom Verfasser benutzt wurde, wesentlich besser. Nach neuesten Erfahrungen an der Basler Klinik ist aber als das angenehmste Mittel das Panthesin zu bezeichnen. Wie

<sup>1</sup> BALANTYNE ist der Ansicht, daß es sich bei der Zunahme des Zeigerausschlags bei wiederholtem Tonometrieren um ein tieferes Einsinken des Tonometerzapfens infolge Eindellung der Cornea handle.

vergleichende Druckmessungen an Augen mit anästhetischer Cornea mit und ohne Anwendung von Panthesin gezeigt haben, wird der intraokulare Druck durch dieses Mittel nicht beeinflusst (PFLIMLIN).

**Die Fehler der Tonometrie.** Die Faktoren, welche die tonometrische Messung beeinflussen können, sind oben (S. 900) angegeben. Von weiteren Momenten, die speziell auf den Ausschlag des SCHIÖTZtonometers einwirken, ist wesentlich derjenige der individuell verschiedenen Krümmung der Bulbuswandung, also hier der Hornhaut. Nach den auf S. 900 gegebenen Ausführungen muß der Tonometerzapfen bei gleicher Belastung um so tiefer einsinken, je kleiner die Berührungsfläche mit der Hornhaut ist. Hat also die Krümmung der Zapfenfläche und diejenige der Hornhaut nicht den gleichen Radius, so werden, je nachdem die Berührungsfläche zwischen Zapfen und Hornhaut zu Beginn der Belastung größer oder kleiner ist, die Ausschläge kleiner oder größer sein müssen. Ein Einfluß der verschiedenen starken Krümmung von Fußplatte des Hohlzylinders und der Hornhaut ist ferner darin gegeben, daß bei stärkerer Krümmung der Fußplatte ein toter Raum zwischen Zapfenfußfläche und Hornhautoberfläche entstehen muß. Dadurch erfolgt ein Tiefsinken des Zapfens schon ehe eine Eindellung der Hornhaut zustande kommt. Man erhält in diesem Fall also zu große Ausschläge. Umgekehrt wird, wenn die Krümmung der Fußplatte schwächer als diejenige der Hornhaut ist, die Fußplatte bei gleicher Belastung des Tonometers unter Umständen nicht in ihrer Totalität in Berührung mit der Cornea kommen, weil die Randteile noch frei überstehen. Hierdurch wird sich das Gesamtgewicht nur auf eine kleinere Fläche verteilen müssen, wobei überdies die einzelnen Teile nicht gleichmäßig belastet werden<sup>1</sup>.

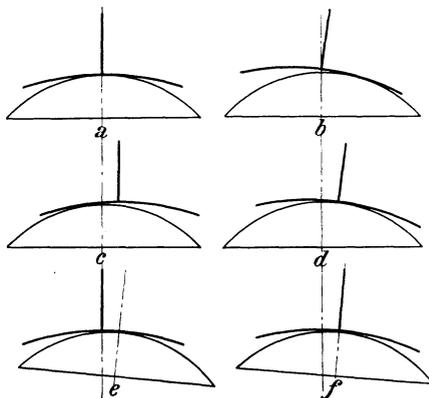


Abb. 49. Fehler bei falschem Aufsetzen des Tonometers. (Nach PRIESTLEY SMITH.)

Wenn das Tonometer auf die Seitenteile der Hornhaut aufgesetzt wird, so daß die Fußplatte über die Hornhaut mit einzelnen Abschnitten hinaussteht, wird infolge der Einfalzung der Cornea in die Sklera das Resultat gleichfalls gefälscht. Über den Einfluß dieses fehlerhaften Aufsetzens unterrichten uns Angaben von PRIESTLEY SMITH, die aus der Abb. 49 und der Tabelle zu ersehen sind. Daß die falschen Positionen e und f die geringsten Fehler geben, beruht wohl auf der geringen horizontalen Komponente in diesen Fällen.

Ein weiterer Fehler besteht darin, daß Tränenflüssigkeit zwischen Zapfen und Führungszylinder aufgesaugt wird, wodurch infolge Capillarattraktion ein Teil des Zapfengewichtes ausgeglichen werden kann. Deshalb ist in dem neuen Tonometer von SCHIÖTZ zwischen dem

unteren Ende des Zapfens und dem umgebenden Hohlzylinder ein freier Spielraum vorhanden; bei anderen Tonometern, wie dem von McLEAN, wird der Zapfen nur durch einzelne Stifte in seiner Lage gehalten. Auch das Tonometer von BAILLIART läßt am untersten Teil einen größeren Spielraum zwischen Zapfen und Führungszylinder frei (Abb. 44).

Da ein Teil des Gewichtes von der elastischen Dehnung der Bulbuskapsel getragen wird, empfiehlt SCHIÖTZ wohl aus diesem Grunde die Benutzung möglichst leichter Gewichte und rät, dasjenige Gewicht zu verwenden, mit dem der Ausschlag etwa zwischen 3 und 5 Skalenteilen zu liegen kommt. Hier sollen die Messungen am genauesten sein. In der Tat verlaufen in diesem Bereich die Kurven (Abb. 46) gegen die Abszisse ungefähr unter 45°. Bei kleineren Ausschlägen ist der Winkel größer, so daß schon geringe Änderungen sehr große Druckdifferenzen anzeigen würden. A priori müßte aber nach den SCHIÖTZschen Kurven beurteilt die genaueste Ablesung da erfolgen können, wo jene einen gegen die

Fehler bei falschem Aufsetzen des Tonometers. (Nach PRIESTLEY SMITH.)

	a	b	c	d	e	f
Ablesungen	3,5	2,75	6	2,5	4	3,75
	3,5	2,5	5,5	2,5	3,75	4
	3,5	2	5,5	3	3,75	3,75
	3,5	2,5	6	3,5	3,5	3,75
	3,75	2	6,5	2,5	3,5	3,5
Mittelwerte	3,55	2,35	5,9	2,8	3,7	3,75

<sup>1</sup> Über die individuellen Schwankungen der Hornhautkrümmung vergleiche man die neue Statistik von JACKSON.

Abszisse nur wenig geneigten Verlauf nehmen, weil hier jedem Skalenteil nur eine kleine Druckdifferenz entspricht. Aber offenbar sind in diesem Bereich geringer Höhe des intraokularen Druckes die Eichungen an Leichenaugen nicht mehr exakt durchführbar (s. auch H. K. MÜLLER [e]).

Zur *Ermittlung der absoluten Druckhöhe* interessieren vor allem die vergleichenden Bestimmungen an ein und demselben Menschaugen mittels Manometrie und Dynamometrie. Es handelt sich um angenähert normale Augen (meist mit intraokularen Tumoren), die vor der Enucleation manometriert und tonometriert wurden (WESSELY, SEIDEL, McLEAN). Diese Bestimmungen lehren, daß die Differenzen, soweit es sich um absolute Werte handelt, nicht unerheblich sein können, und beweisen damit, daß die tonometrische Messung absolut genaue Werte nicht zu geben vermag.

**Die Normung der Tonometer.** Diesen nicht ausschaltbaren, weil in individuellen Differenzen der untersuchten Augen begründeten Fehlerquellen stehen diejenigen gegenüber, die *durch einen ungleichen Bau des Instrumentes* bedingt sind. Während die Originaltonometer nach Prüfung durch verschiedene Autoren (BAB, ARNOLD und KARPOW u. a.) miteinander fast durchweg übereinstimmen, haben die Nachahmungen, die an verschiedenen Stellen fabriziert worden sind, sich als keineswegs alle gleichartig mit den Originalapparaten von SCHIÖRTZ erwiesen. Von BARTELS, COMBERG, ARNOLD und KARPOW u. a. ist darauf hingewiesen worden, daß von verschiedenen Firmen hergestellte Instrumente bei Verwendung an dem gleichen Menschaugen oft zu ganz verschiedenen Ausschlägen führen. Benutzt man dabei zur Ermittlung des intraokularen Druckes die SCHIÖRTZschen Kurven, so muß das ganz falsche Resultate ergeben.

Es ist deshalb von BARTELS, COMBERG und GREEFF angeregt worden, eine Eichungsstelle für die Kontrolle der verschiedenen Tonometer einzurichten. Eine Vereinheitlichung in dieser Richtung ist in Deutschland wohl zunächst unterblieben, weil SCHIÖRTZ auf eine diesbezügliche Anfrage mitteilte, daß eine Eichungsstelle in Oslo geschaffen worden sei. Es sind deshalb in Deutschland nur lokale Eichstellen eingerichtet, wie in Württemberg (Tübingen, s. THEOBALD) und in Berlin. Wenn nämlich auch, wie COMBERG es neuerdings gefordert hat, eine ganz genaue Nachkonstruktion in bezug auf Form und Gewicht der einzelnen Bestandteile des Apparates vorgenommen werden soll, um wirklich dem Originalapparat gleichwertige Instrumente zu gewinnen, so können trotzdem gewisse Fehler sich einschleichen, die eine Eichung erfordern. Hierzu wird von den Firmen meist ein Modell benutzt, das aus einer, einen festen Metallzylinder überspannenden Gummimembran besteht; die Ausschläge des Tonometers werden dann mit dem an den kleinen Apparat angeschlossenen Manometer verglichen. Physikalisch einwandfrei dürften diese Verfahren nicht sein, weil die Rigidität der Gummimembran und der Hornhaut nicht die gleiche ist.

COMBERG hat kürzlich die Anforderungen, die an die Eichung zu stellen sind, zusammengefaßt.

Etwas grundsätzlich verschiedenes von diesem Eichungsverfahren vor Ingebrauchnahme der Tonometer ist die *Kontrolle des eigenen Tonometers* mit Hilfe des Justierblockes von COMBERG. Dieser besteht darin, daß eine konvexe Fläche im Zentrum eine meßbar variable, also verschieden tiefe Eindellung zeigt, in welche der Tonometerzapfen einsinkt. Auf diese Weise wird kontrolliert, ob der Ausschlag an der Skala der Tiefe der Delle des Justierblockes entspricht. Dadurch hat der Augenarzt die Möglichkeit zu ermitteln, ob sein eigenes Instrument nach wie vor die richtigen Ausschläge entsprechend dem Stande des Tonometerzapfens gibt.

Jedenfalls ist ein Vergleich der zu verschiedenen Zeitpunkten von verschiedenen Beobachtern ermittelten Werte nur mit einer gewissen Reserve möglich, wenn nicht genau gleichartig gebaute Instrumente benutzt werden. Wichtig ist, daß man bei dem gleichen Patienten zu verschiedener Zeit immer wieder mit demselben Tonometer untersucht, um etwa vorhandene Fehlerquellen, die in dem Apparat selbst liegen können, auszuschalten.

**Die Registrierung der gefundenen Werte.** Aus dem Gesagten geht hervor, daß protokolларisch nicht der absolute, nach den Durchschnittskurven ermittelte Wert, sondern der tatsächlich abgelesene Ausschlag des Zeigers wünschenswert ist. Von SCHIÖRTZ, dem sich andere Autoren anschließen, ist empfohlen worden, die Registrierung in Form eines Bruches vorzunehmen, in dessen Zähler das verwendete Gewicht, in dessen Nenner der an der Skala festgestellte Ausschlag notiert wird. Diese Art der Registrierung entspricht aber nicht der üblichen mathematischen Bezeichnungsweise. Denn die Größe, die sich ändert, wird im allgemeinen in den Zähler gesetzt und nicht in den Nenner; mir scheint deshalb die richtige Art der Registrierung, wenn der konstante Wert, d. h. das verwendete Gewicht in den Nenner, der variable Wert, d. h. der Ausschlag des Tonometerzeigers, in den Zähler gesetzt wird, daß man also, wenn bei einem Gewicht von 7,5 der Ausschlag 4 gemessen wird, nicht schreibt  $\frac{7,5}{4}$  sondern  $\frac{4}{7,5}$ . Es wäre zu begrüßen, wenn diese Art der Registrierung allgemein eingeführt würde.

**Druckkurven.** Wie im Kapitel Glaukom (s. Bd. 4, S. 668 dieses Handbuches) näher ausgeführt wird, darf man sich auf Grund der neueren Forschungen über die Tagesschwankungen des intraokularen Druckes niemals mit einer einzigen Messung begnügen, sondern muß mindestens zu Beginn der Beobachtung eines Glaukoms, eine Kurve über mehrere Tage anlegen. Zweckmäßig mißt man morgens früh vor acht Uhr (im Bett), dann vormittags zwischen elf und zwölf Uhr und nachmittags nach vier Uhr. Diese Methode, wie sie von KÖLLNER und dann namentlich von THIEL an der Jenaer Klinik ausgearbeitet worden ist, wird auch von LÖHLEIN dringend befürwortet. Sie wird jetzt an einer Reihe von Kliniken wohl schon regelmäßig durchgeführt.

Kurvenmäßige Darstellungen des Druckes sind auch sonst empfohlen worden, so von BUTLER und ELLET, allerdings nicht unter dem Gesichtspunkt der Tagesschwankungen, sondern nur um eine Übersicht der Messungen zu verschiedenen Zeiten zu besitzen.

**Schädigungen durch die Tonometrie.** Bei zweckmäßigem Verhalten des Patienten und geschicktem Aufsetzen des Tonometers sind Schädigungen durch die Tonometrie außerordentlich selten. Es können Tausende von Messungen ohne irgendwelche nachteiligen Folgen vorgenommen werden. Allerdings sind gelegentlich Beeinträchtigungen der Hornhautoberfläche beobachtet worden. So soll Holocain leichte Epitheldefekte („Fleckung“; GJESSING) machen, die jedoch in einigen Stunden wieder zurückgehen. Von anderen Autoren liegt eine Bestätigung hierfür nicht vor. Bei Panthesin haben wir in Basel nie etwas dergartiges beobachtet.

Durch Unebenheiten der Grundfläche des Tonometerzapfens, wie sie durch Auffallen des Zapfens auf den Fußboden, was bei älteren Modellen, wo die Gewichte nicht aufgeschraubt sondern nur durch einen Stift gehalten wurden, zuweilen vorkam, kann das Epithel lädiert werden. Gelegentlich entstehen bei ungeschickten Bewegungen des Patienten auch sonst Erosionen. Eine schwerere Schädigung ist durch WEIGELIN beobachtet worden.

Da die Tonometerfußplatte und der Stift vor dem Aufsetzen auf das Auge gereinigt werden müssen, ist besonders darauf zu achten, daß die hierfür verwendete Flüssigkeit (Alkohol, Äther oder Benzin) vollständig verdunstet ist, ehe man den Apparat mit der Cornea in Berührung bringt. Anderenfalls kann es zu starker Reizung, evtl. zu Epithel-läsion kommen. SCHIÖTZ warnt sogar davor, diese Reinigung vor der Untersuchung vorzunehmen, eine Warnung, die bei entsprechender Vorsicht aber wohl zu weit geht.

**Messungen auf der Sklera.** Die älteren Tonometer maßen den Druck durch Aufsetzen des Apparates auf der Sklera. Diese Methode kommt kaum mehr in Betracht. Immerhin ist es nicht uninteressant, daß die Messungen von BADER mittels des SCHIÖTZschen Tonometers, die einen Vergleich zwischen Hornhaut und Sklera ergeben sollten, zeigten, daß jenseits des 40. Lebensjahres auf der Lederhaut höhere, auf der Hornhaut niedrigere Werte abgelesen wurden, im Gegensatz zu jüngeren Individuen. Dem würde eine Zunahme der Rigidität der Sklera entsprechen. (Man vergleiche hierzu auch die auf S. 906 f. angeführten Messungen von H. K. MÜLLER an Leichenaugen verschiedenen Lebensalters.) Da die Fußplatte des SCHIÖTZschen Tonometers nicht der Krümmung der Sklera angepaßt ist, sind alle diese Messungen natürlich mit erheblichen Fehlern behaftet. Überdies wirkt die Bedeckung mit der Bindehaut störend.

## Literatur.

### *Tonometrie.*

APIN, KARL: (a) Vergleichende Betrachtung der Tonometer von SCHIÖTZ, MAKLAKOW und FICK-LIVSCHITZ. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **77**, 137 (1926). (b) Das Applanationsprinzip der Tonometrie im Lichte manometrischer Untersuchungen. I. Druckbestimmung nach der Änderung der Applanationsdiameter bei gleichbleibender Belastung. (Tonometer von MAKLAKOW.) *Klin. Mbl. Augenheilk.* **81**, 631 (1928). (c) Das Applanationsprinzip der Tonometrie im Lichte manometrischer Untersuchungen. II. Druckbestimmung nach der Änderung der Applanationsdiameter bei Belastung mit verschiedenem Gewicht (Tonometer von MAKLAKOW). *Klin. Mbl. Augenheilk.* **82**, 500 (1929). (d) Tonometer FICK-LIVSCHITZ und seine Prüfung. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **82**, 781 (1929). — ARNOLD, H. u. C. KARPOW: (a) Über Eichungsverfahren für das Tonometer von SCHIÖTZ. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **71**, 603 (1923). (b) Erwiderung auf COMBERGS Anmerkungen zu unserer Arbeit über Tonometereichung. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **72**, 740 (1924). (c) Bemerkungen zu SAMOILOFF „Ein Verfahren zur Eichung des Tonometers nach SCHIÖTZ“. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **74**, 216 (1925). — ASCHER, K. W.: (a) Tonometrie bei verschiedenem Luftdruck. *Verslg dtsh. Naturforsch. u. Ärzte. Leipzig 1922*; *Klin. Mbl. Augenheilk.* **69**, 525 (1922). (b) Tonometer von WENDT (Leipzig). *Klin. Mbl. Augenheilk.* **74**, 786 (1925).

BAB, W.: Zur Frage der Zuverlässigkeit der Tonometer. *Z. Augenheilk.* **49**, 17 (1922). — BADER, A.: Sklerocorneale Differentialtonometrie und Prüfung der Elastizitätsverhältnisse der Bulbuswandung. *Arch. Augenheilk.* **83**, 168 (1918). — BAILLIART, P.: (a) Les oscillations

du levier du tonomètre de SCHIÖTZ. Leur valeur sphygmomanométrique. Un procédé d'enregistrement. *Annales d'Ocul.* **156**, 73 (1919). (b) La circulation rétinienne à l'état normal et pathologique. *Clin. ophthalm.* **24**, 50 (1920) und Paris 1923. (c) La vérification des tonomètres. *Annales d'Ocul.* **158**, 654 (1921). (d) Un nouveau tonomètre oculaire. *Annales d'Ocul.* **160**, 777 (1923). (e) La valeur clinique des chiffres tonométriques. *Annales d'Ocul.* **161**, 81 (1924). (f) La pression artérielle rétinienne. *Annales d'Ocul.* **165**, 321 (1928). BALLANTYNE: Beobachtungen mit dem SCHIÖTZ-Tonometer. *Internat. med. Kongr. London 1913*. *Ref. Klin. Mbl. Augenheilk.* **51 II**, 422 (1913). — BARTELS, M.: Falsch registrierende Tonometer. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **68**, 236 (1922). — BETTI: Tonomètre de SCHIÖTZ et ses oscillations, zit. bei SALVATI. *Annales d'Ocul.* **158**, 17 (1921). — BLIEDUNG, C.: (a) Experimentelles zur Tonometrie. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **68**, 390 (1922). (b) Experimentelles zur Tonometrie. *Arch. Augenheilk.* **92**, 143 (1923). (c) Die Bestimmung des Blutdruckes in der Arteria centralis retinae. *ABDERHALDEN'S Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden*, 5. Abt., 6. Teil, S. 803. 1925. — BOWMAN, W.: On glaucomatous affections, and their treatment by iridectomy. *Brit. med. J.* **1862 II**, 377. — BROWN, EDW.: (a) Tonometers, presentation of a new one simple and practical. *Amer. J. Ophthalm.* **3**, 48 (1920). (b) Corneal and scleral measurement of intern ocular tension with BROWNS tonometer. *Amer. J. Ophthalm.* **4**, 365 (1921). — BUTLER, T.: A tonometric chart. *Brit. J. Ophthalm.* **4**, 279 (1920).

COCCIUS, E. A.: Ophthalmometrie und Spannungsmessung an kranken Augen. Leipzig 1852. Zit. bei BADER. *Arch. Augenheilk.* **83**, 207. — COHEN, M.: A mercury tonometer. *Arch. of Ophthalm.* **50**, 326 (1921). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **6**, 356; **8**, 42. — COMBERG, W.: (a) Demonstration einer Vorrichtung zur Nachprüfung des SCHIÖTZ-Tonometers. *Ber. dtsh. ophthalm. Ges.* **1922**, 303. (b) Einiges über Funktion des Impressionstonometers und seine Prüfung. *Berl. Augenärzte-Ges.*, 22. Nov. **1922**. *Ref. Klin. Mbl. Augenheilk.* **69**, 848. (c) Anmerkungen zu der Arbeit von ARNOLD und KARPOW über Tonometereichung. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **72**, 528 (1924). (d) Zur Frage der Tonometerjustierung. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **79**, 364 (1927). (e) Über die Kontrolle des SCHIÖTZ-Tonometers. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **81**, 289 (1928). (f) Was ist nötig zur internationalen Regelung der Tonometerkontrolle? **13.** *internat. Ophthalm.-Kongr. Amsterdam 1929*. *Ref. Zbl. Ophthalm.* **22**, 778. — CRIDLAND, B.: The tonometer of SCHIÖTZ. *Ophthalmoscope* **8**, 640 (1910); *Brit. J. Ophthalm.* **1**, 352 (1917).

DOESSCHATE, G. TEN: Über den Zusammenhang zwischen Augendruck und Exophthalmus und zwischen Augendruck und Hornhautwölbung. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **61**, 411 (1918). — DONDERS: Vorzeigung neuer ophthalmometrischer Instrumente. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **1**, 502 (1863). — DOR, H.: Über Ophthalmotonometrie. *Graefes Arch.* **14 I**, 13 (1868).

EISEN, W.: Hornhautkrümmung bei erhöhtem intraokularem Druck. *Graefes Arch.* **34 II**, 1 (1888). — ELLET, E. C.: A tonometer chart. *Trans. Sect. Ophthalm. Amer. med. Assoc. Boston* **1921**, 348. *Ref. Zbl. Ophthalm.* **7**, 305. — ELLIOT, R. H.: Tonometric values. *Brit. J. Ophthalm.* **3**, 426 (1919). — ENGELMANN, A.: Tonometrische Untersuchungen an gesunden und kranken Augen. *Mitt. a. d. Augenklinik JURJEW*. Berlin 1904. — EWALD: Über ein neues Verfahren, den intraokularen Druck zu messen. *Wien. klin. Wschr.* **1895**, Nr 3. Zit. bei Leber, *GRAEFES-SÄEMISCH'S Handbuch der gesamten Augenheilkunde*, 2. Aufl., Bd. 3, S. 320.

FICK, A.: Über Messung des Druckes im Auge. *Pflügers Arch.* **42**, 86 (1888). — FICK, EUGEN: A. FICK'S Ophthalmometer. **7.** *internat. Ophthalm.-Kongr. Heidelberg 1888*, 289. — FICK, R. A.: Ein neues Ophthalmometer. *Diss. Würzburg 1888*. — FISCHER, F. P.: Über die Beschaffenheit der äußeren Bulbushüllen bei abnormem intraokularem Druck. *Arch. Augenheilk.* **103**, 1 (1930). — FLEISCHER, B.: Das SCHIÖTZSCHE X-Tonometer (mit konvexem Zapfen). *Klin. Mbl. Augenheilk.* **86**, 629 (1931). — FRANK, OTTO: (a) Die Analyse endlicher Dehnungen und die Elastizität des Kautschuks. *Ann. Physik*, IV. F. **21**, 602 (1906). (b) Die Dehnung einer kugelförmigen Blase. *Z. Biol.* **54**, 531 (1910). (c) Die Elastizität der Blutgefäße. *Z. Biol.* **71**, 255 (1920). — FRIEDE, R.: Das Sklerometer, ein neues Instrument zur Messung des Durchmesser und der Krümmung der Lederhaut im Bereiche der vorderen Augenhälfte. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **76**, 531 (1926).

GALA: SCHIÖTZ oder BAILLIART? *Čas. lék. česk.* **64**, 289 (1925). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **15**, 126. — GJESSING, H. G. A.: (a) Über Tonometrie. *Graefes Arch.* **105**, 221 (1921). (b) Tonometry. *Brit. J. Ophthalm.* **6**, 452 (1922). — GOLOWIN: (a) Ophthalmometerische Untersuchungen. *Diss. Moskau 1895*. Zit. bei APIN. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **77**, 140. (b) Tonomanometer für Augendruckmessung. *Russk. oftalm. Ž.* **10**, 673 (1929). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **23**, 91. — GRADLE, H. S.: Tonometry; with description of a tonometer. *Ophthalm. Rec.* **21**, 468 (1912). — GREEFF, R.: Antrag auf Eichung der Tonometer. *Berl. Augenärzte-Ges.*, 22. Nov. 1922; *Klin. Mbl. Augenheilk.* **69**, 849 (1922). — GROENHOLM, V.: Untersuchungen über den Einfluß der Pupillenweite, der Akkommodation und der Konvergenz auf die Tension glaukomatöser und normaler Augen. *Arch. Augenheilk.* **66**, 346; **67**, 136 (1910). —

GRUBER, RUD.: Physikalische Studien über Augendruck und Augenspannung. Arch. Augenheilk. **33** (Erg.-Bd.), 69; **35**, 59 (1897).

HEILBRUN, K.: Über bisher mit dem SCHIÖTZschen Tonometer erzielte Resultate (usw.). Graefes Arch. **79**, 256 (1911). — HELMBOLD: (a) Eine Methode, Spannungsdifferenzen des Auges zu messen. Klin. Mbl. Augenheilk. **34**, 214 (1896). (b) Ein Tonometer. Z. Augenheilk. **23**, 266 (1909). — HELMHOLTZ, H. v.: Über die Akkommodation des Auges. Graefes Arch. **1 II**, 16 (1854). — HINE, M. L.: Some observations with the SCHIÖTZ tonometer on the normal eye. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **36**, 226 (1916).

IMBERT, A.: Théories des ophthalmotonomètres. Arch. d'Ophtalm. **5**, 358 (1885). — ISAKOWITZ: Untersuchungen mit dem SCHIÖTZschen Tonometer. Klin. Mbl. Augenheilk. **46 II**, 641 (1908). — ISCHREYT, G.: (a) Zur Mechanik der Sklera. Graefes Arch. **46**, 677 (1898). (b) Anatomische und physikalische Untersuchungen der Rindersklera. Graefes Arch. **48**, 384 (1899). (c) Kritische Bemerkungen zu Herrn Prof. KOSTERS Aufsatz: Beiträge zur Tonometrie und Manometrie des Auges. Graefes Arch. **48**, 694 (1899).

JACKSON, E.: Practical value and limitations of the tonometer. Ophthalmology **13**, 437 (1917). Ref. Brit. J. Ophthalm. **1**, 577.

KALFA, S.: (a) Zur Theorie der Ophthalmotonometrie mit Applanationstonometern. Russk. oftalm. Ž. **6**, 1132 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **19**, 588. (b) Über die Elastizitätsmessung des Auges. Russk. oftalm. Ž. **8**, 250. Ref. Zbl. Ophthalm. **20**, 777. — KANKROV, A.: Neue Modifikation des MAKLAKOFFSchen Tonometers. Russk. oftalm. Ž. **10**, 565 (1929). Ref. Zbl. Ophthalm. **23**, 91. — KLEEFELD, G.: Tono-exerciseur. Bull. Soc. belge Ophtalm. **57**, 79 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 707. — KNAPP, P.: Über den Einfluß der Massage auf die Tension normaler und glaukomatöser Augen. Klin. Mbl. Augenheilk. **50 I**, 691 (1912). KOPY, F. E.: Un nouvel anesthésique oculaire, la diocaine, particulièrement propre à la tonométrie. Clin. ophtalm. **28**, 433 (1924). — KÖLLNER, H.: Über den Augendruck beim akuten Glaukomanfall. Arch. Augenheilk. **68**, 114 (1920). — KOSTER, W.: (a) Beiträge zur Tonometrie und Manometrie des Auges. Graefes Arch. **41 II**, 113 (1895). (b) Zur Untersuchung der Elastizität der Sklera. Graefes Arch. **49**, 448 (1899). (c) Eine Methode zur Bestimmung der Änderungen, welche in der Gestalt des Auges bei Änderung des intraokularen Druckes auftreten. Graefes Arch. **49**, 533 (1900). (d) Über die Beziehung der Drucksteigerung zu der Formveränderung und der Volumzunahme am normalen menschlichen Auge. Graefes Arch. **52**, 402 (1901). — KOYANAGI, Y.: Bemerkungen zu der Arbeit von SUGASAWA: Über die Veränderung des Augeninnendruckes durch äußere Gewichtsbelastung des Auges. Klin. Mbl. Augenheilk. **73**, 616 (1927). — KRÜCKMANN, E.: Über die Sensibilität der Hornhaut. Graefes Arch. **41 IV**, 21 (1895).

LACHOWITSCH, S.: Über die Genauigkeit der gegenwärtigen Methoden der Bestimmung des intraokularen Druckes und über die Anwendbarkeit derselben in der Praxis. Diss. Petersburg 1893. Ref. Nagels Jb. **1893**, 174; bei Leber, GRAEFE-SAEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, Bd. 3, 2. Aufl., S. 318. 1901. — LANGENHAN, F.: (a) Beiträge zur Ophthalmotonometrie. Z. Augenheilk. **23**, 201 (1910). (b) Ophthalmotonometrie. GRAEFE-SAEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl., Untersuchungsmethoden, Bd. 3. 1925. (Literatur.) — LEBER, TH.: Die Zirkulations- und Ernährungsverhältnisse des Auges. GRAEFE-SAEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 2. Aufl. Bd. 2, S. 314. 1903. — LEVINSON, G.: Zur Technik der Tonometrie. Klin. Mbl. Augenheilk. **53**, 418 (1914). — LIVSCHITZ, S.: Ein neues Ophthalmotonometer. Vestn. Ofthalm. **21**, Nr 6 (1904). Zit. bei APIN. Klin. Mbl. Augenheilk. **77**, 141. — LLOYD, RALPH I.: Tonometry and the various instruments employed in its practice. Amer. J. Ophthalm. **13**, 396, 496 (1930). — LÖHLEIN, W.: Zur Klinik des Glaukoms. Planmäßige Tonometrie usw. Verslg dtsch. Naturforsch. u. Ärzte **1926**. Ref. Zbl. Ophthalm. **17**, 426. — LÖRTSCHER, MARIE: Eine vergleichende Untersuchung der Tonometer von FICK-LIVSCHITZ und SCHIÖTZ. Klin. Mbl. Augenheilk. **86**, 753 (1931). — LUNDGAARD, K. K. K.: Corneaverletzung bei Tonometrie. Verh. ophthalm. Ges. **1929**, 31; Hosp.tid. (dän.) **1930 I**. Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 326.

MCLEAN, W.: (a) Experimental studies in intraocular pressure and tonometry. Arch. of Ophthalm. **48**; zit. bei BLEDUNG, ABDERHALDENS Handbuch, S. 825; Brit. J. Ophthalm. **3**, 180 (1919). (b) Further experimental studies in intracocular pressure and tonometry. Brit. J. Ophthalm. **3**, 385 (1919). — MAGITOT et BAILLIART: Modification de la tension oculaire sous l'influence de pesées exercées sur le globe. Annales d'Ocul. **156**, 656 (1919). — MAKLAKOFF: (a) L'ophthalmotonométrie. Arch. d'Ophtalm. **5**, 159 (1885). (b) Contributions à l'ophthalmotonométrie. Arch. d'Ophtalm. **12**, 321 (1882). — MANGOLD, E. u. C. DETERING: Eine neue Methode der Augendruckmessung. Pflügers Arch. **201**, 202 (1923). — MARIOTTE, C.: Il tonometro oculare di BAILLIART e la tonometria sclerale. Lett. oftalm. **1**, 154 (1924). Ref. Zbl. Ophthalm. **14**, 394. — MARPLE: Some observations on the use of the SCHIÖTZ-Tonometer. Trans. amer. ophthalm. Soc. **12** (2), 552 (1910); zit. bei HEILBRUN, Graefes Arch. **79**, 258. — MARX, E.: (a) Eine kleine Verbesserung des Tonometers. Oogheek. Jb. **1923**. Ref. Klin. Mbl. Augenheilk. **72**, 273. (b) Über die Druckdifferenz zwischen beiden Augen. Nederl. Tijdschr. Geneesk. **1923 II**, 1082. Ref. Klin. Mbl. Augenheilk. **72**, 274. —

MASLENNIKOW, A.: Über die Tagesschwankungen des intraokularen Druckes beim Glaukom. Mosk. augenärztl. Ges. **1904**. Ref. Klin. Mbl. Augenheilk. **44 II**, 337. — MONNIK, A. J. W.: Ein neuer Tonometer und sein Gebrauch. Graefes Arch. **16 I**, 49 (1870). — MÜLLER, H. K.: (a) Zur Messung des intraokularen Druckes. Ber. 48. Zus.kunft dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1930**, 147. (b) Über die Fehlergröße der digitalen Bestimmung des intraokularen Druckes und ihre Bedeutung für diese Methode. Arch. Augenheilk. **102**, 668 (1930). (c) Augendruck und Lebensalter. Arch. Augenheilk. **105**, 504 (1932). (d) Über die Grenzwerte der mit dem Tonometer von SCHIÖTZ gemessenen Druckhöhen gesunder Augen. Arch. Augenheilk. **104**, 89 (1931). (e) Über die Fehlergröße der Augendruckmessung mit dem Tonometer von SCHIÖTZ. Arch. Augenheilk. **105**, 516 (1932).

NICATI, W.: L'hydrostatique oculaire. Arch. d'Ophthalm. **20**, 65 (1900).

OEDING, H.: Untersuchungen mit dem SCHIÖTZschen Tonometer an normalen und glaukomatösen Augen. Diss. Rostock 1910. — OSTWALT, F.: (a) Ophthalmotonometrische Studie. Graefes Arch. **40 V**, 22 (1894). (b) Ophthalmotonometer. Ber. ophthalm. Ges. Heidelberg **1895**, 239.

PASSEČNIK, V.: Eine Modifikation des Tonometers von MAKLAKOW. Trudy I. vseross. S-ezda glasn. Vrač. (russ.) **1929**, 62. Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 202. — PFLIMLIN, R.: Vergleichende Untersuchungen über die Wirkung einiger Anaesthetica am Auge, insbesondere von S. F. 147 (SANDO). Schweiz. med. Wschr. **8**, 1268 (1927). — PFLÜGER, E.: Beiträge zur Ophthalmotonometrie. Arch. Augenheilk. **2 II**, 1 (1872). — PILMAN, N.: Ein Vergleich der Messungen des intraokularen Druckes mit den Tonometer von FICK-LIFSCHÜTZ, von SCHIÖTZ und mit dem Tonometer von SERGIEWSKY. Russk. oftalm. Ž. **4**, 44 (1925). Ref. Zbl. Ophthalm. **15**, 628. — POLAK-VAN GELDER, REGINE: Untersuchungen mit dem Tonometer von SCHIÖTZ. Klin. Mbl. Augenheilk. **49 II**, 592 (1911).

RÖMER, P.: Neues zur Tonometrie des Auges. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1918**, 62. — RUBEN, L.: Ein modifiziertes SCHIÖTZsches Tonometer. 39. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1913**, 395.

SALVATI, P.: Etudes de la pression artérielle générale et locale, de la tension oculaire et des oscillations du tonomètre de SCHIÖTZ chez les sujets atteints de cataracte sénile. Annales d'Ocul. **158**, 517 (1921). — SAMOILOFF, A. I.: (a) Ein Verfahren zur Eichung des Tonometers nach SCHIÖTZ. Klin. Mbl. Augenheilk. **73**, 187 (1924). (b) Über die Technik der Augenmanometrie. Liječn. Vijesn. (serbokroat.) **50**, 195 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **20**, 245. (c) Experimentelle Untersuchungen über den Intraokulardruck. X. Registration des Augenpulses als eine Methode der Blutdruckmessung in den Augengefäßen. Russk. oftalm. Ž. **10**, 312 (1929). Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 518. — SCHELSKE, R.: Über das Verhältnis des intraokularen Druckes und der Hornhautkrümmung des Auges. Graefes Arch. **10 II**, 1 (1864). — SCHIÖTZ, H.J.: (a) Ein neuer Tonometer. — Tonometrie. Norsk Mag. Laegevidensk. **1905**; Arch. Augenheilk. **52**, 401 (1905); Arch. of Ophthalm. **40**, 518 (1911). (b) Tonometrie. Arch. Augenheilk. **62**, 317 (1908). (c) Tonometrie. Arch. Augenheilk. **68**, 77 (1911). (d) Tonometry. Brit. J. Ophthalm. **4**, 201, 249 (1920). (e) Tonometrie. Norsk Mag. Laegevidensk. **85**, 1001 (1924). Ref. Zbl. Ophthalm. **15**, 125. (f) Tonometry. Brit. J. Ophthalm. **9**, 145 (1925). (g) Tonometrie, Tonometer mit konvexem Zapfen. Acta ophthalm. (Københ.) **4**, 1 (1926); Norsk Mag. Laegevidensk. **87**, 765 (1926). (h) Tonometry: Tonometer with convex plunger. Brit. J. Ophthalm. **11**, 116 (1927). — SCHULTÉN, M. W. v.: Experimentelle Untersuchungen über die Zirkulationsverhältnisse des Auges. Graefes Arch. **30 III**, 14 (1884). — SEIDEL, E.: (a) Über den experimentellen Nachweis des Flüssigkeitsabflusses aus der vorderen Augenkammer des lebenden Tieres bei normalem und subnormalem Augendrucke. Klin. Mbl. Augenheilk. **68**, 291 (1922). (b) Zur Manometrie und Tonometrie des Auges. Graefes Arch. **107**, 497 (1922). (c) Methoden zur Bestimmung des intraokularen Druckes. ABDERHALDEN'S Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, 5. Abt., 2. Teil, S. 969. 1927. — SERR, HERMANN: Kritisches und Experimentelles zur Theorie des Augendruckes und seiner Beziehung zum intraokularen Blutdruck. Graefes Arch. **121**, 781 (1929). — SMITH, PRIESTLEY: (a) On the limitations of the tonometer. Ophthalm. Rev. **1915**, 65. (b) On tonometric values. Brit. J. Ophthalm. **3**, 293, 476 (1919). (c) The Blood-Pressure in the Eye and its relation to the Chamber-Pressure. Brit. J. Ophthalm. **7**, 449 (1923). — SNELEN: Über Tonometer. Klin. Mbl. Augenheilk. **6**, 363 (1868). — STEPHENSON, S.: A new tonometer. Ophthalmoscope **9**, 633 (1911). — SUGASAWA, N.: Über die Veränderung des Augeninnendruckes durch äußere Gewichtsbelastung des Auges. Klin. Mbl. Augenheilk. **77**, 775 (1926). — SZEKRENYI, L.: Bemerkungen zu STEIN'S Tonometer. Klin. Mbl. Augenheilk. **69**, 335 (1922). — STEIN, E.: Eine neue Methode zur Messung des Augendruckes. Arch. Augenheilk. **87**, 197 (1921). — STOCK, W.: Über die mit dem Tonometer von SCHIÖTZ gewonnenen Resultate. Klin. Mbl. Augenheilk. **48**, Beilageheft, 124 (1910).

TESSIER, G.: Valori tensori nell'occhio normale a secondo della posizione della testa. Lett. oftalm. **7**, 311 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 83. — THEOBALD, P.: Über die einheitliche Justierung unserer Tonometer. Klin. Mbl. Augenheilk. **78**, 347 (1927). — THIEL, R.: (a) Zur medikamentösen Behandlung des Glaukoms. Berliner Fortbildungskurs für Augen-

ärzte. Berlin 1926. (b) Hornhautpulsation, Blutdruck und Augendruck. Nach gemeinsamen Versuchen mit Reg.-Rat Dr. CARL MÜLLER (Phys. techn. Reichsanstalt Berlin) und Oberingenieur Dr. WILHELM MÜLLER (Berlin). Ber. 47. Zus.kunft dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg 1928, 198. (c) Zur graphischen Registrierung der Hornhautpulsation. Klin. Wschr. 1929 I, 738. — TOCZYSKI, F.: Über die an normalen und glaukomatösen Augen mit dem SCHIÖRTZschen Tonometer gewonnenen Untersuchungsergebnisse. Klin. Mbl. Augenheilk. 50 I, 727 (1912). — TRESLING, I. H. A. F.: Fehlerhafte Anweisung von verschiedenen Tonometer. Nederl. Tijdschr. Geneesk. 66, (1), 1738. Ref. Zbl. Ophthalm. 8, 255.

VOGELSANG, K.: (a) Zur Elastometrie des Auges. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. 1927, 61. (b) Über die Bedeutung elastometrischer Untersuchungen für die Augenheilkunde. Klin. Mbl. Augenheilk. 84, 715 (1930). (c) Über Elastizitätsmessungen am Auge. Arch. Augenheilk. 103, 357 (1930). (d) Ballistische Elastometrie und Auge. Ber. 48. Zus.kunft dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg 1930, 106.

WAHLFORS, K. R.: Über Druck und Druckmessung am menschlichen Auge. 7. internat. ophthalm. Kongr. 1888, 268. — WEBER, A.: (a) Klin. Mbl. Augenheilk. 6, 404 (1868). (b) Einige Worte über Tonometrie, neues Tonometer. Graefes Arch. 13, 201 (1877). (c) Die Ursache des Glaukoms. Graefes Arch. 23 I, 1 (1877). — WEGNER, J.: Ein weiterer Beitrag zur Tonometrie. Arch. Augenheilk. 68, 290 (1911). — WEGNER, W.: Neue Ergebnisse über die pulsatorischen Schwankungen des menschlichen Bulbus und seiner Hüllen. Arch. Augenheilk. 102, 1 (1929). — WEIGELIN, S.: Über Hornhautschädigung nach Tonometeruntersuchung. Verslg württ. Augenärzte, 16. Juli 1922. Klin. Mbl. Augenheilk. 69, 351 (1922). — WEIHMANN, M.: Kritische Bemerkungen zur Tonometrie vor Staroperation und zum Operieren in hochgelegenen Orten. Klin. Mbl. Augenheilk. 78, 43 (1927). — WENDT, W.: (a) Ein neues Tonometer. Klin. Mbl. Augenheilk. 74, 604 (1925). (b) Über Tonometrie und ein neues Tonometer. Klin. Mbl. Augenheilk. 78, 228 (1925). — WESSELY, G.: (a) Beiträge zur Lehre vom Augendruck. Ber. ophthalm. Ges. Heidelberg 1912, 116. (b) Die Kurve des Augendruckes. Klin. Mbl. Augenheilk. 51 II, 596; Z. Augenheilk. 30, 449 (1913). (c) Über den Einfluß der Augenbewegungen auf den Augendruck. Arch. Augenheilk. 81, 102 (1916). (d) Die Beziehungen zwischen Augendruck und allgemeinem Kreislauf. Arch. Augenheilk. 83, 99 (1918). — WEVE: Zur Konstruktion eines Instrumentes zur ballistischen Tonometrie des menschlichen Auges. Arch. Augenheilk. 105, 621 (1931).

## IX. Die Dynamometrie.

In vielen Fällen wäre es von Interesse, den Blutdruck in den intraokularen Gefäßen, insbesondere in der Arteria centralis retinae zu kennen. Sein wahrer Wert ist allerdings am lebenden, menschlichen Auge aus ähnlichen Gründen schwer zu ermitteln, wie sie für die Tonometrie gelten. Die nachstehend geschilderten Methoden sind deshalb alle mit Fehlern behaftet, deren Größe nicht angebbar ist. Dementsprechend sind auch die Resultate über die Höhe des Druckes in der Zentralarterie und den wahrscheinlich etwa den gleichen Blutdruck aufweisenden Ciliararterien (BLIEDUNG) schwankend. Wir werden überdies sehen (S. 918), daß wir mit den bisher verwendeten Methoden nicht in der Lage sind, den Druck in den Blutgefäßen des Auges selbst exakt zu ermitteln. Trotzdem besitzen die Verfahren namentlich in allgemein medizinischer Hinsicht eine erhebliche Bedeutung. BAILLIART bezeichnet das Verfahren als *Dynamometrie*; TERSON hat dafür den Namen *Tonoskopie* vorgeschlagen. (Man vergleiche hierzu auch das Kapitel Augendruck in Bd. 4 dieses Handbuchs, S. 673—676). Für den Menschen kommen hier nur unblutige (indirekte) Methoden in Betracht.

### 1. Das Prinzip der Dynamometrie.

Das Prinzip der bisher üblichen Bestimmung des Blutdruckes in der Zentralarterie geht auf eine Angabe von ALBRECHT VON GRAEFE zurück, der die Pulsationserscheinungen bei Fingerdruck auf den Bulbus untersuchte und schon die Erklärung gab, daß im Moment, in dem der Druck im Augeninnern durch Kompression des Bulbus höher wird als der diastolische Druck in der Arteria centralis, diese zu pulsieren anfangen müsse, weil nur im Augenblick des Ankommens der Pulswelle der Druck im Gefäßrohr hinreiche, um Blut in den intraokularen Abschnitt des Gefäßes zu pumpen. Wird der intraokulare Druck

noch weiter gesteigert, so daß nun der auf dem Gefäße lastende Druck höher wird als der systolische Blutdruck in der Arterie, so muß diese vollständig komprimiert und damit blutleer werden, d. h. es hört in diesem Augenblick auch das intermittierende Einströmen von Blut auf. Auf dieser Beobachtung beruhen die Methoden, die den Blutdruck in den intraokularen Gefäßen messen wollen.

Auf die Möglichkeit, aus den Oszillationen des Tonometerzeigers gewisse Schlüsse auf die Schwankungsbreite zwischen systolischem und diastolischem Druck in den intraokularen arteriellen Gefäßen zu ziehen, ist bereits oben (S. 908) hingewiesen worden. Da die Registrierung dieser Pulsschwankungen einen relativ komplizierten Apparat (photographische Registrierung; SAMOILOFF [c] oder Aufnahme auf einem Kymographion mittels Hebelvorrichtung nach THIEL) erfordert, kann sie als klinische Methode nicht wohl in Betracht kommen.

Hier sei auch der Untersuchungen von W. WEGNER gedacht, der ebenfalls mit einer Pelottenmethode pulsatorische Druckschwankungen des Auges graphisch registrieren konnte. Zur Feststellung, inwieweit sich Unregelmäßigkeiten des Pulses auch am Augenpuls äußern, eignet sich aber nach einer Mitteilung des Autors das Verfahren nicht.

Daher müssen wir zu Methoden greifen, die einen variablen Druck auf die Corneoskeralkapsel ausüben, wobei gleichzeitig ophthalmoskopisch das Auftreten der Pulsationsphänomene bzw. das Kollabieren der Zentralarterie auf der Papille kontrolliert wird (s. auch STRAUB, S. 328; Prinzip der entspannten Arterie).

PRIESTLEY SMITH macht darauf aufmerksam, daß schon ein ganz leichter Druck auf das Auge genügen kann, um die Vene zum Pulsieren zu bringen, zum Zeichen, daß der Blutdruck in der Zentralvene an der Ausmündungsstelle kaum höher ist als der intraokulare Druck. Um Pulsationserscheinungen an den Arterien, die normalerweise ophthalmoskopisch auch im GULLSTRANDSchen Ophthalmoskop (nach Ansicht der überwiegenden Mehrzahl der Ophthalmologen) nicht sichtbar sind, eine Auffassung, die freilich falsch ist (s. VON SPEYR, KÜMMEL, BRÜCKNER) hervorzurufen, bedarf es eines stärkeren Druckes auf den Augapfel.

## 2. Apparate zur Dynamometrie.

Zur Dynamometrie sind Apparate von THOMSON HENDERSON, BAILLIART und BLIEDUNG angegeben worden.

Das **Dynamometer von BAILLIART** findet vor allem Verwendung. Es besteht in einem Stabe von  $6\frac{1}{2}$  cm Länge (Abb. 50), der an der Spitze ein Kugelsegment trägt, dessen Basallinie etwa 7 mm mißt. Der Stab ist an seinem anderen Ende mit einem Hohlzylinder verbunden, der außen eine Skala aufweist und in einer Hülse, an der der Apparat gehalten wird,

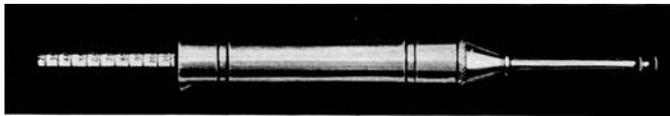


Abb. 50. Dynamometer nach BAILLIART.

gegen eine in jener eingeschlossene Spiralfeder zurückgeschoben werden kann. Der Stempel wird in der Gegend des äußeren Lidwinkels etwas nach außen von der Ansatzstelle des Musculus rectus externus auf die Sklera aufgesetzt und nun ein Druck auf den Bulbus ausgeübt. Dieser läßt sich in meßbarer Weise abstufen: man beobachtet gleichzeitig im aufrechten Bilde, wann die ersten Pulsationserscheinungen an der Zentralarterie unmittelbar nach ihrem Austritt aus der Papille erfolgen und bestimmt an der Skala, wie weit der Stab zurückgeschoben ist. Bei weiter gesteigertem Druck läßt sich der Moment feststellen, in dem die Arterie kollabiert; man liest dann wieder an der Skala ab. Dadurch hat man nach BAILLIART ein Maß für den systolischen bzw. diastolischen Druck in der Arteria centralis.

Bezüglich der Technik der Anwendung ist zu bemerken, daß der Apparat ganz ruhig gehalten werden muß, so daß der Knopf nicht am Bulbus abgleitet und in die Übergangsfalte abgleitet. Bei genügender Übung läßt sich der Apparat auch am nicht anästhesierten Auge ansetzen.

Eine technische Schwierigkeit beruht darin, daß nach Eintritt der Erscheinungen an der Zentralarterie das Dynamometer ruhig in unveränderter Lage gehalten werden muß, während man den Ausschlag an der Skala abliest. Man ist daher nicht sicher, ob nach dem Aufhören des Ophthalmoskopierens wirklich noch die gleichen Erscheinungen am Gefäße

vorhanden sind. Deshalb kann man die Ablesung durch eine Hilfsperson machen lassen, oder das zweite Modell von BAILLIART benutzen, in dem eine Scheibe mit stehbleibendem Zeiger den jeweiligen Ausschlag angibt.

Auch ist eingewendet worden, daß bei stärkerem Druck eine astigmatische Deformation der Hornhautkrümmung sich einstelle, die das Ophthalmoskopieren erschwert.

Im allgemeinen soll man nach BAILLIART nicht über 120—140 g Belastung hinausgehen, weil sonst Schmerzen und die Gefahr von Blutungen sich nicht ganz ausschließen lassen.

Eine Modifikation des BAILLIARTSchen Apparates hat BAURMANN angegeben. Er benutzt statt des soliden Stempels eine kleine lufthaltige Pelotte, die mit einem Luftmanometer verbunden ist. Das Verfahren ist etwas schonender als dasjenige von BAILLIART, dürfte aber wegen der zwischengelagerten Luftsäule träger sein.

*Fehlerquellen.* Durch den Druck auf die Corneoskleralkapsel, wie sie bei jedem der erwähnten Verfahren notwendig ist, wird eine Steigerung des intraokularen Druckes bewirkt, dessen Höhe zunächst nicht bekannt ist. Wenn demnach sichtbare Veränderungen an den Gefäßen des Augenhintergrundes eintreten, setzt sich der Druck, der hierzu führt, zusammen aus dem äußeren Druck und dem vorbestandene intraokularen (BAILLIART, PRIESTLEY SMITH).

BAILLIART hat, um diese Fehlerquelle auszuschalten, an Leichenaugen Untersuchungen über den Einfluß des vorher bestehenden intraokularen Druckes bei verschiedener Belastung seines Dynamometers angestellt. Die unten folgende Tabelle (BAILLIART [d]), bringt die entsprechenden Werte, die in Abb. 51 graphisch wiedergegeben sind.

(Eine ausführlichere Tabelle findet sich bei BLIEDUNG [b].)

Die gleichwohl recht großen absoluten Unterschiede in den Werten, die von den verschiedenen Beobachtern angegeben werden, sind nach SERR darauf zu beziehen, daß nicht

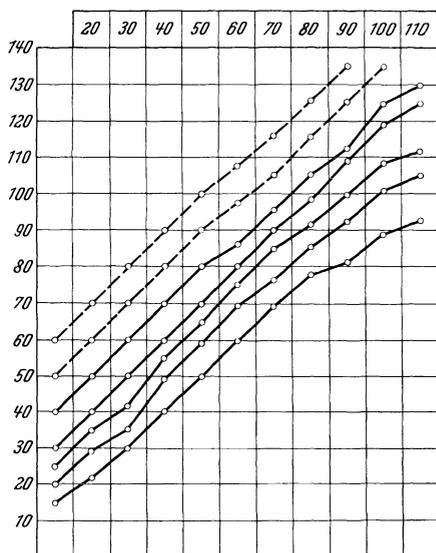


Abb. 51. Abhängigkeit der Ausschläge am Dynamometer vom vorher bestandenen intraokularen Druck (nach BAILLIART).

Die gleichwohl recht großen absoluten Unterschiede in den Werten, die von den verschiedenen Beobachtern angegeben werden, sind nach SERR darauf zu beziehen, daß nicht

Wert des Blutdruckes in der Zentralarterie in mm Hg				
Dynamometer Gewicht in g	bei anfänglichem intraokularen Druck von			
	15 mm Hg	20 mm Hg	25 mm Hg	30 mm Hg
20	22	29	35	40
30	30	35	41	50
40	40	50	55	60
50	50	59	65	70
60	60	69	76	80
70	70	77	85	90
80	78	85	91	98
90	82	93	100	109
100	89	101	108	118
110	92	105	112	125

BAILLIART zieht es vor, nicht die absoluten Werte des intraokularen Druckes anzugeben, bei denen die jeweils in Betracht kommenden Erscheinungen an den Augengefäßen zu beobachten sind, sondern nur den Druckwert, d. h. den Skalenteil, der mit seinem Dynamometer ermittelt ist, zu notieren. Dadurch sei immerhin ein Urteil darüber zu gewinnen, ob z. B. der Druck in

der Zentralarterie über die Norm erhöht ist oder nicht. Der gleiche Autor ist neuerdings der Ansicht, daß als Fehlerquelle der Dynamometrie weniger die wechselnde Elastizität (bzw. Rigidität) der Sklera, als der Zustand der Aderhaut, insbesondere ihre Gefäßfüllung und die verschiedene Auspreßbarkeit des Aderhautschwammes in Betracht kommen. Auch könne die größere oder geringere Starre der Arterienwand von Einfluß sein.

Ein wesentlicher Einwand, der namentlich von PRIESTLEY SMITH erhoben worden ist, richtet sich gegen die unkontrollierbare Fehlerquelle, die darin liegt, daß der Bulbus durch das Dynamometer gegen die Unterlage bzw. gegen die Umgebung im allgemeinen gedrückt wird; deren Elastizitätsverhältnisse sind unbekannt und individuell variabel. Ein Teil des vom Dynamometer aufgebrachtten Druckes wird deshalb von dem Orbitalgewebe getragen werden.

*Ergebnisse.* An dieser Stelle können natürlich die Ergebnisse, die mit dem Dynamometer von BAILLIART gefunden worden sind, nicht ausführlich referiert werden. Es sei nur angeführt, daß nach den Angaben von BAILLIART im allgemeinen der Druck der Brachialis 20 mm höher sein soll als der in der Arteria centralis retinae. Neuerdings gibt BAILLIART ein Verhältnis von 45 : 100 an.

Bei intrakranialer Drucksteigerung sei der Druck in der Zentralarterie stets erhöht, umgekehrt bei Verminderung des Hirndruckes häufig ebenfalls vermindert (s. u. S. 919). Bei intraokularer Drucksteigerung ist der Arterienpuls durch einen geringeren Dynamometerdruck hervorzurufen, was ja schon früher durch die Beobachtung beim Fingerdruckversuch bekannt war.

**BLIEDUNGS Pelottenmethode.** Die gegen das Dynamometer von BAILLIART erhobenen Einwände gelten vor allem auch bei dem von BLIEDUNG angegebenen Verfahren. Es lehnt sich an die Sphygmomanometrie an.

Das BLIEDUNGSsche Dynamometer besteht aus einer Kapsel, die vorne durch eine planparallele Glasplatte abgeschlossen ist, durch die der Augenhintergrund beobachtet werden kann. Sie wird durch einen Gummibeutel auf die Orbita aufgesetzt und durch einen Verband fest angedrückt. Der Luftraum zwischen Lidern, Auge und Kapsel steht mit einer Pumpe in Verbindung. Der Luftdruck in diesem Raum kann meßbar gesteigert werden.

BLIEDUNG beobachtete nicht nur die Pulsationserscheinungen und das Kollabieren an der Arterie, sondern suchte auch den Moment zu bestimmen, in dem durch die Abbläsung der Papille eine Kompression der Capillaren bzw. der kleinsten Arteriolen eintritt.

Als wesentliche Fehlerquelle ist, abgesehen von den oben erwähnten Einwänden wohl zu berücksichtigen, daß Änderungen des allgemeinen Luftdruckes, wie sie z. B. in verschiedener Höhenlage vorkommen können, einen Einfluß gewinnen müssen.

**Die Untersuchung des Blutdruckes in den Capillaren** des Augeninnern ist zur Zeit in befriedigender Weise quantitativ noch nicht ausführbar. Man hat wohl als Kriterium das Abblässen des Sehnervenkopfes herangezogen (s. oben), doch ermitteln wir dann den Druck der Capillaren auf der Papille und streng genommen nicht in rein intraokularen Gefäßen, da ja im Sehnerven rückläufige Anastomosen bestehen. SERR schlägt vor, die entoptisch nachweisbare Verlangsamung der Blutbewegung in den Netzhautcapillaren heranzuziehen um hierdurch den Gefäßinnendruck zu ermitteln. Praktisch dürfte das Verfahren bei Patienten, wie alle entoptischen, oft auf Schwierigkeiten stoßen (s. S. 949).

Auf die bisher wenig verwendete sog. *Pelottenmethode* zur Messung des Blutdruckes in den austretenden *vorderen Ciliargefäßen*, wie sie von SEIDEL beschrieben und gelegentlich auch von anderen Autoren (SAMOILOFF [a, b]) benützt worden sind, soll nur hingewiesen sein, da dieses Verfahren eine klinische Bedeutung bisher noch nicht gewonnen hat. Es hat Ähnlichkeit mit der geschilderten BLIEDUNGSschen Methode. BAILLIART gibt neuerdings an, daß die nach der SEIDELSchen und seiner eigenen Methode ermittelten Werte gut miteinander übereinstimmen.

### 3. Allgemeine Bedeutung der Dynamometrie.

Im vorstehenden sind kurz die Methoden, Ergebnisse und Auffassungen der Autoren geschildert worden, wie wir sie in der Literatur niedergelegt finden. Sie laufen meist darauf hinaus, daß es in der Tat gelinge, auf diese Weise den Druck in der Zentralarterie festzustellen. Hiergegen sind aber grundsätzliche Bedenken geltend zu machen. Wenn man ein arterielles Gefäß vollständig komprimiert, so ermittelt man nach O. FRANK (s. die diesbezügliche Darstellung bei STRAUB, 309f.) nicht den Druck, wie er normalerweise in diesem Gefäße herrscht, sondern denjenigen in dem übergeordneten Gefäßstamm. Es tritt nämlich, wenn der freie Abfluß aus dem kleineren Gefäßast aufgehoben ist, in dem mit dem Hauptstamm kommunizierenden Stumpf eine Erhöhung des Blutdruckes ein auf die gleiche Höhe wie in dem Stammgefäß. Sie sind beide als ein einheitliches System aufzufassen. Hierauf haben auch

SEIDEL, SERR und ERGGELET schon hingewiesen. Die Annahme von SERR, daß durch schnellen Druckanstieg und damit plötzlich eintretende Kompression im ersten Moment wirklich der Druck in dem kleineren Ast zu ermitteln sei, kann nicht als gültig angesehen werden. Solange noch etwas Blut durchfließt, kommt es nicht zu einem völligen Kollaps, und es muß sich dann infolge des Stromhindernisses ein Mittelwert zwischen dem Druck in dem Stammgefäße und dem abgehenden ergeben.

Bei dieser Sachlage wird es verständlich, warum BAILLIART eine Abhängigkeit des dynamometrischen Druckes vom Hirndruck fand (s. oben). Er gibt neuerdings an, daß bei einem Verhältnis des Druckes in der Arteria centralis zu demjenigen der A. brachialis von mehr als 50 : 100, dieses auf intrakranielle Drucksteigerung deute. Diese Abhängigkeit ist auch von MAGITOT und COPPEZ bestätigt worden. DAMEL sieht sogar in der Dynamometrie die Möglichkeit, Frühsymptome der Hirndrucksteigerung zu ermitteln. WINTHER und FRITZ haben aus dem angeführten Grund auch eine Abhängigkeit zwischen Lumbaldruck und dynamometrisch ermitteltem Druck feststellen können.

Damit ist der Dynamometrie eine viel weitergehende Bedeutung beizumessen als ursprünglich vorauszusehen war. Wir können mit ihr wichtige diagnostische und prognostische Schlüsse im Hinblick auf intrakranielle Erkrankungen und solche der Hirngefäße ziehen. Der Ausbau der Methode in dieser Richtung dürfte unsere Kenntnis auf einem Grenzgebiet zwischen Ophthalmologie, Neurologie und innerer Medizin fördern.

#### Literatur.

##### *Dynamometrie.*

BAILLIART, P.: (a) Circulation artérielle rétinienne. Essai de détermination de la tension artérielle dans les branches de l'artère centrale de la rétine. *Annales d'Ocul.* **154**, 257 (1917). (b) La pression artérielle dans les branches de l'artère centrale de la rétine, nouvelle technique de la détermination. *Annales d'Ocul.* **154**, 648 (1917). (c) La circulation rétinienne à l'état normal et pathologique. *Clin. ophtalm.* **24**, 50 (1920); Paris 1923. (d) La pression artérielle rétinienne. *Annales d'Ocul.* **165**, 321 (1928). (e) La méthode de la «pelote» de SEIDEL pour la détermination de la pression dans les vaisseaux ciliaires antérieurs. *Bull. Soc. Ophthalm. Paris* **4**, 189 (1929). (f) La pression artérielle rétinienne dans l'hypertension céphalo-rachidienne. *Annales d'Ocul.* **166**, 271 (1929). — BAURMAN, M.: (a) Vergleichende Blutdruckmessungen an den Gefäßen des Auges. *Graefes Arch.* **118**, 118 (1927). (b) Demonstration eines neuen Dynamometers. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **83**, 115 (1929). (c) Ein neues Dynamometer. *Graefes Arch.* **124**, 693 (1930). — BLIEDUNG, C.: (a) Die Beziehungen zwischen allgemeinem Blutdruck, Blutdruck in den intraokularen Gefäßen und Augendruck. *Arch. Augenheilk.* **94**, 214 (1924). (b) Die Bestimmung des Blutdruckes in der Arteria centralis retinae. *ABDERHALDENS Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden*, 5. Abt., 6. Teil, S. 803. 1925. — BRÜCKNER, A.: Pulsatorische Scheinbewegungen als Folge der Lichtbrechung an einer bisher nicht berücksichtigten optischen Grenzfläche der Augenmedien. *Z. ophthalm. Opt.* **18**, 65 (1930).

CLAUDE, H., A. LAMACHE et J. DUBAR: La circulation rétinienne, intérêt de son étude en neuropsychiatrie. *Presse méd.* **1928 II**, 1057. *Ref. Zbl. Ophthalm.* **21**, 554. — COPPEZ, J. H.: (a) De l'augmentation de la pression de l'artère centrale de la rétine, signe précoce d'hypertension cérébrale. *J. de Neur.* **26**, 339 (1926). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **17**, 340. (b) Sur la pression de l'artère centrale de la rétine et sa valeur diagnostique. *J. de Neur.* **30**, 272 (1930). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **23**, 839.

DAMEL, CARLOS: Über ein weniger bekanntes Frühsymptom der Schädelldrucksteigerung. *Rev. Especial. méd.* **5**, 1454 (1930). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **25**, 511. — DUVERGER, C. et J. A. BARRÉ: Tension artérielle rétinienne. *Arch. d'Ophtalm.* **37**, 71 (1920).

FRITZ: Mesure de la rigidité de l'artère centrale de la rétine et son importance en clinique. *Arch. d'Ophtalm.* **47**, 476 (1930).

GRAEFE, A. VON: Notiz über Pulsphänomene an den Netzhautgefäßen. *Graefes Arch.* **1**, (1), 382 (1855).

HENDERSON, THOMSON: Clinical proof of the venous level of the intraocular pressure and a method of estimating its arterial diastolic pressure in eye and its clinical significance. *Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd.* **34**, 309 (1914).

KÜMMELL, K.: Über Pulserscheinungen der Augengefäße. Arch. Augenheilk. **78**, 336 (1915).

MAGITOT: Quatre observations d'hypertension intracranienne décelée par la pression artérielle rétinienne. Bull. Soc. Ophthalm. Paris **1929**, 45.

SAMOILOFF, A. J.: (a) Experimentelles zur Methodik der Blutdruckmessung in den Augengefäßen. Russk. oftalm. Ž. **6**, 1122 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **19**, 585. (b) Zur Blutdruckmessung in den Augengefäßen mittels der Pelottenmethode. Graefes Arch. **119**, 235 (1927). (c) Blutdruck in den Augengefäßen. Arch. Oftalm. (russ.) **4**, 227 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **20**, 587. (d) Über die optische Augendruckregistrierung. Graefes Arch. **119**, 702 (1928). — SCHIÖTZ, INGOLF: Der diastolische Druck in der Arteria centralis retinae. Acta ophthalm. (Københ.) **5**, 293 (1927). — SEIDEL, E.: Prinzipielles zur Blutdruckmessung in den intraokularen Arterien. Verslg dtseh. ophthalm. Ges. **1925**, 235. — SERR, H.: Über den Blutdruck in den intraokularen Gefäßen. Verslg dtseh. ophthalm. Ges. **1927**, 21. — SMITH, PRIESTLEY: The blood-pressure in the eye and its relation to the chamber-pressure. Brit. J. Ophthalm. **1**, 4, 657 (1917); **2**, 257 (1918); **7**, 449 (1923). — DE SPEYR, PH.: Le pouls des artères rétinienes: phénomène physiologique. Ann. d'Ocul. **152**, 419 (1914). — STRAUB, H.: Bestimmung des Blutdrucks (direkte und indirekte Methoden). ABDERHALDEN'S Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, 5. Abt., 4., 1, S. 135. 1923.

VELTER, E.: Quelques mensurations de la tension artérielle rétinienne. Arch. d'Ophthalm. **37**, 88 (1920). — VERWEY, A.: BAILLIARTS instruments used for estimating the elasticity of the small arteries. S. afric. med. Rec. **23**, 427 (1925). Ref. Zbl. Ophthalm. **16**, 227.

WEGNER, WILH.: Weitere Ergebnisse über die pulsatorischen Schwankungen des Bulbus und seiner Hüllen. Arch. Augenheilk. **103**, 296 (1930). — WINTHER, KNUD: (a) Sur la détermination de la tension intracranienne par l'ophthalmodynamométrie de BAILLIART. Acta psychiatr. (Københ.) **5**, 403 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 423. (b) Über die Bestimmung des Hirndruckes mit Hilfe der BAILLIARTSchen Ophthalmodynamometrie. Ugeskr. Laeg. (dän.) **1931 I**, 173. Ref. Zbl. Ophthalm. **25**, 261.

## B. Die Untersuchung der Leistungen des Auges (die subjektiven Untersuchungsmethoden).

Die augenärztliche Funktionsprüfung stellt den Patienten vor Aufgaben, die ihm gänzlich neu sind. Dieser Tatsache soll der Arzt Rechnung tragen und sich nicht durch Ungeschick des Patienten aus seiner Ruhe bringen lassen. Ärger und mancher Konflikt zwischen Arzt und Patient sind nur bei steter Erfüllung dieser Forderung zu vermeiden.

Bei der *Prüfung der sensorischen Funktionen* findet eine mehr oder weniger künstliche Isolierung der einzelnen Teilfaktoren der optischen Eindrücke bzw. Gestalten statt. Durch systematische Variierung der Reizgröße sind diese in gesetzmäßiger Weise zu ändern. Aus dem Resultat dieses Experimentes ziehen wir Schlüsse auf die Funktion. Wir können so viele Teileindrücke unterscheiden, als wir voneinander unabhängig Variable haben. Es ergibt sich daraus die entsprechende Anzahl von Spezialaufgaben bei der Funktionsprüfung.

Wir untersuchen:

1. Den Lichtsinn (Wahrnehmung von Helligkeit und Helligkeitsunterschieden).

2. Den Farbensinn, insbesondere die Wahrnehmung bunter Farben.

3. Den Raumsinn.

a) Nach der Fläche (Sehschärfe).

b) Nach der Tiefe (Tiefensehen, räumliches Sehen im engeren Sinne).

Außerdem wird in besonderen Fällen (bei Hirn- und psychischen Affektionen) noch eine Unterteilung zur Prüfung spezieller Funktionen bei den Teilleistungen vorgenommen werden müssen. Diese Untersuchung fällt aber meist nicht dem Augenarzt zu (s. hierüber BEST und QUENSEL in diesem Handbuch Bd. 6).

Bei allen Teilfunktionen ist zu unterscheiden, ob die Prüfung sich auf die Fovea oder auf die exzentrischen Abschnitte der Netzhaut erstrecken soll. Sehschärfe und Farbsehen sind im Zentrum am höchsten entwickelt. Konstant-

haltung der nicht zu variierenden Bedingungen ist bei den sensorischen Prüfungen wichtig (z. B. Konstanz der Beleuchtung, der Adaptation und ähnliches).

An dieser Stelle ist nur die Prüfung der Sehschärfe und der Leistungen der exzentrischen Netzhaut zu schildern. Die Methoden der Lichtsinnuntersuchung finden sich in diesem Bande auf S. 265, diejenigen des Farbensinnes auf S. 331. Bezüglich des Raumsinnes kann auf die Beiträge von DITTLER in diesem Bande S. 378 und von CORDS in Bd. 3 dieses Handbuches verwiesen werden. Die Untersuchung der Motilität findet sich bei CORDS in Bd. 3 dieses Handbuches besprochen.

Kurz sollen hier auch noch die Untersuchung der *sensiblen Funktionen* sowie einiger *entoptischer Phänomene*, soweit sie für die Klinik in Betracht kommen, behandelt werden.

## I. Die Untersuchung der Sehschärfe.

Die Funktionsprüfung erstreckt sich in erster Linie auf die Bestimmung der Sehschärfe, von deren Resultat es im wesentlichen abhängt, ob und inwieweit die Arbeitsfähigkeit beeinträchtigt ist. Es ist daher verständlich, daß sich Augenärzte und Physiologen immer wieder mit der genauen, messenden Bestimmung dieser Funktion befaßt haben. Methoden, die den Anforderungen an ein exaktes messendes Verfahren voll entsprechen, sind aber für praktisch klinische Zwecke nach Lage der Sache kaum möglich. Das Wechselspiel zwischen physikalischem Reiz und physiologisch-psychischer Reaktion ist beim Gesichtsinne derart verwickelt, daß nur in wissenschaftlichen Laboratorien, wo genaue Festlegung der physikalischen Bedingungen möglich ist, den Forderungen voll entsprochen werden kann.

Bei der praktischen Prüfung, bei der es sich darum handelt, den minimalen räumlichen Unterschied in der Fläche festzustellen, kann es einmal darauf ankommen, die minimale Ortsdifferenz, die simultan oder sukzessiv unterschieden wird, zu ermitteln, oder zwei simultan dargebotene Objekte (Punkte, Striche) als getrennt wahrzunehmen; endlich kann die Aufgabe darin bestehen, an den dargebotenen Gebilden die Form zu erkennen. Entsprechend unterscheidet man die *Breitensehschärfe*, die *angulare* oder *Winkelsehschärfe* und den *Formensinn*. Bei dem letzten handelt es sich meist bei der klinischen Prüfung um Erkennung von Zahlen, Buchstaben oder dgl. Man hat hier daher auch von einem Erkennungsvermögen oder dem Minimum legibile gesprochen im Gegensatz zum Minimum separabile bei der Winkelsehschärfe und dem Minimum visibile sive cognoscibile bei der Erkennung eines Lichteindruckes überhaupt (absoluter Schwellenwert). Es handelt sich bei diesen drei Arten der Untersuchung um prinzipiell verschiedene Aufgaben, deren Ergebnisse nicht ohne weiteres in gegenseitige Beziehung gebracht werden dürfen, zumal hier auch verschiedene höhere psychische Leistungen in Betracht kommen.

### 1. Faktoren, die von Einfluß auf die Sehschärfe sind.

Die *physikalischen Verhältnisse* bei der Abbildung im Auge sind eingehend von DITTLER besprochen worden, auf dessen Darstellung verwiesen sei (s. S. 382 f. in diesem Band); ebenso sind die Ausführungen von ERGGELET in diesem Bande S. 532 f. zu berücksichtigen. Die Unschärfe des Netzhautbildes, deren Abhängigkeit von der Intensität der Beleuchtung noch nicht bekannt ist, wird physiologisch vor allem durch den Kontrast korrigiert. Er bewirkt eine Vertiefung des Gegensatzes insbesondere zwischen Schwarz und Weiß, und steht in Abhängigkeit von der Gesamtintensität der Beleuchtung, so daß trotz gleicher Differenz in der Albedo, z. B. zwischen weißem Grund und schwarzer Figur die Deutlichkeit des Unterschiedes bis zu einem Optimum steigt, um darüber hinaus wieder abzufallen (s. die Tabelle nach KÖNIG S. 372 in diesem Bande).

Es ist nicht gleichgültig, ob die Sehproben von vorne oder im durchfallenden Licht von hinten her beleuchtet werden. Im ersten Falle bleibt das Remissionsverhältnis bei

Steigerung der Beleuchtung zwischen Grund und Figur konstant, im zweiten ändert es sich. Dieses Moment ist wahrscheinlich innerhalb gewisser Grenzen ohne Bedeutung, da die Erkennung von weißen Feldern auf Schwarz oder Grau bzw. diejenige von schwarzen auf Weiß oder Grau bei großem Sehwinkel etwa im gleichen Maße möglich ist. Erst bei kleinem Sehwinkel zeigt sich die Überlegenheit von weißen Feldern auf Schwarz oder Grau.

Wie verwickelt sich die *Kontrastvorgänge* bei komplizierten Sehzeichen, Buchstaben u. dgl. gestalten müssen, lehrt eine einfache Überlegung auf Grund der Darstellung auf S. 383 dieses Bandes. Es werden deshalb Figuren, Buchstaben u. dgl. bei kleinem Gesichtswinkel zunächst als verwaschene Flecke, erst bei Vergrößerung des Gesichtswinkels in ihrer charakteristischen Form erkannt.

Die Weite der Pupille ist innerhalb ziemlich weiter Grenzen ohne Einfluß (es soll dieselbe Sehschärfe bei einer Pupillenweite von 1,5 und 6,0 mm erhalten bleiben). Das Optimum dürfte etwa bei 3 mm liegen (BRALOWSKY).

Die Intensität der Beleuchtung der Sehprobentafeln ist von erheblichem Einfluß. Wenn 30 Lux auf Weiß als hinreichend angesehen werden, so steht dem gegenüber die von ELSCHNIG kürzlich erhobene Forderung von 250 Lux. Übermäßige Beleuchtungsintensität vermindert wieder die Sehschärfe (man vgl. hierzu auch die Untersuchungen von A. KÜHL, EGUCHI, HOUSTON und SHEARER, HECHT, BEST, GUILLERY).

Bei zu starker Herabsetzung der Beleuchtungsintensität und dem dadurch bedingten Dämmerungssehen sinkt die Sehschärfe. Dies beruht im wesentlichen wohl auf verminderter Kontrastfunktion des Dunkelapparates des Auges (s. hierzu u. a. COMBERG in diesem Band S. 225, BRÜCKNER [b]).

Über die Abhängigkeit der Sehschärfe von *verschiedenfarbiger Beleuchtung*, die zu einer Art heterochromer Photometrie verwendet worden ist, vgl. man COMBERG (Kap. Lichtsinn S. 191 in diesem Band).

Nicht unwichtig erscheinen neuere Untersuchungen von FERREE und RAND über die *Schnelligkeit der Auffassung* bei der Sehschärfepfung in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke. Man kann sie nach diesen Autoren als Maß der Sichtbarkeit verwenden. Die Bedeutung der Beleuchtungsstärke für die Leistung beim Lesen oder anderen Arbeitsprozessen ist vielfach untersucht worden und subjektiv für den aufmerksamen Beobachter leicht merkbar.

**Der Einfluß des Lebensalters** auf die Sehschärfe ist jedem Ophthalmologen bekannt. In jüngeren Jahren ist sie wesentlich höher als im Alter. Während HESS hierfür Unregelmäßigkeiten der Lichtbrechung in der Linse, Verengung der Pupille mit Abnahme der Beleuchtungsstärke und Beugungserscheinungen anschuldigte, sind wahrscheinlich in erster Linie doch senile Veränderungen in der Makulargegend maßgebend.

**Die binokulare Sehschärfe** ist bei annähernd gleicher Leistung jeden Auges stets höher als die monokulare. Die Ursache dafür wird in der Verengung der Pupille bei doppeläugiger Beleuchtung gesehen (LITINSKI und ILJINA), oder in Verkleinerung der Fixationsbewegungen infolge Steigerung des Einflusses der Fovea (KESTENBAUM); sie ist in der Hauptsache aber wohl durch den zentralen Ausgleich geringfügiger optischer Abbildungsfehler jedes Einzelauges bedingt. Hierzu kommt die größere Eindringlichkeit des binokular Gesehenen. F. B. HOFMANN nahm als Ursache für die geringere binokulare Sehschärfe bei Verdecken des anderen Auges die störende Einwirkung der Dunkelheitsempfindung von diesem an. Überdies kommen die subjektiven Phosphene in Betracht, die bei zunehmender Dunkeladaptation des einen Auges sich einstellen; es wären hier also binokulare Wettstreitphänomene anzuschuldigen (s. diesen Band S. 447).

**Psychische Faktoren** wirken in weitgehendem Maße auf das Ergebnis der Sehschärfepfung (Aufmerksamkeit, Intelligenz, Ermüdung). Insbesondere ist die Ausdeutung der gewöhnlich verwendeten Sehzeichen, Buchstaben, selbst des PFLÜGERSCHEN Hakens und des LANDOLTSCHEN RINGES durchaus nicht nur auf Grund der scharf gesehenen Einzelheiten möglich, sondern schon aus dem Gesamteindruck (F. B. HOFMANN).

## 2. Die klinische Prüfung der Sehschärfe.

Von den auf S. 921 erwähnten verschiedenen Möglichkeiten, nach denen das räumliche Sehen in der Fläche untersucht werden kann, scheidet für die klinische Prüfung die Feststellung des Minimum visibile für gewöhnlich aus. Diese Prüfung ist für den Durchschnittspatienten zu schwierig und daher kaum durchführbar. Immerhin ist versucht worden, sie in etwas modifizierter Form einzuführen, so von GUILLERY, der Erkennung eines hellen Punktes in einem schwarzen Felde forderte (*Punktsehschärfe*). Das Verfahren hat sich aber augenscheinlich nirgends eingebürgert.

Auch die Prüfung des Minimum separabile, etwa die Unterscheidung zweier dunkler oder heller Linien, wird klinisch für gewöhnlich nicht verwendet, ebensowenig wie die Breitensehschärfe. Sie dienen meist zur Demonstration beim Unterricht.

Es kommt deshalb für gewöhnlich bei der klinischen Prüfung auf eine *Untersuchung des Formensinnes* heraus.

Der Versuch, diesen bei der Prüfung auszuschalten, etwa durch Anwendung des LANDOLTSchen Ringes, wie es der Autor dieses Sehzeichens glaubte, ist als nicht geglückt zu bezeichnen: die Annahme, daß bei der Erkennung der Lücke des LANDOLTSchen Ringes ausschließlich das Minimum separabile in Betracht komme, trifft nicht zu (s. oben). Auch die internationale Kommission, die 1905 sich mit dieser Frage befaßte, hat bewußt bei der Empfehlung seiner Sehprobentafeln, insbesondere auch des von ihr herangezogenen LANDOLTSchen Ringes von dieser Schwellenbestimmung Abstand genommen, weil auch hierbei der Formensinn der ausschlaggebende Faktor ist. Alle Versuche, die neuerdings z. B. in der Schweiz augenscheinlich unter Nichtberücksichtigung der älteren Forschungen auf diesem Gebiete darauf ausgehen, eine klinische, quantitativ exakte Methode zu gewinnen, scheinen von vorneherein aussichtslos. Wir müssen daran festhalten, daß die klinische Prüfung der Sehschärfe mit den üblichen Sehzeichen im wissenschaftlichen Sinne durchaus ungenau ist, da in das Resultat eine große Anzahl von Faktoren eingehen, die im Einzelfalle sich gar nicht übersehen lassen.

### Die quantitative Bestimmung der Sehschärfe.

**Prinzip der Untersuchung.** Da ältere Untersuchungen gezeigt hatten, daß normale Augen imstande sind, zwei unter einem Gesichtswinkel von 1 Winkelminute erscheinende Punkte, Linien oder dgl. getrennt wahrzunehmen, wurde dieses Maß als Einheit und der Norm entsprechend angenommen. Namentlich bei jugendlichen Individuen ist diese Fähigkeit, die angulare Sehschärfe (S. 921), oft viel höher entwickelt und Unterscheidungen von Objekten, die nur unter 30 Winkelsekunden erscheinen, kommen häufig vor, ja noch geringere Werte gelangen, wenn auch selten, zur Beobachtung. Der Begriff der normalen Sehschärfe ist also durchaus konventionell (s. hierzu auch Kap. ERGGELET S. 513 f.).

Die Rechnung zeigt im Zusammenhang mit der Messung der Zapfendicke im fovealen Bereich, daß zwischen zwei gereizten Zapfen wenigstens ein nicht oder schwächer gereizter Zapfen sich befinden muß. Diese Konstruktion ist allerdings nur theoretisch, da wegen der ständigen kleinen Augenbewegungen die Abbildung ständig andere Zapfen trifft.

Diese Ergebnisse haben dazu geführt, Sehproben zu konstruieren (die ersten stammen von SNELLEN und GIRAUD-TEULON), die nach dem Prinzip aufgebaut waren, daß Punkte, Striche oder dgl. unter einem Gesichtswinkel von 1 Winkelminute Abstand erschienen, wenn eine bestimmte Entfernung eingehalten wird. Zur Erleichterung der Prüfung sind dann sehr bald von SNELLEN Buchstaben eingeführt worden, die aber insgesamt unter 5 Winkelminuten erscheinen, während die Dicke und die Abstände der einzelnen Teile des Buchstabens voneinander unter 1 Winkelminute sich darbieten. An diesem Prinzip wird auch heute im allgemeinen noch festgehalten, obwohl es sich hier, wie Untersuchungen verschiedener Autoren (GULLERY u. a.) gezeigt haben, um eine völlige Aufgabe des Prinzips der Sehschärfeprüfung auf der Basis einer Einheit von 1 Winkelminute handelt. Wenn trotzdem die übliche klinische Untersuchung im allgemeinen verhältnismäßig gut übereinstimmende Resultate zu geben pflegt, so beruht das wohl darauf, daß trotz der Komplexheit der Aufgabe die Lösung von der überwiegenden Mehrzahl der Personen in etwa derselben Weise vollzogen wird, wir daher vergleichbare Werte erhalten. Man muß sich nur darüber klar sein, daß wir mit dieser Methode nicht die „angulare Sehschärfe“ prüfen.

**Die Nahsehschärfe.** Die Nahsehschärfe wird von den Ophthalmologen im allgemeinen etwas stiefmütterlich behandelt, obgleich sie doch für die meisten Berufe in erster Linie ausschlaggebend ist. Man pflegt sie zudem nicht mit denselben Sehzeichen zu prüfen, wie diejenige in die Ferne, sondern benutzt meist Druckschrift. Eine große Zahl von Untersuchungen über das Lesen, die wir namentlich Psychologen verdanken, hat aber gelehrt, daß bei dem Überschauen von Wörtern oder Sätzen ein ganz andersartiger psychologischer Vorgang eintritt, als bei dem Auffassen einzelner Buchstaben oder besonders gestalteter Sehzeichen.

Exakte Untersuchungen über das Verhältnis der Nah- zur Fernsehstärke haben nicht durchweg übereinstimmende Resultate ergeben: KIRSCH fand die Nahsehstärke geringer als die Fernsehstärke, BIEDERMANN das Gegenteil. Die Gründe dafür können darin liegen, daß beim Akkommodationsvorgang sich verschiedene starke astigmatische Fehler in der Linse einstellen, eine Beugung der Lichtstrahlen bei Verengung der Pupille zustande kommt und bei Brillenträgern die Netzhautbildgröße sich ändert, wenn das Glas nicht in der Normalstellung steht (s. S. 759f.). Auch der verschiedene äußere Akkommodationserfolg des Brillenträgers wäre zu berücksichtigen (s. S. 773).

Meist wird das Resultat der klinischen Prüfung so hingenommen, wie es sich bei der üblichen Bezifferung ergibt. Will man aber verschieden ametropische Augen oder die Sehstärke ein und desselben Auges mit und ohne Brillenglas, mit und ohne Akkommodation untersuchen, so bedarf es hier der Umrechnung. GULLSTRAND unterscheidet dementsprechend eine absolute, eine relative und eine natürliche Sehstärke<sup>1</sup>.

Bei der absoluten Sehstärke handelt es sich um den Vergleich der Augen verschiedener Individuen. Die Messung geht in diesem Fall von dem vorderen Brennpunkt des Auges aus.

Bei der relativen Sehstärke kommt eine Beziehung der absoluten Sehstärke zu der mit dem nicht im vorderen Augenhauptpunkt befindlichen Brillenglas in Betracht.

Bei der natürlichen Sehstärke, die auf den vorderen Hauptpunkt des Auges bezogen wird, der bei Akkommodation seine Lage nicht ändert, handelt es sich um Vergleich der Sehstärke ein und desselben Auges bei verschiedenem Akkommodationszustand. (Man vergleiche hierzu die Darstellung von ERGGELET in diesem Bande, S. 514 und 758f., sowie die leicht faßliche Auseinandersetzung bei BRÜCKNER [a].)

**Die ziffernmäßige Bestimmung der Sehstärke** ist wiederholt Gegenstand der Diskussion gewesen. Hält man sich an den ursprünglichen Gedanken bei der Sehprüfung, wie er von SNELLEN für die angulare Sehstärke ausgesprochen wurde und bei dem die kritische Winkelminute als Einheitsmaß zugrundegelegt wird, so bestimmen wir ja zunächst die Sehstärke immer in Winkelmaß. Bei kleinen Winkeln ist es erlaubt, das Winkel-(Bogen-)Maß mit der Tangente zu vertauschen, wie es jetzt allgemein bei der praktischen Sehprüfung geschieht. Hier werden Sehzeichen verschiedener Größe auf einer Tafel dargeboten, die bei voller Sehstärke in dem betreffenden Abstände, der den Sehzeichen begedruckt zu werden pflegt, erkannt werden sollen. Betrachtet man z. B. auf einer SNELLENschen Tafel auf 5 m Entfernung das Sehzeichen, welches auf 50 m erkannt werden soll, so beträgt der Winkel für die ganze Figur nicht mehr 5 Winkelminuten, sondern 25 Winkelminuten. Auch hier ist der Wert aber immerhin noch klein genug, um die Tangente statt des Bogenmaßes zu verwerten. Anders wird es, wenn wir die Entfernung zwischen Sehprobe und untersuchtem Auge erheblich verkleinern, z. B. das größte Sehzeichen in 1 m Entfernung darbieten. Hier beträgt der Winkel etwa 2°, und es ist in diesem Fall schon eine gewisse Abweichung zwischen den Werten für Tangente und Winkel vorhanden. Bei so stark herabgesetzter Sehstärke ist die Exaktheit der Prüfung freilich bereits recht gering, infolgedessen fallen kleine Fehler nicht ins Gewicht.

Ähnliches gilt von der Prüfung mittels Fingerzählen. Im allgemeinen wird angenommen, daß die Dicke der Finger übereinstimmt mit der Dicke der Balken der Sehzeichen, die auf 50 bzw. 60 m erkannt werden sollen. Die individuelle Variation in der Fingerdicke der untersuchenden Ärzte ist aber zweifellos sehr erheblich, so daß von einer genaueren Prüfung auch hier nicht mehr gesprochen werden kann.

Die zuletzt gegebenen Ausführungen dürften es aber doch als berechtigt erscheinen lassen, die ältere Art der Registrierung der Sehstärke, wie sie namentlich von SNELLEN in Form eines Bruches  $\frac{d}{D}$  angegeben wurde, worin  $d$  die Distanz, in der geprüft wird,

<sup>1</sup> Diese Ausdrücke sind vielfach in abweichender Bedeutung gebraucht worden, so z. B. hat man die natürliche Sehstärke als die Leistung des Auges ohne Brille genannt (sie wird in der deutschen Armee auch als Sehleistung bezeichnet), und stellte ihr die korrigierte Sehstärke (bei der deutschen Armee Sehstärke schlechthin = Sehstärke mit Brillenglas) gegenüber. Es wäre wünschenswert, wenn sich die GULLSTRANDSchen Ausdrücke, die an klare physikalische Verhältnisse anknüpfen, allgemein einbürgern würden.

D diejenige, in der das betreffende Sehzeichen erkannt werden soll, bedeutet, beizubehalten. Ein späterer Untersucher gewinnt dadurch aus dem Protokoll nicht nur ein Urteil darüber, in welcher Entfernung geprüft worden ist, was von Bedeutung sein kann (Einfluß des AUBERT-FÖRSTERSchen Phänomens, s. S. 932), sondern er vermag sich auch ein Urteil darüber zu bilden, wie die Prüfung vorgenommen worden ist, ob bei Annäherung der Sehproben oder mittels Fingerzählen. Es sind deshalb ziffernmäßige Bestimmungen sehr niedriger Sehschärfen wie  $\frac{1}{100}$  (Fingerzählen in  $\frac{1}{2}$  m) oder  $\frac{1}{200}$  (Fingerzählen in  $\frac{1}{4}$  m) als pseudoexakt und irreführend zu unterlassen; auch werden solche Zahlen von Laien ganz falsch ausgelegt.

Gegenüber dieser Art der Protokollierung, die mir nach wie vor die richtige zu sein scheint, hat sich namentlich unter dem Einfluß der Beschlüsse des internationalen Ophthalmologenkongresses von 1905 die *Angabe der Sehschärfe in Dezimalen* eingebürgert, neben der auch andere Brüche, die durch Heben des SNELLENSchen Bruches entstehen, wohl gelegentlich Verwendung finden. Voraussetzung ist in diesem Falle, daß die Entfernung, in der geprüft wird, immer die gleiche ist, und zwar 5 m, wie für die internationalen Sehproben. Schon diese Forderung wird keineswegs in allen Fällen erfüllt sein und es kann auf diese Weise zu erheblichen Irrtümern kommen, wenn der eine Untersucher wegen räumlicher Verhältnisse auf  $4\frac{1}{2}$ , der andere auf 6 oder gar 8 m prüft.

In Amerika ist die Bezifferung bei einer Untersuchungsdistanz von 20 Fuß üblich; dementsprechend werden dort auch die Brüche mit 20 als Nenner angeführt.

**Abstufung der Sehzeichengröße.** Der im konkreten Fall wirklich vorliegende Grad der Sehschärfe ließe sich anscheinend genau nur dann ermitteln, wenn wir die Reizgröße, also hier die Probuchstaben kontinuierlich ändern könnten. Am exaktesten wäre diese Forderung zu erfüllen, wenn der Abstand des Auges von den Sehzeichen stetig vergrößert oder verkleinert würde. Für gewöhnlich ist dieses Verfahren aber viel zu umständlich. Es erweisen sich deshalb sprungweise Änderungen in der Größe der Sehzeichen als notwendig. Alle üblichen Sehprobentafeln sind in dieser Form gedruckt. Auf diese Weise ist es aber nur möglich, die tatsächlich vorhandenen verschiedenen Grade der Sehschärfe innerhalb bestimmter Klassen einzuordnen, deren Grenzen etwa in die Mitte zwischen je 2 benachbarten Größenkategorien der Sehzeichen einzusetzen wären.

Um die Fehler, die sich dabei ergeben, nicht zu groß werden zu lassen, muß die Wahl der Unterschiede in der Sehzeichengröße „zweckmäßig“ getroffen werden, d. h. es muß eine Gesetzmäßigkeit hierin gegeben sein, die sich dem angestrebten Resultat der Prüfung möglichst anpaßt; die Grenzen sollen also so gewählt sein, daß der wirkliche Fehler zwischen der tatsächlichen Sehschärfe und der mittels der Sehprobentafeln feststellbaren möglichst klein wird. Unter diesem Gesichtspunkt scheint aber noch kaum eine der üblichen Sehproben konstruiert worden zu sein. Die große Mannigfaltigkeit in den Größenabstufungen der Sehzeichen beweist dieses. Die internationalen Tafeln springen um je  $\frac{1}{10}$  in arithmetischer Progression<sup>1</sup>, d. h. die linearen Maße der Gesamtfelder betragen etwa für 0,1 Sehschärfe = 60 mm, 0,5 = 12 mm, 1,0 = 6 mm Seitenlänge der Quadrate, in die die Sehzeichen eingetragen sind. Bei einer derartigen Einteilung ist aber der Unterschied namentlich zwischen 0,1 und 0,2, zwischen 0,2 und 0,3, und auch noch für die nächste Stufe zu groß (s. u.), während die Sprünge etwa zwischen 0,7 und 1,0 zu klein sind. Man hat deshalb schon früher (MONOYER u. a.) Abstufungen der Sehprobentafeln in geometrischer Progression hergestellt. Erst neuerdings sind derart angeordnete Tafeln von EWING angegeben worden. Auch andere Autoren (DUBAR, LÖHLEIN, BRÜCKNER) sind für geometrische Abstufung eingetreten. Der Einwand, der von BIRKHAUSER und SIEGRIST dagegen gemacht wird, daß das Dezimalsystem dem modernen Maßsystem entspreche, kann sich nicht als stichhaltig erweisen, da es sich bei der Wahl des Maßstabes darum handelt, denjenigen zu verwenden, der für den gegebenen Fall am besten geeignet ist.

In welcher Weise die Abstufung erfolgen soll, ist damit freilich noch nicht gesagt. Es werden hier ganz verschiedene Abstände, oft ohne erkennbare Gesetzmäßigkeit verwendet. COPPEZ empfiehlt eine Stufenfolge, die ein Mittel zwischen der arithmetischen und der geometrischen Abstufung darstellt (s. auch DUFOUR).

Von ZEISS sind Tafeln mit Zwischenstufen hergestellt worden. So finden sich zwischen 0,1 und 0,2 noch 4 Stufen (0,12; 0,14; 0,16; 0,18), während zwischen 0,2 und 0,3 nur eine entsprechend einer Sehschärfe von 0,25 eingeschaltet ist. LÖHLEIN erwähnt ihre gute Brauchbarkeit, die ich selbst in der Zeit meiner Tätigkeit in Jena habe feststellen können. — Auch von FRITZ ist eine engere Abstufung, als dem Dezimalsystem entspricht, empfohlen worden.

<sup>1</sup> Auch die neuen schweizerischen Tafeln, die nach in der Literatur allerdings nicht näher bekannt gegebenen Untersuchungen für jede Zeile gleich lesbare Zahlen enthalten sollen (bei Zugrundelegung des LANDOLTSchen Ringes als Standardmaß), sind in diesen Abstufungen ausgeführt [s. BIRKHAUSER [c, d]].

Der Wunsch, die Größen der Sehzeichen feiner abzustufen, hat auch dazu geführt auf *optischem Wege* eine Verkleinerung der Sehzeichen herbeizuführen. So hat RICCI eine Skala von 100 bis zu 1 hergestellt. — Durch Einschalten einer Konvexlinse vor die Sehprobe haben CONTINO, FERREE und RAND sowie RICCI eine *kontinuierliche Änderung der Größe* der Sehzeichen erzielt.

Auf etwas anderem Wege sind von verschiedenen Autoren (THORINGTON, VERHOEFF, MADDOX, CONTINO) zwei Linien, die zusammen ein liegendes V bilden und durch einen in der Größe variablen, vor ihnen verschiebbaren Ausschnitt immer nur partiell dargeboten werden, verwendet worden. Der Untersuchte hat dann anzugeben, wann er die beiden schief zueinander geneigten Linien als zwei erkennen kann. Drei sich verjüngende Streifen verwendet in ähnlicher Weise PROKSCH.

Alle diese Verfahren haben aber augenscheinlich keine Verbreitung gefunden, wohl weil sie zu umständlich sind und namentlich der schnellen Abwicklung der Sehprüfung Hemmnisse bereiten. Überdies stellen die letztgenannten eine Prüfung des Minimum separabile dar, sind also, wie auf S. 921 ausgeführt, nicht mit der Formenscharfe ohne weiteres vergleichbar. Hierzu kommt als wesentlicher Faktor, daß diskontinuierlich dargebotene Reizunterschiede für die experimentell-psychologische Prüfung — und um eine solche handelt es sich ja auch hier — nicht nur viel weniger ermüdend sind, sondern auch sicherere Urteile liefern als die Aufgabe, den Moment bei einem stetig sich ändernden Reiz anzugeben, in dem eine bestimmte Empfindungsänderung eintritt, hier die Trennung in zwei Eindrücke.

**Die Oxyptrie.** Während die übliche Bezifferung der Sehschärfe sich in Form eines gewöhnlichen oder eines Dezimalbruches bewerkstelligt, hat SIKLOSSY dem sich v. BLASKOVICZ angeschlossen hat (s. auch KREIKER) als Einheit nicht die kleinste, vom normalen Auge erreichte Winkelsehschärfe angenommen, sondern den 60fachen Wert, d. h. nicht 1 Winkelminute sondern  $1^{\circ}$ . Das würde etwa der Erkennung eines Sehzeichens für 60 m in 1 m Entfernung entsprechen. Setzt man diese Sehschärfe = 1, so würde die normale Sehschärfe den Wert 60 haben. Nach Ansicht der genannten Autoren ist hierin ein Vorteil zu erblicken, weil wir nur mit ganzen Zahlen und nicht mehr mit Brüchen zu rechnen brauchten. Diese Art der Bezifferung hat sich nicht einbürgern können; es ist auch nicht einzusehen, wenn man weiß, worum es sich handelt, weshalb die ganzen Zahlen einen Vorteil vor Brüchen haben sollten. Allenfalls könnte man annehmen, daß bei dem Laien die üblichen Bruchwerte falsche Vorstellungen über die tatsächliche Bedeutung der gegebenen Sehschärfe für die erwerbliche Tätigkeit erwecken (s. hierzu auch S. 924 f.).

**Nahsehproben.** Die Zahl der verwendeten Nahsehproben (Druckschrift) ist ziemlich groß (u. a. JÄGER, NIEDEN, BIRKHÄUSER). Über die Fehler, die ältere Leseproben enthielten, hat BIRKHÄUSER eine ausführliche Darlegung gegeben. Er stellt gewisse Forderungen für die Typenform und -größe auf, auf die hier verwiesen sei. Daß die Nahsehproben bei dieser Art der Ausführung aber auch dann nicht durchweg übereinstimmende Resultate mit dem Wert der Fernsehprobe zu ergeben brauchen, ist aus der S. 923 f. gegebenen Darlegung verständlich. HEGNER hat aus diesem Grunde die internationalen Sehproben photographisch verkleinert und sie in einem besonderen Halter in Leseentfernung dargeboten. Auch LÖHLEIN hat in gleicher Weise seine Bilderleseprobe für die Ferne für die Untersuchung in der Nähe adaptiert.

**Sehprobetafeln für Analphabeten und Kinder.** Man könnte daran denken, für Personen, die des Lesens unkundig sind, statt Zahlen oder Buchstaben etwa eine der sog. Punktsehproben (s. S. 922) zu benutzen. Das verbietet sich aber in der Regel schon deshalb, weil die Analphabeten vielfach unintelligent sind und ebenso wie Kinder schwer dazu zu bringen wären, zu verstehen, worum es sich bei einer derartigen Prüfung handelt.



Abb. 52.  
PFLÜGERSCHER HAKEN.

Besser ist für diesen Zweck die Verwendung des PFLÜGERSCHEN Hakens (s. Abb. 52), wobei der Untersuchte die Stellung eines aus Pappe oder Holz angefertigten dreizinkigen Hakens in Lageübereinstimmung mit den gezeigten Sehzeichen zu bringen hat. Bei normal entwickelten Kindern pflegt diese Probe mit volldem vierten Jahr, auch schon früher, ausführbar zu sein. Man tut gut, zuerst die Sehprobentafel mit den PFLÜGERSCHEN Haken dem Kinde etwa in 1 m Entfernung vorzuhalten und ihm klar zu machen, worauf es ankommt.

Eine leichtere Verständigung suchen manche Autoren dadurch zu erzielen, daß sie nicht die Haken sondern irgendwelche den Kindern bekannte Gegenstände im Bilde vorführen. Neuerdings hat sich insbesondere LÖHLEIN (s. bei LÖHLEIN und SCHWARZ auch die ältere Literatur) mit dieser Frage befaßt. Er und seine Mitarbeiter gelangten zum Schluß, daß die Wiedergabe bunter Bilder das Resultat der Sehprüfung verschlechterte und am besten Schattenrisse geeignet sind. LÖHLEIN wählte daher bestimmte Gegenstände aus, die sich bei eingehenden Untersuchungen namentlich unter Berücksichtigung der geistigen Welt und der verschiedenen sozialen Lage des Kindes als zweckmäßig erwiesen.

### 3. Der Raum für die Sehprüfung.

Der Raum, in dem die Sehprüfung vorgenommen wird, muß gewisse Anforderungen erfüllen. Sofern man nicht mit Hilfe der Spiegelprobe untersucht (s. S. 928), muß ein freier Abstand zwischen Patientenaug und Sehprobentafel von mindestens 5 m vorhanden sein. Geht man unter diese Entfernung herunter, so machen sich namentlich bei der funktionellen Refraktionsbestimmung (s. S. 966 f.) gewisse Fehler bemerkbar, bedeutet doch eine Untersuchung auf 4 m streng genommen schon eine Akkommodationsanspannung von  $\frac{1}{4}$  dptr. Dies ist der Grund, weshalb viele Ophthalmologen eine größere Entfernung, 8 oder gar 10 m (unter Zuhilfenahme der Spiegelprobe) vorziehen.

Die *Beleuchtung des Gesamtraumes* soll annähernd neutral sein, d. h. es darf nicht durch bunten Anstrich der Wände eine chromatische Verstimmung des Auges eintreten. Hierdurch kann auf dem Sehfeldteil, der von der Tafel eingenommen wird, eine farbige Kontrastwirkung auftreten, die auf das Resultat der Sehschärfeprüfung Einfluß zu gewinnen vermag, da die Sehschärfe in farbigem Licht eine Herabsetzung erfährt.

Die meisten Ophthalmologen untersuchen bei Tageslicht, wobei auf genügende Konstanz der Gesamtbeleuchtung Rücksicht zu nehmen ist. Es wird deshalb Nordlage des Beobachtungszimmers bevorzugt, oder jedenfalls eine solche Orientierung des Raumes, daß zur Zeit der Vornahme der Sehprüfung kein direktes Sonnenlicht durch die Fenster einfällt.

Manche gehen, um die unvermeidliche Inkonzanz der Beleuchtung infolge Bewölkung oder Jahreszeit zu vermeiden, so weit, daß sie die Sehprüfung im völlig verdunkelten Zimmer ausführen und nur die Sehprobentafel künstlich beleuchten. Hier wird also ein gewisser Grad der Dunkeladaptation hervorgerufen, der auf das Resultat der Sehschärfeprüfung von Einfluß sein kann. Überdies erfordert dieses Verfahren, um eine Anpassung an die Gesamtbeleuchtung des Raumes zu erzielen, die wohl allgemein als Voraussetzung für ein zuverlässiges Resultat angesehen wird, namentlich im Sommer einen nicht zu kurz dauernden, vorherigen Aufenthalt im Untersuchungsraum, ehe man an die Ausführung der Sehprüfung geht.

### 4. Die Beleuchtung der Sehprobentafeln.

Die Beleuchtung der Sehprobentafeln ist ein Problem, welches wegen der Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsstärke wiederholt Gegenstand der Erörterung gewesen ist. Einerseits muß dafür gesorgt sein, daß die Lichtquelle nicht direkt dem untersuchten Auge sichtbar wird, was zu Blendungserscheinungen und damit zu einer Beeinträchtigung der Sehschärfe führen würde. Es wird daher jetzt immer mehr eine Erhellung der Sehprobentafeln durch künstliche Lichtquellen verwendet. Man hat die Sehproben in einem nach vorn offenen Kasten angebracht und durch Lampen, die in den Seitenwänden oder in der Mitte durch einen gegen den Beobachter vorgeschalteten Schirm abgedeckt sind, beleuchtet (z. B. Sehprobenkasten von ROTH). Durch Spiegel, die in die Wände des Kastens eingesetzt sind, sucht man die Beleuchtung möglichst gleichmäßig zu gestalten. Trotzdem ist natürlich eine im physikalischen Sinne gleichmäßige Beleuchtung so nicht zu verwirklichen.

Besser geschieht das durch eine Beleuchtung von hinten her, also bei Anbringung von Sehzeichen auf transparentem Grunde, meist Milchglas. Voraussetzung ist hierfür allerdings, daß das zu beleuchtende Feld nicht allzugroß ist, sofern man sich nur *einer* Lichtquelle bedient. Vielfach sind deshalb mehrere Lampen angebracht worden mit Zwischenschaltung von einer oder zwei Milchglasplatten, wie z. B. von PACALIN. Man kann sich in diesen Fällen dann auf eine Lampe beschränken, wenn der Ausschnitt, der von hinten beleuchtet wird, klein ist und in ihm nur ein oder zwei Sehzeichen erscheinen.

Neuerdings hat STOCK geraten, zur Beleuchtung der Sehproben die Kugelspiegellampe von ZEISS zu verwenden. Sie wird an der gegenüberliegenden Seite an der Decke des Zimmers angebracht und wirft ihr Licht auf die Sehproben, die in der Tat ziemlich gleichmäßig erhellt werden. Eine ähnliche Beleuchtungsquelle hat HÄUTLE verwendet (s. auch RAPHAEL).

Manche Autoren (XILO) glauben, daß bei abnehmender Beleuchtungsstärke der Tafeln ein besonders sicheres Urteil über die Leistung sich erzielen lasse, weil geringgradige Störungen der Funktion sich hierbei zuerst bemerkbar machen. Für die gewöhnliche Praxis dürfte dieses Verfahren, das beim Apparat von FERREE und RAND ebenfalls ausführbar ist, sich aber kaum einbürgern. Wenn auch für das normale Auge eine gewisse Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsstärke sich erzielen läßt (s. S. 372), so dürfte doch die praktisch-klinische Prüfung mit der für gewöhnlich nicht kontinuierlichen Abänderbarkeit der Sehzeichengröße zu grob sein, um brauchbare Ergebnisse in dieser Richtung zu gewinnen (s. auch HECHT, KÜHL).

### 5. Die praktische Ausführung der Sehprüfung.

Bei der Ausführung der Sehprüfung ist stets zunächst monokular jedes Auge für sich zu untersuchen. Doch sollte als Regel festgehalten werden, daß auch noch die binokulare Sehschärfe geprüft wird. Für viel Berufe, bei denen es nicht auf monokulares, sondern auf das doppeläugige Sehen ankommt, wird diese maßgebend für die Leistungsfähigkeit sein.

Daß bei Anpassung der Brillengläser und der damit gegebenen funktionellen Prüfung der Refraktion stets auch binokular untersucht werden muß, um festzustellen, ob nicht stärkere Plus- oder schwächere Minusgläser angenommen werden, ist eine altbekannte Regel, gegen die leider nur oft genug gefehlt wird. Die Gründe hierfür sind auf S. 966 auseinandergesetzt.

Meist wird dem Patienten die ganze Sehprobentafel dargeboten. Um Zeit zu sparen, erscheint es aber nicht notwendig, sämtliche Sehzeichen lesen zu lassen. Man geht am besten in schnellen Sprüngen weiter. Dabei ist es zu empfehlen, jeweils dasjenige Sehzeichen, das gelesen werden soll, durch den darunter oder darüber gehaltenen Finger, besser noch durch ein schwarzes Stäbchen, zu zeigen. Man kann auch, um den Patienten nicht im Unklaren darüber zu lassen, wo er lesen soll, bloß eine Zeile gleich großer Sehzeichen darbieten. Zu diesem Zwecke sind sog. Sehprobentrommeln von verschiedenen Autoren angegeben worden. Vielfach ist der Apparat auch so konstruiert, daß mittels elektrischen Kontaktes immer nur ein einzelnes Sehzeichen erscheint, wie z. B. in demjenigen von BECK. Allerdings sind diese Apparate etwas kompliziert gebaut (s. auch COUTELA und SICARD sowie VERBICKIJ).

Über die praktische Ausführung der Sehprüfung mittels Vorsetzen von Gläsern s. S. 966 f.

**Spiegelproben.** Eine Erleichterung der Sehprüfung für den Arzt bedeutet die Benutzung des Spiegels. Die Sehzeichen müssen dann natürlich in Spiegelchrift dargestellt sein; sie können auf transparenten Scheiben vor das Fenster gehängt werden. Der Patient sitzt dabei mit dem Rücken gegen das Fenster, dem in 2½ bzw. 3 m angebrachten Spiegel gegenüber. Die Sehproben erscheinen nach dem Spiegelgesetz in 5 bzw. 6 m Abstand. Zur Konstanz der Beleuchtung kann man statt Tageslicht künstliches Licht zur Durchleuchtung benutzen. Dieses Verfahren ist auch vielfach bei Simulation zweckmäßig anzuwenden, weil der Patient im Unklaren über die Entfernung bleibt (s. S. 951).

Die Methode hat das Angenehme, daß der Patient neben dem Patienten stehen bleiben kann und nicht, wie das bei den in 5 oder 6 m Entfernung angebrachten Sehprobentafeln in der Regel zu geschehen hat, sich zwischen Sehprobentafel und Patient hin- und herbewegen muß.

### Literatur.

#### *Die Untersuchung der Sehschärfe.*

- AMMAN, E.: Über „Dunkelvisus“. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **72**, 809 (1924).  
 BANISTER, H., H. HARTIDGE and R. J. LYTHERG: The effect of illumination and other factors on the acuity of vision. *Brit. J. Ophthalm.* **11**, 321 (1927). — BASLER, A.: Beitrag zur Kenntnis der Abhängigkeit einiger Schriftarten von der Sehschärfe. *Z. Sinnesphysiol.* **59**, 209 (1928). — BASLINI, C.: Apparechio per la misurazione della acutezza visiva a ottotipi automatici separati. *Osp. magg.* **8**, 88 (1920). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **4**, 64. — BEACH, S. JUDD: (a) The selection of test type for refraction. *Sect. Ophthalm. amer. med. Assoc.* **1927**, 113. *Ref. Zbl. Ophthalm.* **20**, 639. (b) New test card. *Trans. amer. Acad. Ophthalm. a. Otol.* **1927**, 362. *Ref. Zbl. Ophthalm.* **21**, 214. — BEST, F.: (a) Über die Grenzen der Sehschärfe. *Ber. ophthalm. Ges. Heidelberg* **28**, 129 (1901). (b) Kritische Bemerkungen zu HECHTS Theorie der Sehschärfe. *Naturwiss.* **1930 I**, 236. *Ref. Zbl. Ophthalm.* **24**, 19. — BEYNE, J. et G. WORMS: L'acuité visuelle nocturne. *J. Physiol. et Path. gén.* **24**, 38 (1926). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **17**, 890. — BIEDERMANN, H.: Untersuchungen über die Sehschärfe beim Nahsehen. *Z. ophthalm. Opt.* **15**, 1, 34 (1927). — BIRKHAUSER, R.: (a) *Scalae typographicae. Ex usu clinicis ophthalmologicae bernensis.* II. edit. Basel: A. E. Birkhauser u. Co. 1922. (b) Grundsätzliches über Leseproben. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **68**, 732 (1922). (c) Über Sehproben. Ein Vorschlag zur Schaffung schweizerischer Sehproben. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **72**, 808 (1924). (d) Studienkommission für Sehproben. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **77**, 713 (1926). — BLASKOVICS, L. v.: (a) Über den heutigen Begriff der Sehschärfe und über die oxyoptrischen Sehproben. *Orv. Hetil. (ung.)* **67**, 361 (1923). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **11**, 174. (b) Über Verwendbarkeit von Buchstaben und Zahlen bei Sehschärfeuntersuchungen. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **71**, 440 (1923). (c) The new unit of visual acuity and its practical use. *Arch. of Ophthalm.* **53**, 476 (1924). — BLOOM, S. u. S. GARTEN: Vergleichende Untersuchung der Sehschärfe des hell- und des dunkel-adaptierten Auges. *Pflügers Arch.* **62**, 372 (1898). — BRAILOWSKY, S.: Über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Breite der

Pupille. Russk. oftalm. Ž. **3**, 635 (1925). Ref. Zbl. Ophthalm. **15**, 33. — BRÜCKNER, A.: (a) Grundzüge der Brillenlehre für Augenärzte. Berlin 1924. (b) Zur Psychophysik einiger augenärztlicher Untersuchungsmethoden. Z. Augenheilk. **58**, 74 (1925).

CHOLINA, A.: Eine neue Tafel zur Bestimmung der Sehschärfe. 13. internat. Ophthalm. Kongr. Amsterdam 1929. Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 747. — CONTINO, A.: (a) Un nuovo metodo per la determinazione dell'acutezza visiva. Riv. Ottica **2**, 40 (1922). Ref. Zbl. Ophthalm. **9**, 490. (b) Figura ottotipica a grandezza variabile. Soc. Ital. Oftalm. Roma, 27. bis 30. Okt. 1925. Ref. Zbl. Ophthalm. **17**, 558. — COPPEZ, H.: A quelles indications doivent répondre les échelles d'acuité visuelle? Arch. d'Ophthalm. **47**, 428 (1930). — COWAN, A.: A visual test card. Amer. J. Ophthalm. **12**, 301 (1929).

DOR, L.: Echelle optométrique universelle. Rev. gén. Ophthalm. **34**, 317 (1920). — DUBAR: Echelle millimétrique décimale exponentielle. Clin. ophthalm. **15**, 519 (1926). Ref. Zbl. Ophthalm. **18**, 131. — DUFOUR, M.: (a) Pourquoi, dans la détermination de l'acuité visuelle, devons-nous renoncer à employer les lettres et les chiffres? Bull. Soc. Ophthalm. Paris **9**, 621 (1928). (b) La hauteur des optotypes dans l'échelle décimale en progression arithmétique. Bull. Soc. Ophthalm. Paris **6**, 370 (1929).

EGUCHI, H.: (a) Der zeitliche Ablauf der Sehschärfenzunahme bei Helladaptation. Acta Soc. ophthalm. jap. **34**, 600 u. dtsh. Zusammenfassung 75 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 371. (b) Über die Sehschärfe unter starker Helligkeit, bei normalen und einigen abnormen Augen und über die Blendung. Acta Soc. ophthalm. (jap.) **34**, 1492 u. dtsh. Zusammenfassung 154 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **25**, 209. — ELSCHNIG, A. u. F. GNAD: Standardisierung der Sehschärfe I. Arch. Augenheilk. **102**, 475 (1930). — EWING, A. E.: (a) Test objects for the illiterate. Amer. J. Ophthalmol. **3**, 5 (1920). (b) The value of letters and characters as visual tests. Internat. Congr. Ophthalm. Washington, 25.—28. April 1922, 604. Ref. Zbl. Ophthalm. **9**, 502. (c) Visual test-types. Test-characters, test-letters, and a uniform central test-object for measuring the acuity of vision. Special instructions for the use of visual test-types in schools and industrial establishments. St. Louis 1926. Ref. Zbl. Ophthalm. **20**, 27.

FERREE, C. E. and G. RAND: (a) An acuity apparatus with attachments for testing the light and color sense and for color mixing. Arch. of Ophthalm. **55**, 245 (1926). (b) Size of objects in relation to their visibility and to the rating of vision. Arch. of Ophthalm. **4**, 37 (1930). — FIMBEL: Tableau lumineux avec optotypes mobiles et visibles séparément. Arch. d'Ophthalm. **41**, 742 (1924). — FREEMAN, E.: What does a test of visual acuity measure? Arch. of Ophthalm. **2**, 48 (1929). — FRIEDMANN, D. A.: Neue hebräische und internationale Tafeln zur Prüfung der Sehschärfe. Klin. Mbl. Augenheilk. **83**, 520 (1929). — FRITZ, A.: Essai de détermination expérimentale de la progression à l'échelle d'acuité visuelle. Bull. Soc. belge Ophthalm. **60**, 58 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 556.

GUILLERY, H.: (a) Ein Vorschlag zur Vereinfachung der Sehproben. Arch. Augenheilk. **23**, 323 (1891). (b) Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe. Wiesbaden 1891; Arch. Augenheilk. **23**, 323 (1891). (c) Zur Vereinheitlichung der Sehschärfeprüfung. Arch. Augenheilk. **103**, 280 (1930). (d) Sehschärfe, in Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie von BETHE, Bd. 12, S. 2, Rezeptionsorgane. Berlin 1931.

HATRIDGE, H., R. J. LYTHGOE and W. V. MATTHEWS: The effects on vision of replacing continuous by flickering illumination. Brit. J. Psychol. **16**, 293 (1926). Ref. Zbl. Ophthalm. **17**, 500. — HATRIDGE, H. and H. B. OWEN: Test types. Brit. J. Ophthalm. **6**, 543 (1922). — HAUTLE, M.: Sehprüftafelbeleuchtung. Dtsch. opt. Wschr. **1931 I**, 60. — HECHT, S.: (a) The relation between visual acuity and illumination. J. gen. Physiol. **11**, 255 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 145. (b) Visual acuity and illumination. Arch. of Ophthalm. **57**, 564 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 219. (c) Eine Grundlage für die Beziehung zwischen Sehschärfe und Beleuchtung. Naturwiss. **1930 I**, 233. — HEGNER, C. A.: (a) Lesetafeln für Sehprüfung. Ber. 42. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1920**, 340. (b) Zur Methodik der Sehprüfung. Arch. Augenheilk. **88**, 42 (1921). (c) Refraktion, Sehschärfe, Akkommodation und Refraktionsanomalien des Auges. ABDERHALDEN'S Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, 5. Abt., 6. Teil, Liefg 138. 1924. (d) Sehprobenhalter. Zeiss Med. **150** (1925). (e) Bemerkungen zur Methodik der Sehprüfung. Schweiz. med. Wschr. **1928 II**, 1077. (f) Lesetafel für Naheproben. Ber. 48. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1930**, 318. — HERING, E.: Über die Grenzen der Sehschärfe. Ber. sächs. Ges. Wiss. Leipzig, Physik.-math. Kl. **51**, 16 (1899). — HERTEL, E.: Sehprobentrommel. Zeiss Med. **80** (1928). — HESS, C.: (a) Über einheitliche Bestimmung und Bezeichnung der Sehschärfe. Kommiss.-Ber. internat. Kongr. Augenheilk. Neapel; Arch. Augenheilk. **58**, 325 (1909). (b) Internationale Sehproben. Unter Verwendung der LANDOLTSchen Ringe hergestellt. 3. unveränd. Aufl. München 1926. — HOFMANN, F. B.: Die Lehre vom Raumsinn. GRAEFE-SAEIMISCHE Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl. Bd. **3**. 1925. — HOPPE, F.: Eine neue Sehprobentafel. Z. Schulgesdh.pfl. u. soz. Hyg. **42**, 540 (1929). — HOUSTON, R. A.: On WEBER'S law and visual acuity. Philosophic. Mag. **8**, 520 (1929).

Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 848. — HOUSTOUN, R. A. and JAMES F. SHEARER: WEBER'S law and visual acuity. *Philosophic. Mag.* **10**, 433 (1930).

INOUE, T.: (a) Vergleichende Studien über ring- und ösenförmige Sehprobenmarken mit dem wabenförmigen Projektionsapparat. 13. internat. Ophthalm. Kongr. Amsterdam **1929**. Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 746. (b) Die Definition der Sehschärfe und der Vorzug der 40-Winkelsekundentheorie vor der 1-Winkelminutentheorie. *Acta Soc. ophthalm. (jap.)* **34**, 773 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 20.

KESTENBAUM, A.: Monokuläre und binokuläre Sehschärfe. *Z. Augenheilk.* **63**, 159 (1927). — KIRSCH, R.: Sehschärfeuntersuchungen mit Hilfe des Visometers von Zeiß. (Zugleich ein Beitrag zur Frage der Lesbarkeit von Druckschriften.) *Graefes Arch.* **103**, 253 (1920). — KRAVKOV, S. W.: Über eine zentrale Beeinflussung der Sehschärfe. *Graefes Arch.* **124**, 76 (1930). — KRBIKER, A.: (a) Die psychische Komponente in der Sehschärfe. *Graefes Arch.* **111**, 128 (1923). (b) Vorschlag für die internationale Standardisierung der Sehschärfeuntersuchung und Einheit auf Grund des v. BLASKOVICSSchen Oxyoptriesystems. Budapest 1929. — KÖNIG, A.: Die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität. *Sitzgsber. Berl. Akad.* **1897**, 559. — KÜHL, A.: (a) Eine Erweiterung des RICCÖschen Satzes über die Beziehung zwischen Lichtempfindlichkeit und Größe des gereizten Netzhautbezirkes der Fovea. *Z. Biol.* **60**, 481 (1913). (b) Sehschärfe, Beleuchtungsstärke und RICCÖscher Satz. *Z. ophthalm. Opt.* **14**, 129 (1927). (c) Über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsstärke. 90. Verslg. Ges. dtsh. Naturforsch. u. Ärzte, Abt. 28, Hamburg, Sitzg. 16.—19. Sept. **1928**. Ref. Zbl. Ophthalm. **20**, 635.

LANDOLT: Untersuchung der Sehschärfe. GRAEFE-SÄEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl., Untersuchungsmethoden, Bd. 3. 1920. — LAURENS, H.: Über die räumliche Unterscheidungsfähigkeit beim Dämmerungsehen. *Z. Sinnesphysiol.* **48**, 233 (1914). — LIPPITSCH, G.: Die Punktal-Sehprüfscheibe. *Dtsch. opt. Wschr.* **13**, 653 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **19**, 425. — LITOWSKI, J. u. A. LJINA: Warum ist die binokulare Sehschärfe höher als die monokulare? *Russk. oftalm. Ž.* **11**, 79 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **23**, 562. — LO CASCIO, G.: Su di alcune particolarità nell'esame dell'acutezza visiva indiretta. *Ann. Fac. Med. Perugia* **30**; *Boll. accad. med.* **115** (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **20**, 447. — LO CASCIO, G. e GIANNANTONI: Ricerche sulla visione in vicinanza dei miopi. *Ann. Ottalm.* **56**, 210 (1928). — LOESER: Das Verhalten der Sehschärfe in farbigem Licht. *Graefes Arch.* **69**, 486 (1909). — LÖHLE, F.: Vergrößerung und Nachtsicht. *Z. Physik.* **48**, 80 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **20**, 459. — LÖHLEIN, W.: (a) Über die Tragweite zuverlässiger Sehschärfebestimmungen. *Ber. 42. Verslg. dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg* **1920**, 258. (b) Bilderssehprobetafel für Kinder, 3. Aufl. München: J. F. Bergmann 1927. (c) Bilderssehprobe für die Nähe für Kinder und Analphabeten. 3 Tafeln mit Bildern, SNELENSCHEM Haken und LANDOLTSCHEN Ring. Zur Bestimmung der Visuswerte von 0,04 bis 0,2 bei einem Leseabstand von 30 cm. München: J. F. Bergmann 1930. *Ber. 48. Verslg. dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg* **1930**, 314. — LÖHLEIN, W. u. H. GEBB: Zur Frage der Sehschärfebestimmung. *Arch. Augenheilk.* **65**, 69 u. 189 (1910). — LÖHLEIN, W., W. RICHTER u. G. SCHWARZ: Untersuchungen über die Sehschärfebestimmung bei kleinen Kindern mit besonderer Berücksichtigung der Bedeutung psychischer Faktoren. *Graefes Arch.* **102**, 146 (1920). — LÖHNER, L.: Die Sehschärfe des Menschen und ihre Prüfung. Leipzig u. Wien 1912. — LÖWENSTEIN, A.: Über den Einfluß einseitiger Beschränkung des Lichteinfallens auf die Sehschärfe. *Graefes Arch.* **105**, 844 (1921). — LUCKIESH, M.: Licht und Arbeit. Betrachtungen über Qualität und Quantität des Lichtes und seinen Einfluß auf wirkungsvolles Sehen und rationelle Arbeit. *Dtsch. Bearbeitung v. RUD. LELLEK.* Berlin: Julius Springer 1926. — LYTCHOE, R. J.: Reports of the committee upon the physiology of vision. I. Illumination and visual capacities. (A review of recent literature.) *Med. research council Nr. 104.* London: His Majesty's stat. office 1926. Ref. Zbl. Ophthalm. **18**, 162.

MAZZUCCONI, M.: L'acuità visiva in rapporto dell'illuminazione. *Arch. ottalm.* **35**, 49 (1928). — MEISLING: Eine Sehprobetafel für kleinere Kinder. *Ophthalm. Ges., Sitzg. 14. Dez. 1919; Hosp.tid. (dän.)* **63**, 20 (1920). Ref. Zbl. Ophthalm. **4**, 18. — MORAD, J.: Über die Abhängigkeit der Sehschärfe bei Medientrübungen vom Adaptationszustande. *Z. Augenheilk.* **59**, 344 (1926). — MUTCH, J. R.: Visual acuity. How it is measured and what it tells us. *Optician* **75**, 149 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 474.

NECROUX, A.: Notes sur les échelles d'acuité — Echelle exponentielle du Dr. DUBAR. *Rev. d'Opt.* **6**, 68 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **18**, 534. — NIEDEN, A.: Schriftproben zur Bestimmung der Sehschärfe, 5. Aufl. Herausgeg. von E. HUMMELSHEIM, München: J. F. Bergmann 1925. — NOISZEWSKI, C.: Bestimmung der Sehschärfe für Erkennungsvermögen und Lokalisationsvermögen. 13. internat. Ophthalm.-Kongr. Amsterdam **1929**. Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 746.

OLSHO, S. L.: A test chart screen and a familiar test chart with letters reoriented. *Amer. J. Ophthalm.* **8**, 192 (1925).

PACALIN, G.: (a) Essai de construction d'une échelle optométrique lumineuse à l'aide d'un écran translucide à éclat uniforme d'après les nouvelles données de la photométrie.

Annales d'Ocul. **163**, 42 (1926). (b) Moyen pratique d'improviser une échelle optométrique lumineuse à éclat uniforme. Clin. ophthalm. **16**, 614 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **19**, 571. — PERCIVAL, S. A. S.: Empfehlenswerte Sehproben für Marine- und Eisenbahnbeamte. 13. internat. Ophthalm.-Kongr. Amsterdam 1929. Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 747. — PERGENS, E.: (a) Über Faktoren, welche das Erkennen von Sehproben beeinflussen. Arch. Augenheilk. **43**, 144 (1901). (b) Analyse der LANDOLTSchen C-Figur zur Messung der Sehschärfe. Klin. Mbl. Augenheilk. **40**, 2, 311 (1902). — PROKSCH: Apparat zur kontinuierlichen Bestimmung der Sehschärfe. Klin. Mbl. Augenheilk. **71**, 241 (1923); Z. Augenheilk. **57**, 472 (1925).

RAPHAEL: Exhibit of a new system of test type illumination. Trans. opt. Soc. Lond. **31**, 164 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 635. — RICCI, E.: (a) Ottometro luminoso centesimale. Ann. Ottalm. **51**, 965 (1923). Ref. Zbl. Ophthalm. **12**, 439. (b) Delle varie applicazioni del mio ottometro luminoso centesimale. Ann. Ottalm. **57**, 688 (1929). — RICCÒ, A.: Relazione fra il minimo angolo visuale e l'intensità luminosa. Ann. Ottalm. **6**, 373 (1877). Auszug daraus: Über die Beziehungen zwischen dem kleinsten Sehwinkel und der Lichtintensität. Zbl. prakt. Augenheilk. **1877**, 122. — ROAF, H. E.: Visual acuity in light of different colours. Proc. roy. Soc. Lond. **106**, 276 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 318. — ROELOFS u. BIERENS de HAAN.: Über den Einfluß von Beleuchtung und Kontrast auf die Sehschärfe. Graefes Arch. **107**, 154 (1922). — ROTH, A.: Sehproben nach SNELLENs Prinzip, 4. Aufl. Leipzig: Georg Thieme 1928.

SABA, V.: Sul diverso comportamento dell'acutezza visiva nella correzione incompleta delle ametropie. Studi sassar. **6**, 485 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 144. — SCHLÄPFER, H.: Bemerkungen zur Methodik der Sehprüfungen in der schweizerischen Armee. Schweiz. med. Wschr. **1929 I**, 380. — SCULLICA, FR.: La visione maculare in condizioni normali e patologiche. Ann. Ottalm. **56**, 779 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 220. — SNELL, A. C.: (a) Mathematical values of the SNELLEN notations. Amer. J. Ophthalm. **7**, 277 (1924). (b) Concerning observations of the sharpness of vision of abnormal eyes when tested at a distance and at near points. Trans. amer. Acad. Ophthalm. a. Otol. **1927**, 164. Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 92. — SROCK, W.: Eine neue Beleuchtung der Sehproben mit der von Zeiß hergestellten Kugelspiegellampe. Klin. Mbl. Augenheilk. **76**, 93 (1926). — SULZER, G. A.: Chart for testing vision of children and adults literate and illiterate. Amer. J. Ophthalm. **5**, 208 (1922). SYDOW, E.: Sehprobenbeleuchtungsapparat für transparente elektrische Beleuchtung. Prospekt 1928/1929.

TAYLOR, A. J. SAVILLE: The scientific illumination of charts used for subjective ocular testing. Optician **73**, 39 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **18**, 533. — THORINGTON, J. MONROE: The mechanism and use of a variable five minute test letter. Amer. J. Ophthalm. **6**, 361 (1923).

UHTHOFF, W.: (a) Über das Abhängigkeitsverhältnis der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität. Graefes Arch. **32**, 1, 171 (1886). (b) Weitere Untersuchungen über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Intensität sowie von der Wellenlänge im Spektrum. Graefes Arch. **36**, 1, 33 (1890).

VLADYČENKIJ, A.: Über die Einheitlichkeit der Untersuchungsmethoden der Sehschärfe. Arch. Oftalm. (russ.) **7**, 181 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 709. — VOM HOFE, C.: Die Bonner Lesetafel. Z. Augenheilk. **53**, 349 (1924).

WEISS, E. (Charlottenburg): Optisch-ophthalmologische Genauigkeit. Verslg dtsch. ophthalm. Ges. **1928**, 399. — WEYMOUTH, F. W., D. C. HINES, L. H. ACRES, J. E. RAAF and M. C. WHEELER: Visual acuity within the area centralis and its relation to eye movements and fixation. Amer. J. Ophthalm. **11**, 947 (1928).

XILO, N.: Nuovo metodo di misura della acutezza visiva a luce decrescente. Bull. Sci. med. Bologna **8**, 403 (1920). Ref. Zbl. Ophthalm. **4**, 404.

ZEISS: (a) Sehprobentafel für Schwachsichtige. Zeiß Med. **150** (1925). (b) Die Punktal-Sehprüfscheibe. Zeiß Med. **44** (1927). — ZYKULENKO, K.: (a) Eine Modifikation der LANDOLTSchen Ringe nebst Bemerkungen über den Einfluß der Irradiation auf dieselben. Russk. oftalm. Ž. **6**, 1142 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **19**, 577. (b) Zur Frage des Minimum cognoscibile. Russk. oftalm. Ž. **9**, 143 (1929). Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 534.

## II. Die Untersuchung des Gesichtsfeldes (Untersuchung der Funktionen der exzentrischen Netzhaut).

Bei der Prüfung der exzentrischen Netzhaut sind streng genommen die gleichen Leistungen zu untersuchen wie bei zentralem Sehen. Die Methodik ist aber zum Teil noch nicht so weit entwickelt und infolge der hier fast durchweg vorhandenen Minderleistung in den Resultaten weniger eindeutig. Die Untersuchung auf zentrale Ausfälle im Gesichtsfeld (zentrale Skotome) gehört dem

Wesen nach in dieses Kapitel. Die zu schildernden Verfahren faßt man unter dem Begriff der Gesichtsfeldprüfung zusammen, wobei meist das monokulare und nur sehr selten das binokulare in Betracht kommt.

Auf der exzentrischen Netzhaut tritt eine Abnahme des räumlichen Auflösungsvermögens neben einer Steigerung des Kontrastes (schnellere lokale Umstimmung) ein. Dies äußert sich in erhöhter Empfindlichkeit für Wahrnehmung kleiner Bewegungen. Es ist deshalb nicht berechtigt, von einem besonderen Bewegungssinne zu sprechen oder, wie KESTENBAUM annimmt, eine Trennung der Außengrenzen des Gesichtsfeldes bezüglich Erkennung von Bewegungen und des Weiß der Perimetermarke vorzunehmen.

In physikalischer Hinsicht ist die Lichtstärke von Bedeutung, die vor allem auch von der Pupillenweite abhängt. Ferner fällt der Umstand ins Gewicht, daß das Auge nicht für den Astigmatismus schiefer Bündel korrigiert ist. Bei Verwendung kleiner Marken kann hierdurch bei der Perimeterprüfung eine Schwellenerhöhung bedingt werden. Auch ist eine Änderung des Winkels gegeben, wenn das Prüfobjekt an einem frontal-parallelen Schirm entlang gezogen wird (Kosinussatz).

In psychologischer Hinsicht ist zu bedenken, daß wir bei Gegenständen, die unser Interesse erregen, gewohnt sind, sie sofort zentral zu fixieren. Die Beurteilung exzentrisch auftauchender Objekte ist deshalb für viele Kranke nicht leicht; oft genug ist ein befriedigendes Resultat nicht zu erreichen. Gelingt es doch mitunter nicht, die Lage des blinden Flecks zu ermitteln.

### 1. Die Untersuchung der exzentrischen Sehschärfe.

Die Abnahme der Sehschärfe mit zunehmender Exzentrizität ist im Beitrag DITTLER erörtert (s. S. 385 in diesem Bande). Eine andere Darstellung findet sich bei TRAQUAIR, der mit verschiedenen großen, weißen Objekten prüfte. Die Linien gleicher Sehschärfe (Isopteren) sind in Abb. 5 (s. S. 386 in diesem Bande) eingetragen. Es handelt sich hier um das Minimum visibile (S. 921). Zur messenden Bestimmung könnte man die üblichen Sehproben verwenden. Ohne sich klar darüber Rechenschaft zu geben, benutzen wir dieses Verfahren bei Patienten mit Verlust des zentralen Sehens. Genaue Angaben erreicht man mittels der Prüfung der sog. Punktsehschärfe (kleine Marken auf weißem oder schwarzem Grunde; analog wie TRAQUAIR). Wenn man wirklich das räumliche Auflösungsvermögen prüfen will, so müßte man den minimalen Abstand zweier Testobjekte (Striche oder dgl.) ermitteln (FREEMANN).

Ältere Angaben gingen dahin, daß mit zunehmender Entfernung die periphere Sehschärfe trotz gleicher Exzentrizität der Objekte abnähme (sog. AUBERT-FÖRSTERSches Phänomen). Wahrscheinlich wirken hier aber die Versuchsbedingungen sehr erheblich mit, so daß diese Erscheinung nicht konstant nachweisbar ist (FREEMANN, SCHWARZ).

### 2. Die Untersuchung des exzentrischen Licht- und Farbensinnes.

Bei der klinischen Prüfung des Licht- und Farbensinnes im monokularen Gesichtsfelde können wir zwei Gruppen von Verfahren unterscheiden, die etwas verschiedenes bezwecken: Die Untersuchung der Außengrenzen des Gesichtsfeldes und diejenige auf inselförmige Ausfälle (Skotome<sup>1</sup> = Dunkelflecke). In beiden Fällen soll sich die Untersuchung auf die Wahrnehmung von Helligkeiten (weiß) und diejenige von (bunten) Farben erstrecken.

#### a) Die peripheren Gesichtsfeldgrenzen<sup>2</sup>.

**Das normale Gesichtsfeld.** Man geht meist davon aus, daß die Grenzen für die Wahrnehmung von Weiß (Helligkeit) einen gewissen Durchschnittswert haben, den man bei der Beurteilung im konkreten Fall zugrunde legt. Auf vielen Gesichtsfeldschemata sind diese als „normal“ angesehene Grenzen eingezeichnet.

<sup>1</sup> σκοτός = Schatten, Dunkelheit.

<sup>2</sup> Grundsätzlich gilt das hier für das periphere Gesichtsfeld. Gesagte auch für die in den übrigen Teilen des Gesichtsfeldes auftretenden Ausfälle (Skotome).

Die nachfolgende Tabelle, die ich KÖLLNER entnehme, unterrichtet über die Resultate verschiedener Untersucher bei Verwendung einer Objektgröße von 10 qmm.

Wie man sieht, weichen die Angaben untereinander zum Teil stark ab, was darauf schließen läßt, daß die Untersuchungsbedingungen trotz Verwendung der gleichen Objektgröße nicht einheitlich waren.

Zweifellos gibt es aber auch nicht unerhebliche individuelle Differenzen, die die Annahme einer „Norm“ bei der Gesichtsfeldprüfung nicht zweckmäßig erscheinen lassen. Das wird von vielen Untersuchern übersehen, die „Einschränkungen“ von einigen Graden schon eine Bedeutung beilegen wollen. Die Feststellung von Mittelwerten (FERREE und RAND) und die der Streuung der Einzelwerte verspricht einen besseren Einblick in die vorkommenden individuellen Variationen. Dagegen scheint die wohl auch geübte Zusammenfassung der in einer beschränkten Anzahl von Meridianen ermittelten Grenzen in einer als repräsentativ geltenden Ziffer auch für das Gesichtsfeld normaler Augen als nicht eindeutig.

Man hat wohl diejenigen Grenzen, die unter optimalen Bedingungen (insbesondere Dunkeladaptation) sich ermitteln lassen, als die absoluten Grenzen des Gesichtsfeldes bezeichnet (LANDOLT), denen die unter gegebenen Bedingungen aufgenommenen relativen Grenzen gegenübergestellt werden. Praktisch spielt diese Unterscheidung keine Rolle.

**Einfluß der Objektgröße.** Auf den Einfluß des Gesichtswinkels, unter dem das Objekt erscheint, ist bereits auf S. 932 hingewiesen. Dieser Faktor ist dann zu berücksichtigen, wenn man das Objekt nicht entlang einem Kreisbogen sondern in einer Fläche bewegt (Kampimetrie). Man mußte streng genommen in diesem Fall die Objektgröße je nach der Exzentrizität ändern.

Nicht von diesem letzten Gesichtspunkte ausgehend, sondern von der Tatsache, daß die exzentrischen Netzhautteile für kleine Objekte weniger empfindlich sind, dementsprechend engere Gesichtsfeldgrenzen resultieren, ist von verschiedenen Autoren (GAUDISSERT, COPPEZ) empfohlen worden, verschieden große Objekte für die einzelnen Zonen zu verwenden. Nach dem Vorgange von CUSHING und WALKER unterscheidet COPPEZ vier Zonen. Die äußerste, von 90—45° reichend, soll mit Objekten von 2,5 : 300 mm geprüft werden (nach GAUDISSERT Objekte unter einem Gesichtswinkel von 15°), die zweite von 45—25° reichend mit Objekten von 25 : 1000 mm (nach GAUDISSERT Gesichtswinkel 8°), von 25 bis 10° mit Objekten von 2,5 : 2000 mm (GAUDISSERT benutzt von 25° bis zum Zentrum Objekte unter 4°). Praktisch ist diese Forderung schon mit Rücksicht auf die verfügbare Zeit nicht leicht zu erfüllen. Man vergleiche für diese Frage auch BEHR, der in pathologischen Fällen Abweichungen von der erwähnten Gesetzmäßigkeit findet und die Untersuchung der zwischen Peripherie und Zentrum gelegenen Gesichtsfeldbezirke, des intermediären Gesichtsfeldes, fordert (Schachtelgesichtsfeld nach BEHR).

**Einfluß der Lichtstärke.** Die Lichtstärke ist gleichfalls von Einfluß. Bei nicht selbstleuchtenden Flächen ist nicht nur die Albedo sondern auch der Winkel, unter dem das Licht das Objekt trifft, maßgebend (Proportional dem Cosinus des Einfallswinkels). Demgemäß wird bei der üblichen Perimetrie bei Tageslicht die Helligkeit und damit der Reizwert in den exzentrischen Teilen des Gesichtsfeldes wesentlich geringer sein als in den zentralen. Sie beträgt z. B. für 60° Exzentrizität nur noch etwa die Hälfte desjenigen bei 90° (senkrechter Lichteinfall am Fixierpunkt des Perimeters). Diese Zahlen gelten für punktförmige Lichtquellen. Die Unterschiede sind kleiner, wenn es sich um beleuchtete Flächen (z. B. Fenster) handelt (C. VON HESS).

Von Einfluß ist auch der Lichtstärkenunterschied zwischen Grund und Objekt. Je größer er ist, um so eher ist das Objekt zu erkennen.

Die anatomischen Verhältnisse der Nachbarorgane (Orbitalrand, Nase) engen die Grenzen ein. Will man diese Faktoren ausschließen, und die Grenzen, die der sehkräftigen Netzhaut entsprechen, feststellen, so hebt man das Oberlid, dreht den Kopf u. dgl. Eine entsprechende Modifikation am MCHARDYSchen Perimeter ist von COMBERG durch Anbringen eines über den Nullpunkt hinausreichenden Bogenstückes hergestellt worden (s. auch LANG).

**Einfluß der Akkommodation.** Die Akkommodation kann von Einfluß sein, weil bei Naheinstellung weiter exzentrisch gelegene Objekte noch zur Abbildung gelangen (HELMHOLTZ); der Einfluß ist aber nicht groß.

Über den der *Presbyopie* haben FERREE und RAND nähere Angaben gemacht.

**Die Refraktion** ist von größerer Bedeutung (USCHAKOFF, s. Tabelle, und neuerdings FERREE und RAND). Darnach würden bei Hypermetropen die Gesichtsfeldgrenzen weiter, bei Myopen enger sein bei sonst gleichen Bedingungen.

	oben	außen	unten	innen
LANDOLT (1900) . . .	56°	93°	65°	60°
V. REUSS (1902) . . .	53,5°	88,5°	70,2°	58,2°
HUMMELSHEIM (1902)	59°	96°	63°	55°
GROENOUW (1911) ..	61°	95°	76°	64°

Bei allen diesen Angaben ist aber zu berücksichtigen, daß auch bei gleicher Refraktion anscheinend eine binominale Streuung stattfindet (FERREE und RAND).

Die Grenzen des Gesichtsfeldes bei den einzelnen Refraktionszuständen nach USCHAKOFF (zit. nach KOELLNER).

Größe Ausdehnung im	horizontalen Meridian bei	E = 142°	kleinste = 137°
„ „	„ vertikalen	„ E = 120°	„ = 114°
„ „	„ horizontalen	„ M = 140°	„ = 100°
„ „	„ vertikalen	„ M = 120°	„ = 92°
„ „	„ horizontalen	„ H = 174°	„ = 147°
„ „	„ vertikalen	„ H = 146°	„ = 123°

**Einfluß der Adaptation.** Das Auge muß bei der Gesichtsfeldprüfung an die Gesamtbeleuchtung des Untersuchungszimmers adaptiert sein. Wenn auch unter gewöhnlichen Verhältnissen die periphere Netzhaut relativ dunkel adaptiert ist, so kann doch nach längerem Dunkelaufenthalt hier eine Empfindlichkeitssteigerung eintreten, so daß die Grenzen andere werden. Im normalen Auge scheint freilich ein Einfluß des Adaptationszustandes nicht vorhanden zu sein (KÖLLNER). In pathologischen Fällen vermögen aber durch die Lichtzerstreuung im Auge weniger weit exzentrisch gelegene, noch funktions-tüchtige Partien erregt zu werden, was zu Fehlern Anlaß geben kann.

**Die Farbengrenzen.** Bei der Untersuchung der Farbengrenzen des Gesichtsfeldes muß in noch höherem Maße als bei der Untersuchung der Weißgrenzen beachtet werden, daß die Minderleistung der Netzhautperipherie nur relativ ist. Bei entsprechender Reizintensität nach Feldgröße, Sättigung, Lichtstärke des farbig wirkenden Reizes ist *bis in die äußerste Peripherie keine Farbenblindheit vorhanden*. Gegenüber immer wiederkehrenden Angaben auch von physiologischer Seite haben auf diesen Punkt neben älteren Untersuchungen von TSCHERMAK kürzlich erst wieder TRAQUAIR, FERREE und RAND u. a. hingewiesen. Die letztgenannten Autoren fanden die Farbengrenzen bei einer Objektgröße von 5° annähernd ebenso weit wie die Weißgrenzen. Es ist also bei den Gesichtsfeldgrenzen für Farben von noch größerer Wichtigkeit als bei denjenigen für Weiß, die Untersuchungsbedingungen genau zu protokollieren.

Die übliche, in den Lehrbüchern meist vorgenommene Gliederung in eine periphere, total farbenblinde Zone, dann in einen Bereich, wo Blau (evtl. Gelb) allein erkannt wird, in eine engere, in der noch Rot, und in eine engste, in der auch Grün wahrgenommen werde, ist somit nur unter gewissen, im Einzelfalle aber nicht näher angegebene oder angebbaren Bedingungen (Feldgröße, Beleuchtungsstärke, Adaptation) richtig.

Gesichtsfeldgrenzen (nach TRAQUAIR).

Ge- sichts- winkel	Ob- jekt mm	Di- stanz mm	Blau				Rot				Grün			
			außen	unten	innen	oben	außen	unten	innen	oben	außen	unten	innen	oben
1·7'	1	2,000	4·4	3·5	4·4	3·2	2	1·8	0·2	1·3	1·6	1·4	1·3	1·3
3·4'	2	2,000	7·3	6·4	7·7	5·3	4	2·4	3·7	3·0	3·8	2·5	3·2	2·5
5·1'	3	2,000	11	11	13	8	6	4·5	6·5	4·2	5	3·0	4·6	3·0
8·6'	5	2,000	17	14	18	12	8	5	8	6	7	4·6	7	5·0
17·2'	10	2,000	27	22	25	20	13	9	13	8	9	7·6	9·7	6·6
34·4'	20	2,000	33	28	32	27	20	13	18	13	15	10	14	9·6
1° 9'	40	2,000	—	—	—	—	32	20	20	19	22	16	17	14
10·4'	1	330	38	16	23	15	13	7	11	8	6	4	6	4
20·8'	2	330	50	20	26	17	22	11	14	11	13	7	10	6
31·2'	3	330	74	29	30	24	42	13	17	15	17	18	12	9
52·0'	5	330	80	33	35	30	53	21	23	22	28	12 <sup>1</sup>	14	12
1° 44'	10	330	87	47	43	37	79	35	29	31	49	16 <sup>1</sup>	21	18
3° 28'	20	330	89	55	46	41	85	46	36	37	65	21	22	21
6° 56'	40	330	92	58	48	43	87	52	41	42	70	30	29	29

<sup>1</sup> Sic!

Auch ist festzustellen, wie schon ältere Untersuchungen von HESS gezeigt haben, daß bei physiologisch gleichwertigen Reizen je zweier Gegenfarben (Rot-Grün, Gelb-Blau) die Gesichtsfeldgrenzen für diese Farbenpaare jeweils zusammenfallen. Hierauf haben neuerdings TRAQUAIR und RÖNNE wieder aufmerksam gemacht. Auch auf die Untersuchungen von ENGELKING und ECKENSTEIN mit sog. peripheriegleichen Farben sei hier hingewiesen.

In der nebenstehenden Tabelle nach TRAQUAIR zeigt sich die Abhängigkeit der Farbegrenzen von der Größe des zur Bestimmung benützten farbigen Feldes.

### b) Physiologische Skotome.

**Der blinde Fleck.** Während der von MARIOTTE 1668 entsprechend der Eintrittsstelle des Sehnerven festgestellte blinde Fleck früher nur physiologisches oder psychologisches Interesse besaß, ist seine Untersuchung im letzten Vierteljahrhundert von größter klinischer Bedeutung für den Ophthalmologen geworden, hängen doch mit ihm die Gesichtsfeldausfälle beim Glaukom zusammen.

Seine normale Lage und Form ist vielfach untersucht worden (ROESSLER, VAN DER HOEVE, BEHRENS u. a.)

VAN DER HOEVE gibt als Mittel von 100 untersuchten Augen, die eine Refraktion von  $-1$  bis  $+1$  dptr zeigen, folgende Werte an:

	Rechts	Links
Horizontaler Abstand vom Mittelpunkt des blinden Fleckes zur Fovea . . . . .	15° 44' 05"	15° 23' 34,5"
Horizontaler Durchmesser des blinden Fleckes . . . . .	5° 39' 55"	5° 45' 55"
Vertikaler Durchmesser des blinden Fleckes . . . . .	7° 20' 49"	7° 31' 40"

Neuere Angaben stammen von INCZE, der namentlich die Unterschiede in der Größe des blinden Fleckes am rechten und linken Auge ermittelte und auch die Variationsbreite in der Größe des blinden Fleckes, die sich als recht erheblich erwies, feststellte:

KATAYAMA findet neuerdings auf Grund von Untersuchungen an 193 Augen, daß der blinde Fleck am häufigsten (72%) elliptische Form zeigt. Er liegt in 85% unterhalb der Horizontalen. Horizontaler und vertikaler Durchmesser verhalten sich im Durchschnitt wie 5,98 : 8,13.

Die Zahlen beweisen, wie groß die Variationsbreite ist und wie erhebliche individuelle Differenzen auch zwischen beiden Augen bei der Bestimmung am Bjerrumschirm zu berücksichtigen sind.

Bemerkenswert ist, worauf EBBECKE u. a. aufmerksam gemacht haben, daß um den blinden Fleck eine funktionsuntüchtigere Zone sich befindet, die z. B. relativ farbenblind ist. Sie wird von TRAQUAIR und BEHRENS anatomisch dadurch gedeutet, daß hier die Netzhautschichten nicht plötzlich alle gleichzeitig aufhören, sondern gegen den Sehnerveneintritt zu allmählich sich verlieren. Die relative Minderempfindlichkeit äußert sich insbesondere bei Prüfung mit kleinen farbigen Feldern u. ä. (BEHRENS, INCZE).

**Skotome durch Gefäßschatten (Angioskotometrie).** Bei der Untersuchung auf pathologische Skotome ist zu bedenken, daß bei Verwendung sehr kleiner Objekte (z. B. bis zu 1 : 200 mm) namentlich im Zusammenhang mit dem blinden Fleck, aber auch, bei entsprechender Aufmerksamkeit des Beobachters, über einen großen Teil des Gesichtsfeldes sich hinziehende schmale Ausfälle, die sich verästeln, nachweisen lassen (s. Abb. 53). Manche Autoren wollen sogar in Abhängigkeit von der geringeren oder größeren Blutfüllung der Gefäße, z. B. durch Stauung, eine Verbreiterung dieser Gefäßschattenskotome konstatiert haben. DYMŠIC hat erst neuerdings wieder darauf aufmerksam gemacht, daß fälschlicherweise durch derartige Gefäßschatten pathologische sog. BJERRUM-Skotome angenommen worden sind, eine Möglichkeit, auf die früher schon C. v. HESS hingewiesen hatte.

	Höchstwert	Mindestwert
Abstand des Innenrandes vom Fixationspunkt . . .	15° 0'	11° 25'
Horizontaler Durchmesser	8° 6'	3° 20'
Vertikaler Durchmesser . . .	8° 40'	4° 41'

## c) Pathologische Gesichtsfeldausfälle.

Bei krankhaften Veränderungen der Netzhaut machen sich die schon im normalen Auge in Betracht kommenden Faktoren oft noch stärker bemerkbar. So kann unter optimalen Bedingungen ein Gesichtsfelddefekt nicht nachweisbar sein, der bei Verminderung der Reizstärke (kleines Objekt, ungesättigte Farbe) manifest wird. Dem entspricht, daß z. B. Weiß, wenn auch als Grau, noch wahrgenommen wird, Farben aber nicht mehr (relative und absolute Gesichtsfeldausfälle, Skotome für Weiß und Farben).

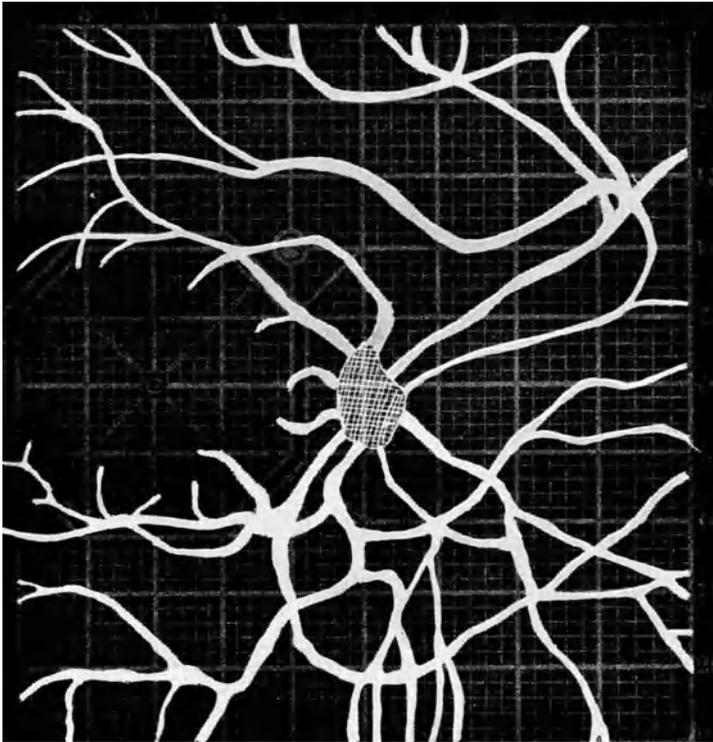


Abb. 53. Blinder Fleck und Gefäßschatten am Kampimeter aufgenommen. (Nach EVANS [d].)

### 3. Die Verfahren der Gesichtsfeldprüfung.

#### a) Die freie Bestimmung der Gesichtsfeldaußengrenzen.

Zur vorläufigen Orientierung kann man sich nach DONDERS dem Patienten gegenüber stellen und ein Objekt z. B. einen Wattebausch, frontal-parallel in einer Ebene zwischen Arzt und Patient von der Peripherie nach dem Zentrum bewegen. Sind die Augen auf gleicher Höhe, so vermag der Arzt leicht Defekte in den Außengrenzen zu kontrollieren. Auf ähnlichem Prinzip beruht die Prüfung des Gesichtsfeldes bei fortgeschrittenen Medientrübungen, wenn man mit der ganzen Hand prüft oder von verschiedenen Seiten Licht hineinwirft (sog. Prüfung der Lichtprojektion). Wegen der diffusen Lichtzerstreuung im Auge bei trübenden Medien ist aber eine gewisse Vorsicht bei der Beurteilung nötig, da z. B. bei Hemianopsie eine Erhellung der sehenden Netzhauthälfte möglich ist. Bei kleinen Kindern und dementen Patienten kann man durch plötzlich seitlich auftauchende Lichteindrücke (Aufblitzen einer Taschenlampe) auf Reaktionen (Kopf- oder Augenbewegungen) achten. Akustische Reize müssen dabei natür-

lich ausgeschlossen werden. Ähnlich kann man bei Aggravation mit plötzlicher Annäherung der Hand von der Peripherie auf reflektorische Blinzelnbewegungen und ähnliches achten.

#### b) Die Untersuchung am Kampimeter.

Exakter sind die Verfahren, bei denen man die Grenzen des peripheren Gesichtsfeldes oder diejenigen eines Skotoms direkt auf einen Schirm projizieren läßt. Der Abstand, in dem der Untersuchte sich von ihm befindet, kann verschieden groß gewählt werden. Auf einer ebenen Fläche ist natürlich nicht das ganze Gesichtsfeld, das ja temporalwärts über  $90^\circ$  hinaus geht, aufzunehmen, und bei gegebener Größe des Schirmes läßt sich nur ein um so kleinerer Teil projizieren, je weiter der Patient von dem Schirm entfernt ist. Mit zunehmender Entfernung vom Fixierpunkt entspricht das gleiche lineare Maß der Tangenten immer kleineren Winkeln. Man muß deshalb zur graphischen Aufzeichnung zweckmäßig die Umrechnung in Grad vornehmen, wenn auch manche Autoren sich mit der kampimetrischen Wiedergabe im Tangentenmaßstab begnügen. Man untersucht in 1 oder 2 m Entfernung, und beschränkt sich dabei auf das zentrale Gesichtsfeld bis zu etwa  $30^\circ$ .

Das Verfahren wird namentlich für Skotome verwendet. Man benutzt eine schwarze Tafel oder einen Vorhang mit einem Fixierpunkt und markiert die Grenzen des Skotoms durch Stecknadeln mit schwarzem Kopf. Zur graphischen Übertragung auf ein Gesichtsfeldschema ist Umrechnung der Tangenten an der Hand einer fertigen Tabelle notwendig (S. 941).

MARX und BIRCH-HIRSCHFELD haben vorgeschlagen, von hinten her das Objekt zu führen, bzw. einen durch den Stoff des Schirms durchscheinenden leuchtenden Lichtpunkt zu verwenden.

Zur *Entlarvung von Simulanten* kann der Kampimeterschirm zweckmäßig benutzt werden. Da mit zunehmendem Abstand auch die Projektion des Gesichtsfeldes auf dem Schirm größer wird, der Simulant aber meist das Umgekehrte annimmt, lassen sich aus den Angaben in dieser Richtung Schlüsse ziehen. GOLDSTEIN und GELB heben allerdings hervor, daß dieses Ergebnis nicht unbedingt auf bewußter Simulation zu beruhen brauche.

#### c) Das Bogenperimeter.

Den Fehler infolge Änderungen des Gesichtswinkels, der am Kampimeter besteht, vermeiden die Bogenperimeter, die in verschiedener Form in Gebrauch sind (s. als Beispiel Abb. 54). Nicht unwichtig ist, daß der Bogen, auf dem das Objekt entlang geführt wird, nicht zu schmal ist, weil sonst Kontrasteinflüsse des Hintergrundes sich einmischen können. Zu deren Vermeidung dient auch die Scheibe von UTHOFF (s. Abb. 54). Bei Prüfung mit farbigen Objekten ist empfohlen worden, sie auf einem mit der Farbe gleich hellen Grau darzubieten.

Zur leichteren Aufzeichnung des Befundes bedient man sich der selbstregistrierenden Perimeter, bei denen entweder die Meridianbezeichnung, wie bei demjenigen von PRIESTLEY SMITH automatisch erfolgt, oder wie bei den voll registrierenden, z. B. bei demjenigen von McHARDY, auch die Breitengrade mittels einer Zahnradübertragung markiert werden. Bei kleinen Handperimetern, die z. B. bei bettlägerigen Patienten verwendet werden, erfolgt die Einzeichnung frei.

Um den Grund, auf dem das Perimeterobjekt sich bewegt, möglichst gleichmäßig zu gestalten, sind Hohlkugelperimeter z. B. von SCHERK empfohlen worden, deren Handhabung aber etwas umständlich ist.

Der Radius für den Bogen des Perimeters soll nicht zu klein sein; er beträgt jetzt meist 333 mm. Mit zunehmender Größe nimmt die Feinheit der Prüfung zu. Kleine Skotome bedürfen oft eines großen Radius (IGERSHEIMER verwendet z. B. ein Hohlkugelperimeter von 1 m Radius).

#### d) Die praktische Ausführung der Perimetrie.

Bei der Untersuchung des Gesichtsfeldes auf Farben muß der Patient die spezifische Qualität erkennen. Bei den invariablen Farbenproben von ENGELKING und ECKSTEIN, die allerdings wenig gesättigt sind, ergibt sich, wie KÖLLNER

hervorhebt, eine gewisse Schwierigkeit insofern, als sie sofort in ihrer spezifischen Farbe wahrgenommen werden. Benutzt man hingegen, wie vielfach üblich ist, ein gelbliches Rot oder ein gelbliches Grün, so erscheint die Farbe zunächst gelblich, dann erst rot bzw. grün; die Umschlagstelle wird von den Untersuchten meist leichter angegeben. Im allgemeinen wird man, um nicht zu starke Ermüdung des Patienten zu bewirken, sich auf die Bestimmung der Außengrenzen für Weiß und eine (meist Rot) oder höchstens zwei Farben (daneben noch Blau) beschränken müssen.

Zur Farbenperimetrie werden als Objekte meist farbige Papiere benutzt, die allerdings noch keineswegs irgendeiner Standardisierung unterworfen sind. Es sind deshalb selbst bei Einhaltung der sonstigen Forderungen, die zum Teil unten angeführt werden, Vergleiche

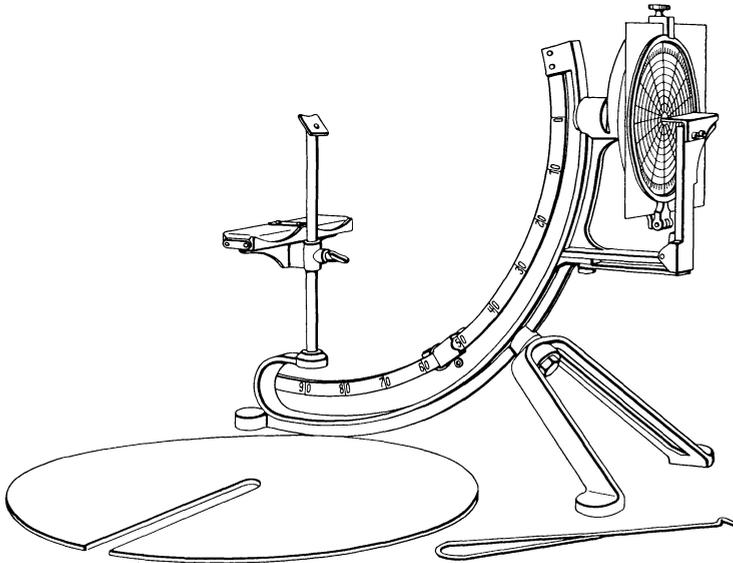


Abb. 54. Selbstregistrierendes Perimeter nach PRIESTLEY SMITH und UHTHOFFSche Scheibe.

zwischen den Ergebnissen verschiedener Beobachter kaum erlaubt. Nur ein und derselbe Untersucher kann solche vornehmen. Zu empfehlen ist auch, um nicht zu enge Grenzen zu erhalten, daß die farbigen Papiere möglichst gesättigt sind; über ihre Invarianz s. oben S. 935.

Manche Autoren empfehlen farbige Tuche (MARX) oder farbige Gläser, die von hinten durchleuchtet werden (HERTEL). Die Lichtstärke kann im zweiten Falle durch Einschaltung von Blenden oder Goldbergkeilen beliebig variiert werden<sup>1</sup>.

**Die Führung der Perimeterobjekte** erfolgt bei den voll selbstregistrierenden Apparaten durch Schnurlauf und Zahnradgetriebe. Das Objekt ist in einem Schieber, der sich mitbewegt, eingeschlossen. Bei nicht tadelloser Schwärzung, wie es namentlich im Zustande einer gewissen Abnutzung des Apparates der Fall zu sein pflegt, ist oft nicht das eigentliche Testobjekt dasjenige, was von dem Untersuchten wahrgenommen wird, sondern die Fassung, einzelne Glanzlichter od. dgl. Hierzu kommt, daß die Schieber sich häufig nicht ganz geräuschlos bewegen, was die Aufmerksamkeit stört, so daß man im allgemeinen, wenn nicht Wert auf besonders schnelle Untersuchung, wie in sehr besuchten Polikliniken, gelegt werden muß, den von Hand bewegten Objekten den Vorzug gibt (so z. B. TRAQUAIR). Diese Methode hat überdies den Vorzug, daß man zur Vermeidung lokaler Umstimmung die Objekte leicht oszillierend hin- und herbewegen kann.

<sup>1</sup> Von RÖNNE wird für die Bestimmung der Rot- und Grüngrenzen gefordert, daß eine Unterscheidung der beiden Farben möglich ist. Zu diesem Zwecke ist das dargebotene Objekt auf der einen Seite rot, auf der anderen grün und kann unbeobachtet gedreht werden. Dabei müßten die Objektfarben so gewählt werden, daß sie gleichwertig sind (s. S. 935, C. v. HESS).

Da die Manipulationen am Perimeter die Aufmerksamkeit des Patienten ebenfalls ablenken können, ist ähnlich wie für das Kampimeter auch für das Perimeter empfohlen worden (GUST, MARX) eine Magnetführung der Objekte anzuwenden oder mit Hilfe eines Leuchtstabes einen Lichtpunkt dem Perimeterbogen entlang zu führen.

Wegen der *Reaktionszeit* des Patienten wie des Arztes verstreicht eine gewisse Zeit von der Apperzeption des Objektes bis zum Anhalten der Bewegung. Sie beträgt etwa  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{3}{4}$  Sekunde. Bei der Registrierung soll dieser Tatsache Rechnung getragen werden.

**Die Anzahl der Meridiane**, in denen die Prüfung vorzunehmen ist, hängt von den Umständen ab. Meist wird es genügen, in jedem Quadranten drei Meridiane, also insgesamt 12 Ablesungen vorzunehmen. Zur exakten Bestimmung besonders wichtiger Teile des Gesichtsfeldes muß man näher beieinander gelegene Meridiane perimetrieren.

Welche **Form** man dem **Prüfungsobjekt** gibt, ist noch nicht geregelt. Man verwendet Quadrate oder Kreisflächen. Die Resultate können je nach der Form verschieden sein, weil beim Kreis zunächst nur viel schmalere Bezirke die zentralwärts gelegenen, farbenempfindlicheren Netzhautpartien treffen, als beim Quadrat, wo eine gleichmäßige „Bildfront“ in Betracht kommt. Bei der Kreisfläche wird daher auf derselben Netzhautstelle die Ausdehnung des Bildes, die zur Einwirkung gelangt, sukzessiv größer, und es kann die lokale Ermüdung sich in anderer Weise bemerkbar machen als beim Quadrat. Auch ist einerseits die gegenseitige Hemmung, andererseits die Unterstützung (Summationswirkung) bei der Erregung benachbarter Netzhautstellen bei beiden Objekten verschieden (s. hierzu auch WENTWORTH S. 25 f).

**Die Beleuchtung am Perimeter.** Für gewöhnlich wird die Perimetrie in einem Raume vorgenommen, der vom Tageslicht durch ein oder zwei Fenster erhellt ist. Das Perimeter wird dann so vor das Fenster gestellt, daß der Untersuchte ihm den Rücken zukehrt.

Auf eine wesentliche Fehlerquelle bei dieser Orientierung hat COMBERG neuerdings hingewiesen. Er stellte messend fest, wie durch den Schatten des Untersuchten oder der Wandteile zwischen zwei Fenstern eine bedeutende Verdunkelung des Objektes in einzelnen Meridianen des Gesichtsfeldes eintritt und hierdurch eine Einengung des Gesichtsfeldes an diesen Stellen oder eine relative Minderempfindlichkeit bestimmter Netzhautbezirke zu Unrecht diagnostiziert werden könne.

Um den Wechsel des Tageslichtes zu vermeiden, hat man die Perimetrie bei künstlicher Beleuchtung vorgenommen. Hier ist es aber wieder schwierig, konstante Adaptation zu erzielen. Überdies wird meist ein gewisser Grad der Dunkeladaptation vorliegen, so daß das Resultat dann mehr das Dunkelgesichtsfeld betrifft (s. S. 934).

Eine gleichmäßige Beleuchtung des Perimeterbogens ließe sich nur von einer allseitig strahlenden Lichtquelle an der Stelle des untersuchten Auges erreichen. Das ist praktisch unmöglich. LAUBER hat eine Lampe über dem Kopf des Patienten angebracht, die die Drehung des Perimeters mitmacht. Andere haben drei oder vier Lampen benutzt; auch Tageslichtlampen sind empfohlen worden.

Die Konstanz der Beleuchtungsverhältnisse für ein und denselben Untersucher ist nach Möglichkeit anzustreben.

**Die Untersuchung des Dunkelgesichtsfeldes** ist namentlich bei Ablatio retinae und anderen Netzhautaffektionen wünschenswert. Auch um störende Nebeneindrücke fernzuhalten, ist dies empfohlen worden. Ein selbstregistrierendes Perimeter mit Lämpchen, denen verschiedenfarbige Gläser vorgesetzt werden, hat COLLIN angegeben. HERTZELL benutzt ein Blitzlichtperimeter, in dem von 10 zu 10<sup>9</sup> kleine, elektrische Lämpchen, die durch Kontakt zum Aufleuchten gebracht werden, befestigt sind. Die Registrierung erfolgt entweder voll automatisch oder durch Abtastung kleiner Leisten, die von 10 zu 10<sup>0</sup> am Perimeterbogen angebracht sind. Meist genügt Aufnahme des Dunkelgesichtsfeldes bei stark herabgesetzter Beleuchtung (Einfallen von Licht durch einen Türspalt des Dunkelzimmers u. ä.).

Feinere Abstufung der Dunkeladaptation läßt sich durch Verwendung TSCHERNINGScher Gläser (s. diesen Band S. 289) oder durch verschieden lichtstarke Lampen (LAUBER) erreichen. Zu empfehlen ist, daß bei der Aufnahme des Dunkelgesichtsfeldes der Arzt nicht einen weißen Mantel sondern einen dunkeln Anzug trägt.

KÖLLNER machte darauf aufmerksam, daß eine Fälschung des Resultates durch Lichtstreuung im Dunkelauge (s. o. S. 934) möglich ist.

Die Untersuchung mittels farbiger Reize, wie sie von physiologischer Seite (WENTWORTH, FERREE und RAND) empfohlen wurde, hat für das Dämmerungssehen keine praktische Bedeutung.

**Der Einfluß der Ermüdung.** Wegen der starken Aufmerksamkeitsbeanspruchung bei der Perimetrie stellt sich oft schnell eine Ermüdung ein. Häufige Wiederholung der perimetrischen Prüfung ist deshalb für das Resultat keineswegs günstig, da für gewöhnlich gute Angaben nur innerhalb zehn Minuten zu erhalten sind.

In Fällen besonders *ausgeprägter Ermüdbarkeit* machen sich aber Einflüsse in dieser Richtung schon sehr schnell geltend. Man hat deshalb auch die Prüfung der Gesichtsfeld-

außengrenzen empfohlen, um die psychische Erschöpfbarkeit zu prüfen. Die bekannte Methode, wie sie namentlich bei Nervös-hysterischen sowie bei den sog. traumatischen Neurosen angewendet wird, ist die Feststellung der Spiralform des Gesichtsfeldes: wenn man die Außengrenzen nicht nur einmal sondern zwei- oder dreimal hintereinander aufnimmt, so stellt sich eine immer mehr zunehmende Verengerung des Gesichtsfeldes ein. Man kann diese auch so prüfen, daß man in einem und demselben Meridian z. B. von temporal her über das Zentrum nach der nasalen Grenze perimetriert und wieder zurückkehrt. Dann erhält man nach jedem Durchführen des Perimeterobjektes eine immer weitere Einengung: sog. *Försterscher Verschiebungstypus*. WILBRAND hat zur Vereinfachung und Abkürzung unter der berechtigten Annahme, daß die psychisch bedingte Einengung in allen Meridianen gleichmäßig und gleichsinnig erfolge, die Untersuchung nur in einem Meridian ausgeführt.

GELB und GOLDSTEIN beziehen derartige Zeichen abnormer Ermüdbarkeit auf Verdunkelungen im peripheren Gesichtsfelde im Sinne von Ringskotomen. Es handelt sich hier aber wohl um psychisch bedingte Aufmerksamkeitsschwankungen u. dgl.

**Die Aufzeichnung der Resultate** ist bis jetzt nicht einheitlich geregelt. Die einfache Registrierung, z. B. der Aufnahme am Kampimeter in verkleinertem Maßstab ist als verzeichnungsfrei wiederholt empfohlen worden. Wenn man aber berücksichtigt, daß die Untersuchung am Kampimeter selbst eine starke projektivische Verzerrung aufweist, so kann das nicht befriedigen.

Deshalb wird jetzt wohl fast allgemein die Registrierung in einem Gesichtsfeldschema, das nach Graden eingeteilt ist, vorgenommen. Man kann hier, wenn man von der kampimetrischen Untersuchung ausgeht, die sog. tangentielle Projektion anwenden, die aber höchstens für Gesichtsfelder von etwa 60° reicht. Dabei kommt jedoch gleichfalls eine starke Verzeichnung namentlich in den seitlichen Teilen zustande, weil gleich großen Unterschieden im Gradabstand verschieden große lineare Strecken im Schema entsprechen.

Ist die Untersuchung des Gesichtsfeldes am Perimeter vorgenommen, so würde es sich darum handeln, eine Hohlkugelfläche in eine Ebene zu projizieren. Einigermaßen exakt läßt sich das nur dadurch erreichen, daß man sich die Hohlkugel längs mehrerer Meridiane aufgeschnitten und jeden der Sektoren dann ausgebreitet denkt. Dieses Verfahren ist aber unübersichtlich. Es wird deshalb das Gesichtsfeldschema jetzt fast immer in äquidistanter polarer Projektion gezeichnet. Dieses Schema ist dem internationalen Ophthalmologenkongreß von der zuständigen Kommission empfohlen worden.

In manchen Gesichtsfeldschemata ist noch durch eine Linie die durchschnittliche Außengrenze des Gesichtsfeldes eingezeichnet. Dies kann zu Irrtümern Anlaß geben; deshalb wird von der genannten Kommission eine derartige Einzeichnung verworfen.

Die Meridianbezeichnung ist bisher ebenfalls nicht übereinstimmend geregelt; die erwähnte Kommission ist mehrheitlich zur Ansicht gekommen, eine Bezeichnung zu wählen, die dem Taboschema entspricht (s. auch GREFF). Dabei wird das Gesichtsfeldschema vom Patienten aus gesehen. Da das Taboschema beiderseits an der linken Seite mit 0° beginnt, so erscheint 0° im Schema bei der Betrachtung von vorn ebenfalls auf der linken Seite. Die Aufzeichnung erfolgt also seitenverkehrt zu der Einzeichnung der Meridiane im Taboschema für die Brillenverordnung. Andere Arten der Registrierung (TRONCOSO, PETER, COWAN) dürften demgegenüber kaum in Betracht kommen.

Bei allen Gesichtsfeldaufnahmen, gleichgültig wie man sie registriert, erhält man, abgesehen von der erstgenannten Methode, niemals die wahre Form des Gesichtsfeldes wiedergegeben, sondern immer nur in verzeichneter Form. Trotzdem ist es erlaubt, wenn man, worauf es bei der Perimetrie vor allem ankommt, die Befunde zu verschiedenen Zeiten vergleicht, Schlüsse auf Fortgang oder Rückgang von Gesichtsfeldausfällen zu ziehen.

Eine Standardisierung der Perimeterprüfung ist vom internationalen Ophthalmologenkongreß empfohlen worden, auf dessen Verhandlungen hier verwiesen sei.

#### e) Die Untersuchung auf Skotome.

Obwohl die Untersuchung auf inselförmige Ausfälle im Gesichtsfeld grundsätzlich in gleicher Weise wie diejenige der Gesichtsfeldaußengrenzen vorgenommen wird, bedarf es doch einiger Angaben bezüglich der praktischen Prüfung, da sie in den letzten Dezennien von ganz besonderer Wichtigkeit geworden ist.

Man kann sich zur Untersuchung der Skotome des *Perimeters* bedienen, wenn man das Probeobjekt von außen her zentralwärts nicht nur bis zum ersten Auftauchen sondern bis zum Zentrum weiterführt. Dann läßt sich mitunter ein Verschwinden innerhalb eines bestimmten Bezirkes oder ein Mitterwerden des Weiß, eine Änderung oder Abschwächung des Farbtones bei farbigen Objekten feststellen. Auf diese Weise werden zweckmäßig weiter exzentrisch gelegene Ringskotome wie bei der Retinitis pigmentosa entdeckt.

Liegen die Gesichtsfeldausfälle dagegen in mehr zentralen Teilen des Gesichtsfeldes, so benützt man besser ein *Kampimeter*. Ob man einen schwarzen Tuchvorhang nach der Empfehlung von BJERRUM, oder eine schwarze Tafel verwendet, ist für die Untersuchung

gleichgültig. Für die Registrierung empfiehlt sich am meisten ein Tuchvorhang, da in diesen Stecknadeln (mit schwarzen Köpfen) bequem eingestochen werden können. Diese sieht der Patient nicht, während er Kreidemarken auf der Tafel wahrnimmt und dadurch in gewissem Grade beeinflusst werden kann. Behelfsmäßige Vorrichtungen sind von LAUBER, RÖSSLER u. a. angegeben worden. Ein wesentlicher Vorteil des Kampimeters liegt darin, daß wir es in verschiedener Entfernung vom Patienten aufstellen können. Da der Gesichtsfeldausfall proportional dem Abstände wächst, so sind kleine Skotome z. B. auf einem Schirm in 2 m Entfernung viel sicherer und genauer zu bestimmen als am Perimeter mit einem Radius von 333 mm.

Freilich wird mit zunehmender Entfernung bei gleicher Größe des Kampimeterschirmes, die natürlich über ein gewisses Maß hinaus aus räumlichen Gründen nicht gesteigert werden kann, der der Untersuchung zugängliche (mittlere) Teil des Gesichtsfeldes immer kleiner. Bei einem Durchmesser des Schirmes von 1 m sind in 1 m Distanz etwa 50°, bei 2 m 28° des Gesichtsfeldes aufnehmbar.

Am Kampimeter kann das Objekt in jeder beliebigen Richtung, mit Vorteil senkrecht zu den Grenzen des Skotoms, geführt werden, entweder vom sehenden Bereich in das Skotom, aber umgekehrt. Im ersten Falle pflegen die Grenzen des Ausfalles kleiner, im zweiten größer zu sein, im wesentlichen wohl bedingt durch die Zeitgleichung. Daß eine relativ minderwertige Zone den absoluten Defekt umgibt, kommt auch bei pathologischen Skotomen vor (KÜMMELL).

Die Größe der Objekte kann man bei der Kampimetrie auf 2 m mit 1 bis 2 mm bemessen, wenn es sich um Zentralskotome handelt; periphere erfordern 1—2 cm Durchmesser. Zur Sicherung der Fixation sind verschiedene Vorrichtungen (Beißbrett von EVANS, stenopäische Lücke von ALAJMO) empfohlen worden. Die Registrierung der Skotome erfolgt in gleicher Weise wie die der Gesichtsfeldaußengrenzen. Die nebenstehende Tabelle gibt nach BJERRUM die Winkelgrade auf 1 und 2 m für jeweils 10 cm lineares Maß am Tangentenschirm.

Da, wie auf S. 937 ausgeführt, mit zunehmender Exzentrizität die Tangenten für gleiche Winkelgrade größer werden, müßten streng genommen jeweils verschiedene Tabellen verwendet werden. Der Fehler ist aber innerhalb des in Betracht kommenden Bereiches nicht allzu groß.

Die Ausmessung und die Registrierung in ein besonderes Schema ist etwas umständlich und zeitraubend. Deshalb ist von FLEISCHER und von MARX eine Einzeichnung der Gradteilung auf der vorderen bzw. Rückseite des Tangentenschirmes angebracht, die die Registrierung vereinfacht. Von MARKS ist auch durch eine Storchschnabelvorrichtung eine automatische Registrierung angegeben worden.

Bezüglich der Art der Einzeichnung der Skotome, ob relativ (einfach schraffiert) oder absolut (gekreuzt schraffiert) besteht noch keine Einheitlichkeit. Auch hier ist vom internationalen Ophthalmologenkongreß Standardisierung empfohlen worden.

**Die Überblicksperimetrie.** Zur schnellen Orientierung über Gesichtsfeldengungen oder das Bestehen von Skotomen hat SALZER ein Perimeter empfohlen, welches, wie Abb. 55 zeigt, aus Kreisen mit Leuchtfarbe auf der Innenseite einer Hohlkugel besteht. Der zentrale Teil kann entfernt werden und gibt dann den Blick auf einen Schirm frei. Auf diesem wird mit Hilfe einer Projektionsvorrichtung ein Punktraster entworfen. Bei genügender Intelligenz vermag der Patient den Ausfall in den peripher gelegenen Teilen unmittelbar wahrzunehmen, vor allem aber in dem feinen Punktraster Defekte zu erkennen. Er kann dann mit einem Stab die Grenzen des Skotoms umfahren. Auf diese Weise ist man schnell darüber unterrichtet, in welcher Gegend man Gesichtsausfälle zu suchen hat, die man darauf noch genauer am Bjerrumschirm ausmessen kann. Durch Vorsetzen z. B. von roten Gläsern ist auf diese Weise auch eine Prüfung auf Farbenskotom möglich.

Zur Untersuchung von Gesichtsfeldausfällen, insbesondere zum Nachweis eines Zentralskotoms bei total Farbenblinden hatte schon HESS anfangs des Jahrhunderts einen ähnlich gebauten Lochschirm, der von hinten durchleuchtet wurde, benutzt.

**Die Skotometer.** Zur Orientierung dienen auch sog. Skotometer, die namentlich zum Nachweis von Zentralskotomen Verwendung finden (BIRCH-HIRSCHFELD, HOLTZ u. a.). Sie bestehen in kleinen weißen oder farbigen Marken, meist auf schwarzem Grund, die dem Patienten in wechselnder Entfernung (in der Regel etwa  $\frac{1}{2}$  m) vorgehalten werden. Er hat dann anzugeben, ob er bei Fixation die Farbe erkennen kann, das Weiß grau sieht usw. Über

Lineares Maß m	Gradzahl 2 m	Gradzahl 1 m
$\frac{1}{10}$	20° 52'	50° 43'
$\frac{2}{10}$	5° 43'	11° 19'
$\frac{3}{10}$	8° 32'	16° 42'
$\frac{4}{10}$	11° 19'	21° 49'
$\frac{5}{10}$	14° 02'	26° 34'
$\frac{6}{10}$	16° 42'	30° 58'
$\frac{7}{10}$	19° 17'	34° 59'
$\frac{8}{10}$	21° 49'	38° 40'
$\frac{9}{10}$	24° 14'	41° 59'
$\frac{10}{10}$	26° 34'	45° 00'
$\frac{11}{10}$	28° 49'	47° 43'
$\frac{12}{10}$	30° 58'	50° 21'

die Größe des Ausfalles ist mit diesen Methoden natürlich etwas Sicheres nicht zu sagen, wenn auch gewisse Anhaltspunkte sich in der Weise gewinnen lassen, daß man das farbige Objekt erst in die Visierlinie des Kranken und dann parazentral an verschiedene Stellen des Gesichtsfeldes bringt.

**Die binokularen Methoden.** Ist das zentrale Sehen auf einem Auge infolge absoluten Skotoms verloren gegangen oder durch ein relatives geschwächt, so kann die Fixation mit diesem Auge Schwierigkeiten machen. Infolgedessen ist die exakte Bestimmung der Skotomgrenzen erschwert oder unmöglich. Während man sich in solchen Fällen bei der Perimetrie der Außengrenzen so helfen kann, daß man ein ringförmiges Fixierzeichen gibt und den Patienten veranlaßt, in die Mitte dieses Ringes zu blicken, d. h. den Ring mit exzentrischen Netzhautteilen zu betrachten, und dadurch eine ziemlich gesicherte Ruhigstellung des Auges erzielt, ist dieses bei der Prüfung des zentralen Skotoms selbst natürlich nicht möglich. Am Bjerrumschirm erhält man mitunter freilich leidliche Resultate, namentlich bei Prüfung auf größere Distanz.

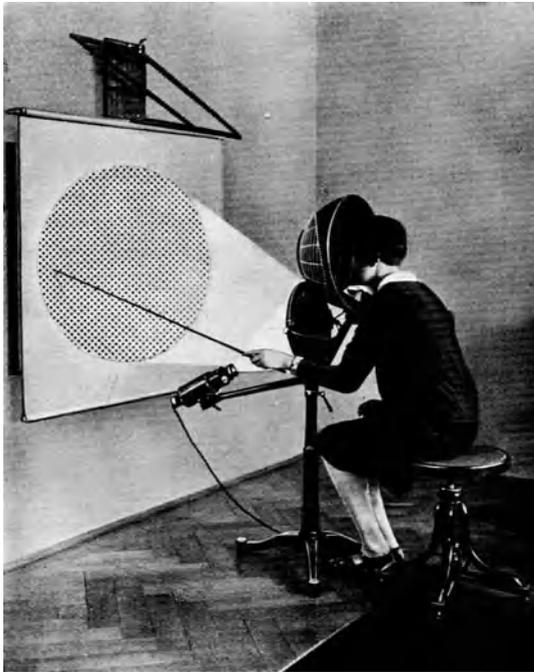


Abb. 55. Kampimeter nach SALZER zur Überblicksperimetrie.

Zweckmäßig bedient man sich aber der binokularen Methoden. Man kann komplementär gefärbte Gläser benutzen oder die Fixation mit Hilfe einer Röhre, die man dem fixierenden Auge vorsetzt, zu erreichen suchen. Man prüft das eine Auge mit einem farbigen (z. B. roten) Objekt und setzt vor das andere ein komplementär zu jenem gefärbtes (also grünes) Glas. Das mit dem roten Glase bewaffnete Auge sieht bei richtiger Abstimmung der Gläserfarbe das Objekt nicht, sondern nur das mit dem grünen versehen. Der Nachteil liegt darin, daß die Lichtstärke der Objekte durch die Absorption in den farbigen Gläsern herabgesetzt wird und eine Prüfung mit weißen Objekten unmöglich ist.

Zweckmäßig ist deshalb die Prüfung mittels des Stereoskops nach HARTZ. Hier wird an einem Stereoskop eine Gesichtsfeldtafel mit zwei Rechtecken oder Kreisen dargeboten; der Patient wird aufgefordert, den Durchschnittspunkt der Diagonalen bzw. Radien zu fixieren. Man bringt dann kleinste, an schwarzem Metallstab befestigte, farbige Objekte in die zentralen Bezirke bzw. in den Bereich des Skotoms, wobei die Fixierung durch das gesunde Auge gewährleistet wird. Voraussetzung ist, daß kein Strabismus besteht. In diesem Fall müßte die Lage des Fixierpunktes entsprechend geändert werden, was das Verfahren aber sehr kompliziert. Ein Übelstand besteht darin, daß die Aufnahme nur bis zu etwa  $10^{\circ}$  Exzentrizität geht. Die Aufzeichnung erfolgt in besondere, dem Apparat beigegebene Schemata.

Andere Methoden (stenopäisches Loch) sind von MENESTRINA, HARMAN, COWAN und MARCOVE u. a. empfohlen worden.

Ein objektives Verfahren zum Nachweis von Skotomen hat BARBIERI in der Prüfung der pupillomotorischen Erregbarkeit angegeben. Wegen der diffusen Lichtzerstreuung ist es nicht zuverlässig, da es nur im Dunkeln ausführbar ist.

Ein Verfahren zur Prüfung exzentrischer Netzhautteile für besondere Zwecke ist die Lochmethode von HERING. Sie besteht darin, daß man auf einem grauen, schwarzen oder weißen Feld (Papier od. dgl.) ein Loch (von verschiedener Größe) ausstanzt und in diesem nur von unten her anders gefärbte Papiere, oder rotierende Farbkreiselscheiben darbietet. Wird dann unter Einhaltung eines bestimmten Winkels der Exzentrizität beobachtet, so läßt sich der minimale Reizunterschied für die jeweilige periphere Netzhautstelle, z. B. gegenüber dem grauen Umfeld feststellen, der notwendig ist, um den „Flecken“ eben zu erkennen.

Für die Untersuchung des exzentrischen Farbensehens insbesondere bei angeborener Farbensinnstörung ist diese Methode von C. v. HESS ausgebaut worden (s. Abb. 18, S. 343 in diesem Bande).

#### f) Die Prüfung der Richtungslokalisierung.

Von KÖLLNER und dann von WESSELY ist nachgewiesen worden, daß anscheinend ein Überwiegen der nasalen Netzhauthälfte gegenüber der temporalen besteht, wenn eine gleichmäßige Belichtung der ganzen Retina z. B. durch die geschlossenen Lider hindurch erfolgt. Demgemäß findet dabei eine Lokalisation des Lichtscheines mehr temporalwärts statt.

KÖLLNER hat zur Prüfung der Richtungslokalisierung im peripheren Sehen einen besonderen Apparat angegeben, der an ältere Modelle von LANDOLT, BEST und A. BIELSCHOWSKY anknüpft (s. Abb. 40 u. 41 auf S. 573 in Bd. 3 dieses Handbuches). Als klinische Untersuchungsmethode kommt sie vorwiegend bei Störungen der Motilität in Betracht. Die Frage ist in Bd. 3 von CORDS behandelt worden (vgl. dazu auch FUNAISHI, WEGNER, KÖLLNER).

Über die Prüfung der Lichtlokalisierung, der sog. Projektionsprüfung ist auf S. 936 das Nötige gesagt worden. Verwendung verschieden intensiven Lichtes ist notwendig; die benutzte Lichtstärke ist anzugeben.

### Literatur.

#### *Die Untersuchung des Gesichtsfeldes.*

AUBERT: Über die Grenzen der Farbenwahrnehmung auf den seitlichen Teilen der Retina. Graefes Arch. **3 II**, 38 (1857). — AUBERT, H. u. R. FOERSTER: Beiträge zur Kenntnis des indirekten Sehens. Graefes Arch. **3 II**, 1 (1857).

BEHR, C.: Die Untersuchung des intermediären Gesichtsfeldes. Ber. 43. Verslg dtsch. ophthalm. Ges. Jena **1922**, 216. — BERENS, C.: Examination of the blind spot of Mariotte. Trans. amer. ophthalm. Soc. **21**, 271 (1923). — BIRCH-HIRSCHFELD: Kleiner Apparat zur Feststellung zentraler Skotome, der aus zwei gegeneinander drehbaren Scheiben besteht. Ber. 38. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1912**, 350. — BJERRUM, J.: Ein Zusatz zur gewöhnlichen Gesichtsfelduntersuchung und über das Gesichtsfeld bei Glaukom. Verh. 10. internat. med. Kongr. Berlin **4 II**, 66 (1890).

COLLIN: Zur Methodik klinischer Farbensinnuntersuchungen. Z. Augenheilk. **15**, 305 (1906). — COMBERG, W.: (a) Zur Untersuchung des peripheren Gesichtsfeldes. Ber. dtsch. ophthalm. Ges. **42**, 268 (1920). (b) Einrichtung des McHARDYSchen Perimeters zur Aufnahme des Totalgesichtsfeldes. Klin. Mbl. Augenheilk. **73**, 37 (1924). — COWAN, A. and M. E. MARCOVE: A method of mapping scotomata with tangent screen by binocular fixation. Amer. J. Ophthalm. **12**, 656 (1929). — CUCCHIA, A.: La visione indiretta perimaculare in condizioni fisiologiche. Ann. Ottalm. **56**, 256 (1928).

DAVIDSON, M.: Application of the bar-reader to campimetry, stereocampimetry, and other purposes. Amer. J. Ophthalm. **11**, 966 (1928). — DEICHLER, L. W.: The "triple light" as a practical method of perimetric illumination. Amer. J. Ophthalm. **11**, 803 (1928). — DOWNEY, J. W.: A selfregistering campimeter and scotometer. Amer. J. Ophthalm. **6**, 281 (1923). — DYMŠIC, L.: Über die Bedeutung der Kampimetrie für die Funktionsuntersuchung des Auges im physiologischen und pathologischen Zustand. Arch. Oftalm. (russ.) **6**, 336 (1929). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 653.

EBBECKE, U.: Der farbenblinde und schwachsinnige Saum des blinden Fleckes. Pflügers Arch. **185**, 173 (1920). Ref. Zbl. Ophthalm. **4**, 466 (1921). — ENGEL, SAM: Störungen des Gesichtsfeldes. Fortschr. Neur. **1931**, 388. (Literatur.) — ENGELKING, E. u. A. ECKSTEIN: Peripheriegleiche und invariable Perimeterobjekte zur Vereinfachung und Verbesserung der Farbenperimetrie. Freiburg i. B.: SPEYER u. KAERNER 1920. Ref. Zbl. Ophthalm. **4**, 293. — EPPENSTEIN, A.: Zur Untersuchung des Gesichtsfeldzentrums und des blinden Fleckes mittels des „Universalapparates“. Klin. Mbl. Augenheilk. **60**, 620 (1918). — EVANS, J. N.: (a) The campimeter recording and plotting chart. Amer. J. Ophthalm. **7**, 691 (1924). (b) A standardized test object for visual field studies electric illumination. Amer. J. Ophthalm. **7**, 854 (1924). (c) The prism scotometer. Amer. J. Ophthalm. **8**, 60 (1925). Ref. Zbl. Ophthalm. **15**, 471. (d) A contribution to the study of angioscotometry. Brit. J. Ophthalm. **11**, 369 (1927). (e) An interpretation of defects in the visual field. Arch. of Ophthalm. **3**, 153 (1930).

FENTON, R. A.: Screen celluloid scotometer. Amer. J. Ophthalm. **6**, 916 (1923). — FERGUS, F.: The recording of perimetric tracings. Brit. med. J. **1927**, Nr 3444, 52. Ref. Zbl. Ophthalm. **18**, 534. — FERRE and RAND: (a) An optic room and a method of standardizing its illumination. Psychologic. Rev. **19**, 364 (1913). (b) The campimeter, an illuminated perimeter with campimeter features. Trans. amer. ophthalm. Soc. 56. ann. meet. **18**, 164

(1920). Ref. Zbl. Ophthalm. **5**, 445. (c) A new laboratory and clinic perimeter. J. of exper. Psychol. **5**, 46 (1922). Ref. Zbl. Ophthalm. **9**, 189. (d) Perimetry: Variable factors influence the breadth of the color fields. Amer. J. Ophthalm. **5**, 886 (1922). (e) The effect of variations of the intensity of the illumination of the perimeter arm on the determination of the color fields. Psychologic. Rev. **29**, 457 (1922). Ref. Zbl. Ophthalm. **11**, 264. (f) Effect of size of stimulus on size and shape of color fields. Amer. J. Ophthalm. **10**, 399 (1927). (g) Size of stimulus and brightness of preexposure and of surrounding field in relation to the extent and shapes of the color fields. J. gen. Psychol. **4**, 15 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **25**, 206. (h) The effect of relation to Background on the size and shape of the form field for stimuli of different sizes. Amer. J. Ophthalm. **14**, 1018 (1931). — FERREE, C. E., G. RAND and M. M. MONROE: (a) Studies in perimetry. I. Preliminary work on a diagnostic scale for the form field. Amer. J. Ophthalm. **9**, 95 (1926). (b) Studies in perimetry: II. Preliminary work on a diagnostic scale for the color fields. Amer. J. Ophthalm. **12**, 269 (1929). (c) Studies in perimetry: III. Errors of refraction, age and sex in relation to size of the form field. Amer. J. Ophthalm. **12**, 659 (1929). (d) Errors of refraction, age and sex in relation to the size of the form field and preliminary data for a diagnostic scale. Bull. Hopkins Hosp. **45**, 295 (1929). Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 847. — FERREE, C. E., G. RAND and L. L. SLOAN: Sensitive methods for the detection of bjerrum and other scotomas. Arch. of Ophthalm. **5**, 224 (1931). Ref. Zbl. Ophthalm. **25**, 208. — FREEMAN, E.: Untersuchungen über das indirekte Sehen. Psychol. Forschg. **14**, 332 (1931). — FOERSTER, R.: Das Perimeter. Sitzgsber. ophthalm. Ges. Heidelberg **1869**, 411. — FUNAISHI, SH.: Über die falsche Lichtlokalisation bei geschlossenen Lidern sowie über das subjektive Zyklopenauge. Graefes Arch. **119**, 227 (1927).

GAUDISSERT, P.: (a) La périmétrie quantitative. Annales d'Ocul. **163**, 730 (1926); J. de Neur. **27**, 771 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **19**, 570. (b) La périmétrie quantitative. II. La périmétrie avec index colorés. Annales d'Ocul. **166**, 177 (1929). — GOLDSTEIN u. GELB: Das röhrenförmige Gesichtsfeld nebst einer Vorrichtung für perimetrische Gesichtsfelduntersuchungen in verschiedener Entfernung. Neur. Zbl. **1918**, Nr. 22. Ref. Jber. Ophthalm. **46 I**, 139 (1918). — GREEFF, R.: (a) Zur Vereinheitlichung der Gesichtsfeldaufnahmen. Ber. 46. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1927**, 167. (b) Zur Vereinheitlichung der Achsenbezeichnungen und der Gesichtsfeldaufnahmen. Klin. Mbl. Augenheilk. **81**, 851 (1928). — GUIST, G.: Über ein selbstregistrierendes Magnetperimeter. Z. Augenheilk. **55**, 209 (1925). — GROETHUYSEN, G.: Über Perimetrie. Jkurse ärztl. Fortbildg **16**, 6 (1925).

HAITZ: (a) Binokulare Untersuchung des Gesichtsfeldzentrums mittels des Stereoskops. Klin. Mbl. Augenheilk. **42 II**, 321 (1904). (b) Tafeln zur binokularen Untersuchung des Gesichtsfeldzentrums mittels des Stereoskops. 3. Aufl. München: J. F. Bergmann 1923. — HARMAN, N. BISHOP: (a) A direct record scotometer for investigating the central field of vision. Brit. J. Ophthalm. **5**, 175 (1921). (b) A detachable arm for converting the stand of the direct record scotometer into a full field portable perimeter. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **41**, 362 (1921). (c) An instrument designed to facilitate the taking of fields of vision where there is a central scotoma: The scotograph. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **48**, 241 (1928). — HAYCRAFT, J. B.: The color-blind margin of the blind spot, and the scotometer. J. of Physiol. **40**, 492 (1910). — HERTEL, E.: Über Perimetrie und Perimeter. Ber. 44. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1924**, 45. — HERTZELL: Das Blitzlichtperimeter. Berl. klin. Wschr. **1909**, 2147. Ref. Nagels Jber. **1909**, 34. — HESS, C. v.: a) Über den Farbensinn bei indirektem Sehen. Graefes Arch. **35 III**, 1 (1889); Ber. 20. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1889**, 24. (b) Bemerkungen zur Untersuchung auf zentrales Skotom. Arch. Augenheilk. **52**, 388 (1905). (c) Untersuchungen über die Methoden der klinischen Perimetrie. Arch. Augenheilk. **84**, 1; **85**, 1 (1919). (d) Einfache Apparate zur Untersuchung des Farbensinnes und seiner Störungen. Arch. Augenheilk. **85**, 222 (1920). (e) Die angeborenen Farbensinnstörungen und das Farbengesichtsfeld. Arch. Augenheilk. **86**, 317 (1920). — HOEVE, J. v. D.: Die Größe des blinden Fleckes und seine Entfernung vom Fixationspunkte in emmetropen Augen. Arch. Augenheilk. **70**, 155 (1911). — HOLTZ, S.: Meine Drei-Objektenprobe für zentrales Farbenskotom auch bei Rotgrünblinden oder anderen Farbensinnabnormen. Klin. Mbl. Augenheilk. **67**, 166 (1921). — HUMMELSHEIM, E.: Die Bedeutung der Objektgröße für die Ausdehnung der Gesichtsfeldgrenzen. Klin. Mbl. Augenheilk. **40 II**, 372 (1902).

IGERSHEIMER, J.: Ein neuer Weg zur Erkenntnis krankhafter Vorgänge in der Sehbahn. Ber. 40. Verslg ophthalm. Ges. Heidelberg **1916**, 343. — INCZE, A.: Über die richtige Bestimmung des blinden Fleckes. Arch. Augenheilk. **99**, 670 (1928).

KATAYAMA, Y.: Beiträge zur physiologischen Beschaffenheit des blinden Fleckes. Acta Soc. ophthalm. jap. **34**, 1615 u. dtsh. Zusammenfassung **1930**, 161. Ref. Zbl. Ophthalm. **25**, 122. — KESTENBAUM, D. A.: Zur Perimetrie. Ber. 44. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. **1924**, 37. — KLEITMAN, N. and Z. A. BLIER: Color and form discrimination in the periphery of the retina. Amer. J. Physiol. **85**, 178 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **20**, 771. —

KÖLLNER: (a) Der blinde Fleck im binokularen Sehfeld. Arch. Augenheilk. **71**, 306 (1912). (b) Ein neues Gesetz der Richtungslokalisation und seine Bedeutung für die Frage der Angewöhnung an das Sehen Einäugiger. Ber. 42. Verslg dtsch. ophthalm. Ges. Heidelberg **1920**, 142. (c) Das gesetzmäßige Verhalten der Richtungslokalisation im peripheren Sehen nebst Bemerkungen über die klinische Bedeutung ihrer Prüfung. Pflügers Arch. **184**, 134 (1920). Ref. Zbl. Ophthalm. **4**, 399. (d) Die klinische Prüfung der Richtungslokalisation im peripheren Sehen, ihre Ergebnisse bei Einäugigen, sowie über die phylogenetische Bedeutung des Lokalisationsgesetzes. Arch. Augenheilk. **88**, 117 (1921). (e) Die Untersuchung des indirekten Sehens. GRAEFE-SÄEMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde 3. Aufl., Untersuchungsmethoden, Bd. 3, S. 394. 1925. — KÜMMELL, R.: Zum Nachweis von Skotomen. Z. Augenheilk. **48**, 343 (1922).

LANG, B. T.: (a) Perimetry. The methods, means, and manner of determining the size of a field or scotoma. Brit. J. Ophthalm. **4**, 489 (1920). (b) Scotometry. Brit. J. Ophthalm. **5**, 157 (1921). (c) The unobstructed field in perimetry. Trans. ophthalm. Soc. U. Kindg. **43**, 330 (1923). — LAUBER, H.: (a) Ein Normalperimeter und die Grundlagen zur Vereinheitlichung der Gesichtsfeldaufnahmen. Ber. 45. Verslg dtsch. ophthalm. Ges. Heidelberg **1925**, 80. (b) Die Technik der Untersuchung des extramakularen Sehens. ABDERHALDENS Handbuch Abt. V: 6. Teil, H. 7, S. 969. Berlin u. Wien 1927. (c) Raumsparende Anbringung des BJERRUMSchen Vorhanges und Verbesserung des ELLIOTSchen Skotometers. Klin. Mbl. Augenheilk. **83**, 310 (1929). — LAUBER, H., H. M. TRAQUAIR u. PETER C. LUTHER: Vereinheitlichung der Perimetrie. 13. Concilium Ophthalmologicum 1929, Hollandia. — LLOYD, RALPH J.: (a) The stereoscopic campimeter slate. N. Y. med. J. **112**, 944 (1920). (b) Visual field studies. N. Y. techn. Press 1926.

McHARDY, MACD.: A new selfregistering perimeter. Ophthalm. Rev. March. **1882**. — MARKS, E. O.: A recording scotometer. Brit. J. Ophthalm. **5**, 170 (1921); Amer. J. Ophthalm. **4**, 521 (1921). — MARX, E. O.: (a) A few notes regarding the determination of the limits of the visual field. Brit. J. Ophthalm. **4**, 459 (1920). (b) A recording scotometer. Brit. J. Ophthalm. **5**, 170 (1921). — MENESTRINA, G.: Di un espediente di tecnica di perimetria binoculare per la determinazione del campo visivo negli occhi privi della visione centrale (quando questa sia presente nell'occhio non in esame). Giorn. Ocul. **7**, 1 (1926). Ref. Zbl. Ophthalm. **16**, 808. — MORTON, H. McI.: Historical and other notes regarding the perimeter and perimetry. Amer. J. Ophthalm. **6**, 740 (1923).

NÄGEL: In TIGERSTEDTS Handbuch der physiologischen Methodik, Bd. 3, 2. Leipzig 1909.

PETER, L. C.: (a) Uniformity in the essentials of perimetry. Amer. J. Ophthalm. **3**, 584 (1920). (b) Newer methods in perimetry and the character of studies for which they are especially adapted. Brit. J. Ophthalm. **4**, 441 (1920). (c) Standardization of perimetric technic. Internat. Congr. ophthalm. Washington **1922**, 615. Ref. Zbl. Ophthalm. **10**, 126. (d) The principles and practice of perimetry. 2. Ed. Philadelphia and New York 1923. (e) Anatomic method of recording fields in perimetry. Trans. Amer. ophthalm. Soc. **23**, 144 (1925).

RICCI, E.: Metodi ed apparecchi scotometrici. Boll. Ocul. **2**, 603 (1923). — RÖNNE, H.: (a) Über klinische Perimetrie. Arch. Augenheilk. **87**, 137 (1921). (b) On visual field charts. Acta ophthalm. (Københ.) **2**, 164 (1924). — RÖSSLER, FRITZ: Die Höhenstellung des blinden Flecks in normalen Augen. Arch. Augenheilk. **86**, 55 (1920).

SALZER, F.: (a) Die vereinfachte Gesichtsfeldaufnahme nach BJERRUM und ihre praktische Bedeutung. Ber. 44. Verslg dtsch. ophthalm. Ges. **1924**, 47. (b) Prinzipielles zur Perimetrie. 89. Verslg Ges. dtsch. Naturforsch. u. Ärzte, Sekt. Augenheilk., Düsseldorf, 19.—26. Sept. **1926**. Ref. Zbl. Ophthalm. **17**, 430. (c) Überblicksperimetrie. Klin. Mbl. Augenheilk. **78**, 6 (1927). (d) Weiteres zur Überblicksperimetrie. Klin. Mbl. Augenheilk. **79**, 813 (1927). (e) Verbesserter Überblicksperimeter. 13. internat. Ophthalm.-Kongr. Amsterdam, Den Haag, Scheveningen, 5.—13. Sept. **1929**. Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 735. (f) Ergebnisse der Überblicksperimetrie. Klin. Mbl. Augenheilk. **85**, Beilage. 34 (1930). — SCHOENBERG, M. J.: Prismoskopische Perimetrie. Eine neue Methode zur Aufzeichnung paracentraler Skotome und anderer Defekte des Gesichtsfeldes. Klin. Mbl. Augenheilk. **83**, 533 (1929). — SHAHAN, W. E.: (a) The standardization of the illumination of test-cards and perimeters. Brit. J. Ophthalm. **4**, 420 (1920). Ref. Zbl. Ophthalm. **4**, 117. (b) Normal stereoperimetry. Trans. Sect. Ophthalm. amer. med. Assoc. **1924**, 199. Ref. Zbl. Ophthalm. **14**, 550. — STARGARDT: Die Untersuchung des Gesichtsfeldes bei Dunkeladaptation mit besonderer Berücksichtigung der Solutio retinae. Klin. Mbl. Augenheilk. **44 II**, 353 (1906).

TRAQUAIR, H. M.: An introduction to clinical perimetry. London 1931. — TRONCOSO, M. URIBE: (a) A new anatomical notation of the visual field. Brit. J. Ophthalm. **10**, 280 (1926). (b) Über eine neue Methode der Gesichtsfeldaufzeichnung. An. Soc. mexic. Oftalm. y Otol. **6**, 59 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **18**, 855.

VICENTIS, G. DE: Perimeter mit großem und veränderlichem Radius (Megaperimeter). 13. internat. Ophthalm.-Kongr. Amsterdam, Den Haag, Scheveningen 5.—13. Sept. **1929**. Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 734.

WALKER, C. B.: The time element in quantitative perimetry. Arch. Surg. 18, 1036 (1929). Ref. Zbl. Ophthalm. 22, 63. — WEGNER, W.: Über die funktionelle Überlegenheit der nasalen Netzhauthälften. Klin. Mbl. Augenheilk. 79, 549 (1927). — WENTWORTH, H. A.: A quantitative study of achromatic and chromatic sensitivity from center to periphery of the visual field. Psychologic. Monogr. 40, Nr 3 (1930). — WEVE, H.: Eine einfache Art von Campimetrie. Nederl. Tijdschr. Geneesk. 69, 1658 (1925). Ref. Zbl. Ophthalm. 15, 470.

ZADE: Ringskotome im Telegraphendienst. Z. Augenheilk. 43, 681 (1920). — ZEEMANN, W. P. C.: Zur Methodik der Gesichtsfelduntersuchung. Arch. Augenheilk. 96, 1 (1925).

### III. Die Untersuchung der sensiblen Funktionen.

Die Untersuchung der Sensibilität des Auges wird bisher meist noch in sehr unexakter Weise vorgenommen.

**1. Die Untersuchung der Lidhaut.** Bei der Prüfung der Empfindlichkeit der Lidhaut bedient man sich eines Wattetupfers, den man in eine Spitze auszieht; mit dieser wird dann die Haut an verschiedenen Stellen berührt. Da diese Untersuchung aber meist dem Neurologen zufällt, soll auf genauere Verfahren zur Prüfung der Hautempfindlichkeit hier nicht eingegangen werden (z. B. Ästhesiometer von GRIESBACH).

**2. Die Untersuchung der Horn- und Bindehaut.** Für den Ophthalmologen von großer Wichtigkeit ist die Prüfung der Empfindlichkeit der Hornhaut, mitunter auch der Bindehaut, ist doch eine Herabsetzung der Empfindlichkeit bei Erkrankungen ein diagnostisch wichtiges Symptom. Ob die Hornhaut nur Schmerz- und Kälteempfindung oder auch anderer Qualitäten fähig ist, ist noch strittig (v. FREY, GOLDSCHIEDER u. a.). Die Frage bedarf hier keiner näheren Erörterung, da es bei der klinischen Untersuchung sich meist nur darum handelt, ob eine Berührung überhaupt empfunden wird oder nicht.

Auch bei der Hornhautsensibilität bedient man sich meist fein ausgezogener Wattetupfer, die aber keinen konstanten Reizwert besitzen, noch weniger die Berührung mit Glasstäben, Stecknadelköpfen oder dgl. Exakter ist die Prüfung mit Reizhaaren, z. B. mit dem Ästhesiometer von GRIESBACH, ein seiner Länge nach verschiebbares Haar, das an einem Griff befestigt ist, oder die v. FREYSchen Reizhaare, die klinisch jetzt wiederholt benutzt worden sind (MARX, SCHRÖDER, STÜDEMANN, PFLIMLIN u. a.).

Das Prinzip beruht darin, einen scharf umschriebenen Reiz mit meßbarer Größe zu applizieren. Die Ausmessung des Reizwertes der Haare geschieht durch Messung des Gewichts, das das Haar gerade beim Durchbiegen (Abb. 56) auf einer Waagschale zu heben vermag. Die auf die Flächeneinheit ausgeübte Kraft läßt sich dann durch den Bruch  $\frac{\text{Kraft}}{\text{Querschnitt}} \left( \frac{\text{g}}{\text{qmm}} \right)$ , den Druckwert des Reizhaares ausdrücken (v. FREY). Er ist nach v. FREY maßgebend für die Reizstärke des Haares. Die Dauer der Reizeinwirkung im Sinne der Chronaxie ist noch nicht näher untersucht worden; inwieweit Ermüdung der Empfindlichkeit durch wiederholte Reizapplikation eintritt, bedarf auch noch der Feststellung. Man stellt sich einen Satz derartiger Haare her und prüft die Empfindlichkeit an verschiedenen Stellen der Hornhaut und Bindehaut (Abb. 57).

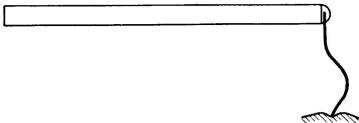


Abb. 56. Reizhaar nach von FREY.

Wegen der nicht gleichmäßigen Verteilung der sensiblen Endorgane hat MARX vorgeschlagen, nicht einen, sondern 33 verschiedene Punkte (Abb. 58) zu untersuchen, andere Autoren haben weniger Punkte geprüft (SCHRÖDER 16, SAMOLOFF 13). PFLIMLIN prüfte vor allem das Hornhautzentrum, das nach seiner Ansicht repräsentativen Charakter für die ganze Hornhautempfindlichkeit besitze. Nach dem MARXschen Schema müßten noch mit dem Reizhaar  $0,30 \left( \frac{\text{g}}{\text{qmm}} \right)$  mindestens 30 Punkte seines Schemas an-

sprechen. In pathologischen Fällen kann man sich auch damit helfen, daß man die kranken und gesunden Partien vergleichsweise betastet und das Resultat in eine Skizze einzeichnet. Zur Vermeidung der Übertragung von Krankheitskeimen ist ein kurzes Eintauchen der Haarspitze in Alkohol zwischen den einzelnen Untersuchungen notwendig.

Andere Verfahren, wie sie von YOKOMATSU, MORINAGA und VOGELSANG angegeben worden sind, dürften klinisch noch nicht genügend erprobt sein.

Zur oberflächlichen Orientierung über die gesteigerte Empfindlichkeit z. B. bei rezipierender Erosion ist Betasten mit dem Finger durch das geschlossene Lid hindurch oder mit einem Glasstab empfohlen worden (COMBERG, FALTA).

**3. Die Prüfung der Kälteempfindung der Hornhaut** hat bisher klinische Verwendung noch nicht gefunden. Über die Verteilung der Kaltpunkte am Auge gibt die Abb. 59 nach STRUGHOLD eine Anschauung.

Es dürfte auf diesem Gebiete noch manche neue Tatsache zu ermitteln sein, erhalten wir doch gelegentlich Angaben über abnorme Kälteempfindung des Auges. STREBEL hörte in einer Reihe von Fällen seitens der Patienten darüber klagen. Mir selbst gab eine Kranke mit Tabes dorsalis

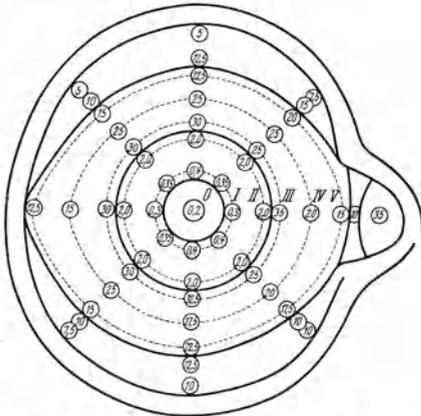


Abb. 57. Reizschwellen der Hornhaut und Bindehaut. (Nach STRUGHOLD.) Die Zahlen geben die Schwellen in Gramm in Querschnitt des Reizhaares (Druckwerte) an.

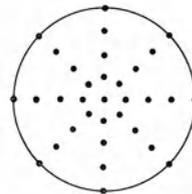


Abb. 58. Schema zur Prüfung der Hornhaut und Bindehaut. (Nach MARX.)

und Opticusatrophie an, daß sie unter abnormen Kältesensationen am Auge zu leiden habe.

Für quantitative Prüfungen käme nach dem Vorschlage von v. FREY und WEBELS in Betracht, kleinste Kupferperlen in Kältegemische zu tauchen und mit diesen umschriebene Stellen, insbesondere den Hornhautlimbus (s. Abb. 59), wo sich die kälteempfindlichen Endorgane befinden, abzutasten.

In ähnlicher Weise könnte man nach STRUGHOLD die *Wärmeempfindung* prüfen, indem man die Kupferkugeln erwärmt. Nach STRUGHOLD ist allerdings wärmeempfindlich nur der Innenrand der Lider, während die Conjunctiva und Hornhaut der Wärmeempfindung entbehren.

**4. Die Prüfung der Druckempfindlichkeit des ganzen Bulbus bzw. des Orbitalinhaltes.** Mit wenigen Worten soll noch der Verfahren gedacht werden, die allerdings mehr in anderen Disziplinen (interne Medizin und Neurologie) Anwendung finden, um sich über die reflektorische Beeinflussung der Herzaktion durch Druck auf den Augapfel zu unterrichten. Bekanntlich ist bei vielen Individuen bei stärkerem Druck auf den Bulbus eine Pulsverlangsamung zu beobachten, der sog. *oculocardiale Reflex* (ASCHNERSches Phänomen). Die Pulsverlangsamung kann nur wenige Schläge pro Minute betragen; in pathologischen Fällen ist aber auch völliger Herzstillstand bis zu einer halben Minute erreicht worden. Dem Augenarzt ist das Phänomen bei Operationen im Bereiche der Orbita bekannt, wenn der Bulbus dabei komprimiert wird. Auch kommt es sonst bei schnell einsetzender Raumbengung in der Augenhöhle zur Beobachtung.

Es ist wiederholt angestrebt worden, durch quantitativ meßbare Druckstärke immer wieder dieselben Versuchsbedingungen herzustellen. So sind Pelotten empfohlen worden, die auf den Bulbus aufgesetzt werden (RUBINOWITSCH), die eine meßbare Belastung ermöglichen.

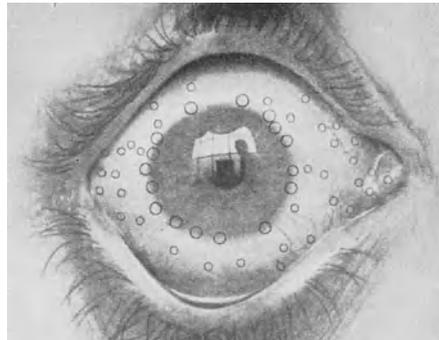


Abb. 59. Übersichtsbild der Topographie der Kaltpunkte im Lidspaltenbereiche des menschlichen Auges. Die kleinen Kreise bezeichnen die Kaltpunkte, die großen Kreise bezeichnen die kalteempfindlichen Gebiete. (Nach STRUGHOLD.)

Auch für die Untersuchung des sog. *HAENEL-Symptoms*, d. h. die Herabsetzung der Schmerzempfindlichkeit des Augapfels auf Druck als Symptom der Tabes ließen sich diese Methoden wohl verwenden. Die Prüfung auf erhöhte Druckschmerzempfindlichkeit des Augapfels, wie sie CYTOVIČ bei Nebenhöhlenentzündungen festgestellt haben will, könnte in ähnlicher Weise vorgenommen werden.

Für die klinische Untersuchung seitens des Ophthalmologen sind die erwähnten Verfahren aber noch nicht genügend ausgearbeitet. Man könnte sich hierzu auch des auf S. 916 geschilderten Dynamometers bedienen.

## L i t e r a t u r.

### *Die Untersuchung der sensiblen Funktionen.*

CÉRISE, L.: De la sensibilité cornéene. Thèse de Paris 1908. — COMBERG, W.: Prüfung der Hornhautsensibilität gegen Druckausübung am Lide als diagnostisches Hilfsmittel. Z. Augenheilk. **64**, 127 (1928). — CYTOVIČ, M.: Die erhöhte Schmerzempfindlichkeit bei der Palpation des Augapfels, als Symptom einer Erkrankung der Nasennebenhöhlen. Verh. 3. Ärzte-Kongr. Mittelasiens, Taskent, 20.—24. Dez. 1928, 192. Ref. Zbl. Ophthalm. **25**, 227.

FALTA, M.: (a) Zur Untersuchung der Schmerzhaftigkeit bei Augenleiden. Kontroll-druckmethode. Klin. Mbl. Augenheilk. **78**, 775 (1927). (b) Bemerkung zu der Arbeit: „Prüfung der Hornhautempfindlichkeit gegen Druckausübung am Lide als diagnostisches Hilfsmittel“ von Prof. Dr. W. COMBERG. Z. Augenheilk. **65**, 188 (1928). — FREY, M. VON: (a) Beiträge zur Physiologie des Schmerzsinnnes. Ber. math.-physik. Kl. kgl. sächs. Ges. Wiss., Leipzig 1894. (b) Beiträge zur Sinnesphysiologie der Haut. Ber. math.-physik. Kl. kgl. sächs. Ges. Wiss., Leipzig 1895. (c) Physiologische Sensibilitätsprüfungen. Verh. dtsh. Ges. inn. Med. **1925**, 19 u. 74. (d) Handbuch der Haut- und Geschlechtskrankheiten, Bd. 1, S. 2. 1919. — FREY, M. v. u. H. STRUGHOLD: Weitere Untersuchungen über das Verhalten von Hornhaut und Bindehaut des menschlichen Auges gegen Berührungsreize. Z. Biol. **84**, 321 (1926). Ref. Zbl. Ophthalm. **17**, 447.

HAENEL, HANS: Über das Augapfelsymptom (HAENELsches Symptom) bei Tabes. Münch. med. Wschr. **74**, 847 (1927). — HESSBERG, R.: Messung und klinische Bedeutung des „HAENELschen“ Symptoms. Ber. 45. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. **1925**, 124.

MARINOSCI, A.: Sulla sensibilità della cornea allo stato normale e patologico. Lett. oftalm. **7**, 407 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 717. — MARX, E.: (a) Über die Empfindlichkeit und die Eintrocknung der Hornhaut. Nederl. Tijdschr. Geneesk. **65**, 3338 (1921). Ref. Zbl. Ophthalm. **6**, 92. (b) De la sensibilité et du dessèchement de la cornée. Annales d'Ocul. **158**, 774 (1921). (c) Action des anésthétiques sur la cornée. Arch. néerl. Physiol. **9**, 539 (1924). Ref. Zbl. Ophthalm. **14**, 524. (d) Die Wirkung der Anaesthetica auf die Hornhaut. Nederl. Tijdschr. Geneesk. **68**, 1089 (1924). Ref. Zbl. Ophthalm. **13**, 80. (e) Die Empfindlichkeit der menschlichen Hornhaut. Leipzig 1925. — MORINAGA, T.: Demonstration eines neuen Apparates zur quantitativen Messung des Drucksinnes der Hornhaut. Ber. 34. Verslg jap. ophthalm. Ges., 12. Sekt. 8. jap. med. Kongr. Osaka, 2.—4. April 1930. Ref. Klin. Mbl. Augenheilk. **85**, 698 (1930).

NAGEL, W. A.: Die Sensibilität der Conjunctiva und Cornea des menschlichen Auges. Arch. f. Physiol. **59**, 563 (1895). Ref. Klin. Mbl. Augenheilk. **39**, 881 (1901).

PFLIMLIN, R.: (a) Vergleichende Untersuchungen über die Wirkung einiger Anaesthetica am Auge, insbesondere von S. F. 147 (Sandoz). Schweiz. med. Wschr. **57**, 1268 (1927). (b) Zur klinischen Unterscheidung verschiedener Formen des Herpes corneae. Ber. 48. Zus.kunft dtsh. ophthalm. Ges. **1930**, 212. (c) Untersuchungen über die Sensibilität der gesunden und kranken Hornhaut (im Druck). — PRZYBYSKAJA, JA.: Über die Empfindlichkeit der Hornhaut und der Scleralbindehaut. Russk. oftalm. Ž. **11**, 170 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **23**, 564.

SALAZAR, LUIGI: Sull'anestesia corneale da psicina determinata col procedimento di J. REGNIER. Arch. internat. Pharmacodynamie **34**, 188 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **20**, 332. — SAMOJLOV, A.: (a) Haarempfindlichkeit der normalen Hornhaut. Russk. oftalm. Ž. **11**, 163 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **23**, 563. (b) Technik der Eichung der Haare für quantitative Bestimmung der Hornhautempfindlichkeit. Russk. oftalm. Ž. **12** 467 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **25**, 89. — SCHRÖDER, ELISABETH: Prüfung der Hornhautempfindlichkeit nach operativen Eingriffen. Graefes Arch. **111**, 17 (1923). — STREBEL, J.: Über Lokalisations- oder Punktbetäubung mittels Cocain in Substanz (spez. zur Entfernung von Fremdkörpern des Auges). Schweiz. med. Wschr. **1929 I**, 608. Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 180. — STRUGHOLD, H.: (a) Die Sensibilität der Horn- und Bindehaut des normalen menschlichen Auges. Übers. Referat. Zbl. Ophthalm. **19**, 353 (1928) (Literatur). (b) The mechanical threshold of the corneareflex of the usual laboratory animals. Amer. J. Physiol. **94**, 235

(1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 208. — STÜDEMANN, H.: Quantitative Prüfung verschiedener Anaesthetica in ihrer Wirkung auf die Hornhaut. Graefes Arch. **115**, 119 (1924).

VOGELSAK, K.: (a) Experimentelle Untersuchungen über die Hornhautsensibilität mittels der Reaktionsmethode. Z. Augenheilk. **65**, 63 (1928). (b) Über die Sensibilität der Cornea und Conjunctiva. Ref. Klin. Mbl. Augenheilk. **80**, 553 (1928). (c) Vergleichende Untersuchungen über die Sensibilität von Bindehaut und Hornhaut. Klin. Mbl. Augenheilk. **80**, 608 (1928).

YOKOMATSU, K.: Über den Endapparat der menschlichen Hornhautnerven. Acta Soc. ophthalm. jap. **34**, 762 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 113.

#### IV. Entoptische Methoden.

Bei genügender Intelligenz des Patienten ist es in manchen Fällen zweckmäßig, sich entoptischer Untersuchungsmethoden zu bedienen.

Wir verstehen unter *entoptischen Phänomenen* bekanntlich Erscheinungen, die durch Besonderheiten in der Belichtung oder durch inadäquate, meist mechanische Reizung, wie die sog. Druckphosphene (manche rechnen dazu wohl auch die galvanische Reizung) wahrnehmbar werden, wobei die Grundlage hierfür stets durch Veränderungen oder Vorgänge im Inneren des Auges selbst gebildet wird.

PURKINJE hat schon vor über hundert Jahren in zwei Bändchen eine sehr große Zahl derartiger entoptischer Phänomene geschildert. Andere Autoren (HELMHOLTZ, HEIDINGER, v. HESS, HEINRICH MÜLLER, KÜMMEL, BRÜCKNER und viele andere) haben weitere entoptische Erscheinungen beschrieben oder Erklärungen für schon bekannte gegeben.

Dem Kranken fallen derartige Phänomene aus zwei Ursachen auf. Erstens sind Trübungen in den brechenden Medien, namentlich im Glaskörper entoptisch wahrzunehmen, vor allem, wenn die Pupille eng ist und nun ein relativ scharfer Schatten auf der Netzhaut entsteht. Die infolge feiner Glaskörpertrübungen zur Beobachtung kommenden sog. „Mouches volantes“ sind eine den Patienten oft beunruhigende Erscheinung (s. Kapitel JESS, Bd. 5 dieses Handbuches). Gelegentlich werden aber auch Linsentrübungen als Schatten wahrgenommen und als spinnen- oder netzartige Gebilde beschrieben. Wohl auf mechanischer Reizung beruhen Lichterscheinungen (Photopsien) bei entzündlichen Erkrankungen von Netzhaut und Chorioidea, aber auch bei degenerativen Veränderungen; insbesondere kommen sie als exzentrisches Blitzen vor, hier bedingt durch Alterserscheinungen in den exzentrischen Teilen der Retina.

Mitunter werden auch Gesichtsfeldausfälle, namentlich dann, wenn sie im peripheren Organ ihre Ursache haben, als dunkle Flecke, die ihren Ort im Gesichtsfeld nicht ändern (positive Skotome) wahrgenommen. In seltenen Fällen können sie auch gesehen werden, wenn der Sitz im Zentralorgan liegt (s. Kapitel BEHR in Bd. 6 dieses Handbuches).

Von den zahlreichen entoptischen Phänomenen, wie sie der Normale beobachten kann (Akkommodationsphosphene, Wahrnehmung von Gefäßschatten, des blinden Flecks und andere), kommt die Mehrzahl für klinische Zwecke nicht in Betracht. Bisher sind in diesem Sinne fast nur diejenigen herangezogen worden, die die Wahrnehmung der Netzhautgefäße oder der Blutzirkulation in ihnen betreffen. Es soll damit aber nicht gesagt sein, daß nicht eine Reihe von anderen entoptischen Erscheinungen auch noch der Diagnostik zugänglich gemacht werden könnte. So hat A. TSCHERMAK bei sich selbst zur Feststellung der Lage der Fovea seines leicht schielenden Auges im Gesichtsfeld entsprechenden Stelle das Haidingersche Büschel bei Vorschaltung eines NICOLSCHEN Prisma benutzt.

**Die PURKINJESCHE Aderfigur.** GOEBEL ist wohl der erste gewesen, der empfohlen hat, mit Hilfe der PURKINJESCHEN Aderfigur in Fällen von Medientrübung ein Urteil über Unterbrechung eines Gefäßes zu geben (s. auch EBER und KREIKER).

Man verwendet zweckmäßig zur Sichtbarmachung dieses entoptischen Phänomens eine Linse, mit der man die Lichtquelle auf die Sklera konzentriert. Durch leichtes Hin- und Herbewegen wird der Schatten der Netzhautgefäße auf verschiedene Stellen der lichtperzipierenden Schicht entworfen (HEINRICH MÜLLER), so daß auf diese Weise die Lokaladaptation, die für gewöhnlich die Schatten unsichtbar macht, aufgehoben wird. Bequemer verwendet man nach der Empfehlung von KREIKER analog das schmale Lochbüschel der Spaltlampe. Noch zweckmäßiger ist es, das intensive Licht der SACHSSCHEN oder LANGESCHEN Durchleuchtungslampe zu verwerten, dessen Glasstabspitze man leicht rotierend hin und her bewegt. Meist genügt es, sie durch das geschlossene Lid wirken zu lassen. EBER empfiehlt, in ähnlicher Weise die Lampe eines elektrischen Augenspiegels in die Orbita einzudrücken und dort hin und her zu schieben. Unterbrechungen des Gefäßbaumes sind

dann für den Beobachter oft gut erkennbar. Läßt man die Aderfigur auf eine Wand projizieren, so vermag der Patient auch mit einem Stab dem Schatten nachzufahren und die Stelle der Unterbrechung zu markieren<sup>1</sup>.

**Die Wahrnehmung der Zirkulation in den Netzhautcapillaren** um die Macula ist ebenfalls schon von PURKINJE beschrieben worden. Sie ist wahrnehmbar, wenn man ein stenopäisches Loch vor das Auge hält und gegen den hellen Himmel blickt. Macht man kleine oszillierende Bewegungen mit dem Loch vor dem Auge, so erkennt man sehr deutlich die Capillaren um die Fovea selbst. Man sieht auch, wohl infolge Lichtbrechung an den einzelnen Blutkörperchen, feine, helle Punkte aufblitzen und kann daraus den Verlauf der Capillaren rekonstruieren. (Andere Methode s. bei HELMHOLTZ, NAGEL).

Deutlicher wird das Phänomen, wenn man nicht weißes, sondern gefiltertes Licht benützt; insbesondere ist bei Benutzung kurzwelliger Strahlen, wie F. P. FISCHER angegeben hat, dieses entoptische Phänomen leicht zu beobachten. Auch E. P. FORTIN verwendete Licht von etwa 436 m $\mu$  und gibt die Beschreibung eines besonderen Apparates.

SCHAEERER hat von ZEISS ein kleines Gerät konstruieren lassen, das er Entoptoskop nennt. Es besteht aus einer 100-Watt-Projektionsglühlampe, die direkt an die Lichtleitung angeschlossen werden kann. Das Leuchtfadensystem wird durch einen Kondensator in einem Okular abgebildet, das dann eine gleichmäßige Leuchtfläche erzeugt. Als Filter dient ein Spezial-Blauglasfilter, das nur Licht von 460 m $\mu$  durchtreten läßt.

HORNKER, der ebenfalls ein derartiges Verfahren benützt hat, gibt an, daß Störungen, die auf Gefäßalteration der Netzhautcapillaren der Maculagegend beruhen, sich hierdurch gut und namentlich sehr frühzeitig diagnostizieren lassen. Ähnliches äußert FORTIN (s. auch SERR und DIETER).

Über die entoptische Untersuchung der *Pupillenreaktion* vgl. man S. 860.

## Literatur.

### *Entoptische Methoden.*

DIETER, W.: Über den Zusammenhang zwischen osmotischem Druck, Blutdruck usw. Arch. Augenheilk. **96**, 179 (1915).

EBER, S. I.: Autoophthalmoscopy. Subjektive examination of the retina. Amer. J. Ophthalm. **5**, 973 (1922).

FORTIN, E. P.: (a) Dispositif pour voir dans son propre oeil les globules du sang, les vrais capillaires, les houppes de HAIDINGER en utilisant seulement la lumière solaire. Annales d'Ocul. **166**, 728 (1929). (b) Vision entoptique des globules du sang et des capillaires. Semaine méd. **1929 II**, 1046. Ref. Zbl. Ophthalm. **23**, 237. — FRIEDMANN, B.: A test for retinal function in cataractous patients. Arch. Ophthalm. **5**, 636 (1931).

GOEBEL: Die Funktionsprüfung der zentralen Netzhautpartien auf entoptischem Wege. Arch. Augenheilk. **90**, 245 (1922).

HELMHOLTZ, H.: Die entoptischen Erscheinungen. Handbuch der physiologischen Optik, 3. Aufl., Bd. 1, S. 175. 1909. — HORNKER, E.: Der Wert der Entoptoskopie für die Diagnose und die Klinik einiger am hinteren Augenpol lokalisierender Erkrankungen. Internat. Ophthalm.-Kongr. Amsterdam **1929**. Ref. Zbl. Ophthalm. **22**, 792.

KREIKER, A.: Einige nicht der Mikroskopie des Auges dienende Verwendungsmethoden der Spaltlampe. Z. Augenheilk. **55**, 45 (1925).

LOHMANN, ALFRED: Entoptische Erscheinungen. NAGELs Handbuch der Physiologie, Erg.-Bd. 1910.

SCHAEERER, R.: Ein neues Entoptoskop zur Beobachtung der Blutbewegung in der Netzhaut. Klin. Mbl. Augenheilk. **83**, 317 (1929). — SERR, H.: Kritisches und Experimentelles zur Theorie des Augendruckes und seiner Beziehung zum intraokularen Blutdruck. Graefes Arch. **121**, 781 (1929).

TSCHERMAK, A.: Über anomale Schichtungsgemeinschaft der Netzhäute bei einem Schielenden. Graefes Arch. **47**, 508 (1899).

## V. Die Untersuchung auf Simulation und Aggravation.

In nicht wenigen Fällen sind die Angaben, die man bei der Funktionsprüfung seitens des Patienten erhält, in offenbarem Widerspruch mit dem objektiven Befund; es ist also die Forderung, die als Ziel jeder ophthalmologischen Untersuchung auf S. 836 aufgestellt wurde, — Übereinstimmung zwischen objektivem Befunde und Funktion — nicht erfüllt.

<sup>1</sup> FRIEDMANN empfiehlt das analoge Verfahren, um sich über das Bestehen cystischer Defekte, von Katarakt und ähnlichem zu unterrichten. Der Patient bemerkt die Stelle, an der er nichts sieht.

Oft wird hier nicht zu Unrecht eine Aggravation oder Simulation seitens des Patienten anzunehmen sein, namentlich dann, wenn es sich um Unfallverletzte handelt. In manchen Fällen ist aber, namentlich wohl früher, als die Diagnostik noch nicht durch die neueren Verfahren (Spaltlampe, Ophthalmoskopie im rotfreien Licht und andere), so weit entwickelt war wie jetzt, dem Patienten Unrecht seitens des begutachtenden Arztes geschehen, da geringfügige Veränderungen von funktionell großer Bedeutung nicht erkannt oder übersehen wurden. Deshalb ist in diesen Fällen die objektive Untersuchung mit allen modernen Hilfsmitteln durchzuführen. Aber selbst bei nachgewiesener Aggravation soll der Arzt sich nicht zu Affektäußerungen hinreißen lassen. Auch darf er dem Patienten oft keine direkten Mitteilungen über den Tatbestand machen.

In anderen Abschnitten des Handbuchs sind bereits eine Reihe von Verfahren, die zur Feststellung von Aggravation bzw. Simulation dienen können, besprochen worden. So ist auf die Darstellung im Kapitel von CRAMER, Bd. 4 dieses Handbuchs S. 583—589 hinzuweisen. Weiteres dazu findet sich in diesem Bande bei Besprechung des Gesichtsfeldes auf S. 937. Hier ist nur eine kurze ergänzende Darstellung zu geben.

### 1. Untersuchungsmethoden zur Ermittlung der Sehschärfe bei Simulation.

**Objektive Prüfung.** Zur Feststellung, ob ein Auge überhaupt noch Lichtempfindung hat und die behauptete Blindheit nicht wirklich vorhanden ist, kann man die Pupillenreaktion untersuchen. Bei sonst normalem Befunde ist eine direkte Lichtreaktion wenn nicht ein absolutes, so doch ein sehr starkes Indizium dafür, daß das Auge nicht völlig blind ist. Allerdings sind auch allgemeine Vergiftungen (Urämie und dgl.), ebenso Erkrankungen der Sehbahn oberhalb des Abganges der Pupillenfasern zu berücksichtigen. Im letzten Falle ist aber eine doppelseitige Unterbrechung in der Sehbahn notwendig.

Ein vollkommen Blinden oder auch nur auf einem Auge Erblindeter wird beim Zuhalten des anderen Auges das blinde Auge fast ausnahmslos in der Richtung einstellen, in der ihm seine eigene Hand vorgehalten wird. Der Simulant wird meist absichtlich wegsehen. Zur Feststellung, ob ein Auge blind ist oder nicht, kann man auch ein Prisma vorschalten. Wird das andere Auge verschlossen, so wird in der Regel vor dem angeblich blinden Auge zwangsmäßig unter dem Prisma eine Bewegung ausgeführt, um das vorher fixierte Objekt noch weiter zu fixieren. Bei hochgradiger Schwachsichtigkeit kann diese Einstellbewegung ausbleiben.

Über den Blinzelreflex und ähnliches s. S. 936 f.

Der HERINGSche Fallversuch läßt sich ebenfalls bei angeblich völlig einseitiger Blindheit verwenden. Wird er positiv bestanden, so muß soviel Sehschärfe vorhanden sein, daß Tiefsehen möglich ist. Die Grenze liegt etwa bei 1/20—1/30.

**Funktionelle Prüfung.** Hier handelt es sich meist darum festzustellen, wie hochgradig die Herabsetzung der Sehschärfe wirklich ist.

**Monokulare Proben.** In diesem Fall soll der Untersuchte darüber im unklaren sein, wie groß die jeweils dargebotenen Sehzeichen sind bzw. in welcher Entfernung sie sich befinden.

Man kann Tafeln verwenden, bei denen *Sehzeichen verschiedener Größe* in dieselbe Zeile gedruckt oder unregelmäßig angeordnet sind, so daß die Beurteilung hierin durch einen nicht Geschulten erschwert ist. Kleine Abweichungen zwischen den einzelnen Prüfungsergebnissen sollen allerdings nur mit Vorsicht bewertet werden; sie sprechen noch nicht für Simulation, da auch bei richtigen Angaben nicht nur einige Sehzeichen leichter erkannt werden als andere, sondern auch je nach der gesamten „Momentaneinstellung“ dasselbe Sehzeichen einmal erkannt wird, das andere Mal dagegen nicht.

Verwendung *vergrößernder* Sehhilfen (Opernglas und dgl.) sind empfohlen worden. Unter Berücksichtigung der dabei erzielten Vergrößerung lassen sich mitunter Schlüsse ziehen.

*Eine Täuschung über die Entfernung*, in der die Sehzeichen dargeboten werden, ist mittels Spiegelproben möglich. Sie sind bereits S. 928 erwähnt. Zweckmäßig ist der HOPPESche Apparat (s. Abb. 60), bei dem der Spiegel sich vertikal über dem Patienten befindet und seine Entfernung unbemerkt geändert werden kann.

**Binokulare Proben.** Bei den binokularen Proben handelt es sich darum, den Untersuchten im Unklaren darüber zu lassen, mit welchem Auge er sieht. In manchen Fällen kann auf Grund sekundärer Momente erkannt werden, ob nur mit einem Auge gesehen wird und das andere verdeckt ist oder ein sehr viel schlechteres Bild erhält. So ist z. B. bei Vorsetzen eines starken Konvexglases vor das bessere Auge ein eigentümliches, von E. TH. VON BRÜCKE und BRÜCKNER näher untersuchtes Gefühl der Ablenkung gegeben, das mitunter den Rückschluß erlaubt, daß dieses Auge weniger sieht. Hierzu kommt das schon von den genannten Autoren beobachtete und dann von KÖLLNER näher studierte Überwiegen der temporalen Gesichtsfeldhälfte, wodurch eine Unterscheidung der rechts- und linksäugigen Eindrücke z. B. durch Vorsetzen verschiedenfarbiger Gläser ermöglicht wird.

Nach dem Prinzip der „lecture contrôlé“ von JAVAL kann in manchen Fällen die Entlarvung beim Lesen in der Nähe geschehen. Auch die Verwendung komplementär gefärbter Gläser z. B. rot und grün für je ein Auge und entsprechend verschiedenfarbige Sehzeichen sei hier angeführt. Die roten erscheinen durch das grüne Glas schwarz und umgekehrt, während die dem Glas gleichfarbigen nicht gesehen werden können.

Die Verwendung von Prismen zur Erzeugung von Doppelbildern ist von CRAMER (Bd. 4 dieses Handbuches S. 586) in den Grundzügen bereits geschildert worden. Es empfiehlt sich, wenn man das Prisma vor das gesunde Auge soweit vorschiebt, daß die Pupille gerade halbiert wird, nur einen umschriebenen Punkt zur Betrachtung (Lichtflamme oder dgl.) zu geben, weil sonst die Doppelbilder mitunter nicht deutlich hervortreten. Auch ist es notwendig, Prismen zu verwenden, die rechtwinklig zugeschnitten sind und nicht die runde Form der im Brillenkasten enthaltenen Prismen besitzen. In diesem Fall kann die Untersuchung auf Schwierigkeiten stoßen.

Das Stereoskop läßt sich ebenfalls vielfach zur Simulationsprüfung verwenden. Nur ist hier zu beachten, daß die Augen durch einen Ausschnitt in der Stereoskopfassung beobachtet werden können, damit der Patient nicht unbenutzt das eine oder andere Auge zukneift und sich dadurch unterrichtet, mit welchem Auge er sieht. Die Wahl der Bilder ist ziemlich irrelevant. Auch kann man Druckschrift im Stereoskop darbieten, bei der auf jeder Seite einzelne Worte im Text fehlen, die dann vom anderen Auge ergänzt werden müssen. Doch vermag bei den zuletzt erwähnten Proben durch den binokularen Wettstreit auch beim Normalsehenden Unterdrückung der monokular gesehenen Teile stattzufinden oder stereoskopischer Glanz aufzutreten, die störend wirken.

*Verwendung binokularer Verfahren bei Kreuzung der Blicklinien.* Auf diesem Prinzip beruhen neben vielen anderen Apparaten (PRATO, BERTHÉLÉMY, MARECHAL und FLES) die GRATAMASCHEN Röhren (s. Bd. 4 dieses Handbuches S. 585 bis 587).

A. VON SZILY hat hier eine praktische Methode unter Verwendung des blinden Fleckes angegeben.

## 2. Simulation von Augenmuskelstörungen

kommt nur selten vor, und ihre Entlarvung ist bei Beherrschung der Untersuchungsmethoden für den Geübten nicht schwer.

Erwähnt sei nur das Vorkommen gelegentlich vorgetäuschter Augenmuskelkrämpfe (s. auch Kapitel BARTELS in Bd. 3 dieses Handbuches S. 718). So ist bei Kriegsteilnehmern willkürlicher Nystagmus von hoher Frequenz und geringem Ausmaße beobachtet worden. BRÜCKNER hat die willkürliche Genese auf Grund von Selbstversuchen nachweisen können (s. hierzu auch ELSCHNIG).

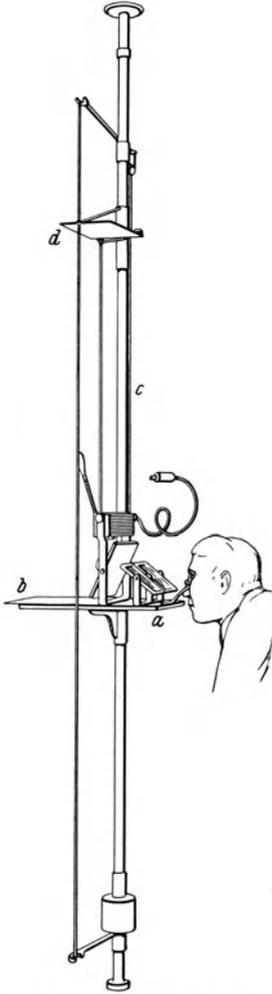


Abb. 60. Apparat von HOPPE zur Prüfung auf Simulation.

## Literatur.

### *Untersuchung auf Simulation.*

BRÜCKNER: Zur Kenntnis des sog. willkürlichen Nystagmus. Z. Augenheilk. **37**, 184 (1917). — BRÜCKNER u. v. BRÜCKE: Zur Frage der Unterscheidbarkeit rechts- und linksäugiger Gesichtseindrücke. Pflügers Arch. **90**, 190 (1902); **107**, 265.

DINGER, G.: Eine einfache Vorrichtung zur Prüfung des Sehvermögens besonders bei Aggravation. Klin. Mbl. Augenheilk. **79**, 239 (1927).

ELSCHNIG: Konvergenzkrämpfe und intermittierender Nystagmus. Klin. Mbl. Augenheilk. **58**, 142 (1917).

FAZIO, G.: L'emistereoscopio. Nuovo apparecchio per la diagnosi dell'amaurosi monoculare simulata. Arch. Ottalm. **35**, 31, 72 u. 133 (1928).

GOLDSTEIN: Konzentrische Gesichtsfeldeinengung. Dtsch. Z. Nervenheilk. **52**, H. 1—4 (1918). — GOLDSTEIN u. GELB: Das röhrenförmige Gesichtsfeld nebst einer Vorrichtung für perimetrische Gesichtsfelduntersuchungen in verschiedener Entfernung. Neur. Zbl. **1918**, 738.

KÖLLNER: (a) Das funktionelle Überwiegen der nasalen Netzhauthälften im gemeinschaftlichen Sehfeld. Arch. Augenheilk. **76**, 153 (1914). (b) Die Untersuchung auf Simulation. GRAEFE-SÆMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl., Untersuchungsmethoden, Bd. 3, S. 553. 1925. — KOSTER: Die Röhren von GRATAMA zur Entdeckung der Simulation von Blindheit oder Schwachsinnigkeit eines Auges nebst einer Verbesserung dieses Apparates. Graefes Arch. **64**, 502 (1906).

LAMPIS, E.: Il „visus“ nella simulazione. (Note ed osservazioni di pratica professionale.) Giorn. Med. mil. **76**, 505 (1928). Ref. Zbl. Ophthalm. **20**, 799 (1929). — LAÜBER, H.: Ein neues Verfahren zur Entlarvung simulierter einseitiger Blindheit. Klin. Mbl. Augenheilk. **78**, Beilageh., 197 (1927). — LINDBERG, J. G.: Zwei Simulationstafeln. Finska Läk. sällsk. Hdl. **72**, 840 u. dtsch. Zusammenfassung **1930**, 842. Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 817 (1931).

SZILY, A. v.: Der blinde Fleck im Dienste der Entlarvung von Simulation einseitiger Blindheit. Klin. Mbl. Augenheilk. **65**, 1 (1920).

## Anhang.

### Die Berufseignung.

Die Frage der Berufseignung spielt gegenwärtig eine viel größere Rolle als früher. Durch den gesteigerten Konkurrenzkampf sind die Anforderungen an die Leistungen sehr viel höher. Außerdem ist die Beanspruchung, soweit es sich um Tätigkeiten handelt, die sich innerhalb des öffentlichen Verkehrs abspielen, ebenfalls zum Teil viel größer als noch vor 10—15 Jahren. Aus diesem Grunde muß bei der Auswahl der Anwärter für die letztgenannten Berufe mit sehr großer Sorgfalt verfahren werden in dem Sinne, daß bestimmte Minimalleistungen des Auges zu fordern sind.

Dabei ist in Rechnung zu stellen, daß die Leistungen, die auf Grund bestimmter Sinnesindrücke zu erfolgen haben, weitgehend durch die gesamtpsychische Konstitution modifiziert werden können. Untersuchungen in dieser Richtung sind namentlich von JAENSCH und seinen Schülern ausgeführt worden, auf die hier nur verwiesen werden soll. Aus ihnen scheint hervorzugehen, daß die erblich bedingte Beschaffenheit der Gesamtpersönlichkeit geeignet ist, Sinnesleistungen in ihrer psychischen Verwertung oft erheblich zu modifizieren.

#### 1. Die Eignung im individuellen Interesse des Berufstätigen.

Hier handelt es sich darum, die Konkurrenzfähigkeit des Einzelindividuums nicht zu sehr durch Minderleistungen seiner Sinnesorgane zu erschweren und ihn frühzeitig aus Berufen auszuschalten oder von deren Ergreifung abzuhalten, in dem er eine Erfolg versprechende Tätigkeit kaum wird ausführen können.

Es ist empfohlen worden, die Berufsberatung schon beim Kinde, d. h. beim Schulbeginn einsetzen zu lassen (z. B. CASTRESANA). Immer mehr kommt es daher in Aufnahme, die Kinder bei Schulbeginn auf ihre Sehschärfe zu untersuchen. Wünschenswert wäre auch eine Prüfung auf Farbenunterscheidungsvermögen schon, um während der Schulzeit Ungerechtigkeiten in der Beurteilung von Minderleistungen, die auf die angeborene Störung zurückzuführen sind, auszuschalten. Meist setzt aber die Berufsberatung erst mit Beendigung der Schule ein, dann zweifelsohne oft zu spät.

Von Einzelheiten bezüglich der Eignung für gewisse Berufe möge folgendes ausgeführt sein<sup>1</sup>:

Sehr gute **Sehschärfe** erfordern alle diejenigen Berufe, die es mit kleinen Objekten zu tun haben. Hierher gehören z. B. Feinmechaniker und Uhrmacher; ebenso die in optischen Fabriken Beschäftigten, die Revisionen an den Schlifflflächen von Linsen u. dgl. vorzunehmen haben.

Auch der Arzt, insbesondere der Augenarzt, muß eine Sehschärfe von mindestens 1 oder besser 1,5—2,0 haben (HAAE). Man könnte daran denken, daß durch die Verfeinerung der optischen Hilfsmittel, deren sich der Augenarzt bedient, diese Forderung heutzutage nicht mehr aufrecht zu erhalten sei. Das ist aber doch nur bedingt richtig.

<sup>1</sup> Eine gute Übersicht findet sich bei SATTLER und KAISER.

Geringere Ansprüche an die Sehschärfe (0,9—0,4) stellen die meisten handwerklichen Berufe, bei den Frauen die Schneiderin, Verkäuferin, Modistin u. ä. Noch geringere Ansprüche (0,4—0,1) werden zu fordern sein für Bäcker, Köche, Papparbeiter, Feldarbeiter, Tagarbeiter und Laufburschen (CASTRESANA, TRUC).

Für Blinde und Halbblinde sind, wie die Kriegsblindenfürsorge gezeigt hat, wenn vor Eintritt der hochgradigen Schwachsichtigkeit oder der Erblindung die berufliche Ausbildung schon erfolgt war, viel mehr Berufsmöglichkeiten gegeben als man früher annahm (s. Kapitel LENZ in Band 7 dieses Handbuches).

**Stereoskopisches Sehen** ist in allen den Berufen zu fordern, bei denen es auf die Erkennung geringer Tiefenunterschiede ankommt. Hierzu gehören die Mehrzahl der feinmechanischen Berufe, vor allem aber auch der des Arztes, insbesondere des Augenarztes. Immerhin gibt es viele Ärzte, selbst chirurgisch tätige, die mit nur einem Auge ihre Praxis ausüben.

**Störungen des Farbensinnes** werden sich in allen denjenigen Berufen bemerkbar machen, in denen es auf Beurteilung von Farbenunterschieden ankommt. (Chemische Industrie, Textilbranche, Färbereien, aber auch Ärzte [wie Chirurgen, Dermatologen und Ophthalmologen], die Hautveränderungen, wie Rötungen oder Verfärbungen der Papille u. ä. erkennen müssen.)

Der vorgeschlagene Ausweg, durch farbige Filter eine selektive Absorption zu bewirken, um die dadurch eintretende Helligkeitsänderung für Rückschlüsse auf die Farbe zu verwenden ist bei entsprechender Übung ein wesentliches Unterstützungsmittel, aber doch nur ein Notbehelf (s. unter anderem AHLENSTIEL, SACHS und STRECKFUSS<sup>1</sup>).

Über die Schwierigkeiten, denen der farbenuntüchtige Arzt in seinem Berufe ausgesetzt ist (Erkennen von Tuberkelbacillen, Wahrnehmung der ciliaren Injektion usw.) liegen ausgedehnte Selbsterfahrungen von GESCHER vor.

**Störungen des Gesichtsfeldes** werden, wenn sie geringgradige periphere Einengungen betreffen, meist nur dann berufliche Schwierigkeiten bewirken, wenn das zugrunde liegende, meist progressive Leiden auch sonst eine Funktionsschädigung hervorruft. Die Betriebe mit Gefährdung durch Transmissionen oder ähnliche sind auszuschließen.

**Störungen der Dunkeladaptation** sind in allen den Berufen absolutes Hindernis, bei denen es sich um Arbeit bei herabgesetzter Beleuchtung handelt: Grubenarbeiter, Nachtwächter, Arbeiter in photographischen Fabriken, Photographen.

## 2. Die Berufseignung im öffentlichen Interesse.

Während bei der Eisenbahn und der Marine zum Teil schon seit mehreren Jahrzehnten, insbesondere durch die Initiative von HOLMGREN, eine Prüfung des Farbensinnes vorgenommen wird, ist doch eine systematische Untersuchung der Bewerber in diesem Berufen in manchen Staaten erst relativ spät durchgeführt worden. In einzelnen überseeischen Ländern dürfte sie wohl überhaupt noch nicht vorgenommen werden, hat doch Australien erst im Jahre 1915 die Farbensinnprüfung bei Eisenbahnangestellten angeordnet. Zu den genannten beiden Berufen kommen neuerdings noch diejenigen der Chaffeure und Flieger.

Die Frage ist zur Zeit Gegenstand der Erwägungen einer Kommission des internationalen Ophthalmologenkongresses. Deshalb sei auf die Vorschläge, die in dem Bericht des Amsterdamer Kongresses (1929) gemacht wurden, verwiesen. Es möge genügen, sie im Auszuge wiederzugeben.

Die Untersuchung soll nur durch Spezialärzte vorgenommen werden, die ihre eigenen Schleistungen nach allen Richtungen kennen müssen. Prüfung des Farbensinnes darf nur von farbenuntüchtigen Ärzten ausgeführt werden. In jedem Fall muß die Pupillenreaktion geprüft werden. Die Bestimmung der Sehschärfe soll nach dem Prinzip von SNELLEN bei einer Tafelentfernung von mindestens 5 m und einer minimalen Beleuchtung von 30 Lux erfolgen. Das Gesichtsfeld soll immer aufgenommen werden, wenn auch nur mit orientierender Methode (S. 936). Nur bei den Fliegern und Chaffeuren öffentlicher Fahrzeuge muß die Perimetrie zu Rate gezogen werden. Der Farbensinn muß mit isochromatischen Tafeln, wenn möglich nach STILLING oder ISHIIHARA und in den Fällen, wo besonders guter Farbensinn nötig ist, wie bei den Lokomotivführern, mit Hilfe des Anomaloskopes untersucht werden. Stets muß der Lichtsinn geprüft werden, was bisher auffallenderweise fast vollständig vernachlässigt worden ist. Das Tiefensehen soll bei den Fliegern und den

<sup>1</sup> Ein farbenblinder Neurologe hat seinerzeit einen Augenspiegel verwendet, der mit Hilfe des Verfassers verfertigt wurde und in der RECOSSschen Scheibe ein rotes und ein grünes Glas trug. Der Kollege brachte es zu einer bemerkenswerten Sicherheit in der Beurteilung von Abblassungen der temporalen Papillenhälfte und ähnlichem.

Führern öffentlicher Fahrzeuge untersucht werden im Hinblick auf Zusammenarbeiten der Muskeln, Fusionstendenz und Schärfe des stereoskopischen Sehens<sup>1</sup>.

**Flieger:** Normale Pupillenreaktion. Sehschärfe beiderseits = 1,0, unter Zulassung einer Sehschärfe von 0,5 für Piloten, die bereits im Dienst sind. Für Privatflieger mindestens 0,7 auf dem einen, 0,5 auf dem anderen Auge, wobei die Sehschärfe mit Gläsern auf 1,0 bzw. 0,7 gehoben werden muß. Geringe Grade der Ametropie sind zulässig. Gutes Zusammenarbeiten von Akkommodation und Konvergenz. Die Schnelligkeit der optischen Auffassung soll ebenfalls geprüft werden: Erkennung der Lücke im LANDOLTSchen Ring entsprechend 0,1 Sehschärfe in 1 Sekunde, der Farbe eines Feuers innerhalb einer Viertelsekunde. Auf Störungen des Gleichgewichtes der Augenmuskeln ist besonderer Wert zu legen. (Auch Untersuchung der Labyrinthfunktion wäre zu fordern.) Die Piloten des öffentlichen Dienstes sollen alle 6 Monate, Privatflieger alle Jahre untersucht werden.

**Chauffeure im öffentlichen Dienst:** Sehschärfe 1,0 auf dem einen, 0,7 auf dem zweiten Auge. Gläsertragen nicht zulässig. Die Führer von Autocars, insbesondere im Gebirge, müssen am Perimeter untersucht werden. Doppelsehen schließt aus. Normales Binokularsehen, normaler Licht- und Farbensinn. Wiederholungsprüfung alle 3 Jahre. Nach dem 40. Jahr kann bei denen, die bisher schon gefahren sind, das Brillentragen erlaubt werden bis zur Höhe von 4 dptr. Zusammengesetzter Astigmatismus darf insgesamt diese Dioptrienzahl nicht überschreiten.

Für *Taxichauffeure* gelten im allgemeinen die gleichen Bedingungen, nur können sie Gläser tragen, wenn insgesamt die Refraktionsanomalie nicht 6 dptr übersteigt. Der Farbensinn braucht nicht normal zu sein. Wiederholung der Prüfung alle 5 Jahre. Nach ernstlichen Krankheiten ist eine erneute Untersuchung notwendig.

Bei den *Privatfahrern* wird der Führerschein nur erteilt, nach Abgabe einer Erklärung, derzufolge sich der Kandidat fähig fühle, ein Automobil zu führen. Dabei hat sowohl er als die Verwaltung, die den Führerschein ausstellt, das Recht, eine Untersuchung zu verlangen, diese nur dann, wenn sie auf Grund der praktischen Prüfung nicht glaubt, daß physische Geeignetheit vorliegt. Nach jedem Unfall, in dem der Automobilist sich als verantwortlich erwies, ist eine Prüfung vorgeschrieben. Bis zum 50. Jahre ist die Erklärung alle 5 Jahre, nachher alle 3 Jahre zu erneuern. Sehschärfe insgesamt mindestens 0,7, wobei die Sehschärfe beider Augen zusammengezählt wird. Tragen von Brillen ist zulässig. Doppelsehen schließt aus. Das gesamte binokulare Gesichtsfeld muß 140° betragen. Es darf keine nennenswerte Herabsetzung der Adaptation bestehen. Im allgemeinen müssen die pseudoisochromatischen Tafeln gelesen werden. Ist der Bewerber Daltonist, so muß ein Auge ohne Glas eine Sehschärfe von 0,8 haben. Ist die Sehschärfe unter 0,5, so muß festgestellt werden, ob eine allfällige Farbensinnstörung sich nicht zu der Herabsetzung des Sehvermögens störend hinzuaddiert. Einäugige sind zuzulassen, wenn seit dem Verlust des Auges mindestens ein Jahr verflossen ist; Sehschärfe mindestens 0,8, Gesichtsfeld, Licht- und Farbensinn normal<sup>2</sup>.

**Eisenbahngestellte:** Es werden drei Gruppen unterschieden: A. Fahrdienst mit höchster Verantwortlichkeit. B. Überwachungsdienst mit hoher Verantwortlichkeit. C. Bureau- und ähnlicher Dienst mit geringerer Verantwortlichkeit.

<sup>1</sup> Die Frage, wie weit für Privatflieger Tiefsehen zu fordern ist, scheint mir an Hand eines mir bekannten Falles doch noch zu diskutieren zu sein. Der Kollege, der beim Fliegen ein Auge verlor, betonte, daß er beim Landen als Einäugiger keine Schwierigkeiten hätte, weil es sich hier nicht mehr um den stereoskopischen Effekt, der über 8—10 m nicht hinausreicht, sondern nur um die parallaxtische Verschiebung handele, was sicher richtig ist.

<sup>2</sup> Zu diesen Vorschlägen müssen einige *kritische Bemerkungen* gemacht werden. Die von vielen Seiten geforderte vorübergehende Erklärung enthebt den Staat nicht von der Verpflichtung, eine ärztliche Feststellung der Sehfunktionen bei dem Bewerber vorzunehmen. Der Gedanke, daß Leute, die schlechte Sinnesfunktionen haben, sich besonders vorsichtig benehmen würden, setzt eine zweifellos nicht in allen Fällen gegebene Gewissenhaftigkeit voraus, abgesehen davon, daß recht viele Erwachsene gar nicht darüber unterrichtet sind, wie schlecht ihre Sehschärfe ist. Andererseits erscheint es, wenn man überhaupt Farbenuntüchtige zuläßt, vollkommen unberechtigt, in diesen Fällen eine Sehschärfe von 0,8 ohne Glas zu verlangen, wenn sonst das Tragen von Gläsern zugelassen ist. Einäugigen die Fahrerlaubnis zu geben, ist nicht unbedenklich; zum mindesten wäre zu fordern, daß sie stets eine Schutzbrille tragen.

Nicht genügend begründet erscheint auch die Summierung der Sehschärfe beider Augen, die zusammen den Wert von 0,7 erreichen muß, da jemand mit 0,6 auf dem einen, 0,1 auf dem anderen Auge wesentlich besser qualifiziert ist als ein anderer, der beiderseits nur 0,35 hat.

Die Angehörigen der Gruppen A und B müssen alle drei Jahre einer Kontrolluntersuchung unterzogen werden, im speziellen die Lokomotivführer alle Jahre.

Sehschärfe in der Gruppe A beim Eintritt auf dem einen Auge mindestens 1,0, auf dem anderen 0,7. Gläser sind nicht zulässig. In Gruppe B auf dem besseren Auge 0,7, auf dem anderen mindestens 0,5. Bei der Wiederholungsprüfung muß in Gruppe A auf beiden Augen ohne Glas mindestens 0,5 verlangt werden, sofern Gläser zulässig sind (meist ältere Hypermetropen); beiderseits mindestens 0,7. In Gruppe B in der Wiederholungsprüfung auf einem Auge mindestens 0,5, am anderen 0,3 mit oder ohne Glas. Nennenswerte Störungen des Gesichtsfeldes sind in der Gruppe A und B nicht zugelassen; Farbensinn normal. Die Adaptation muß bei den Lokomotivführern normal sein, bei den anderen ist in zweifelhaften Fällen die Prüfung vorzunehmen. Schielen schließt aus, ebenso stärkere Störungen des Muskelgleichgewichtes.

**Marineangehörige:** Sehschärfe beim Eintritt in den Dienst auf dem besseren Auge mindestens 0,7, auf dem anderen 0,5 ohne Gläser. Tragen von Gläsern nicht zulässig. Gesichtsfeld und Farbensinn normal. Prüfung der Adaptation ist erwünscht<sup>1</sup>. Manifeste Strabismus schließt aus. Wiederholungsprüfungen mindestens alle 3 Jahre. Auf dem besseren Auge mindestens 0,7, auf dem schlechteren 0,3. Nach zehnjähriger Dienstzeit genügt auf dem besseren Auge 0,5, auf dem schlechteren 0,3.

Diese Forderungen, die nur für die Seeschifffahrt gelten, sollten auch für die Binnenschifffahrt durchgeführt werden. Hier ist bei den oft engen räumlichen Verhältnissen der Binnenseen und Flüsse die Kollisionsgefahr sicher nicht kleiner als auf See.

## L i t e r a t u r.

### *Berufseignung.*

AHLENSTIEL, H., E. SACHS u. H. STRECKFUSS: Filtergebrauch bei Farbenblindheit. Beitrag zur palliativen Therapie. Arch. Augenheilk. **102**, 271 (1929).

CASTRESANA, ANGEL: Die Sehkraft bei der Berufswahl. Rev. cub. Oftalm. **2**, 93 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 363. — COPPEZ, H.: Sur les aptitudes physiques nécessaires à la conduite des automobiles. Arch. d'Ophthalm. **48**, 254 (1931).

GESCHER, JULIUS: Selbstbeobachtungen eines relativ Grünsichtigen mit Unterwertigkeit für Rot. Untersuchungen über lokale Adaptation und PURKINJESCHES Nachbild. Arch. Augenheilk. **96**, 72 (1925).

JAENSCH, E.: Grundformen menschlichen Seins. Berlin 1929.

KANTOR, D.: Zur Frage über die minimale für die Autofahrer erforderliche Sehschärfe und über die Zulässigkeit des Brillentragens für dieselben. Russk. oftalm. Ž. **11**, 760 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 130.

MEISSL, THEODOR: Über ein Wertungssystem bei Neuaufnahmen für den äußeren Eisenbahndienst. Z. Bahnärzte **26**, 11 (1931). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 811.

PATRY, ANDRÉ: L'examen médical des automobilistes. Arch. d'Ophthalm. **47**, 304 (1930).

Rapport et considerations sur la capacité visuelles pour les aviateur, les chauffeurs, les employés de chemin de fer et les marins. 13. concilium optalm. Amsterdam 1929.

SATTLER, C. H. u. J. KAISER: Berufswahl und Auge. Stuttgart 1931. — SCHAAFF, ERNEST et PAUL BLUM: Considérations sur la capacité visuelle minima nécessaires aux cheminots, automobilistes et professions similaires. Bull. Soc. Ophthalm. Paris **1927**, 575.

TRUC, H.: Hygiène oculaire et inspection du travail. Appliquées à toutes les professions, commerce, industrie, agriculture, administrations. Paris: Masson & Co. 1926.

VIERLING: Ist die Tauvo bezüglich der Vorschriften für das Sehorgan verbesserungsbedürftig? Z. Bahnärzte **25**, 163 (1930). Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 130.

WEEKERS, L.: (a) Aptitude visuelle des conducteurs d'automobiles. Bull. Soc. belge Ophthalm. **1928**, 15. (b) L'aptitude psychophysiologique des conducteurs d'automobiles. Arch. d'Ophthalm. **46**, 717 (1929). — WEEKERS, L. et R. HUBIN: (a) L'appréciation des distances par les borgnes, envisagée au point de vue de leur aptitude comme conducteurs d'automobiles. Le Scalpel **1930 II**, 1412. Ref. Zbl. Ophthalm. **24**, 710. (b) L'acuité stéréoscopique des monophthalmes, envisagée au point de vue de leur aptitude comme conducteurs d'automobile. Arch. d'Ophthalm. **47**, 657 (1930).

<sup>1</sup> Sollte nach Ansicht des Verfassers obligatorisch werden, da gerade der Seemann bei Nachtfahrten über eine ausgiebige Adaptation verfügen muß.

## C. Die Untersuchung der Refraktion.

Da es sich bei der Refraktion um das Zusammenwirken der Brechkraft des optischen Systems und der Achsenlänge handelt, wäre Feststellung der Werte beider Faktoren notwendig. Der zweite ist direkt am lebenden Auge nicht zu ermitteln. Für praktisch-klinische Zwecke kommt vom anderen Faktor nur die Messung der Hornhautkrümmung in Betracht, für gewöhnlich nicht dagegen die der übrigen Konstanten des Auges. Die Refraktion bestimmen wir deshalb indirekt durch Ermittlung des Fernpunktes. Das ist ohne weiteres nur für nicht zu geringe Grade der Kurzsichtigkeit möglich. In allen anderen, aber auch im eben genannten, müssen bzw. können indirekte Methoden in Anwendung kommen. Man stützt sich dabei auf den einen oder anderen der konjugierten Punkte, den Fernpunkt oder die Fovea. Im zweiten Fall bedienen wir uns beim subjektiven Verfahren direkt oder indirekt der Sehschärfe.

Da die Untersuchungen von GULLSTRAND gezeigt haben, daß die allseitig symmetrisch brechenden Systeme am menschlichen Auge nur einen Spezialfall darstellen, der zwar häufig angenähert realisiert ist, so wäre logisch der erste Schritt bei der Refraktionsbestimmung zu ermitteln, ob eine einfache Asymmetrie vorliegt (s. hierzu S. 493 f. in diesem Bande).

### 1. Die Bestimmung der optischen Konstanten.

#### a) Die Ophthalmometrie (Keratometrie).

Die Untersuchung der Krümmung der Hornhautoberfläche ist, obwohl es sich nur um eine der Konstanten handelt, von großer Wichtigkeit, weil an dieser Fläche die Hauptbrechung sich vollzieht. Die Verwendung des älteren HELMHOLTZschen Ophthalmometers, das auch die Untersuchung der übrigen brechenden Flächen gestattet, ist klinisch zu umständlich. Man benützt deshalb andere Methoden.

Schätzungsweise erfolgt die Bestimmung der Krümmung der Hornhautvorderfläche unter Benützung eines beliebigen Keratoskopes, z. B. desjenigen von PLACIDO (s. S. 844). Andere Modelle sind von BERGER und UHTHOFF angegeben worden. Man vergleiche hierzu den Apparat von AMSLER, der sich auch zur Feststellung von regulär astigmatischen Deformationen benutzen läßt (s. S. 844). Ist z. B. der vertikale Meridian, wie es die Regel zu sein pflegt, stärker gekrümmt als der horizontale, so muß das konzentrische System der Ringe sich im Bilde in ein solches von konzentrischen Ellipsen mit horizontaler langer Achse verwandeln. Durch Wechsel der Blicklage des untersuchten Auges lassen sich mit dem Keratoskop auch die exzentrischen Teile der Hornhaut untersuchen. Geeigneter noch dürfte hierzu das Keratoskop von GULLSTRAND sein (s. Abb. 46, S. 502). Wird die Figur dem Auge vorgehalten, so kann durch die verschiedenen Formen, welche sie bei sukzessiver Abbildung auf den einzelnen Hornhautpartien annimmt, ein Urteil über die Krümmung der Hornhaut gewonnen werden.

Eine Messung der Krümmung in den verschiedenen Meridianen ist möglich durch Drehung eines rechteckigen schwarzen Rahmens mit weißem Rand (DE WÉCKER und MASSELON), bis ein quadratisches Spiegelbild erreicht wird.

ROTH hat die PLACIDOSche Scheibe dadurch zur Messung des Astigmatismus verwandt, daß er mit Hilfe eines Stahldrahtes, der an dem Ende eines Durchmessers befestigt ist, die Scheibe krümmt, so daß die Kreise zu perspektivischen Ellipsen werden, auf der astigmatischen Hornhaut aber wieder konzentrische Kreise liefern.

Das Prinzip der Krümmungsmessung von Flächen beruht also darin, einen Gegenstand von bekannter Größe zur Abbildung zu bringen und dann seine Bildgröße zu messen. Geschieht das in verschiedenen Meridianen, so läßt sich aus der verschiedenen Bildgröße ein Rückschluß auf die jeweilige Krümmung ziehen. Da aber die Bilder klein sind, ist selbst bei Fernrohrablesung der Unterschied in der Bildgröße sehr gering. Deshalb wird von dem Prinzip der Verdoppelung der Bilder auf optischem Wege Gebrauch gemacht. Sowohl am alten HELMHOLTZschen Ophthalmometer als auch bei sämtlichen Apparaten, die praktisch-klinisch zur Messung der Hornhautoberfläche dienen, ist diese sog. Kollimation in Anwendung gezogen. Das wird entweder durch Drehung zweier Glasplatten gegeneinander,

wobei eine parallele Verschiebung bei schiefer Durchsicht auf die Platte entsteht, oder bei den klinisch gebräuchlichen Keratometern mit Hilfe eines WOLLASTONESCHEN Prismas erreicht. Als Gegenstand verwendet man zwei Lichtflammen oder, wie bei dem Apparat von JAVAL-SCHIÖTZ, zwei rechteckige Felder, die so im Bilde durch eine Änderung des gegenseitigen Abstandes der Objekte orientiert werden, daß sich die äußeren Kanten des linken bzw. rechten Doppelbildes (Fenster, Linien oder dgl.) gerade berühren. Die Messung erfolgt nur für den mittleren optischen Bezirk.

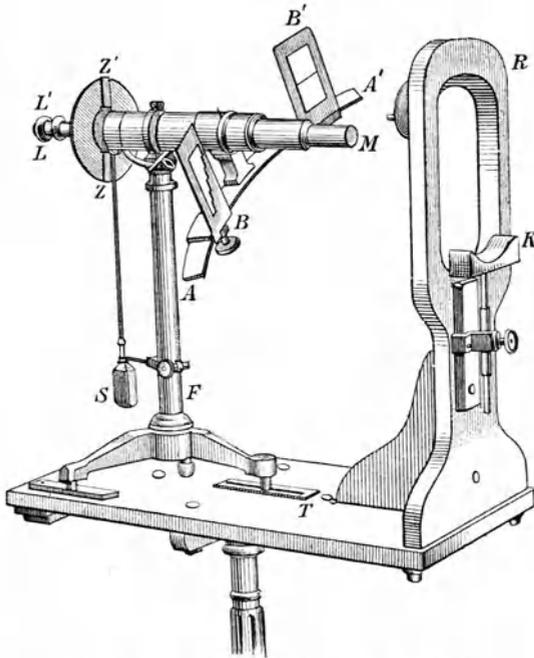


Abb. 61. Keratometer. (Nach JAVAL-SCHIÖTZ.)

**Der Apparat von JAVAL-SCHIÖTZ** (Abb. 61). B und B' sind die beiden auf einem Halbbogen befestigten rechteckigen Fenster, die von kleinen elektrischen Birnen erhellt werden. Durch eine Schraubendrehung, die an neuen Modellen eine gekoppelte Verschiebung der beiden Fenster im entgegengesetzten Sinne erlaubt, kann ihr Abstand, d. h. also die Objektgröße geändert werden. Beide Felder sind durch ein Mattglas verschlossen. Das eine ist rechteckig, das andere zeigt eine treppenförmige Form. Man ermittelt um wieviele Stufen sich nach Einstellung bis zur Berührung der beiden zugekehrten Flächen der Halbbilder (Kollimation) in dem Meridian schwächster Krümmung, dann in demjenigen stärkster Krümmung sich die beiden Bilder überdecken (Abb. 62a). Die Anzahl der Stufen gibt die Brechkraftsdifferenz in Dioptrien an. Außerdem kann der Ra-

dius und die absolute Höhe der Brechkraft unter Annahme eines Brechungsindex der Hornhaut von 1,3375 an dem Gradbogen des Apparates abgelesen werden. Ist die Hornhaut im Messungsbereich astigmatisch („denivelliert“), so sind bei schiefer Achsenlage in

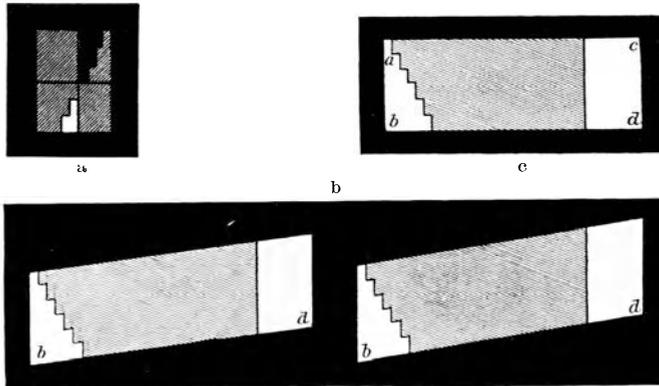


Abb. 62 a, b u. c: a Überschneiden der beiden Reflexbilder der Hornhaut am Ophthalmometer von JAVAL; b Denivellierung der Bilder bei schiefer Achsenlage; c nach Ausgleich der Denivellation.

Mittelstellung die Rechtecke verzogen, wie es Abb. 62 b zeigt. Durch entsprechende Drehung werden die Bilder in die Lage der Achsen gebracht (wie in Abb. 62 c).

Zum Ausgleich der Chromasie hat man komplementär gefärbte Gläser (rot und grün) den Fenstern vorgesetzt. Die sich deckenden Teile erscheinen überdies dann weiß. Hierdurch wird einerseits die Ablesung erleichtert, andererseits durch Lichtverlust erschwert.

KRAUPA hat darauf hingewiesen, daß die Gradeinteilung an den älteren Apparaten, nicht dem Taboschema, entspricht. Er empfiehlt deshalb eine diesem zugeordnete Einteilung. Zur Ausmessung der übrigen Krümmungsflächen des Auges ist der Apparat zu lichtschwach.

Auf ähnlichen Konstruktionsprinzipien beruhen andere Keratometer, z. B. dasjenige von MEYROWICZ.

**Das Keratometer von SUTCLIFFE.** Eines anderen Prinzips bedient sich dagegen der Apparat von SUTCLIFFE (Abb. 63), bei dem die Verdoppelung des Bildes in zwei aufeinander senkrechten Richtungen durch Ablenkung des Strahles infolge prismatischer Wirkung einer Zylinderlinse erfolgt. Der Gegenstand, der zur Abbildung gelangt, ist ein Ring mit vier in 90° Entfernung angebrachten, aufsitzenden Haken (sog. Swastika). Der eine Schenkel der Haken steht radial, der andere dazu senkrechte etwa konzentrisch zum Ring. Das Objekt wird von einer Blechscheibe, in die das Muster ausgeschnitten ist, gebildet und durch eine Milchglasplatte von hinten durchleuchtet. Der Ringdurchmesser beträgt 100 mm.

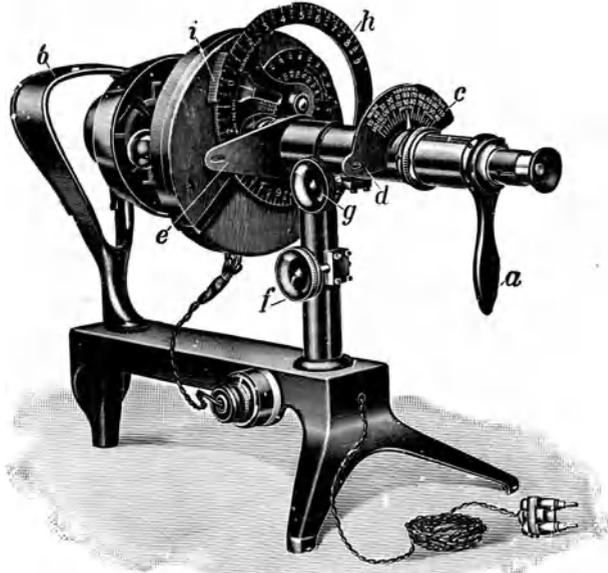


Abb. 63. Keratometer. (Nach SUTCLIFFE.)

Bei einem Abstand von 125 mm wird die Bildgröße auf der Hornhaut bei 7,5 mm Radius, 2,4 mm haben, entsprechend einer Winkelöffnung von ungefähr 20°. Die radiär stehenden Schenkel der Haken dienen zur Nivellierung (Einstellung der Achse des Astigmatismus), die tangentialen zur Kollimation. Der Kollimationsmechanismus wird durch die Verschiebung der äußeren Streifenpaare der Zylinderlinse gegen die mittleren

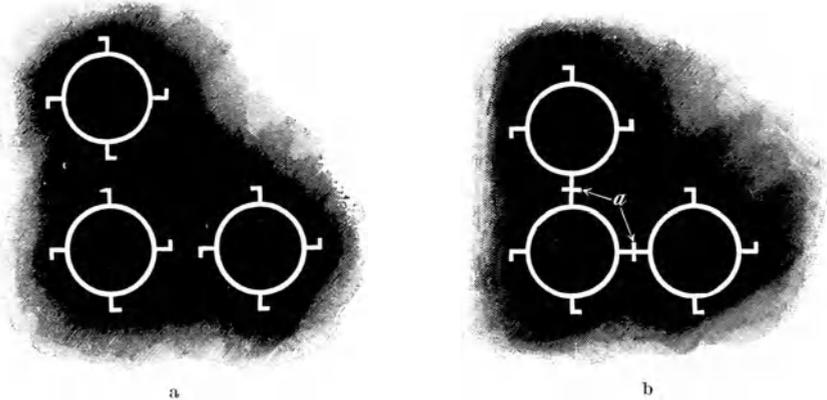


Abb. 64a u. b. a Testfigur am SUTCLIFFESchen Ophthalmometer (verdreifacht). b Die Figur nach Kollimation. Bei a die radiär gestellten Striche, die zur Kollimation dienen.

erreicht. Auf diese Weise bietet sich im Fernrohr des Apparates ein Bild dar, wie Abb. 64a vor, Abb. 64b nach der Kollimation.

Die Genauigkeit des Instrumentes ist sehr groß wie die Messungen von BEIGER ergaben (zit. nach NORDENSON). Sie werden exakter je stärker der Astigmatismus ist, weil die Denivellation der Bilder nur an den kleinen tangentialen Stücken sich ablesen läßt. Hierin liegt ein gewisser Nachteil gegenüber dem Apparat von JAVAL-SCHIÖTZ. Der Vorteil besteht darin, daß die Ablesung in beiden Meridianen ohne Drehung ausgeführt werden kann.

**b) Die Messung der Abstände der brechenden Flächen.**

Die Messung der Abstände der brechenden Flächen wird im allgemeinen bei der klinischen Untersuchung nur selten ausgeführt. In Betracht kommen die Hornhautdicke, die Vorderkammertiefe und die Linsendicke. Eine angenäherte Bestimmung gibt die auf S. 846 geschilderte Methode mittels der Spaltlampe; da aber hier die Brechung an den Flächen, vor der zur Messung gelangenden Distanz nicht berücksichtigt wird, sind Fehler möglich, deren Größe unbekannt bleibt. Man kann sich zweckmäßig auch der von ULBRICH empfohlenen Meßtrommel bedienen, die am Hornhautmikroskop angebracht ist. Sie gestattet aber ebenfalls nur Ermittlung der scheinbaren Dicke. Für die wirklichen Abstände ist eine Umrechnung erforderlich. Für die zentralen Teile der Hornhaut wird sie von JULLERAT und KOPY gegeben. Die Formel lautet  $d = m \nu$ , worin  $m$  den Wert der Hornhautdicke, der mit dem Mikrometer gemessen wird,  $d$  die wahre Dicke bedeutet und  $\nu$  einen Faktor, der von  $d$  abhängt, aber bei einem Einfall des Lichtes von  $45^\circ$  angenähert den Wert von 1,63 besitzt. KOPY gibt daraus als wahrscheinliche Dicke der normalen Hornhautmitte immer einen kleineren Wert als 0,8 mm an; im allgemeinen dürfte er um 0,58 mm liegen.

Tabelle zur Bestimmung der Kammertiefe nach HARTINGER.

$r_1$	$r_2$	$D_1$	$D_2$	$d$	$s_1$	$\bar{s}'_1$
7,7	6,8	48,83	— 5,88	0,5	3,05	3,10
7,7	6,8	48,83	— 5,88	0,5	3,94	4,00
8,5	7,6	44,24	— 5,26	0,5	3,01	3,10
8,5	7,6	44,24	— 5,26	0,5	3,88	4,00
6,3	5,4	59,68	— 7,41	0,5	3,14	3,10
6,3	5,4	59,68	— 7,41	0,5	4,10	4,00
8,5	7,6	44,24	— 5,26	0,6	3,94	3,96
7,7	6,8	48,83	— 5,88	1,0	4,20	3,74
7,7	6,8	48,83	— 5,88	1,0	3,94	3,50

$r_1$  Radius der vorderen,  $r_2$  Radius der hinteren Hornhautfläche.  $D_1$  Brechkraft der vorderen,  $D_2$  Brechkraft der hinteren Hornhautfläche.  $d$  Dicke der Hornhaut.  $s_1$  Kammertiefe, gemessen an der ULBRICH'SCHEN Meßtrommel.  $\bar{s}'_1$  berechnete wahre Kammertiefe.

HARTINGER hat in analoger Weise die Vorderkammertiefe berechnet, ohne dabei einen Astigmatismus zu berücksichtigen, und die Messung auch nur entlang der optischen Achse durchgeführt. Er erhält je nach den verschiedenen Radien für die vordere und hintere Hornhautfläche, für verschiedene Hornhautdicken und den daraus sich ergebenden Brechkräften bei einem mittleren Brechungsindex von 1,336 für die Hornhaut, die folgenden Werte für die scheinbare und wirkliche Kammertiefe (s. Tabelle) (man vergleiche hierzu auch ROSENGREN).

**2. Die subjektiven Verfahren zur Bestimmung der Refraktion.**

Es gelten hier die gleichen Bedingungen wie sie auf S. 920 geschildert worden sind. Entsprechend dem auf S. 957 Gesagten soll zunächst ermittelt werden, ob und wieweit das Auge asymmetrisch gebaut ist.

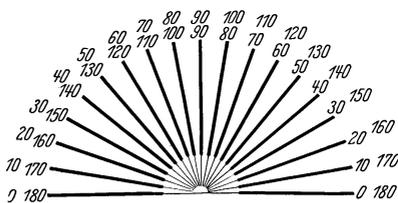


Abb. 65. Strahlenfigur zur subjektiven Bestimmung der Lage der Schnitte des Hornhautastigmatismus. (Nach LANDOLT.)

**a) Die Verwendung der Strahlenfigur und ähnlicher Proben.**

Bei nicht allseitig symmetrischem Bau des brechenden Systemes resultieren zwei Schnitte, je einer von stärkster und schwächster Brechung. Je nach der Lage der Netzhaut sind, wie auf S. 645 f. ausgeführt, die verschiedensten Kombinationen der in diesen beiden Hauptschnitten bestehenden Refraktion möglich. Die Folge davon ist, daß sich schwarze Linien auf dunklem

Grunde, wie sie z. B. die Abb. 65 darstellt, ungleich scharf auf der Netzhaut abbilden werden. Derjenige Meridian, der sich scharf oder relativ am schärfsten auf der Netzhaut abbildet, wird am deutlichsten erscheinen, der im Winkel von  $90^\circ$  dazustehende in der Regel am undeutlichsten. Vielfach verwendet man auch einen Stern, dessen Strahlen sich über  $360^\circ$  erstrecken.

Der Gradabstand, in dem man die Strahlen von einander anbringt, ist verschieden. In dem vorstehenden Schema sind Abstände von  $10^{\circ}$  zu  $10^{\circ}$  gewählt worden. In anderen

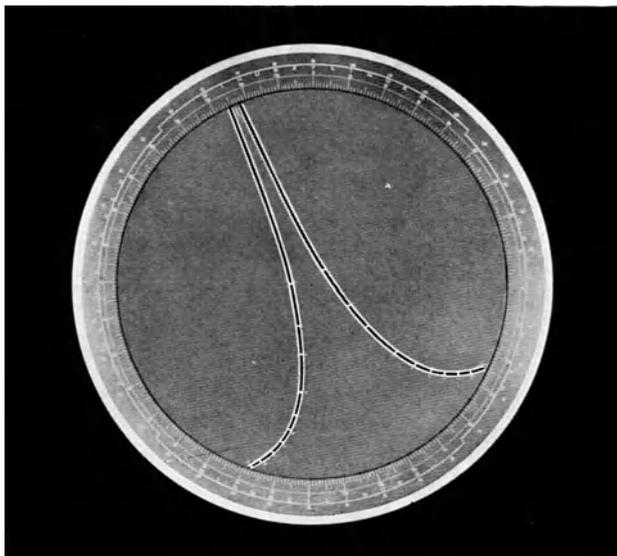


Abb. 66. Scheibe zur Ausführung der Pfeilschattenprobe. (Nach RAUBITSCHKEK.)

sind sie größer. Liegt die Achse zwischen zwei in der Figur enthaltenen Strahlen, so können die beiden benachbarten angenähert gleich scharf erscheinen. Es ist damit aber noch nicht gesagt, in welcher Zwischenstellung sich nun genau die Achse befindet. Zu diesem Zwecke müßte die Tafel drehbar sein; hieraus ließe sich dann, bei genügender Intelligenz des Patienten, die wahre Achsenlage ermitteln. Ein solches Modell ist von ZAMENHOF angegeben worden. An ihm sind überdies die Winkel, unter denen die Strahlen erscheinen, variierbar, so daß damit auch die genauere Bestimmung der Achsenlage, die bei feststehenden Strahlen Schwierigkeiten macht, sich exakter gestalten läßt (s. FERREE und RAND).

Am besten ist die Probe anwendbar, wenn der Brennpunkt einer der beiden Hauptschnitte gerade in der Netzhaut liegt, also in diesem Meridian Emmetropie besteht. Ist das nicht der Fall, so wird wohl ein Strahl am schärfsten erscheinen, und der unter  $90^{\circ}$  dazu befindliche am relativ undeutlichsten, aber die Schärfe des erstgenannten wird nicht absolut sein. Dann tut man gut, das Auge durch Vorsetzen von sphärischen Plus- oder Minusgläsern zunächst für den einen der beiden Hauptschnitte auszukorrigieren.

Von BEACH ist zu dem gleichen Zweck ein Maltheserkreuz empfohlen worden, welches wegen der großen Zahl von Winkeln (12 von  $30^{\circ}$  Abstand), die an verschiedenen Stellen wiederkehren, sich gut für die Probe eigne.

OPPENHEIMER macht darauf aufmerksam, daß bei hochgradig myopischen Augen, die überdies schwachsichtig sind, sich die Probe in der Ferne nicht exakt genug ausführen lasse. Er empfiehlt deshalb eine verkleinerte Strahlenfigur, die auf einem Stabe beweglich dem Patientenaug

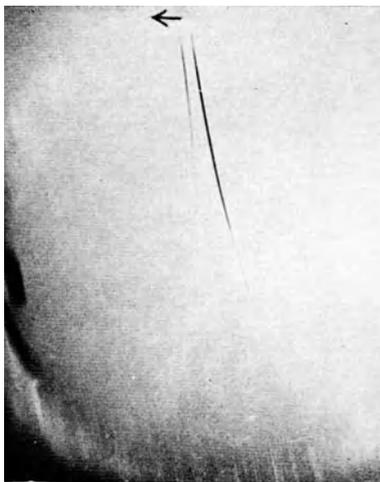


Abb. 67. Aussehen der Kurven an der Scheibe der Pfeilschattenprobe bei nicht exakter Einstellung der Achse. Die Scheibe muß in der Richtung des Pfeiles gedreht werden, um beide Kurven gleich scharf erscheinen zu lassen.

seinem Fernpunkt abbildet. Auf diese Weise wäre oft noch eine subjektive Bestimmung der Achsenlage zu erzielen, die gerade für die Korrektur des myopischen Auges von Wichtigkeit ist.

KLECKOWSKI empfiehlt eine besonders gebaute Spaltblende, die er direkt auf die anästhetisierte Cornea aufsetzt.

**Die Pfeilschattenprobe.** An dieser Stelle sei auch die Pfeilschattenprobe von RAUBITSCHKEK erwähnt. Sie verwendet, wie Abb. 66 zeigt, zwei Kurven, die in eine Spitze zusammenlaufen und auf einer drehbaren Scheibe angebracht sind. Bei Astigmatismus erscheint, sofern die eine Achse nicht genau der Mitte zwischen den beiden Kurven entspricht, der eine oder andere Schenkel undeutlicher oder einzelne Abschnitte in der einen Kurve heben sich schärfer hervor als in der anderen (s. Abb. 67). Die Aufgabe besteht darin, zunächst zur Feststellung der Achsenlage die Scheibe so zu drehen, daß symmetrische Teile der Kurven, am besten die einander genäherten (die Spitze des „Pfeils“), gleich scharf erscheinen. Damit ermittelt man die Meridianstellung, was bei intelligenten Patienten bis auf  $1-2^{\circ}$  genau

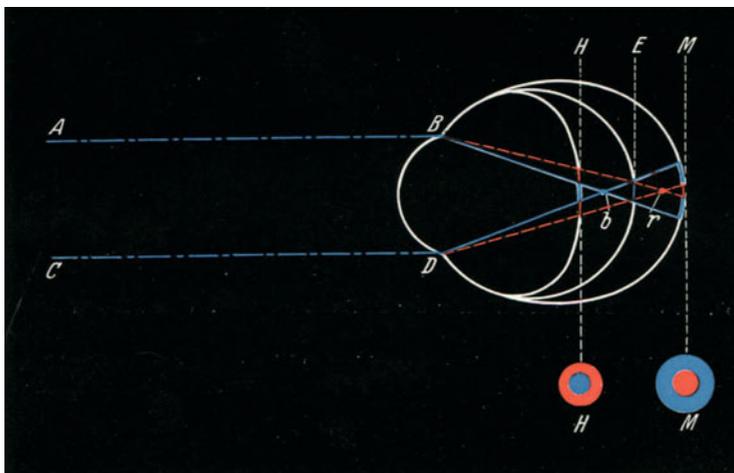


Abb. 68. Verwendung der Chromasie des Auges zur Refraktionsbestimmung. *b* Schnittpunkt der blauen, *r* Schnittpunkt der roten Strahlen. Unten Aussehen eines Lichtpunktes, dem ein Kobaltglas vorgeschaltet ist, bei Hypermetropie bzw. Myopie. (Nach LANDOLT.)

möglich ist. Ist das Auge auch sphärisch voll korrigiert, so erscheinen die Kurven in ihrer Totalität gleichmäßig scharf. Zu Beginn der Untersuchung tut man gut, den Patienten durch ein schwaches + Glas leicht myopisch zu machen, um die Akkommodation auszuschalten.

### b) Die Verwendung der Chromasie des Auges.

Infolge der Chromasie des Auges werden die kurzwelligeren (violett und blauen) Strahlen stärker gebrochen als die langwelligeren (roten). Es entstehen auf diese Weise zwei Brennpunkte für die betreffenden Spektralbezirke. Wie aus der Abb. 68 hervorgeht, wird je nach der Lage der Netzhaut ein verschiedenes Bild von einer Lichtquelle entworfen werden, die nur lang- und kurzwelliges Licht aussendet, bzw. wenn durch Vorschalten eines entsprechend gefärbten Glases, wie das Kobaltglas, eine selektive Absorption stattfindet. Wie aus der Abbildung ohne weiteres verständlich ist, wird nur dann, wenn die Zerstreuungskreise der beiden Spektralbezirke gleich groß sind, sich deren Licht zu einer Mischfarbe vereinigen. In dem vorliegenden Fall entsteht ein Purpur bzw. Violett. Liegt die Netzhaut weiter vorne, wie bei Hypermetropie, so wird im Zentrum ein blauer Fleck, von einem roten Hof umgeben, sichtbar werden. Umgekehrt ist es, wenn die Netzhaut weiter hinten liegt, wie bei Myopie.

Der Gedanke, dieses Verhalten zur Refraktionsbestimmung zu verwenden, ist bereits von THORINGTON ausgesprochen worden. Er hat aber nur, wie auch LANDOLT, die Tatsache, daß eine Ametropie und welcher Art vorliegt, daraus ermittelt, ohne doch den Grad der Fehlsichtigkeit genauer damit bestimmen zu wollen bzw. zu können.

Erst ROESSLER suchte mit Hilfe dieser Methode insbesondere etwa vorhandenen Astigmatismus seiner Achsenlage und seinem Grade nach zu ermitteln. Er verwendet eine starke elektrische Lampe, die in einem Gehäuse eingeschlossen ist, das vorn eine kleine Öffnung

von 8 mm trägt; sie wird von einem Kobaltglas bedeckt. Der Patient beobachtet aus etwa 2 m Entfernung im mäßig verdunkelten Raume (um eine zu starke Erweiterung der Pupille zu vermeiden). Befindet sich die Netzhaut an der Stelle, wo die Zerstreuungskreise für rot und blau gleich groß sind, so erscheint dem Patienten die belichtete Fläche gleichmäßig rötlich-violett. Wie die Verhältnisse bei reiner sphärischer Ametropie sich gestalten, ist aus der Abb. 68 zu entnehmen. Ist dagegen ein Astigmatismus vorhanden, so kommt es zu einer astigmatischen Deformation der roten und blauen Strahlen (Abb. 69). Wie ohne weiteres zu ersehen, gibt es wie auch sonst bei einem astigmatischen Lichtbüschel, eine sog. interfokale Strecke, d. h. einen Bezirk, der zwischen den beiden Brennpunkten für die blauen und für die roten Strahlen gelegen ist. Aufgabe bei der Refraktionsprüfung ist es nun, das Auge unter Zuhilfenahme von Brillengläsern so einzustellen, daß die Netzhaut sich innerhalb dieser interfokalen Strecke befindet. Es muß dadurch wegen der senkrechten Durchdringung der Hauptschnitte schwächster und stärkster Brechung eine Kreuzfigur entstehen. Soweit die beiden Strahlenanteile sich decken, erscheint die Farbe weißlich-violett; außerdem sieht man aber die blauen und die roten Strahlen als senkrecht aufeinander stehende Balken sich kreuzen. Zur Ermittlung der Achsenlage ist an dem Apparat

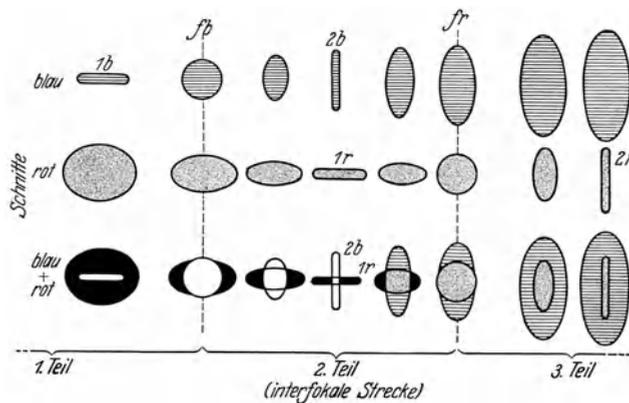


Abb. 69. Zum ROESSLERSchen Verfahren. Astigmatische Verzerrung der Schnitte der blauen und roten Strahlengruppen bei einem Astigmatismus von etwa 2 dptr, in der ersten und zweiten Reihe einzeln, in der dritten zusammengelegt dargestellt. 1b, 2b und 1r, 2r erste und zweite Brennlinie; fb blauer, fr roter Fokalschnitt.

nach dem Taboschema eine Skala angebracht, zwei kleine Leuchtlinien, die an der Vorderfläche sich befinden und unter  $90^\circ$  zu einander stehen; sie werden in die Stellung der roten und blauen Arme gebracht. Durch Vorsetzen von sphärischen und Zylindergläsern wird dann Korrektion angestrebt. ROESSLER hat an einem großen Material das Verfahren als zuverlässig erprobt. Demgegenüber macht freilich APIN darauf aufmerksam, daß namentlich der Grad der sphärischen Fehlsichtigkeit doch nur bedingt richtig zu bestimmen sei. Der Patient habe trotz des Aufenthaltes im Dunkeln häufig die Neigung zu akkomodieren. Auch unsere eigenen Erfahrungen an der Basler Klinik deuten in dieser Richtung.

Auf einem ähnlichen Prinzip beruht die Methode von FILETT, der eine Filterung durch Methylenblau bewirkt. PECH und IMBERT haben dann mit Hilfe eines besonderen Apparates (Ericiskop) in analoger Weise die Refraktion bestimmen wollen. ETELKA HAAS hat das Verfahren nachgeprüft, findet es für exakte Bestimmungen freilich unzureichend, wohl aber geeignet zum Zwecke vorläufiger Orientierung.

### c) Die Verwendung des SCHEINERSchen Versuchs.

Wird vor die Pupille eine Blende mit zwei feinen Löchern gebracht, so entsteht, wie Abb. 70 zeigt, nur bei emmetropischer Refraktion (EE) ein einfaches Bild auf der Hornhaut. Bei Ametropie dagegen treten je zwei Zerstreuungskreise auf, die zu monokularem Doppelsehen führen müssen, und zwar bei Myopie (MM) zu „gleichnamigem“, bei Hypermetropie (HH) zu „gekreuztem“. Dieses von SCHEINER beobachtete Phänomen (s. auch M. v. ROHR) ist auf verschiedene Weise zur Bestimmung nicht nur der Art der Fehlsichtigkeit, sondern auch ihres Grades, sowie zur Ermittlung eines etwa vorhandenen Astigmatismus

verwendet worden. Es sind das die unter den Namen Kineskopie oder Skiakineskopie (HOLTH), Velonoskiaskopie (TRANTAS), Streifenprobe (LINDNER), Autokineskopie (SHEARD) angegebenen Verfahren.

Zur qualitativen Bestimmung, welche Art von Fehlsichtigkeit vorliegt, kann man sich des ursprünglichen SCHEINERSchen Versuches bedienen, indem man eine Blende mit zwei Löchern, deren Abstand kleiner sein muß als dem Durchmesser der Pupille des Untersuchten entspricht, vor dessen Auge hält. Läßt man nach einem fernen Lichtpunkt sehen, so wird zunächst festzustellen sein, ob monokulares Einfachsehen oder Doppeltsehen besteht. Im ersten Fall ist das Auge auf den betreffenden Punkt eingestellt, im anderen liegt eine Fehlsichtigkeit vor. Verschwindet bei Verdecken des einen Loches das gleichnamige Bild, so ist Myopie vorhanden, im umgekehrten Falle Hypermetropie.

Man kann diese Methode aber auch, wie es HOLTH zunächst getan hat (s. auch GJESSING), so verändern, daß man eine schmale Blende vor das Auge hält und nun nach einem beliebigen Gegenstand blicken läßt. Ist das Auge auf die Ferne eingestellt, so entstehen bei Bewegungen des Spaltes z. B. senkrecht von oben nach unten keine Scheinverschiebungen. Ist dagegen eine Fehlsichtigkeit vorhanden, so werden durch teilweise Abblendung der

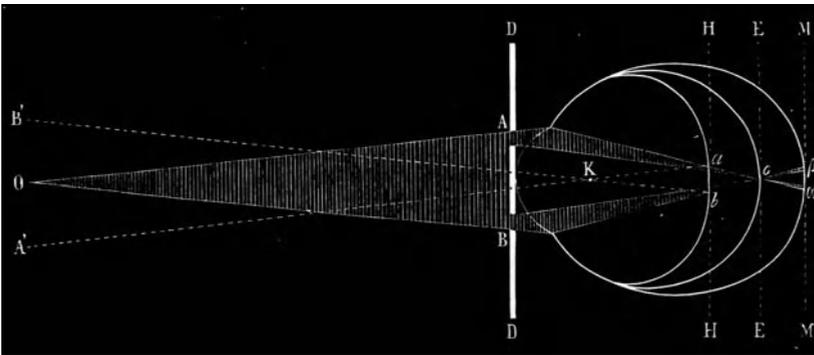


Abb. 70. Der SCHEINERSche Versuch. In der Blende D D sind zwei Öffnungen A und B. Nur bei Emmetropie (E) wird von dem Objekt O ein scharfes Bild auf der Netzhaut entworfen. Bei Hypermetropie entstehen „ungleichnamige“, bei Myopie „gleichnamige“ Doppelbilder.

Zerstreungskreise die Objekte eine gleichsinnige (Myopie) oder ungleichsinnige (Hypermetropie) Scheinbewegung ausführen, weil durch Fortfallen der entsprechenden Teile der Zerstreungskreise eine Änderung des mittleren Raumwertes statthat.

Das bisher Gesagte galt zunächst nur für sphärische Ametropie. Liegt Astigmatismus vor, so werden in den beiden Hauptschnitten je nach der überdies bestehenden sphärischen Fehlsichtigkeit die Zerstreungskreise nicht Kreise, sondern Ovale darstellen. Verwendet man dabei als Objekt nicht einen Lichtpunkt, sondern z. B. ein Kreuz, so wird, wenn die beiden Balken des Kreuzes mit den Hauptschnitten des astigmatischen Systems zusammenfallen, der eine von ihnen unschärfer und entsprechend breiter, der andere schmäler und entsprechend schärfer erscheinen. Bewegt man jetzt den Spalt parallel erst zu der einen, dann zu der anderen Achse, so läßt sich unschwer aus der größeren oder geringeren Verschiebung feststellen, welcher Meridian die größere Fehlsichtigkeit hat. Dieser wird nämlich wegen des hier breiteren Abbildes auf der Netzhaut eine ausgiebigere Verschiebung erkennen lassen als der Meridian, in dem das schärfere Bild liegt. Man kann, um die beiden Meridiane sofort hintereinander zu prüfen, sich einer Kreuzblende bedienen, die erst in der einen, dann in der anderen Richtung der beiden Hauptschnitte bewegt wird.

Bewegt man den Spalt nicht genau parallel oder senkrecht zu dem einen bzw. dem anderen Hauptschnitt, d. h. fallen die beiden Hauptschnitte nicht mit dem Spalt zusammen, so tritt, wenn man ein System von Linien nimmt, wie es z. B. von LINDNER und RAUBITSCHKE angegeben worden ist, die Scheinbewegung wohl parallel zu der Bewegungsrichtung des Spaltes, aber schief zu derjenigen der betreffenden Linie oder dgl. auf. Durch Drehung der Linie läßt sich relativ leicht und zuverlässig diejenige Stellung ermitteln, in der die Scheinbewegung genau parallel zur Längsausdehnung der Linie erfolgt.

Statt eines Spaltes kann man in der gleichen Weise einen feinen Draht oder ein Drahtkreuz (BARBATO, LINDNER u. a.) verwenden. Hier wird, wie die Abb. 71 zeigt, ein Teil des Zerstreungskreises herausgeblendet. Es entsteht auf diese Weise von einer schwarzen Linie auf hellem Grunde, die nicht scharf auf der Netzhaut abgebildet wird, eine helle

Linie in der Mitte des verwaschene Bildes. Diese zeigt bei Bewegungen der Nadel vor der Pupille genau die gleichen Scheinverschiebungen, wie sie auch bei Bewegungen des Spaltes auftreten, die Schlüsse, die daraus zu ziehen sind, sind die entsprechenden.

**Velonoskiaskopie.** Auf diesem Verfahren beruht die Velonoskiaskopie von TRANTAS [*ἡ βελόνη* neugriechisch = die Nadel, KRÄMER (g); nach diesem Autor besser Rhabdoskopie, von *ῥάβδος* = der Stab]. Die spezielle Methodik, deren sich TRANTAS bedient und deren theoretische Begründung kürzlich von H. K. MÜLLER gegeben wurde, ist folgende:

Eine mit Gradteilung versehene, rot eingestrichene Scheibe wird in etwa 5 m Entfernung vom Patienten aufgehängt (sog. Aktinophore = Strahlenträger). Die Scheibe kann beliebig gedreht und in jedem Meridian festgestellt werden. Die Endpunkte der 180° einnehmenden Strahlenteilung werden durch einen weißen Durchmesser miteinander verbunden. Der Patient hält nahe vor sein Auge einen feinen Draht und bewegt ihn in horizontaler oder vertikaler Lage frontal parallel hin und her. Dabei ist auf den weißen Durchmesser zu achten. Ist das Auge auf die betreffende Entfernung eingestellt, so macht, wenn

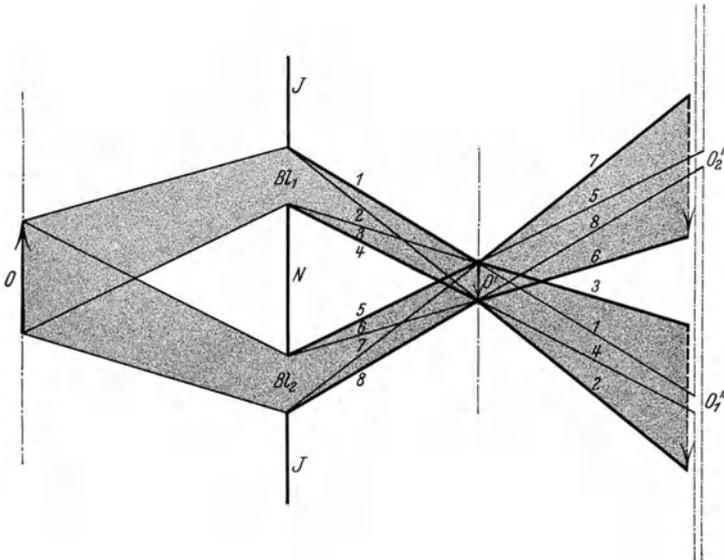


Abb. 71. Die Länge des Pfeiles O bedeutet die Breite des zu beobachtenden weißen Streifens. Die ihn verlängern Linien entsprechen dem Hintergrund.  $Bl_1$  und  $Bl_2$  sind die Blendenöffnungen, die durch das Vorhalten der Nadel N und durch die Iris J gebildet werden. Der Einfachheit halber ist N in die Ebene von J verlegt.  $O'$  ist das von O in der Brennebene entstehende Bild.  $O'_1$  und  $O'_2$  entsprechen den den beiden Blendenöffnungen zugeordneten Zerstreungsbildern von O. Die gestrichelten Linien deuten die Zerstreungsbilder des Hintergrundes an.  
(Nach H. K. MÜLLER.)

die Nadel parallel zur Lage der weißen Linie bewegt wird, sich keinerlei Bewegungen an ihr bemerkbar. Ist das Auge nicht eingestellt und erscheint demgemäß die weiße Linie als verwaschene, mehr oder weniger breites Band, so zeigt sich parallel zu dem Strich ein feiner dunkler (schwarzroter) Schatten (schwärzlich wegen des Kontrastes) in der ganzen Längsausdehnung des Bandes. Bei Bewegungen bewegt der Schatten sich je nachdem, ob myopische oder hypermetropische Refraktion besteht, gleichsinnig oder ungleichsinnig mit der Nadel. Es ist zu empfehlen, wenn das Auge nicht myopisch ist, es künstlich durch Vorsetzen von Plusgläsern kurzsichtig zu machen. Dann ist die Schattenbewegung immer gleichsinnig und wird von dem Patienten leicht wahrgenommen, wenn die erzeugte Fehlsichtigkeit nicht zu gering ist. Fällt die Lage des weißen Striches nicht mit einem Hauptschnitte des Auges (bei bestehendem Astigmatismus) zusammen, so erfolgt die Bewegung des dunklen Striches in dem breiteren Bande nicht parallel zu diesem, sondern unter einem Winkel, der von der Stärke der Verdrehung der beiden Ebenen gegeneinander abhängt. Man muß dann den weißen Meridian entsprechend umstellen. Damit ist die Achsenlage angenähert bestimmt. Durch Vorsetzen von sphärischen Gläsern wird damit Korrektur für einen Meridian angestrebt, bis die Bewegung des Schattens aufhört und schließlich in die entgegengesetzt gerichtete sich verwandelt. Jetzt ist man sicher, daß man über die Korrektur bereits hinausgegangen ist, und muß dementsprechend wieder schwächere Gläser vorsetzen. Hat man so die Korrektur in einen Meridian vorgenommen,

so geschieht sie in dem dazu senkrecht gerichteten in der Weise, daß man entsprechend orientierte Zylindergläser vorschaltet, bis auch in diesem Meridian keine Scheinbewegung bei Hin- und Herbewegen der Nadel mehr auftritt. Zur Vereinfachung ist statt der Nadel ein Kreuz, welches in eine Fassung eingespannt ist, empfohlen worden. Die Achsen des Kreuzes bestehen aus feinen Metall-, Kokonfäden oder dgl. Man kann dann die beiden Meridiane schnell hintereinander bestimmen.

Die Beobachtung der Bewegungen des „Schattens“ erfordern ein nicht ganz geringes Maß von Intelligenz und Aufmerksamkeit von seiten des Patienten, die nicht immer aufgebracht werden.

#### d) Die subjektive Refraktionsbestimmung mit Hilfe von Brillengläsern.

Die geschilderten Verfahren gelten im allgemeinen nur als Vorprobe. Erst die Untersuchung mit Gläsern und Sehprobentafel bildet den Abschluß der funktionellen Prüfung der Refraktion.

Die Grundsätze dieses Verfahrens, die wir wohl nach DONDERS zu benennen pflegen, da er sie zuerst systematisch angewandt zu haben scheint (1866), sind in jedem Lehrbuch der Augenheilkunde und vielen eigens für diesen Zweck verfaßten kurzen Darstellungen enthalten und können als bekannt vorausgesetzt werden. Im folgenden ist deshalb eine Beschränkung auf einzelne Fragen möglich, die vielfach bei der Untersuchung nicht genügend Berücksichtigung zu finden pflegen.

Vor allem ist bei den nicht unter Lähmung der Akkommodation vorgenommenen Bestimmungen damit zu rechnen, daß namentlich jüngere Individuen den Ciliarmuskel anspannen. Wegen der Koppelung der Akkommodation mit der Pupillenverengung vermag deshalb bei Überkorrektur einer Myopie die Sehschärfe noch zu steigen, was zu Verordnungen zu starker Gläser führen kann. Ein gewisser Schutz dagegen bedeutet die nach der monokularen Prüfung stets noch anzuschließende binokulare Prüfung, wobei durch Zusatz eines schwachen Konvexglases vor beide Augen (+ 0,25, eventuell auch + 0,5 oder noch mehr) und dann auch sukzessive bei beiderseits offenen Augen erst vor das eine, dann vor das andere Auge zu kontrollieren ist, ob nicht das funktionelle Resultat gleich bleibt.

Das zweite Moment, das zu berücksichtigen ist, liegt in der Unmöglichkeit der kontinuierlichen Änderung der Glasstärke. Wenn auch Abstufungen von  $\frac{1}{8}$  dptr in Amerika und England gebräuchlich sind, so bedeutet das abwechselnde Vorsetzen von Korrektionsgläsern doch nicht eine kontinuierliche, sondern immer eine sprunghafte Änderung der Versuchsbedingungen. Wir können deshalb die Refraktionsfehler nur in Klassen einteilen, ohne in der Lage zu sein, die etwa vorhandenen Abweichungen von dem durch die jeweilige Glasstärke charakterisierten Mittelwert zu berücksichtigen. Bei starken Gläsern ist eine Variation allerdings dadurch möglich, daß wir den Abstand des Brillenglases ändern. Diesem theoretischen Nachteil steht allerdings bei der funktionellen Prüfung ein psychologisch bedingter Vorteil gegenüber: es ist viel schwerer, bei einer kontinuierlichen Änderung der Reizgröße ein Urteil darüber abzugeben, wann eine merkliche Empfindungsänderung stattgefunden hat, als wenn man diskontinuierlich abgestufte Reize im sukzessiven Verfahren darbietet. Im ersten Falle kann es sich um eine Art Einschleichen handeln, das viel später eine merkbare Empfindungsänderung erkennen läßt als bei diskontinuierlicher Reizapplikation. Aus diesem Grunde ist es auch zu empfehlen, nicht dauernd nur mit ganz kleinen Abstufungen der Reize bei der Brillenprobe vorzugehen, sondern dazwischen gelegentlich wieder einen größeren Reizabstand, d. h. eine größere Differenz in der Glasstärke zur Beurteilung zu bieten. Dieses erleichtert dem Patienten die Aufgabe wesentlich.

Wie groß die Zahl der Einzelversuche, um solche handelt es sich ja bei der Gläserprobe, im gegebenen Fall zu sein hat, hängt von manchen Umständen ab, die dem Augenarzt vielfach nicht immer bewußt sind. Da es sich hier um eine experimentelle Prüfung der Unterschiedempfindlichkeit gegenüber der geringeren oder größeren Deutlichkeit der Zeichen der Sehprobentafeln handelt, kommt sehr erheblich die individuell verschieden schnelle Ermüdbarkeit in Betracht. Im allgemeinen wird es nicht möglich sein für jedes Auge mehr als etwa 15 bis höchstens 20 Aussagen zu verlangen. Sehr oft ist bei Annäherung an die obere Grenze dieser Zahl ein zuverlässiges Urteil nicht mehr möglich, so daß dann bei der Untersuchung des zweiten Auges die Prüfung nicht mehr exakt ausfällt und abgebrochen werden muß.

Über die Genauigkeit, die bei der funktionellen Prüfung mit Brillengläsern zu erreichen ist, liegen neuere Angaben in der englischen Zeitschrift *Optician* (1928 II, 239) vor. Nach objektiver Refraktionsbestimmung wurde das so ermittelte Korrektionsglas vorgesetzt und nun festgestellt, ob eine Änderung in der Deutlichkeit des Sehens wahrgenommen wurde

oder nicht. Bei einem Zusatz von + 0,25 merkten 80% keinen Unterschied, 60% wollten einen bemerkt haben, wenn man ihnen abwechselnd zwei verschiedene Gläser von + 0,25 vorsetzte (!). 42% fanden + 0,25 und + 0,5 gleich, 56% hielten zwei verschiedene Gläser

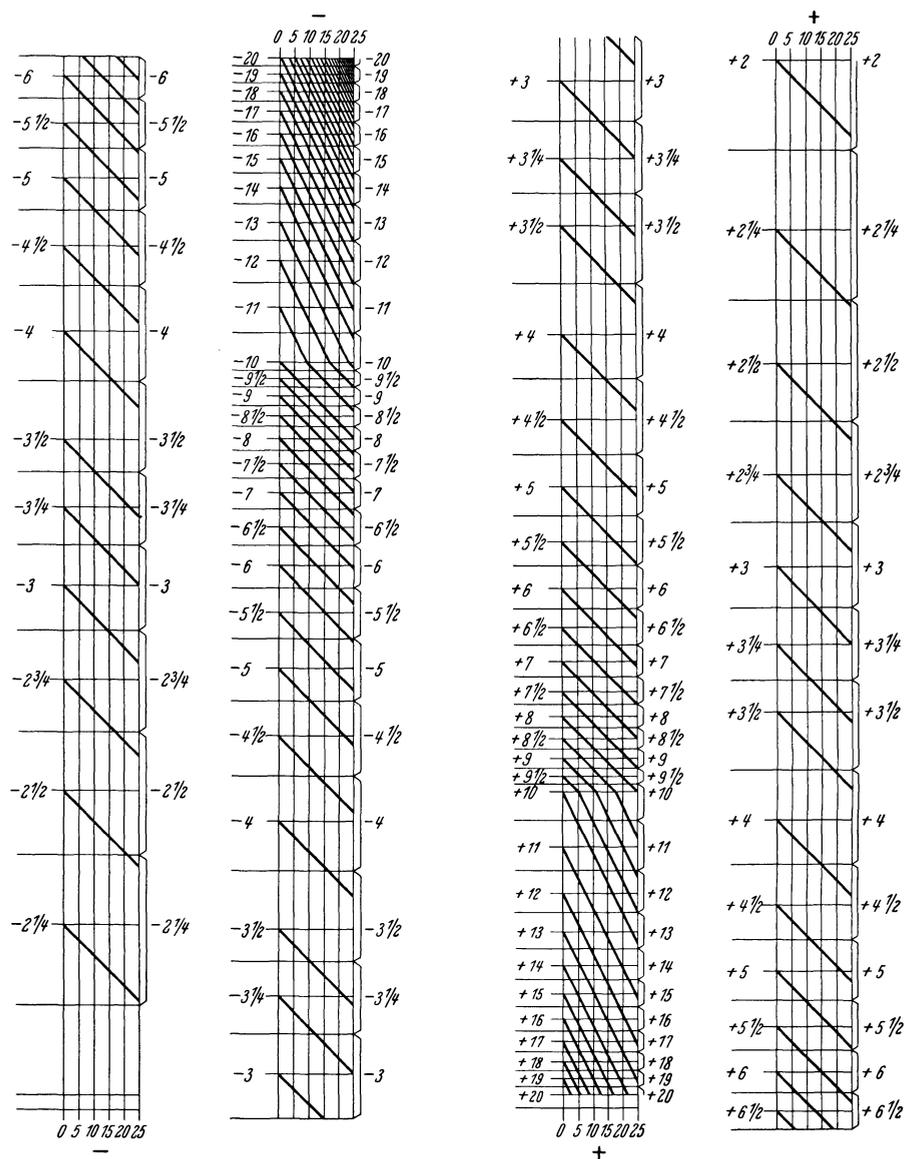


Abb. 72. Schichtenbild zur Ermittlung des Korrektionswertes der Brillengläser in verschiedenem Abstand  $\delta$  vom vorderen Hornhautscheitel bei einer axialen Refraktion von +6,5 bis -20 (nach BRÜCKNER). Von  $\pm 10$  an ist der Maßstab geändert, um die Kurven auseinanderzuziehen. Die  $\delta$ -Werte sind oben bzw. unten an den Stäben vermerkt. Beispiel: Eine axiale Refraktion von  $-5\frac{1}{2}$  kann beim Abstand des Brillenglases von 0 mm durch ein Glas von  $-5\frac{1}{2}$  dptr, bei einem Abstand von 15 mm durch ein Glas von  $-6$  dptr korrigiert werden (siehe hierzu auch S. 752 f. in diesem Bande).

von + 0,5 für ungleich. 39% konnten + 0,5 und + 0,75 nicht unterscheiden, 41% hielten zwei Gläser von + 0,75 für verschieden. Es ist dabei freilich zu berücksichtigen, daß durch das Vorsetzen des zweiten Brillenglases eine Lichtabschwächung durch Reflexion bzw. Absorption stattfindet, die auf etwa 10% zu schätzen ist. Durch diese Verminderung

der Lichtstärke kann bei nicht ausreichender Beleuchtung der Sehprobentafeln die Sehschärfe etwas sinken oder wenigstens das Gefühl geringerer Deutlichkeit hervorgerufen werden.

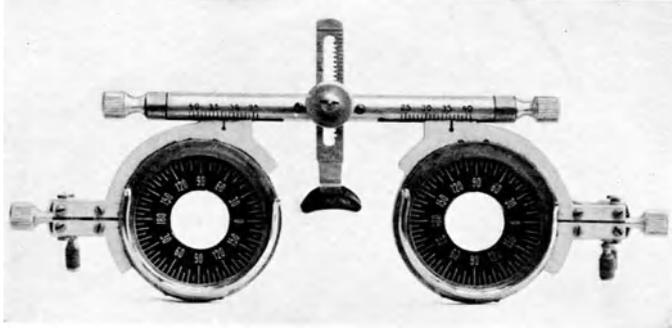


Abb. 73. Probierbrillengestell. (Nach ERBE.)

Der Glasabstand bei der Refraktionsmessung ist, wie auf S. 752f. näher ausgeführt, bei einer Fehlsichtigkeit von über 4—5 dptr stets zu berücksichtigen und bei der Verordnung für den Optiker zu notieren. Über den Einfluß des Brillenabstandes s. Abb. 72.

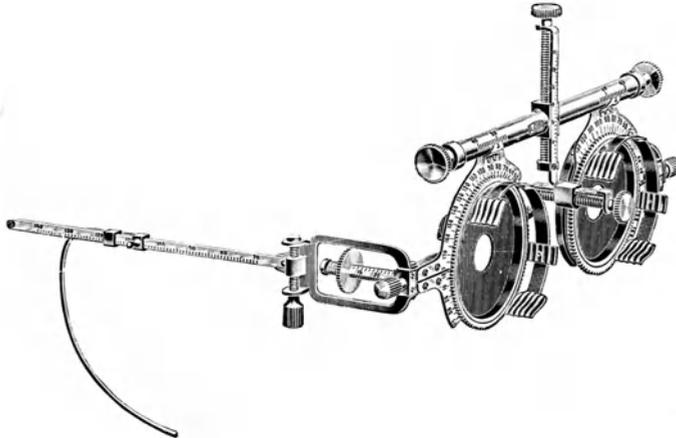


Abb. 74. Das große Probierbrillengestell nach BJERKE für die üblichen Probiergläser mit 37 mm Durchmesser.

**Das Brillengestell.** Die Zahl der verwendeten Brillengestelle ist sehr groß. Ich beschränke mich darauf, das von ERBE in den Handel gebrachte (Abb. 73) und das große Probiergestell von BJERKE (Abb. 74) abzubilden.

Beide erlauben eine Einstellung der Fassungen für die Probiergläser gerade vor die Augenmitte, eine Änderung der Höhen- und Tiefenlage des Steges. Das Gestell von BJERKE gestattet überdies, mit Hilfe der Visierschraube J, die auf die Höhe des Hornhautscheitels eingestellt wird, die genaue Ablesung des augenseitigen Brillenscheitels vom Hornhautscheitel (s. Abb. 75). Bei Konkavgläsern, bei denen der Scheitel hinter dem Rande der Fassung liegt, muß die Tiefenlage  $t$  des Scheitels von der Fassung mit Hilfe eines Tiefentasters ermittelt und zu dem Abstände  $e$  hinzugezählt werden. Bei starken Konkavgläsern erreicht dieser Wert mehrere Millimeter.

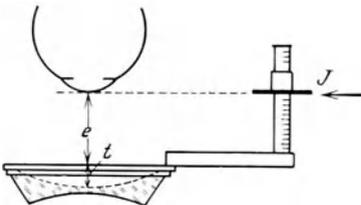


Abb. 75. Abstand der Gestellrandebene ( $e$ ) und des Glasscheitels ( $e + t$ ) vom Hornhautscheitel. (Nach ZEISS-BJERKE.)

Handelt es sich um Gläserkombinationen, so ist nicht nur der Scheitel des augenseitigen Brillenglases in seiner Lage zu bestimmen, sondern es ist auch zu ermitteln, in welchem Abstände die einander zugekehrten Scheitel der beiden

Gläser zu einander stehen und der Abstand des objektseitigen Gläserseitels des vorderen Brillenglases. Endlich müssen noch die Gläserdicken angegeben werden, wenn wirklich eine ganz exakte Herstellung des endgültig zusammengesetzten Brillenglases erfolgen soll. Im allgemeinen wird eine Genauigkeit bis auf 1 mm für die angegebenen Werte zu fordern sein.

**Punktalprobiergläser.** Die gewöhnlichen Brillenkästen sind meist mit symmetrischen, sog. Bi-Gläsern versehen. Die Schwierigkeiten, die sich hieraus bei der endgültigen Anfertigung der Brille mit durchgebogenen Gläsern ergeben, sind nicht ganz gering, wenn die im Vorstehenden geforderten Angaben über den Gläserabstand usw. nicht gemacht werden.

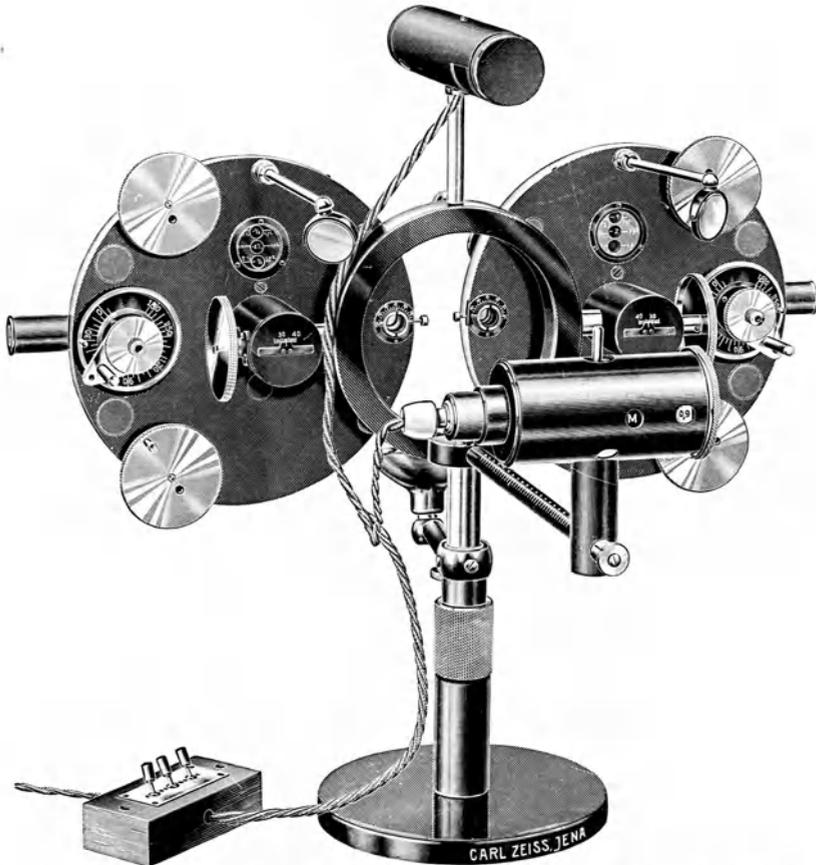


Abb. 76. Das Punktal-Sehprüfgerät von ZEISS, vom Beobachter aus gesehen; die Schprobentrommel in Gebrauchsstellung zur Prüfung für die Nähe.

Man hat deshalb auch Probierbrillenkästen mit durchgebogenen Gläsern (Punktalprobiergläserkästen von ZEISS) angefertigt, die überdies einen kleineren Durchmesser, statt 37 mm nur 12 mm, haben. Hierdurch ist die Untersuchung nur bei kleinen Blickwinkeln möglich. Dadurch wird schon der schiefe Durchblick durch das Glas erschwert; da es sich überdies um punktuell abbildende Gläser handelt, kommt ein Astigmatismus schiefer Bündel und damit ein eventuell unbemerkt bleibender Ausgleich eines vorhandenen Astigmatismus nicht in Frage. Die Dicke der Gläser ist so bestimmt, daß sie in keinem Fall die nur 2 mm dicke Glasfassung überragen. Dies hat den Vorteil, daß bei Kombination von Gläsern diese ganz dicht aufeinander liegen und die Berücksichtigung des nur kleinen  $\delta$ -Wertes der Gläser untereinander nicht notwendig ist. Wegen der kleineren Scheibengröße ist ein besonderes Probiergestell von kleineren Dimensionen, sonst aber in derselben Ausführung wie das in Abb. 74 wiedergegebene, erforderlich.

**Sehprüfscheiben.** Um die Untersuchung mit Hilfe von Brillengläsern abzukürzen, sind Sehprüfscheiben angegeben. Bei diesen sind die Gläser in einen Ring gefaßt, der gedreht werden kann, so daß ein schnelleres Auswechseln der Gläser möglich ist als bei Verwendung des üblichen Brillengestells.

Ein kompliziert gebautes derartiges Gerät ist die mono- und binokular verwendbare *Punktalsehprüfscheibe* von ZEISS (s. Abb. 76), die sowohl für die Fern- als auch für die Nahbrillen (durch Konvergenz der Achsen) benützt werden kann. Sie trägt in zwei Ringen sphärische und zylindrische Gläser, die gegeneinander verschoben werden können. Die Achsenstellung sämtlicher Zylindergläser ist simultan in gleichem Sinne durch eine Kopplungsvorrichtung variierbar. Zur Ablesung des Gläserabstandes sind auf der dem Patienten zugekehrten Seite zwei WESSELYsche Keratometer (s. Abb. 3) angebracht.

Eine kontinuierliche Änderung des Korrektionswertes der Brillengläser erlaubt der „Ruka-Variator“ von SPANUTH (a). Wie auf S. 966 erwähnt, ist die kontinuierliche Änderung in der Glasstärke jedoch nicht ohne weiteres zu empfehlen. Es bleibt deshalb abzuwarten, wie sich der Apparat in der Praxis bewähren wird.

### 3. Die objektiven Methoden der Refraktionsbestimmung.

#### a) Die Untersuchungsverfahren auf Grund der Schärfe des Netzhautbildes oder eines Objektbildes auf der Netzhaut des Patientenauges.

##### a) Die Refraktionsbestimmung im aufrechten Bilde.

Aus der auf S. 865 gegebenen Darstellung über die Entstehung des ophthalmoskopischen Bildes bei der direkten Untersuchung ist zu entnehmen, daß ein scharfes Bild des Augenhintergrundes nur dann zu gewinnen ist, wenn die beiden Foveae des Patienten und des Arztes konjugierte Punkte darstellen. Sind beide Augen emmetropisch, so ist es bei beiderseitiger Akkommodationsruhe möglich, die Details des Augenhintergrundes scharf zu sehen. Besteht eine Fehlsichtigkeit des einen oder anderen Auges, so muß durch Einschaltung von entsprechenden sphärischen oder zylindrischen Gläsern in den Strahlengang zwischen beiden Augen die Konjugierung erreicht werden. Aus dem zwischengeschalteten Glase ist dann bei bekannter Refraktion des Arztauges die Refraktion des Patientenauges zu erschließen.

Es sei hier nur auf einige Punkte aufmerksam gemacht:

Da es sich darum handelt, die Refraktion in der Fovea des Patientenauges (axiale Refraktion) zu bestimmen, ist streng genommen die Einstellung auf diesen Teil des Augenhintergrundes erforderlich. In vielen Fällen bietet aber die Fovea keine charakteristischen Einzelheiten, die eine sichere Beurteilung in dieser Richtung gestatten. Man ist dann gezwungen auf die unmittelbare Nachbarschaft der Fovea, z. B. feine Netzhautgefäße, zu achten, muß sich allerdings klar sein, daß namentlich bei stärkeren Graden der Fehlsichtigkeit die hier gemessene Refraktion durchaus nicht der axialen zu entsprechen braucht.

Handelt es sich um ein astigmatisches Auge, so wird man genötigt sein, zwei Einstellungen zu machen, die die beiden Hauptschnitte betreffen. Steht der eine Hauptschnitt senkrecht, der andere horizontal, so wird man z. B. ein vertikal (Bestimmung des horizontalen Meridians) und ein horizontal (Bestimmung des vertikalen Meridians) verlaufendes Gefäß scharf einstellen und daraus die Refraktion in den beiden Hauptschnitten ermitteln können. Ist die Achsenlage schief, so muß man entsprechend verlaufende, nach der Macula ziehende Gefäße verwenden.

Sind exzentrische Teile des Augenhintergrundes auf ihre Refraktion zu untersuchen — Schwellung oder Exkavation der Papille, Netzhautabhebungen in der Peripherie und dgl. — so geht man in analoger Weise vor. Doch läßt sich bei stärkerer Exzentrizität wegen des Astigmatismus schiefer Bündel nicht nur nicht dieselbe Schärfe des Netzhautbildes erreichen, wie in den zentral gelegenen Bezirken, sondern auch die Refraktionsbestimmung kann nicht die Exaktheit beanspruchen wie entlang der Achse.

Da die üblichen Refraktionsspiegel in ihren Gläserscheiben (RECOSSsche Scheibe) für gewöhnlich höchstens Abstufungen von halben Dioptrien für schwächere Gläser zeigen, muß aus den bei der subjektiven Refraktionsbestimmung erwähnten Gründen (S. 966) die Ermittlung der Refraktion im Einzelfall mit gewissen Fehlern behaftet sein. Wir können auch hier nur Bestimmungen innerhalb einer bestimmten Klasse ausführen.

Ferner ist, genau wie bei der subjektiven Untersuchung, der Abstand des Brillenglases von dem vorderen Augenhauptpunkt zu berücksichtigen (S. 968). Bei geringen Graden der Fehlsichtigkeit wird sich eine Abstandsänderung, die sich innerhalb weniger Millimeter hält, nicht bemerkbar machen, wohl aber können die Fehler mehrere Dioptrien betragen, wenn es sich um hochgradige Fehlsichtigkeiten handelt. Die vielfach von Augenärzten der Untersuchung im aufrechten Bild zugeschriebene Exaktheit, die z. B. in der Behauptung

gipfelt, es bestehe genau eine Refraktion von  $-8$  dptr und ähnliches, ist also unzutreffend. Will man die axiale Refraktion genau bestimmen, so bedarf es der Umrechnung in genau der gleichen Weise wie bei der subjektiven Refraktionsbestimmung (s. Abb. 72).

Für den Anfänger liegt die Schwierigkeit dieser Methode vor allem in der vollständigen Erschlaffung der Akkommodation. In der Regel lernt der angehende Augenarzt dieses aber bald, so daß Störungen hier eher durch eine unbemerkt bleibende Akkommodationsanspannung seitens des Patienten in Frage kommen. Allerdings pflegt der Kranke bei der Untersuchung im aufrechten Bild seine Akkommodation weitgehend zu entspannen, wobei aber eine latente Hypermetropie nicht ausgeschlossen ist. Will man diesen Faktor unwirksam machen, so kommt die Lähmung der Akkommodation auch bei dieser Untersuchung in Frage (S. 979). Sie wird sich überdies da als notwendig erweisen, wo die Pupille eng ist und deshalb die direkte Ophthalmoskopie nur schwer ausführbar wäre.

Statt die Schärfe des Netzhautbildes zu benutzen, kann man auch das Bild der auf der Netzhaut entworfenen Lichtquelle verwenden. Denn dieses wird ja nur dann scharf sein (s. S. 865), wenn das Auge auf die Lichtquelle eingestellt ist. Kennt man den Ort der Lichtquelle, z. B. eines leuchtenden Glühfadens, den man als Objekt verwendet, so wird das Bild dann scharf sein, wenn sich der Gegenstand im Fernpunkte befindet.

Bei Emmetropie und nicht zu hochgradiger Ametropie liegt der Fernpunkt in sehr großem Abstände vom Auge. Man kann sich hier dadurch helfen, daß man in den Strahlengang vor das untersuchte Auge eine Konvexlinse einschaltet. Dadurch wird das Bild je nach dem Abstände, den es von der Linse hat, verschieden weit hinter der Linse entworfen werden (s. Abb. 77).  $L' L'$  sei die Konvexlinse,  $F$  deren vorderer,  $F'$  deren hinterer Brennpunkt. Der Gegenstand befinde sich in  $O$ , das Bild werde in  $O^1$  entworfen. Wird jetzt hinter der Linse ein Planspiegel  $S' S'$  eingeschaltet, so werden die Strahlen abgelenkt, aber in demselben Abstände hinter der Linse vereinigt werden wie ohne  $S' S'$ . Wird in den abgelenkten Strahlengang nun das zu untersuchende Auge eingeschaltet, so wird auf seiner Netzhaut dann ein scharfes Bild des Gegenstandes  $O$  entworfen werden, wenn sich  $O^1$  im Fernpunkte  $R$  des untersuchten Auges befindet. Es ist also Voraussetzung, daß die Strecke  $S O^1 = S R$  wird.

Die axiale Refraktion ist ausgedrückt durch den reziproken Wert der Strecke  $H R$ , den Fernpunktsabstand des Auges; es handelt sich hier demnach um ein hypermetropisches Auge. Je nach dem Abstände, den  $O$  von  $F$  hat, wird die Konvergenz des Strahlenbüschels nach der Brechung verschieden stark sein. Befindet sich  $O$  in  $F$  selbst, so besteht nach der Brechung paralleler Strahlengang, wie es für das emmetropische Auge notwendig ist. Liegt  $O$  zwischen  $F$  und  $L$ , so wird nach der Brechung eine Divergenz der Strahlen gegeben sein, wie es für die Myopie erforderlich ist; es wird also  $O^1$  nach links von der Linse  $L$  (vor ihr) gelegen sein, entsprechend der Fernpunktslage beim myopischen Auge diesseits unendlich.

Die Berechnung des Refraktionszustandes vollzieht sich nun auf Grund einer alten NEWTONSchen Formel, die es erlaubt, die Beziehung des Objekt- und des Bildabstandes von dem vorderen bzw. hinteren Brennpunkte abzuleiten. Bezeichnen wir mit  $l'$  den Abstand  $FO$ , mit  $l''$  denjenigen von  $F' O^1$ , so gilt die Beziehung  $l' \times l'' = f^2$ , worin  $f$  die Brennweite der Linse angibt (s. S. 480). Daraus läßt sich bei bekannter Stärke der Linse und der Lage von  $O$  und damit auch des Wertes von  $l'$  der Wert von  $l''$  berechnen.

Da die axiale Refraktion durch den Fernpunktsabstand gemessen wird, und zwar von dem etwa im vorderen Hornhautscheitel gelegenen vorderen Augenhauptpunkte aus, so ist zu beachten, daß  $S F' = S H$  wird. Denn nur dann entspricht der Hauptpunktsabstand dem Wert von  $l''$ .

Auf diesem Prinzip hat bereits BURCHARDT eine Methode der Refraktionsbestimmung angegeben, und auch das jetzt nicht mehr angefertigte Refraktometer von BERTH-NEUMANN verwendete es<sup>1</sup>, ebenso das HENKERSche Parallaxenrefraktometer.

<sup>1</sup> Statt dessen stellt diese Firma jetzt einen Apparat für subjektive Refraktionsbestimmung — Koinzidenz-Optometer — her.

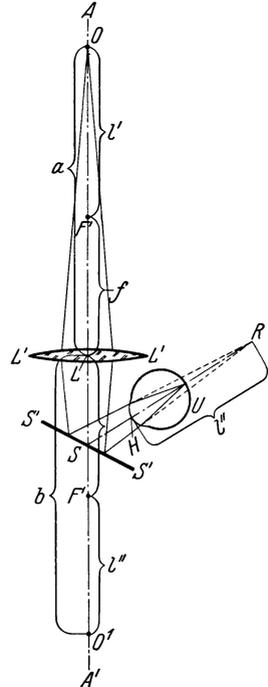


Abb. 77. Zur Refraktionsbestimmung mittels Vorschaltung einer Linse. (Nach LANDOLT.)

Das Parallaxenrefraktometer von HENKER (s. Abb. 78). Aus der Abb. 79 ist der Strahlengang zu ersehen. Sp stellt einen Spalt dar; die durch ihn eintretenden Strahlen werden parallel der optischen Achse des Instrumentes und durch die Linse O ebenso wie die Beobachtungsblende P in der Pupille des Untersuchten in Sp' und P' abgebildet. Die sphärische Linse O hat ihre beiden Brennpunkte in F<sub>0</sub> und F'<sub>0</sub>. Das dioptrische System des untersuchten Auges entwirft ein Bild der durch die Beleuchtungsvorrichtung belichteten Netzhaut in der Ebene seines Fernpunktes. Im Falle eines übersichtigen

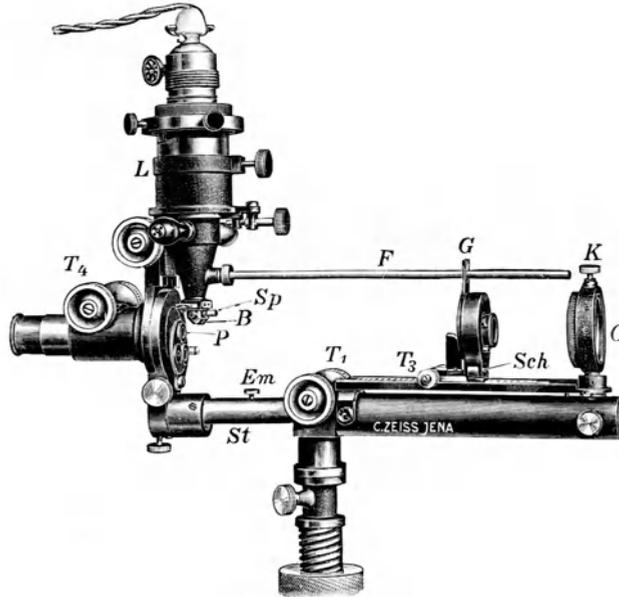


Abb. 78. Das Parallaxenrefraktometer nach HENKER mit den verschiedenen Verstellvorrichtungen.

Auges, wie er in Abb. 79 angenommen ist, wird er in R hinter dem Auge liegen. Dieses reelle oder virtuelle (je nach dem Refraktionszustand) Bild der Netzhaut wird als Objekt für die ophthalmoskopische Linse O verwendet. Sie bildet es etwa 3½mal vergrößert in N'' umgekehrt ab. Dieses Luftbild wird nun mit Hilfe einer bildumkehrenden, durch Trieb T<sub>4</sub> (Abb. 78) verstellbaren Ophthalmoskopfernrohrlupe betrachtet. Es ergeben sich, wie aus der Abb. 79 zu ersehen, wieder der Abstand des Objektes (das sich in R befindet) von F<sub>0</sub> = l (die gestrichelt gezeichnete Konvexlinse ist zunächst wegzudenken) und der

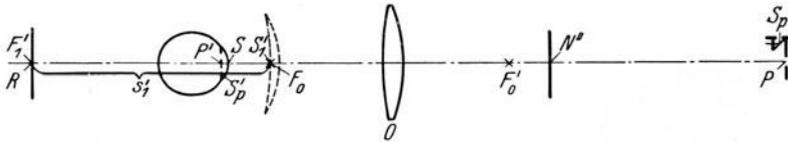


Abb. 79. Schematische Wiedergabe der Anordnung des Parallaxenrefraktometers.

Abstand des Bildes N'' von dem zweiten Brennpunkt F'<sub>0</sub> von der Objektlinse O = l'. Es gilt wieder die Beziehung ll' = ff'. Hierauf gründet sich die Bestimmung des Fernpunktabstandes, bezogen auf den Punkt F<sub>0</sub> des untersuchten Auges. Durch bestimmte Vorrichtungen ist gesichert, daß der Punkt F<sub>0</sub> nicht mit dem Hornhautscheitel zusammenfällt, sondern sich 12 mm vor diesem befindet, in dem Ort für das korrigierende Brillenglas, angedeutet durch die gestrichelte Linie. Aus dem Gesagten geht hervor, daß die Refraktionsbestimmung in diesem Falle sich also nicht auf die axiale Refraktion, sondern der Ermittlung des korrigierenden Brillenglases bzw. seiner Scheitelrefraktion, die durch die Strecke S<sub>1</sub>' F<sub>1</sub>' = s<sub>1</sub>' gegeben ist, bezieht.

Der Konstruktionsgedanke des Instrumentes beruht nun darin, daß sich das Objekt (die in Abb. 80 b dargestellte Strichplatte) an derselben Stelle befinden muß, wie das Bild, welches vom Augenhintergrund bzw. von dem auf diesem entworfenen Bild der Strichplatte infolge Abbildung durch der Linse O zwischen P und O entworfen wird. Da es sich um ein

reflexfreies Ophthalmoskop handelt, bei dem Eintritts- und Austrittspupille nicht zusammenfallen (s. S. 875 f.), ist der Verlauf der austretenden Strahlen anders als der der eintretenden. Daraus resultiert, daß, wie aus Abb. 80 hervorgeht, für den Fall, in dem sich die Testplatte und ihr Bild nicht an derselben Stelle befinden, sie gegeneinander etwas verschoben sind. Befindet sich z. B. die Testplatte vor (nach dem Beobachter zu)  $N''$ , dem Ort ihres Bildes, so wird die Verschiebung umgekehrt sein, als wenn sie sich hinter dem Bilde  $N''$  befindet. Fallen Bild und Objekt der Testplatte zusammen, so erscheinen die rechteckigen Felder scharf, die Striche einfach; wenn nicht, so sieht man neben den Strichen bzw. den hellen Feldern noch einen Schatten, wie in Abb. 80 a. Daraus ist ohne weiteres zu ermitteln, ob das Bild vor oder hinter der Testplatte liegt, und damit der Schluß auf die Refraktion gegeben. Bei Astigmatismus tritt nicht nur eine rein seitliche, sondern eine schiefe

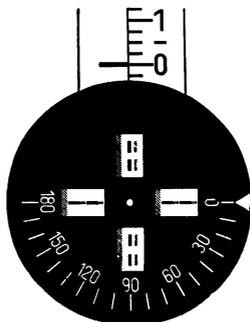


Abb. 80a.

Abb. 80a. Die Testfigur in der 0 dptr- und  $0^\circ$ -Stellung und ihr Schattenbild. Die Schatten der Meßmeridianstriche liegen genau in der Strichverlängerung und sind zum Beleuchtungsrohr hin verschoben. Das Auge ist also kurzsichtig, und zwar achsensymmetrisch oder astigmatisch mit waagerechter und senkrechter Hauptschnittslage.

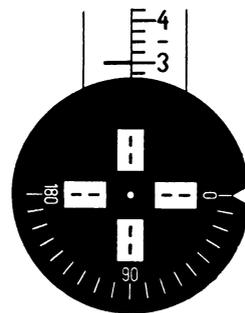


Abb. 80b.

Abb. 80b. Die Testfigur nach Durchführung der Messung ( $-3$  dptr) in der  $0^\circ$ -Lage des Beleuchtungsrohres. Die Schatten decken sich mit den Strichmarken.

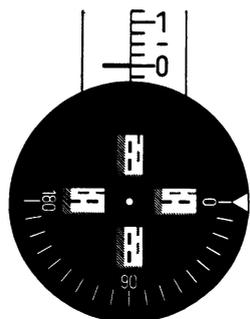


Abb. 80c.

Abb. 80c. Die Testfigur in der  $0^\circ$ - und 0 dptr-Stellung und ihr Schattenbild. Die Schatten der Meßmeridianstriche sind aus dem Meridian nach rechts oben und zum Leuchtrohr hin verschoben. Das Auge ist also kurzsichtig und astigmatisch; der zuerst zu messende (schwächere) Hauptschnitt liegt im 2. Quadranten, zwischen  $180^\circ$  und  $90^\circ$ .

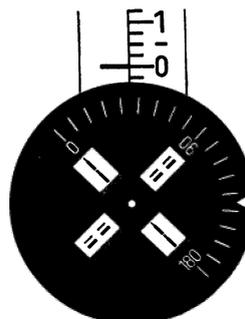


Abb. 80d.

Abb. 80d. Die Testfigur, wenn dasselbe Auge (Abb. 80c) beobachtet wird, jedoch nachdem der Meßmeridian in die Richtung des schwächeren Hauptschnittes ( $135^\circ$ ) gebracht worden ist; die Schatten der Meßmeridianstriche liegen genau in der Strichverlängerung.

Verschiebung des Schattenbildes, relativ zum Objekt ein (Abb. 80 c). Durch Drehung der Testplatte, die durch einen Führungsstab F mit der Beleuchtungsrichtung, die drehbar angebracht ist, gekoppelt wird, ist die Einstellung in den entsprechenden Meridian leicht möglich (Abb. 80 d). Da eine Scheinverschiebung von Gegenstand und Objekt je nach dem Ort, in dem die beiden zueinander stehen, vorliegt, ist von HENKER der Apparat als *Parallaxenrefraktometer* bezeichnet worden.

In der Mitte der Testplatte ist ein kleiner heller Punkt ausstrahlt, der fixiert werden muß. Er ist durch rotes Glas hinterlegt, so daß eine Blendung ausbleibt.

Der Apparat gestattet nach Angabe von HENKER eine Ablesung der Refraktion bzw. des Scheitelbrechwertes des zur Korrektur notwendigen Brillenglasses bis auf eine Viertel-dioptrie genau. Da die Schatten aber nicht sehr deutlich sind, muß die Beleuchtung ziemlich intensiv sein. Hieraus ergeben sich bei längerer Fixation gewisse störende Nachbilder für den Patienten, die auch an dem neueren Modell nicht ganz ausgeschaltet sind.

### β) Die Refraktionsbestimmung im umgekehrten Bilde.

Dieses Verfahren ist zunächst von SCHMIDT-RIMPLER angegeben worden. Es stützen sich darauf der THORNERsche und der RODENSTOCKSche Apparat. Das Prinzip der SCHMIDT-RIMPLERSchen Methode ist kurz folgendes (Abb. 81):

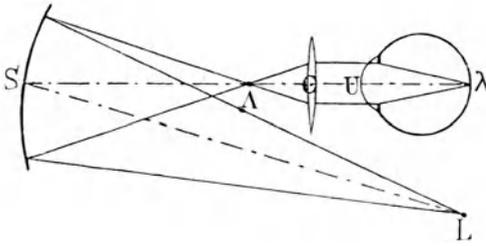


Abb. 81. Zur Bestimmung der Refraktion im umgekehrten Bilde. (Nach SCHMIDT-RIMPLER.)

L ist die Lichtquelle, S der Konkavspiegel; durch diesen wird in A ein Bild von L entworfen. Ist in A der Punkt gelegen, auf den das untersuchte Auge zusammen mit der Linse C eingestellt ist, so wird in  $\lambda$  auf der Netzhaut von A ein scharfes Bild auftreten, das sich seinerseits wiederum in A abbildet. Der durch die Bohrung des Spiegels blickende Beobachter wird daher in A ein Bild des Augenhintergrundes und gleichzeitig dasjenige der Lichtquelle L erblicken. Mißt man die Entfernung SA und AU, wenn U den

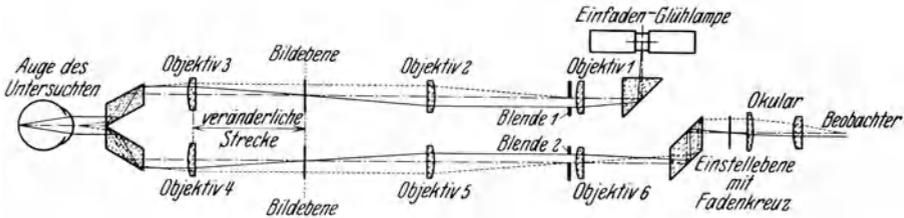


Abb. 82. Strahlengang im Refraktometer von THORNER. Erklärung im Text.

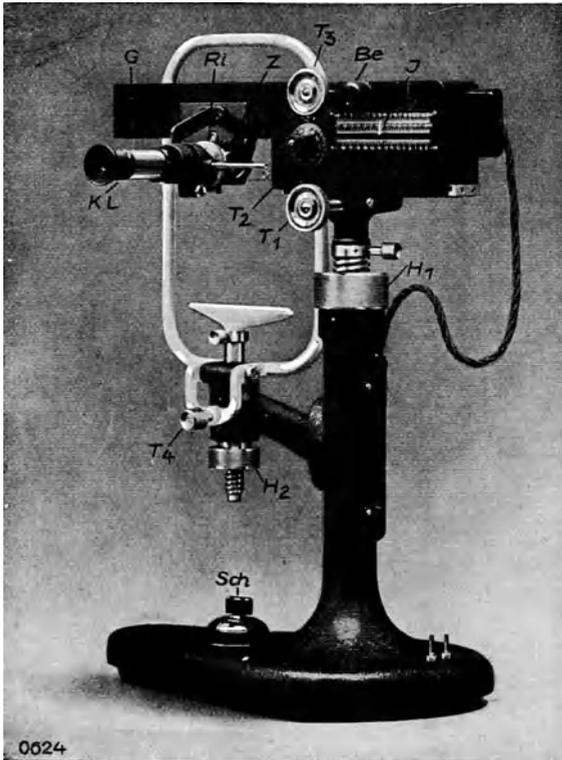


Abb. 83. Refraktometer von RODENSTOCK.

Hornhautscheitel bzw. den vorderen Augenhauptpunkt bedeutet, so ist daraus der Fernpunkt des untersuchten Auges zu berechnen, was namentlich dann leicht ist, wenn man die Konvexlinse C so anbringt, daß ihr hinterer Brennpunkt mit dem vorderen Augenhauptpunkt zusammenfällt. Es läßt sich hier die oben (S. 971) angeführte NEWTONSche Formel anwenden.

**Das Refraktometer von THORNER** (s. Abb. 82). Als Objekt dient eine Fadenglühlampe, die sich im Brennpunkt von Objektiv 1 befindet. Die Strahlen werden durch ein total reflektierendes Prisma in dieses abgelenkt. Auf das Objektiv 2 fallen daher parallele Strahlen. Dieses gibt in der Bildebene ein scharfes Abbild des Glühfadens. Mit Hilfe des Objektivs 3 wird dann das Auge des Untersuchten auf diese Bildebene eingestellt, das heißt, der Fernpunkt ist mit Hilfe des Objektivs 3 auf diese Distanz gegeben. Im zweiten Rohr (untere Hälfte der Abbildung) ist eine genau symmetrische Anordnung vorhanden; durch das Objektiv 4 werden die aus dem Auge des Untersuchten, dem zwei rhombische Prismen, um den Strahlengang auseinanderzulegen, vorgeschaltet sind, austretenden Strahlen wieder in der Bildebene, die in demselben Abstand sich befindet wie die ersterwähnte, entworfen; durch Objektiv 5 und Objektiv 6 werden die Strahlen ver-

tretenen Strahlen wieder in der Bildebene, die in demselben Abstand sich befindet wie die ersterwähnte, entworfen; durch Objektiv 5 und Objektiv 6 werden die Strahlen ver-

einigt und vom Beobachter durch das Okular mit Hilfe eines Fadenkreuzes in der Einstellenebene betrachtet. Durch eine Vorrichtung kann der Abstand der beiden Bildebenen gleichzeitig von Objektiv 3 bzw. Objektiv 4 verändert werden. Auf diese Weise ist es also möglich, den durch die vorgeschalteten Objektive 3 und 4 bedingten Fernpunktsabstand von einerseits Gegenstand, andererseits Bild (eintretendes bzw. austretendes Strahlenbüschel) zu ändern. Der Beobachter hat also nur die Aufgabe, ein scharfes Bild des Glühfadens, der sich im Augenhintergrund des Untersuchten abbildet, zu gewinnen. Das Instrument erlaubt dann ohne weiteres die Ablesung der Refraktion an einer Skala.

Um nicht dieselben Teile der Pupille für die eintretenden und die austretenden Strahlen zu benutzen und dadurch die Reflexfreiheit durch die Spiegelung an den brechenden Medien

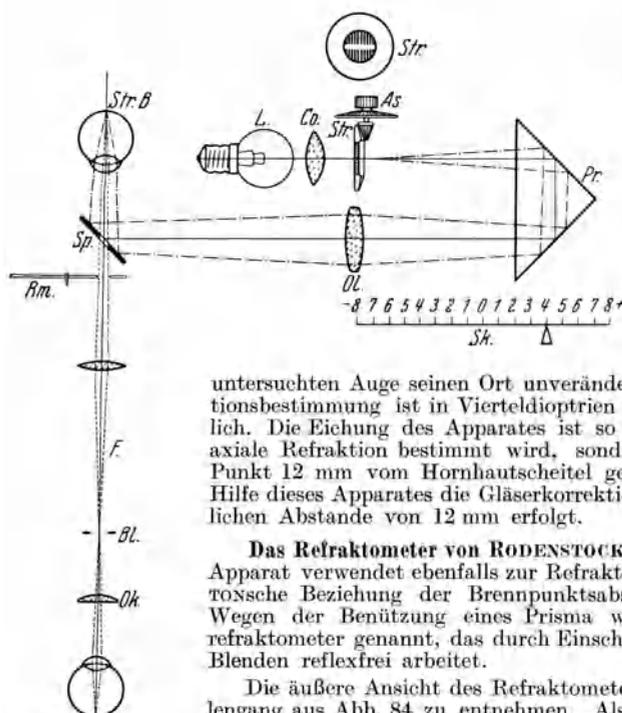


Abb. 84. Strahlengang im Refraktometer von RODENSTOCK. Erklärung im Text.

des untersuchten Auges zu erzielen, sind die Blenden 1 und 2 unsymmetrisch (dezentriert) eingeschaltet. Sie werden in der Pupille des Untersuchten so abgebildet, daß sie sich gemeinsam zu einem Vollkreise ergänzen. Durch Drehung des Apparates ist es möglich, die Einstellung in verschiedenen Meridianen vorzunehmen und damit den Astigmatismus zu bestimmen. Ein rhombisches Prisma, welches dem Okular vorgeschaltet ist, erlaubt bei der Drehung des Apparates dem untersuchten Auge seinen Ort unverändert beizubehalten. Die Refraktionsbestimmung ist in Vierteldioptrien von + 20 bis - 20 dptr möglich. Die Eichung des Apparates ist so vorgenommen, daß nicht die axiale Refraktion bestimmt wird, sondern die Beziehung auf einen Punkt 12 mm vom Hornhautscheitel gegeben ist. Es wird also mit Hilfe dieses Apparates die Gläserkorrektur ermittelt, die in dem üblichen Abstände von 12 mm erfolgt.

**Das Refraktometer von RODENSTOCK.** Der von KÜHL konstruierte Apparat verwendet ebenfalls zur Refraktionsbestimmung die alte NEWTONSCHE Beziehung der Brennpunktsabstände von Objekt und Bild. Wegen der Benützung eines Prismas wird es wohl auch Prismenrefraktometer genannt, das durch Einschaltung entsprechender gelegener Blenden reflexfrei arbeitet.

Die äußere Ansicht des Refraktometers ist aus Abb. 83, der Strahlengang aus Abb. 84 zu entnehmen. Als Beleuchtungsquelle dient ein kleines 3,5 Voltlämpchen L, dem ein Kondensator Co vorgeschaltet ist. Die Strahlen durchsetzen ein Strichgitter Str, dessen Form in der Nebenfigur zu ersehen ist (neuerdings ersetzt durch eine der RAUTITSCHESKESchen Pfeilfigur [Abb. 127] ähnlich gestaltete Testplatte). Es kann durch einen Triebknopf As, der mit einer Gradteilung versehen ist, je nach der Achsenlage der beiden Hauptschnitte in beliebige Stellung gebracht werden. Das Licht fällt auf ein total reflektierendes Prisma Pr und wird dann durch die Ophthalmoskoplinslinse Ol konvergent gemacht, durch den Spiegel Sp abgelenkt und auf der Netzhaut des untersuchten Auges zu einem Bilde des Strichgitters Str.B vereinigt. Das austretende Licht gelangt durch die Spiegelbohrung in das Fernrohr F, dessen Okular durch mechanische Verbindung mit den Bewegungen des Prismas, die durch den Trieb T<sub>3</sub> (Abb. 83) bewirkt werden, gekoppelt ist. Durch Änderung des Abstandes des Prismas von der Ophthalmoskoplinslinse Ol wird also der Abstand des Strichgitters von Ol variiert; da der Weg doppelt durchlaufen wird, oben von links nach rechts und unten von rechts nach links, so ist nur eine geringe Verschiebung des Prismas nötig, um eine relativ große Änderung des Weges zu erzielen. Auf diese Weise ist es also möglich, die Fernpunktslage dem jeweiligen Refraktionszustand des Auges anzupassen. Die Refraktion wird auf der Skala Sk mit Hilfe eines Index J (Abb. 83) abgelesen. Die Bestimmung kann von - 8 bis + 8 dptr ausgeführt werden. Durch Vorsetzen von Gläsern von - 13 bzw. + 13 dptr vor den Augenspiegel reicht der Bereich, der gemessen werden kann, von - 21 bis + 21 dptr. Bei der praktischen Anwendung wird die Refraktion erst in dem einen, dann in dem anderen Hauptschnitt bestimmt. Um die Akkommodation nach Möglichkeit auszuschalten ist, wie bei allen Refraktometern, Annäherung von der Plusseite her notwendig.

Neuerdings hat ASMUS ähnlich, wie das auch an dem THORNERschen Apparat angebracht ist, durch Einfügung eines Spiegels das Licht einer an der Decke angebrachten violetten Lampe dem anderen Auge sichtbar gemacht. Dieses stellt sich daher auf große Entfernung ein, womit auch die Akkommodation des untersuchten Auges erschläfft wird. ASMUS gibt an, hierdurch wesentlich exaktere Resultate erhalten zu haben.

Einen Vergleich der verschiedenen Refraktometer hat ZENKER angestellt unter Gegenüberstellung der mit Hilfe der Skiaskopie ermittelten Werte. Jeder der drei hauptsächlich benützten Apparate von HENKER, KÜHL und THORNER hat seine Vorzüge, aber auch seine Nachteile. Alle sind gegen Trübungen der brechenden Medien empfindlicher als die Skiaskopie (s. auch GJESSNIG).

### b) Die Schattenprobe oder Skiaskopie.

Diese von CUIGNET zuerst beschriebene, aber falsch gedeutete Methode zur Refraktionsbestimmung ist dann von E. LANDOLT und PARENT in ihrem Wesen

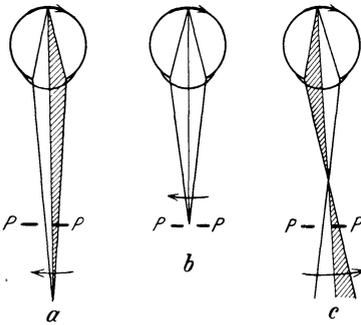


Abb. 85. Erläutert den Strahlengang bei der Schattenprobe (Skiaskopie).  $PP$  gibt die Lage der Pupille des untersuchenden Auges an. Die Spiegeldrehung (der Spiegel ist nicht gezeichnet) ist von links nach rechts angenommen. Infolgedessen wandert auch der Lichtfleck auf der Netzhaut des Patientenauges bei allen Refraktionszuständen von links nach rechts. (Richtung des Pfeiles im Augenhintergrunde.) Ist die Refraktion des Patientenauges (evtl. nach Vorsetzen des nicht gezeichneten Korrektionsglases) so stark myopisch, daß die Spitze des austretenden Strahlenkegels gerade in die Pupille des Untersuchers fällt (b), so erfolgt bei der Spiegeldrehung fast momentane Erhellung und Verdunkelung der Patientenpupille; der in der Pfeilrichtung sich bewegende austretende Strahlenkegel braucht beim Durchlaufen seiner Spitze durch die Arztpupille nur eine außerordentlich kurze Zeit. — Liegt der Vereinigungspunkt des austretenden Strahlenkegels hinter der Pupille des Arztes (a), so bemerkt dieser ein mit der Spiegeldrehung gleichsinniges Wandern des Lichtscheins bzw. des Schattens über die

Pupille des Patientenauges. — Liegt der Vereinigungspunkt des aus dem Patientenauge austretenden Strahlenkegels zwischen dem Auge des Untersuchers und dem Patientenauge, so muß der Schatten in der Pupille des Patienten entgegengesetzt wandern wie die Spiegeldrehung (s. Abb. c). Die

Erhellung bzw. Verdunkelung beginnt rechts und verläuft von rechts nach links.

(Nach BRÜCKNER-MEISNER.)

erkannt worden. Sie beruht darauf, daß bei Bewegung einer Lichtquelle frontal parallel zur Pupille des untersuchten Auges sich Lichterscheinungen von bestimmter Art in ihr erkennen lassen. Sie sind je nach der vorliegenden Ametropie verschiedenartig und erlauben dadurch den Schluß auf die Fehlsichtigkeit.

Statt die Lichtquelle selbst hin- und herzubewegen benutzt man die Drehungen eines planen Augenspiegels, mit dem man das Licht in die Pupille des Untersuchten wirft. Durch Drehung des Spiegels wird die Bewegung der (sekundären) Lichtquelle erreicht. Wie aus Abb. 85 hervorgeht, wird bei Beziehung aller Bewegungen auf den Beobachter bei einer Spiegeldrehung von links nach rechts vom Scheitel des Beobachters aus gerechnet, die sekundäre Lichtquelle ebenfalls eine Bewegung von links nach rechts ausführen. Bei Benutzung eines Planspiegels wird ausnahmslos dann auf der Netzhaut des untersuchten Auges ein scharfes oder unscharfes Bild, das Leuchtfeld, entstehen, dessen Bewegungen immer entgegengesetzt derjenigen der sekundären Lichtquelle, also gleichsinnig mit der Spiegeldrehung erfolgen müssen. Je nachdem, ob die aus dem untersuchten Auge zurückkehrenden Strahlen in die Beobachterpupille eintreten können oder von der Iris aufgefangen werden, wird bei der Drehung des Spiegels vom einen oder anderen Rande der Pupille her parallel zu der Richtung der Achse der Spiegeldrehung die Pupille aufleuchten und beim Hinüberwandern des Lichtes über die Pupille dann wieder ein dunkler Schatten folgen bzw. dem Aufleuchten ein dunkler Schatten vorausgehen. Von dieser Bewegung des Schattens hat die Methode die nicht glückliche Bezeichnung „Schattenprobe“ oder „Skiaskopie“ erhalten. Richtiger wäre es, worauf auch KRÄMER hinweist, sie mit LANDOLT als Koreslampiskopie (Beobachtung des Lichtes in der Pupille) zu bezeichnen.

Die Theorie der Skiaskopie ist wiederholt Gegenstand der Darstellung gewesen. Vor allem haben sich LANDOLT und WOLF hier verdient gemacht, während für die spezielle Anwendung der auf S. 979 behandelten Zylinderskiaskopie die Namen von LINDNER und KRÄMER in erster Linie anzuführen sind. Eine eigene Erklärung stammt von MARQUEZ;

auf diese sei hier nur verwiesen (s. unter anderem die Darstellung bei KRÄMER). Ich beschränke mich hier auf die Theorie von LANDOLT, wobei ich der Schilderung von KRÄMER folge.

Da die Lichtstrahlen bei der Schattenprobe sowohl die Pupille des untersuchten als auch des Beobachterauges passieren müssen, wenn die Pupille des Untersuchten aufleuchten soll, so wird die Darstellung vereinfacht, wenn man sie auf das Abbild der Beobachterpupille im Auge des Untersuchten bezieht. Dieses ist ja der wirklichen Pupille des Beobachters zugeordnet. Ein Aufleuchten der Pupille des untersuchten Auges ist also nur möglich,

Abb. 86a-e. Darstellung der gegensinnigen Lichtbewegung in der untersuchten Pupille bei relativ myopischer Einstellung. (Nach LANDOLT und KRÄMER.)

Die Figuren sind mit der Vereinfachung gezeichnet, daß das untersuchte Auge auf die sekundäre Lichtquelle eben eingestellt wäre und daß das Leuchtfeld auf der Netzhaut theoretisch als punktförmig angesehen werden kann. Bei der Betrachtung der Figuren halte man sich immer vor Augen, daß die schwarz gezeichneten Pupillenteile nicht etwa in Wirklichkeit lichtlos sind, weil ja selbstverständlich alles Licht, das aus dem Fundus des untersuchten Auges stammt, dessen gesamte Pupille passiert; sie erscheinen aber dunkel, weil der schwarz gezeichnete Teil des Strahlenkegels die Pupille des Beobachters nicht erreicht und damit auch nicht dessen Netzhaut. Die Wanderung des Leuchtfeldes erfolge (gleichsinnig mit der Spiegeldrehung) von links nach rechts.

PP Pupille des untersuchten Auges, S'S' Bild der Beobachterpupille (des Spiegeloches) im untersuchten Auge.

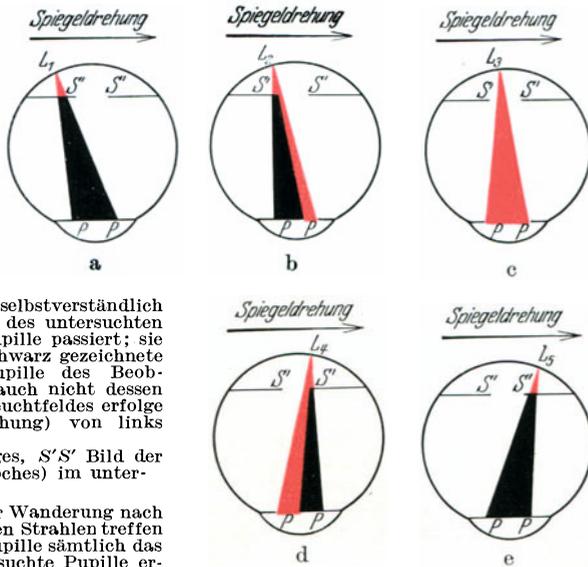


Fig. a. Das Leuchtfeld ist auf seiner Wanderung nach  $L_1$  gelangt; die von hier ausgehenden Strahlen treffen auf dem Wege zur untersuchten Pupille sämtlich das Bild der Beobachteriris; die untersuchte Pupille erscheint dem Beobachter vollkommen dunkel.

Fig. b. Bei Erreichung des Punktes  $L_2$  fällt noch immer der größte Teil der austretenden Strahlen auf das Bild der Beobachteriris und der diesem Teil entsprechende Anteil der untersuchten Pupille ist dunkel. Ein schmaler Kegel tritt aber schon durch das Bild der Beobachterpupille und dieser erreicht die untersuchte Pupille an ihrem rechten Rand. Bei der Drehung des Spiegels von links nach rechts beginnt also die untersuchte Pupille am rechten Rand zu leuchten.

Fig. c. Das Leuchtfeld hat sich bis  $L_3$  verschoben; alle austretenden Strahlen passieren das Bild der Beobachterpupille; die untersuchte Pupille leuchtet in ihrer gesamten Ausdehnung.

Fig. d. Mit der fortgesetzten Spiegeldrehung nach rechts ist das Leuchtfeld bis nach  $L_4$  gekommen; der linke Teil der untersuchten Pupille leuchtet noch, der rechte, entsprechend dem Teil des Strahlenkegels, der schon wieder das Bild der Beobachteriris trifft, ist dunkel.

Fig. e. Bei der Stellung des Leuchtfeldes in  $L_5$  schließlich fallen sämtliche austretenden Strahlen wieder auf das Bild der Beobachteriris; die untersuchte Pupille ist wieder völlig dunkel.

Es ergibt sich also bei der Verfolgung der fünf Abbildungen, daß bei einer Fernpunktlage innerhalb des Abstandes der beiden Pupillen (myopische Einstellung für die Skiaskopieentfernung) die Lichtwanderung in der untersuchten Pupille zur Spiegeldrehung „gegensinnig“ erfolgt.

wenn die Strahlen auch das Abbild der Beobachterpupille passieren können. Nimmt man eine Skiaskopieentfernung von 1 m an und einen Fernpunktsabstand des untersuchten Auges, der kleiner ist, so gelten bei Benützung eines Planspiegels die Verhältnisse, wie sie in der Abb. 86, wiedergegeben sind. Die Legende zu den Abbildungen erläutert die Verhältnisse genügend. Handelt es sich um ein Auge, bei dem der Fernpunktsabstand größer ist als die Skiaskopieentfernung, so ist der Strahlenverlauf aus der Abb. 87a u. b zu entnehmen. Es ergibt sich daraus, daß bei relativ myopischer Einstellung (und Benützung eines Planspiegels) die Schatten- bzw. Lichtbewegung entgegengesetzt der Spiegeldrehung gerichtet ist, bei relativ hypermetropischer Einstellung dagegen gleichsinnig. Durch Vorsetzen verschiedener Gläser, die die Fernpunktlage verschieben, wandert auch der Strahlenvereinigungspunkt des untersuchten Auges vor und zurück.

Fällt er mit der Beobachterpupille (der Skiaskopieentfernung) zusammen, so gelten die Verhältnisse, wie sie in Abb. 88 gegeben sind. Man bezeichnet dieses wohl auch als den neutralen Punkt (s. auch Abb. 85 b). Solange sich das Leuchtfeld im Bereiche des Bildes der Beobachteriris verschiebt, also links von  $L_1$  und rechts von  $L_2$  (s. Abb. 88), erscheint die untersuchte Pupille vollkommen dunkel, während der Wanderung zwischen  $L_1$  und  $L_2$

dagegen rot leuchtend. Der Übergang zwischen Dunkel und Hell in  $L_1$  und zwischen Hell und Dunkel in  $L_2$  erfolgt plötzlich; von einer Wanderung des Lichtes im strengen Sinn kann nicht gesprochen werden, weil ihre Geschwindigkeit unendlich groß geworden ist; das Licht in der untersuchten Pupille „steht“. Diese unendlich rasche Lichtwanderung an der „Umschlagstelle“ bedeutet den Grenzfall für die Tatsache, daß die Lichtbewegung in der untersuchten Pupille um so rascher wird, je mehr man sich der Umschlagstelle nähert.

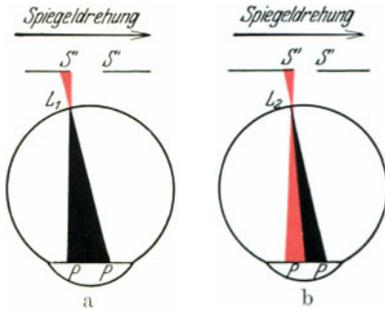


Abb. 87 a u. b erläutern die Lichtwanderung bei relativ hypermetropischer Einstellung. Fernpunktslage hinter dem Auge des Beobachters, also Myopie  $<$  als 1 oder Emmetropie und hinter dem untersuchten Auge (Hypermetropie). Spiegelrotation und Wanderung des Lichtfeldes wieder von links nach rechts. Die Beobachterpupille wird hinter der Netzhaut des untersuchten Auges abgebildet. Fig. a. Bei der Stellung des Lichtfeldes in  $L_1$  treffen alle von hier ausgehenden Strahlen das Bild der Beobachteriris; die gesamte untersuchte Pupille ist dunkel (Analogie zu Fig. 86 a). Fig. b. Ist das Lichtfeld nach  $L_2$  gewandert, so tritt ein Teil des austretenden Lichtkegels schon durch das Bild der Beobachterpupille; dieser Teil erreicht die Pupille des untersuchten Auges an ihrem linken Rand (Analogie zu Fig. 86 b.) (Nach LANDOLT-KRÄMER.)

Die untersuchte Pupille beginnt also am linken Rand zu leuchten, und würde man das Leuchtfeld nun weiter wandern lassen, so ergäbe sich das Gesetz, daß bei der Spiegelrotation (Verschiebung des Leuchtfeldes) von links nach rechts auch die Lichtwanderung in der untersuchten Pupille von links nach rechts „gleichsinnig“ zur Spiegelrotation erfolgt.

Zur bildlichen Darstellung dieser Regel denke man sich in ein Auge die Abbildung der Beobachteriris für zwei ungleiche myopische Einstellungen eingezeichnet (Abb. 89). Die der höheren Myopie entsprechende Abbildung  $S'_2$  der Beobachteriris wird von der Netzhaut des untersuchten Auges weiter entfernt sein; die Geschwindigkeit der Bewegung des Leuchtfeldes kann bei gleich schneller Spiegelrotation als gleich angenommen werden. Für den Fall der geringeren Myopie (Lage des Irisbildes in  $S'_1$ ) durchwandert das Licht die untersuchte Pupille in der Zeit, die das Leuchtfeld braucht, um von  $L_1$  nach  $L_2$  zu kommen; für die

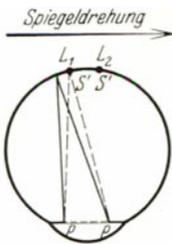


Abb. 88. Darstellung der Lichtverhältnisse in der untersuchten Pupille bei neutraler Einstellung. (Ausgezogene Linien Pupille dunkel, punktierte Linien Pupille leuchtend.) (Nach LANDOLT und KRÄMER.)

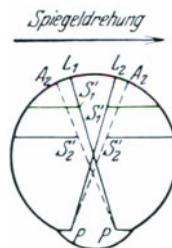


Abb. 89. Zur Änderung der Geschwindigkeit der Lichtbewegung bei verschiedenen Graden der Ametropie. (Nach KRÄMER.)

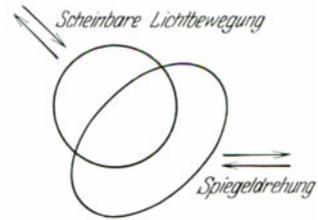


Abb. 90. Zur Zwangsläufigkeit der Lichtbewegung bei Astigmatismus. (Nach KRÄMER.)

höhere Myopie (Lage des Irisbildes in  $S'_2$ ) muß das Leuchtfeld den größeren Bogen von  $A_1$  nach  $A_2$  durchlaufen; es erfolgt also die Lichtbewegung in der untersuchten Pupille im Falle der höheren Myopie langsamer.

Manche Untersucher benutzen statt des Planspiegels den Konkavspiegel. Die Bewegungen des Schattens verhalten sich hier umgekehrt, d. h. bei relativer Myopie gleich-, bei relativer Hypermetropie gegensinnig. Voraussetzung ist dabei aber, daß die Brennweite des Konkavspiegels derart ist, daß die sekundäre Lichtquelle zwischen Beobachteraue und Patientenaue zu liegen kommt.

Zur Bestimmung der tatsächlichen axialen Refraktion des Auges kann man so vorgehen, daß man entweder (*stabile Methode*) Gläser verschiedener Stärke vor das untersuchte Auge setzt oder die Skioskopieentfernung ändert. Das erste ist bei jeder Refraktion, das zweite nur bei einer Myopie möglich, wenn sie nicht zu schwach ist, d. h. nicht über 1 dptr beträgt; bei einer größeren Skioskopieentfernung werden die Lichtbewegungen der Pupille undeutlich. Man hat dann zur Ermittlung der wahren Refraktion bei einer Skioskopie-

entfernung von 1 m — 1, bei  $\frac{1}{2}$  m — 2 dptr usw. zu dem gefundenen Glas zu addieren, bei dem das Licht „steht“.

Bei rein sphärischen Refraktionsgläsern ist die Schattenbewegung in allen Meridianen die gleiche. Handelt es sich um *Astigmatismus*, so ist je nach der Refraktion in den beiden Hauptschnitten, sofern man genau in deren Ebene die Spiegeldrehung ausführt, die Bewegung des Schattens durch diese bestimmt. Obwohl man die Stellung der Achsen zu Beginn der Untersuchung für gewöhnlich nicht kennt, kann man doch bei der Skiaskopie in dem horizontalen oder vertikalen Meridian aus den charakteristischen Lichtbewegungen entnehmen, ob Astigmatismus mit schiefen Achsen vorliegt und wie diese liegen. Bei astigmatischer Refraktion entsteht vor dem untersuchten Auge ein astigmatisch deformiertes Strahlenbündel, so daß abgesehen von dem Kreis kleinster Verwirrung ein oval gestaltetes Fundusbild in den verschiedenen Ebenen resultiert. Es treten dabei zwangsläufig gerichtete Bewegungen von Lichtbändern auf, die sich aus der Abb. 90 entnehmen lassen, wenn man hinter bzw. vor einer runden Öffnung (der Pupille des untersuchten Auges) ein ovales Bild durchbewegt.

**Die Zylinderskiaskopie.** Diese Lichtbänder sind von LINDNER und KRÄMER bei der Methode der Zylinderskiaskopie, die schon von früheren Autoren, namentlich JACKSON, in ihrem Wesen erörtert, aber in die Praxis erst durch die neueren Autoren eingeführt wurde, verwertet worden. Während man früher beim Astigmatismus lediglich sphärische Gläser vortetzte, wird jetzt auch durch Vorhalten von Zylindergläsern eine vollkommene Korrektur des Astigmatismus schon während der Skiaskopie angestrebt; deshalb „steht“ nach vollzogenem Ausgleich das Licht in der Pupille.

Die Methode stützt sich darauf, daß man jede Refraktion als die Kombination zweier gekreuzter Zylinder auffassen kann (MARQUEZ). Nach Ausgleich der sphärischen Ametropie erkennt man aus der Richtung der jetzt beim Skiaskopieren auftretenden Lichtbänder die Achsenlage. Wird das Zylinderglas nicht genau in die entsprechende Achsenstellung gebracht, so entsteht eine resultierende Richtung des Gesamtastigmatismus, kenntlich an einer Änderung der Lage des Lichtbandes. Man kann diesen sog. *Drehasigmatismus* (LINDNER) auch zur Kontrolle der gefundenen Vollkorrektur benutzen, indem man das Zylinderglas etwas aus seiner Lage verschiebt (Drehprobe von LINDNER).

Diese wenigen Andeutungen mögen für das komplizierte Problem der Zylinderskiaskopie genügen. Eine ausführliche und verhältnismäßig leicht faßliche Darstellung findet sich bei KRÄMER, eine eingehende praktische Anleitung in dem Buch von LINDNER. Aus Raummangel ist es nicht möglich, an dieser Stelle eine spezielle Darstellung zu geben, die bei Allgemeinverständlichkeit nahezu den halben, für das ganze Kapitel zur Verfügung stehenden Raum einnehmen müßte.

#### 4. Die Lähmung der Akkommodation bei der Refraktionsbestimmung.

Da, wie aus den Darlegungen auf S. 500 f. hervorgeht, die Brechkraft des ganzen optischen Systems in den Randteilen meist anders zu sein pflegt, als im Zentrum der optischen Zone, kann es nicht gleichgültig sein, ob wir die Refraktion bei erweiterter oder nicht erweiterter Pupille bestimmen. Man wird auf gewöhnlich damit auszukommen suchen, das korrigierende Glas ohne Akkommodationslähmung zu ermitteln. Nur dort, wo der begründete Verdacht für einen abnormen Akkommodationsspasmus vorliegt, wird sich die künstliche Akkommodationslähmung nicht umgehen lassen. Bei der Zylinderskiaskopie ist dieses Vorgehen stets notwendig. Es soll aber grundsätzlich, nachdem die Refraktion objektiv und funktionell bei Akkommodationslähmung bestimmt ist, eine nochmalige Untersuchung nach Abklingen der Wirkung des Mydriatikums vorgenommen werden.

#### Literatur.

##### *Untersuchung der Refraktion.*

ALEXANDER, G. F.: Principles of ophthalmoscopy and skiascopy. London 1923. Ref. Zbl. Ophthalm. 14, 55. — APIN, K.: Beobachtungen über die Verwendbarkeit der Kobaltlampe nach RÖSSLER zur Refraktionsbestimmung. Klin. Mbl. Augenheilk. 85, Beil.-H., 137 (1930). — ASMUS, E.: Versuche mit Fernfixationslampe am KÜHLschen Refraktometer. Klin. Mbl. Augenheilk. 86, 241 (1931).

BEACH, S. J.: The selection of test type for refraction. *Amer. J. Ophthalm.* **11**, 209 (1928). — BERG, F.: (a) Bemerkungen zur Theorie der ophthalmometrischen Messungen von Flächenkrümmungen. *Acta ophthalm. (Københ.)* **7**, 225 (1929). (b) Vergleichende Messungen der Form der vorderen Hornhautfläche mit Ophthalmometer und mit photographischer Methode. *Acta ophthalm. (Københ.)* **7**, 386 (1929).

CRISP, W. H.: The value of the postcycloplegic test. *Amer. J. Ophthalm.* **12**, 298 (1929).

DOBSON, M.: The application of the duochrome principle to the Maddox „V“ test for astigmatism. *Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd.* **48**, 374 (1928). — DONDEERS, F. C.: Die Anomalien der Refraktion und Akkommodation des Auges. Deutsch von OTTO BECKER 1866. — DUFOUR, M.: (a) Sur la skiascopie. *Annales d'Ocul.* **158**, 507 (1921). (b) La précision dans les mesures skiascopiques. *Annales d'Ocul.* **159**, 285 (1922). (c) Le rôle des diaphragmes en ophthalmoscopie et en skiascopie. *Annales d'Ocul.* **164**, 499 (1927).

FERREE, C. E. and G. RAND: (a) An apparatus for the quick and accurate location of the meridians of astigmatism. *Amer. J. Ophthalm.* **8**, 453 (1925). (b) Intensity of illumination and other factors influencing the sensitivity of the radial test for astigmatism. *Amer. J. Ophthalm.* **12**, 809 (1929). — FILETT, A.: La stigmatoscopia subbiettiva con luce filtrata attraverso soluzioni di bleu di metilene (Contributo allo studio del cromatismo oculare). *Ann. Ottalm.* **56**, 289 (1928). — FRIEDENWALD, J. S.: A new astigmatic chart. *Amer. J. Ophthalm.* **7**, 8 (1924).

GJESSING, H. G. A.: Vergleichende Refraktionsbestimmungen (SNELLENSche Tafeln, THORNER-BUSCHS Refraktometer, Skiaskopie, HOLTHS Kineskopie. *Norsk Mag. Laegevidensk.* **89**, 1087 (1928). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **21**, 266. — GULLSTRAND, A.: Über gleichzeitige Bestimmung von Refraktion und Sehschärfe. *Sv. Läk.sällsk. Hdl.* **48**, 53 (1922). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **9**, 491.

HAAS, E.: Über die Chromoptometrie IMBERTS als Methode der Refraktionsbestimmung (mit Untersuchungen über die Chromasie des Auges). *Graefes Arch.* **126**, 528 (1931). — HAMBLIN, J. R. and T. H. WINNER: On the resolution of gratings by the astigmatic eye. *Transact. opt. Soc. Lond.* **29**, 28 (1928). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **21**, 763. — HARTINGER, H.: (a) Zur Messung der Kammetiefe und des Irisdurchmessers. *Z. ophthalm. Opt.* **9**, 135 (1921). (b) Neuzeitliche Geräte für die subjektive Sehprüfung. *Z. f. ophthalm. Opt.* **19**, 129 (1931). — HEGNER, C. A.: Refraktion, Sehschärfe, Akkommodation und Refraktionsanomalien des Auges. *ABDERHALDENS Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden*, Abt. 5, Teil 6, S. 463. 1924. — HEITGER, J. D.: Advantages of the use of minus cylinders in routine refractions. *Trans. sect. on ophthalm. amer. med. Assoc.*, 73. Sess. St. Louis, 22.—26. Mai 1922, 293. *Ref. Zbl. Ophthalm.* **10**, 215. — HENKER, O.: (a) Über ein Zusatzrefraktometer zum großen vereinfachten GULLSTRANDSchen Ophthalmoskop. *Ber. 43. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Jena* **1922**, 87, 115. (b) Das Parallaxenrefraktometer. *Dtsch. opt. Wschr.* **9**, 375 (1923). (c) Verbesserungen am Parallaxenrefraktometer. *Z. ophthalm. Opt.* **12**, 34 (1924).

JACKSON, E.: The examination of the eye by direct sunlight. *Trans. sect. on ophthalm. amer. med. Assoc.*, 73. Sess. St. Louis, 22.—26. Mai 1922, 131. *Ref. Zbl. Ophthalm.* **9**, 141. — JONES, CH. D.: Eikonoscopy. *Amer. J. Ophthalm.* **5**, 897 (1922). — JULLERAT et KOPY: Détermination de l'épaisseur de la cornée sur le vivant au moyen de la lampe à fente. *Rev. gén. Ophtalm. Genf* **42**, 203 (1928). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **21**, 212.

KETCHUM, W. M.: Dynamic skiametry. *Amer. J. physiol. Opt.* **7**, 543 (1926). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **18**, 131. — KLECZKOWSKI, F.: Recherches sur l'astigmatisme de l'oeil. Description de verres et d'un appareil servant à noter l'astigmatisme total de l'oeil dans tous ses méridiens. *Clin. ophtalm.* **13**, 130 (1924). — KOPY, F. ED.: De l'épaisseur, mesurée sur le vivant, des parties centrales de la cornée. *Rev. gén. Ophtalm. Genf* **42**, 293 (1928). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **21**, 213. — KRÄMER, R.: (a) Historisch-kritisches zum Refraktometer von Berth & Neumann (Jena). *Klin. Mbl. Augenheilk.* **69**, 93 (1922). (b) Konstruktionen zur Auswertung gekreuzter Prismen- und Zylindergläser und zur Zylinderskiaskopie. *Graefes Arch.* **110**, 134 (1922). (c) Technische Verbesserungen zur Zylinderskiaskopie. *Z. Augenheilk.* **50**, 297 (1923). (d) Die praktische Durchführung der Zylinderskiaskopie im Bilde der Konstruktion. *Z. Augenheilk.* **54**, 177 (1924). (e) Die Theorie der Zylinderskiaskopie und ihre praktische Verwertung. *ABDERHALDENS Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden*, Abt. 5, Teil 6. 1926. (f) Untersuchungen über den sog. Richtwinkel bei der Schattenprobe mit Zylindergläsern. *Z. Augenheilk.* **60**, 172 (1926). (g) Bemerkungen zur Frage der Velonskiaskopie. *Z. Augenheilk.* **62**, 111 (1927). (h) Ein bewegliches Modell zur Erklärung der skiaskopischen Strahlenbewegung. *Ber. 46. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg* **1927**, 335. (i) Zur Erklärung der skiaskopischen Strahlenbewegung. *Z. Augenheilk.* **61**, 276 (1927). — KRAUPA, E.: Die richtige Anordnung der Skala am Ophthalmometer von JAVAL. *Z. ophthalm. Opt.* **11**, 97 (1923). — KRAUPA, E. u. O. HENKER: Die richtige Anordnung der Skala am Ophthalmometer von JAVAL. *Z. ophthalm. Opt.* **12**, 43 (1924). — KREIKER, A.: Zwei kleine Modifikationen in der Ausführung der Schattenprobe. *Klin. Mbl. Augenheilk.* **78**, 15 (1927). — KRUSIUS, F.: Ophthalmoskopometer. Eine Vorrichtung zur Refraktionsbestimmung jedes ophthalmoskopisch erreichbaren Netzhautbezirkes in seinen

verschiedenen Tangentialschnitten. Arch. Augenheilk. **86**, 314 (1920). — KÜHL, A.: (a) Das reflexfreie Prismenrefraktometer. Dtsch. opt. Wschr. **8**, 728 (1922). (b) Ein neues Instrument zur objektiven Refraktionsbestimmung. Z. Augenheilk. **62**, 78 (1927). (c) Über die bei Refraktionskorrekturen mögliche Genauigkeit. Z. ztg. Opt. u. Mech. **48**, 263 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **19**, 535.

LANDOLT, E.: (a) L'explication de la skiascopie. Arch. d'Ophtalm. **44**, 65 (1927). (b) Die Untersuchung der Refraktion und der Akkommodation. GRAEFE-SÆMISCHS Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl., Untersuchungsmethoden, Bd. 1. 1920. — LINDNER, K.: (a) Demonstration zur Skiaskopie mit Zylindern. Ber. 45. Verslg. dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1925**, 284. (b) Beiträge zur subjektiven Bestimmung des Astigmatismus. Z. Augenheilk. **60**, 346 (1926). (c) Die praktische Ausübung der Streifenprobe (Velonoskiaskopie). Ber. 46. Verslg. dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1927**, 465. (d) Die Bestimmung des Astigmatismus durch die Schattenprobe mit Zylinderlinsen. Berlin 1927.

MADDOX, E. E.: The „V“ test for astigmatism. Amer. J. physiol. Opt. **6**, 56 (1925). Ref. Zbl. Ophthalm. **16**, 587. — MARQUEZ, M.: (a) Versuche über den Mechanismus der Skiaskopie. Verh. außerordentl. Tagg. ophthalm. Ges. Wien, 4., 5. und 6. Aug. **1921**, 107 (1922). (b) Erfahrungen über den Mechanismus der Skiaskopie. Arch. Oftalm. Buenos Aires **22**, 65 (1922). Ref. Zbl. Ophthalm. **7**, 376. (c) Le principe fondamental de la skiascopie. Les points et les zones neutres. 38. Congr. Soc. franc. Ophtalm. Bruxelles, 11.—15. Mai 1925. Ref. Zbl. Ophthalm. **16**, 781. (d) Das Grundprinzip der Skiaskopie. Arch. Oftalm. Buenos Aires **26**, 189 (1926). Ref. Zbl. Ophthalm. **16**, 856. — (e) Sur le rôle des diaphragmes et sur les deux points neutres dans la skiascopie. Annales d'Ocul. **146**, 852 (1927). — MAZÉRÈS, G.: Mesures des amétropies, procédé du verre cylindrique convexe. Arch. d'Ophtalm. **37**, 357 (1920). MENDOZA, R.: Die Skiometrie als neue Methode der Refraktionsbestimmung. Ann. Soc. mexic. Oftalm. y Otol. **3**, 154 (1922). Ref. Zbl. Ophthalm. **9**, 327. — MÜLLER, H. K.: Zur Theorie der Velonoskiaskopie. Z. Augenheilk. (im Druck).

NICHELATTI, P.: Rapporto fra i valori che si ottengono con l'esame eseguito sulla papilla e sulla macula. Contributo alla tecnica della schiascopia. Ann. Ottalm. **56**, 817 (1928). — NORDENSON, J. W.: Ophthalmometrie. GRAEFE-SÆMISCHS, Handbuch der gesamten Augenheilkunde, 3. Aufl., Bd. 3, S. 184. 1925.

OPPENHEIMER, E. H.: (a) Astigmatism in high myopia and a new way of testing it. Amer. J. Ophthalm. **7**, 530 (1924). (b) Z. ophthalm. Opt. **13**, 129 (1925).

PASCAL, J. I.: (a) Practical retinoscopy with the photoscope. Amer. J. Ophthalm. **10**, 765 (1927). (b) The dynascope for dynamic retinoscopy. Optician **1929 I**, 399. Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 597. — PECH, J. L.: La valeur physiologique et clinique des aberrations chromatiques de l'oeil. Arch. d'Ophtalm. **47**, 363 (1930).

RAUBITSCHKE, E.: (a) The reliability of subjective tests. Optician **1928 II**, 293. Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 474. (b) Die jetzige Ausgestaltung der Pfeilschattenprobe. Studien über den Richtwinkel bei Zylinderskiaskopie und Pfeilschattenprobe. Klin. Mbl. Augenheilk. **83**, 221 (1929). (c) Kurze praktische Anleitung zur Zylinderskiaskopie. Z. Augenheilk. **73**, 143 (1931). — The reliability of subjective tests. Optician **1928 II**, 239. Ref. Zbl. Ophthalm. **21**, 474. — ROCHAT, G. F.: Ein Instrument zur raschen Bestimmung der „Berichtigungswerte“ bei verschiedenen Gläserabständen von der Cornea. Klin. Mbl. Augenheilk. **86**, 28 (1931). — v. ROHR: Ausgewählte Stücke aus CHRISTOPH SCHEINERS Augenbuch. Z. ophthalm. Opt. **7**, 35, 53, 76, 101, 121 (1919). — ROSENGREEN, B.: Studien über die Tiefe der vorderen Augenkammer mit besonderer Hinsicht auf ihr Verhalten beim primären Glaukom. Acta ophthalm. (Københ.) **8**, 99 (1930). — RÖSSLER, F.: (a) Die Bestimmung des Astigmatismus mit Hilfe der Farbenzerstreuung. Ber. 46. Verslg. dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1927**, 328. (b) Zur Verwendung der Kobaltlampe. Ber. 47. Verslg. dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1928**, 374. (c) Demonstration der neuen Kobaltlampe. Ber. 47. Verslg. dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1928**, 457. (d) Zu APINS Arbeiten über die Verwendbarkeit der Kobaltlampe zur Refraktionsbestimmung. Klin. Mbl. Augenheilk. **87**, 323 (1931). — ROTH, A.: Experimentelle Begründung der skiaskopischen Phänomene. Z. ophthalm. Opt. **15**, 46, 65 (1927).

SHEARD, CH.: (a) Some comments on the static and dynamic methods of skiametry. Amer. J. physiol. Opt. **6**, 527 (1925). Ref. Zbl. Ophthalm. **16**, 515. (b) A subjective method of skiascopy and its applications to investigations of the chromatic aberration of the eye, chromatic variations in the interval of Sturm and allied phenomena. Amer. J. physiol. Opt. **7**, 76 (1926). Ref. Zbl. Ophthalm. **17**, 363. — SPANUTH, H.: (a) Ein neues Instrument zur subjektiven Refraktionsbestimmung. Ber. 48. Verslg. dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1930**, 371. (b) Eine Testmarke für Scheitelbrechwertmesser. Ber. 48. Verslg. dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1930**, 374. — SOUTHALL, J. P. C. and H. HARTING: Die optische Theorie der Skiaskopie. Z. ztg. Optik u. Mech. **48**, 57, 72, 88 (1927). Ref. Zbl. Ophthalm. **18**, 535. — SOURASKY, A.: The growth of the eye and the development of myopia: A study in the changes of refraction during the school period. Brit. J. Ophthalm. **12**, 625 (1928).

TAGAWA, S.: Über die Dispersion der brechenden Medien des Auges. Arch. Augenheilk. **99**, 587 (1928). — THORNER, W.: (a) Ein neuer Fernpunktsucher. Ber. 43. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Jena **1922**, 75, 115. (b) Demonstration eines Refraktometers. Ber. 46. Verslg dtsh. ophthalm. Ges. Heidelberg **1927**, 419. (c) Ein reflexloses Augenrefraktometer. Arch. Augenheilk. **98**, 389; Dtsch. opt. Wschr. **13**, 576 (1927). — TRANTAS: Über die Velonoskiaskopie, wie ich sie derzeit ausübe. Z. Augenheilk. **63**, 343 (1927).

VERHOEFF, F. H.: The „V“ test for astigmatism, and astigmatic charts in general. Amer. J. Ophthalm. **6**, 908 (1923).

WILLIAMSON-NOBLE, F. A.: Refraktion. Retinoscopy and the pointolite lamp. Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **48**, 210 (1928). — WOLFF, H.: Refraktionsbestimmung. ABDERHALDENS Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. 5, Teil 6. 1924.

ZAMENHOF, A.: Eine drehbare Tafel zur Untersuchung des Astigmatismus. Klin. oczna. (poln.) **4**, 20 (1926). Ref. Zbl. Ophthalm. **17**, 242. — ZEUS: Apparatus for objective measurement of the refractive value of the principal point of the eye. Optician **63**, 162 (1922). Ref. Zbl. Ophthalm. **8**, 239.

## D. Die Untersuchung der Akkommodation.

Die klinische Untersuchung der *Akkommodationsbreite* kann sich lediglich auf subjektive Angaben des Patienten stützen. Die objektiven Veränderungen bei der Akkommodation, soweit sie die Linse betreffen, sind so geringfügig, daß sie bei der klinischen Prüfung nicht verwertbar sind. Insbesondere ist die Verkleinerung der Linsenbildchen, die eventuell mit dem Ophthalmometer gemessen werden könnte, nicht ausgiebig genug, erfordert überdies strikte Einhaltung der Fixierichtung, so daß sie für praktische Verfahren ausscheidet.

Die Untersuchung der Akkommodationsbreite geschieht in der Regel in der Weise, daß man dem Patienten entweder feine Linien, Punkte, Fäden darbietet, oder feine Druckschrift lesen läßt, indem man sie allmählich dem Auge nähert und den Abstand ermittelt, in dem sie dem Patienten undeutlich werden.

Es sind verschiedene Apparate angegeben worden, bei denen auf einer Skala, die nach Zentimetern und Dioptrien geteilt ist, sich ohne weiteres die Ablesung des Nahepunkt- abstandes bzw. der Akkommodationsleistung vornehmen läßt, so z. B. von ADAM, HOWARD und DUANE. Durch Einschalten von Gläsern in den Halter läßt sich bei Akkommodations- parese der Ort des Fernpunktes ändern, woraus sich dann unschwer die noch erhaltene Akkommodationsbreite errechnen läßt. Daß bei Ametropie die Untersuchung nur mit vorgesetztem Fernglas vorgenommen werden darf, bzw. der Grad der Ametropie in die Rechnung einzubeziehen ist, ist selbstverständlich.

Von verschiedenen Seiten, unter anderem von SHEARD, PASCAL, NOTT, LEA ist empfohlen worden, die sog. *dynamische Skiaskopie* auszuführen, d. h. zu skiaskopieren während der Patient akkommodiert. Von LEA ist dabei eine kleine Sehprobe am Skiaskop angebracht worden, die der Patient lesen soll. Es handelt sich dabei meist um Ermittlung, ob ungleiche Einstellung beider Augen besteht, die eventuell zu Störungen bei der Arbeit in der üblichen Nahedistanz führt, also nicht um Untersuchung der ganzen Akkommodationsbreite.

Da nur selten die maximale Akkommodationsleistung aufgebracht wird, auch bei intaktem Ciliarmuskel, so ist damit zu rechnen, daß die Werte für die Akkommodationsbreite meist etwas unter der nach der DONDERSSchen Kurve zu erwartenden bleiben, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, daß sich diese nur auf relativ wenige Beobachtungen stützt. (Man vergleiche hierzu S. 678 f. in diesem Band.)

Über die *Schnelligkeit* des Akkommodationsvorganges liegen Angaben von GUGLIANETTI vor, auf die hier verwiesen sei.

## Literatur.

*Untersuchung der Akkommodation.*

- BERENS, C.: An accommodation rule with new features. *Amer. J. Ophthalm.* **6**, 26 (1923).
- DUANE, A.: A modified accommodation line and Prince's rule. *Trans. amer. ophthalm. Soc.* **19**, 178 (1921).
- GUGLIANETTI, L.: Nuovo metodo per la misura dei tempi di accomodazione. *Arch. Ottalm.* **30**, 25 (1923).
- HOWARD, H. J.: A new apparatus for testing accommodation. *Arch. of Ophthalm.* **49**, 182 (1920).
- KETCHUM, W. M.: Dynamic skiametry. *Amer. J. physiol. Opt.* **7**, 543 (1926). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **18**, 131.
- LEA, G.: Dynamic retinoscopy. A suggestion. *Optician* **75**, 469, 478 (1928). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **21**, 218. — LEE, T. P.: A simple apparatus for determining the near point of accommodation and the astigmatic axis. *Arch. of Ophthalm.* **56**, 351 (1927).
- MADDOX, E. E.: (a) Accommodative balance-test. *Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd.* **48**, 373 (1928). (b) An accommodative balance test. *Brit. J. Ophthalm.* **12**, 374 (1928).
- NICOLAI, C.: Mein Akkommodationsmesser. *Nederl. Tijdschr. Geneesk.* **66**, 1748 (1922). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **8**, 239. — NORR, J. S.: (a) Dynamic skiametry, accommodation and convergence. *Amer. J. physiol. Opt.* **6**, 490 (1925). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **16**, 514. (b) Dynamic skiametry. Accommodative convergence and fusion convergence. *Amer. J. physiol. Opt.* **7**, 366 (1926). *Ref. Zbl. Ophthalm.* **18**, 16.
- PASCAL, J. I.: (a) The dynascope for dynamic retinoscopy. *Optician* **1929 I**, 399. *Ref. Zbl. Ophthalm.* **21**, 597. (b) A sensitive test for equality of accommodation. *Amer. J. Ophthalm.* **12**, 29 (1929).
- THORNE, F. H.: Rule for measuring accommodation, near point of convergence, and interpupillary distance. *Amer. J. Ophthalm.* **11**, 555 (1928).

# Die Bakterienflora des Auges.

Von

M. ZUR NEDDEN-Düsseldorf.

Mit 56 Abbildungen.

Allgemeiner Teil.

## I. Allgemeines über Infektionen des Auges.

### Bakteriengehalt der normalen Bindehaut.

Die *normale menschliche Bindehaut* ist nur unmittelbar nach der Geburt völlig keimfrei. Schon wenige Stunden danach lassen sich Xerosebacillen nachweisen, die als regelmäßige Bewohner des Conjunctivalsacks anzusehen sind.

Neben diesen findet man auf der normalen Bindehaut fast regelmäßig weiße Staphylokokken und etwas seltener Sarcine.

Alle diese Bakterienarten erweisen sich im Tierversuch als nicht pathogen. Mag es auch gelingen, durch Einspritzen größerer Mengen einer Reinkultur in die Hornhaut, die Bindehaut und den Glaskörper eines Kaninchens oder in das Peritoneum eines Meerschweinchens lokale Reizungen und Entzündungserscheinungen hervorzurufen, so kommt es hierbei doch niemals zu einer fortschreitenden Eiterung und zur Vermehrung der Mikroorganismen. Vielmehr gehen sie in kurzer Zeit zugrunde, womit dann auch alsbald normale Verhältnisse wiederkehren. Solche vorübergehenden Entzündungssymptome sind demnach lediglich auf die Reizung zurückzuführen, die durch die eingespritzte Bakteriensubstanz bedingt ist.

Für die Xerosebacillen gilt dies aber nicht ausnahmslos. Es sind von verschiedenen Autoren Stämme von keulenförmigen Bacillen aus der Bindehaut und aus dem Augeninnern bei intraokularen Entzündungen gezüchtet worden, die bei Versuchstieren (Affen und Kaninchen) eine fortschreitende Entzündung hervorgerufen haben. Hierbei ließen sich die Keime vielfach noch nach Wochen aus dem Impferd züchten. Demnach gibt es unter den für gewöhnlich harmlosen Xerosebacillen Stämme, denen man krankheitsregende Eigenschaften zuschreiben muß. Solche Fälle sind aber vereinzelt. Für die Mehrzahl der in der menschlichen Bindehaut vorkommenden Xerosebacillenstämme gilt als Regel, daß sie Saprophyten sind.

Gelegentlich finden sich nun auch pathogene Keime in der normalen Bindehaut. So sind wiederholt Pneumokokken, Diplobacillen MORAX-AXENFELD, Influenzabacillen und andere aus der Conjunctiva gezüchtet worden, ohne daß sich irgendwelche Krankheitserscheinungen nachweisen ließen. Es handelt sich hier aber durchweg um seltene Fälle, bei denen außerdem die Zahl der angetroffenen pathogenen Keime meist gering war.

Da der Bindehautsack nach außen hin offen ist, so steht naturgemäß allen Mikroorganismen der Zutritt frei. Es ist daher nichts Auffälliges, wenn gelegentlich alle möglichen Bakterienarten dorthin verschleppt werden.

### Zustandekommen der Infektion.

Die *Übertragung der Keime auf die Bindehaut* kann in verschiedener Weise erfolgen. Am häufigsten geschieht sie wohl durch die Hände; aber auch durch Waschwasser, Handtücher und alle Gegenstände des täglichen Gebrauchs, die mit dem Auge direkt oder indirekt in Berührung gelangen, können die Krankheitserreger auf die Bindehaut übertragen werden. Auch durch Staub, Fliegen und durch fein zerstäubte Tröpfchen bei der Atmung ist eine Übertragung der Keime auf das Auge möglich. Ob sie auch durch die Luft ohne weiteres zum Auge gelangen können, ist zweifelhaft. Das plötzliche Auftreten großer Epidemien akuter Bindehautentzündungen, namentlich von КОЧ-ВЕРКССcher Conjunctivitis in Ägypten wollen manche Autoren mit dieser Übertragungsweise erklären. Beweise für diese Auffassung gibt es aber nicht.

Zuweilen kommen infektiöse Augenerkrankungen auch durch Fortkriechen des Infektionsherdes von den Nachbarorganen, namentlich von der Nase und dem Rachen her zustande.

Neben der Ansteckung von außen ist noch die endogene Infektion, d. h. die Übertragung der Keime auf dem Wege der Blutbahn zu berücksichtigen, die bei manchen Krankheiten, namentlich bei der Tuberkulose und der Syphilis vorwiegt.

Bei dem *Zustandekommen von Augeninfektionen* spielen, wie bei allen Infektionskrankheiten, noch viele unberechenbare Faktoren eine Rolle.

### Virulenz der Bakterien.

Zunächst die *Menge* und *Virulenz* der Bakterien. Es bedarf keiner näheren Erörterung, daß eine große Anzahl hochvirulenter Keime, die auf einmal auf das Auge übertragen wird, leichter zu Krankheitsprozessen führt, als dies einige wenige Exemplare mit abgeschwächter Virulenz vermögen. Diese können durch die natürlichen Abwehrvorrichtungen des Organismus leicht vernichtet werden, so daß es überhaupt nicht oder doch nur in geringem Maße zu Krankheitserscheinungen kommt.

Die Virulenz der Bakterien ist großen Schwankungen unterworfen. Unter ungünstigen Lebensbedingungen schwindet sie, während sie sich durch Verimpfung auf Versuchstiere in der Regel steigern läßt.

### Disposition, Immunität, Symbiose.

Des weiteren ist die allgemeine und örtliche *Disposition des Patienten* von Bedeutung. Daß ein durch Unterernährung geschwächter Organismus für Infektionskrankheiten mehr empfänglich ist, als ein gesunder kräftiger, ist allgemein bekannt.

Eine besondere Stellung nimmt in dieser Hinsicht die *Immunität* ein. Jede Infektionskrankheit hinterläßt einen gewissen Grad von Immunität nicht nur allgemeiner, sondern auch lokaler Art. Bei der geringen Ausdehnung des infektiösen Prozesses am Auge wird allerdings eine Immunisierung des ganzen Organismus nur in so unbedeutendem Maße erfolgen, daß sie praktisch ohne Bedeutung ist. Nur bei den toxisch wirkenden Bakteriengiften ist vom Auge aus eine

allgemeine Immunisierung des Körpers sicher nachgewiesen worden, die sich aber naturgemäß auch in bescheidenen Grenzen hält.

Um so bedeutungsvoller ist die lokale Immunität. Insbesondere gilt dies für die akuten Infektionskrankheiten, für die gonorrhöische, die KOCH-WEEKSSche und die Pneumokkenconjunctivitis, während die chronisch verlaufenden einen geringeren Grad von lokaler Immunität erzeugen. Aus diesem Grunde kommen bei diesen auch nicht selten schon bald nach der Abheilung Rückfälle vor. Besonders trifft dies für die MORAX-AXENFELDSche Conjunctivitis zu.

Andererseits aber kann eine infektiöse Augenerkrankung auch die *Empfänglichkeit für andere Arten von Infektionen* erhöhen. So sieht man nicht selten im Anschluß an akute Bindehautentzündungen ein altes Trachom wieder aufflammen. Namentlich in Ägypten rufen die alljährlich im Frühjahr wiederkehrenden Epidemien von KOCH-WEEKSScher und Gonokokkenconjunctivitis Rückfälle von Trachomerkrankungen hervor. Umgekehrt ist aber auch die trachomatöse Bindehaut eine günstige Ansiedlungsstätte für KOCH-WEEKSSche Bacillen, Diplobacillen, Gonokokken und andere Bakterienarten, so daß sich nicht selten auf dem Boden eines alten Trachoms eine infektiöse Conjunctivitis entwickelt, die nun ihrerseits wieder das Trachom entfacht.

Die Empfänglichkeit für die Infektion ist in den verschiedenen Organen nicht gleichmäßig (*Organdisposition*). Dies gilt auch für die Gewebsteile des Auges. Ganz besonders zeigt sich dies bei dem Tuberkelbacillus, dessen Verhalten zuweilen rätselhaft erscheint. Während er bei der endogenen Infektion für gewöhnlich die Uvea bevorzugt, verrichtet er bei der rezidivierenden juvenilen Glaskörperblutung ausschließlich in der Retina seine zerstörende Arbeit, wo es zur tuberkulösen Periphlebitis kommt. Ferner ist es eine auffallende Erscheinung, daß bei der Miliartuberkulose nicht die ganze Uvea erkrankt, sondern nur die Aderhaut, während bei den anderen Formen der metastatischen Tuberkulose die Iris und der Ciliarkörper an dem Krankheitsprozeß regelmäßig mitbeteiligt sind. Auch der Heubacillus und der Bacillus perfringens besitzen eine gewisse Organdisposition, insofern als sie hauptsächlich bei Glaskörperinfektionen angetroffen werden.

Die Tuberkulose ist gleichzeitig ein Beispiel dafür, daß das *Alter* und *Geschlecht* für das Zustandekommen der endogenen Infektion nicht gleichgültig sind. Wird doch die tuberkulöse Iritis serosa häufiger bei Frauen beobachtet, und zwar vorwiegend im mittleren Lebensalter, was von einigen Autoren auf hormonale Vorgänge zurückgeführt wird.

Unter den Momenten, die das Wachstum pathogener Keime und damit den Ausbruch infektiöser Augenerkrankungen begünstigen, ist noch die *Symbiose* zu nennen. Als charakteristisches Beispiel hierfür seien die KOCH-WEEKSSchen und die Influenzabacillen erwähnt, die in Gegenwart von Xerosebacillen bzw. Staphylokokken besonders gut gedeihen.

Auch mechanische, chemische und thermische Reize der Bindehaut oder oberflächliche Verwundungen sowie Quetschungen des Bulbus können die Ansiedlung und Vermehrung der Krankheitskeime fördern.

### Lidschlag und Tränenflüssigkeit.

Des weiteren spielt die *unversehrte Funktion der Lider* und des *Tränenapparates* bei der Entstehung und Verhütung der Infektion eine gewisse Rolle. Durch den Lidschlag wird der Bindehautsack gereinigt, indem sein Inhalt zum Tränensack und zur Nase hin abgeleitet wird. Sind die Lidbewegungen in irgendeiner Weise gestört, oder finden sich Hindernisse auf den Abflüßwegen der Tränen, dann bleiben Infektionskeime leichter im Bindehautsack haften.

Die *Tränenflüssigkeit* wirkt hierbei im allgemeinen als mechanisches Reinigungsmittel, eine nennenswerte *bactericide Eigenschaft* besitzt sie nicht. Höchstens kann man von einem gewissen Grad von wachstumshemmender Wirkung der Tränen sprechen.

### Klima und Rasse.

Auch das *Klima* hat auf die Verbreitung von Infektionskeimen des Auges Einfluß. Dies ergibt sich daraus, daß Pneumokokkenerkrankungen sowohl der Bindehaut als auch der Hornhaut in Ägypten im Verhältnis zu anderen Infektionen selten beobachtet werden, obwohl doch diese Bakterienart überall in der Welt vorkommt und fast allen Menschen schon unter normalen Verhältnissen anhaftet.

Daß auch die *Rasse* bei der Ausbreitung von Infektionskrankheiten des Auges eine Rolle spielt, ist nicht erwiesen. Die früher vielfach geäußerte Ansicht, daß Neger für Trachom nicht empfänglich seien, hat sich als Irrtum erwiesen.

Im allgemeinen darf man aber den genannten Faktoren bei dem Zustandekommen der Infektionskrankheiten des Auges keine allzugroße Bedeutung beimessen. Das Wichtigste ist und bleibt die *Gelegenheit zur Infektion*. Gelangt eine hinreichende Zahl virulenter Krankheitserreger in das Auge, dann kommt es in der Regel zum Ausbruch der Krankheit. Dies gilt namentlich für die Gonokokken, KOCH-WEEKSSchen Bacillen und Diplobacillen, die man eine Zeitlang für unbedingt kontagiös hielt. Nachdem jedoch nachgewiesen worden ist, daß auch diese Keime gelegentlich auf der normalen Bindehaut angetroffen werden, kann man von einer *unbedingten Ansteckungsfähigkeit* nicht mehr sprechen.

### Epidemien und Metastasen.

Daß manche Infektionskrankheiten des Auges in einigen Gegenden mehr verbreitet sind, als in anderen, hat seinen Grund im wesentlichen in der nicht überall gleichermaßen gegebenen Gelegenheit zur Infektion. Dies trifft namentlich für das Trachom zu, das in einigen Ländern gar nicht, oder doch nur sporadisch vorkommt, in anderen dagegen endemisch ist.

Für die Häufung von infektiösen Augenerkrankungen, wie sie namentlich in Ägypten beobachtet wird, sind außer dem Einfluß der Jahreszeit und des Klimas vor allem noch *Mangel an Sauberkeit und schlechte hygienische Verhältnisse* verantwortlich zu machen. Daher sieht man hier die alljährlich auftretenden Epidemien von Gonorrhöe der Bindehaut und KOCH-WEEKSScher Conjunctivitis vornehmlich bei der ärmeren Bevölkerung, bei der aus den gleichen Gründen auch das Trachom vorwiegt.

Aber auch ohne solche äußeren Einflüsse kommen *Epidemien* infektiöser Bindehautkatarrhe vor. Vor allem treten die Pneumokokken- und die KOCH-WEEKSSche Bacillen-Conjunctivitis, die überall in der Welt verbreitet sind, gelegentlich epidemisch auf.

Die infektiösen Erkrankungen des Auges behalten in der Regel *lokalen Charakter*. Zuweilen greifen sie jedoch durch Kontinuität auf die angrenzenden Gewebe und Organe über. Nur selten gehen aus dem Infektionsherd des Auges *Allgemeininfektionen* hervor. Am häufigsten wird dies noch bei Tetanus beobachtet, aber auch andere intraokulare Infektionen können gelegentlich auf den Körper übergreifen; denn die Aufnahme von Mikroorganismen aus dem Innern des Bulbus in die Blutbahn vollzieht sich unter den gleichen Bedingungen wie bei Infektionen an anderen Stellen des Körpers.

So hat man wiederholt bei der gonorrhöischen Conjunctivitis *Metastasen* gesehen, die sich vornehmlich in Gelenken lokalisieren.

### Verhalten der Bakterien im Auge. Schutzstoffe.

Das Verhalten der pathogenen Mikroorganismen nach Ansiedelung in der Bindehaut und in den einzelnen Teilen des Bulbus ist wechselnd. Ist ihre Zahl und Virulenz gering, dann können sie bei Unversehrtheit der normalen Abwehrrichtungen des Körpers alsbald zugrunde gehen, ohne daß es zu Krankheitserscheinungen kommt. Treffen diese Voraussetzungen aber nicht zu, dann erfolgt eine Vermehrung. Nach einer Inkubationszeit, die je nach Art der Krankheitskeime einige Stunden bis mehrere Tage und Wochen dauern kann, treten die ersten Krankheitssymptome auf, die dann im Verlauf der nächsten Tage zunehmen. Sie haben ihre Ursache in der Giftwirkung der Bakterien, wobei es sich teils um Toxine handelt, die von ihnen abgesondert werden, teils um Endotoxine, die in ihnen enthalten sind und erst nach ihrem Zerfall frei werden. Die Vermehrung der Bakterien, die hiermit Hand in Hand geht, hat aber ihre Grenzen, denn die Bakterien werden durch ihre eigenen Stoffwechselprodukte am weiteren Gedeihen verhindert; ferner sorgt auch der Organismus für eine Vernichtung der Krankheitskeime, und zwar um so erfolgreicher, je stürmischer der Entzündungsprozeß verläuft.

Die Schutzstoffe, über die der menschliche Körper schon unter normalen Verhältnissen verfügt, strömen dem Krankheitsherd in vermehrtem Maße zu. Welcher Art diese Schutzstoffe sind, darüber hat uns die Immunitätsforschung einige Aufschlüsse gegeben. Wir kennen *Bakteriolysine*, welche die Bakterien töten, wir kennen *Bakteriotropine*, die sie für die Phagocytose vorbereiten, und *Opsonine*, welche sie so verändern, daß sie leichter von den Leukocyten gefressen werden; wir kennen ferner *Leukine*, Substanzen, welche von den Leukocyten abgesondert werden und die Bakterien vernichten. Die Existenz der letzten wird jedoch nicht allseits anerkannt.

Diese Stoffe, die schon unter normalen Verhältnissen im Blut existieren und auf alle Bakterien einzuwirken vermögen, vermehren sich unter dem Einfluß der krankheitserregenden Bakterien. Es entstehen auf diese Weise die *spezifischen* Antikörper, die nur auf die Bakterienart eingestellt sind, die zu ihrer Erzeugung Anlaß gegeben hat. Zu den spezifischen Antikörpern sind auch die *Antitoxine* zu zählen, die von den toxinbildenden Bakterien im Körper hervorgerufen werden, ferner die *Agglutinine*, die in einer bestimmten Versuchs-anordnung zur Verklebung der Bakterien führen, und die *Präcipitine*, die im spezifischen Immuneserum vorkommen und sich dadurch kennzeichnen, daß sie in einem keimfreien Kulturfiltrat der homologen Bakterien einen Niederschlag erzeugen. Die Präcipitinreaktion wird aber nicht nur von Bakterien ausgelöst, auch alle Eiweißarten sind zu ihrer Bildung befähigt. In diesem Falle nennt man sie Eiweißpräcipitine im Gegensatz zu den Bakterienpräcipitinen.

Schließlich zählen zu den spezifischen Antikörpern auch die *Antiaggressine*, die als Antikörper der Aggressine auftreten. Es sind nach BAIL Stoffe, die von den Mikroorganismen ausgeschieden werden und in die Exsudate, sowie in andere Flüssigkeiten übertreten, mit der Fähigkeit, die Empfänglichkeit des Organismus für die Infektion zu steigern. Die Antiaggressine wirken dem entgegen und tragen damit zur Vernichtung der Infektionserreger bei. Nach Anschauung namhafter Autoren sind allerdings die Aggressine identisch mit den Endotoxinen der Bakterien.

Der Kampf der Antikörper gegen die Krankheitskeime äußert sich am deutlichsten in der Wirkung der Bakteriolyse und der Opsonine. Die Bakteriolyse macht sich darin bemerkbar, daß die Infektionserreger größer werden und ein geblähtes Aussehen bekommen, bis sie schließlich ganz absterben und zum Teil in eine bröckelige Masse zerfallen. Die entarteten Exemplare sind für gewöhnlich

auch schon dadurch gekennzeichnet, daß sie den Anilinfarbstoff nur schwach annehmen. Den erfolgreichen Kampf der Opsonine gegen die Bakterien erkennt man an der Zunahme der Phagocyten. Näheres über die Immunitätsvorgänge bringt der Beitrag von DOLD-SCHIECK im 7. Bande des Handbuchs.

Ist der Höhepunkt der Krankheit überschritten, dann nimmt für gewöhnlich die Zahl der Keime rasch ab, bis sie allmählich ganz verschwinden. Nur vereinzelt bleiben auch nach endgültiger Heilung noch einige Bakterien zurück, die dann wieder Anlaß zu Rückfällen oder zur Verschleppung auf andere Individuen geben können.

## II. Technik der bakteriologischen Augenuntersuchung.

### A. Entnahme von Material.

Zu Beginn eines infektiösen Prozesses findet man die Erreger in dem Krankheitsherd und in den Sekreten nur sehr spärlich, so daß in diesem Stadium ein Ausstrichpräparat häufig keinen Aufschluß gibt. Erst beim Anstieg und auf dem Höhepunkt der Entzündung sind die Bakterien zahlreicher vertreten. In vielen Fällen halten sie sich bis zur endgültigen Heilung in großer Menge, in anderen verschwinden sie schon nach Überschreiten des Höhestadiums oder sogar noch früher sehr rasch wieder. Handelt es sich hierbei um äußere Krankheiten des Auges, namentlich um Bindehautkatarrhe, bei denen man stets Saprophyten antrifft, dann können sich letztere mit dem Abklingen der Entzündung derart vermehren, daß sie die eigentlichen Krankheitserreger überwuchern.

Die besten Ergebnisse bei der Anfertigung eines Ausstrichpräparats und bei dem Anlegen von Kulturen erzielt man daher, wenn die Krankheit noch im Ansteigen begriffen ist oder den Höhepunkt erreicht hat.

Antiseptika und Adstringentia sind vor der Entnahme des Untersuchungsmaterials zu vermeiden.

Aus der *Bindehaut* entnimmt man Sekret mit einer ausgeglühten Platinöse oder noch zweckmäßiger mit einem Platinspatel, mit dem man es sofort auf Deckgläschen verreibt oder auf künstliche Nährböden aufstreicht, bevor es eintrocknet. Man muß darauf achten, nur solches Material zu verwenden, das sich im Bindehautsack nach der Übergangsfalte hin ansammelt. Die Sekretflocken, die man an den Lidrändern und in den Lidwinkeln antrifft, sind durch Luftkeime und durch Mikroorganismen, die für gewöhnlich der Haut anhaften, verunreinigt.

Nach den Untersuchungen von LINDNER haften die Bakterien ganz besonders in dem Epithel der Conjunctiva bulbi und zum Teil auch in dem der Cornea.

Will man die Zelleinschlüsse bei Trachom darstellen, dann schabt man mit einem Spatel die Epitheldecke der Bindehaut des oberen Lides oder der oberen Übergangsfalte ab, um den auf diese Weise gewonnenen Brei auf einem Deckglas zu verreiben.

Bei *Lidrandentzündung* schabt man mit dem Platinspatel von der erkrankten Partie etwas Material ab, bei Pusteln und Abscessen macht man vorher kleine Einstiche mit einer aseptischen Nadel.

Aus dem *Tränensack* gewinnt man Sekret, indem man es durch Druck entleert und beim Abfließen aus dem Tränenröhrchen auffängt. Ein sicheres, aber etwas umständliches Verfahren besteht darin, daß man eine stumpfe Kanüle durch das vorher mit einer konischen Sonde erweiterte Tränenröhrchen einführt und etwas Sekret mit der Spitze ansaugt. Der Pilzkonkremente in den Tränenröhrchen kann man nur durch Schlitzen derselben habhaft werden.

Bei der Entnahme von Material aus *Hornhautgeschwüren* muß das Auge zunächst anästhesiert werden. Es ist darauf zu achten, daß eine stärkere Verletzung des Hornhautgewebes vermieden wird, weil sonst die Ausbreitung der Infektion begünstigt wird. Man muß daher von der Verwendung spitzer und scharfer Instrumente absehen. Am besten eignet sich ein kleiner lanzettförmiger Platinspatel mit stumpfen Rändern. Andererseits aber darf man sich auch nicht mit den dem Geschwürgrund lose anhaftenden Flocken begnügen; denn diese sind meist mit Bindehautsekret vermischt, während die Krankheitserreger bei Hornhautgeschwüren im Gewebe selbst sitzen. Es ist daher auch erforderlich, daß das Geschwür vor der Entnahme von Material mit einem sterilen Tupfer gereinigt oder mit physiologischer Kochsalzlösung abgespült wird. Da aber selbst bei dem vorsichtigsten Bestreichen des Geschwürgrundes mit dem Spatel eine Verletzung des Hornhautgewebes nicht zu vermeiden ist, so ist es ratsam, gleich hinterher die auf Vernichtung der Krankheitskeime zielenden therapeutischen Maßnahmen anzuschließen.

Aus dem *Innern des Auges* erhält man Material des Infektionsherdes am besten unter Lokalanästhesie mit der Pravazschen Spritze, nachdem man die Einstichstelle mit sterilen Tupfern abgerieben hat.

Bei der Entnahme von *Kammerwasser* hat man ganz besondere Vorsichtsmaßregeln zu beobachten, weil sonst leicht Verletzungen der Iris und der Linse vorkommen. Der Assistent immobilisiert den Bulbus nach Einlegen des Lidsperrers mit zwei Fixierpinzetten, so daß jede willkürliche Bewegung ausgeschlossen ist. Die Kanüle wird außen schräg vom Limbus her durch die Hornhaut eingestochen wobei die linke Hand die Spritze hält, während die rechte den Kolben der Spritze führt. Die Öffnung der Kanüle muß gegen die Hornhaut gerichtet sein, nicht gegen die Iris, weil sonst beim Abfluß des Kammerwassers die nach vorn rückende Regenbogenhaut leicht die Kanüle verstopft. Es empfiehlt sich, das Absickern des Kammerwassers nicht sich selbst zu überlassen, sondern vorsichtig und langsam anzusaugen; denn es könnte sonst bei plötzlichem Abfluß leicht die Linse verletzt werden. Auch ist darauf zu achten, daß nur wenig Humor aqueus entnommen wird, damit beim Herausziehen der Spritze Raum genug bleibt, um Verletzungen zu vermeiden.

Bei der Gewinnung von infektiösem Material des *Glaskörpers* sind dieselben Vorsichtsmaßnahmen zu treffen. Man sticht unten außen etwa 6 mm vom Limbus entfernt ein.

Will man die mit der Spritze gewonnenen infektiösen Flüssigkeiten auf Nährböden oder auf Tiere verimpfen, dann ersetzt man am zweckmäßigsten die beim Einstich benutzte Kanüle durch eine andere, frisch ausgekochte, weil der ersten möglicherweise Keime der Bindehaut anhaften können.

Aus *exentertem Augeninhalt* kann man ohne Mühe Untersuchungsmaterial gewinnen, man muß nur verhüten, daß von außen her Verunreinigungen und Antiseptika mit der hervorquellenden Masse in Berührung kommen.

## B. Färbemethoden.

### 1. Färbung der Deckglaspräparate.

Das gewonnene Material wird mit dem Platinspatel auf einem Deckgläschen fein verrieben. Es darf unter keinen Umständen zu dick aufgetragen werden, weil sonst die Bakterien in den Entzündungsprodukten nicht zur Geltung kommen. Fest zusammenklebende Massen, wie Exsudate, Follikelinhalt und Pilzkonglomerate müssen besonders gut verteilt werden. Bei letzteren empfiehlt es sich, die lose anhaftenden Schleimmassen vorher abzuspülen und die Konglomerate alsdann

wegen ihrer teigigen Konsistenz unter Zusatz eines Tropfen sterilen destillierten Wassers zwischen zwei Objektträgern zu verreiben.

Man läßt dann das Präparat an der Luft trocknen und fixiert es, indem man es dreimal schnell hintereinander durch die Flamme eines Bunsenbrenners zieht. Zur Fixation kann auch absoluter Alkohol und Sublimat verwandt werden, die man etwa 10 Minuten einwirken läßt.

Hierauf legt man das Präparat in die Farblösung oder träufelt einige Tropfen derselben auf, indem man das Deckgläschen mit der CORNETSchen Pinzette hält.

Zur Färbung benutzt man die basischen Anilinfarblösungen, von denen das LOEFFLERSche Methylenblau und die alkoholische Fuchsinlösung die gebräuchlichsten sind.

Das LOEFFLERSche Methylenblau ist ein Gemisch von 30 ccm konzent. alkohol. Methylenblaulösung mit einer Lösung von 1 ccm 1% Kalilauge in 100 ccm destillierten Wassers. Man läßt diese Farblösung  $\frac{1}{2}$  bis 5 Minuten auf das Präparat einwirken. Hierauf wird es mit Wasser abgespült, mit Fließpapier getrocknet und in Cedernöl auf den Objektträger gebracht. Will man das Präparat aufheben, dann bettet man in Canadabalsam ein und verklebt die Ränder des Deckgläschens mit Lack.

Für manche Fälle empfiehlt es sich, das Präparat mit einem Tropfen Wasser auf den Objektträger zu bringen und zu untersuchen. Hierbei erscheinen alle Teile etwas größer, was namentlich bei der Betrachtung sehr kleiner Bakterien Vorteil bietet. Auch Kapseln sind leichter zu erkennen als in Cedernöl und Canadabalsam.

Die Färbung mit LÖFFLERSchem Methylenblau hat den Vorzug, daß sie die einzelnen Bestandteile der Bakterien und Zellen (Segmentierung und Granula) deutlich hervortreten läßt. Die Kerne der Zellen und die Bakterien erscheinen dunkelblau, alles übrige heller blau. Daher heben sich die in dem Protoplasma der Zellen gelegenen Mikroorganismen meist scharf ab.

Die Fuchsinlösung bereitet man sich aus ZIEHLScher Carbofuchsinlösung, die in 100 Teilen Wasser 1 Teil Fuchsin, 10 Teile absol. Alkohol und 5 Teile konzent. Carbonsäure enthält. Man stellt Verdünnungen von 1 : 10 und 1 : 20 her, die man einige Sekunden bis einige Minuten auf das Präparat einwirken läßt.

Außerdem kommt zur Färbung der Bakterien noch eine Anzahl anderer basischer Anilinfarbstoffe in Betracht, unter denen Gentianaviolett, Methylviolett, Dahlia und Vesuvin (Bismarckbraun) zu erwähnen sind. Alle diese Farblösungen haben das Gemeinsame, daß sie die Bakterien und die Zellkerne intensiv färben, die anderen Gewebelemente dagegen in geringerem Grade.

Um beides, sowohl die Bakterien als auch die Zellbestandteile deutlich zur Anschauung zu bringen, empfiehlt sich die Kontrastfärbung. Es handelt sich hierbei um Doppelfärbungen mit Farbgemischen, von denen die Thioninfärbung nach NICOLLE (Gesättigte Thioninlösung in 50% Alkohol 10,0, 1% Carbonsäure 100,0), sowie die Färbemethode von PICK-JACOBSON (Konzentr. alkohol. Methylenblaulösung 8 Tropfen, Carbofuchsin 15 Tropfen, Aqua dest. 20 ccm) die bekanntesten sind. Bei der ersteren erscheinen die Bakterien rötlich, die Kerne blau, bei der letzteren die Bakterien dunkelblau, die Zellkerne hellblau und das Protoplasma rot.

Die wichtigste von allen Färbemethoden ist die GRAMSche Färbung. Ihre Bedeutung beruht darin, daß sie eine Unterscheidung mancher Bakterienarten im Ausstrichpräparat von Sekreten ermöglicht, so daß die Anwendung des viel umständlicheren und Zeit raubenden Kulturverfahrens nicht immer erforderlich ist.

Die GRAMSche Gentianaviolettanilinwasserlösung bereitet man sich in folgender Weise:

Man vermischt in einem Reagensgläschen destilliertes Wasser mit soviel Anilinöl, daß nach kräftigem Schütteln noch etwas Anilinöl auf dem Wasser schwimmt. Nach Entfernen des letzteren filtriert man. Das Filtrat muß wasserklar sein. Hierzu setzt man so viel Gentianaviolettlösung, daß das Gemisch im Reagensglas noch eben durchsichtig ist und ein irisierender Belag auftritt. Das Färbeverfahren ist folgendes:

1. Färben des Präparates mit dieser Lösung 1 bis 3 Minuten, 2. Abspülen mit Wasser,
3. Einwirken von Jod-Jodkalilösung (Jod 1,0, Jodkali 2,0, Aqua dest. 300,0)  $\frac{1}{2}$  Minute.
4. Ohne Abspülen Entfärben in Alkohol absol. so lange, bis kein Farbstoff mehr abgeht.
5. Abspülen in Wasser.

Die nach GRAM färbbaren Bakterien erscheinen in solchen Präparaten tiefblau, alle anderen Bakterien und die Gewebsbestandteile sind farblos. Um auch letztere zur Darstellung zu bringen, ist Nachfärben mit Safranin (5% wässrige Lösung), oder dünner Fuchsinlösung oder Pikrocarminlösung zu empfehlen.

Die ursprüngliche GRAMsche Methode ist aber nicht mehr im Gebrauch, weil zu häufig störende Niederschläge entstehen und die Lösung stets frisch bereitet werden muß. Es sind daher von vielen Autoren Modifikationen der GRAMschen Methode angegeben worden, mit denen man bessere Resultate erzielt. So von GÜNTHER, KUTSCHER, WEIGERT, NICOLLE, CLAUDIUS, CZAPLEWSKI und JADASSOHN. Die von den beiden letztgenannten Autoren angegebenen Methoden sind wohl am gebräuchlichsten. Sie seien daher hier kurz beschrieben.

CZAPLEWSKI verfährt in folgender Weise: 1. Färben mit Carbolgentianaviolett (10 ccm konzent. alkohol. Gentianaviolettlösung, 50 ccm 5% Carbolwasser, 50 ccm Aqua dest.) eine Minute lang. 2. Abspülen mit dest. Wasser, 3.  $\frac{1}{2}$  bis 1 Minute in LUGOLScher Lösung (Jod-Jodkalilösung), 4. Abspülen und Trocknen mit Fließpapier, 5. Differenzieren in Anilin-Xylol, (2 : 1, dazu 1,5% Aceton), 6. Abspülen mit Xylol, 7. Trocknen an der Luft, 8. Eine Minute Nachfärben mit Carbolglycerin-Fuchsin (1,0 Fuchsin mit 5,0 Acid. carbol. liquef. verrieben, 50,0 Glycerin. Hierzu 100,0 Aqua dest. unter Umrühren), 9. Abspülen, Trocknen.

Nach JADASSOHN färbt man in folgender Weise: 1. 25 Sek. färben in alkohol. Gentianaviolettanilinwasserlösung (5% wässrige Lösung von Gentianaviolett 88,0, Anilinöl, 2,0, Alkohol. absol. 10,0), 2. Abspülen in Wasser, 3. 15 Sek. in Jodjodkalilösung (LUGOLSche Lösung), 4. Ohne Abspülen in Alkohol. absolut. so lange, bis keine Farbwolken mehr abgehen. 5. Abspülen in Wasser, 6. 5 Sekunden lang Nachfärben mit 5% wässriger Safraninlösung oder dünner Fuchsinlösung, 7. Abspülen in Wasser. Trocknen.

Die von CZAPLEWSKI und JADASSOHN angegebenen Gentianaviolettlösungen sind haltbar, jedoch empfiehlt es sich in allen Fällen, die Farblösungen vor dem Gebrauch zu filtrieren. Farbniederschläge werden hierbei nicht beobachtet. Die grampositiven Bakterien erscheinen dunkelblau, während die gramnegativen, sowie die Zellen und sonstigen Bestandteile des Präparats mit der Kontrastfarbe rot gefärbt werden.

Ergeben sich irgendwelche Zweifel über das Ergebnis der Färbung, dann ist es ratsam, auf den Rand des Deckgläschens an einer Ecke getrennt von dem Präparat eine kleine Öse voll solcher Bakterien aufzutragen, von denen man bestimmt weiß, daß sie sich nach GRAM positiv färben.

Von der Bakterienflora des Auges färben sich nach GRAM (*grampositiv*) Staphylokokken, Streptokokken, Pneumokokken, Sarcine, keulenförmige Bakterien (Xerose- u. Diphtheriebacillen), Streptothrix, Subtilis, Bacillus perfringens, Aspergillus fumigatus und Tuberkelbacillen. *Gramnegativ* (Entfärbung und Rotfärbung bei Anwendung der Kontrastfarbe) sind: Diplobacillen MORAX-AXENFELD, Diplobacillen PETIT, Influenzabacillen, KOCH-WEKSSche Bacillen, Bacterium coli, FRIEDLÄNDERsche Pneumoniebacillen, ZUR NEDDENs Bacillus, Bacillus pyocyaneus, Bacillus proteus, Gonokokken, Meningokokken und Mikrocooccus catarrhalis.

## 2. Färbung von Bakterien in Schnittpräparaten.

Um die Bakterien in Schnittpräparaten zur Darstellung zu bringen, empfiehlt es sich, die Gewebstückchen in Formol zu härten. Die anderen Fixierungsflüssigkeiten (Sublimat, ZENKER, MÜLLER) ergeben weniger brauchbare Resultate.

Für die grampositiven Bakterien eignet sich am besten die WEIGERTSche Modifikation der GRAMschen Methode, die gleichzeitig eine Fibrinfärbemethode ist. 1. Färben in Alaunkarmin oder Lithionkarmin (2,5 bis 5,0 Karmin in gesättigter wässriger Lösung von Lithium carbon.)  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{2}$  Stunde, 2. Abspülen in 50% Alkohol, 3. Färben in Gentianaviolettanilinwasser 5 bis 30 Minuten, 4. Übertragen des Schnitts auf den Objektträger, Abtrocknen mit Fließpapier, 5. Aufträufeln von LUGOLScher Lösung (1—2 Minuten), 6. Abtrocknen mit Fließpapier, 7. Entfärben in Anilin-Xylol (2 : 1), bis kein Farbstoff mehr abgeht, 8. Entfernen des Anilinöls mit Xylol, 9. Einbetten in Canadabalsam.

Bakterien und Fibrin erscheinen tiefblau, das Gewebe rot.

Zur Färbung der gramnegativen Bakterien im Schnitt sind verschiedene Methoden angegeben worden, von denen die gebräuchlichsten hier kurz erwähnt seien.

1. PAPPENHEIMS *Färbung*. Die in Alkohol oder Sublimat fixierten und in Paraffin eingebetteten Schnitte werden in einer vor dem Gebrauch zu filtrierenden Mischung von Methylgrün 2 Messerspitzen, Pyronin  $\frac{1}{2}$  bis 1 Messerspitze, Aqua dest. 5 ccm fünf Minuten lang gefärbt. Darauf Differenzieren in alkohol. Resorcinlösung. Alsdann in Alkohol. absolut., Xylol.

2. Die Präparate werden in UNNAS polychromem Methylenblau mehrere Stunden gefärbt. Differenzieren in Tannin-Orangemischung. Abspülen in Wasser, Alkohol. absol., Öl, Balsam. Bakterien und Kerne der Zellen sind hierbei blaugefärbt.

3. ZIELERSche Färbung. Härten in MÜLLER-Formol. Einbetten in Paraffin. Bis zu 24 Stunden Färben in Orceinlösung (Orcein D. GRÜBLER 0,1, Salpetersäure 2,0, 70% Alkohol 100,0). Abspülen in 70% Alkohol, darauf in Wasser. Einige Minuten bis mehrere Stunden Färben in polychromem Methylenblau. Auswaschen in Wasser. Differenzieren in GRÜBLERS Glycerinäther, Abspülen in Wasser, 70% Alkohol, Alkohol. absolut., Xylol, Balsam. Die Bakterien erscheinen dunkelblau.

4. NICOLLES *Methylenblau-Tanninmethode*. Färben in alkohol. Methylenblau oder Carbol-methylenblau 5 bis 30 Minuten. Abspülen in Wasser oder 1/2% Essigsäure einige Sekunden. Alsdann 10% Tanninlösung einige Sekunden, wodurch das Methylenblau unlöslich gemacht wird. Abspülen in Wasser, Alkohol, Öl, Balsam.

5. NICOLLES *Thioninmethode*. Färben in Thioninlösung 1/2 bis 1 Minute (gesättigte Lösung von Thionin in 50% Alkohol; hiervon 10,0 mit 100,0 einprozentiger Carbolsäure mischen). Abspülen in Wasser, Alkohol, Xylol, Balsam.

### 3. Besondere Färbemethoden.

#### a) Kapselfärbung.

Die Kapseln sind Schleimhüllen, die durch Aufquellung des Ektoplasma, der äußeren Schicht der Bakterien entstehen. Sie können zuweilen durch Schrumpfung des Sekrets infolge zu starker Erhitzung vorgetäuscht werden.

Von den am Auge vorkommenden Mikroorganismen haben eine deutliche Kapsel nur die FRIEDLÄNDERSchen Pneumoniebacillen, die Pneumokokken und der Streptococcus mucosus. Schon mit den gebräuchlichsten Anilinfärbungen sind die Kapseln zuweilen zur Anschauung zu bringen, namentlich im Tränensackeiter, während sie im Conjunctivalsekret und im Belag von Hornhautgeschwüren, sowie bei Panophthalmitis für gewöhnlich fehlen. Zuweilen wird eine geringe Aufquellung des Ektoplasma auch bei den MORAX-AXENFELDSchen Diplobacillen beobachtet.

Die gebräuchlichsten Methoden zur Kapselfärbung sind folgende:

a) Nach FRIEDLÄNDER. 1. 1—3 Minuten in 1% Essigsäure. 2. Abspülen, Trocknen. 3. Einige Sekunden Färben in Gentianaviolettanilinwasser. 4. Abspülen, Trocknen. 5. Bei Überfärbung Abspülen in 1% Essigsäure oder 50% Alkohol einige Sekunden. 6. Abspülen in Wasser. Die Bakterien erscheinen dunkelviolet, die Kapseln hellviolet.

b) Nach KLETT. 1. In alkohol. Methylenblaulösung (Methylenblau 1,0, Alkohol 10,0, Aqua dest. 100,0) Färben und Erwärmen bis zum Aufkochen, 2. Abspülen in Wasser, 3. Fünf Sekunden Färben in Fuchsin-Alkohol (Fuchsin 1,0, Alkohol 10,0, Aqua dest. 100,0), 4. Abspülen in Wasser. Die Bacillen sind blau, die Kapseln rötlich.

c) Nach RIBBERT. Färben einige Sekunden in folgender Lösung: Aqua dest. 100,0 Alkohol. 50,0, Acid. acet. glac. 12,5 + Dahlia, so viel sich in der Wärme löst. 2. Abspülen in Wasser.

d) Nach JOHNE. 1. 1—2 Minuten in warmer wässriger Lösung von Gentianaviolett oder Methylviolett, 2. Abspülen in Wasser, 3. Einige Sekunden Entfärben in 1% Essigsäure, 4. Abspülen in Wasser.

#### b) Sporenfärbung.

Sporen sind Dauerformen, die in den Bakterienleibern zur Entwicklung gelangen. Nicht alle Bakterien bilden Sporen. Unter der Bakterienflora des Auges kommen sie nur bei Tetanusbacillen, Milzbrandbacillen und Heubacillen vor. Ferner werden sie bei Hefe- und Schimmelpilzen beobachtet.

Am zuverlässigsten ist die Färbemethode von MÖLLER: 1. Deckglaspräparate werden für 2 Minuten in Chloroform gelegt, um etwa vorhandene Fetttröpfchen, die Sporen vertauschen können, zu entfernen, 2. Abspülen in Wasser, 3. 5 Sekunden bis 10 Minuten in 5% Chromsäure, 4. Abspülen in Wasser, 5. Färben eine Minute unter Aufkochen in Carbol-fuchsin oder Anilinwasserfuchsin, 6. Entfärben in 5% Schwefelsäure 5 Sekunden lang, 7. Abspülen in Wasser, 8. Nachfärben mit Methylenblaulösung.

## c) Geißelfärbung.

Unter Geißeln versteht man fadenförmige Auswüchse der Bakterien, die ihnen teils einzeln, teils in Gruppen anhaften. Sie dienen zu ihrer Fortbewegung. Dementsprechend beobachtet man bei der Untersuchung im hängenden Tropfen eine Eigenbewegung, deren Intensität von der Zahl der Geißeln abhängt. Sie läßt sich von der Molekularbewegung, die man bei allen Bacillen beobachtet, wohl unterscheiden. Viele Bakterienarten bilden keine Geißeln. Aber auch diejenigen, die Geißeln besitzen, können sie unter Umständen verlieren. Die Beschaffenheit des Nährbodens und das Alter der Kulturen spielen hierbei eine Rolle. Zur Geißelfärbung eignen sich am besten junge Agarkulturen, die man in möglichst dünner Aufschwemmung auf ein Deckgläschen bringt. Zuvor überzeugt man sich im hängenden Tropfen von dem Vorhandensein der Eigenbewegung, indem man das Präparat vor der Austrocknung auf einen ausgehöhlten Objektträger legt, wobei der Tropfen nach unten in die Aushöhlung hineinragt. Um eine Verdunstung zu verhüten, bestreicht man den Saum des Deckgläschen ringsum mit Vaseline, wodurch es dem Objektträger luftdicht anhaftet. Man untersucht dann mit dem Mikroskop bei starker Abblendung. Nur die Bakterien, die eine lebhaftige Eigenbewegung im hängenden Tropfen erkennen lassen, kommen für die Geißelfärbung in Betracht. Unter den Bakterien des Auges werden Geißeln am regelmäßigsten bei den Bacillen der Subtilisgruppe beobachtet, ferner bei Tetanusbacillen, *Bacterium coli*, *Bacillus pyocyaneus* und *Bacillus proteus*. Auch bei Spirochäten kommen sie vor.

Die besten Resultate liefert die LÖFFLERSche Geißelfärbung. 1. Beizen mit folgender Lösung: Tannin 2,0, Aqua dest. 8,0, kalt gesättigte Ferrosulfatlösung 5,0 Alkohol. Fuchsinlösung 1,0. Vor dem Gebrauch zu filtrieren. Man träufelt die Beize auf das Deckgläschen und erwärmt vorsichtig 1 Minute, bis Dämpfe aufsteigen. 2. Abspülen mit kräftigem Wasserstrahl. 3. Kurz Abspülen in 96% Alkohol. 4. Trocknen. 5. Färben 5 Minuten mit ZIEHLScher Carbofuchsinlösung unter vorsichtigem Erwärmen (Fuchsin 1,0, Alkohol. absolut. 10,0, Acid. carbol. konzent. 5,0, Aqua dest. 100,0). Vor dem Aufträufeln zu filtrieren. 6. Abspülen, Trocknen, Balsam.

VAN ERMENGHEM verfährt in folgender Weise: 1. Behandeln des Ausstrichs 5 Minuten bei 50 bis 60 Grad in einer Mischung von einem Teil 2% Osmiumsäure mit 2 Teilen 10 bis 25% Tanninlösung, welcher 4 bis 5 Tropfen Eisessig auf 100 cem Wasser zugesetzt werden. 2. Abspülen mit Wasser. 3. Abspülen in Alkohol. absolut. 4. Eintauchen für einige Sekunden in 0,5 bis 2,5% Silbernitratlösung, 5. Ohne Abspülen für einige Sekunden in einer Lösung von Acid. gallicum 5,0, Acid. tannicum 3,0, Natr. acet. 10,0, Aqua dest. 350,0. 6. Zurück in die Silbernitratlösung, bis sich das Präparat zu schwärzen beginnt. 7. Abspülen in Wasser, Trocknen, Balsam.

Außerdem sind noch Methoden von HESSERT, LUCA VALENTI und BUNGE angegeben worden.

## d) Körnchenfärbung für keulenförmige Bacillen.

**1. NEISSERSche Körnchenfärbung.** Sie dient zur Differentialdiagnose der Diphtheriebacillen gegenüber den anderen keulenförmigen Bacillen.

Die ursprüngliche Methode ist folgende: 1. 1—3 Sekunden Färben in essigsauerm Methylenblau (konzentr. alköl Methylenblau 20,0, Acid. acet. glac. 50,0, Aqua dest. 950,0). 2. Abspülen in Wasser. 3. Nachfärben mit Bismarckbraun (Vesuvin 2,0 in 1 Liter kochenden dest. Wassers lösen, alsdann filtrieren) 3—5 Sekunden. Die Bacillen erscheinen hellbraun, die Körnchen dunkelblau.

Später hat NEISSER folgende Modifikation angegeben: Man benutzt zwei Lösungen. Lösung 1: Methylenblau 1,0, Alkohol 20,0, Acid. acet. glac. 50,0 Aqua dest. 1000,0.

Lösung 2: Krystallviolett Höchst 1,0, Alkohol 10,0, Aqu. dest. 300,0. Man mischt von Lösung 1 zwei Teile mit einem Teil Lösung 2. Färben 1 Sekunde, Abspülen in Wasser, Nachfärben mit Chrysoidin (1,0 in 300,0 heißem Wasser gelöst, filtrieren) drei Sekunden, Abspülen, Trocknen.

## 2. Rouxsehe Körnchenfärbung für keulenförmige Bacillen.

Es werden gleichfalls 2 Lösungen verwendet.

1. Dahliaviolett 1,0, Alkohol (90%) 10,0, Aqua dest. 100,0.

2. Methylgrün 1,0, Alkoh. (90%) 10,0, Aqua dest. 100,0.

Mischung von Farblösung 1 ein Teil mit Farblösung 2 drei Teile. Färben 2 Minuten  
Die Bacillen erscheinen rötlich, die Körnchen violett.

e) Die zur Darstellung der *Tuberkelbacillen*, *Spirochäten* und *Trachomkörperchen* gebräuchlichen Färbemethoden sind in den betreffenden Kapiteln weiter unten beschrieben.

## C. Kulturen.

Die gebräuchlichsten Nährböden sind Agar, Gelatine, Bouillon und erstarrtes LÖFFLERSches Blutserum, die man am zweckmäßigsten aus bakteriologischen Instituten bezieht, da die Zubereitung umständlich und zeitraubend ist.

Für viele Bakterien in der Augenheilkunde reichen diese einfachen Nährböden aber nicht aus. Sie bedürfen des Zusatzes von menschlichem Serum, Pleuraexsudat, Ascites- oder Hydrocelenflüssigkeit, die man vorrätig halten muß.

Diese Flüssigkeiten werden mit Bouillon oder Agar vermischt, und zwar in dem Verhältnis von 1 : 2 oder 1 : 3. Beim Vermischen mit Agar wird dieses zunächst durch Erhitzen verflüssigt und im Wasserbad auf 45 bis 50 Grad abgekühlt. In demselben Wasserbad erwärmt man das Serum oder die analogen Flüssigkeiten auf die gleiche Temperatur. Alsdann vermischt man beide und läßt die Mischung im Reagensröhrchen schräg erstarren, oder gießt sie in PETRISCHE Schalen zum Erstarren aus. Es ist darauf zu achten, daß die Nährböden schwach alkalisch reagieren.

Zur Züchtung der hämophilen Influenzabacillen sind *hämoglobinhaltige* Nährböden erforderlich.

Man entnimmt der Kuppe eines Fingers durch Einstich mit einer Nadel steril einige Tropfen Blut, die man auf den Agar aufträufeln läßt, um sie gleich hinterher mit dem Platinpinsel über die ganze Oberfläche zu verteilen. Wegen seines hohen Hämoglobingehaltes eignet sich besonders das Taubenblut für die Züchtung der Influenzabacillen. Man gewinnt es aus einer Vene unter dem Flügel, nachdem man die betreffende Stelle von Federn entblößt und steril gemacht hat.

Zum Nachweis besonderer Eigenschaften einiger Bakterien gibt es noch besondere Kulturmethoden, die hier kurz erwähnt werden müssen.

Das *Gärungsvermögen*, das einige Bakterienarten charakterisiert, wird mittels Traubenzuckers nachgewiesen. Man bringt eine Messerspitze Traubenzucker in ein Agarröhrchen. Durch Aufkochen wird zugleich eine Sterilisation und gute Verteilung des Zuckers in dem Nährsubstrat erreicht. Das Gärungsvermögen erkennt man daran, daß die durch Einstich mit der Platinnadel angelegte Kultur Gas (Kohlensäure) bildet, welches den Nährboden an vielen Stellen auseinanderprengt. Von den Bakterien des Auges sind Colibacillen, FRIEDLÄNDERSCHE Pneumoniebacillen und *Bacillus pyocyaneus* gasbildend.

Die Untersuchung auf *Alkali- und Säurebildung* geschieht am einfachsten durch Betupfen des Nährbodens, auf dem die Bakterien gewachsen sind, mit Lackmuspapier.

Die *Indolreaktion* prüft man in der Weise, daß man zu einer 24stündigen Bouillonkultur 1 ccm 0,01%iger Kaliumnitritlösung und 1 ccm verdünnter Schwefelsäure (1 : 3) oder Salzsäure fügt. Die innerhalb weniger Minuten auftretende Rotfärbung zeigt das Vorhandensein von Indol an (Nitrosoindol).

Über das *Sauerstoffbedürfnis* der Bakterien gewinnt man Aufschluß durch Anlegen von anaëroben Kulturen (s. unten).

Beim *Anlegen von Kulturen* geht man in folgender Weise vor:

Nachdem man sich zunächst durch Anfertigung eines Deckglaspräparats davon überzeugt hat, welche Bakterienart in Betracht kommt, trifft man die Wahl des Nährbodens, den man in eine PETRISCHE Schale gießt und erstarren läßt. Mit einer Platinöse oder einem Platinspatel bringt man das Infektionsmaterial auf diese Nährbodenplatte und verstreicht es mit einem Platinpinsel auf einem Drittel derselben. Hierauf glüht man den Pinsel aus und bringt ihn mit einer kleinen Stelle der bestrichenen Fläche in Berührung, wodurch er eine geringe Menge des infektiösen Materials wieder annimmt. Diese Verdünnung überträgt man dann auf das zweite Drittel des Nährbodens. Von hier entnimmt man nach abermaligen Ausglühen des Platinpinsels wiederum etwas Infektionsmaterial, das man auf dem dritten Drittel der Platte austreicht. Man erhält so drei verschieden stark beschickte Teile des Nährbodens. Auf dem zuerst bestrichenen Drittel wachsen viele Kolonien, auf dem zweiten weniger und auf dem dritten nur spärliche. Dies hat den Vorteil, daß man aus einem sehr bakterienreichen Infektionsmaterial die Kolonien besser isolieren kann.

Für manche Bakterienarten, besonders für Streptothrix und Bacillus perfringens kommt nur das *anaërobe Kulturverfahren* in Betracht, das hinsichtlich der Isolierung der Kolonien mehr Schwierigkeiten bereitet.

Meist reicht die Kultur in hoher Schicht aus. Ein mit Nährboden zu  $\frac{3}{4}$  gefülltes Röhrchen wird in den tiefsten Schichten mit Hilfe einer langen Platinnadel, die bis auf den Boden reicht, geimpft. In einem zweiten Röhrchen stellt man sich dann eine Verdünnung her, indem man von dem ersten Röhrchen etwas Impfmateriale in der gleichen Weise überträgt. Um die Isolierung der Kolonien noch besser zu ermöglichen, impft man noch ein drittes Röhrchen durch Entnahme von Infektionsstoff von dem zweiten. Derartige Verdünnungen können dann noch weiter an mehrere Röhrchen vorgenommen werden.

Empfehlenswert ist auch das anaërobe Kulturverfahren von BUCHNER. In einen hohen Glaszylinder mit eingeschliffenem Deckel bringt man 1 cm hoch reine Pyrogallussäure und gießt hierzu 30%ige Natron- oder Kalilauge. Alsdann stellt man das Röhrchen mit beimpftem Nährboden auf einem kleinen Glasdreifuß ruhend in den Zylinder, nachdem man vorher den Wattepropf des Röhrchens abgesengt hat, um ihn von Schimmelpilzsporen, die in der feuchten Wärme leicht auskeimen könnten, zu befreien. Der Glaszylinder wird dann schnell zugedeckt. Der Sicherheit halber schließt man noch den Rand des Deckels mit Paraffin oder Siegellack luftdicht ab.

Die beimpften Nährböden kommen in den *Brutofen* bei 37 Grad. Gelatinekulturen bewahrt man bei Zimmertemperatur auf.

Nach 24 Stunden haben sich die einzelnen Keime vermehrt und sind zu Kolonien ausgewachsen. Man legt nun die Schalen, in denen sich die Kulturen befinden, unter das Plattenmikroskop mit dem Boden nach oben. Bei etwa 60facher Vergrößerung sind die Merkmale der einzelnen Kolonien deutlich wahrzunehmen, so daß man schon aus ihrem Aussehen vielfach auf die Art der Mikroorganismen schließen kann. Von einer isoliert liegenden Kolonie wird mit der Platinnadel etwas Bakterienmaterial auf einem Deckgläschen in einem Tropfen Wasser verrieben und nach Färbung mikroskopisch bei 800- bis 1000facher Vergrößerung untersucht. Eine *Reinkultur* dieses Mikroorganismus erhält man nun, indem man von derselben Kolonie etwas Material auf den Nährboden eines Röhrchens überimpft, das man wiederum für 24 Stunden im Brutofen unterbringt. Von dieser Reinkultur kann man dann, falls erforderlich, auf die verschiedenartigsten Nährböden weiter verimpfen und dadurch die für die Differentialdiagnose wichtigsten Eigenschaften feststellen.

Will man die Kulturen *konservieren*, so tötet man sie zunächst durch Formalindämpfe, um ein weiteres Wachstum zu verhindern. Dies geschieht in der Weise, daß man auf den Boden des Röhrchens einige Tropfen reines Formol auftropft oder daß man den Wattebausch des Röhrchens mit Formol anfeuchtet. Man verschließt dann fest mit einer Gummikappe. Nach einige Stunden entfernt man letztere sowie den Wattepfropfen und schmilzt das Röhrchen zu.

Außer den bisher erwähnten Nährböden kommen für die Kulturen noch *einige andere Nährsubstrate* in Betracht.

*Kartoffeln.* Nach Ausstechen der Keimansätze und Abreiben der Schale mit der Bürste werden die Kartoffeln  $\frac{1}{2}$  bis 1 Stunde in  $\frac{1}{100}$  Sublimatlösung gelegt, dann abgespült und  $\frac{3}{4}$  Stunden im Dampfapparat gekocht. Hierauf werden sie mit einem sterilen Messer in Scheiben geschnitten und in gut verschließbare PETRISCHE Schalen gelegt. An der Kartoffelschale haften meist viele Sporen, die durch Kochen nicht abgetötet werden. Es empfiehlt sich daher, einen 1 bis 2 cm breiten Streifen mit der Schale ringsum abzuschälen.

*Brot* ist wegen seiner sauren Reaktion ein guter Nährboden für Schimmelpilze. Man zerreibt gedörrtes Graubrot und schüttet davon so viel in ERLÉNMEYERSCHE Kolben, daß

der Boden bedeckt ist. Durch Zusatz von Wasser bereitet man einen dicken Brei, der im Dampfstrom sterilisiert wird.

*Eiernährböden.* Nach gründlichem Reinigen und Abwaschen der Schalen mit desinfizierenden Lösungen werden die beiden Pole mit einer sterilen Pinzette eröffnet, worauf der Inhalt in sterile Kolben aufgefangen wird. Alsdann wird 5%ige Glycerinbouillon oder steriles Wasser (etwa 10% des Gewichts der Eier) zugesetzt und verrührt. Nach Abfüllung in Röhrchen oder PETRISCHE Schalen erfolgt Erhitzen in Wasserdampf bei 70 Grad zwei Stunden lang, wobei eine Gerinnung des Nährbodens eintritt.

Auch hart gekochte Eier können in Scheiben geschnitten ohne irgendwelchen Zusatz als Nährboden verwandt werden.

*Milch* wird in frischem Zustand nach Entrahmung in Reagensröhrchen gebracht und an drei aufeinander folgenden Tagen im Dampfstrom gekocht. Einige Bakterienarten bringen Milch zu Gerinnung.

Auch *Gehirn* kommt in Schnitten oder als Brei zur Züchtung einiger Bakterienarten in Betracht. Die Sterilisation erreicht man durch Auskochen.

## D. Serodiagnostik.

Zur Differenzierung von Bakterienarten, die manche Eigenschaften gemeinsam haben und daher nicht leicht von einander zu unterscheiden sind, kann die *Agglutination* herangezogen werden.

Ihr Wesen beruht darin, daß die Mikroorganismen im Tierkörper neben verschiedenen anderen spezifischen Antikörpern auch Agglutinine bilden, die in einer bestimmten Versuchsanordnung zu einer Verklebung der Bakterien führen. Schon das normale Serum enthält solche Stoffe. Die spezifischen Agglutinine aber, die auf eine bestimmte Bakterienart eingestellt sind, vermögen bereits in einer starken Verdünnung die Verklebung zu bewirken. Sogar bei einer Verdünnung von 1 : 2000 können die spezifischen Sera noch Agglutinationsvermögen zeigen, das bei normalem Serum nur in einer Verdünnung von 1 : 50 bis höchstens 1 : 100 vorkommt.

Die Agglutination prüft man mit Hilfe einer 24stündigen Bouillonkultur im hängenden Tropfen, dem man das spezifische Serum in verschiedener Verdünnung zusetzt. Während sich ohne Serumzusatz die Bakterien in dem hängenden Tropfen lebhaft durcheinander bewegen, ohne sich zusammenzuballen, sind sie in den Präparaten, denen das spezifische verdünnte Serum zugesetzt wurde, unbeweglich geworden und zu Haufen zusammengeklebt.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß die WASSERMANNSCHE Serodiagnostik eine wesentlich andere Grundlage hat. Das nähere hierüber findet sich in dem Kapitel Immunität in diesem Handbuch, Bd. 7.

## E. Tierimpfungen.

Zur Prüfung der Pathogenität und Virulenz der Bakterien sind Tierimpfungen erforderlich, wobei aber darauf hinzuweisen ist, daß viele Mikroorganismen, die für Menschen pathogen sind, sich im Tierkörper indifferent verhalten. Als Versuchstiere werden hauptsächlich Meerschweinchen, Kaninchen, Ratten, Mäuse (besonders weiße) und Affen verwandt. Man impft cutan, subcutan, intraperitoneal, intramuskulär, intradural und intravenös mit einer 24stündigen frischen Reinkultur.  $\frac{1}{2}$  bis 1 ccm ist die übliche Dosis.

Hierzu kommen noch Impfungen an Kaninchen- und Affenaugen, die in der Augenheilkunde eine besondere Rolle spielen.

Die *Bindehaut* impft man, indem man infektiöses Material teils mit oberflächlichen Verletzungen, teils ohne solche in die obere Übergangsfalte einstreicht, oder mit der Spritze subconjunctival injiziert.

In die *Cornea* bringt man Impfstoff, indem man nach Cocainisierung eine schräge kleine Tasche anlegt. Namentlich bei dem Einpflanzen von Gewebs-

stückchen (Lues und Tuberkulose) kommt diese Methode in Betracht. Handelt es sich um Reinkulturen, dann bedient man sich am zweckmäßigsten der PRAVAZschen Spritze. Mit Hilfe einer sehr dünnen Nadel kann man bei einem ausgewachsenen Kaninchen ohne Schwierigkeit tangential einstechen, ohne dabei in die vordere Kammer zu geraten. Es entsteht dann eine scharf begrenzte, runde, graue, oder weißliche etwas aufgeblähte Partie, die sich alsbald verteilt. Um Sekundärinfektionen mit Bakterien des Bindehautsacks zu verhüten, empfiehlt es sich, die Lider gleich hinterher mit einer Sutur zu vernähen. Die Technik der cornealen Impfung bereitet keine Schwierigkeiten, wenn man den Bulbus vor der Impfung luxiert und mit 2 Fingern fixiert.

Auch bei Impfungen in die *vordere Kammer* und in den *Glaskörper* ist die Luxation des Bulbus mit einem Schielhaken ratsam. Dieser dient gleichzeitig zur Fixation des Bulbus, wobei ein starker Druck auf den Augapfel leicht vermieden werden kann. Die Impfung in die vordere Kammer und in den Glaskörper gelingt besser, wenn man vorher das Kammerwasser abfließen läßt.

Bei Einführung von *Gewebsstückchen* in die vordere Kammer und in den Glaskörper muß ein kleiner Schnitt angelegt werden, durch den man das Infektionsmaterial mit einer stumpfen Pinzette oder einem schmalen Spatel einführt und weit vorschiebt. Damit es haften bleibt, muß die Operationswunde durch einen Bindehautlappen bedeckt werden.

Eine Impfung des Glaskörpers ohne Verletzung von Blutgefäßen erreicht man, indem man nach ROEMERS Vorschlag die Kanüle durch die Hornhaut und Linse einsticht.

Will man Impfmateriale in eine Tasche unter die Aderhaut oder den Ciliarkörper bringen, dann bedient man sich entweder der Cyclodialyse oder des von v. SZILY angegebenen Verfahrens, bei dem der Schnitt in die Hornhaut verlegt und der Impfstoff mit einem stumpfen, gebogenen Spatel rückwärts unter den Ciliarkörper geschoben wird.

Es empfiehlt sich, die geimpften Tiere häufig zu kontrollieren und den Erfolg der Impfung zu überwachen. Etwa erforderliche Sektionen nimmt man unmittelbar nach Eintritt des Todes vor.

## Spezieller Teil.

### Einteilung der Mikroorganismen.

Die krankheitserregenden Lebewesen teilt man in tierische und pflanzliche Parasiten ein.

Zu den ersten gehören außer den Ektoparasiten (Ungeziefer) und den Eingeweidewürmern die im Blut lebenden Protozoen, deren Hauptvertreter Malariaplasmodien, Trypanosomen (Erreger der Schlafkrankheit), Amöben und Infusorien sind. Alle diese Lebewesen, die zum Teil auch am Auge Krankheitserscheinungen auslösen können, kommen für die vorliegende Abhandlung nicht in Betracht. Nur die *pflanzlichen Parasiten* sollen hier besprochen werden.

Man unterscheidet zwei Hauptgruppen: 1. *Die Pilze*, 2. *die Algen*.

Die ersteren gliedert man in die *Spaltpilze* (Schizomyceten) oder *Bakterien* und die *höheren Pilze mit echter Verzweigung*. Zu den ersteren gehören die *Bacillen* (stäbchenförmige Gebilde), *Kokken* (Kugelform), *Sarcine* (Packetform) und *Spirillen*, zu den letzteren die *Sproß- oder Hefepilze* und die *Schimmel- oder Fadenpilze*, sowie einige andere, die für die Ophthalmologie keine Bedeutung haben.

Von den Algen kommen als Krankheitserreger für das Auge nur *Streptothrix* und *Leptothrix* in Betracht.

Eine besondere Gruppe bilden die *Spirochäten*, die einige Autoren zu den tierischen Schmarotzern rechnen.

Die Unterscheidungsmerkmale zwischen diesen verschiedenen Gruppen und Arten sind aber keineswegs durchgreifend, so daß man über die Zugehörigkeit mancher Mikroorganismen zu dieser oder jener Gruppe im Zweifel sein kann.

Die *Bakterien* sind unter den pathogenen Mikroorganismen ohne Zweifel die wichtigsten. Sie besitzen eine protoplasmatische, kernlose Grundsubstanz und eine eiweißartige Hülle (Ektoplasma). Diese ist zur Quellung und zur Ausscheidung einer gallertigen Masse befähigt.

Die *Fortpflanzung* der Bakterien erfolgt teils durch *Spaltung*, teils durch *Sporenbildung*. Die Spaltung vollzieht sich durch Abschnürung, die von der Hülle ausgeht, wodurch meist zwei gleich große, selbständige Lebewesen entstehen. Dieser Vorgang spielt sich sehr rasch ab und wiederholt sich sogleich wieder an den neugebildeten Exemplaren. Auf diese Weise kann sich ein einziges Bakterium in ganz kurzer Zeit um ein Tausendfaches vermehren. Auf künstlichen festen Nährböden entstehen so aus den einzelnen Keimen Kolonien, die für jede Bakterienart ein charakteristisches Aussehen haben.

Am besten gedeihen die Bakterien bei Körpertemperatur. Das Wachstum hat aber seine Grenzen, indem die Bakterien an ihren eigenen Stoffwechselprodukten zugrunde gehen. Bei mangelhafter Beschaffenheit des Nährbodens bilden die Bakterien Degenerationsformen, die bei den Kokken zu großen, geblähten Gebilden führen, bei den Bacillen zu dicken, langen Fäden.

Die Spaltung der Kokken kann gleichzeitig nach zwei oder nach allen drei Richtungen des Raumes hin erfolgen. Im ersten Falle entstehen Gebilde, die wir als Staphylokokken, Diplokokken und Streptokokken bezeichnen, im zweiten bilden sich Packetformen (Sarcine).

Die zweite Art der Fortpflanzung der Bakterien ist die *Sporenbildung*, die man in zweierlei Form beobachtet. Bei der einen bildet sich innerhalb der Mutterzelle eine ovale, stark lichtbrechende Stelle, die sich nur mit besonderen Färbemethoden deutlich zur Anschauung bringen läßt. Ist die Spore reif, dann wächst sie unter Zerfall des Bakteriums zu einer selbständigen Zelle aus. Im Gegensatz zu dieser endogenen Sporenbildung gibt es nach Ansicht einiger Autoren eine zweite Art, die man als Arthro- oder Glieder-Sporenbildung bezeichnet. Sie soll durch Abschnürung einzelner Teile der Bakterien entstehen.

Die Sporen sind Dauerformen, die gegen Austrocknung, Hitze und Kälte sehr widerstandsfähig sind, wohingegen die Bakterien nur bei Temperaturen von 5 bis 50 Grad und bei einem gewissen Feuchtigkeitsgehalt ihrer Umgebung lebensfähig bleiben.

Bei einigen Bacillenarten kommt eine *Eigenbewegung* vor, die den Kokken und den Sarcinen fast völlig fehlt. Sie wird durch *Geißeln* bewirkt, die meist in Form von Fäden den Enden der Stäbchen, teils einzeln, teils zu mehreren in Büscheln anhaften. Zuweilen sitzen sie auch den Bacillen ringsum nach allen Seiten hin auf.

Nach der Beschaffenheit der Geißeln unterscheidet man: 1. Monotricha: Bakterien mit einer einzigen an einem Pol haftenden Geißel, 2. Amphitricha: mit je einer Geißel an beiden Polen, 3. Lophotricha: mit einem Geißelbüschel an dem einen Polende, 4. Peritricha: mit vielen, rings um den ganzen Bakterienleib angeordneten Geißeln, 5. Atricha: geißellose Bakterien, die keine Eigenbewegung besitzen.

Die *Sproß- oder Hefepilze* sind dadurch charakterisiert, daß sie sich durch Bildung von Sprossen vermehren, die meist gleichzeitig an mehreren Stellen aus der Mutterzelle hervorwachsen und sich alsdann als selbständige Zellen loslösen. Sie bilden weder Mycel noch Konidien.

Die *Schimmel- oder Fadenpilze* bestehen aus Laub (Thallus), das sich zu langen, untereinander verbundenen Fäden (Hyphen) auswächst, wodurch ein dichtes Flechtwerk, das Mycel, entsteht. Einige Fäden tragen an den Enden die Früchte (Konidien oder Sporen), deren verschiedenes Verhalten die einzelnen Arten unterscheidet.

Die *Streptothricheen* nehmen eine Mittelstellung zwischen den Bakterien und den Fadenpilzen ein. Denn einesteils erscheint der aus der Keimzelle hervorgehende Pilzfaden homogen im Gegensatz zu den doppelkonturierten Fäden der Schimmelpilze, andererseits bilden die Streptothricheen, wie Pilze, ein Mycel, das durch Verästelung der einzelnen Fäden entsteht.

Die *Spirochäten* haben mit den Bakterien das gemeinsam, daß an ihnen eine Trennung von Chromatin (Kernsubstanz) und Plasma nicht möglich ist, während sie mit den Protozoen hinsichtlich der Art ihrer Verbreitung übereinstimmen. Ihre Stellung im System der Mikroorganismen ist noch ungeklärt.

## I. Bakterien.

### A. Bacillen.

#### 1. Keulenförmige Bacillen (Corynebakterien).

Zu dieser Gruppe gehören die *Diphtheriebacillen*, die *Pseudodiphtheriebacillen* und die *Xerosebacillen*.

a) Der *Diphtheriebacillus* wurde von KLEBS im Jahre 1883 in Schnitten von Diphtheriemembranen gefunden und von LÖFFLER bald danach rein gezüchtet. Er ist 1,5 bis 8  $\mu$  lang und 0,5 bis 1  $\mu$  breit. Seine Gestalt ist mannigfach; am häufigsten ist die Keulenform, aber auch kolben-, hantel-, spindel- und lanzettförmige Stäbchen gehören zur Regel. Die längeren Stäbchen sind leicht gekrümmt und häufig septiert. Auf der Kultur wechselt die Form noch mehr, wobei außer langen Fäden und Verzweigungen auch kokkenartige Septierungen beobachtet werden (Abb. 1).

Die Diphtheriebacillen färben sich mit allen gebräuchlichen Anilinfarblösungen gut, nach GRAM positiv. Nach der Methode von ROUX (S. 995) lassen sich an Kulturen die BABES-ERNSTschen Körnchen besonders gut zur Darstellung bringen. Bei der NEISSERSchen Körnchenfärbung treten an den Polen, zuweilen auch intermediär schwarzblau gefärbte Körnchen auf, vorausgesetzt, daß die Kultur die erste Generation darstellt, ferner, daß sie nicht jünger als 9 und nicht älter als 20 Stunden und außerdem auf LÖFFLERSchem Serum angelegt worden ist.

Die Diphtheriebacillen gedeihen am besten aërob bei einer Temperatur von 33 bis 37 Grad. Der günstigste Nährboden ist das LÖFFLERSche Serum und Ascites-Agar, aber sie wachsen auch auf allen anderen Nährböden. Am kümmerlichsten ist das Wachstum auf Gelatine. Erstarrtes Serum wird nicht verflüssigt. Die auf Glycerinagar gezüchteten Kolonien sind weiß bis gelblich, mit ausgefranztem Rand, stark gekörnt, am Rande etwas durchscheinend, im Zentrum dunkler, bräunlich.

Im Bouillon bildet sich eine feine staubförmige Trübung, die sich zum Teil am Boden und an der Wand niederschlägt, während sich an der Oberfläche ein Häutchen formt. Die Reaktion ist sauer, jedoch wird sie nach einigen Tagen

wieder alkalisch. Mit Abklingen der saueren Reaktion tritt das Diphtherietoxin erst vollständig in die Bouillon über. Die Indolreaktion ist negativ. In Milch gedeihen die Diphtheriebacillen gut, wobei zuweilen Koagulation eintritt. Auf Kartoffel entwickelt sich die Kultur als zarter glänzender Belag.

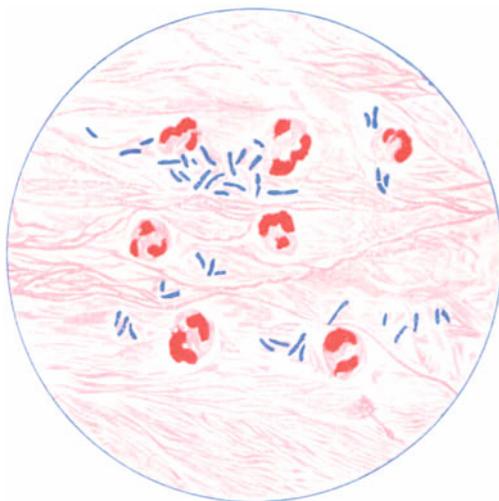


Abb. 1. Diphtheriebacillen im Bindehautsekret.

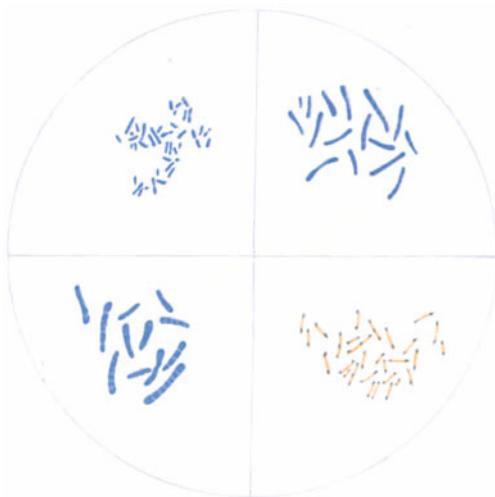


Abb. 2. Diphtheriebacillen. Reinkultur. Unten rechts NEISSERSche Körnchenfärbung positiv.

Die Diphtheriebacillen sind gegen Austrocknung und Kälte sehr widerstandsfähig und bleiben bei Zimmertemperatur wochen- und monatelang am Leben. Sporen, Geißeln und Kapseln werden nicht gebildet.

Das wichtigste und einzig sicher unterscheidende Merkmal der Diphtheriebacillen gegenüber den anderen Corynebakterien ist die *Giftbildung*. Das geeignetste Versuchstier ist das Meerschweinchen. Spritzt man ihm 1 bis 2 ccm einer 24stündigen Bouillonkultur subcutan ein, dann erfolgt nach 1 bis 6 Tagen unter

Lähmungserscheinungen an den hinteren Extremitäten der Tod. An der Injektionsstelle findet sich ein hämorrhagisches Ödem, in den Nebennieren, zuweilen auch in den Nieren Blutung, in der Pleura Exsudat. Bei Injektion in das Peritoneum kommt es zu einer hämorrhagischen Peritonitis. Die subconjunctivale Einspritzung ruft beim Kaninchen eine starke Schwellung mit fibrinöser Absonderung hervor, woran sich bei hinreichender Giftdosis Nekrose der Lider und Trübung der Hornhaut anschließen. In der Cornea erzeugt die Impfung eines Tropfens einer Bouillonkultur eine intensive Entzündung, die zur eitrigen Einschmelzung der ganzen Hornhaut führen kann.

Am *menschlichen* Auge kommen die Diphtheriebacillen in der Conjunctiva vor, wo sie eine pseudomembranöse Entzündung hervorrufen. Von hier aus kann die Infektion auf den Tränensack, die Nase und den Rachen übergreifen.

**b) Pseudodiphtheriebacillus.** Dieser zuerst von HOFMANN und LÖFFLER beschriebene besondere Typus der keulenförmigen Bacillen kommt vorwiegend im Rachen, Mund und Nase vor, in der Bindehaut seltener.

Er färbt sich, wie die echten Diphtheriebacillen, mit denen er auch in der Form im wesentlichen übereinstimmt. Die NEISSERSche Körnchenfärbung fällt jedoch meist negativ aus, oder sie ist atypisch. Bei der Züchtung auf erstarrtem Serum sind die Stäbchen meist kürzer und dicker als die der echten Diphtheriebacillen, wobei auch die Keulenbildung und Segmentation weniger ausgesprochen ist. Geißeln, Kapseln und Sporen werden nicht beobachtet.

Der Pseudodiphtheriebacillus gedeiht im Gegensatz zum Diphtheriebacillus auf Glycerinagar sehr üppig, desgleichen auf Gelatine bei Zimmertemperatur ohne Verflüssigung. Ältere Kulturen färben den Agar braun. Auf Kartoffel bildet sich ein trockner, unebener Belag.

In Bouillon tritt ohne Säurebildung eine gleichmäßige Trübung auf, die erst nach einigen Tagen zu einem sehr reichlichen Bodensatz führt. Ein Häutchen wird nicht gebildet. Die Indolreaktion ist negativ. Das wichtigste Unterscheidungsmerkmal gegenüber den Diphtheriebacillen ist die Avirulenz. Selbst große Dosen einer Reinkultur rufen beim Meerschweinchen keine Krankheitserscheinungen hervor.

**c) Xerosebacillus.** Diese Bacillen stimmen mit den Diphtheriebacillen in ihrem Aussehen und in der Färbbarkeit überein. Ein Unterschied besteht nur in der NEISSERSchen Körnchenfärbung, die negativ ist. Auf Gelatine wachsen sie nicht, höchstens gehen vereinzelt einige kümmerliche Kolonien auf. Auf Glycerinagar besteht ebenfalls mäßiges Wachstum, aerob besser, als anaerob. Das Aussehen der Kolonien ist das der Diphtheriebacillen, jedoch bleiben sie meist kleiner. Am besten wachsen sie auf Blutserum und Serumagar. Die Bouillonkultur gleicht der von Diphtheriebacillen, das Wachstum ist aber weniger üppig. Säure wird in Bouillon nicht gebildet. Die Indolreaktion fällt negativ aus. Kapseln, Geißeln und Sporen kommen nicht vor (Abb. 3, 4, 5).

Für Meerschweinchen besteht, wie bei den Pseudodiphtheriebacillen, keine Pathogenität. Auch am Kaninchenauge ruft die Einspritzung einer Reinkultur meist keine fortschreitende Entzündung hervor, weder in der Conjunctiva, noch in der Cornea, noch auch im Glaskörper. Die injizierten Bacillen gehen schnell zugrunde. Abweichend hiervon sind jedoch wiederholt Stämme gezüchtet worden, die sich im Glaskörper vermehrt und daselbst eine Entzündung erzeugt haben.

Die Xerosebacillen kommen regelmäßig in der Bindehaut als Saprophyten vor. Pathogene Eigenschaften sind nur ganz vereinzelt beobachtet worden. Ein dem Diphtherietoxin ähnliches Gift wird auf keinen Fall gebildet.

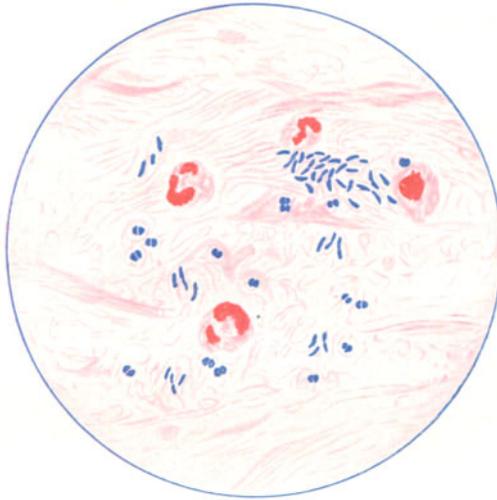
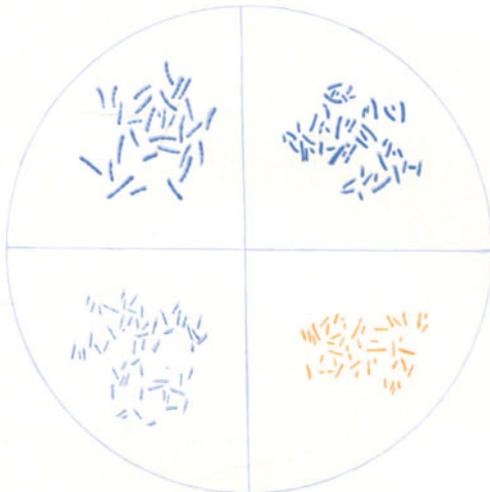
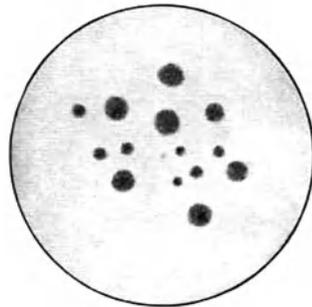


Abb. 3. Xerosebacillen im Bindehautsekret mit Sarcine.

Abb. 4. Xerosebacillen. Reinkultur.  
Unten rechts NEISSERSche Körnchenfärbung negativ.Abb. 5. Xerosebacillen.  
Kolonien auf Glycerinagar.

## 2. Bacillen der Influenzagruppe.

a) **KOCH-WEEKSSEHER Bacillus.** Er wurde zuerst von ROBERT KOCH im Jahre 1883 in Ägypten gefunden und von WEEKS in New-York 1886 in Mischung mit Xerosebacillen gezüchtet. Vier Jahre später konnte WEEKS auch über Reinkulturen berichten.

Die Bacillen sind dünne Stäbchen von 0,5 bis 2,0  $\mu$  Länge und 0,1 bis 2,0  $\mu$  Breite. Im Sekretpräparat (Abb. 6) finden sie sich meist sehr zahlreich, zum Teil intracellulär, in Kulturen sind sie im allgemeinen größer und zeigen mitunter lange, fadenförmige Involutionsformen. Sie besitzen weder Geißeln, noch Kapseln, noch Sporen. Sie färben sich am besten mit LÖFFLERS Methylenblau und alkoholischer Fuchsinlösung. Die GRAMSche Färbung ist negativ (Abb. 7).

Sie wachsen nicht auf Gelatine, Kartoffeln, LÖFFLERS Serum und Milch, auch nicht auf Glycerin-Agar und Bouillon. Dagegen lassen sie sich auf den letztgenannten Nährböden leicht züchten nach Zusatz von menschlichem Serum, Ascites und ähnlichen menschlichen Flüssigkeiten. Die Kolonien sind nach 24 Stunden rund, scharf begrenzt, durchscheinend und tautropfenähnlich. Die älteren Kulturen erscheinen etwas granuliert, nach einigen Tagen werden sie

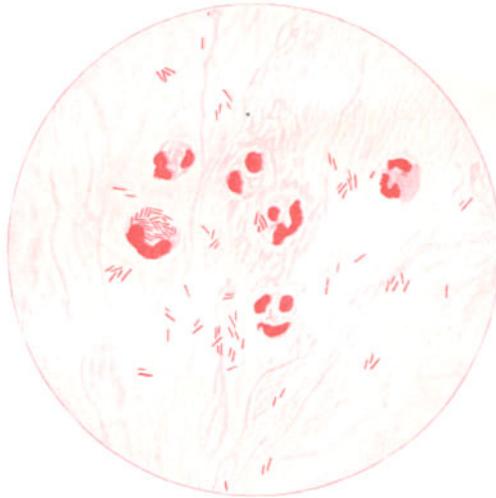


Abb. 6. KOCH-WEEKSSCHE Bacillen im Sekret.



Abb. 7. KOCH-WEEKSSCHE Bacillen. Reinkultur.

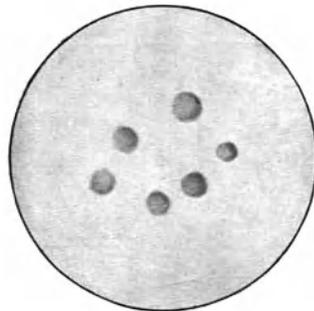


Abb. 8. KOCH-WEEKSSCHE Bacillen. Kolonien auf Serum-Agar.

flacher mit unscharfer Begrenzung. Nach mehr als 5 Tagen ist ein Fortzüchten nicht mehr möglich. Sie gedeihen nur aërob. Bei Temperaturen unter 20 Grad findet kein Wachstum statt. In der Nähe von Xerosebacillen- und Staphylokokkenkulturen wachsen sie üppiger (Symbiose) (Abb. 8).

In Serumbouillon entwickelt sich eine zarte, gleichmäßige Trübung mit Bodensatz ohne Häutchen. Säure wird nicht gebildet. Die Indolreaktion ist negativ. Auf Blutagar wird zuweilen Wachstum beobachtet.

Die KOCH-WEEKSSCHEN Bacillen sind für alle Tiergattungen im allgemeinen nicht pathogen. Nach Einspritzung von Reinkulturen gehen die Bacillen im Tierkörper bald zugrunde.

Beim Menschen kommt der KOCH-WEEKSSche Bacillus in der Bindehaut vor, wo er eine akute Conjunctivitis erzeugt, die häufig epidemisch auftritt.

**b) Influenzabacillus.** Der Influenzabacillus wurde von RICHARD PFEIFFER im Jahre 1892 im Auswurf von Influenzakranken entdeckt. Er ist ein kleines, fast kokkenartiges, 0,2 bis 0,3  $\mu$  breites, 0,5  $\mu$  langes gramnegatives Stäbchen, das sich mit allen gebräuchlichen Anilinfärbungen gut färbt, am besten mit Fuchsin 1 : 10. Zuweilen ist eine Polfärbung zu erkennen. Die Bacillen liegen häufig zu zweien, meist aber in Häufchen beieinander. Phagocytose wird im Bindehautsekret selten beobachtet. Geißeln, Kapseln und Sporen kommen nicht

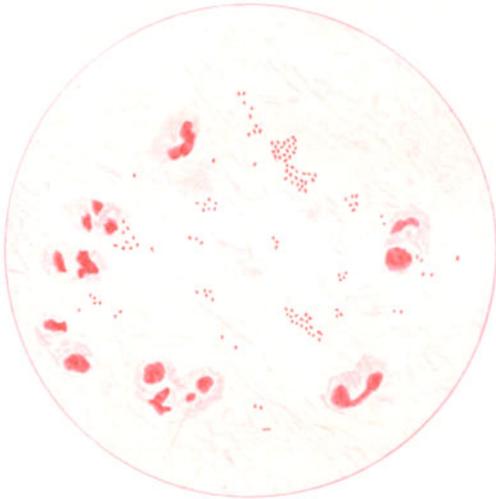


Abb. 9. Influenzabacillen im Bindehautsekret.



Abb. 10. Reinkultur. a Influenzabacillen. b Pseudoinfluenzabacillen.

vor. Die Bacillen gedeihen nur aërob bei Körpertemperatur. Nur hämoglobin-haltige Nährböden ergeben ein sicheres Wachstum. Am besten eignet sich daher das Taubenblut wegen seines hohen Hämoglobingehaltes. Man wählt Glycerin-agar, dessen Oberfläche man mit einem Tropfen sterilen Blutes bestreicht. Für Reinkulturen kommt auch Bouillon mit Blutbeimischung in Betracht. Alle übrigen Nährböden, auch die mit Zusatz von menschlichem Serum versagen fast durchweg. Indolreaktion und Säurebildung fehlen (Abb. 9, 10).

Die Kolonien gleichen denen der KOCH-WEEKSSchen Bacillen, behalten jedoch im Gegensatz zu diesen ihre Form lange Zeit bei. In Symbiose mit Xerose- und Staphylokokkenkulturen sind die Kolonien meist größer. In den Kulturen entwickeln sich zuweilen lange Fäden (Involutionsformen), die bei manchen Stämmen reichlicher vorkommen, so daß einige Autoren hierfür die Bezeichnung Pseudoinfluenzabacillen gewählt haben (Abb. 1Ca).

Die Verimpfung einer Reinkultur ruft bei Affen, Kaninchen und Meerschweinchen toxische Erkrankungen hervor, ohne daß eine Vermehrung der Bacillen im Tierkörper beobachtet wird. Besonders das Peritoneum und die Meningen des Meerschweinchens kommen für solche Impfungen in Betracht.

Am menschlichen Auge wird der Influenzabacillus in der Bindehaut und im Tränensack angetroffen, woselbst er katarrhalische Erkrankungen hervorruft. Auch in Hornhautgeschwüren sowie in Orbitalabscessen und bei Panophthalmitis ist er vereinzelt gefunden worden.

Von einigen Autoren werden die Influenzabacillen vor allem auf Grund ihres biologischen (serologischen) Verhaltens als identisch mit dem KOCH-WEEKSschen Bacillen angesehen. Eine Stütze für diese Auffassung erblickt man auch darin, daß es einigemal gelungen ist, die eine Art durch fortgesetzte Züchtung in die andere zu verwandeln. Ferner sollen die hämophilen Eigenschaften beiden gemein sein. Auch hat man sowohl für Influenzabacillen als auch für KOCH-WEEKSSche Bacillen in neuerer Zeit in einigen Fällen eine gleichartige Tierpathogenität nachweisen können. Dieses Verhalten trifft aber doch nur für einige Stämme zu. Immerhin stehen die Influenzabacillen den KOCH-WEEKSschen Bacillen sehr nahe, so daß man sie wohl als eine Abart derselben bezeichnen kann.

Der *Bacillus mariannensis*, der von A. LEBER und PROWAZEK bei akuten kontagiösen Conjunctivitiden auf den Mariannen-Inseln gefunden worden ist, gleicht in seinen wesentlichen Eigenschaften dem Influenzabacillus. Dasselbe gilt für den MÜLLERSchen Trachombacillus. Es liegt kein Anlaß vor, diese Bacillen für eine besondere Art zu erklären.

### 3. Diplobacillen.

a) **Diplobacillus MORAX-AXENFELD.** Diese Bacillen wurden im Jahre 1896 von MORAX und AXENFELD gleichzeitig und unabhängig voneinander im Bindehautsekret entdeckt und reingezüchtet. Im Ausstrichpräparat findet man die Bacillen meist in großer Menge, oft rasenartig dicht beieinander (Abb. 11). Zuweilen liegen sie in großer Zahl auf den Epithelzellen, in den Leukocyten dagegen fast nie.

Die Diplobacillen sind 2 bis 3  $\mu$  lang und 1 bis 1,5  $\mu$  breit, mit leicht abgerundeten Enden. Sie liegen meist zu zweien, zuweilen auch in langen Ketten, wobei sich jedoch die einzelnen Paare als zusammengehörig abheben. Nach GRAM geben sie den Farbstoff rasch ab, während sie sich mit den üblichen Anilinfarblösungen gut und gleichmäßig färben. Sporen und Geißeln werden nicht gebildet, eine Kapsel ist zuweilen angedeutet (Abb. 12). In Kulturen sind die Bacillen meist größer; in alten, auf LÖFFLERSerum gezüchteten Kolonien finden sich regelmäßig große, monströse Involutionsformen, welche kaum noch an Diplobacillen erinnern (Abb. 13).

Der Diplobacillus gedeiht aërob bei Körpertemperatur. Auf Gelatine, Glycerinagar, Kartoffeln, ferner in Milch und Bouillon bleibt das Wachstum aus. Auf Nährböden, denen menschliche Flüssigkeiten (Serum, Ascites usw.) zugesetzt sind, wächst er dagegen gut. Nach 24 Stunden sieht man kleine, runde, scharf begrenzte, durchscheinende Kolonien, die denen der Pneumokokken gleichen. Mit zunehmendem Alter erscheinen sie im Zentrum leicht granuliert, wobei ein zentraler Höcker auftritt, der von einer kleinen Furche umgeben ist (Abb. 14). Aus Kulturen, die mehrere Tage alt sind, lassen sie sich nicht weiterzüchten. In der Nähe von Staphylokokkokkulturen wachsen sie schlechter wegen der Säurewirkung, die von diesen in den Nährboden ausstrahlt. Alkalische Beschaffenheit des Nährsubstrats ist eine Vorbedingung für das Wachstum der Diplobacillen.

In Serumbouillon bildet sich nach 1 bis 2 Tagen eine zarte Trübung mit geringem Bodensatz.

Besonders charakteristisch ist das Wachstum der Diplobacillen auf LÖFFLERS erstarrtem Rinder- oder Hammelblutserum insofern, als der Nährboden durch Peptonisierung verflüssigt wird. Die Kulturen sind daher schon nach 24 Stunden ein wenig eingesunken und bilden allmählich tiefe Löcher in dem Nährboden. Sie verschmelzen mit den Nachbarkolonien zu einer fadenziehenden, zuweilen

bräunlich verfärbten Masse, in der die erwähnten Entartungsformen der Bacillen besonders zahlreich sind.

Für Tiere besteht keine Pathogenität.

Am menschlichen Auge kommen die Diplobacillen am häufigsten als Erreger der klinisch besonders gekennzeichneten Blepharo-Conjunctivitis vor. Des weiteren erzeugen sie in der Cornea ein Hypopyongeschwür. Auch hat man sie in der Nase sowie in den ekzematösen Borken des Gesichts, der Nasen-

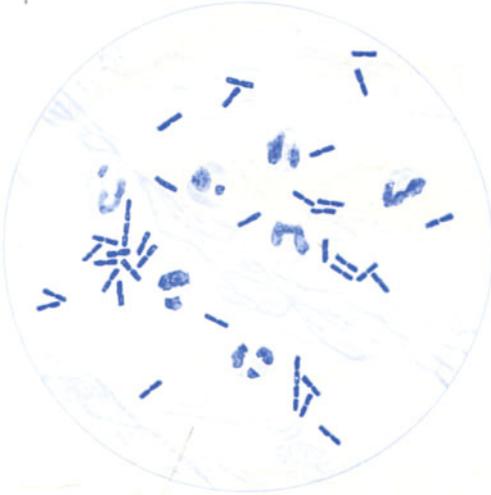


Abb. 11. Diplobacillus MORAX-AXENFELD im Sekret der Bindehaut.

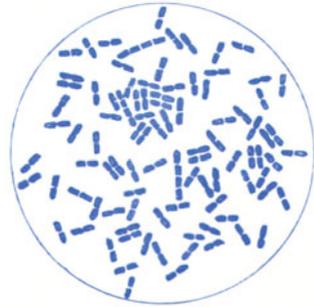


Abb. 12. Diplobacillus MORAX-AXENFELD. Reinkultur auf Serum-Agar 24 Std. alt.



Abb. 13. Diplobacillus MORAX-AXENFELD. Involutionformen.

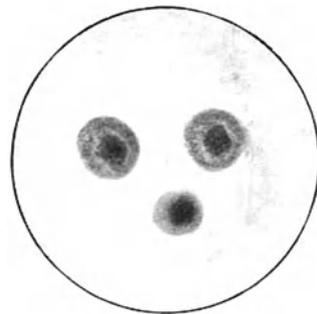


Abb. 14. Diplobacillus MORAX-AXENFELD. Kolonien.

öffnung und des Mundes gefunden, ohne daß sie als Erreger dieser Affektionen anzusprechen wären. Vielmehr sind die Diplobacillen als einzige aller Bakterienarten ausschließlich augenpathogen.

Impfungen an menschlichen Augen haben ergeben, daß die Inkubationszeit 4 Tage dauert.

b) **PETITSCHER Diplobacillus.** PETIT hat im Jahre 1898 einen Diplobacillus beschrieben, der dem MORAX-AXENFELDSchen nahesteht. Er ist 1 bis  $2,5 \mu$  lang und  $0,5$  bis  $1,5 \mu$  breit. Jedoch kommen vereinzelt auch größere Formen vor, die morphologisch nicht immer vom MORAX-AXENFELDSchen Typus zu

unterscheiden sind. Die PETTISchen Diplobacillen liegen immer zu zweien, ohne daß längere Ketten beobachtet werden (Abb. 15). In den Kulturen sind die Stäbchen etwas größer als im Sekretpräparat, auch lange Fäden (Involutionsformen) kommen vor (Abb. 16). Der Diplobacillus PETIT entfärbt sich nach GRAM. Sporen und Geißeln werden nicht beobachtet. Eine Kapsel ist zuweilen nachweisbar.

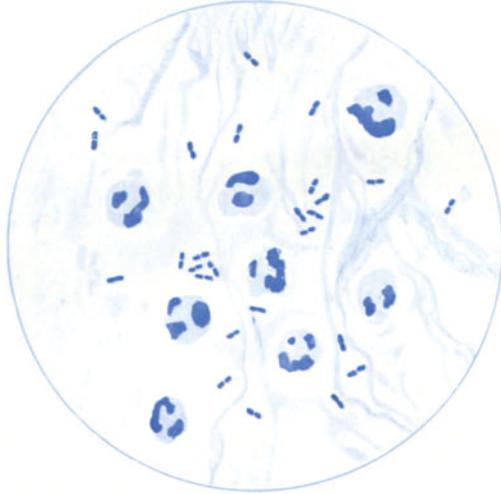


Abb. 15. Diplobacillus PETIT im Ausstrich.

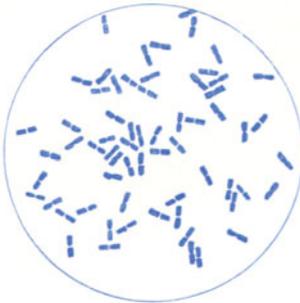


Abb. 16. Diplobacillus PETIT. Reinkultur.

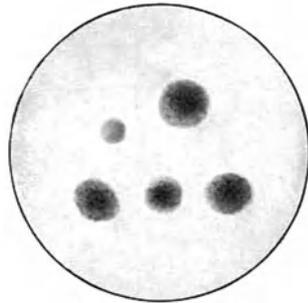


Abb. 17. Diplobacillus PETIT. Kolonien.

Das wichtigste Unterscheidungsmerkmal gegenüber den MORAX-AXENFELD-schen Diplobacillen besteht darin, daß sie auf Gelatine bei Zimmertemperatur (20 Grad) wachsen, und zwar unter rascher Verflüssigung des Nährbodens. Aus diesem Grund hat PETIT die Bezeichnung *Diplobacillus liquefaciens* gewählt. Auch auf Glycerinagar ohne Zusatz von menschlichen Flüssigkeiten gedeihen sie gut als kleine, graue transparente Kolonien (Abb. 17). Auf Ascites- und Serumagar ist das Wachstum üppig. Erstarrtes Serum wird stark verflüssigt. In Bouillon ist das Wachstum schlechter, Säure und Indol werden nicht gebildet. Auch in Milch wächst der Bacillus kümmerlich, ohne Koagulation hervorzu-rufen. Auf Kartoffeln bildet sich ein rahmiger, gelblich-grauer Belag.

Für Versuchstiere besteht keine Pathogenität. In der Cornea eines Kaninchens ruft die Injektion einer Reinkultur wohl eine Entzündung hervor, jedoch gehen die Bacillen alsbald zugrunde.

Am menschlichen Auge kommt der Diplobacillus PETIT vorwiegend als Erreger einer Hypopyonkeratitis vor, aber auch in der Bindehaut ist er wiederholt nachgewiesen worden, wobei die Conjunctivitis klinisch der MORAX-AXENFELD-schen glich.

#### 4. ZUR NEDDENS Bacillus.

Im Jahre 1904 beschrieb ZUR NEDDEN einen Bacillus, den er von infektiösen Randgeschwüren der Hornhaut züchten konnte. Es handelt sich um gerade

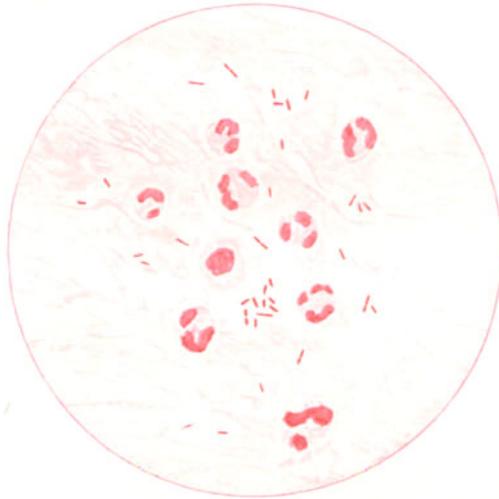


Abb. 18. ZUR NEDDENS Bacillus. Ausstrich.



Abb. 19. ZUR NEDDENS Bacillus. Reinkultur.

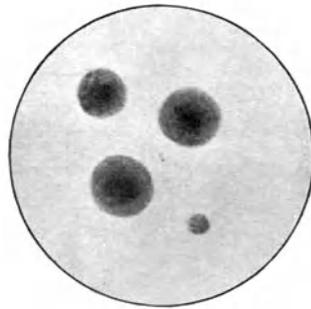


Abb. 20. ZUR NEDDENS Bacillus. Kolonien.

oder leicht gekrümmte Stäbchen von  $0,9$  bis  $2,0 \mu$  Länge und  $0,6 \mu$  Dicke, die zuweilen zu zweien angeordnet sind. Die Enden sind leicht abgerundet. Bei schwacher Färbung findet man an den Enden zuweilen Vakuolen. Involutionsformen werden nicht beobachtet, Geißeln, Kapseln und Sporen bestehen nicht (Abb. 18, 19, 20).

Die Bacillen färben sich mit allen Anilinfarben gut, nach GRAM negativ. Sie gedeihen auf allen Nährböden, jedoch nur aërob. Auf Gelatine bilden sie kleine, bläulich schillernde, runde, scharf begrenzte Kolonien. Eine Verflüssigung erfolgt nicht. Auf Glycerinagar sieht man nach 24 Stunden 2—7 mm große, leicht erhabene, runde, etwas bläulich erscheinende Kolonien mit scharfem

Rand. In Bouillon wachsen sie spärlich ohne Säure- und Indolbildung. In Zuckeragar wird weder Säure noch Gas entwickelt. In Milch beobachtet man gutes Wachstum mit Gerinnung und Säurebildung. Auf Kartoffeln gedeihen die Bacillen als dicker, gelbbrauner Belag. Auf LÖFFLER-Serum wachsen sie als dicke grauweiße Auflagerung. Gegen Austrocknung sind sie wenig widerstandsfähig.

Die Einspritzung einer Reinkultur in die Kaninchenhornhaut verursacht eine Entzündung meist mit Hypopyon, wobei die Bacillen, ohne sich zu vermehren, einige Tage lebensfähig bleiben. In der vorderen Kammer, im Glaskörper und subconjunctival ruft der Bacillus beim Kaninchen eine Entzündung hervor, die keinen progressiven Charakter hat, weil die Keime sehr bald absterben. Nach intravenöser, subcutaner und intraperitonealer Injektion treten bei Meerschweinchen und anderen Versuchstieren keine Krankheitserscheinungen auf.

Am menschlichen Auge kommt der Bacillus in Hornhautgeschwüren vor, und zwar vorwiegend in infektiösen Randgeschwüren. In einigen Fällen tritt ein Hypopyon hinzu. Auch in der Bindehaut und bei Panophthalmitis ist er vereinzelt gefunden worden. Seine Verbreitung ist keine allgemeine. In manchen Gegenden kommt er allem Anschein nach nicht vor.

#### 5. *Bacterium coli*.

Dieser Mikroorganismus, der ein regelmäßiger Bewohner des Dickdarms ist, wurde am menschlichen Auge zuerst von AXENFELD im Jahre 1896 nachgewiesen.

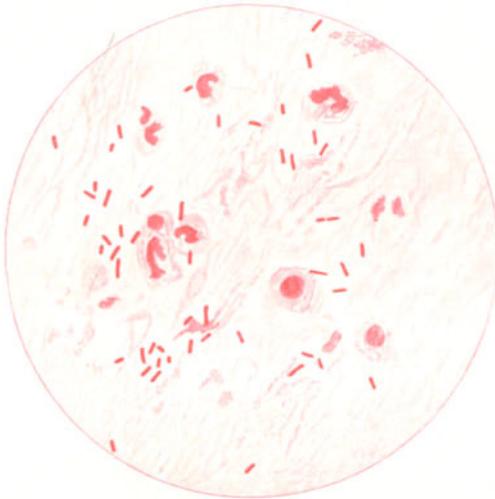


Abb. 21. *Bacterium coli* in einem Hornhautgeschwür.

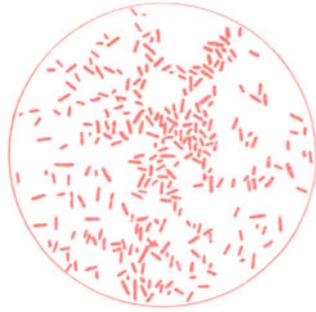


Abb. 22. *Bacterium coli*. Reinkultur.

Es handelt sich um Stäbchen wechselnder Größe. Die Länge beträgt 1 bis  $5\mu$ , die Breite 0,4 bis  $0,8\mu$ . Die kleinsten Formen haben ein fast kokkenhaftes Aussehen. Nach der GRAM'schen Methode tritt Entfärbung ein. Kapseln und Sporen werden nicht gebildet. Im hängenden Tropfen beobachtet man eine mäßig starke Eigenbewegung, die auf dem Vorhandensein peritrich angeordneter Geißeln beruht. In älteren Kulturen werden letztere meist abgestoßen. Es besteht fakultative Aërobiose (Abb. 21, 22).

*Bacterium coli* wächst auf allen Nährböden schon bei Zimmertemperatur. Auf Gelatine bilden sich bläulich schillernde, meist runde Kolonien, ohne Verflüssigung, auf Glycerin-Agar kommt es zu einem dicken, grauweißen, glänzenden

Belag. In Bouillon tritt starke Trübung ein mit Bildung eines zarten Häutchens und Säureentwicklung. Die Indolreaktion ist positiv. Milch wird koaguliert. In Traubenzuckeragar wird Gas und Säure gebildet. Auf Kartoffel wachsen die Kolonien als rahmartiger Belag.

*Bacterium coli* ist für alle Versuchstiere pathogen. Subcutan erzeugt es Abscesse, intraperitoneal beim Meerschweinchen Peritonitis, in der Kaninchenhornhaut ein Ulcus, in der vorderen Kammer und im Glaskörper von Kaninchen Endophthalmitis, wobei sich die Keime regelmäßig stark vermehren.

Am menschlichen Auge kommt *Bacterium coli* als Erreger der verschiedenartigsten Krankheiten vor. In der Conjunctiva verursacht es eine Entzündung, die bei Neugeborenen unter dem Bilde der Blennorrhöe verlaufen kann, in der Cornea ruft es Geschwüre mit Hypopyon hervor, im Augennern schwere Entzündungen, die in Panophthalmitis übergehen können. In der Orbita und im Tränensack sind Abscesse beobachtet worden.

RUATA hat einen Kokko-Bacillus beschrieben, der dem *Bacterium coli* nahesteht.

#### 6. FRIEDLÄNDERS Pneumoniebacillus.

Diese Bacillen sind 1 bis  $3,5\mu$  lang und 0,8 bis  $1,3\mu$  breit. In frischen Reinkulturen findet man häufig ganz kurze Formen, die nicht selten zu zweien liegen

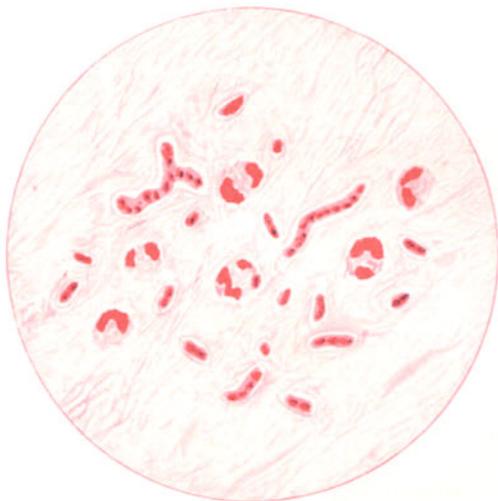


Abb. 23. FRIEDLÄNDERS Pneumoniebacillus im Tränensackeiter.

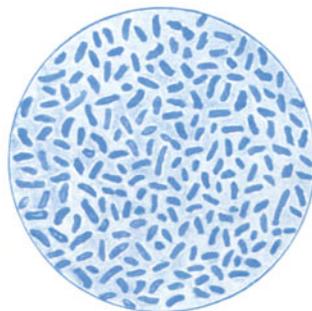


Abb. 24. FRIEDLÄNDERS Pneumoniebacillus. Reinkultur.

und den Eindruck von Diplokokken machen können. Sie färben sich mit allen Anilinfarben gut, nach GRAM negativ. Sie besitzen eine Kapsel, die sowohl im Sekretpräparat als auch in den Kulturen deutlich nachweisbar ist. Schon mit den gewöhnlichen Farblösungen läßt sie sich vielfach als ein heller gefärbter Hof zur Anschauung bringen (Abb. 23, 24). Zuweilen haben mehrere Bacillen eine gemeinsame Kapsel; dadurch können bei intensiver Einwirkung des Farbstoffs lange, voluminöse plumpe Bacillen vorgetäuscht werden. Auf festen Kulturen fließen die Kapseln zu einer schleimigen Masse zusammen; wodurch die einzelnen Stäbchen in einen gewissen Abstand voneinander zu liegen kommen und eine Haufenbildung vermieden wird. Eigenbewegung (Geißeln) und Sporen kommen nicht vor.

Die Pneumoniebacillen wachsen schon bei Zimmertemperatur aërob und anaërob auf allen Nährböden. Auf Gelatine und Agar entstehen grauweiße, runde, glänzende Kolonien. In Stiechkulturen bildet sich an der Oberfläche eine ausgeprägte sog. Nagelkopfkultur. Gelatine und LÖFFLERSERUM werden nicht verflüssigt. Auf Kartoffeln bildet die Kultur einen dicken, weißen, zähen Belag. In Traubenzuckeragar wird Gas gebildet, in Bouillon starke Trübung ohne Häutchen und ohne Säurebildung. Auch in Milch wird trotz guten Wachstums keine Säure erzeugt. Die Indolreaktion ist negativ.

Für Mäuse und Hunde ist der Bacillus pathogen. Bei Meerschweinchen erzielt man intraperitoneal mit einer virulenten Kultur eine Peritonitis. Bei Kaninchen ruft die intraokulare Infektion und die Impfung der Hornhaut eine eitrige Entzündung hervor, während die subcutane und intraperitoneale Injektion reaktionslos verläuft.

Am menschlichen Auge ist der Pneumoniebacillus wiederholt bei Conjunctivitis und Tränensackeiterung gefunden worden. Ganz vereinzelt auch bei metastatischer Ophthalmie und bei Chalazion. Im allgemeinen aber kommt er am menschlichen Auge selten vor.

Die bei *Rhinosklerom* gefundenen Kapselbacillen stehen dem Pneumoniebacillus sehr nahe. Sie sind am menschlichen Auge im Tränensack festgestellt worden.

Die *Ozaenabacillen* stimmen in allen wesentlichen Eigenschaften mit den Pneumoniebacillen überein.

#### 7. HERBERTS intraepithelialer Bacillus.

Bei einer epidemisch auftretenden Keratitis punctata superficialis fand Major HERBERT in Bombay in den Epithelien der erkrankten Hornhautpartien plumpe, dicke Stäbchen von 2 bis 3  $\mu$  Länge und 1 bis 2  $\mu$  Breite. Sie lagen meist in großen Haufen beieinander und trugen eine Kapsel, so daß sie im Aussehen eine gewisse Ähnlichkeit mit FRIEDLÄNDERS Pneumoniebacillen hatten. In allen Haupteigenschaften jedoch unterschieden sie sich von ihnen wesentlich. Sie färbten sich mit den gebräuchlichen Anilinfarben schlecht, auch die GRAMSche Methode versagte. Nur bei Überfärbung nach GRAM ließen sie sich deutlich zur Anschauung bringen.

Alle Kulturversuche waren ohne Erfolg. Über ihre ätiologische Bedeutung läßt sich ein sicheres Urteil nicht fällen.

#### 8. Bacillen der Subtilisgruppe.

a) **Bacillus subtilis (Heubacillus).** Die Heubacillen sind 1 bis 4  $\mu$  lange und 0,8 bis 1,2  $\mu$  breite, an den Enden abgerundete Stäbchen, die häufig sehr lange Fäden bilden und sich nach GRAM färben. Sie entwickeln zentral Sporen und an den Enden mehrere Geißeln. Eine Kapsel besteht nicht (Abb. 25, 26, 27). Die Bacillen wachsen aërob und anaërob. Auf Gelatine bilden sie unter langsamer Verflüssigung graue Kolonien von verfilztem Aussehen mit zackiger Begrenzung. Auf Agar ist das Aussehen der Kolonien ähnlich. Bouillon wird stark getrübt mit Bildung eines Häutchens. Milch wird koaguliert bei schwach alkalischer Reaktion. Die Indolreaktion ist negativ. In Traubenzucker wird keine Säure gebildet. Auf LÖFFLERSERUM beobachtet man langsame Verflüssigung. Auf Kartoffel entwickelt sich ein dicker, runzeliger Belag mit Ausläufern. Der Heubacillus ist gegen Hitze und Kälte resistent.

Subcutan, intraperitoneal und intravenös ruft der Bacillus bei Versuchstieren gelegentlich Vergiftungssymptome, aber sonst keine Krankheitserscheinungen

hervor. Impfungen in die Hornhaut und in den Glaskörper von Kaninchen erzeugen zuweilen eine Entzündung.

Am menschlichen Auge ist der Bacillus in der Bindehaut, in der Hornhaut und im Glaskörper als Krankheitserreger nachgewiesen worden, wobei zu bemerken ist, daß die Stäbchen schon nach wenigen Tagen in dem Glaskörpereiter zugrunde gehen, obwohl die Vereiterung fortschreitet.

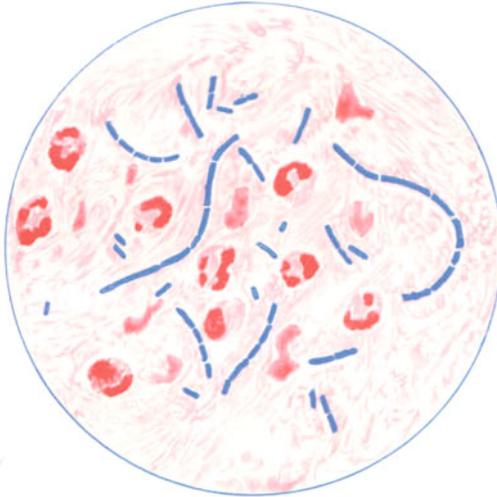


Abb. 25. Heubacillen, Glaskörpereiter, GRAMSche Färbung.

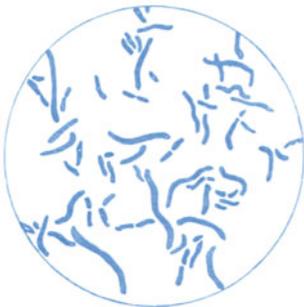


Abb. 26. Heubacillen. Reinkultur.

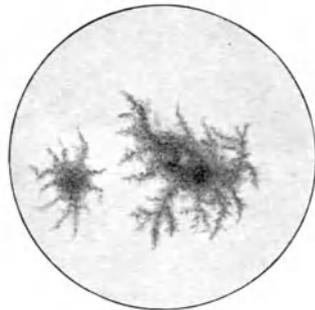


Abb. 27. Heubacillen. Kolonien.

Mit dem Heubacillus sind einige Bakterien verwandt, die gleichfalls vereinzelt am menschlichen Auge gefunden worden sind und hier kurz erwähnt werden sollen.

b) *Bacillus megatherium* ist im allgemeinen ein wenig größer als der Heubacillus; sein Wachstum in Bouillon ist etwas spärlicher, sonst stimmt er völlig mit ihm überein.

c) *Bacillus mesentericus* (Kartoffelbacillus) trübt gleichfalls die Bouillon nur mäßig, seine Kolonien sehen mehr grau-braun aus; in allem übrigen aber gleicht er dem Heubacillus.

d) *Bacillus mycoides* (Wurzelbacillus) hat nur wenig Geißeln; in Bouillon wächst er gleichfalls nur mäßig, sonst unterscheidet er sich nicht von dem Heubacillus.

e) *Bacillus vulgatus* koaguliert die Milch nicht regelmäßig. Seine Kolonien haben einen grau-gelblichen Farbenton, sein Wachstum in Bouillon ist kümmerlich, in seinem übrigen Verhalten gleicht er dem Heubacillus.

Die Unterscheidungsmerkmale der vier zuletzt genannten Bacillen gegenüber dem Heubacillus sind demnach geringfügig und untergeordneter Natur. Berücksichtigt man außerdem noch, daß die Eigenschaften der Heubacillen sehr variieren können, dann liegt zur Aufstellung vieler besonderer Arten eigentlich kein Anlaß vor.

### 9. *Bacillus perfringens*.

Dieser Bacillus ist ein 3 bis 9  $\mu$  langes, 1  $\mu$  breites Stäbchen, das vielfach unterbrochen ist und zum Teil lange Fäden bis zu 9  $\mu$  und mehr bildet. Die GRAMSche Färbung ist positiv. Sporen, Kapseln und Geißeln kommen nicht

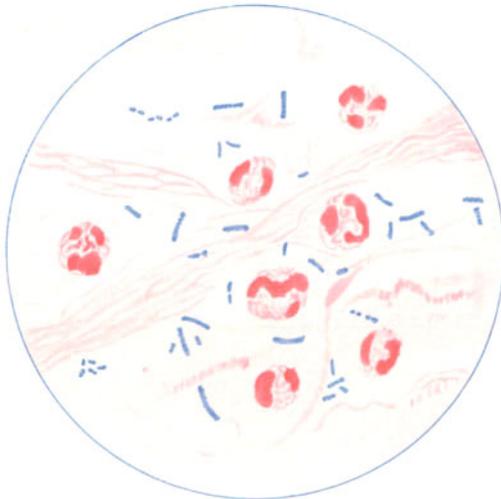


Abb. 28. *Bacillus perfringens*. Glaskörperreiter.

vor. Die Bacillen wachsen nur anaërob (Abb. 28). Gelatine wird nicht verflüssigt. Auf Agar wachsen kleine graue, flache Kolonien. Bouillon wird stark getrübt mit Bildung eines Bodensatzes. In Zuckernährböden wird Gas gebildet. An allen Kulturen ist der Fäulnisgeruch charakteristisch. Subcutane Impfung erzeugt beim Meerschweinchen eine Gasphegmonie, bei anderen Versuchstieren nicht. Intraokulare Impfungen verursachen bei Kaninchen eine eitrige Entzündung.

Am menschlichen Auge ist der *Bacillus perfringens* zuerst von CHAILLOUS als Erreger einer Panophthalmitis nachgewiesen worden. Diese Beobachtung ist später von anderer Seite bestätigt worden. Sonst ist über sein Vorkommen am Auge nichts bekannt.

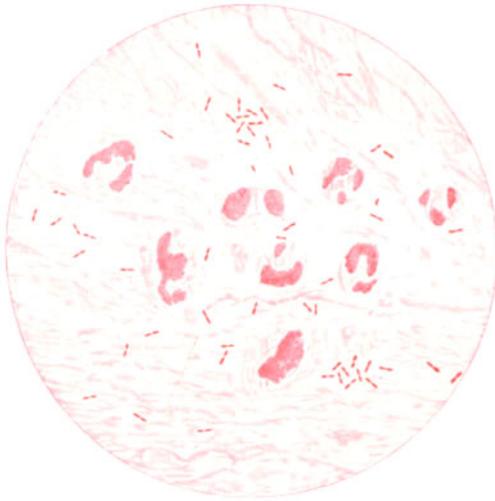
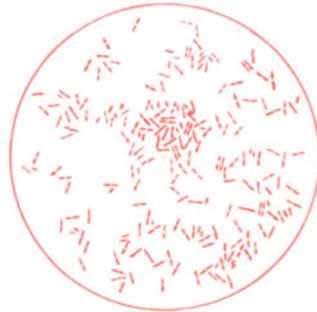
Da der *Bacillus perfringens* mit dem *Subtilisbacillus*, der ebenfalls vorwiegend bei Panophthalmitis vorkommt, in manchen Punkten Ähnlichkeit hat, so muß in allen derartigen Fällen das anaërobe Kulturverfahren zur Differentialdiagnose herangezogen werden.

Der FRÄNKELSche *Gasbacillus*, sowie der *Bacillus capsulatus aërogenes* und der *Bacillus saccharo-butyricus immobilis* sind mit dem *Bacillus perfringens* identisch.

10. *Bacillus pyocyaneus*.

Es handelt sich um 0,5 bis 5  $\mu$  lange, 0,2 bis 0,5  $\mu$  breite, häufig zu zweien liegende, gerade Stäbchen, die in ihrem Aussehen eine gewisse Ähnlichkeit mit den KOCH-WEEKSSchen Bacillen haben. Vermöge einer endständigen Geißel zeigen sie lebhaftige Eigenbewegung. Kapseln und Sporen werden nicht gebildet. Nach der GRAMschen Methode entfärben sie sich (Abb. 29, 30).

Sie wachsen fakultativ aërob auf allen Nährböden schon bei Zimmertemperatur, wobei ein blauer bzw. grünlicher Farbstoff gebildet wird, der in das Nährsubstrat übergeht. Er setzt sich zusammen aus 1. Pyocyanin blau (in Chloroform löslich), 2. Fluorescin, einem in Chloroform unlöslichen, fluoreszierenden grünen

Abb. 29. *Bacillus pyocyaneus*. Glaskörpereiter.Abb. 30. *Bacillus pyocyaneus*. Reinkultur.

Farbstoff. Gelatine wird rasch verflüssigt mit grünlicher Fluorescenz. Auf erstarrtem Serum wächst der Bacillus gleichfalls mit schneller Verflüssigung. Auf Agar bildet sich ein grau-weißer Belag, wobei der Nährboden grün und blau schillert; auf Kartoffeln wachsen zähe, gelbgrüne bis braune zusammenfließende Kolonien. In Bouillon beobachtet man eine gelblich-grüne Trübung und ein zartes Häutchen. Milch wird koaguliert bei alkalisch bleibender Reaktion. Die Indolreaktion ist negativ. In Zuckeragar entwickelt sich Gas.

Die Unterscheidung in *Pyocyaneus*  $\alpha$  und  $\beta$  ist aufgegeben worden, weil die Unterscheidungsmerkmale zu unbedeutend und wechselnd sind. Der Bacillus bildet ein Toxin, das für Meerschweinchen und Kaninchen besonders giftig ist. Am Kaninchenaugen ruft die Infektion der Cornea, der vorderen Kammer und des Glaskörpers eine heftige eitrige Entzündung hervor.

Am menschlichen Auge kommt der *Bacillus pyocyaneus* vor allem als Erreger intraokularer Infektionen vor, wobei meist frühzeitig eine Nekrose der Hornhaut in den Randteilen (Ringabsceß) infolge der Toxinwirkung beobachtet wird. Ähnliche Krankheitsbilder werden aber auch von anderen toxisch wirkenden Mikroorganismen erzeugt. Auch bei Hornhautinfektionen und bei Tränensackeiterung ist der *Bacillus pyocyaneus* gefunden worden.

Der *Bacillus fluorescens liquefaciens*, der bei ähnlichen Krankheitsbildern gezüchtet worden ist, stimmt in seinen wesentlichen Eigenschaften mit dem

*Bacillus pyocyaneus* überein. Der *Bacillus pyocyaneus* wirkt auf eine Reihe von Krankheitserregern entwicklungshemmend. Diese Beobachtung hatte EMMERICH und LÖW veranlaßt, unter der Bezeichnung *Pyocyanase* Bakterienextrakte aus *Bacillus pyocyaneus* herzustellen, die eine Zeitlang bei der Behandlung infektiöser eitriger Prozesse Verwendung gefunden haben.

### 11. *Bacillus proteus vulgaris*.

Dieser Mikroorganismus ist ein schlankes, dünnes Stäbchen von 2—4  $\mu$  Länge und 0,5  $\mu$  Breite mit lebhafter Eigenbewegung und vielen großen Geißeln. Er ist gramnegativ und färbt sich mit allen Anilinfarben gut. Bei Zimmer- und Bluttemperatur beobachtet man ein üppiges Wachstum. Gelatine wird dabei langsam verflüssigt. Auf Agar bildet sich ein grauer, schleierartiger Belag, der nach 24 Stunden ein trockenes, glänzendes, runzeliges Aussehen bekommt, mit zarten Ausläufern in die Umgebung. Er gedeiht auch anaerob. Auf LÖFFLER-serum entwickelt sich eine grauweißer Belag ohne Verflüssigung des Nährbodens. Milch gerinnt nach drei Tagen, wird aber später verflüssigt. Die Bouillon wird nach 6 Stunden gleichmäßig getrübt, nach 24 Stunden kommt es zur Bildung eines Häutchens. Der *Bacillus* bildet Säure, Schwefelwasserstoff und Indol. Eiweißkörper werden unter Bildung stinkender Gase zersetzt.

*Bacillus proteus* kommt hauptsächlich bei Fleischvergiftungen vor.

Bei Impfungen an Versuchstieren erwiesen sich subcutane Einspritzungen wirkungslos. Dagegen hat man bei Mäusen, Meerschweinchen und Kaninchen nach Verfütterung vielfach tödlichen Darmkatarrh beobachtet.

Am menschlichen Auge ist der *Bacillus proteus* einige Male bei Hornhautgeschwüren und intraokularen Infektionen (Ringabsceß) gezüchtet worden. Auch in der Bindehaut und im Tränensacketeiter hat man ihn gelegentlich gefunden, meist aber in Gesellschaft mit anderen Bakterienarten.

### 12. *Tuberkelbacillus*.

Der im Jahre 1882 von KOCH entdeckte *Tuberkelbacillus* ist ein 1,3 bis 3,6  $\mu$  langes, 0,2 bis 0,5  $\mu$  breites, meist leicht gekrümmtes Stäbchen, das keine Kapseln, Geißeln und Sporen bildet.

Zur Färbung dienen außer der GRAMSchen Methode einige besondere Färbemethoden, wobei zu unterscheiden ist, ob im Ausstrichpräparat oder im Gewebsschnitt gefärbt werden soll.

#### a) *Ausstrichpräparat*.

a) Nach ZIEHL-NEESEN. 1. Färben mit Carbofuchsin (Fuchsin 1,0, Acid. carbol. cryst. 5,0, Alkohol. 10,0, Aqu. dest. 100,0) unter Erwärmen zwei Minuten lang, bis Dämpfe aufsteigen. 2. Entfärben in 20% Salpetersäure oder 25% Schwefelsäure 5 Sekunden. 3. In 60% Alkohol, bis das Präparat farblos erscheint. 4. Nachfärben mit wässerigem Methylenblau. 5. Abspülen in Wasser (Abb. 31).

b) Nach FRÄNKEL und GABBET. 1. Färben in Carbofuchsin 2 Minuten unter Aufkochen. 2. Entfärben und Gegenfärbung erfolgen gleichzeitig in einer Mischung von Alkohol. absol. 50,0, Aqu. dest. 100,0, Schwefelsäure 25,0, dazu soviel Methylenblau, als sich löst. 3. Abspülen in Wasser, Trocknen, Balsam.

Um eine Verwechslung von *Tuberkelbacillen* mit *Smegmabacillen* zu vermeiden, muß das Präparat nach BUNGE und TRANTENROTH vor der Färbung in Alkohol absolutus entfettet werden. Die *Smegmabacillen* büßen hierdurch ihre Säure-Alkoholfestigkeit ein und entfärben sich im weiteren Verlauf des Verfahrens, die *Tuberkelbacillen* nicht.

b) *Im Schnittpräparat.*

Die Präparate werden am zweckmäßigsten in Sublimat oder in ZENKERScher Flüssigkeit fixiert.

a) Färbung nach ZIEHL-NEELEN. 1. In Carbolfuchsin 20 Minuten bis mehrere Stunden im Brutschrank bei 37 Grad. 2. In 3% Salzsäure-Alkohol (70% Alkohol), bis das Präparat entfärbt ist. 3. Wiederholt in Wasser abspülen, 4. Wässriges Methylenblau 5 Minuten oder Hämatoxylin (GRÜBLER). 5. Abspülen in Wasser. 6. Alkohol, Öl, Balsam.

b) Nach BORREL. 1. Vorfärben mit Hämatoxylin. 2. Färben bei Zimmertemperatur in ZIEHL-NEESENScher Lösung 24 Stunden. 3. Abspülen in Wasser. 4. 20 bis 30 Sekunden in 20%igem wässrigem salzsaurem Anilin. 5. 96% Alkohol, Carbolxylol, Balsam.

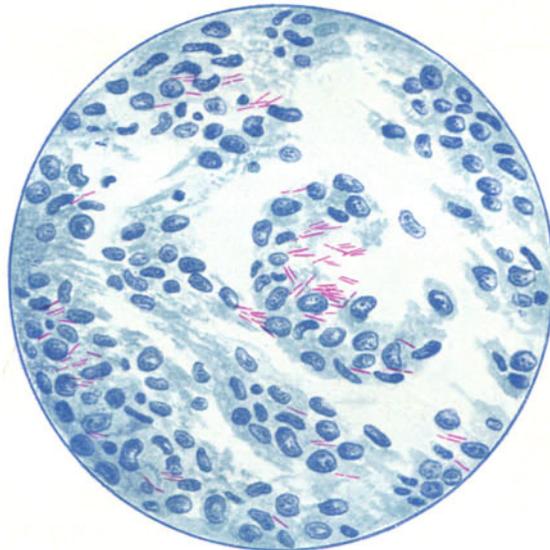


Abb. 31. Tuberkelbacillen im Sputum.  
(Aus GOTSCHLICH-SCHÜRMAN: Mikroparasitologie 1920.)

Um den Nachweis der Tuberkelbacillen zu erleichtern, sind verschiedene *Anreicherungsverfahren* angegeben worden, von denen die *Antiforminmethode* von UHLENHUTH die gebräuchlichste ist. Antiformin, das ein Gemisch von Liquor natrii hypochlorosi mit Alkalihydrat darstellt, vermag alle organische Substanz mit Ausnahme der Tuberkelbacillen zu lösen. 20 ccm einer 25%igen Lösung werden zu den fein zerschnittenen tuberkulösen Organteilen gefügt und 24 Stunden im Brutschrank aufgehoben. Nach Zusatz von 30 ccm Brennspritus schüttelt man kräftig, worauf eine Stunde lang zentrifugiert wird. In dem Bodensatz lassen sich die frei gewordenen Tuberkelbacillen durch Färben mit Carbolfuchsin leicht nachweisen.

MUCH hat eine besondere Form der Tuberkelbacillen, die *granuläre*, beschrieben, die sich nach ZIEHL nicht darstellen läßt. Zur Färbung empfiehlt MUCH folgende Methode (modifizierte GRAMmethode):

1. Die in Formol-Alkohol fixierten Präparate werden 24 bis 48 Stunden bei Zimmertemperatur in einer konzentrierten alkoholischen Methylviolettlösung gefärbt. 2. LUGOLsche Lösung 10—15 Minuten. 3. 5%ige Salpetersäure 1 Minute. 4. 3%ige Salzsäure 10 Sekunden. 5. In Aceton-Alkohol ää so lange entfärben,

bis kein Farbstoff mehr abgeht. 6. Abtrocknen mit Fließpapier und Nachfärben mit 1%iger Safraninlösung 5—10 Sekunden. 7. Abspülen in Wasser und trocknen.

Die Granula erscheinen als runde, schwarz-violett gefärbte kokkenartige Gebilde, die aber erheblich kleiner als Kokken sind. Sie liegen teils isoliert, teils zu 4 bis 8 aneinandergereiht (Abb. 32).

Außer den hier erwähnten Färbemethoden der Tuberkelbacillen ist noch eine Reihe anderer angegeben worden, die an dieser Stelle nicht besprochen werden können. Sie müssen in den bakteriologischen Lehrbüchern nachgelesen werden.

Die Tuberkelbacillen wachsen ausschließlich aërob, und zwar nur bei Körpertemperatur auf den meisten Nährböden. Da die Kultur sehr langsam wächst und etwa 14 Tage im Brutofen verweilen muß, so ist es zur Verhütung der Austrocknung erforderlich, daß das Röhrchen außer mit einem Wattepfropf noch mit einer Gummikappe verschlossen wird. Auf Agar bilden sich 14 Tage nach der Impfung weiß-gelbliche, trocken aussehende Kolonien. Auf LÖFFLERSERUM ist das Wachstum ähnlich ohne Verflüssigung. In Bouillon geht eine Vermehrung der Tuberkelbacillen nur von den an der Oberfläche schwimmenden Gewebspartikelchen aus, wobei sich ein Häutchen bildet. Die Indolreaktion ist negativ. Gas und Säure wird in Traubenzuckeragar nicht gebildet. Milchkulturen verursachen keine Gerinnung. Auf Kartoffeln beobachtet man ein üppiges Wachstum, wenn deren Oberfläche mit Glycerinwasser bestrichen wird.

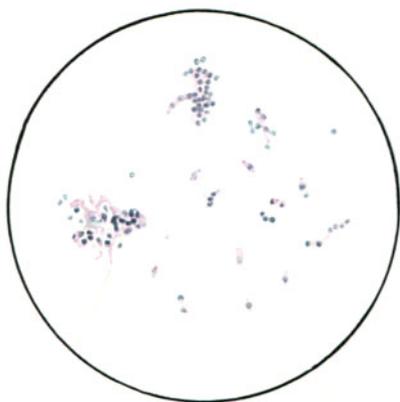


Abb. 32. Tuberkelbacillen. Granuläre Form (Tuberkulose-Virus). (Aus LENHARTZ-MEYER: Mikroskopie, 10. Aufl.)

Aus Flüssigkeiten (Urin und Exsudaten) lassen sich Kulturen des Tuberkelbacillus relativ sicher und einfach durch das von LOEWENSTEIN und SUMYOSHI angegebene und von HOHN modifizierte

Verfahren gewinnen. Es besteht darin, daß das Sediment 20 Minuten lang mit 10% Schwefelsäure behandelt und alsdann auf Eiernährböden verimpft wird.

Aus tuberkulösen Gewebsteilen lassen sich auf direktem Wege Reinkulturen nur schwer gewinnen. Man bedient sich hierzu des Tierexperiments. Das geeignetste Versuchstier ist das Meerschweinchen. Subcutan bilden sich nach 14 Tagen Knötchen mit Schwellung der regionären Lymphdrüsen; nach 4 bis 6 Wochen erfolgt der Tod unter Abmagerung. Noch besser eignet sich das Peritoneum zur Impfung. Es bilden sich Knötchen im Peritoneum, in der Milz, Leber und Lunge, worauf einige Wochen später der Tod eintritt. Aus den Knötchen, die meist massenhaft Tuberkelbacillen enthalten, kann man dann Reinkulturen gewinnen.

Für die Diagnose bedarf es aber dieser umständlichen Kulturmethode nicht; die Anfertigung eines Deckglaspräparats reicht aus.

Ein geeignetes, namentlich in der Ophthalmologie sehr gebräuchliches Untersuchungsobjekt ist die Iris des Kaninchenauges. Man verimpft tuberkulöses Material in die vordere Kammer. Nach 1 bis 2 Wochen bilden sich Knötchen in der Iris, die sich meist im Innern des Auges schnell ausdehnen.

Am menschlichen Auge kommt die Tuberkulose an allen inneren und äußeren Geweben vor. Am häufigsten liegt eine endogene Infektion zugrunde.

Neben dem beim Menschen vorkommenden *Typus humanus* des Tuberkelbacillus gibt es einen *Typus bovinus*, der der Erreger der Rindertuberkulose ist. Nach den Untersuchungen von ROBERT KOCH, die von anderer Seite bestätigt

worden sind, handelt es sich um zwei verschiedene Arten. Der bovine Typus kommt auch beim Menschen als Erreger tuberkulöser Erkrankungen vor.

Die bei Geflügel sowie bei Fischen und anderen Kaltblütern beobachteten Formen von Tuberkulose werden gleichfalls durch besondere Arten des Tuberkelbacillus hervorgerufen. Eine Übertragung auf Menschen ist nicht erwiesen.

### 13. Leprabacillus.

Die Leprabacillen sind schlanke, an den Enden leicht abgerundete Stäbchen von der Größe und Form der Tuberkelbacillen (Abb. 33).

Sie färben sich mit allen Anilinfarblösungen und auch nach der GRAMschen Methode. Zur Unterscheidung von Tuberkelbacillen hat BAUMGARTEN folgendes Verfahren angegeben:

1. 6—7 Minuten färben in verdünnter alkoholischer Fuchsinlösung (1 : 4). 2. Entfärben  $\frac{1}{4}$  Minute in Alkohol, dem Salpetersäure zugesetzt ist (10 + 1). 3. Abspülen in Wasser. 4. Nachfärben in wässriger Methylenblaulösung 30 Sekunden. 5. Abspülen in Wasser. 6. Alkohol, Öl, Balsam.

Alle Kulturversuche sind bisher erfolglos geblieben.

Nach Einimpfung von leprösem Material in die vordere Kammer von Kaninchen hat man eine Entzündung beobachtet, in der die Leprabacillen lange Zeit hindurch nachweisbar waren. Die Frage, ob die Bacillen sich dabei vermehren und in das angrenzende Gewebe eindringen, ist noch umstritten.

Ammenschlichen Auge kommt Lepra nicht nur an den äußeren Teilen vor, von denen die Gegend der Augenbraue eine Prädispositionsstelle ist, sondern auch an allen inneren Geweben. In den letzteren Fällen handelt es sich wohl durchweg um eine Infektion von der Blutbahn aus.

### 14. Milzbrandbacillus (*Bacillus anthracis*).

Die Milzbrandbacillen sind 5 bis 10  $\mu$  lang und 1 bis 2  $\mu$  dick. Sie sind meist in Kettenform aneinandergereiht. Mit den basischen Anilinfarben färben sie sich gut, nach GRAM positiv. Die Enden zeigen eine leichte Verdickung und Abrundung. Mit-

unter hebt sich das Ektoplasma sehr deutlich von dem protoplasmatischen Inhalt der Bacillen ab. Geißeln werden nicht gebildet, dagegen Kapseln und leicht nachweisbare Sporen (Abb. 34).

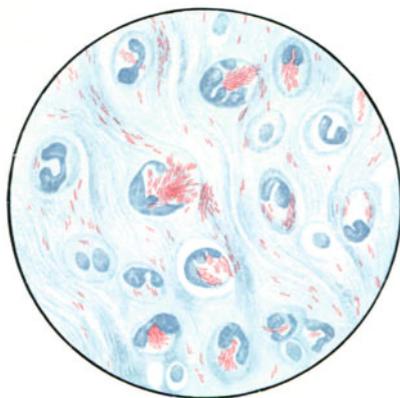


Abb. 33. Leprabacillen auf der Haut.  
(AUS LENHARTZ-MEYER: Mikroskopie,  
10. Aufl. 1922.)

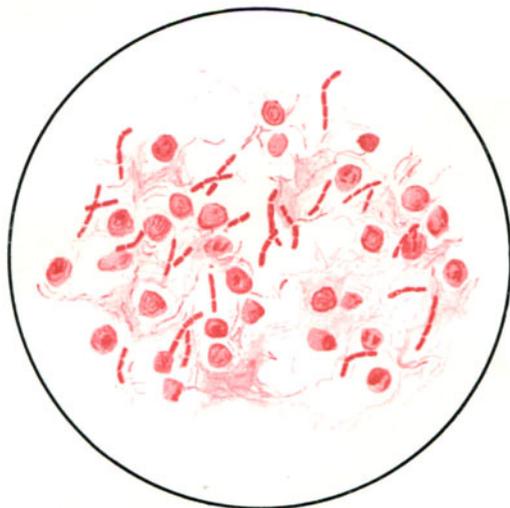


Abb. 34. Milzbrandbacillen. (AUS LENHARTZ-MEYER.)

Die Milzbrandbacillen gedeihen aërob und anaërob auf allen Nährböden bei Zimmertemperatur. Auf Gelatine wachsen sie unter Verflüssigung als weißgelbliche, körnige Kolonien mit vielen Fäden am Rande. Die Agarkulturen haben ein mattglänzendes Aussehen, auf Kartoffeln bildet sich ein weißer trockener Belag, in Bouillon reichlicher Bodensatz mit Häutchen an der Oberfläche. Milch wird anfangs zur Gerinnung gebracht, später aber infolge Peptonisierung wieder homogen.

Bei Kaninchen und Mäusen entsteht nach subcutaner Impfung ein Ödem, an das sich bei hinreichender Virulenz alsbald Hämaturie und Exitus anschließen.

Am menschlichen Auge sind Milzbrandbacillen wiederholt aus Anthraxpusteln (Gangrän) der Lider gezüchtet worden. Da sie tief in das Gewebe hineinwachsen, so muß man den Schorf zunächst entfernen und dann am Rande der erkrankten Partie kleine Scarifikationen vornehmen. An den übrigen Teilen des Auges sind primäre Milzbrandinfektionen nicht beobachtet worden, dagegen wohl sekundäre durch Fortschreiten von der Lidrandpustel.

### 15. Tetanusbacillus.

Die Tetanusbacillen sind zarte Stäbchen von 2—4  $\mu$  Länge und 0,3—0,5  $\mu$  Breite. Sie bilden eine große Anzahl peritrich angeordneter Geißeln und Sporen,



Abb. 35. Tetanusbacillen, Reinkultur.  
(Aus LENHARTZ-MEYER: Mikroskopie, 8. Aufl.)

die sich im Beginn der Entwicklung schon mit verdünnter Fuchsinlösung darstellen lassen. Die Sporen sitzen als kugelige oder ovale Gebilde an den Enden der Stäbchen, wodurch das Bild eines kurzen Nagels entsteht. Die Bacillen färben sich mit allen Anilin-färbungen (Abb. 35). Nach der GRAMschen Methode ist die Färbung ungleichmäßig, teils positiv, teils negativ. Sie wachsen obligat anaërob schon bei Zimmertemperatur auf allen Nährböden. Das beste Wachstum beobachtet man jedoch bei Körpertemperatur, wenn dem Nährboden reduzierende Substanzen, wie Traubenzucker (2%), Ameisensäures Natron (0,3%) oder Lackmuslösung zugesetzt sind.

Auf Gelatine erscheinen die Kolonien wegen des langsamen Wachstums erst nach drei Tagen als kleine Gebilde, welche den Heubacillenkulturen gleichen. Es wird dabei ein Gas gebildet, das vorwiegend aus Kohlensäure und Kohlenwasserstoffen besteht. Gleichzeitig erfolgt langsam eine Verflüssigung der Gelatine. Auf Agar sieht man nach 24 Stunden fein verfilzte Fäden wie beim Heubacillus. Besonders gute Nährböden sind Kaninchenblutagar und sterilisierter Hirnbrei. Dieser wird durch Bildung von Schwefeleisen schwarz gefärbt. In Bouillon beobachtet man diffuse Trübung mit Schaumbildung (Gas) an der Oberfläche. Milch wird nicht zur Gerinnung gebracht.

In Verbindung mit anderen Mikroorganismen, namentlich mit Eitererregern, kann man auch aërobes Wachstum beobachten, weil diese den ganzen Sauerstoff

zu ihrem Wachstum verbrauchen. Auch durch Zusatz von tierischem Gewebe zu dem Nährboden (Leber, Drüsen) ist aërobes Wachstum zu erzielen.

Der Nachweis der Tetanusbacillen in infizierten Geweben bereitet große Schwierigkeiten, weil die Bacillen am Orte der Infektion rasch zugrunde gehen. Am meisten Erfolg verspricht das Tierexperiment, indem man einer größeren Anzahl weißer Mäuse und Meerschweinchen infizierte Gewebstückchen unter die Haut impft. Aus den inneren Organen der an Tetanus eingehenden Tiere lassen sich die Bacillen dann leichter durch die Kultur isolieren.

Bei Kaninchen kann man durch Impfung einer Reinkultur in den Glaskörper und in die vordere Kammer (ULBRICH) keinen Tetanus hervorrufen. Auch am Auge selbst treten keine ungewöhnlichen Reizerscheinungen auf.

Am menschlichen Auge ist der Tetanusbacillus im Eiter von Orbitalabscessen und bei Panophthalmitis nachgewiesen worden, wobei der faciale Typus des Tetanus beobachtet worden ist.

Der Tetanus kommt erfahrungsgemäß leichter zur Entwicklung, wenn ein Fremdkörper, besonders ein Holzsplitter im Gewebe haften bleibt und eine Mischinfektion mit anderen Bakterien vorliegt.

#### 16. Rotzbacillus (*Bacillus mallei*).

Die Rotzbacillen sind gerade Stäbchen mit abgerundeten Enden von 3 bis 4  $\mu$  Länge und 0,5 bis 0,75  $\mu$  Breite. Sie färben sich mit den gebräuchlichen Anilinfarben, besonders mit LÖFFLERS Methylblau gut. Daneben hat LÖFFLER noch eine besondere Färbemethode angegeben. Nach der GRAMschen Methode entfärben sie sich. Sporen sind einwandfrei nicht nachgewiesen, Geißeln werden nicht gebildet (Abb. 36).

Die Rotzbacillen sind Aërobier. Ihre Züchtung in der ersten Generation ist oft deshalb schwierig, weil sie sich zunächst an den künstlichen Nährboden gewöhnen müssen. Ältere Generationen dagegen lassen sich leicht weiterzüchten. Auf Gelatine ist das Wachstum äußerst kümmerlich, ohne daß es zur Verflüssigung des Nährbodens kommt. Auf Agar bildet sich ein glänzender, weißer Belag, auf erstarrtem Serum entwickeln sich durchscheinende tropfenähnliche Kolonien, gleichfalls ohne Verflüssigung, auf Kartoffeln eine gelblichbraune Auflagerung. Milch wird durch das Wachstum der Rotzbacillen unter Säurebildung zur Gerinnung gebracht. In Bouillon tritt zunächst eine gleichmäßige Trübung auf, nach einigen Tagen ein Bodensatz unter Bildung eines Häutchens an der Oberfläche.

Für Meerschweinchen, Mäuse und Pferde besteht Pathogenität. Bei den ersten bilden sich nach subcutaner und intraperitonealer Einspritzung einer Reinkultur Knötchen (Malleus). Charakteristisch ist die 2 Tage nach der intraperitonealen Injektion auftretende Hodenschwellung, in der die Bacillen in großer Menge nachzuweisen sind.

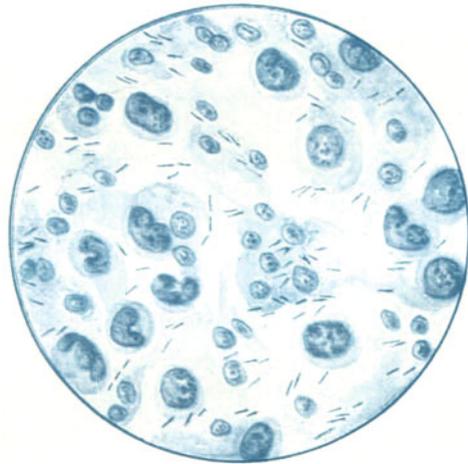


Abb. 36. Rotzbacillen im Ausstrich aus Hoden eines Meerschweinchen. (Aus LENHARTZ-MEYER.)

Am menschlichen Auge sind Rotzbacillen aus Geschwüren der Lider und aus Tränensackeiter gezüchtet worden.

### 17. Streptobacillus.

Die Streptobacillen, die Erreger des Ulcus molle, sind 1,5 bis 2  $\mu$  lange, 0,5 bis 1  $\mu$  breite, unbewegliche, meist zu zweien oder in Ketten angeordnete, gram-negative Stäbchen. Mit den gebräuchlichen Anilinfarben färben sie sich an den Polen gut, in der Mitte meist schwächer.

Ihre Züchtung auf künstlichen Nährböden ist schwierig. Am besten eignet sich Blutagar. Bei Körpertemperatur entwickeln sich kleine, runde, graue Kolonien, die aber leicht absterben, wenn die Weiterimpfung nicht in wenigen Tagen vorgenommen wird.

Bei Affen läßt sich mit einer Reinkultur ein typischer, weicher Schanker erzeugen.

Am menschlichen Auge sind Streptobacillen in Fällen von Ulcus molle der Lider und der Bindehaut nachgewiesen worden.

## B. Kokken.

### 1. Staphylococcus.

**a) Staphylococcus pyogenes aureus.** Dieser ist ein kreisrunder Kokkus von 0,7 bis 1,2  $\mu$  Durchmesser; die Keime liegen meist in Haufen zusammen, zuweilen auch als Diplokokken. Es gibt Stämme, bei denen die Diplokokkenform vorwiegt, so daß sie nach ihrem Aussehen nicht von den gramnegativen Diplokokken zu unterscheiden sind.

Die Staphylokokken lassen sich mit allen Anilinfarben gut färben, nach GRAM gleichfalls (Abb. 37, 38, 39).

Sie wachsen aërob und anaërob auf allen Nährböden schon bei Zimmertemperatur. Gelatine wird verflüssigt, LÖFFLERSERUM dagegen nicht. Auf Agar wachsen nach 24 Stunden runde, scharfrandige, erhabene Kolonien, die zunächst blaßgelb erscheinen, in den nächsten Tagen aber einen orangegelben Farbenton annehmen. Bei längerem Fortzüchten sowie bei fortgesetzter Einwirkung des Tageslichts verblaßt die gelbe Farbe immer mehr, um schließlich zuweilen ganz zu verschwinden. In Bouillon entsteht eine starke Trübung mit Säurebildung. Auch in zuckerhaltigen Nährböden wird Säure gebildet. Milch gerinnt frühzeitig unter Auftreten einer saueren Reaktion. Auf Kartoffeln bildet sich ein rahmiger, saftiger, gelber Belag. Die Indolreaktion ist zuweilen positiv.

Die in Staphylokokkenkulturen auftretenden Gifte sind im wesentlichen Leukocidin und Staphylolysin, von denen das letztere hämolytisch wirkt.

Die virulenten Stämme sind besonders für das Kaninchenaugen pathogen. In der Hornhaut, der vorderen Kammer und im Glaskörper rufen Impfungen eine eitrige Entzündung hervor.

Am menschlichen Auge ist Staphylococcus pyogenes aureus bei Entzündungen der Bindehaut, des Tränensacks, der Lider, der Orbita, sowie bei Hornhautgeschwüren und intraokularen Infektionen als Erreger nachgewiesen worden.

**b) Staphylococcus pyogenes citreus.** Diese Staphylokokkenart unterscheidet sich von dem Staphylococcus aureus nur durch den zitronengelben Farbstoff, den sie auf künstlichen Nährböden bildet.

Sie kommt am menschlichen Auge selten vor, und zwar meist als Saprophyt. Es sind aber auch Stämme aus der Bindehaut gezüchtet worden, die für die Kaninchenhornhaut pathogen waren.

c) **Staphylococcus pyogenes albus.** Diese Staphylokokken gleichen dem *Staphylococcus aureus* gleichfalls in allen wesentlichen Eigenschaften. Der

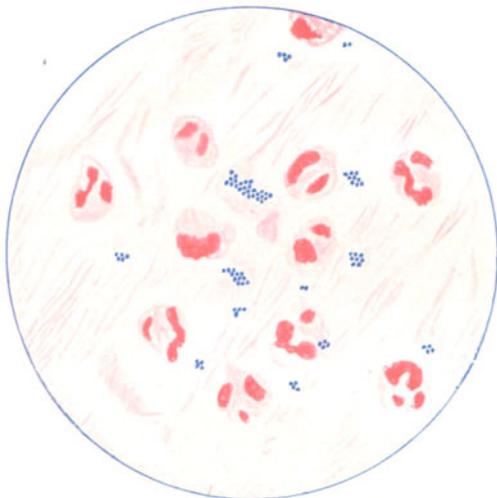


Abb. 37. *Staphylococcus pyogenes aureus*,  
Glaskörperkultur.

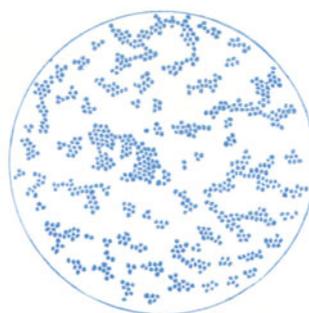


Abb. 38. Staphylokokken,  
Reinkultur.

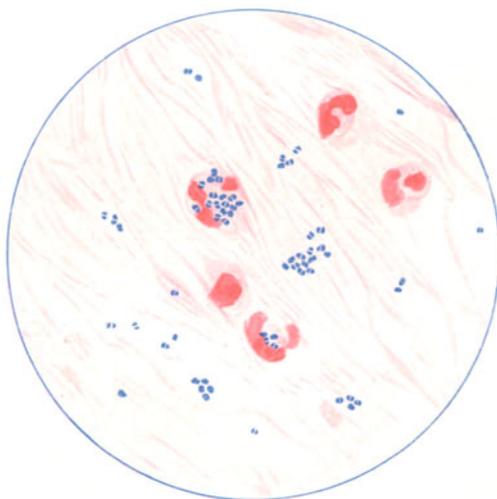


Abb. 39. Staphylokokken in Form von Diplokokken, zum Teil intercellulär, im Bindehautsekret.

einzigster Unterschied besteht in dem weißen Farbstoff, den sie in Kulturen bilden.

Sie kommen am menschlichen Auge hauptsächlich als Saprophyten vor, namentlich in der Bindehaut. In einigen Fällen sind ihnen auch pathogene Eigenschaften zugeschrieben worden (Panophthalmitis).

d) **Staphylococcus albus non liquefaciens (Micrococcus candidans)**. Dieser Mikroorganismus steht dem *Staphylococcus albus* sehr nahe. Er unterscheidet sich von ihm jedoch dadurch, daß er Gelatine nicht verflüssigt.

Er kommt gleichfalls gelegentlich in der menschlichen Bindehaut vor. Pathogene Eigenschaften besitzt er nicht.

Innerhalb dieser vier Hauptgruppen der Staphylokokken gibt es Stämme, die mancherlei Abweichungen zeigen, namentlich hinsichtlich der Farbstoffbildung. Viele von diesen sind mit besonderem Namen belegt worden. Es handelt sich aber wohl im wesentlichen um variierende Eigenschaften, wobei die Beschaffenheit des Nährbodens, das Alter der Kultur und dgl. eine Rolle mitspielen.

e) Als eine besondere Art von gelben Staphylokokken gelten die **Botryokokken**, die am Samenstrang der Pferde eine infektiöse Geschwulst erzeugen. Sie gleichen in ihrem Verhalten sowohl hinsichtlich des Aussehens, als auch in der Färbung und Kultur den gelben Staphylokokken. Am menschlichen Auge ist die Botryomykose als Lidgeschwulst, die zeitweilig das Bild des *Hordeolums bot*, sowie in der Cornea als granulierende Geschwulst beobachtet worden.

f) **Micrococcus tetragenus**. Er steht den Staphylokokken sehr nahe. Sein Charakteristikum besteht darin, daß immer je 4 Exemplare, die durch Teilung aus einem Individuum hervorgegangen sind, in einer nicht färbaren Schleimhülle vereinigt bleiben, wodurch die Tetradenform zustande kommt. Von den Sarcinen unterscheiden sie sich dadurch, daß die Teilung nur nach 2 Richtungen des Raumes erfolgt, so daß Paketformen nicht beobachtet werden.

Der *Micrococcus tetragenus* färbt sich mit allen Anilinfarben gut, nach GRAM positiv. Er wächst auf allen Nährböden. Auf Gelatine entwickeln sich ohne Verflüssigung trübe Scheiben, die an der Oberfläche zu dicken Pünktchen auswachsen. Auf Agar bildet sich ein graugelber üppiger Rasen mit schleimiger Beschaffenheit.

Für Meerschweinchen und weiße Mäuse besteht Pathogenität. Kaninchen verhalten sich refraktär.

Am menschlichen Auge ist der *Micrococcus tetragenus* als Krankheitserreger nicht beobachtet worden.

## 2. Kettenbildende Kokken.

a) **Streptococcus pyogenes**. Er hat meist runde Form von 0,5 bis 1,0  $\mu$  Durchmesser. Es gibt aber auch Stämme, die ein ovales Aussehen haben und von Pneumokokken morphologisch nicht zu unterscheiden sind. Im Sekret liegen die Streptokokken häufig zu zweien; lange Ketten werden um so leichter gebildet, je mehr der natürliche oder künstliche Nährboden flüssige Beschaffenheit zeigt. Daher sehen wir die charakteristischen, sehr langen Ketten auch nur in Bouillonkulturen und zum Teil in dünnflüssigem Eiter (Abb. 40, 41).

Die Streptokokken sind grampositiv und färben sich mit allen Anilinfarben gut. Sie wachsen am besten aérob, und zwar auf allen Nährböden bei Zimmer- und Körpertemperatur. Auf Gelatine bilden sich kleine, stechnadelkopfgroße, graue Kolonien mit meist rundem Rand, ohne Verflüssigung. Im Gelatine-stich werden Körnchen beobachtet. Auf Agar wachsen die Streptokokken in Form kleiner, runder, durchscheinender Kolonien, ohne Neigung zu konfluieren. Auf Ascitesagar ist das Wachstum üppiger. In Bouillon bildet sich meist keine oder nur eine geringe Trübung mit Bodensatz, wobei die Reaktion sauer wird. In Zuckeragar wird ebenfalls Säure gebildet. Die Indolreaktion ist negativ, Milch wird koaguliert. Auf Kartoffeln ist das Wachstum kümmerlich.

Die virulenten Stämme wirken häufig hämolytisch.

Wie bei den Staphylokokken, so hat man auch bei den Streptokokken viele Unterarten beschrieben, wobei die Form, Größe und Neigung zu Kettenbildung, sowie einige Abweichungen in dem kulturellen Verhalten die Hauptunterscheidungsmerkmale sind. Durchgreifend sind die Differenzen aber nicht.

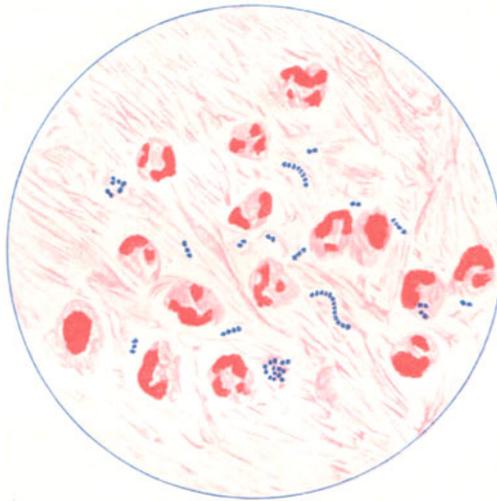


Abb. 40. Streptokokken von Panophthalmitis.

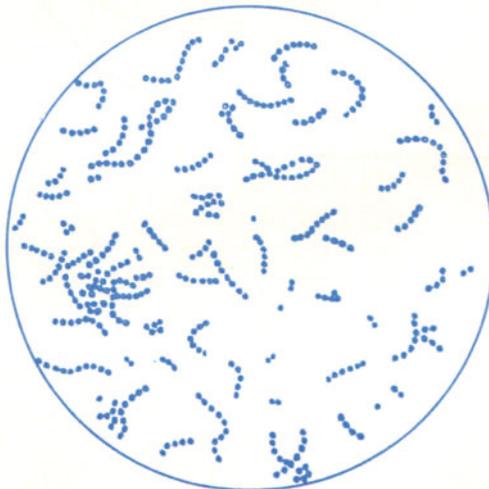


Abb. 41. Streptokokken-Reinkultur in Bouillon. (Aus GOTSCHLICH-SCHÜRMAN.)

Am deutlichsten hebt sich wohl der *Streptococcus mucosus* aus der Gruppe der kettenbildenden Kokken ab. Er produziert einen fadenziehenden Belag, der die Kokken kapselartig einschließt. Auch im Sekret ist dies deutlich zu erkennen (Abb. 42). Nicht selten besteht das Sekret fast ganz aus Schleim, der nur wenig geformte Elemente enthält.

Einige Autoren halten den *Streptococcus mucosus* für eine Abart des *Pneumococcus*.

Die Virulenz der Streptokokken ist sehr unbeständig, daher ist der Ausfall der Tierimpfungen zur Beurteilung der Pathogenität mit Vorsicht zu werten. Auch die Impfungen am Kaninchenauge ergeben keine zuverlässigen Resultate. Das beste Versuchstier ist die Maus.

Am menschlichen Auge kommt der Streptococcus bei Lidrandentzündungen, im Tränensackeiter, ferner als Erreger von Bindehaut- und Hornhautentzündungen, bei Eiterungen der Lider und der Orbita sowie bei intraokularen Infektionen vor. Er ist der häufigste Erreger der Panophthalmitis. Auch von der Blutbahn aus ruft er am Auge Infektionen hervor.

Der Streptococcus mucosus ist einige Male bei Bindehautentzündungen angetroffen worden, wobei in einem Fall ein Hornhautgeschwür hinzuge treten

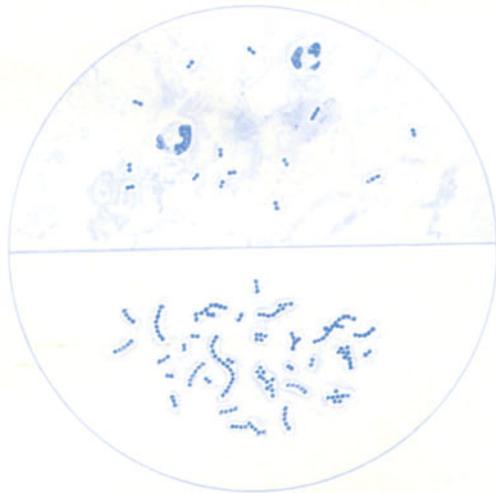


Abb. 42. Streptococcus mucosus 1. oben im Bindehautsekret, 2. unten Reinkultur.

war. Ferner konnte er in einem Fall als Erreger einer metastatischen Panophthalmie nachgewiesen werden. Sein Vorkommen ist am Auge aber selten.

**b) Pneumococcus.** Der Pneumococcus (FRÄNKEL-WEICHELBAUMScher Diplococcus oder Diplococcus lanceolatus) ist  $0,8 \mu$  lang und  $0,3-0,4 \mu$  breit. Er liegt meist paarweise und hat Lanzett- oder Spindelform, wobei die einander zugewandten Enden zuweilen abgerundet sind. Längere Ketten kommen besonders in Kulturen vor. Eine Kapsel, die bei denen im Sputum nachweisbaren Exemplaren konstant ist, wird im Bindehautsekret fast nie beobachtet, etwas häufiger im Tränensackeiter. In Kulturen zeigen die Pneumokokken, namentlich nach einigen Tagen regelmäßig die mannigfachsten Degenerationsformen in Gestalt plumper Stäbchen und großer geblähter, ovaler Gebilde sowie kleiner Fäden und Körnchen (Abb. 43, 44, 45).

Die Pneumokokken färben sich mit allen Anilinfarben gut, nach GRAM positiv. Sie wachsen aërob und anaërob nur bei Körpertemperatur. Auf Gelatine bleibt das Wachstum aus. Auf Agar wachsen sie als kleine, helle, durchscheinende, tautropfenähnliche Kolonien. Letztere werden mit zunehmendem Alter immer mehr unsichtbar. Zuweilen versagt die Agarkultur völlig. Am zuverlässigsten ist Ascites- oder Blutagar, auf denen die Kolonien auch etwas größer sind. LÖFFLERSERUM wird nicht verflüssigt. In Bouillon bildet sich eine gleichmäßige Trübung, die meist bald wieder verschwindet. In Traubenzucker ist keine

Säure nachweisbar. Milch wird koaguliert. Auf Kartoffeln zeigt sich kein Wachstum.

Die Pneumokokken sind für Kaninchen und Mäuse pathogen, besonders für weiße Mäuse. In der Cornea und im Glaskörper verursachen die Impfungen Eiterungen, die zur Sepsis führen können.

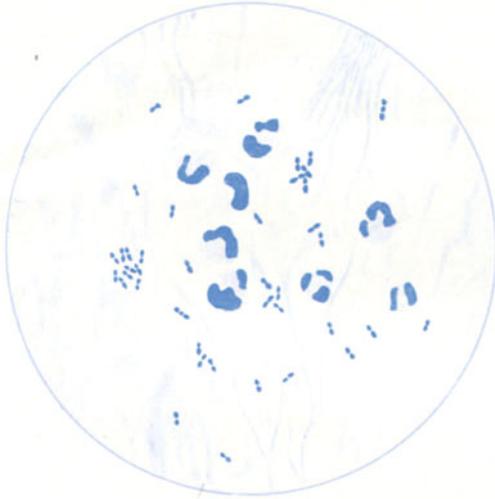


Abb. 43. Pneumokokken im Bindehautsekret.

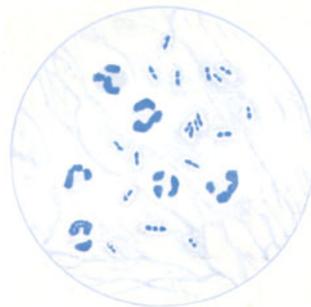


Abb. 44. Pneumokokken mit Kapseln. Tränensackeiter.



Abb. 45. Pneumokokken-Reinkultur. Unten rechts Degenerationsformen.

Am menschlichen Auge kommen die Pneumokokken am häufigsten im Tränensackeiter vor. Sie sind ferner bekannt als die Erreger einer Conjunctivitis und des typischen *Ulcus serpens*. Des weiteren rufen sie intraokulare Infektionen im Anschluß an Operationen und perforierende Verletzungen hervor. Auch aus Abscessen der Lider und der Orbita sind sie gezüchtet worden. Bei den metastatischen Augeninfektionen spielen sie ätiologisch eine wichtige Rolle.

Die Pneumokokken stehen den Streptokokken verwandtschaftlich sehr nahe, so daß sie von einigen Autoren als identisch bezeichnet werden. Bei katarrhalischen Erkrankungen der Schleimhäute überwiegt der Pneumokokkentypus, bei Abscessen, Phlegmonen und Metastasen die Streptokokkenform.

### 3. Gramnegative Diplokokken.

a) **Gonococcus Neisseri.** Die von A. NEISSER im Jahre 1879 in dem Eiter der Urethritis entdeckten Gonokokken bilden stets zu zweien eine Semelform, wobei die einander zugekehrten Seiten abgeflacht sind. Jedes Paar ist  $0,8-1,5 \mu$  lang und  $0,6-0,8 \mu$  breit. Charakteristisch ist die intracelluläre Lage. Sowohl Epithelzellen, wie auch Leukocyten sind manchmal vollgepfropft mit Gonokokken,

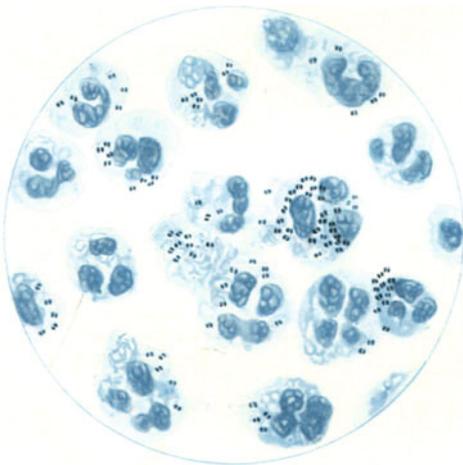


Abb. 46. Gonokokken im Sekret der Blennorrhoea conjunctivae.

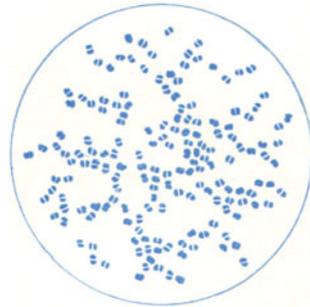


Abb. 47. Gonokokken-Reinkultur.

denen gegenüber die Zahl der extracellulär gelegenen Exemplare zurücktritt. In der Kultur sind die Kokken meist etwas größer, ihre Lagerung zu zweien ist aber auch hier stets ausgeprägt (Abb. 46, 47).

Sie färben sich mit allen Anilinfarben gut, nach GRAM negativ. Sehr schöne Bilder erhält man mit der PICK-JACOBSONSchen Kontrastfärbung. Kapseln werden nicht beobachtet.

Der Gonococcus wächst aërob, und zwar nur auf Nährböden, denen menschliche Flüssigkeiten (Ascites usw.) zugesetzt sind. Durch fortgesetzte Züchtung paßt er sich zuweilen auch dem Glycerinagar an. Auch auf WASSERMANN'S Schweineserum-Nutrose-Agar gelingt die Kultivierung. Die Kolonien sind grau und durchscheinend mit scharfer Begrenzung. In Serumbouillon bildet sich ein Bodensatz mit schwach diffuser Trübung. Es tritt hierbei eine geringe Säurebildung auf. Die Indolreaktion ist negativ. Auf allen übrigen gebräuchlichen Nährböden bleibt das Wachstum aus.

Die Gonokokken wachsen im Tierkörper nicht, jedoch töten sie in größerer Menge in das Peritoneum injiziert Mäuse, Meerschweinchen und Kaninchen. Intraokulare Impfungen rufen beim Kaninchen eine vorübergehende auf Giftwirkung beruhende Entzündung hervor.

Am menschlichen Auge erzeugen die Gonokokken das bekannte Bild der Blennorrhöe der Conjunctiva. Auch metastatische Augenentzündungen

kann man gelegentlich bei einer gonorrhöischen Erkrankung der Urethra beobachten.

b) **Diplococcus intracellularis meningitidis.** Die von WEICHELBAUM im Jahre 1887 entdeckten Meningokokken liegen, wie die Gonokokken, stets zu zweien kaffeebohnenartig mit der flachen Seite einander zugekehrt. Jedes Paar ist  $0,8-1,6 \mu$  lang und  $0,6-0,9 \mu$  breit. Auch die intracelluläre Lagerung und die Entfärbung nach GRAM ist beiden gemeinsam. Eine Unterscheidung ist meist durch die Kultur möglich, mit Sicherheit aber nur durch das Agglutinationsverfahren (Abb. 48).

Die Meningokokken wachsen nur aërob bei Körpertemperatur am besten auf serumhaltigen Nährboden. Aber auch auf LÖFFLERSERUM und auf Glycerinagar ist meistens Wachstum zu beobachten. Die Agarkolonien sind glasig durchscheinend, grau-gelblich schillernd und rund; ihre Konsistenz ist schleimig. In Bouillon entwickelt sich nur geringe Trübung mit Bodensatz, der sich beim Schütteln gleichmäßig verteilt. Auf Zuckernährböden ist das Wachstum meist gut ohne Bildung von Säure und Gas. Die Indolreaktion ist negativ. LÖFFLERSERUM wird nicht verflüssigt. Auf Kartoffeln und Gelatine, sowie in Milch erfolgt kein Wachstum.

Größere Mengen einer frischen Reinkultur intraperitoneal eingespritzt führt bei Mäusen und Meer-schweinchen zum Tode. Eine Vermehrung der Kokken findet jedoch im Tierkörper nur bei Mäusen statt.

Am menschlichen Auge sind die Meningokokken wiederholt bei Conjunctividen von Patienten, die an epidemischer Cerebrospinalmeningitis litten, sowie einigemal auch auf der normalen Bindehaut gefunden worden.

c) **Micrococcus catarrhalis.** Der *Micrococcus catarrhalis* stimmt in Größe und Form mit dem *Gonococcus* überein. Er ist wie dieser gramnegativ, auch ist die intracelluläre Lagerung vorherrschend, jedoch kommen extracelluläre Exemplare häufiger vor, als bei Gonokokken und Meningokokken. In älteren Kulturen sind die Kokken meist dicker und vielfach degeneriert. Eine sichere Unterscheidung ergibt erst das Kulturverfahren.

Der *Micrococcus catarrhalis* wächst auf allen Nährböden schon bei Zimmertemperatur. Er ist sauerstoffbedürftig. Gelatine wird nicht verflüssigt. Auf Agar bilden sich grau-weiße Kolonien, die bei zunehmendem Alter im Zentrum gekörnt erscheinen und einen unregelmäßigen Rand bekommen. In zuckerhaltigen Nährböden wird kein Gas und keine Säure gebildet. In Bouillon beobachtet man an der Wand und auf dem Boden des Röhrchens einen flockigen Niederschlag. In Milch erfolgt reichliches Wachstum ohne Gerinnung; auf Kartoffeln gedeiht der Coccus zuweilen, wobei es zur Bildung eines grauweißen Rasens kommt.

Für Versuchstiere besteht keine Pathogenität. Mit einigen Stämmen sind aber Krankheitserscheinungen bei der Maus erzielt worden.

Am menschlichen Auge ist der *Micrococcus catarrhalis*, der im Nasen- und Rachensekret häufig vorkommt, einige Male bei leichter Conjunctivitis und auch auf der normalen Bindehaut gefunden worden.

Es sind noch mehrere gramnegative Diplokokkenstämme beschrieben und mit besonderen Namen belegt worden, die sich von den vorgenannten aber nicht wesentlich unterscheiden.

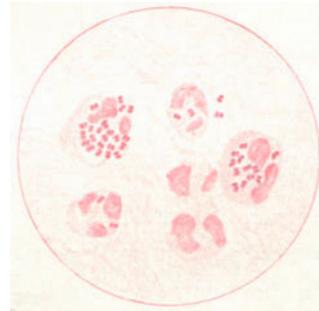


Abb. 48. Meningokokken im Bindehautsekret; Gramfärbung.

### C. Sarcine.

Die Sarcine steht den Staphylokokken nahe. Die Abgrenzung wird noch besonders dadurch sehr unsicher, daß es mehreren Autoren geglückt ist, durch Anwendung besonderer Nährböden einigen Mikrokokkenstämmen eine Paketform anzuzüchten. Die Sarcinen sind meist größer als die Staphylokokken und lassen die charakteristische Lagerung zu vieren in Paketform auf der Kultur regelmäßig erkennen. Im Sekret ist die Paketform jedoch selten. Hier erscheinen sie meist als große Diplokokken (Abb. 3, S. 1003).

Sie färben sich mit allen Anilinfarben gut. Die GRAMSche Färbung ist positiv, in einigen Fällen wurde sie jedoch negativ gefunden. Die Kultur gelingt auf allen Nährböden leicht schon bei Zimmertemperatur. Auf Gelatine bilden sich weiße, glänzende, erhabene Kolonien ohne Verflüssigung. Auf Agar entwickeln sich grau-gelbe Kolonien, die alsbald zu einem Rasen konfluieren. Die Rasenbildung tritt auch auf Kartoffel deutlich hervor. In allen übrigen kulturellen Eigenschaften gleichen die Sarcinen den Staphylokokken.

Es gibt verschiedene Arten, die sich durch den Eigenfarbstoff unterscheiden. Die bekanntesten sind *Sarcina lutea*, *flava*, *aurantiaca* und *alba*.

Bei menschlicher Sepsis hat man virulente Stämme gezüchtet, die für Meer-schweinchen und Mäuse pathogen waren. Im allgemeinen gelten sie aber als Saprophyten. Sie sind außerordentlich verbreitet und kommen unter anderem auch in der Luft vor.

Am menschlichen Auge hat man sie bisher gleichfalls nur als Saprophyten angetroffen. Nächst Xerosebacillen und Staphylokokken gehören sie zu den häufigsten Bewohnern der normalen Bindehaut.

## II. Sproß- oder Hefepilze.

Die Sproß- oder Hefepilze (Blastomyceten) sind runde oder eiförmige, doppelkonturierte Gebilde, die einen Kern enthalten und häufig zu zweien oder in Ketten angeordnet sind. In den auf künstlichen Nährböden gezüchteten Pilzen finden sich resistente Sporen.

Die Hefen färben sich mit den gebräuchlichen Anilinfarben, sowie nach GRAM. Auch in ungefärbten Präparaten sind sie meist schon deutlich zu erkennen.

Zur Darstellung der Hefen in Schnittpräparaten empfiehlt O. BUSSE Vorfärben mit Hämalaun und Nachfärben mit Carbofuchsin (1 : 20). Die Gewebkerne erscheinen hierbei dunkel blaurot, die Hefen leuchtend hellrot.

Die Hefen wachsen teils aërob, teils anaërob schon bei Zimmertemperatur am besten auf schwach sauren, zuckerhaltigen Nährböden als kleine weiße Kolonien. Auf Kartoffeln bildet sich ein weißer glänzender Rasen. Auch in Zuckerbouillon erfolgt Wachstum, wobei der Zucker vergoren wird. Besonders eignet sich der Zusatz von Saccharose, weniger von Lactose und Glucose. Einen guten Nährboden erhält man ferner durch Zusatz von sterilisierter Bierwürze und Traubenmost zu Agar und Gelatine. Die an der Oberfläche von verdorbenen alkoholischen Getränken auftretende Kahmhaut besteht aus zusammengeballten Hefezellen.

Für Versuchstiere besteht nur geringe Pathogenität.

Am menschlichen Auge kommt Hefe, namentlich Rosahefe, in der Bindehaut als Saprophyt vor, wie sie ja auch im Mageninhalte und an anderen Stellen des Körpers meist saprophytär lebt. Aber auch als Krankheitserreger ist sie gefunden worden, und zwar bei Hypopyonkeratitis. Des weiteren hat man sie in der Haut der Lider nachgewiesen, wo sie eine leicht erhabene Wucherung mit Geschwürsbildung erzeugt (*Blastomykosis*). Daß sie wirklich pathogene

Eigenschaften im menschlichen Körper entfalten kann, beweisen Fälle von Pyämie und Meningitis, bei denen man ausschließlich Hefe gefunden hat.

Es gibt verschiedene Arten von Hefepilzen, die sich aber bei dem wechselnden kulturellen Verhalten nicht scharf voneinander trennen lassen.

### III. Schimmel- oder Fadenpilze.

Die Schimmelpilze haben die verschiedensten Formen, die bei den einzelnen Arten näher beschrieben werden sollen. Sie färben sich mit den basischen Anilinfarben. Zur mikroskopischen Untersuchung eignen sich aber auch ungefärbte Präparate gut. Da sich die Pilze wegen des Fettgehalts in Wasser schlecht verreiben lassen, so behandelt man sie zunächst mit Alkohol unter Zusatz von Ammoniak und untersucht dann in verdünntem Glycerin.

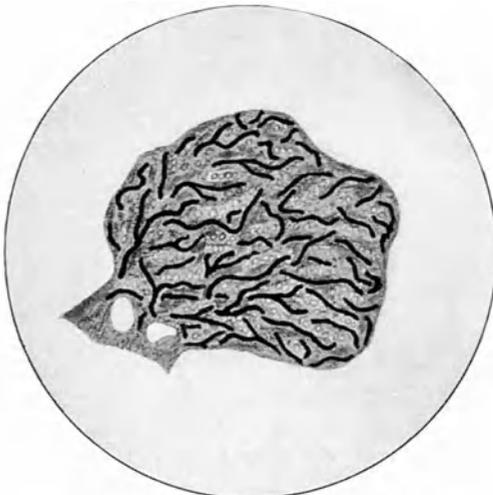


Abb. 49. Keratomyces aspergillina.

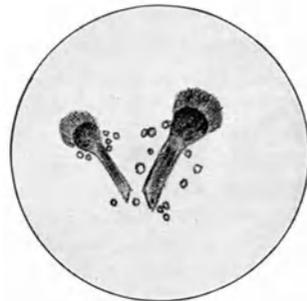


Abb. 50. Aspergillus fumigatus, Reinkultur.

Zu Kulturen benutzt man die gebräuchlichen Nährböden, jedoch ist eine saure Reaktion erforderlich. Am besten eignet sich Brotbrei. Die meisten Schimmelpilze wachsen bei Zimmertemperatur.

**1. Aspergillus (Kolbenschimmel).** Die Fruchttträger besitzen am Ende eine kolbige Anschwellung, auf der zahlreiche kleine, kegelförmige Gebilde haften, von denen sich die runden oder ovalen Sporen lösen.

Es gibt verschiedene Arten, unter denen der *Aspergillus fumigatus* für die menschliche Hornhaut pathogen ist. Er erzeugt das Bild der Keratomykosis, das sich durch einen leicht prominenten, trockenen, scharf begrenzten Rasen kennzeichnet, der allmählich abgestoßen wird. Meist enthalten diese Rasen einen Pflanzenfremdkörper (Getreidespelze), der die Pilze bei dem Eindringen in das Auge in die Hornhaut verimpft. Auch in der Sklera und im Glaskörper sind Schimmelpilzinfektionen beobachtet worden (Abb. 49, 50).

In der Kaninchenhornhaut läßt sich durch Impfungen ein der Keratomykose ähnliches Krankheitsbild erzeugen. Im übrigen besteht für Versuchstiere keine, oder doch nur geringe Pathogenität.

**2. Penicillium (Pinselschimmel).** Bei diesem Schimmelpilz teilen sich die gegliederten Fruchttträger in kurze Äste (Basidien), aus denen büschelförmige, zarte Ausläufer (Sterigmen) hervorstehen. Letzteren sitzen reihenartig Sporen auf.

Von den zahlreichen Arten hat man *Penicillium glaucum* am menschlichen Auge gefunden. Seine Pathogenität ist aber nicht erwiesen. Der Pilz ist für gewöhnlich Saprophyt und bildet mit dem *Aspergillus fumigatus* gemeinsam die Hauptbestandteile des auf feuchtem Brot wachsenden, meist grünlichen Schimmelbelags.

**3. Mucor (Blasenschimmel).** Die ungeteilten Fruchthyphen zeigen am Ende kugelige Verdickungen, die mit jenen durch eine Platte (Columella) in Verbindung stehen. In dem Sporangium sitzen die Sporen, durch Scheidewände von einander getrennt.

Unter den Mucorineen ist der *Mucor corymbifer*, der sich durch einen dichten schneeweißen Rasen auszeichnet, der bekannteste. Er kann zu schweren eiterigen Prozessen in Lunge und Darm führen. Nach einigen Autoren soll er auch am menschlichen Auge vorkommen.

**4. Oidium (Soor).** Die Oidiumarten haben einen einfacheren Bau als die bisher erwähnten Schimmelpilze. Sie bilden keine Fruchtköpfe. Die aus dem Mycel herauswachsenden hellen Hyphen enthalten die Sporen, die sich in Reihen abschnüren.

Der Soorpilz findet sich am häufigsten auf der Schleimhaut der Mundhöhle als flockige, häutige Auflagerung (*Oidium albicans*). Im allgemeinen kommen ihm pathogene Eigenschaften nicht zu. Am menschlichen Auge ist er in Geschwüren der Lidhaut und Hornhaut, sowie in Orbitalabscessen gefunden worden. Durch Impfung der Kaninchenhornhaut entsteht eine Keratomykose, welche der *Keratitidis aspergillina* gleicht. Auch im Innern des Auges ruft er Entzündungen unter starker Ausbreitung des Pilzes hervor.

**5. Sporotrichum.** Diese Pilzart, die nach den Entdeckern den Beinamen Beurmanni und Schenkii führt, ist dem Soorpilz verwandt. Sie wächst auf allen Nährböden schon bei Zimmertemperatur am besten auf Traubenzucker-, Maltose- oder Glucose-Agar. Erst nach 6—12 Tagen geht die Kultur an in Gestalt von weißen, prominenten Kolonien, die nach einiger Zeit ein runzeliges, gefälteltes Aussehen bekommen und einen braunen oder violetten Farbenton annehmen.

Von Versuchstieren sind besonders Ratten für die Infektion empfänglich. Bei intraperitonealer Einspritzung bilden sich sehr starke Verdickungen am Hoden und Nebenhoden.

In der Natur kommt der Pilz als Saprophyt häufig auf Gemüse und auf Gräsern vor. In der menschlichen Haut erzeugt er Granulationsgeschwülste, die an Syphilis, Tuberkulose und Aktinomykose erinnern. Hierbei kommt es zuweilen zu Allgemeininfektionen mit granulomartigen Neubildungen in den inneren Organen.

Am menschlichen Auge ist *Sporotrichum Beurmanni* an den Lidern und in der Bindehaut nachgewiesen worden.

**6. Favus.** Der Erreger des Favus ist der von SCHÖNLEIN im Jahre 1830 entdeckte Pilz *Achorion*. Er bildet ein dichtes Mycel mit verzweigten, glasigen Fäden, die stellenweise große, stark lichtbrechende Sporen in Gestalt von Ausbuchtungen zeigen. Die Sporen finden sich aber auch frei, und zwar in Kettenform angeordnet. Die Pilze sind im ungefärbten Präparat (Glycerin) nach Essigsäurezusatz gut zu erkennen. Sie lassen sich leicht züchten, am besten auf Agar. Nach einigen Tagen bildet sich auf der Kultur ein weiß-gelblicher, borkiger Belag. Auch auf Brotbrei gelingt die Züchtung.

Am menschlichen Auge ist Favus an den Lidern beobachtet worden.

**7. Trichophyton tonsurans.** Es handelt sich um lange, meist unverzweigte, zum Teil sporenhaltige Fäden, die ein Mycel bilden.

Zur Diagnose genügt ein ungefärbtes Präparat, das man in Glycerin nach Essigsäurezusatz untersucht. Der Pilz läßt sich leicht züchten. Er wächst auf Gelatine unter Verflüssigung des Nährbodens. Auf Agar bilden sich weiße, trockene Rasen. Als guter Nährboden werden auch Maltose- und Bierwürzeagar empfohlen. Die Pilze bilden sich sowohl an den Haarwurzeln wie auch in den Schüppchen des progressiven Randes.

Am menschlichen Auge kommt der Pilz bei Herpes tonsurans der Lider vor.

#### IV. Streptothricheen.

Die Streptothricheen findet man am menschlichen Auge vorwiegend in Form von Konkrementen in den Tränenröhrchen. Die Zusammenballungen haben ein gelbliches Aussehen mit höckeriger Oberfläche. Sie sind kugelig oder oval und besitzen eine teigige Konsistenz. Es gibt ganz kleine, stecknadelkopfgroße, körnchenartige Konkreme und solche bis zu Erbsengröße. Meist finden sich mehrere Konkreme beieinander.

Zerdrückt man ein Konkrement nach Abspülen des Sekrets zwischen zwei Deckgläschen, dann bekommt man einen Brei, den man zu Deckglasuntersuchungen und zu Kulturen verwenden kann. Bei sehr zäher Beschaffenheit empfiehlt sich der Zusatz eines Tropfens destillierten Wassers.

Die Streptothricheen färben sich mit allen Anilinfarben gut, nach GRAM positiv (Abb. 51, 52, 53). Im Deckglaspräparat erscheinen sie in den verschiedenartigsten Formen. Teils sind es sehr lange, dünne, verzweigte Fäden mit vielen körnigen Bestandteilen vermischt, teils Fäden mit kolbiger Verdickung, die von einer gemeinsamen zentralen Masse nach allen Seiten hin ausstrahlen. Zwischen diesen gibt es alle möglichen Übergänge, wobei in einigen Fällen die kokkenartigen Gebilde, in anderen die Fäden überwiegen. Die kokkenartigen Substanzen unterscheiden sich von Kokken leicht durch ihre unregelmäßige Form und verschiedene Größe. Kapseln, Geißeln und Sporen kommen nicht vor.

Das Wachstum auf künstlichen Nährböden gelingt bei einigen Stämmen nur anaërob, bei anderen auch aërob. Manche erfordern Körpertemperatur, andere gedeihen schon bei Zimmertemperatur auf Gelatine, wobei diese verflüssigt wird. Auf LÖFFLER-Serum ist eine Verflüssigung nicht zu beobachten. Die Kolonien haben einen braun-gelblichen Farbenton. Die anaëroben wachsen als gelbliche Konkreme, die den aus den Tränenröhrchen gewonnenen in jeder Hinsicht gleichen. In Bouillon bildet sich ein körniger Bodensatz. In zuckerhaltigen Nährböden wird weder Gas noch Säure entwickelt. Die Indolreaktion ist meist negativ. Milch wird koaguliert.

Die Vielgestaltigkeit der Streptothricheen kommt auch in den Kulturen zum Ausdruck, wobei außer den langen fadenförmigen Gebilden kurze Stäbchen auftreten, die viel Ähnlichkeit mit Xerosebacillen haben (Abb. 53).

Die Zahl der Arten, die zur Streptothrixgruppe gehören, ist groß. Sie unterscheiden sich nicht nur durch das Aussehen, sondern auch durch das kulturelle Verhalten, das von dem hier geschilderten in manchen Punkten abweicht.

Eine besondere Art des Streptothrix bildet auch der *Actinomyces bovis seu hominis*, der das charakteristische Krankheitsbild der Aktinomykose erzeugt. Es kommt am Auge an den Lidern und in der Orbita vor. Auch in der Aderhaut sind metastatische Aktinomycesknötchen beobachtet worden. Bei den Konkrementen der Tränenröhrchen liegen für gewöhnlich keine oder doch nur geringe entzündliche Symptome vor. Auch in der Bindehaut und Hornhaut sind Streptothricheen als Erreger von Entzündungen angetroffen worden.

Die aus den Konkrementen gezüchteten Streptothrixstämmen besitzen für Versuchstiere meist keine oder doch nur geringe Pathogenität, während die Aktinomycesart für verschiedene Tiere pathogen ist.

Eine besondere Stellung nimmt in der Gruppe der Algen *Leptothrix* ein. Es handelt sich um lange, schlanke, nicht verästelte Fäden, die in einer sehr feinen, dichten, körnigen Masse liegen. Bei starker Vergrößerung erkennt man

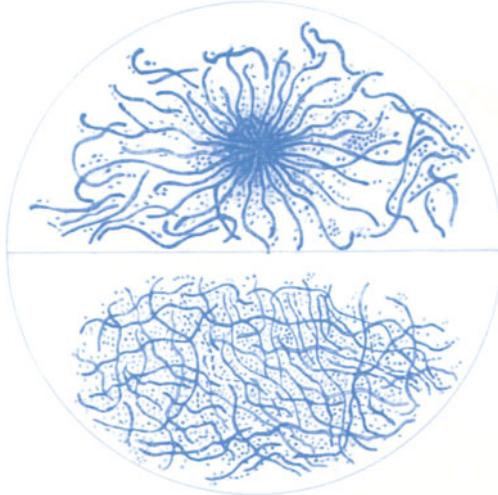


Abb. 51. Streptothrix (Konkrement der Tränenröhrchen).



Abb. 52. Streptothrix, Reinkultur.



Abb. 53. Streptothrix, Reinkultur.

innerhalb der Fäden rundliche Körner (Amylum), die sich bei Jodzusatz blau färben.

Kulturen sind bisher nicht gelungen.

*Leptothrix* findet sich am häufigsten als *Leptothrix buccalis* in dem Belag der Zähne. Sein Vorkommen am Auge ist nicht mit Sicherheit erwiesen. Es sind aber einige Fälle von Streptothrix irrtümlicherweise als *Leptothrix* angesprochen worden.

## V. Spirochäten.

Unter den Spirochäten (Spirillen) gibt es außer Saprophyten, die namentlich im Munde vorkommen, mehrere Arten, die Krankheitsprozesse (Spirillose) hervorrufen. Von ihnen nimmt nur die von SCHAUDINN im Jahre 1905 entdeckte

*Spirochaeta pallida*, die Erregerin des Lues, das Interesse des Ophthalmologen in Anspruch.

Sie hat das Aussehen einer Spirille von 6—15  $\mu$  Länge; aber auch noch längere Exemplare kommen gelegentlich vor. Die Dicke beträgt 0,25  $\mu$ . Die Windungen sind steil, tief und gleichmäßig. Ihre Zahl schwankt zwischen 6 und 30. Die Spirillen sind teils geradlinig gerichtet, teils gebogen und geschweift. Die Enden laufen spitz zu und tragen eine Geißel.

Bei der Herstellung eines Ausstrichpräpaats ist darauf zu achten, daß der Gewebssaft sehr dünn auf den Objektträger ausgestrichen wird, worauf 15 Minuten in Alkohol fixiert wird. Zur Färbung sind mehrere Methoden empfohlen worden.

1. Nach GIEMSA. Von der fertigen Eosinazurlösung kommen 1 bis 1½ Tropfen auf 1 ccm Wasser. Hierzu setzt man 1 bis 10 Tropfen Kaliumcarbonatlösung (1 : 1000). In dieses frisch bereitete Gemisch legt man die Präparate 15 Minuten bis 1 Stunde. Danach Abspülen und Trocknen. Die Spirochäten erscheinen blaßrot, die Kerne der Leukocyten dunkelrot.



Abb. 54. *Spirochaeta pallida*. Tuschepräparat.



Abb. 55. Spirochäten im Hornhautgewebe (LEVADITI).

2. Tuscheverfahren nach BURRI. Ein Tropfen spirochätenhaltigen Gewebssafts wird mit einem Tropfen flüssiger chinesischer Tusche (Fa. Günther & Wagner) gleichmäßig auf dem Objektträger verrieben und mit dem Rand eines Deckgläschens in dünner Schicht ausgestrichen. Man läßt das Präparat dann an der Luft trocknen. Die Spirochäten nehmen die Tusche nicht an und heben sich als glänzend weiße Gebilde sehr scharf von dem braun-schwarzen Grunde ab, so daß sie leicht aufzufinden sind (Abb. 54).

Es sind noch mehrere andere Färbemethoden angegeben worden, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann.

Zur Darstellung der Spirochäten in *Gewebsschnitten* eignet sich die Silberfärbung nach LEVADITI besonders gut. Man legt kleine Gewebsstücke zunächst für einige Tage in 10%ige Formalinlösung, alsdann nach Abwaschen mit Wasser für 24 Stunden in Alkohol. Darauf kommen sie in destilliertes Wasser, bis sie untersinken, nunmehr in 2%ige Höllesteinlösung in einem dunklen Gefäß. Hierin verbleiben sie 3 Tage im Brutofen bei 37 Grad. Alsdann werden sie wieder in Wasser abgespült und für 24 Stunden in folgende Lösung gelegt: Acid. pyrogall. 4,0, Formalin 5,0, Aqu. dest. 100,0. Hierauf erst wird eingebettet (Paraffin). Die Spirochäten erscheinen schwarz, die Gewebsteile dunkelgrau (Abb. 55).

Die Züchtung der *Spirochaeta pallida* gelingt zuweilen auf erstarrtem Pferdeserum und auf Ascitesagar. Die Resultate sind aber unzuverlässig. Nur das anaërobe Kulturverfahren führt zum Ziele. Es bilden sich teils zarte, abgegrenzte

Kolonien, teils hauchige Trübungen. Auch in flüssigen Nährböden, denen Serum oder Blut zugesetzt ist, kann man unter anaëroben Verhältnissen Kulturen erhalten.

Positive Impfungen erzielt man bei Affen, namentlich bei den höheren; aber auch Kaninchen sind für Syphilisinfektion empfänglich. Nach der Impfung der Kaninchenhornhaut entwickelt sich eine parenchymatöse Keratitis, in der die Spirochäten meist massenhaft zu finden sind.

Am menschlichen Auge kommt die Syphilis in allen Geweben vor, am häufigsten in der Uvea. Die *Spirochaeta pallida* ist dabei in vielen Fällen nachgewiesen worden, namentlich in der Hornhaut, in Papeln der Iris, im Gumma des Opticus, bei Scleritis, im Tränensack und im Kammerwasser. Auch in der *normalen* Hornhaut von neugeborenen Kindern mit erbter Syphilis sind Spirochäten gefunden worden.

## VI. Unbekannte Krankheitserreger.

In den Epithelzellen der an **Trachom** erkrankten Conjunctiva findet man charakteristische Gebilde, die teils als **Chlamydozoen**, teils als **Trachom-** oder **Einschlußkörperchen** bezeichnet werden.

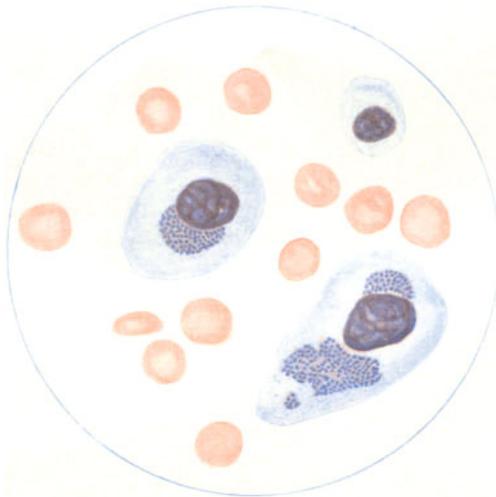


Abb. 56. Einschlußkörperchen bei Trachom.

Im ersten Entwicklungsstadium liegen sie in der Nähe des Zellkernes und enthalten runde oder ovale, sehr kleine kokkenartige Körperchen, die sich von echten Kokken durch ihren geringen Umfang unterscheiden. Sie werden von einem Reaktionsprodukt der Zelle eingeschlossen. Letzteres bläht sich mit der Vermehrung der Körperchen, bis es schließlich platzt und resorbiert wird. Die Körperchen liegen alsdann frei im Zellplasma.

Die Trachomkörperchen lassen sich gut nach GIEMSA darstellen. Sie erscheinen hierbei violett oder rötlich je nach der Färbedauer (Abb. 56).

LINDNER empfiehlt, die in absolutem Alkohol fixierten Epithelabstriche auf einer Lösung von nachfolgender Zusammensetzung schwimmen zu lassen: 5 Tropfen Giemsalösung (Orig. Grübler) + 10,0 Aqu. dest. + 1 Tropfen 1%ige Essigsäure.

Die Trachomkörperchen wurden zuerst von HALBERSTAEDTER und v. PROWAZEK bei Trachomkranken auf Java nachgewiesen, wobei ihre Vielgestaltigkeit hervorgehoben wurde. Eine Reihe anderer Forscher hat bestätigt, daß es sich hier um Gebilde handelt, die bei Trachom fast regelmäßig anzutreffen sind.

LINDNER glaubt zwei Hauptformen unterscheiden zu müssen, die Initialkörperchen, die scharf begrenzt, kokkenartig und blau erscheinen, und die Elementarkörperchen, die aus kleinen Körnchen bestehen und sich rot färben. Die ersteren betrachtet er als die Erreger des Trachoms. Sie haben verschiedene Form und Größe von allerkleinsten, kaum noch sichtbaren Körnchen bis zu 2  $\mu$  großen Kokken, die den Gonokokken ähnlich sind. Sie wurden sowohl innerhalb der Zellen als auch frei im Gewebe und Sekret nachgewiesen.

Naturgemäß hat es nicht an Bestrebungen gefehlt, durch Verimpfung und Züchtung das Wesen dieser Gebilde näher zu erforschen.

Zwar gelang es, bei der Überimpfung trachomatösen Materials aus der menschlichen Bindehaut auf die Conjunctiva von Affen in den Epithelzellen der trachomatös erkrankten Bindehaut der geimpften Tiere die Trachomkörperchen regelmäßig nachzuweisen, aber damit war ihre ätiologische Bedeutung noch nicht erwiesen. Erst eine Reinzüchtung auf künstlichen Nährböden mit anschließender positiver Impfung würde als Beweis dafür dienen können, daß die Trachomkörperchen die Erreger des Trachoms sind.

Als erste berichten NOGUCHI und COHEN über Experimente dieser Art. Sie legten abgeschabtes und excidiertes Material der Übergangsfalte in sterile Ascitesflüssigkeit, der sie frische Kaninchenniere zugesetzt hatten. Durch Überschichten mit Paraffinöl wurde der Luftabschluß bewirkt. Nach 3—4 Tagen bildete sich unter diesem anaëroben Verfahren bei einer Temperatur von 37° an den Gewebstücken eine Trübung, die zwei verschiedenartige Körnchen enthielt. Die einen färbten sich nach GIEMSA blau; sie waren ziemlich groß, von lanzett- oder eiförmiger Gestalt, die anderen waren rot gefärbt, sehr klein, rund oder oval, in Haufen zusammengeballt oder zu zweien lagernd. Sie waren allem Anschein nach aus jenen hervorgegangen.

Bei der Übertragung auf feste Nährböden, wobei leicht alkalischer Bouillonagar mit einem Teil 0,05% Glucoseascites verwendet worden war, wurde die Bildung sehr kleiner, kaum sichtbarer, durchscheinender Kolonien beobachtet. Bei der weiteren anaëroben Züchtung wurde auf Agar und in Bouillon auch ohne Zusatz von Serum Wachstum erreicht, und zwar auf ersterem in der Tiefe grauweiße Punkte, in letzterer feine staubförmige, leicht opaleszierende Trübungen. Gasbildung und Hämolyse fehlten. Die Tierimpfungen mit den Reinkulturen fielen negativ aus. NOGUCHI und COHEN lassen die Frage offen, ob die gezüchteten Körnchen mit den Trachomkörperchen identisch sind.

LINDNER ist der Ansicht, daß das von NOGUCHI und COHEN gezüchtete Bacterium granulosis wohl eine Follikulose zu erzeugen vermag, aber nicht der Erreger des Trachoms ist.

Auch andere japanische Forscher haben sich mit Kulturversuchen befaßt, ohne aber überzeugende Resultate zu erzielen.

Eine Reinzüchtung der Trachomkörperchen ist demnach bisher nicht gelungen, ebenso, wie auch eine positive Impfung der bisherigen Kulturen auf Menschen und Tiere nicht geglückt ist.

Was sonst an Mikroorganismen bei Kulturversuchen gewachsen ist, war eine Superinfektion mit Bakterien, die mit dem Trachomerreger nichts zu tun haben.

Das Wesen der Einschlußkörperchen ist noch nicht klargestellt. Irgendwelche Beweise, daß es sich um Mikroorganismen handelt, sind nicht erbracht.

Möglicherweise handelt es sich um Reaktionsprodukte der Zellen, die auf die Wirkung des noch unbekanntes Trachomerregers zurückzuführen sind.

Für diese Auffassung würde die Beobachtung einiger Forscher sprechen, die festgestellt haben, daß Körnchen, die den Trachomkörperchen völlig gleichen, aus zerfallenen Zellkernen hervorgegangen waren. Des weiteren konnte A. VON SZILY die gleichen Gebilde durch mechanische Läsion der Epithelzellen künstlich erzeugen.

Gegen die Auffassung, daß die Trachomkörperchen die Erreger des Trachoms seien, spricht allein schon die Tatsache, daß man dieselben Gebilde auch bei der nicht gonorrhoeischen Blennorrhöe der Neugeborenen sowie bei einigen anderen Formen von Bindehautentzündung gefunden hat, vor allem bei der Schwimmbadconjunctivitis, die mit Trachom nichts zu tun hat. Das Nähere hierüber findet sich in dem Kapitel der Bindehauterkrankungen.

Analoge Zelleinschlüsse finden sich ferner bei *Molluscum contagiosum*, Variola, Vaccine und Lyssa, sowie in dem Conjunctivalsekret von Schweinen, die an Schweinepest erkrankt sind. Eine ätiologische Bedeutung kann ihnen auch in diesen Fällen nicht zugesprochen werden.

Noch von mehreren anderen Augenkrankheiten, die sicher infektiöser Natur sind, ist der Erreger nicht bekannt. Wir denken hier besonders an den Herpes corneae, dessen Übertragung auf das Kaninchenauge zuerst GRÜTER gelungen ist, ferner an verschiedene Formen von Bindehautkatarrh, vor allem an die PARINAUDSche Conjunctivitis, von der einige Autoren annehmen, daß sie zur Tuberkulose Beziehungen besitze.

Bei der *Conjunctivitis necroticans infectiosa*, die hiermit einige Ähnlichkeit hat, fand PASCHEFF den *Mikrococcobacillus polymorphicus necroticans*.

Desgleichen ist die Ätiologie des Ulcus rodens, der sympathischen Ophthalmie und der Conjunctivitis vernalis noch nicht erforscht, deren infektiöser Charakter allerdings von einigen Seiten bestritten wird.

Außer den hier beschriebenen Mikroorganismen sind noch einige andere bei Augenkrankheiten gefunden worden. Es handelt sich aber um außerordentlich seltene Befunde, bei denen die ätiologische Bedeutung außerdem fraglich ist. Sie konnten daher in dem Rahmen dieser kurzen Abhandlung nicht berücksichtigt werden.

#### Literatur.

Die sehr umfangreiche Literatur findet sich in v. HERRENSCHWANDS „Pathogene Mikroorganismen des Auges“, in AXENFELDS „Bakteriologie in der Augenheilkunde“, in den „Ergebnissen der allgemeinen Pathologie“ von LUBARSCHE-OSTERTAG, in den Lehrbüchern der Bakteriologie und in den klinischen Kapiteln dieses Handbuchs.

# Namenverzeichnis.

(Die schrägen Zahlen verweisen auf die Literaturverzeichnisse.)

- AALL, A. 438, 450.  
 ABADIE, CH. 73.  
 ABBE, E. 461, 463, 482, 707.  
 ABBE, T. 736.  
 ABELSDORFF, G. 86, 88, 90, 93, 106, 107, 109, 556.  
 — W. DIETER und A. KOHLRAUSCH 106, 109, 196, 197, 204.  
 — KÖTTGEN und — 93, 96, 97, 98, 99, 110.  
 — WESSELY und — 28.  
 ABENDROTH, W. 349.  
 ABRAMOWICZ, I. 879.  
 ACHMATOV 195, 204, 367.  
 ACHONTE 705.  
 ACRES, L. H. 931.  
 ADAM 626, 633, 717, 983.  
 ADAMS, DOROTHY 174.  
 — P. H., L. BALL, T. H. BUTLER, CRIDLAND, ARCHER-HALL and WHEELER 702, 737.  
 ADAMÜCK 19, 26, 30, 31, 60, 65, 71, 73, 555, 717.  
 ADAMÜK, E. und M. WOINOW 504, 505, 506, 707.  
 ADLER 334.  
 — und LANDIS 26, 73.  
 ADOLPHI, G. 892, 895.  
 ADRIAN, E. D. 154, 155, 156, 159, 167, 168, 168.  
 — und D. W. BRONK 155, 168.  
 — und R. MATTHEWS 142, 155, 156, 157, 158, 167, 168.  
 AEBEY, J. 707.  
 — und L. KOEPPE 502.  
 AGNEW 556.  
 AHLBORN 889, 890, 891, 894, 895.  
 AHLNSTIEL, H., E. SACHS und H. STRECKFUSS 954, 956.  
 AHLGREN 9, 69.  
 AIRY, G. B. 747.  
 ALAJMO, B. 26, 73.  
 ALBADA, L. E. W. VAN 433, 441, 450.  
 ALBAN 889.  
 ALBERTOTH, G. 284, 293.  
 ALEXANDER, G. F. 736, 855, 856, 861, 979.  
 — und R. BÁRÁNY 405, 450.  
 — L. 564, 712.  
 ALEXIADÈS 666, 732.  
 ALFIERI 259.  
 ALLAN, J. B., CARR, H. and — 441, 451.  
 ALLEN, TH. D. 679, 756.  
 D'ALMEIDA, J. C. 434, 435, 450.  
 ALTSCHUL, W. 889, 895.  
 AMBERG 707.  
 AMBIALET 851, 852.  
 AMBRONN 541.  
 AMES, A. JR. und C. A. PROCUTOR 539, 541, 544, 662, 707.  
 — — und BLANCHE AMES 707.  
 AMICI, G. B. 747.  
 AMMANN, E. 436, 450, 928.  
 AMSLER, M. 844, 848, 879, 957.  
 AMSLER-HARTINGER 668.  
 ANDERSON 430.  
 — E. and FR. W. WEYMOUTH 450.  
 ANDOGSKY, N. 108, 109, 648.  
 ANDREAE, J. 69.  
 — P. 732.  
 ANGELUCCI, A. 71, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 87, 90, 90, 112, 116, 118.  
 D'ANSAN, J. R. 717.  
 ANTONIBON 6, 69.  
 APIN, KARL 911, 963, 979.  
 ARCHER-HALL, L. BALL, T. H. BUTLER, P. H. ADAMS, CRIDLAND and WHEELER 702, 737.  
 AREY, L. B. 81, 82, 83, 91.  
 ARGANARAZ, R. 620, 717.  
 ARISTOTELES 353.  
 ARLT, F. 599, 601, 604, 619, 620, 717.  
 ARNOLD 851, 852.  
 — H. und C. KARPOW 910, 911.  
 — J. 6, 11, 69.  
 ARRER, M. 440, 450.  
 ARRUGA, H. 842, 848.  
 ASAYAMA, J. 46, 47, 48, 73.  
 ASCHER, K. W. 21, 27, 34, 56, 73, 344, 440, 443, 450, 905, 911.  
 ASCHHEIM, H. 666, 667, 732.  
 ASHER, L. 293.  
 ASHLEY, L. 443, 450.  
 ASK, F. 22, 555, 586, 620, 642, 715, 717.  
 ASMUS, EDUARD 898, 899, 899, 976, 980.  
 ASSEN, IZN., I. v. und H. WEVE 895, 895.  
 ASSER 901.  
 AUBARET 263, 837, 838, 894.  
 — BRUNETIÈRE und — 657, 732.  
 AUBERT, H. 173, 174, 180, 184, 188, 193, 194, 197, 201, 214, 219, 221, 227, 241, 269, 283, 293, 349, 363, 382, 390, 394, 407, 410, 450, 499, 707, 943.  
 — und R. FOERSTER 943.  
 AUERBACH, KRIES, J. v. und — 427, 455.  
 AUGSTEIN 250, 262, 263.  
 AUSAN, J. R. 639.  
 AWEBACH, M. J. 504, 505, 506, 660, 702, 707, 732, 736.  
 AXENFELD, TH. 12, 69, 541, 582, 627, 632, 702, 712, 715, 718, 736, 898, 1010, 1038.  
 — und E. SCHÜRENBERG 698, 736.  
 AXT 653, 656, 732.  
 AYRES, W. C. 107, 109.  
 BAAS, KL. F. 259, 263, 601, 603, 628, 718.  
 BAB, W. 910, 911.  
 BACH, L. 89, 91.  
 BADER, A. 900, 902, 905, 906, 908, 911, 911.  
 BAER, K. 258, 263.  
 — N. A. 621, 718.  
 BAGNERIS 847.  
 BAIARDI 670.  
 BAIL 988.  
 BAILEY, J. M. 643, 718.  
 BAILLIART, P. 14, 71, 903, 907, 908, 909, 911, 915, 916, 917, 918, 919, 919.  
 — MAGITOT und — 14, 17, 18, 19, 72, 913.  
 BAIRD, J. W. 440, 450.  
 BAKLY, M. A. 736.  
 BALOBONINA, L. D. 541.  
 BALL, L., T. H. BUTLER, P. H. ADAMS, CRIDLAND, ARCHER-HALL and WHEELER 702, 736.  
 BALLANTYNE 908, 912.  
 BANG 21.  
 BANISTER, H., H. HARTRIDGE and R. J. LYTHGOE 928.  
 — und K. G. POLLOCK 682, 736.

- BAPPERT, J. 440, 450.  
 BÄR, CARL 732.  
 BARABAŠOV, P. 879.  
 BARÁNY, R. 404, 445, 450.  
 — ALEXANDER und — 405, 450.  
 BARBATO 964.  
 BARBIERI 942.  
 BARD, L. 414, 450.  
 BARKAN, OTTO 852, 861.  
 BARRÉ, DUVERGER und —  
 14, 72.  
 BARRINGTON und PEARSON  
 562, 712.  
 BARSALBU 643, 718.  
 BARŠAN 848.  
 BARTELS, M. 406, 446, 450,  
 585, 616, 617, 639, 718,  
 910, 912, 952.  
 BARTH, WALTER 893, 895.  
 BASLER, ADOLF 174, 174, 407,  
 408, 409, 450, 928.  
 BASLINI, C. 928.  
 BASTERRA, S. C. 572, 715.  
 BATES, L. F. 670.  
 — W. H. 732.  
 BATSCHWAROWA, S. 87, 91.  
 BATTEN 587.  
 BAUER, V. 34, 106, 109.  
 BÄUERLEIN 686, 736.  
 BAUM, F. 879.  
 BAUMGARTEN 1019.  
 BAURMANN, M. 17, 23, 29, 43,  
 55, 58, 59, 63, 71, 73, 864,  
 879, 917, 919.  
 BAYER, L. 165, 168, 209, 219,  
 582, 715.  
 — BECKER 718.  
 BEACH, S. JUDD 928, 961, 980.  
 BEAUVIEUX et DELORME 702,  
 737.  
 BECCARIA, F. 667, 732.  
 BECHSTEIN 274.  
 BECK, A. 120, 127, 168, 928.  
 BECKER 15, 16, 71, 718.  
 — CL. 732.  
 — O. v. 542, 558, 587, 669,  
 707, 718, 737.  
 BECKERS, H. 589, 619, 718.  
 BECKERSHAUS, F. 562, 625, 712,  
 718.  
 BEDELL, A. J. 877, 878, 879.  
 BEER, B. 73.  
 — TH. 39, 71, 541, 542, 692,  
 737.  
 BEHAIM 556.  
 BEHR, C. 60, 61, 73, 255, 256,  
 263, 263, 329, 616, 702,  
 718, 737, 859, 861, 933,  
 943, 949.  
 BEHSE, E. 614, 718.  
 BEIGER 959.  
 BÉKÉS, D. 643, 718.  
 BELECHRADEK, J. 662, 732.  
 BELIKOV 367.  
 BELLARMINOFF, L. 65, 66, 73.  
 BENCE-JONES 11, 69.  
 BENHAM 219.  
 BENOIT, MIEL und — 38, 46,  
 48, 60, 77.  
 BENTZEN, CHR. F. 43, 46, 67, 73.  
 — und TH. LEBER 46, 73.  
 BENUSSI, V. 392, 411, 451.  
 BERENS, C. 700, 935, 943, 982.  
 — und E. K. STARK 737.  
 BERESINSKAJA 625, 718.  
 BERG, F. 29, 64, 74, 499, 500,  
 501, 502, 562, 563, 622,  
 659, 667, 707, 713, 732,  
 980.  
 BERGAMI, G. 69.  
 BERGER 843, 957.  
 BERGMANN, G. v., G. EMB-  
 DEN, A. BETHE und A. EL-  
 LINGER 737.  
 BERLIN, E. 505, 506, 707.  
 BERLINER, A. 460, 707.  
 — und DÜRR 306.  
 BERLING 557.  
 BERMAN, M. B., YUDKIN,  
 KRAUSE, GOLDSTEIN and  
 — 79.  
 BERNARD, CL. 18, 22, 71, 74.  
 BERNSTEIN, F. 680, 737.  
 — und H. STEINHAUS 737.  
 BERTH-NEUMANN 971.  
 BERTHÉLÉMY 952.  
 BERTHOLD, E. 16, 71, 395,  
 396, 397, 451.  
 BERTHIER 434.  
 BERZELIUS 74.  
 BESOLD 619, 718.  
 BEST, F. 182, 183, 195, 196,  
 197, 204, 262, 263, 280,  
 293, 317, 329, 349, 380,  
 442, 446, 451, 562, 625,  
 713, 920, 922, 928, 943.  
 — und H. HAENEL 349.  
 BETHE, A. 160, 166.  
 — G. v. BERGMANN, G. EMB-  
 DEN und A. ELLINGER 737.  
 BETSCH, A. 560, 561, 615, 712,  
 718.  
 — SCHERER, R. und — 550,  
 551, 560.  
 BETTI 912, 912.  
 BEUCHELT, H. 123, 124, 133,  
 168.  
 BEYNE, J. et G. WORMS 928.  
 BEZOLD, W. v. 349.  
 — v. und ENGELHARDT 873,  
 880.  
 BIEDERMANN, H. 680, 737,  
 924, 928.  
 BIEGEL 552, 718.  
 BIELSCHOWSKY, A. 396, 446,  
 451, 576, 581, 645, 698,  
 715, 718, 737, 943.  
 — und F. B. HOFMANN 454.  
 BIERENS DE HAAN, ROELOFS  
 und — 931.  
 BIETTI, A. 598, 718.  
 BIHLER, W. 396, 451.  
 BINNEFELD, M. 389, 451.  
 BIONDI-HEIDENHAIN 90.  
 BIRCH-HIRSCHFELD, A. 83, 89,  
 91, 197, 204, 262, 263, 286,  
 293, 581, 603, 641, 657,  
 659, 715, 718, 732, 852,  
 852, 937, 941, 943.  
 — und N. INOUE 89, 91.  
 BIRKHÄUSER, R. 842, 843, 848,  
 925, 926, 928.  
 BIRNBACHER, L. 90, 91.  
 BIRNBACHER, TH. 260, 261,  
 262, 263, 449, 451.  
 — und CZERMAK 52.  
 BISHOP, G. H., ERLANGER,  
 GASSER und — 155, 169.  
 BISTIS, J. 702, 737, 880.  
 BJERKE, E. 566, 567.  
 — K. 508, 630, 631, 632, 707,  
 718, 899, 968.  
 BJERRUM, J. 293, 586, 616,  
 628, 712, 718, 940, 941,  
 943.  
 BLACHOWSKI 225, 241.  
 BLACK, M. 570, 715.  
 BLANCHARD, J. 195, 204, 240,  
 241, 241, 242, 263, 287,  
 293.  
 BLANCO, T. 848.  
 BLANK, J., R. CORDS und —  
 702, 737.  
 BLASKOVICS, L. v. 926, 928.  
 BLATT, N. 698, 700, 702, 737.  
 BLEGVAD, O. 261, 263, 555,  
 584, 586, 618, 619, 627,  
 638, 718.  
 BLESSIG 899.  
 BLIEDUNG, C. 15, 71, 858, 861,  
 912, 915, 916, 917, 918, 919.  
 BLIER, J. A., N. KLEITMAN  
 and — 944.  
 BLIX, M. 499, 504, 707.  
 BLOCH 265, 266, 293.  
 BLONDEL 271.  
 BLOOM 197.  
 — S. und S. GARTEN 386,  
 451, 928.  
 BLUM, J. F. 702, 737.  
 — PAUL, ERNEST SCHAAFF  
 956.  
 BLUMENFELD, W. 400, 438,  
 441, 451.  
 BOCCI 682, 737.  
 BODENSTEIN, M. 370, 377.  
 BOÉ, F. 69, 74.  
 BOEGEHOLD, H. 460, 466, 478,  
 480, 491, 510, 539, 542,  
 544, 707, 787, 796, 797,  
 798, 799, 801, 833.  
 BOGATSCH, W. 625, 718.  
 BOGERODITZKI, N. 855, 856.  
 BÖHM, F. 631, 633, 657, 718.  
 BOHNENBERGER, F. 174, 541,  
 643, 707, 718.  
 BOIS-REYMOND, E. DU 119,  
 161, 168.

- BOKSTEIN, T. S. 895.  
 BOLÉ 27.  
 BOLL, FR. 81, 84, 86, 87, 91, 93, 94, 102, 109, 118, 204.  
 BOLLACK, J. 895.  
 — DARLAUX et SUZANNE DELAPLACE 895.  
 BOLTUNOW 707.  
 BONNEČ, E. 707.  
 BONNEFON 67, 74, 633, 634, 718.  
 BONNET, LAFON und — 570, 716.  
 BONYERIS und TSCHERNING 562.  
 BORG, VAN DEN 662.  
 BORMANN-DONDERS 569.  
 BORREL 1017.  
 BORSCHKE, A. und L. HESCHELES 409, 451.  
 BOSE, J. Ch. 449, 451.  
 BOTHMAN, L. 620, 718.  
 BOTTAZZI und STURCHIO 24, 27, 68, 74.  
 BOTWINNIK, N. 659, 667, 669, 718.  
 BOUCHART, A. 643, 718.  
 BOUCHERON 30.  
 BOURDEAUX 639, 718.  
 BOURDIER 263, 263.  
 BOURDON, R. 381, 402, 403, 405, 407, 430, 438, 440, 443, 449, 451.  
 BOURGIGNON 211, 219.  
 BOVIE, W. T. CHAFFEE — and HAMPSON 126, 128, 132, 133, 142, 169.  
 BOWMAN, W. 901, 912.  
 BRAILOWSKY, S. 922, 928.  
 BRANDES 662.  
 BRÄTER, R. und H. HARTINGER 880.  
 BRAUN, F. 859, 861.  
 BRETAGNE, P. 547.  
 — und DUFOUR 872.  
 BREUER, J. und A. KREIDEL 404, 451.  
 BREWSTER, C. 443, 448, 451.  
 — D. 232, 349.  
 BRILL, E. und R. THIEL 861, 861.  
 BRISEAU 901.  
 BRITSCH 850.  
 BROCA, ANDRÉ 860, 861.  
 BRODHUN, E. 276, 293.  
 — KÖNIG und — 142, 170, 182, 183.  
 — LUMMER und — 212, 220.  
 BROEKEMA 570, 575, 576, 577, 715.  
 BROEMSER, PH. 159, 166, 168.  
 BRONK, D. W., ADRIAN, E. D. und — 155, 168.  
 BRONSTEIN 654, 655, 732.  
 BROSSA, A. und A. KOHLRAUSCH 137, 143, 145, 146, 147, 149, 167, 169, 170.  
 BROWN, A. S. 686, 737.  
 — E. V. S. 572, 715, 905, 912.  
 — und P. C. KRONFELD 712.  
 BRÜCKE 865.  
 — E. 241, 349.  
 — E. TH. v. 166, 169, 192, 211, 213, 219, 227, 230, 232, 409, 440, 447, 448, 450, 451.  
 — BRÜCKNER, A. und — 450, 451, 452, 951, 952.  
 — CORDS, R. und — 451.  
 — S. GARTEN 120, 123, 125, 126, 127, 128, 130, 132, 133, 134, 135, 137, 169.  
 BRÜCKNER, A. 25, 29, 60, 74, 190, 193, 204, 226, 231, 241, 336, 349, 349, 364, 413, 451, 460, 468, 478, 585, 618, 682, 707, 737, 833, 835, 838, 838, 867, 916, 919, 922, 924, 925, 929, 949, 951, 952, 952.  
 — und E. TH. v. BRÜCKE 450, 451, 951, 952.  
 — und FRANCESCHETTI 253, 719.  
 — und W. MEISNER 719, 732, 840.  
 BRUNETIÈRE und AUBARET 657, 732.  
 BRUNETTI, L. 895, 895.  
 — und KOCK 894, 895.  
 BRUNS und DICKSON 667.  
 BUCHNER 996.  
 BUFIIL 633, 719.  
 BUGLIA 7, 12, 69.  
 BÜHLER, A. 72.  
 — K. 389, 451.  
 BUJADOUX, KOFMAN et — 859, 862.  
 BULL 659, 667, 669, 732.  
 BULLOT, G. 69.  
 — und L. LOR 4, 69.  
 BULTMANN, H. 386, 451.  
 BUMKE 858, 859, 861, 861.  
 BUNGE 994, 1016.  
 BURCHARDT 525, 971.  
 BURDEN-COOPER, J. 69.  
 BURDOW-COOPER 9.  
 BURGER und G. SCHLOMKA 4, 7, 69.  
 BURKY und WOODS 7, 69.  
 BURMESTER, L. 443, 451, 794, 833.  
 BUROW, K. 815.  
 BURRI 1035.  
 BUSACCA, A. 702, 737.  
 BUSCH, EMIL 855, 856, 856, 857.  
 BUSSE, O. 1030.  
 BUSYGIN, N. 867, 880.  
 BUTLER, T. H. 598, 712, 719, 911, 912.  
 BUTTLER, T. H., L. BALL, P. H. ADAMS, CRIDLAND, ARCHER-HALL and WHEELER 702, 736.  
 BUTTMANN 197.  
 BÜTTNER 72.  
 CABANNES et MARCAT 662, 732.  
 CADY 732.  
 CAHN, A. 8, 22, 74, 112, 116.  
 CAMERON, W. G. 702, 737.  
 CAMPBELL, J. A. 737.  
 CAMPOS 854, 856.  
 CANDIAN, F. 581, 715, 719.  
 CANTANO, S. 856.  
 CAONNET, A. 880.  
 CAOUCHANSKY, C. 645.  
 CARLINI, 41, 42, 74.  
 CARR, H. 410, 451.  
 — and J. B. ALLAN, 441, 451.  
 CARY, W. 671, 746.  
 CASATI, C. 645, 719.  
 CASO, G. 589, 719.  
 CASPAR, L. 595, 719.  
 CASTELLO, B. 700.  
 CASTRESANA, ANGEL 880, 895, 895, 953, 954, 956.  
 CATH 633, 719.  
 CATTANEU D. 688, 737.  
 CAVARA, V. 648, 653, 655, 656, 657, 660, 732.  
 CAVAZZANI 22, 74.  
 CÉRISE, L. 948.  
 CHABBAS 22, 74.  
 CHAFFEE, E. L. W. T. BOVIE und HAMPSON 126, 128, 132, 133, 142, 169.  
 — KEELER, C. E., E. SUTCLIFFE und — 161, 170.  
 CHAILLOUS 1014.  
 CHARPENTIER, A. 194, 204, 211, 215, 219, 230, 410, 413, 451.  
 CHATIN, J. 143, 169.  
 CHEVREUIL 6.  
 CHIARINI, P. 80, 81, 83, 86, 87, 89, 91.  
 CHODIN 112, 116, 388, 451.  
 CHOLINA, A. A. 679, 702, 737, 929.  
 CHRISTEN 890.  
 CITELLI, SALVATORE 885, 886.  
 CITRON, H., HERTEL, E. und — 56, 75.  
 CITTES 689.  
 CLARKE, E. 619, 679, 680, 712, 719, 732, 737.  
 CLAUDE, H., A. LAMACHE et J. DUBAR 919.  
 CLAUDIUS 992.  
 CLAUSEN, W. 569, 615, 616, 622, 625, 637, 715, 719.  
 CLAY, JOSEPH V. F. 895.  
 COCCIUS, E. A. 6, 16, 17, 72, 685, 686, 737, 875, 901, 912.  
 COHEN, NOGUCHI und — 1037.  
 — M. 905, 912.

- COHEN, M., M. KAMNER and J. A. KILLIAN 8, 22, 28, 69, 71.  
— KILLIAN and N. METZGER 27, 74.  
— O. 621, 719.  
COHN 334, 338.  
— H. 554, 585, 586, 615, 617, 618, 622, 637, 719, 850, 851, 852.  
COLDEN 621, 719.  
COLENBRANDER 871.  
COLLEVATI, N. 24, 74.  
COLLIN, R. 4, 69, 350, 702, 737, 939, 943.  
COLLINS, E. T. 737.  
COLOMBO, G. L. 644, 719.  
COMBERG, W. 164, 172, 197, 204, 217, 219, 219, 225, 231, 233, 241, 280, 281, 286, 290, 293, 306, 451, 541, 616, 665, 719, 732, 848, 870, 880, 891, 892, 894, 895, 910, 912, 922, 933, 939, 943, 947, 948.  
CONADAN, A. 622.  
CONRAD 633, 719.  
CONTINO, A. 504, 565, 707, 713, 926, 929.  
COPEZ, J. H. 919, 919, 925, 929, 933, 956.  
— LÉON 895.  
CORDES, F. C., W. S. FRANKLIN, W. D. HORNER and — 896.  
CORDS, R. 213, 219, 379, 409, 418, 443, 451, 577, 580, 581, 737, 812, 850, 888, 895, 921, 943.  
— und J. BLANK 702, 737.  
— und E. TH. v. BRÜCKE 451.  
— und W. DRÜGG 896.  
CORNELIUS, C. S. 402, 451.  
COSTE LO, B. 737.  
COUTELA 928.  
COUTIUS, A. 707.  
COWAN, A. 929, 940, 942, 943.  
CRAMER 13, 683, 719, 737, 950, 951.  
CRAMPTON, S. 719.  
CRAWLEY, HENRY 852, 855, 856.  
CREMER, M. 159, 166, 169.  
CREVELD, VAN S. 25, 74.  
CRIDLAND, B. 900, 907, 912.  
— L. BALL, T. H. BUTTLER, P. H. ADAMS, ARCHER-HALL and WHEELER 702, 736.  
CRISP, W. H. 980.  
CRISPO 669.  
CUCCHIA, A. 737, 943.  
CUFF, NOEL, B. 424, 451.  
CUGNET, F. 72, 526, 976.  
CULMANN, P. 792.  
CUMMING 865.  
CYTOVIĆ, M. 948, 948.
- CZAPLEWSKI und JADASSOHN 992.  
CZAPSKI, S. und O. EPPENSTEIN, 460, 466, 497, 707.  
CZELLITZER, A. 504, 509, 589, 625, 648, 650, 686, 707, 719, 732, 737.  
CZERMAK, BIRNBACHER und — 52.  
— J. N. 737, 875.  
CZERNY 72, 84, 90, 91.  
CZERWONSKY 556.
- DAAE 334.  
DALÉN, AMIN 690, 713, 738, 885, 886.  
DALTON 306.  
DAMADSCHEFF, ST. 702, 738.  
DAMEL, CARLOS 919, 919.  
DANADSCHEFF, ST. 738.  
DANFORTH 319.  
DANIEL, L. 575, 701, 715.  
DANIELS, B. 738.  
DARIAUX, BOLLACK, SUZANNE DELAPLACE et — 895.  
DARIER 578.  
DARLING 630, 732.  
DASTRE und MORAT 18.  
DASTRICH 396.  
DAVIDSON, M. 943.  
DAVIES, A. E. 644, 645, 719.  
DAVIS 719.  
DAY, E. C. 126, 134, 162, 169.  
DECKER, JAY C. 701, 738.  
DEICHLER, L. W. 943.  
DEKING, H. M. 844, 848.  
DEGANELLO, MANCA und — 23, 70.  
DEJEAN, CH. 694, 738.  
DELAGE, Y. 405, 451.  
DELAPLACE, SUZANNE, BOLLACK, DARIAUX et — 895.  
DELBOEUF 393, 451.  
DELORME, BEAUVIEUX et — 337, 702.  
DEMETRIADES, J. 692, 738.  
DEMICHÉRI 644, 719.  
DERBY, GEORGE S. 885, 886.  
— H. 554.  
DESPAGNET 586.  
DETERING, C., MANGOLD, E. und — 905, 906, 913.  
DETWILER, S. R. 86, 91.  
DEUSCH, G. 702, 738.  
DEUTSCHMANN, R. 10, 11, 21, 22, 34, 35, 60, 69, 74, 625, 719.  
DEVEREUX-MARSHALL, ED-  
RIDGE-GREEN und — 107, 109.  
DEVNEY, KRONFELD und — 551, 647, 648, 656, 713, 734.  
DEWAR, J. und J. G. M'KEN-  
DRICK 120, 125, 127, 128, 142, 143, 149, 169.
- DIANOUX 639, 719.  
DIAZ-CANEJA, E. 449, 452.  
DICKSON, BRUNS und — 667.  
DIEDRICHS, C., HESS, C. und — 713.  
DIETEL und PLENK 94, 109.  
DIETER, W. 22, 24, 57, 58, 72, 74, 106, 109, 204, 204, 206, 244, 245, 246, 263, 350, 950, 950.  
— ABELSDORFF, KOHLRAUSCH und — 106, 109, 196, 197, 204.  
— und FISCHER 16.  
DIETERICI, C., KÖNIG, A. und — 351.  
DIETRICHS 554.  
DIMMER, F. 449, 452, 650, 738, 877, 878, 880.  
— und A. PILLAT 878, 880.  
DINGER, A. N. 554, 585, 719.  
— G. 952.  
— J. E. 617, 619, 719.  
DISTLER 633, 719.  
DITTLER, R. 83, 87, 90, 91, 93, 112, 113, 114, 116, 119, 169, 202, 375, 378, 402, 403, 404, 405, 406, 410, 452, 514, 921, 932.  
DITTMARS 225, 241.  
DIXON, E. T. 440, 452.  
DMITROWSKY 72.  
DOBROWOLSKY, W. 395, 452, 557, 619, 662, 715, 719, 738.  
— und A. GAINÉ 387, 452.  
DOBSON, MARGARET, A. 873, 880, 980.  
DOESSCHAETE, TEN 564, 657, 712, 715, 732, 900, 912.  
DOGIEL, J. 21, 74.  
DOLD und SCHIECK 989.  
DOLGANOFF 648, 666, 732.  
DOMEC 629, 639, 719.  
DONAUT 18.  
DONNERS, F. C. 6, 15, 16, 55, 56, 74, 94, 160, 169, 190, 268, 348, 350, 360, 363, 395, 416, 420, 440, 452, 460, 504, 510, 516, 518, 524, 529, 534, 541, 542, 556, 573, 575, 578, 604, 615, 619, 637, 646, 647, 666, 669, 678, 679, 680, 683, 696, 699, 701, 707, 715, 719, 732, 733, 747, 749, 750, 786, 794, 871, 880, 912, 936, 966, 980.  
DONOVAN, CORNELIO 896.  
DOR, H. 585, 586, 719, 777, 903, 912, 929.  
DÖRFFEL 334.  
DOVE, H. W. 443, 448, 452.  
DOWLING 556.  
DOWMY, JUNE E. 424, 452.  
DOWNEY, J. W. 943.  
DOYNE 720.

- DOYON, M. 72.  
 — MORAT, J. P. und — 18, 19, 72, 742.  
 — PONCET und — 18.  
 DRANSART 720.  
 DRAFER, J. W. 350.  
 DRESCHER, K. und W. TREND-  
 DELENBURG 293, 429, 458.  
 DRESER, H. 95, 109.  
 DRESSLAR, F. B. 407, 452.  
 DREUSCHUCH, FR. und ANT.  
 SÁCHA 896.  
 DREYFUS, P. A. et S. WEN-  
 GER 738.  
 DRUAULT, A. 72, 513, 541, 542,  
 547, 707.  
 — H. 547.  
 — HALLADIE und — 871.  
 — TOUFESCO, S. 556, 587,  
 619, 620, 625, 626, 627, 712,  
 720.  
 DRÜGG, W., CORDS, R. und —  
 896.  
 DUANE, A. 678, 679, 680, 681,  
 694, 701, 738, 982, 983.  
 DUBAR 925, 929.  
 — J., CLAUDE, H., A. LA-  
 MACHE et — 919.  
 DUBAR und THIENLIN 556.  
 DUBOIS, H. F. 555, 556, 713,  
 720.  
 DU BOIS-REYMOND 575, 715.  
 DUCA, MICHELE DEL 894, 896.  
 DUDGEON, R. 831.  
 DUFOUR, M. 880, 925, 929,  
 980.  
 — BRETAGNE und — 872.  
 DUKE-ELDER, W. St. 14, 15,  
 17, 22, 24, 29, 58, 72, 74,  
 583, 715, 720.  
 DUKEN 888, 889, 896.  
 DUNGERN, E. v. 362, 364.  
 DUPONT, G. 848.  
 DUPUYS-DUTEMPS 698.  
 — et PÉRIN 645, 720, 738.  
 DURAND, ROLLET et — 852,  
 853.  
 DÜRR und SCHLEGTENDAL  
 603, 720.  
 — BERLINER und — 306.  
 — EBBINGHAUS und — 407.  
 DUSCHNITZ 715.  
 DUVERGER und BARRÉ 14, 72.  
 DVORAK, V. 408, 409, 452.  
 DYCK, L. TH. VAN 619, 620,  
 626, 628, 720.  
 DYMŠIC, L. 935, 943.  
 EBEBECKE, U. 199, 207, 212,  
 213, 219, 219, 248, 350,  
 413, 452, 935, 943.  
 EBBINGHAUS, H. 360, 361, 364.  
 — und DÜRR 408.  
 EBER, S. I. 880, 949, 950.  
 ECKSTEIN, A., E. ENGELKING  
 und 350, 935, 937, 943.  
 EDMUND 291.  
 EDRIDGE-GREEN, F. W. 107,  
 109, 174, 174.  
 — und DEVEREUX-MARSHALL  
 107, 109.  
 EDWARDS, H. G. F. 890, 896.  
 EGUCHI, H. 922, 929.  
 EHMANN 566, 713.  
 EHRENFELS, CHR. v. 179, 183,  
 408, 452.  
 EHRlich 30, 63, 74.  
 EHRMANN 56.  
 EINTHOVEN, W. 392, 443,  
 452, 544, 545, 708.  
 — und JOLLY 135, 137, 139,  
 140, 146, 162, 169.  
 EISECK 644, 720.  
 EISEN, W. 912.  
 EISLER, P. I, 5, 604, 608, 688,  
 889.  
 EISSEN, W. 657, 720, 733.  
 ELINSON 18.  
 ELLET, E. C. 911, 912.  
 ELLINGER, A., BETHE, A. G.  
 v. BERGMANN, G. EMBDEN  
 und — 737.  
 ELLIOT, R. H. 541, 708, 905,  
 912.  
 ELLIS, E. W. 733.  
 — WESCOTT and — 731.  
 ELSCHNIG, A. 438, 452, 572,  
 583, 595, 600, 601, 603,  
 612, 631, 632, 633, 644,  
 659, 666, 713, 715, 720,  
 733, 922, 952, 952.  
 — und F. GNAD 929.  
 — H. H. 848.  
 ELY, E. T. 552, 713, 720.  
 EMBDEN, G., A. BETHE, G. v.  
 BERGMANN und A. EL-  
 LINGER 737.  
 EMMERICH und Löw 1016.  
 EMMERT, E. 616, 633, 720, 851,  
 853.  
 EMSLEY, H. H. 662, 733.  
 ENGEL, S. 860, 861, 943.  
 — WILLY 179, 183.  
 ENGELBRECHT, K. 651, 672,  
 733, 890, 892, 894, 896.  
 ENGELHARDT 880.  
 — v. BEZOLD und — 873, 880.  
 ENGELKING, E. 248, 308, 309,  
 310, 318, 319, 336, 350,  
 410, 446, 452, 853, 856,  
 859, 861.  
 — und A. ECKSTEIN 350, 935,  
 937, 943.  
 — und H. HARTUNG 285, 350.  
 — und F. POOS 210, 219.  
 ENGELMANN, A. 912.  
 — TH. W. 80, 81, 82, 83, 87,  
 91, 118, 145, 169.  
 — und GRIJNS 169.  
 ENROTH, E. 583, 715,  
 ÉPERON 633, 720.  
 EPPENSTEIN, A. 713, 943.  
 EPPENSTEIN, O. 548, 557.  
 — CZAPSKI, S. und — 460,  
 466, 497, 707.  
 EPPLER 16,  
 ERB 350, 896.  
 ERDMANN, P. 46, 67, 74.  
 ERGGELET, H. 64, 74, 435,  
 452, 460, 472, 478, 499,  
 568, 581, 636, 672, 701,  
 703, 708, 713, 720, 738, 745,  
 786, 826, 833, 838, 844,  
 848, 867, 871, 877, 880,  
 885, 886, 919, 921, 924.  
 ERIKSEN 500, 708.  
 ERISMANN, F. 554, 555, 586,  
 720.  
 ERLANGER, J., GASSER, H. S.  
 und — 169.  
 — J., H. S. GASSER und G.  
 H. BISHOP 155, 169.  
 ERMENGHEM, VAN 994.  
 ESSÉD, W. F. R. 617, 720.  
 — und M. SOEWARNO 720.  
 ESSER, A. ALBERT M. 452, 880.  
 EUNIKE, FR. 633, 720.  
 EVANS, J. N. 941, 943.  
 EWALD 11, 69, 94, 95, 109, 903,  
 912.  
 — J. R. und O. GROSS 435,  
 452.  
 — und W. KÜHNE 86, 91, 99,  
 107, 109.  
 EWING, A. E. 894, 925, 929.  
 EXNER, F. 350.  
 — S. 85, 91, 160, 164, 169,  
 192, 204, 206, 207, 211,  
 219, 227, 241, 406, 407,  
 408, 409, 410, 446, 452.  
 — und JANUSCHKE 84, 85,  
 88, 89, 91.  
 FACKENHEIM 859, 861.  
 FÄHNDRICH 648, 653, 655,  
 656.  
 FALKENBERG, J. 561, 573.  
 FALKENBURG, J. und M.  
 STRAUB 561, 713, 715, 720.  
 FALTA, M. 947, 948.  
 FARID BEY, N. 733.  
 FATER, S. 675, 676, 733.  
 FAVALORO, G. 552, 621, 720.  
 FAVAUGE-BRUYEL, DE, ROE-  
 LOFS, R. und — 424, 457.  
 FAVORY, A. 738.  
 FAZIO, G. 952.  
 FECHNER, G. TH. 143, 179,  
 180, 181, 182, 183, 213,  
 219, 221, 225, 227, 230,  
 231, 232, 241, 350, 379,  
 388, 402, 445, 447, 448,  
 452, 835, 838.  
 FECHNER-HELMHOLTZ 226.  
 FEDERICI, E. 589, 595, 720.  
 FEIGENBAUM, A. 254, 263, 620,  
 720.

- FEILCHENFELD, H. 393, 399, 405, 452.  
 FELEHLIN, M. 4, 9, 69.  
 FENTON, R. A. 943.  
 FERGUS, F. 943.  
 FERGUSON 569.  
 FERNBACH 65.  
 FERREE, C. E. und G. RAND 664, 733, 858, 861, 922, 926, 927, 929, 933, 934, 939, 943, 961, 980.  
 — — and M. M. MONROE 944.  
 — — and L. L. SLOAN 944.  
 FICK, A. 174, 174, 182, 206, 360, 364, 397, 452, 900, 903, 912.  
 — A. E. 386, 452, 618, 662, 733, 825, 826, 833.  
 — EUGEN 912.  
 — R. A. 912.  
 FIKENTSCHER 350.  
 FILEHNE, W. 87, 91, 241, 399, 442, 452.  
 FILETI, A. 696, 738, 963, 980.  
 FIMBEL 929.  
 FINCHAM, E. F. 504, 506, 683, 684, 686, 693, 694, 708, 738, 843, 942.  
 FISCHER 35.  
 — DIETER und 16.  
 — E. 720.  
 — F. P. 6, 69, 74, 428, 453, 502, 691, 708, 738, 837, 833, 844, 848, 871, 872, 880, 906, 912, 950.  
 — M. H. 55, 74, 206, 225, 241, 405, 410, 453.  
 — und A. E. KORNMÜLLER 404, 453.  
 — N. 291.  
 — O. 407, 453.  
 — R. 388, 393, 394, 396, 453.  
 FIUMARA, A., MACCO, G. DI e —, 682 741.  
 FLASCHENTRÄGER, H. 90, 91.  
 FLECKER, H. 896.  
 FLEISCHER, B. 604, 625, 644, 713, 720, 892, 894, 905, 912, 941.  
 — S. 74.  
 FLEISCHL, v. 6, 69, 407, 410, 449, 453.  
 FLBS 952.  
 FLIERINGA, H. J. 696, 701, 702, 738.  
 — und J. VANDER HOEVE 738.  
 FLORESCO, JONESCO und — 19, 72, 76.  
 FLORSCHÜTZ, B. 554, 555, 585, 720.  
 FOERSTER, R., AUBERT, H. und — 943.  
 FÖRSTER, R. F. 249, 250, 252, 254, 263, 269, 283, 284, 293, 399, 411, 453, 595, 618, 637, 638, 721, 944.  
 FORSTER, v. RIEGER und — 18, 19, 73.  
 FÖRSTERLING, J. 460.  
 — K. 708.  
 FORTIN, E. P. 695, 738, 950, 950.  
 FRACASSI 620, 721.  
 FRANCESCETTI, A. 25, 29, 74, 245, 307, 344, 350, 563, 585, 622, 625, 874.  
 — BRÜCKNER und — 253, 718.  
 — GUGGENHEIM, IRMA und — 29, 75.  
 — und C. HALLAUER 25, 74, 75.  
 — und H. WIELAND 22, 25, 26, 29, 74.  
 FRANÇOIS, M. und H. PIÉRON 93, 109.  
 FRANK, OTTO 900, 912, 918.  
 FRÄNKEL, F. 880.  
 — und GABBET 1016.  
 FRANKLIN, B. 818, 820.  
 — LADD 191.  
 — W. S., F. C. CORDES, W. D. HORNER 896.  
 FRANZ, W. 586, 721.  
 FRASER, J. 392, 453.  
 FRAUNHOFER, J. 461, 542, 544, 708.  
 FREEMAN, E. 929, 932, 944.  
 — H. 856.  
 FREI, E. 880.  
 FREILING, JAENSCH, E. R. REICH und — 428, 455.  
 FRENKEL, H. 643, 721.  
 FRENZEL, H. 715.  
 FRESNEL 461, 542.  
 FREUNDLICH 124, 169.  
 FREY, E. 701.  
 FREY, M. v. 863, 946, 947, 948.  
 — und H. STRUGHOLD 948.  
 FREYTAG, G. 508, 708.  
 FRIDENBERG, P. 579, 715.  
 FRIEBERG, F. 581, 698, 716.  
 FRIEDE, REINHARDT 562, 716, 912.  
 FRIEDEMANN, U. 69.  
 — und C. HAMBURGER 56, 65.  
 FRIEDENTHAL, G. 37, 38, 54, 62, 63, 74.  
 FRIEDENWALD 10, 69.  
 — H. 581, 716.  
 — JONAS S. 873, 880, 980.  
 FRIEDMANN, B. 950, 950.  
 — D. A. 929.  
 FRIEDLÄNDER 993.  
 FRISCH, K. v. 82, 91.  
 FRITSCH, G. 332, 381, 382, 383, 453.  
 FRITZ, A. 919, 919, 925, 929.  
 FRÖHLICH 898.  
 — B. 399, 443, 453.  
 — C. 633, 721.  
 — F. H. 120, 121, 123, 127, 128, 133, 134, 140, 142, 145, 146, 153, 154, 158, 159, 164, 165, 166, 167, 169, 174, 174, 179, 183, 195, 201, 204, 206, 207, 208, 210, 215, 216, 219.  
 FRÖHLICH, F. W. 221, 227, 241, 243, 263, 280, 350, 362, 364.  
 — ELSE HIRSCHBERG und M. MONIÉ 133, 158, 169.  
 FROMAGET 633, 643, 721.  
 FROST 733.  
 FRUBÖSE und P. A. JAENSCH 430, 438, 453.  
 — A. 406, 453.  
 FUCHS, A. 721.  
 — E. 49, 62, 552, 594, 595, 612, 659, 688, 700, 713, 721, 733, 739.  
 — und WELPONER 94, 109.  
 — F. R. 875.  
 — S. 136, 139, 169.  
 FUJITA, T. 83, 91, 259, 264, 407, 453.  
 FUKALA 565, 630, 632, 721, 774.  
 FUMAGALLI 259, 264.  
 FUNAISHI, SH. 424, 453, 943, 944.  
 FUNKE, O. 413, 447, 453.  
 FURNARI 556.  
 FÜRSTENAU-WESKI 890.  
 GAEDERTZ, A. und A. WITTEGENSTEIN 74, 79.  
 GAINÉ, A. 387.  
 — DOBROWOLSKY, W. und — 452.  
 GALA, A. 22, 74, 690, 739, 903, 912.  
 GALEZOWSKI 600.  
 GALLATI 572, 708, 716.  
 GALLATTI, I., VOGT, A. und — 507.  
 GALLEMAERTS 898, 899.  
 GALLOIS, J. 880.  
 GALLUS, E., 550, 555, 556, 587, 621, 713, 716.  
 — J. 721.  
 GAMPER, F. H. 621, 721.  
 GANGELEN, G. VAN 896.  
 GARTEN, S. 80, 81, 82, 83, 84, 86, 88, 89, 90, 90, 94, 95, 96, 97, 99, 101, 102, 106, 107, 108, 109, 119, 128, 132, 145, 146, 160, 161, 169, 197, 431, 453.  
 — BLOOM, S. und — 386, 451, 928.  
 — BRÜCKE, E. TH. v. und — 120, 123, 125, 126, 127, 128, 130, 132, 133, 134, 135, 137, 169.  
 GÄRTNER 586, 587.  
 GASSER, H. S. und J. ERLANGER 169.  
 — — BISHOP und — 155, 169.

- GASSLER, V. J. 625, 629, 721.  
 GASTEIGER, H. 255, 256, 263, 281, 293.  
 GATTI, A. 107, 109.  
 GAUDISSERT, P. 933, 944.  
 GAUSS 495, 708.  
 GEBB, H., LÖHLEIN, W. und — 930.  
 GEHLHOFF und SCHERING 275.  
 GEHRCKE 702, 739.  
 GEIGER-SCHEEL 542, 708.  
 GEISLER 894, 896.  
 GELB, GOLDSTEIN, K. und — 442, 453, 937, 940, 944.  
 GELLHORN, E. 238, 241, 448, 453.  
 GELLZUHN, E. 569, 716.  
 GENDEREN-STORT, VAN 80, 81, 83, 84, 85, 86, 87, 91, 94, 97, 109, 118.  
 GENET, L. 702, 739.  
 GERLOFF, O. 875, 877, 880.  
 GERMANN, TH. 552, 713, 721.  
 GERTZ, H. 411, 453, 542, 739.  
 GESCHER, JULIUS 954, 956.  
 GEYER, W. H. 633, 721.  
 GIANNANTONI, LO CASCIO, G. e — 930.  
 GIFFORD, R. SANDFORD and LEO MAYER 861.  
 — H. 75.  
 — S. R. 583, 716, 721.  
 GILBERT, W. 22, 74, 350, 614, 618, 721.  
 GILDEMEISTER, A. 211, 213, 220.  
 GILLET 435, 453.  
 GILSON, jr. A. S. 87, 91.  
 GIORDANO, G. 678, 739.  
 GRAUD 606.  
 GRAUD-TEULON 873, 923.  
 GIRI, D. V. 453.  
 GJESSING, H. G. A. 65, 74, 861, 901, 905, 908, 911, 912, 964, 976, 980.  
 GLASSCHEIB 896.  
 GLEICHEN, A. 460, 518, 662, 681, 682, 708, 739, 784.  
 — und E. KLEIN 708.  
 GLÜH, B. 109, 109, 259, 264.  
 GNAD, F., ELSCHNIG, A. und — 929.  
 GOALWAIN, HARRY 893, 894, 896.  
 GODARD, P. J. E. 880.  
 GOEBEL 949, 950.  
 GOETHE, JOH. WOLFGANG V. 354, 443.  
 GOLDBERG 269, 342, 859.  
 GOLDEN 648, 653, 656.  
 GOLDFEDER 870.  
 GOLDMANN 871.  
 GOLDSCHIEDER 946.  
 GOLDSCHMIDT 8, 69, 583.  
 GOLDSTEIN 953.  
 — H. H., YUDKIN, KRAUSE, BERMANN and — 79.  
 — K. und GELB 442, 453, 937, 940, 944, 953.  
 — und RIESE 410, 453.  
 GOLDZIEHER, W. 632, 633, 721.  
 GOLOWIN, S. S. 25, 74, 885, 886, 893, 896, 903, 912.  
 GONIN 870, 871.  
 GONZALES, JESUS JOSÉ DE 741.  
 GOTCH 122, 123, 136, 146, 169.  
 GÖTHLIN, G. FR. 319, 350, 402, 403, 404, 406, 453.  
 GOULIERS, M. 672, 747.  
 GRADENIGO, P. 83, 84, 91.  
 GRADLE, H. 662, 733, 912.  
 GRAEFE, ALFRED 446, 453, 871.  
 — A. v. 6, 14, 15, 16, 18, 69, 72, 558, 595, 601, 616, 619, 628, 662, 721, 915, 919.  
 GRAFE, E. 249, 264, 716, 739.  
 GRAFF, B. 856.  
 GRANDIS und MORET 67, 74.  
 GRANIT, R. 106, 109, 178, 183.  
 — und T. JÄNTTI, S. LINDSTRÖM, P. PAIWÖ und L. SALMENHARJU 409, 453.  
 GRANSTRÖM 564, 713.  
 GRÄPER, L. 659, 667, 669, 733.  
 GRASER, E. 75.  
 GRASSMANN, H. 364.  
 GRAVES, BASIL 689, 739, 848, 880, 886.  
 GREEFF, R. 34, 40, 80, 86, 91, 94, 109, 530, 708, 910, 912, 940, 944.  
 GREEN 554, 645, 713, 721, 733, 739.  
 — J. jr. and G. SLUDER 698, 739.  
 GREGG, F. M., EVA JAMISON, R. WILKIE und TH. RADINSKY 169.  
 GRENOUGH 435.  
 GRIFFORD 60.  
 GRIJNS, ENGELMANN, TH. W. und — 169.  
 GRIMSDALE, H. 581, 619, 645, 716, 721.  
 GROENOUW 386, 453, 870.  
 GROETHUYSEN, G. 293, 859, 860, 861, 944.  
 GRÖNHOLM, v. 504, 582, 630, 682, 721, 739, 900, 912.  
 GROS, H. 848.  
 GROSS 8, 69.  
 — K. 350, 680, 739.  
 — O., EWALD, J. R. und — 435, 452.  
 GROSSMANN 889.  
 GRUBER, RUD. 913.  
 GRÜBLER 1017.  
 GRUDZINSKY, ZYGMUNT 896.  
 GRUNERT, K. 316, 319, 350, 570, 581, 698, 701, 716, 721, 739.  
 GRÜNHAGEN 22, 60, 72, 75.  
 — HIPPEL, A. v. und — 19, 66, 75.  
 GRÜNHAGEN und JESSNER 22, 60, 75.  
 GRÜTER 1038.  
 GRÜTZNER P. 433, 435, 453.  
 GUÉRIN 721.  
 GUGGENHEIM, IRMA und A. FRANCESCHETTI 29, 75.  
 GUGLIANETTI, J. 682, 700.  
 — L. 82, 91, 116, 116, 739, 982, 983.  
 GUILLERY, H. 69, 386, 389, 453, 922, 923, 929.  
 — LEWIN und — 257, 264.  
 GUILLOZ, TH. 880.  
 GUINKOFF, V. 880.  
 GUIST, GUSTAV 3, 852, 853, 872, 880, 884, 886, 886, 939, 944.  
 — PURTSCHER, ADOLF und — 884, 887.  
 GULKOWITSCH, LULLIES und — 15, 72.  
 GULLSTRAND, A. 241, 460, 461, 467, 469, 478, 479, 485, 486, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 499, 500, 501, 503, 504, 505, 506, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 516, 532, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 542, 544, 545, 565, 566, 569, 615, 644, 646, 647, 651, 652, 655, 657, 661, 662, 667, 683, 684, 686, 690, 693, 694, 695, 698, 708, 722, 733, 739, 747, 753, 782, 784, 840, 841, 844, 848, 865, 867, 868, 873, 875, 876, 878, 880, 885, 886, 924, 957, 980.  
 GULOTTA 7, 12, 69.  
 GUNNUFSEN, THS. 722.  
 GÜNTHER 992.  
 GURATZSCH, W. 183.  
 GUTFREUND, F. 590, 722.  
 GUTMANN, A. 852, 853.  
 — G. 5, 69.  
 GUTTMANN, A. 11, 69, 315, 350.  
 — E. 644, 722.  
 GUTZEIT, R. 569, 669, 716, 733.  
 HAAB, O. 555, 722, 857, 858, 870, 873, 880, 953.  
 HAAN, J. DE 22, 75.

- HAAS, DE 121, 122, 134, 139, 140, 141, 142, 146, 169, 895.  
 — ETELKA 963, 980.  
 HAEGER, E. 896.  
 HAEMMERLI, V. 893, 896.  
 HAENEL, HANS 948.  
 — H., BEST, F. und — 349.  
 HAFMANS, J. H. A. 541, 657, 709.  
 HAGEN, S. 25, 34, 75, 644, 716, 722.  
 HAIRI, H. 880.  
 HAIST 612, 702, 739.  
 HAITZ 942, 944.  
 HALBEN, R. 541, 709, 713.  
 HALBERSTAEDTER und v. PROWAZEK 1037.  
 HALLADIE und DRUAULT 871.  
 HALLAUER, C. und A. FRANCESCHETTI 25, 74, 75.  
 HALLIE 701, 739.  
 HAMBLIN, J. R. and T. H. WINSER 662, 733, 980.  
 HAMBURGER, C. 23, 28, 30, 35, 37, 38, 39, 40, 42, 46, 49, 54, 56, 61, 62, 63, 65, 66, 75.  
 — FRIEDEMANN, U. und — 56, 65.  
 — D. J. 83, 87, 91.  
 — J. H. 23, 56, 103, 109.  
 — L. 112, 116.  
 HAMBURZEV 367.  
 HAMER 72, 903.  
 HAMPSON, CHAFFEE, E. L., W. T. BOVIE and — 126, 128, 132, 133, 142, 169.  
 HANDMANN, M. 645, 709, 722.  
 HANKE 832.  
 HANSELL, H. F. 638, 722, 739.  
 HANSEN, R. 606, 612, 614, 617, 722.  
 HAPPE 55, 75.  
 HARMAN, N. B. 570, 584, 586, 588, 595, 625, 628, 716, 722, 855, 856, 942, 944.  
 HARTGRAVES 701, 739.  
 HARTING, H., SOUTHALL, J. P. C. and 981.  
 HARTINGER, H. 460, 463, 466, 504, 636, 674, 677, 709, 733, 739, 786, 813, 815, 823, 827, 828, 829, 833, 844, 848, 880, 960 980.  
 — BRÄTER, R. und — 880.  
 — und K. YAMADA 739.  
 HARTLINE 120, 125, 127, 128, 142, 149, 150, 169.  
 HARTMANN, E. 387, 414, 453, 894, 896.  
 — J. 464, 709.  
 HARTRIDGE, H., BANISTER, H., R. J. LYTHGOE and — 296, 300, 301, 344, 350, 354, 355, 356, 357, 363, 379, 384, 388, 394, 395, 396, 397, 399, 409, 410, 411, 413, 416, 420, 424, 425, 426, 427, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 446, 447, 448, 449, 450, 454, 499, 504, 505, 506, 513, 537, 542, 543, 544, 657, 683, 686, 688, 690, 691, 692, 709, 722, 739, 838, 865, 867, 875, 880, 913, 933, 949, 950, 950.  
 HENDERSON and LANE-CLAY-PON 41, 75.  
 — F. E. und E. H. STARLING 65, 66, 67, 75.  
 — TH. 14, 41, 72, 691, 693, 740, 919.  
 HENKER, O. 525, 530, 709, 766, 770, 771, 777, 793, 794, 800, 801, 809, 817, 820, 829, 833, 842, 848, 873, 877, 880, 972, 973, 976, 980.  
 — KRAUPA, E. und — 980.  
 — und W. MÜHSAM 22, 855, 856.  
 — ROHR, M. v. und — 743.  
 HENNING, H. 427, 443, 446, 454.  
 HENRARD, ETIENNE 896.  
 HENRIKSON 872.  
 HENSEN, H. 633, 723.  
 — V. 93, 110.  
 — und C. VÖLKERS 17, 72, 618, 688, 693, 723, 740.  
 HENVENHOVEN 569.  
 HERBERT, J. FREDERICK 14, 46, 845, 848, 880.  
 HERBERTZ, R. 440, 454.  
 HERING, EWALD 64, 106, 110, 174, 174, 177, 178, 179, 182, 183, 186, 187, 188, 189, 190, 193, 199, 201, 204, 214, 217, 218, 220, 221, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 232, 233, 234, 237, 238, 241, 267, 295, 296, 302, 305, 340, 341, 344, 346, 350, 356, 357, 358, 363, 366, 367, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 386, 388, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 414, 415, 416, 419, 420, 421, 422, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 434, 437, 438, 440, 442, 443, 445, 447, 448, 449, 450, 454, 519, 709, 837, 838, 838, 854, 929, 942.  
 HERMANN, J. 224.  
 — L. 121, 169, 241.

- HERN und MACCALLAN 619, 723.  
 HERNSELL 702.  
 HERRENSCHWAND, F. v. 894, 1038.  
 — STAUNING, K. und — 894, 897.  
 HERRMANN 644, 652, 723.  
 HERRNHEISER, SCHNABEL und 610, 612, 613, 729.  
 — G. 839, 896.  
 — J. 552, 553, 555, 556, 561, 600, 621, 713, 716.  
 HERTEL, CHR. 815.  
 — E. 19, 23, 24, 43, 55, 56, 75, 82, 91, 102, 110, 277, 287, 288, 289, 293, 335, 350, 582, 626, 632, 636, 637, 723, 842, 843, 855, 856, 887, 896, 899, 899, 929, 938, 944.  
 — und H. CITRON 56, 75.  
 HERTZELL, CARL 883, 884, 885, 886, 939, 944.  
 HERWIG, B. 350.  
 — und E. R. JAENSCH 350.  
 HERZ, MATHILDE 179, 183.  
 HERZOG, H. 82, 83, 87, 89, 91.  
 HESCHELES, L., BORSCHKE, A. und — 409, 451.  
 HESS, C. und DIEDRICHS 713.  
 — C. VON 12, 30, 63, 66, 69, 75, 84, 85, 87, 91, 94, 95, 109, 110, 145, 146, 170, 174, 174, 190, 206, 211, 214, 215, 216, 220, 241, 259, 267, 269, 277, 293, 308, 309, 310, 317, 322, 332, 342, 343, 344, 346, 348, 350, 460, 480, 507, 541, 554, 556, 570, 572, 573, 574, 575, 577, 578, 581, 601, 604, 608, 613, 615, 618, 632, 638, 644, 645, 646, 653, 655, 660, 662, 677, 681, 683, 685, 688, 689, 695, 697, 709, 713, 716, 723, 733, 740, 753, 797, 840, 843, 847, 858, 859, 860, 861, 922, 929, 933, 935, 938, 943, 944, 949.  
 — und L. HEINE 692, 694, 723, 740.  
 — und PRETORI 223, 225, 241.  
 — W. R. 454.  
 HESSBERG, R. 351, 948.  
 HESSE, R. 633, 723.  
 HESSERT 994.  
 HEUBEL, E. 69.  
 HEUSER, C. 894, 896.  
 HECKE 193, 204.  
 HIGGINSON, GL. D. 408, 454.  
 HIGIER, H. 388, 454.  
 HILBERT 740.  
 HILDEBRANDT, H. 740.  
 HILL, E. 637, 723.  
 HILLEBRAND, FR. 204, 296, 351, 388, 393, 402, 408, 410, 419, 422, 427, 428, 438, 439, 440, 441, 443, 454.  
 HILLEMANNS 424, 454.  
 HIMSTEDT, F., NAGEL, W. A. und — 101, 102, 110, 128, 142, 143, 145, 170.  
 HINE, M. L. 913.  
 HINES, D. C. 931.  
 HIPPEL, v. 548, 555.  
 — A. v. 284, 293, 312, 351, 626, 633, 723.  
 — und GRÜNHAGEN 19, 66, 75.  
 — E. v. 72, 260, 264, 572, 581, 622, 698, 713, 716, 723, 740, 896.  
 HIRSCH, G. 620, 723.  
 HIRSCHBERG, J. 75, 259, 264, 541, 630, 637, 723, 863, 898, 899.  
 — ELSE, FRÖHLICH — und M. MONJÉ 133, 158, 169.  
 HIS, W. 4, 6, 61, 69, 75.  
 HJORT 686, 740.  
 HÖEG, N. 70.  
 HÖEVE, v. D. 9, 24, 69, 75, 557, 696, 713, 896, 935, 944.  
 — J. VAN DER, FLIERINGA, H. J. und — 738.  
 — und D. J. STEENHUIS 896.  
 HOFE, KARL VOM 80, 119, 179, 183, 195, 205, 280, 293, 403, 406, 428, 458, 931.  
 HÖFER, P. 421, 454.  
 — TSCHERMAK, A. v. und — 446, 458.  
 HOFFMANN, D. 170.  
 — W. 887, 896.  
 HOFMANN, F. B. 318, 379, 380, 381, 382, 385, 387, 389, 390, 392, 396, 402, 403, 406, 411, 424, 428, 432, 434, 435, 438, 439, 441, 446, 450, 454, 519, 709, 740, 922, 929, 1002.  
 — und A. BIELSCHOWSKY 446, 454.  
 HOHN 1018.  
 HOLLÓS, LASZLÓ 880.  
 HOLM, E. 101, 102, 107, 110, 615, 619, 620, 622, 642, 648, 723, 875, 890, 896.  
 HOLMGREN, F. 118, 119, 121, 122, 125, 128, 143, 146, 161, 170, 306, 334, 954.  
 HOLOBUT, KÖNIGSTEIN, L. und — 70.  
 HÖLSCHER 197, 264.  
 HOLTH, S. 526, 630, 690, 723, 740, 884, 887, 941, 944, 964.  
 HOLTZ, W. 400, 441, 454.  
 HÖLTZKE, H. 75.  
 HOLZ, B. 16, 72.  
 HOLZKNECHT 890.  
 HOMER 558.  
 HONDEL 655.  
 HÖNIG, A. 677, 680, 740.  
 HOOG 574.  
 HOOKE, ROBERT 752.  
 HOOR, K. v. 574, 716, 723.  
 HÖPNER 633, 723.  
 HOPPE, F. 929.  
 HORNER 582, 618, 716, 723.  
 — W. D., FRANKLIN, W. S., F. C. CORDES and — 896.  
 HORNIKER, E. 950, 950.  
 HOROVITZ, K. 441, 454.  
 HORSTMANN, C. 504, 552, 561, 586, 625, 709, 713, 716, 723.  
 HORTON, J. J. 740.  
 HORVÁTH, BÉLA VON 848, 887, 896.  
 HOSCH, G. 724.  
 HOUSTON, R. A. and JAMES F. SHEARER 922, 930.  
 HOVIUS 30, 75.  
 HOWARD, H. J. 982, 983.  
 HOWE 740.  
 HUALS, E. 672.  
 HÜBENER 262, 264.  
 HUBER, F. 724.  
 — O. 581, 716.  
 HUBIN, R., WEEKERS, L. et — 956.  
 HÜBNER 858.  
 HUDDART, J. 306, 316, 351.  
 HUDELO, A. 740.  
 HUGHES, WENDELL L. 47, 878, 881.  
 HUMMELSHHEIM, E. 944.  
 HUYGENS, CHR. 831.  
 HYSLOP, J. H. 435, 455.  
 IGERSCHEIMER 255, 256, 264, 633, 724, 937, 944.  
 IKEDA, T. 75.  
 IKEZAWA, F. 740.  
 ILJINA, A., LITOWSKI, J. und — 922, 930.  
 IMAI, SH. 724.  
 IMBERT, A. 900, 913, 963.  
 IMRE 872.  
 — sen. 680, 740.  
 INCZE, A. 620, 724, 935, 944.  
 INOUBE, N., BIRCH-HIRSCH-FELD, A. und — 89, 91.  
 — S. 610, 612, 724.  
 — T. 629, 724, 733, 930.  
 ISAKOWITZ, J. 669, 724, 733, 901, 908, 913.  
 ISCHREY 900, 906, 913.  
 ISHIHARA, M. 126, 154, 170, 954.  
 — S. 351.  
 ISRAEL, E. B. 740.

- ISSSEL, E. 438, 455.  
 ISSIGONIS 556.  
 IVES 434.  
 IWANOFF, A. 572, 604, 618, 688, 716, 724, 740.  
  
 JABLONSKI, W. 179, 183, 219, 220, 562, 615, 625, 713, 724, 740.  
 JACKSON, E. 648, 733, 740, 848, 881, 909, 913, 979, 980.  
 JACOBI, JOS. 16, 72.  
 JACOBSON, P. J. 740.  
 JADASSOHN, CZAPLEWSKI und — 992.  
 JAEGER jr. 713.  
 — E. v. 9, 16, 75.  
 JAENSCH, E. R. 177, 178, 183, 228, 241, 276, 387, 399, 427, 428, 436, 439, 440, 443, 455.  
 — FREILING und REICH 428, 455.  
 — HERWIG, B. und — 350.  
 — und REICH 428, 455.  
 — P. A. 702, 740.  
 — FRUBÖSE und — 430, 438, 453.  
 JÄGER 926.  
 JAKOVLEVA, A. 702, 740.  
 JANKOWSKI, W. 621, 724.  
 JÄNTTI, T., R. GRANIT, S. LINDSTRÖM, P. PAIWIÖ und SALMENHARJU 409, 453.  
 — P. PAIWIÖ, L. SALMENHARJU und S. LINDSTRÖM 455.  
 JANUSCHKE, EXNER, S. und — 84, 85, 88, 89, 91.  
 JASINSKI, M. 75.  
 JAVAL, E. 450, 455, 615, 648, 672, 650, 657, 733, 952.  
 — und H. SCHIÖTZ 499, 503, 958, 959.  
 JAWORSKI, A. 724.  
 JEGOROW 18, 72.  
 JESS, A. 7, 8, 12, 70, 205, 258, 260, 261, 262, 264, 702, 741, 859, 949.  
 JESSNER, GRÜNHAGEN und — 22, 60, 75.  
 — S. 22, 26, 30, 31, 60, 76, 645, 724.  
 JESSOP 530, 709, 733.  
 JOHNE 993.  
 JOLINEA, G. 116, 116.  
 JOLLY, EINTHOVEN und — 135, 137, 139, 140, 146, 162, 169.  
 — W. A. 123, 132, 170.  
 JONES, CH. D. 980.  
 JONESCO und FLORESCO 19, 72, 76.  
 JONS 893.  
 JUILLERAT et KOBY 960, 980.  
 JULER, F. 713.  
 JUNG 899, 899.  
  
 JUNIUS 614, 629, 724.  
 JUNK, W. 724.  
 JÜRGENSEN, V., LARSEN, V. und — 895, 897.  
 JUSELIUS 733.  
  
 KAHN, R. H. 18, 19, 61, 65, 67, 72, 76.  
 — und A. LÖWENSTEIN 76, 126, 134, 146, 149, 150, 170.  
 KAILA, E. 399, 427, 441, 446, 455.  
 KAISER, J., C. H. SATTLER und 953, 956.  
 — J. H. 552, 713.  
 KALFA, S. 913.  
 KAMNER, COHEN, KILLIAN und — 8, 22, 28, 69, 71.  
 KANEKO 3, 70.  
 KANKROW, A. 904, 913.  
 KANTOR, D. 956.  
 KARL THEODOR, Herzog in Bayern 599, 610, 719.  
 KARPOW, C. 702, 741, 862.  
 — ARNOLD, H. und — 910, 911.  
 KASSNER, H. 702, 741.  
 KATAYAMA, Y. 935, 944.  
 KATEL-BLOCH, R. 620, 648, 659, 724, 733.  
 KATONA, G. 178, 179, 183.  
 KATZ 178.  
 KAULFUSS, RUNGE und — 855.  
 KAWAKAMI, TAKAGI und — 246, 265.  
 — K. 264.  
 KAYSER 654, 733.  
 KAZ 638.  
 KEELER, C. E., E. SUTCLIFFE und E. L. CHAFFEE 161, 170.  
 KENNEDY, F. 702, 741.  
 KEPPLER, JOHANNES 353, 548, 746.  
 KESTENBAUM, A. 922, 930, 932, 944.  
 KETCHUM, W. M. 980, 982.  
 KEY, A. 586, 642, 724.  
 KIESOW, F. 351, 448, 455.  
 KILLIAN, COHEN, KAMNER und — 8, 22, 28, 69, 71.  
 — J. A., COHEN, M., N. METZGER und — 27, 74.  
 KIRCHNER 587, 724.  
 KIRSCH, R. 349, 680, 741, 924, 930.  
 KIRSCHMANN, A. 174, 174, 225, 241.  
 KLEBS 1000.  
 KLECKOWSKI, F. 962, 980.  
 KLEEFELD, G. 862, 864, 881, 913.  
 KLEIBER, G. 55, 56, 76.  
 KLEIN, E., GLEICHEN, A. und — 708.  
 — S. und W. SVETLIN 72.  
 KLEITMAN, N. and Z. A. BLIER 944.  
  
 KLETT 993.  
 KLEYN, DE 894.  
 KLINKOWSTEIN, R. 632, 724.  
 KNAGGS, L. 724.  
 KNAPE, E. V. 41, 55, 76.  
 KNAPP 574, 582, 627.  
 — J. H. 504, 505, 606, 709, 724, 733, 747.  
 — P. 67, 70, 76, 716, 851, 853, 870, 881, 908, 913.  
 KNIES, M. 6, 11, 45, 70, 76, 108, 110.  
 KNOBLOCH, R. 893, 896.  
 KNOX, H. W. 390, 455.  
 KOBY, JUILLERAT et — 960, 980.  
 — F. ED. 841, 848, 864, 881, 908, 913, 980.  
 KOCH, ROBERT 1003, 1016, 1018.  
 KOCHMANN, M. und P. RÖMER 56, 66, 76.  
 KOCK, C., BRUNETTI, L. und 894, 895.  
 KOCKER 657.  
 KODAMA, R. 655, 733.  
 KOEGEL, H. 558, 713, 724.  
 KOENIG, K. 372, 377.  
 KOEPPE, L. 49, 541, 542, 709, 792, 833, 837, 838, 838, 843, 846, 849, 875.  
 — AEBLY, J. und — 502.  
 KOESTER, F. 386, 455.  
 KOFFKA, K. 175, 179, 183, 205, 214, 408, 411, 455.  
 KOFMAN et BUJADOUX 859, 862.  
 KÖGEL, G. 170.  
 — HANNS 22, 853, 856.  
 KÖHLER, A. und A. F. TOBGY 504, 710, 837, 838.  
 — W. 178, 179, 183, 408, 411, 455, 889.  
 KOHLRAUSCH, ARNT 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 126, 127, 132, 133, 134, 137, 140, 141, 143, 145, 148, 149, 150, 153, 154, 156, 157, 158, 162, 163, 164, 165, 167, 170, 192, 193, 195, 202, 203, 205, 242, 264, 271, 280, 282, 293.  
 — A. 371, 373, 377.  
 — TEUFER und SACHS 174, 174.  
 — ABELSDORFF, DIETER und — 106, 109, 196, 197, 204.  
 — BROSSA, A. und — 137, 143, 145, 146, 147, 149, 167, 169, 170.  
 — und J. TEUFER 205.  
 KOHN, SUMMER und — 266, 293.  
 KÖHNE, G. 632, 724.  
 KÖHNHORN 11, 70.  
 KÖLLNER, KÖNIG und — 324, 327.

- KÖLLNER, H. 109, 110, 241, 292, 293, 295, 316, 324, 327, 329, 344, 351, 364, 403, 404, 413, 422, 424, 438, 441, 449, 455, 900, 911, 913, 933, 934, 937, 939, 943, 945, 951, 953, 956.
- KOMURA, TETSUO und — 33.
- KÖNIG, A. 96, 98, 103, 105, 110, 192, 201, 304, 308, 361, 386, 455, 865, 921, 930.
- und E. BRODHUN 142, 170, 182, 183.
- und C. DIETERICI 351.
- und KÖLLNER 323, 327.
- KÖNIGSHÖFER 615, 724, 741.
- KÖNIGSTEIN, L. 552, 713, 724.
- und HOLOBUT 70.
- KOPYLOW, M. B. 895, 896.
- KORNMÜLLER, A. E. 410, 455.
- FISCHER, M. H. und — 404, 453.
- KOSAKI, NAKAMURA, MUKAI und — 37, 62, 77.
- KOSTER, GZ. W. 3, 66, 76, 332, 441, 455, 619, 637, 639, 673, 724, 733, 898, 900, 901, 903, 913, 953.
- KOTELMANN 556.
- KÖTTGEN und ABELSDORFF 93, 96, 97, 98, 99, 110.
- KOUWENHOVEN 716.
- KOVACS, A. 220, 280.
- KOYANAGI, Y. 259, 260, 261, 264, 913.
- KRÄMER, R. 543, 570, 672, 716, 733, 792, 833, 844, 849, 855, 856, 873, 881, 965, 976, 977, 979, 980.
- KRANZ 70.
- KRASSMÖLLER 724.
- KRAUPA, E. 560, 589, 600, 625, 627, 724, 959, 980.
- und O. HENKER 980.
- KRAUSE, A. C., JUDKIN, GOLDSTEIN, BERGMANN and — 79.
- F. 19, 72.
- L. A. 552, 713.
- W. 86, 91, 93, 110.
- KRAUSS 18.
- KRAVKOV, S. W. 205, 875, 881, 930.
- KREBS, H. A. 115, 116.
- KREIDL, A., BREUER, J. und — 404, 451.
- KREIKER, A. 387, 455, 672, 734, 849, 860, 862, 887, 926, 930, 949, 950, 980.
- KREITZ, T. 572, 595, 725.
- KRETSCHMER 620.
- KRIEGER, E. 725.
- KRIENES, H. 262, 264.
- KRIES, J. v. 106, 109, 110, 119, 119, 139, 141, 142, 152, 164, 166, 167, 168, 170, 174, 174, 184, 185, 188, 190, 191, 192, 196, 197, 200, 201, 203, 205, 212, 213, 220, 227, 242, 243, 264, 304, 308, 312, 351, 358, 363, 364, 364, 377, 430, 432, 434, 435, 439, 441, 442, 444, 455.
- KRIES, J. v. und AUERBACH 427, 455.
- und W. NAGEL 203, 205.
- KROH 175, 178, 183.
- O. 351.
- KROHN 93, 94, 110.
- KRON, W. 725.
- KRÖNCKE, K. 428, 455.
- KRONENBERGER, P. 210, 220.
- KRÖNER 568, 713, 741.
- KRONFELD, P. 7, 10, 22, 59, 70, 76, 599, 701, 725, 739.
- und DEVNEY 551, 647, 648, 656, 713, 734.
- F. LIEBEN und — 7, 70.
- P. C., BROWN, E. V. L. und — 713.
- KRONFELD-BOTHMANN 9.
- KROTOSCHIN, A. 621, 725.
- KRÜCKMANN, E. 614, 725, 901, 913.
- KRÜGER, E. 641.
- KRUKENBERG, K. FR. W. 94, 110.
- KRÜKOW und TH. LEBER 6, 70.
- KRUSIUS, F. F. 8, 70, 556, 558, 644, 713, 725, 857, 858, 862, 981.
- KUBIK, J. 26, 42, 59, 76, 899.
- LÖWENSTEIN, A. und — 26, 42, 76, 710.
- KUBLI 587, 619, 638, 725.
- KUBORN 889, 896.
- KUBOWITZ, F. 115, 116.
- KUGEL 568, 713.
- KÜHL 230, 242.
- A. 770, 771, 834, 922, 927, 930, 975, 976, 981.
- KÜHN, A. 170.
- KÜHNE, W. 83, 84, 85, 86, 87, 88, 91, 93, 94, 95, 96, 97, 99, 101, 102, 107, 108, 110, 112, 116, 118, 160, 170, 205.
- EWALD und — 86, 91, 99, 107, 109.
- und H. SEWALL 88, 91.
- und J. STEINER 121, 122, 123, 125, 128, 129, 130, 132, 133, 134, 154, 160, 161, 162, 170.
- KUHNT 230, 242.
- KÜMMELL, K. 916, 920.
- R. 16, 72, 849, 941, 945, 949.
- KULJPER, A. H. 72.
- KUNDE 11, 70.
- KUNDT, A. 390, 393, 455.
- KUNKEL, A. 164, 170.
- KUNST, J. J. 23, 76, 544, 710.
- KUNZ und OHM 856.
- KURODA, G. 424, 455.
- KURZ, H. 556, 570, 716, 725.
- KUSCHEL 620, 725, 741.
- KUSSMAUL 865.
- KUTSCHER 992.
- KYRIELEIS, W. 644, 725, 741.
- LAAN, VAN DER 644, 725.
- LABBÉ und LAVAGNA 13, 70.
- LABORDE 72.
- LACHOWITSCHE, S. 913.
- LACROIX, A. 589, 725.
- LADD-FRANKLIN, CHR. 360, 364.
- LAFON und BONNET 570, 716.
- LAGRANGE et PACHON 76.
- F. 664, 734.
- und E. VALUDE 710, 734.
- LAMACHE, A., H. CLAUDE, J. DUBAR et — 919.
- LAMBERT, J. H. 271, 293, 299, 351, 633, 725.
- LAMPIS, E. 953.
- LANCASTER, W. B. and EDW. R. WILLIAMS 683, 741.
- LANDIS, ADLER und — 26, 73.
- LANDOLT 630, 930, 933, 943.
- E. 573, 615, 710, 713, 716, 725, 741, 853, 854, 856, 864, 865, 868, 872, 873, 962, 976, 981.
- und F. LANGENHAN 881.
- H. 557, 558, 629, 725.
- STILLING, J. und — 629, 714, 730.
- M. 263, 264, 348, 446, 455, 977.
- LANDOLT-KRÄMER 978.
- LANDWEHR 568, 713.
- LANE-CLAYTON, HENDERSON and — 41, 75.
- LANG, B. T. 648, 655, 734, 945.
- LANGE, H. und M. SIMON 113, 114, 116.
- O. 572, 714, 716, 725, 887.
- P. 604.
- LANGENBECK, M. 683, 741, 891.
- LANGENDORFF 11, 19, 70, 72.
- LANGENHAN, F. 65, 76, 852, 853, 856, 886, 887, 889, 896, 898, 899, 901, 904, 908, 913.
- LANDOLT, E. und — 881.
- LANGLANDS, N. M. S. 430, 455.
- LANS, L. J. 670, 734.
- LAPTSCHINSKY, M. 8, 70.
- LAQUEUR 6, 17, 70, 72, 622, 625, 657, 660, 669, 725, 734.
- LARSEN, H. 318, 351, 364.
- M. 582, 716.
- LARSEN, V. und V. JÜRGENSEN 895, 897.
- LASAREFF, P. 101, 105, 110, 367, 368, 369, 372, 373, 375, 377.
- LAST, S. L. 862.

- LAU, E. 428, 455.  
 LAUBER, H. 45, 76, 625, 725, 741, 870, 873, 881, 939, 941, 945, 953.  
 — H. M. TRAQUAIR und PETER C. LUTHER 945.  
 LAUE, v. 542, 887.  
 LAURENS, H. 930.  
 LAVAGNA, LABBÉ und — 13, 70.  
 LEA, G. 982, 983.  
 LEBENSOHN 562, 570, 714, 725.  
 LEBER 569, 572.  
 — A. und PROWAZEK 1006.  
 — TH. 4, 5, 6, 11, 18, 22, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 37, 38, 39, 40, 46, 49, 50, 51, 52, 54, 57, 60, 62, 65, 68, 70, 76, 251, 264, 351, 625, 626, 716, 725, 913.  
 — BENTZEN CHR. und — 46, 74.  
 — KRÜKOW und — 6, 70.  
 — und A. PILZECKER 33, 76.  
 LEBERMANN, F. 27, 59, 76.  
 LÉBOUCQ, G. 49, 76.  
 LEDERER, R. 67, 76, 639, 701, 725, 741.  
 LEE, T. P. 982, 983.  
 LEFEVER 620, 639, 725.  
 LEHMANN, A. 385, 455.  
 — G. und A. MEESMANN 58, 76, 124, 160, 161, 170.  
 LEHMUS, E. 598, 725.  
 LEIBOWICZ, M. 503, 648, 653, 654, 655, 656, 663, 710, 734.  
 LEININBERG, N. 627, 628, 725.  
 LEIRI, F. 409, 455, 695, 741.  
 LEKA 556.  
 LEMBECK, GÜNTHER 897.  
 LEMOINE 840, 849.  
 — P. et G. VALLOIS 843, 849, 881.  
 LENZ, G. 276, 446, 455, 954.  
 LEONARDO DA VINCI 299.  
 LEPPERGER, O. 741.  
 LÉPINE 4.  
 LEPLAT 14, 17, 30, 32, 35, 36, 67.  
 — G. 72, 696, 741.  
 — L. 76.  
 — M. G. 76.  
 LESZYNSKI, J. 702, 741.  
 LEVADITI 1035.  
 LEVINSOHN, G. 60, 76, 616, 617, 639, 670, 725, 734, 877, 905, 907, 913.  
 LÉVY, G., REDSLOB, E. et — 645, 728.  
 LEVY, M. 351.  
 LEWIN und GULLERY 257, 264.  
 LEWIS und MORGAN 872.  
 — E. O. 390, 455.  
 — PARK 741.  
 LEWITZKY, M. 741, 871, 881.  
 LEWKOWITSCH 892.  
 LEXER 19, 72.  
 LEYDIG 85, 93, 110.  
 LI, T. M. und H. T. PI 741.  
 LIBBY, G. F. 702, 741.  
 LICHTENSTEIN, E. 582, 716.  
 LICHTHEIM 16, 72.  
 LIEBEN, F. und P. KRONFELD 7, 70.  
 LIEBENTHAL, B. 293.  
 LIEBERMANN, L. v. 849, 890, 897.  
 — P. v. 106, 244, 264, 428, 438, 455.  
 LIGERTWOOD, L. M. 741.  
 LINCK, A. 702, 741.  
 LINDAHL, C. 885, 887.  
 LINDBERG, J. G. 953.  
 LINDEMANN 556.  
 LINDNER, K. 832, 872, 881, 964, 976, 979, 981, 989, 1036, 1037.  
 LINDROOS, A., C. v. NUMERS und St. STENIUS 409, 455.  
 LINDSAY-JOHNSON 694, 741.  
 LINDSTEDT, F. 504, 505, 506, 710.  
 LINDSTRÖM, S., GRANIT, R. T. JÄNTTI, P. PAIWIO und L. SALMENHARJU 409, 453.  
 LINKE, P. 407, 408, 411, 456.  
 LINKSZ, A. 431, 456.  
 LINT, VAN 666, 734.  
 LIPPITSCH, G. 930.  
 LIPPS, TH. 402, 456.  
 LISTING, J. B. 460, 480, 510, 519, 540, 710, 726, 794.  
 LITINSKY, G. 424, 456.  
 LITOWSKI, J. und A. ILJINA 922, 930.  
 LIVSCHITZ, S. 903, 913.  
 LLOYD, RALPH J. 913, 945.  
 LO CASCIO, G. 22, 116, 116, 541, 547, 559, 710, 714, 734, 741, 872, 930.  
 — e GIANNANTONI 930.  
 LODATO, G. 112, 116, 116.  
 LODDONI, G. 558, 714.  
 LOEB, J. 367, 377.  
 LOESER 930.  
 LOEWENSTEIN und SUMYOSHI 1018.  
 LÖFFLER 1000, 1002, 1021.  
 LOGINOV, G. 881.  
 LÖHLE, F. 930.  
 LÖHLEIN, W. 262, 264, 626, 726, 741, 872, 881, 911, 913, 925, 926, 930.  
 — und H. GEBB 930.  
 — W. RICHTER und G. SCHWARZ 926, 930.  
 LOHMANN, ALFRED 946.  
 LOHMANN, W. 196, 198, 205, 249, 250, 252, 258, 259, 264, 282, 288, 293, 450, 456, 726, 741, 852, 853.  
 LOHMEYER 8, 76.  
 LÖHNER, L. 710, 930.  
 LOHNSTEIN, TH. 675, 676, 734, 832.  
 LOR, L., BULLOT, G. und — 4, 69.  
 LÖRTSCHER, MARIE 903, 913.  
 LOTTRUP, ANDERSEN CHR. 741.  
 LOTZE 398.  
 LÖW, EMMERICH und — 1016.  
 LÖWENSTEIN, A. 12, 24, 26, 34, 42, 63, 76, 930.  
 — und F. HAUROWITZ 12, 70.  
 — KAHN, R. H. und — 76, 126, 134, 146, 149, 150, 170.  
 — und J. KUBIK 26, 42, 76, 710.  
 — O. 858, 862.  
 LUBARSCH-OSTERTAG 1038.  
 LUCANUS 843.  
 LUCA VALENTI 994.  
 LUCCIOLA, J. 670, 734.  
 LUCKIESH, M. 264, 265, 266, 271, 293, 930.  
 LUEDDE, W. H. 691, 693, 694, 741.  
 LÜDIN 887.  
 LÜHL, C. 648, 653, 656, 663, 734.  
 LULLIES 17, 53, 54, 57, 76.  
 — und GULKOWITSCH 15, 72.  
 LUMMER und BRODHUN 212, 220.  
 — und KOHN 266, 293.  
 — O. 466.  
 LUND, F. H. 179, 183.  
 LUNDSGAARD, K. K. K. 258, 264, 582, 583, 626, 645, 666, 716, 726, 734, 913.  
 LUTHER, PETER C., H. LAUBER, TRAQUAIR und — 945.  
 LYDING 891.  
 LYTHGOE, R. J. 97, 110, 930.  
 — BANISTER, H., H. HARTRIDGE und — 928.  
 LYTHGOE, R. J., HARTRIDGE, H., W. V. MATTHEWS und — 929.  
 MACCALLAN, HEARN und — 619, 723.  
 MACCOY 584.  
 MACDOUGALL 443, 452.  
 MCHARDY, MACD. 937, 945.  
 M'KENDRICK, J. G., DEWAR, J. und — 120, 125, 127, 128, 142, 143, 149, 169.  
 MACLEAN, W. 905, 909, 910, 913.  
 MCPEEK, C., SHEARD, C. und — 146, 171.  
 MACCO, G. DI e A. FIUMARA 682, 742.  
 MACH, E. 221, 242, 351, 402, 435, 456.  
 MÄCHLER, J. 714.

- MADDOX, E. E. 726, 926, 981, 982.  
 MAGGIO, G. 112, 116.  
 MAGGIORE, L. 672, 734.  
 MAGITOT 20, 36, 41, 46, 58, 67, 76, 643, 726, 919, 920.  
 — und BAILLIART 14, 17, 18, 19, 72, 913.  
 — MESTREZAT und — 20, 21, 25, 77.  
 MAGNUS, GEORG und ADA STÜBEL 5, 49, 70, 76.  
 MAJEWSKI, K. 871, 881, 885, 887.  
 MAJIMA, K. 109, 110, 112, 114, 115, 116, 116.  
 MAKLAKOW 742, 904, 913.  
 MAKROCKI 702, 742.  
 MALLWITZ, A. 726.  
 MANCA und DEGANELLO, 23, 70.  
 — und OVIO 10, 11, 70.  
 MANDELSTAMM, L. und H. SCHÖLER 504, 505, 506, 710.  
 MANGOLD, E. und C. DETERING 905, 906, 913.  
 MANN, G. 89, 92.  
 MANNHARDT 558.  
 MARBAIX 698, 742.  
 MARBE 269, 339.  
 MARCAT, CABANNES et — 662, 733.  
 MARCHESANI 616, 726.  
 MARCOVE 942.  
 MARECHAL 952.  
 MARIN AMAT, M. 702, 742.  
 MARINOSCI, A. 948.  
 MARIOTTE, C. 306, 412, 913, 935.  
 MARKBREITER, J. 573, 672, 717, 734.  
 MARKS, E. O. 946.  
 MARLOW, F. W. 698, 742.  
 MARLE 913.  
 MARQUEZ, M. 648, 651, 672, 734, 849, 976, 979, 981.  
 — NORDENSOHN, J. N. und — 735.  
 MARSCHKE, E. 601, 603, 726.  
 MARTIN, G. 595, 657, 734.  
 MARTIUS, G. 399, 441, 456.  
 MARX, E. und W. TRENDELENBURG 410, 456.  
 — E. O. 402, 456, 683, 726, 742, 864, 881, 905, 907, 913, 937, 938, 939, 941, 945, 946, 948.  
 MASCART 300.  
 MASHIMO 9.  
 MASLENNIKOW, A. 900, 914.  
 MASSELON 957.  
 MASSUR, FR. W., SKLARZ, E. und — 702, 743.  
 MASTROBUONO 24.  
 MATSUO, Y. 557, 588, 714, 726.  
 MATTHEWS, R., ADRIAN, E. D. und — 142, 155, 156, 157, 158, 167, 168.  
 MATTHEWS, W. V., HARTRIDGE, H. R. J. LYTHGOE and — 929.  
 MATTHEY, G. 195, 196, 205, 253, 282.  
 MATTHIESSEN, L. 504, 507, 509, 510, 710.  
 MATTEL, SALIT und — 8, 71.  
 MATTOS, MOUTINHO und — 643, 726.  
 MAUCAND, DEGANELLE, MASTROBUONO 76.  
 MAUTHNER, L. 351, 666, 710.  
 MAVAS MEER, J. P. G. VAN DER 726.  
 MAWAS 23, 41, 77, 639, 742, 843, 849.  
 — und VINCENT 23, 77.  
 MAXWELL, J. C. 351, 364.  
 MAY 876.  
 — und Nagel 205.  
 MAYER, ERNST G. 897.  
 — G. E. und F. SCHNEK 897.  
 — LEO, GIFFORD, LANDFORD R. and — 861.  
 MAZÈRES, G. 981.  
 MAZZI, A. 66, 77.  
 MAZZUCONI, M. 859, 862, 930.  
 MEER, VAN DER J. P. G. 554, 560, 570, 586, 620, 726.  
 MEESMANN, A. 55, 58, 59, 77, 124, 170, 841, 847, 849, 875.  
 — LEHMANN, G. und — 58, 76, 124, 160, 161, 170.  
 MEINER, L. 862.  
 MEISLING 930.  
 MEISNER, W., BRÜCKNER, A. und — 718, 732.  
 MEISSL, THEODOR 956.  
 MEISSNER, G. 10, 70.  
 MELLER 49, 395.  
 — J., SACHS, M. und — 405, 457.  
 MENDE, E. 620, 648, 659, 726, 734.  
 MENDOZA, R. 734, 981.  
 MENESTRINA, G. 595, 648, 653, 655, 660, 726, 734, 742, 942, 945.  
 MERKEL und ORR 548, 552, 573, 714, 717.  
 — J. 388, 456.  
 MERTÉ, W. 460, 710.  
 MESSMER, H. 109, 110.  
 MESTREZAT und MAGITOT 20, 21, 25, 77.  
 METZGER, E. 873, 878, 881.  
 — UHTHOFF, W. und — 265.  
 — N., M. COHEN, KILLIAN, J. A. and — 27, 74.  
 — WOLFGANG 179, 183, 213, 259.  
 MEYER, A. 702, 742.  
 — F. 644, 726.  
 — H. 337, 351, 441, 447, 456, 541, 542, 726.  
 MEYER, M. 702, 742.  
 MEYERHOF, M. 556, 587, 619, 621, 625, 627, 633, 726.  
 — O. 116.  
 MEYR 6.  
 MEYROWICZ 959.  
 MICHAEL und VANCEA 8, 12, 70.  
 MICHEL und H. WAGNER 4, 77.  
 — J. V. 11, 70.  
 MILES, WALTER R. 424, 456.  
 MILHAESCU 895, 897.  
 MILLAN 645, 702, 726, 742.  
 MILLON 22.  
 MILUTIN, E. 421, 456.  
 MINKOWSKI 445, 456.  
 MITCHELL, S. W. 11, 70.  
 MITVALSKY, J. 644, 726.  
 MIYASHITA 556, 588, 714, 726.  
 MOAURO 645, 726.  
 MODONESI, FILIPPO 859, 862.  
 MOHR, TH. 726.  
 MOLL, VAN 395, 456.  
 MÖLLER 195.  
 MÖLLER, H. U. 174, 196, 197, 205, 220, 249, 264, 284, 290, 291, 644, 726, 993.  
 MONJE, M. 207, 220.  
 — FRÖHLICH, HIRSCHBERG und — 133, 158, 169.  
 MONNIK, A. J. W. 903, 914.  
 MONOD, M. 734.  
 MONOYER 925.  
 — F. 710.  
 — NAGEL und — 480.  
 MORAT, DASTRE und 18.  
 — und DOYON 18, 19, 72.  
 — J. P. 695, 930.  
 — et M. DOYON 18, 19, 72, 742.  
 MORAX 903.  
 MOREL, CHR. DE ST., R. MARTIN 702, 742.  
 — PEARSON und — 562.  
 MORET, GRANDI und — 67, 74.  
 MORGAN, O. GAYER 872, 881.  
 MORINAGA, T. 946, 948.  
 MÖRNER, C. TH. 4, 7, 27, 70, 77.  
 MOROCHOWETZ, L. 4, 70.  
 MORREY, C. B. 394, 456.  
 MORTON, H. MC 945.  
 MOTAIS 622, 726.  
 MOUL, M., PEARSON, K. und — 509, 587, 589, 651, 678, 710, 714, 727, 735, 742.  
 MOUNOD 655.  
 MOUSSARD, E. 443, 456.  
 MOUTINHO und MATTOS 643, 726.  
 MOXON, F. A. 639, 726.  
 MUCH 1017.  
 MUELLER, H. 742.  
 MÜGGE, F. 558, 648, 653, 656, 734.  
 MÜHSAM, W., HENKER, O. und — 855, 856.

- MUKAI, MAKAMURA, KOSAKI  
— und 37, 62, 77.
- MULDER, M. E. 405, 456.
- MÜLLER 680, 890, 992.  
— A. 442, 456, 826, 834.  
— E. 205.  
— F. AD. 828.  
— G. E. 106, 110, 162, 165, 170, 174, 178, 179, 181, 182, 183, 184, 188, 205, 219, 220, 228, 242, 243, 244, 264, 351, 358, 363, 364, 405, 443, 447, 456, 838.  
— H. 88, 92, 93, 110, 384, 949.  
— H. K. 195, 196, 205, 280, 281, 282, 289, 293, 366, 373, 377, 409, 456, 600, 742, 838, 874, 900, 901, 902, 905, 906, 907, 910, 911, 914, 965, 981.  
— und R. PFLIMLIN 26, 77.  
— J. 548.  
— Joh. 168, 170, 172, 173, 174, 227, 242, 354, 364, 397, 398, 456.  
— L. 621, 630, 639, 644, 726.  
— RÉE, O. 534, 536.
- MÜLLER-LYER, F. C. 392, 456.
- MÜLLER-POUILLET 422, 710.
- MÜNCH 562, 622, 625, 714, 726.
- MÜNSTERBERG, H. 393, 456.
- MUTCH, J. R. 930.
- NAGEL 881.  
— KÖLLNER 314, 339, 340.  
— MAY und — 205.  
— und MONOYER 480.  
— W., KRIES, J. v. und — 203, 205.  
— W. A. 90, 102, 110, 122, 160, 170, 174, 194, 204, 205, 267, 278, 280, 281, 284, 293, 304, 308, 316, 332, 337, 343, 351, 369, 377, 404, 405, 422, 430, 435, 456, 710, 726, 734, 742, 945, 948, 950.  
— und F. HIMSTEDT 101, 102, 110, 128, 142, 143, 145, 170.
- NAHMACHER 82, 92.
- NAKAMURA, MUKAI und KOSAKI 37, 62, 77.
- NAKAMURI 264.
- NAKASHIMA, M. 101, 110, 115, 117.
- NASR FARID 664.
- NECTOUX, A. 930.
- NEDDEN, ZUR 70, 657, 984, 992, 1009.
- NEGELEIN, E. 115, 117.  
— WARBURG, O., K. POSENER und — 115, 117.
- NEISSER, A. 726, 994, 1028.
- NERNST, W. 139, 170, 367, 377.
- NETOLICZKA, E. 555, 585, 726.
- NETTLESHIP, W. 94, 110, 726.
- NEUHAUS, R. 361.
- NEUMANN-KLEINPAUL, K. 881.
- NEUSCHÜLER, A. 18, 77.
- NEWMAN, F. A. 619, 727.
- NEWTON 173, 299, 302, 353, 354, 480.
- NICATI 21, 25, 77, 586, 587, 645, 727, 901, 914.
- NICHELATTI, P. 981.
- NICOLAI, C. 982.  
— G. F. 858, 862.
- NICOLATA, A. 620, 727.
- NICOLAU 702, 742.
- NICOLETTI, G. 628, 651, 727, 734.
- NICOLLE 991, 992, 993.
- NIDA 877, 881.
- NIEDEN, A. 775, 776, 926, 930.
- NIESNAMOFF, E. 33, 60, 77.
- NIKIFOROWSKY, P. M. 123, 132, 136, 156, 170.
- NITSCHKE und GÜNTHER 23, 855, 856, 857.
- NOGUCHI und COHEN 1037.
- NOISZEWSKI, K. 682, 742, 930.
- NOJI, R. 742.
- NORDENSON 23.  
— E. 502, 626, 648, 655, 710.  
— J. N. und M. MARQUEZ 735.  
— J. W. 499, 504, 505, 506, 512, 683, 684, 685, 693, 710, 742, 849, 863, 872, 878, 881, 959, 981.
- NOSKOV, N., POLJAK, B. und — 727.
- NOSZCZYNSKI 633, 727.
- NOTT, I. S. 578, 742, 982, 983.
- NOYES 877.
- NUEL und BENOIT 38, 46, 48, 60, 77.  
— J. P. 24, 48, 77.
- NUMERS, v. C., LINDROOS, A. und St. STENIUS 409, 455.
- NUSSBAUM, F. 413, 456.
- NUTTING 287, 293, 544.
- ØEDING, H. 908, 914.
- OEHRWALL, H. 410, 456.
- OGATA 547, 558.  
— D. and F. W. WEYMOUHT 558, 717.
- OGUCHI, Ch. 112, 114, 115, 117, 264.
- OHM, KUNZ und — 856.
- ØHRVALL, H. 183.
- OLAH, E. 840, 849.
- OLDBERG-LINDBERG 334.
- OLIVER, M. W. B. 587, 727.
- OLLENDORFF, A. 77.
- OLOFF 702, 742.
- OLSHO, SIDNEY, L. 873, 881, 930.
- OPPEL, J. J. 389, 448, 456.
- OPPENHEIMER, E. H. 589, 727, 855, 856, 961, 981.
- ORBELI, L. 170.
- ORMOND, J. A. 667, 735.
- ORR, MERKEL und — 548, 552, 573, 714, 716.
- OSANN 351.
- ÖSCH, H. 660, 727, 735.
- OSTERROTH 569, 717.
- OSTWALD, WILH. 174, 174, 297, 299, 351, 838.  
— WOLFGANG 837, 838, 875.
- OSTWALT, FR. 747, 781, 784, 914.
- OTT, FR. 555, 727.
- OTTO, F. 595, 626, 632.
- OVIIO, G. 11, 35, 70, 77, 108, 110, 862.  
— MANCA und — 10, 11, 70.
- OWEN, H. B., HARTRIDGE, H. and — 929.
- PACALIN, G. 862, 881, 927, 930.
- PACHON, LAGRANGE et — 76.
- PADERSTEIN, R. 727, 897, 898, 899, 899.
- PAGENSTECHE 43, 70, 77.
- PAIWÖ, P., GRANIT, R. und T. JÄNTTI, S. LINDSTRÖM und L. SALMENHARJU 409, 453.
- PANAS 77.
- PANUM, P. L. 399, 429, 447, 456.
- PAPARCONI, E. 643, 727.
- PAPPENHEIM 992.
- PARDO 6, 71.
- PARENT 976.
- PARINAUD, H. 88, 92, 109, 110, 203, 205, 259, 264, 304, 364.
- PARLANGE, J. A., TEULIÈRES, M. et — 897.
- PARSON, J. H. 107, 110.
- PARSONS, J. H. 77, 174.
- PASCAL, J. U. 444, 456, 578, 742.  
— JOS. L. 881, 981, 982, 983.
- PASCHEFF, C. 645, 727, 1038.
- PASSEČNIK, V. 914.
- PASSOW, A. 742, 881.
- PASCURIER und VALLERIC 702.
- PATRY, ANDRÉ 956.  
— F. L. 702, 742.
- PATTON, JAMES 897.
- PAULI 143, 170.  
— W. E. und R. 351.
- PAULSEN, O. 637, 727.
- PAUSE, G. 620, 727.
- PAUTZ, W. 22, 77.
- PAVIA, LIJO J. 849, 881.
- PAYNE, S. M. 735.
- PEARSON, BARRINGTON und — 562, 712.

- PEARSON und MOREL 562.  
 — K. und M. MOUL 509,  
 587, 589, 651, 678, 710,  
 714, 727, 735, 742.  
 — Woo, T. L. and — 424, 459.  
 PECH, J. L. 963, 981.  
 PERCIVAL, S. A. 574, 583, 657,  
 717, 931.  
 PERGENS, ED. 81, 82, 84, 85,  
 87, 90, 92, 556, 644, 727,  
 931.  
 PÉRIN, DUPUY-DUTEMPS et —  
 645, 720, 738.  
 PERLET, G. 90, 92.  
 PERRIN, R. 702, 742.  
 PERTORELLI 334.  
 PERTZ, A. 196, 205.  
 PESME, P. 633, 727.  
 PETER 562.  
 — LINA 316, 317, 319.  
 — L. C. 940, 945.  
 — R. 440, 456.  
 PÉTERFI, K. 166, 170.  
 PETERMANN, B. 440, 443, 457.  
 PETIT 1007, 1008, 1009.  
 PETZVAL, J. 461.  
 PFALZ, G. 429, 457, 637, 638,  
 647, 648, 655, 656, 710,  
 727, 735, 742.  
 PEIFFER, R. A. 427, 438, 446,  
 457.  
 PEIFFER, RICHARD 1005.  
 PFINGST, A. O. 570, 588, 666,  
 727.  
 PFISTER 442, 457.  
 PFLIMLIN, R. 909, 914, 946, 948.  
 — MÜLLER, H. K. und — 26,  
 77.  
 PFLÜGER, E. 33, 77, 338, 347,  
 558, 586, 621, 633, 648,  
 650, 653, 656, 670, 727,  
 914.  
 PFLUGK, A. v. 690, 691, 693,  
 694, 743, 887.  
 PHILIPP 639.  
 PI, H. T. 710.  
 — LI, T. M. und — 741.  
 PICHLER, A. 710.  
 PICK 682, 743, 862, 881.  
 PICKLER, J. 446, 457.  
 PIÉRON, H. 164, 170, 207, 213,  
 220.  
 — FRANÇOIS, M. und — 93,  
 109.  
 PILLAT, A. 600, 625, 727.  
 — DIMMER, F. und — 878,  
 880.  
 PILMAN, N. 914.  
 PILTZ, J. 743, 862.  
 PILZECKER, A., LEBER, TH.  
 und — 33, 76.  
 PINCUS, F. 547, 714, 727.  
 PIPER, H. 102, 106, 110, 120,  
 125, 126, 127, 128, 132,  
 137, 139, 141, 144, 145,  
 152, 162, 170, 195, 196,  
 205, 230, 242, 280, 281,  
 283, 284, 294, 324, 329,  
 445, 457.  
 PIPER, M. 375, 377.  
 PLACIDO 644, 957.  
 PLANCK, M. 105, 110, 294.  
 PLANTA, P. v. 319, 337, 351.  
 PLANTENGA, H. 504, 571, 698,  
 710, 743.  
 PLATEAU 220, 221, 242.  
 PLATEAU-HERING 226.  
 PLATERS, FELIX 353.  
 PLATO 353.  
 PLEGGÉ, HELENE 852, 853.  
 PLENK, DIETEL und — 94,  
 109.  
 PLOCHER, R. 603, 612, 623,  
 727.  
 PLOMANN, K. G. 702, 743.  
 PODESTÀ, H. 351.  
 POLACK-VAN GELDER, RE-  
 GINE 908, 914.  
 POLATTI, A. 603, 612, 623, 727.  
 POLJAK, B. und N. NOSKOV  
 727.  
 POLLOCK, K. G., H. BANISTER  
 und — 682, 736.  
 PONCET 73.  
 — und DOYON 18.  
 POOS, F. 617, 695, 727, 743.  
 — ENGELKING und — 210,  
 219.  
 — und G. SANTORIE 743.  
 POPOW, M. 562, 714.  
 POPPELREUTER, W. 428, 438,  
 440, 441, 457.  
 POSCHOGA, N. 735.  
 POSELGER, TH. 352.  
 POSENER, K., WARBURG, O.,  
 E. NEGELEIN und — 115,  
 117.  
 POULAILLE 898.  
 POWER, H. D'ARCY 897.  
 PRANDTL 402, 457.  
 PRANGER, A. D. 696, 698, 743.  
 PRATO 952.  
 PRENTICE 813.  
 PRETORI, HESS und — 223,  
 225, 241.  
 PRÉVOST 418.  
 PRIESTLEY-SMITH 9, 14, 32,  
 45, 60, 71, 73, 77, 574, 584,  
 587, 711, 717, 729, 904,  
 905, 906, 909, 914, 916,  
 917, 918, 920, 937.  
 PRINKE, TH. 48, 77.  
 PROCTOR, C. A., AMES jr., A.  
 und — 539, 541, 544, 662,  
 707.  
 PROKSCH 926, 931.  
 PROSKAUER, TH. 586, 727.  
 PROWAZEK, v., HALBER-  
 STAEDTER und — 1037.  
 — A. LEBER und — 1006.  
 PRZYBYSKAJA, JA. 948.  
 PULFRICH, C. 207, 209, 220,  
 430, 436, 444, 457.  
 PURKINJE, J. E. 200, 205, 220,  
 402, 457, 542, 682, 686,  
 743, 949, 950.  
 PURTSCHER, ADOLF und GU-  
 STAV GUIST 884, 887.  
 — O. 882.  
 PÜTTER, A. 143, 171, 374, 375,  
 377.  
 QUENSEL 179, 920.  
 QUINCKE 73.  
 QUINT, C. 899.  
 RAAF, J. E. 931.  
 RABINOWITSCH, S. 196, 205,  
 282, 294.  
 RABL 507, 710.  
 RADOS, A. 22, 34, 77.  
 RAEDER, J. G. 504, 505, 572,  
 588, 710, 714, 717, 727.  
 RAEHLMANN, E. und L. WIT-  
 KOWSKI 402, 457.  
 RÄHLMANN, E. 352, 361, 362,  
 365, 672.  
 RAMON Y CAJAL 387, 445, 457.  
 RAND, G., FERREE, C. E. and  
 — 664, 733, 858, 861, 922,  
 924, 929, 933, 934, 939,  
 943, 961, 980.  
 RANDALL 549, 727.  
 RANVIER 5, 71.  
 RAPHAEL 927, 931.  
 RASSER, E. O. 352.  
 RAUBITSCHKEK, E. 526, 962,  
 964, 981.  
 RAWITSCHER, F. 139, 171.  
 RAWITZ, B. 84, 92.  
 RAYLEIGH 308.  
 RAYNAUD 73.  
 RE, FR. 113, 117.  
 RECKLINGHAUSEN, v. 5, 71,  
 397, 457.  
 REDSLOB, E. 621, 698, 743, 897.  
 — et G. LÉVY 645, 727, 743.  
 — et P. REISS 55, 77.  
 RÉE, O. M. 661, 735.  
 REEVES, P. 247, 248, 264.  
 REHSTEINER, K. 588, 594, 727.  
 REICH, JAENSCH, E. R. und  
 428, 455.  
 — — FREILING. und — 428,  
 455.  
 — M. 160, 171, 504, 505, 555,  
 556, 586, 710, 727.  
 REICHERT 352.  
 REIMANN, E. 442, 457.  
 REIMAR 443, 457.  
 REINSTEIN 37.  
 REISS 8, 55.  
 — P., REDSLOB, E. et — 55, 77.  
 REITSCH, W. 743, 862, 882.  
 RENQVIST, V. 105, 108, 110,  
 171.

- RÉNY 547.  
 RETZIUS, G. 688.  
 REUSS, A. v. 505, 506, 554, 601, 665, 666, 711, 714, 717, 727, 735.  
 REYMOND, CHR. 670, 735.  
 REYS, L. 702, 743.  
 RHEINBERG, J. 820.  
 RIBBERT 993.  
 RIBERA 651.  
 RICCI, E. 926, 931, 945.  
 RICCO, A. 230, 242, 931.  
 RICHTER, W., W. LÖHLEIN, G. SCHWARZ und — 930.  
 RIEDEL, A. H. 120, 128, 171.  
 RIEGER und v. FORSTER 18, 19, 73.  
 RIESE, GOLDSTEIN, K. und — 410, 453.  
 RIGEL 556.  
 RISLEY 645, 727.  
 RISSLING, P. 24, 77.  
 RITZMANN, K. 855, 856.  
 ROAF, H. E. 931.  
 ROBERT 260.  
 ROBERTS, W. H. 582, 717, 897.  
 ROCHAT 755.  
 — G. F. 113, 117, 981.  
 — G. G. 849.  
 ROCHON-DUVIGNEAUD 445, 457, 603, 728.  
 RODENSTOCK 975.  
 ROELOFS und BIERENS DE HAAN 931.  
 — C. O. 195, 449, 457, 696, 743.  
 — und W. P. C. ZEEMANN 109, 111, 196, 205.  
 — R. und DE FAVAUGE-BRUYEL 424, 457.  
 RÖHMANN, F. und W. SPITZER 116, 117.  
 ROHR, M. v. 430, 432, 434, 435, 457, 460, 461, 467, 478, 480, 482, 485, 488, 490, 491, 499, 514, 518, 536, 544, 547, 568, 576, 630, 635, 636, 644, 647, 672, 676, 705, 706, 711, 714, 717, 728, 735, 743, 745, 747, 749, 761, 766, 773, 787, 792, 797, 798, 804, 808, 809, 811, 812, 814, 816, 822, 826, 832, 834, 854, 875, 963, 981.  
 — und O. HENKER 743.  
 ROHR, M. v. und W. STOCK 834.  
 ROHRSCHEIDER, W. 700, 743.  
 ROLLET et DURAND 852, 853.  
 ROLLMANN, W. 434, 457.  
 ROMANO-CATANIA, A. 621, 728.  
 RÖMER, P. 4, 24, 25, 34, 56, 66, 71, 77, 903, 914, 998.  
 — KOCHMANN, M. und — 56, 66, 76.  
 RÖNNE, HENNING 2, 294, 352, 547, 590, 594, 595, 659, 717, 728, 743, 885, 887, 935, 938, 945.  
 ROOD, O. N. 448, 457.  
 ROOSA 645.  
 RÖSCH, H. 160, 171.  
 — und W. TE KAMP 115, 117.  
 — S. 844.  
 ROSENBERG, M. 743.  
 ROSENGREN, B. 504, 505, 711, 960, 981.  
 ROSENSTEIN, M. 620, 645, 728.  
 ROSENTHAL, O. 71.  
 ROSMANIT, J. 352.  
 ROSOW, B. 505, 711.  
 ROSSI, D. 620, 657, 728, 735.  
 RÖSSLER, FRITZ 935, 941, 945, 962, 963, 981.  
 ROTH, A. 843, 849, 927, 931, 957, 981.  
 ROTHAN, H. 259, 264.  
 ROTHMANN 633, 634, 728.  
 ROTHSCHILD, H. 411, 457.  
 ROURE 651, 672, 735.  
 ROUX 1000.  
 RUATA 1010.  
 RÜBEL, E. 571, 717.  
 RUBEN, L. 55, 77, 905, 914.  
 RUBERT, J. 67, 78.  
 RUEDEMANN, A. J. 702, 743.  
 RUETE 863, 867.  
 RUFF, O. 642, 728.  
 RUFFELL, ERIC 856.  
 RUITER, DE 6, 71.  
 RUNGE und KAULFUSS 855.  
 RUPPERT, L. 386, 457.  
 RUTGERS, G. E. 256, 264.  
 RUYTER, J. DE 882.  
 SABA, V. 931.  
 SABBADINI, D. 90, 92.  
 SACHA, ANT., FR. DREUSCHUCH und — 896.  
 SACHS 590, 885, 886, 887.  
 — E. 126, 141, 149, 150, 151, 152, 165, 171, 346.  
 — AHLENSTIEL, H. und H. STRECKFUSS 954, 956.  
 — KOHLRAUSCH, TEUFER und — 174, 174.  
 — M. 395, 400, 410, 728.  
 — und J. MELLER 405, 457.  
 — und R. WLASSAK 402, 403, 457.  
 SAEGER, F. 728.  
 SAENGER, WILBRAND und — 249, 250, 257, 265, 321, 352.  
 SAFAR, KARL 872, 882.  
 SAGAGUCHI 728.  
 SALA 12, 71.  
 SALAZAR, LUIGI 948.  
 SALFFNER 10.  
 SALIT und MATTILL 8, 71.  
 SALKOWSKY 73.  
 SALLER, K. 849.  
 SALMENHARJU, L., GRANIT, R. und T. JÄNTTI, S. LINDSTRÖM, P. PAIWIÖ und — 409, 453.  
 SALOMONSOHN, H. 541, 542.  
 SALVATI 14, 73, 908, 914.  
 SALZER, F. 889, 890, 897, 941, 945.  
 SALZMANN, M. 503, 518, 578, 591, 595, 601, 602, 604, 614, 643, 659, 682, 711, 714, 728, 735, 743, 870, 872, 878, 879, 882.  
 SAMKOWSKIJ 26, 78.  
 SAMOJLOFF, A. J. 14, 17, 73, 254, 264, 314, 352, 914, 915, 918, 920, 946, 948.  
 SAMPSON 472, 519.  
 SANDER, E. 860, 862, 894.  
 SANDERA, R. 897.  
 SANDOZ 914.  
 SANTORIE, G., POOS, F. und — 743.  
 SATTLER 257, 576, 581, 617, 632, 637, 717, 728, 839, 845.  
 SATTLER-HERING 851.  
 — C. H. und J. KAISER 953, 956.  
 SAVARINO, A. 116, 117.  
 SCALINCI, N. 7, 9, 11, 23, 24, 42, 68, 71, 78, 620, 728.  
 SCHAFF, ERNEST et PAUL BLUM 956.  
 SCHALL 638, 728.  
 SCHANZ, F. 189, 250, 264, 362, 365, 837.  
 — und STOCKHAUSEN 12, 71.  
 SCHAEPFINGER 645, 728.  
 SCHARNKE, A. 177, 183.  
 SCHATERNIKOFF 205.  
 SCHAUDINN 1034.  
 SCHEEL, M. 633.  
 SCHEERER, R. 265, 612, 617, 714, 728, 950, 950.  
 — und BETSCH, A. 550, 551, 560.  
 — und ALBERT SEITZER 595, 615, 625, 711, 728.  
 SCHEINER, CH. 499, 526, 548, 711, 963.  
 SCHELSKE, R. 352, 657, 735, 914.  
 SCHERENBERG 570, 717.  
 SCHENK, F. 359, 360, 365.  
 SCHERING, GEHLHOFF und — 275.  
 SCHERK 937.  
 SCHIECK, DOLD und — 989.  
 — F. 2, 5, 8, 25, 40, 49, 78, 592, 603, 626, 645, 728, 847.  
 SCHIFF 18, 19, 73.  
 SCHILDER, P. 410, 457.  
 SCHINDLER, E. 255, 265.

- SCHIÖTZ, H. 67, 78, 352, 589, 650, 667, 669, 670, 735, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 910, 911, 914, 920.  
— E. JAVAL und — 499, 503, 958, 959.
- SCHIRMER, O. 71, 182, 183, 291, 294, 858.
- SCHJELDERUP, H. K. 225, 242, 352, 365.
- SCHLABS, G. 851, 853.
- SCHLÄPFER, H. 931.
- SCHLEGTENDAL, DÜRR und — 603, 720.
- SCHLEICH, G. 552, 555, 556, 561, 586, 625, 628, 659, 714, 717, 728, 735.
- SCHLEIERMACHER, L. J. 548, 747.
- SCHLESINGER 859, 862.
- SCHLEY 735.
- SCHLODTMANN, W. 418, 457.
- SCHLOMKA, BURGER, G. und — 4, 7, 69.
- SCHLÖSSER 71, 857, 858, 862.
- SCHMELZER, H. 23, 68, 78.
- SCHMERL, E. 9, 71.
- SCHMIDT 714.  
— G. 116, 117, 562.
- SCHMIDT-RIMPLER, H. 19, 78, 94, 111, 525, 555, 583, 615, 621, 639, 717, 728, 743, 973.
- SCHMITZ-MOORMANN, P. 114, 115, 117.
- SCHNABEL, J. 601, 728.  
— und HERRNHEISER 610, 612, 613, 728.
- SCHNEIDER, CH. 482, 691.  
— ELIS 743.
- SCHOENBERG, MARK, J. 48, 852, 882, 945.
- SCHÖLER 14, 17, 18, 19, 26, 37, 73.  
— und UTHOFF 11, 62, 78.  
— H., L. MANDELSTAMM und 504, 505, 506, 710.
- SCHOLZ, W. 408, 457.
- SCHÖN, W. 16, 73, 422, 449, 457, 470, 569, 574, 630, 648, 655, 711, 717, 735, 743.
- SCHONEBECK 735.
- SCHÖNLEIN 1032.
- SCHOPENHAUER, A. 352.
- SCHOTT 333.
- SCHOTTENHEIM, O. 653, 735.
- SCHOUSBOE, M. F. 882.
- SCHOUTE, G. J. 696, 728, 743.
- SCHREIBER, P. 555, 728.
- SCHRIEVER, W. 435, 457.
- SCHROEDER, H. 142, 171, 443, 457.
- SCHROETER, PAUL 856.
- SCHRÖDER, C. DE 575, 717.  
— ELISABETH 946, 948.
- SCHRÖDINGER, E. 145, 171.  
— H. 174, 174.
- SCHUBERT, TSCHERMAK und — 191.
- SCHÜLLER 893.
- SCHULTÉN, M. W. v. 14, 18, 65, 73, 78, 914.
- SCHULTZ-ZEHDEN 639, 729.
- SCHULTZ, BRUNO K. 845, 849.
- SCHULTZE, MAX 203, 205, 361, 363, 384.
- SCHULZ 555.
- SCHULZE, ERNST 66, 78.
- SCHUMANN, F. 443, 458.
- SCHÜPBACH, P. 89, 92.
- SCHÜRENBERG, AXENFELD, TH. und — 698, 736.
- SCHÜSSELE 574.
- SCHWALBE, G. 25, 43, 61, 78.
- SCHWARTZ, A. 171, 352.  
— G., LÖHLEIN, W., W. RICHTER und — 926, 930.  
— O. 402, 458, 743, 932.
- SCHWEIGGER 617, 625.
- SCHWEIGGER-SEYDEL 6, 71, 396.
- SCHWEIZER, A. 586, 627, 729.
- SCHWERD, F. M. 542, 711.
- SCIMEMI 22, 38, 48, 853, 856, 872, 882.
- SCOTT, J. 352.
- SCOTTI, PIETRO 887.
- SCULLICA, FR. 931.
- SEABROOK 717.
- SEALE, E. A. 667, 735.
- SÉDAN, J. 639, 645, 654, 729, 735.
- SEEBECK, A. 306, 334, 352.
- SEEFELDER, R. 548, 620, 624, 648, 660, 729, 735.
- SEFFERS, K. 225, 242.
- SEGALLER, M. 882.
- SEGGER 555, 556, 558, 615, 621, 629, 638, 642, 659, 729.
- SEIDEL, E. 17, 26, 33, 35, 39, 40, 41, 42, 43, 46, 49, 50, 52, 53, 54, 56, 57, 58, 62, 63, 67, 68, 78, 910, 914, 918, 919, 920.
- SEITZER, A., SCHEERER, R. und — 595, 615, 625, 711, 728.
- SEKA, W. A. 714.
- SELINGER, E. 698, 743.
- SERGIEWSKI, L. 656, 735.
- SERR, H. 58, 68, 78, 914, 917, 918, 919, 920, 950, 950.
- ŠEVELEV, M. 729.
- SEWALL, H., KÜHNE, W. und — 88, 91.
- SHAHAN, W. E. 735, 849, 945.
- SHAW, M. 743.
- SHEARD, CH. 542, 711, 964, 981, 983.
- SHEARD, C. and C. McPEEK 146, 171.
- SHEARER, JAMES F., HOUSTON, R. A. and — 922, 930.
- SHERRINGTON, C. H. S. 212, 213, 220, 225, 228, 242, 446, 458.
- SHOJI 8, 71.
- SICARD 928.
- SIDLER-HUGUENIN 622, 729.
- SIEBENLIST, W. 586, 729.
- SIEBERT, KARL 183.
- SIEDENTOPF, H. 542, 711.
- SIEGRIST, A. 609, 610, 612, 620, 623, 648, 656, 659, 675, 729, 735, 831, 925.
- SIKLOSSY 926.
- SILEX, P. 64, 78, 670, 735.
- SIMCHOWITZ, H. 411, 548.
- SIMON 648, 656.  
— M., LANGE, H. und — 113, 114, 116.
- SINITZIN 73.
- SINSTEDEN 352.
- SITTIG, O. 442, 458.
- SIVÉN, O. und G. v. WENDT, 87, 92, 108, 111.  
— V. O. 111.
- SJUMJANZEW, N. F. 711.
- SKLARZ, E. und MASSUR, FR. W. 702, 743.
- SLUDER, G., GREEN jr., J. and — 698, 739.
- SLYKE, VAN 23.
- SMITH, D. C. 87, 92, 232, 242.  
— P. 717.
- SNELL, A. C. 931.
- SNELLEN, H. 386, 458, 517, 658, 660, 669, 735, 914, 923, 924, 954.
- SOBY, M. 744.
- SOCOR 78.
- SOEWARNO, M., ESSÉD, W. F. R. und — 720.
- SONDER 587, 620, 729, 735.
- SONNEFELD, A. 352, 792, 820, 834.
- SÖRENSEN 556, 563, 714, 717, 729.
- SOULD 424, 458.
- SOURASKY, A. 641, 729, 982.
- SOURLILLE 582, 729.
- SOUTHALL J. P. C. and H. HARTING 981.
- SPANUTH, J. 797, 800, 801, 834, 876, 882, 970, 981.
- SPECIALE-PICCICHÉ, P. 894, 897.
- SPEIDEL 586, 587, 729.
- SPEYR, PH. DE 916, 920.
- SPIELMEYER 265.
- SPITZER, W., RÖHMANN, F. und — 116, 117.
- STADFELDT, A. 504, 505, 506, 510, 712, 895.
- STAHAM 666.
- STÄHLI, J. 562, 574, 655, 717, 735, 840, 849, 870, 873, 882.

- STAMMESHAUS, W. 714.  
 STANGE 894, 897.  
 STANKA, R. 690, 695, 744.  
 STARGARDT, K. 249, 250, 252, 253, 259, 262, 265, 292, 294, 598, 629, 729, 945.  
 STARK, E. K. 700.  
 — BERENS, C. und — 737.  
 — ELISABETH K., TEFFT, E. LLOYD und — 744.  
 STARLING, E. H., HENDERSON, F. E. und — 65, 66, 67, 75.  
 STAUNING, K. und F. v. HERRENSCHWAND 894, 897.  
 STEDEFELD, HUGO 897.  
 STENHUIS, D. J., HOEVE, J. VAN DER und — 896.  
 STEFAN 294.  
 STEIGER, A. 502, 553, 554, 559, 560, 563, 586, 587, 589, 615, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 625, 647, 648, 653, 654, 656, 657, 660, 662, 664, 711, 714, 729, 735.  
 STEIN, E. 78, 907, 914.  
 — H. 149.  
 STEINDORFF, K. 10, 27, 69, 71.  
 STEINER, J., KÜHNE, W. und — 121, 122, 123, 125, 128, 129, 130, 132, 133, 134, 154, 160, 161, 162, 170.  
 STEINHAUS, H., BERNSTEIN, F. und — 737.  
 STENIUS, ST., LINDROOS, A. und C. v. NUMERS 409, 455.  
 STENVERS 894.  
 STEPHENSON, S. 587, 729, 903, 914.  
 ŠTĚPKA, J. 702, 744.  
 STERN, L. W. 407, 408, 458.  
 — R. 96, 111.  
 STERNECK, R. v. 437, 441, 458.  
 STEVENS, G. 396, 458.  
 STEVENSON, CL. 855, 856.  
 STEWART, C. C. 411, 458.  
 — D. STENHOUSE 882.  
 STIEFLER 744.  
 STIGLER 207, 212, 220.  
 STILLER 620.  
 STILLING, J. 315, 336, 347, 558, 603, 608, 615, 616, 620, 621, 622, 629, 693, 729, 744, 875, 954.  
 — und H. LANDOLT 629, 714, 729.  
 STIRLING, A. W. 655, 736.  
 STOCK, W. 36, 67, 78, 603, 612, 616, 651, 672, 729, 736, 834, 914, 927, 931.  
 — ROHR, M. v. und — 834.  
 STOCKARD 563, 621, 714, 717, 730.  
 STOCKER 554.  
 STOCKHAUSEN, SCHANZ und — 12, 71.  
 STORY, J. B. 686, 744.  
 STRATTON, G. M. 430, 458.  
 STRAUB, H. 916, 918, 920.  
 — M. 60, 78, 554, 556, 561, 562, 569, 575, 577, 579, 586, 615, 617, 619, 623, 637, 638, 714, 717, 730, 736.  
 — FALKENBURG, J. und — 561, 713, 715, 720.  
 STRAWBRIDGE, G. 505, 711.  
 STREBEL, J. 588, 595, 694, 730, 744, 947, 948.  
 STRECKFUSS, H., AHLENSTIEL, H., E. SACHS und — 954, 956.  
 STREIFF, J. 436, 458, 558, 562, 622, 625, 714, 717, 730.  
 STREULL, H. 694, 744, 849.  
 STRUGHOLD, H. 947, 948.  
 — FREY, M. v. und — 948.  
 STUBBE, E. 586, 587, 730.  
 STÜBEL, ADA 71, 78.  
 — MAGNUS, GEORG und — 5, 49, 70, 77.  
 STÜDEMANN, H. 946, 949.  
 STUMPF 890.  
 STURCHIO, BOTTAZZI und — 24, 27, 68, 74.  
 STURM 492.  
 SUGASAWA, N. 914.  
 SUGITA, Y. 97, 108, 111, 115, 117.  
 SULZER, G. A. 648, 650, 711, 736, 931.  
 SUMYOSHI, LOEWENSTEIN und — 1018.  
 SUNDBERG, C. G. 402, 458.  
 SUNDQUIST, M. 460, 705, 711, 834.  
 SUTCLIFFE, E., KEELER, C. E., E. L. CHAFFEE und — 161, 170.  
 — J. H. 499, 712, 959.  
 SVETLIN, W., KLEIN, S. und — 72.  
 SWAINE, W. 541, 712.  
 SWEET, W. M. 890, 891, 897.  
 SYDOW, E. 931.  
 SYMENS 595, 730, 736.  
 SZEKRÉNYI, L. 914.  
 SZILI, A. 730, 736.  
 SZILY, A. v. 408, 410, 458, 547, 594, 595, 613, 625, 659, 730, 736, 894, 952, 953, 998, 1038.  
 SZIMENI 666.  
 TAGAWA, S. 982.  
 TAIT 94, 111.  
 TAKAGI und KAWAKAMI 246, 265.  
 — R. 197, 205.  
 TAKAHASHI, T. 682, 744.  
 TAKATSUJI, M. 714.  
 TALBOT 212, 220.  
 TAMIYA, CH. 117.  
 TAPPEINER, H. v. 102, 111.  
 TASSMANN, I. S. 71.  
 TAYLOR, A. J. SAVILLE 931.  
 TEFFT, LLOYD E. and ELISABETH K. STARK 744.  
 TEICHER 606.  
 TE KAMP, W., RÖSCH, H. und — 115, 117.  
 TENGROTH 872.  
 TENNER, A. S. 556, 586, 587, 714, 730.  
 THEOBALD, P. 910, 914.  
 TERRIEN, F. 645, 730, 897.  
 TERSON, A. 15, 839, 849, 915.  
 TESSIER, G. 692, 701, 744, 905, 914.  
 TETSUO und KOMURA 33.  
 TEUFER, KOHLRAUSCH, — und SACHS 174, 174.  
 — J., KOHLRAUSCH, A. und — 205.  
 TEULIÈRES, M. et J. A. PARLANGE 897.  
 THEOBALD, S. 744.  
 THIEL, R. 1, 18, 574, 837, 839, 848, 849, 887, 894, 895, 897, 908, 911, 914, 916.  
 — BRILL, E. und — 861, 861.  
 THIENLIN, DUBAR und — 556.  
 THIENPORT, R. 897.  
 THOMPSON, H. 633, 730, 890, 897.  
 THOMSON, E. 595, 702, 730, 736.  
 — H. 744.  
 THORBURN, T. 882.  
 THOREY und M. TSCHERNING, 692, 744.  
 THORINGTON 962.  
 THORNE, F. H. 932.  
 THORNER, W. 17, 73, 542, 590, 616, 712, 730, 744, 856, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 882, 974, 976, 982.  
 THORRINGTON, J. MONROE 926, 931.  
 THUNBERG 9.  
 TIGERSTEDT, R. 267, 352, 544, 712.  
 TIRALA 126, 160, 161, 171.  
 TITSUO, AHE und KOMURA 78.  
 TOBGY, A. F., KÖHLER, A. und — 504, 710, 837, 838.  
 TOBLER, TH. 48, 78.  
 TOCZYSKI, F. 915.  
 TODD 673.  
 TOMLINSON, J. H. 445, 458.  
 TORNABENE 265.  
 TORSAKER 334.

- TRANTAS 526, 870, 879, 882, 884, 886, 887, 964, 965, 982.  
 TRANTENROTH 1016.  
 TRAQUAIR, H. M. 932, 934, 935, 938, 945.  
 — H. LAUBER, LUTTER, PETER C. und — 945.  
 TREITTEL, TH. 194, 205, 291, 294.  
 TRENDELENBURG, W. 86, 90, 94, 96, 99, 100, 103, 104, 105, 111, 145, 161, 171, 277, 444, 448, 458, 851, 853, 854, 855, 856, 858, 862.  
 — DRESCHER, K. und — 293, 429, 458.  
 — MARX, E. und — 410, 456.  
 TRESLING, I. H. A. F. 915.  
 TREUTLER, B. 665, 666, 736.  
 TREPPEL, H. 518, 712, 730.  
 TRIGHT, VAN 16, 73.  
 TRON, E. 28, 59, 78, 503, 505, 506, 509, 560, 562, 588, 589, 622, 659, 666, 712, 714, 730, 736.  
 TRONCOSO, MANUEL URIBE 879, 882, 940, 944.  
 TROTSENBURG, VAN 587, 730.  
 TRUC, H. 265, 954, 956.  
 TSCHERMAK, A. v. 106, 111, 119, 165, 171, 174, 175, 184, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 196, 201, 205, 206, 210, 211, 213, 215, 216, 220, 220, 225, 226, 227, 231, 232, 242, 304, 306, 352, 365, 379, 393, 394, 395, 397, 398, 403, 408, 413, 414, 418, 427, 428, 431, 458, 682, 854, 856, 934, 946, 949.  
 — und P. HÖFER 446, 458.  
 — und SCHUBERT 191.  
 TSCHERNING, BONVERIS und — 562.  
 — M. 289, 290, 291, 294, 504, 505, 506, 508, 534, 586, 615, 618, 642, 651, 652, 662, 684, 685, 686, 688, 690, 692, 693, 694, 712, 730, 736, 744, 747, 782, 783, 787, 809, 834.  
 TUMJANZEV, N. 744.  
 TÜRK, S. 16, 63, 64, 78.  
 UHLENHUTH 8, 71, 1017.  
 UHTHOFF, SCHÖLER und — 11, 62, 78.  
 — W. 26, 37, 257, 265, 317, 352, 442, 458, 581, 622, 626, 683, 686, 702, 730, 744, 931, 937, 957.  
 — und E. METZGER 265.  
 ULBRICH, H. 36, 37, 78, 504, 683, 712, 744, 843, 846, 960, 1021.  
 ULRICH, R. 10, 11, 17, 60, 71, 73, 78.  
 UNNA 993.  
 UPPENBORN-MONASCH 294.  
 URBANEK, J. 37, 63, 79.  
 URBANTSCHITSCH, V. 404, 458.  
 URIBE Y TRONCOSO, M. 33, 43, 45, 79.  
 USCHAKOFF 933.  
 USHER, C. H. A. 644, 730.  
 VACHER, L. 633, 730.  
 VAIDA, v. 436, 458.  
 VALDES, DAÇA DE 746.  
 VALENTIN, J. 873, 882.  
 VALENTINE, C. W. 399, 458.  
 VALERO 736.  
 VALLERIX, PASTURIER und — 702.  
 VALOIS, G., LEMOINE, P. und — 843, 849, 881.  
 VALUDE, E., LAGRANGE, F. und — 710, 734.  
 VANCEA, MICHAÏL und — 8, 12, 70.  
 VARELMANN, H. 629, 730.  
 VELINSKY, ST. 391, 458.  
 VELTER, E. 14, 73, 920.  
 VENNEMANN, E. 644, 730.  
 VERAGUTH, O. 449, 458.  
 VERBICKIJ 928.  
 VERBITZKY, V. C. 744.  
 VERHOEFF, F. H. 926, 982.  
 VERWEY, A. 657, 897, 920.  
 VICENTIS, G. DE 945.  
 VICHOLKOWSKA, A. 443, 458.  
 VICTORIN, F. 792, 834.  
 VIERLING, F. 340, 352, 956.  
 VIERORDT, K. 16, 73, 352, 406, 411, 458.  
 VINCENT, MAWAS und — 23, 77.  
 VINTSCHGAU, v. 316.  
 VIRCHOW 27, 79.  
 VLADYČENCKIJ, A. 931.  
 VOGELSANG, K. 165, 171, 208, 209, 210, 220, 900, 907, 915, 946, 949.  
 VOGT, A. 12, 71, 145, 171, 318, 319, 352, 504, 507, 508, 541, 556, 594, 601, 614, 623, 624, 625, 644, 667, 694, 712, 715, 730, 736, 744, 837, 839, 843, 844, 845, 846, 847, 849, 873, 874, 875, 882, 892, 893, 897.  
 — und J. GALATTI 507.  
 — H. 265.  
 VOIGT 730.  
 VOIROL 558, 715.  
 VÖLKERS, C., HENSEN, V. und — 17, 72, 618, 688, 693, 723, 740.  
 VOLKMANN, A. W. 381, 388, 395, 396, 397, 399, 413, 416, 447, 458.  
 VOLKMANN, W. 460, 475, 712.  
 VOLLBRECHT 262.  
 VONWILLER, P. 840, 849.  
 VRIES, W. M. DE 552, 561, 714, 730.  
 VULPIAN 18, 19, 73.  
 WAALER, G. 319, 352.  
 WAARDENBURG, P. J. 318, 504, 562, 563, 622, 712, 715, 730.  
 WACHSMUTH 898.  
 WÄCHTER, F. 430, 459.  
 WAGENMANN 3, 45, 63, 71, 79, 643, 644, 730, 897.  
 WAGNER, H., MICHEL und — 4, 77.  
 WAHLFORS, K. R. 915.  
 WALAWELSKI, H. 680.  
 WALKER, C. B. 946.  
 — W. 196, 205.  
 WALLENBERG, A. 79.  
 WALLER, A. D. 119, 122, 123, 132, 142, 143, 146, 160, 171.  
 WALTER, H. 143, 171.  
 WARBURG, O. 115, 117.  
 — K. POSENER und E. NEGELEIN 115, 117.  
 WARSCHAWSKI, J. 717.  
 WATT, NORMAN 856, 856.  
 WAETZOLD, P. 638, 715, 730, 889.  
 WEBELS 947.  
 WEBER 17, 45, 66, 79.  
 — A. 79, 632, 670, 686, 736, 915.  
 — C. 79.  
 — E. H. 179, 180, 181, 183, 383, 412, 459.  
 — F. 641, 730, 849, 903.  
 WEBSTER, D. 644, 731.  
 WECKER, DE 957.  
 WEEKERS, L. 63, 79, 263, 265, 352, 956.  
 — et R. HUBIN 956.  
 WEEKS, J. E. 897, 1003.  
 WEGNER 3, 17, 18, 65, 79, 160, 171, 908.  
 — J. 915.  
 — W. 847, 883, 901, 915, 916, 920, 943, 946.  
 WEICHELBAUM 1029.  
 WEIGELIN 638, 731, 911, 915.  
 WEIGERT, FR. 105, 106, 111, 119, 171, 376, 377, 992.  
 WEILER 858, 862.  
 WEIMANN, M. 901, 915.  
 WEINBERG, E. 424, 459.  
 WEINHOLD, M. 411, 459.  
 WEINLAND, E. F. 731.  
 WEISS, A. 644, 731.  
 — E. 182, 183, 375, 376, 377, 530, 712, 784, 797, 798, 834, 931.

- WEISS, L. 71, 555, 586, 587, 595, 599, 602, 608, 609, 610, 616, 617, 621, 622, 625, 715, 731.  
— OTTO 1, 11, 15, 17, 30, 33, 37, 38, 43, 45, 48, 50, 52, 53, 65, 66, 68, 73, 79, 81, 87, 92, 433, 459.  
— R. 94, 111.  
WELCKER 384, 396.  
WELPONER, FUCHS, E. und — 94, 109.  
WENDEROWIĆ, E. 702, 744.  
WENDT, G. v., SIVÉN, O. und — 87, 92, 108, 111.  
— W. 905, 915.  
WENGER, S., P. A. DREYFUS 738.  
WENTHUK 584, 620, 638.  
WENTINK, L. 731.  
WENTWORTH, H. A. 939, 946.  
WENZEL, E. L. 411, 459.  
WERBITZKY, W. K. 510, 712.  
WERNER, H. 408, 459.  
WERNSTEDT, W. 702.  
WERTHEIM 777.  
— TH. 386, 459.  
WERTHEIM-SALOMONSON, I. K. A. 883.  
WERTHEIMER, E., WESSELY, K. und — 883.  
— M. 179, 183, 408, 411, 459.  
WESCOTT and ELLIS 731.  
WESSELY und ABELSDORFF 28.  
— E. 352.  
— G. 910, 915.  
— K. 18, 21, 22, 26, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 42, 46, 50, 51, 52, 60, 65, 66, 67, 68, 79, 195, 197, 205, 253, 254, 265, 277, 278, 280, 281, 290, 294, 365, 449, 459, 629, 712, 715, 731, 772, 839, 845, 858, 875, 877, 883, 943.  
— und E. WERTHEIMER 883.  
WESTERLUND, A. 121, 123, 128, 134, 155, 171.  
WESTIEN 843.  
WESTPHAL 858.  
WEVE, H. 504, 712, 844, 849, 871, 872, 883, 895, 897, 907, 915, 946.  
— ASSEN, Jzn. I. v. und — 895, 895.  
WEYMOUTH, F. W. 547, 558, 931.  
— ANDERSON, E. and — 450.  
— OGATO, D. and — 558, 716.  
WHEATSTONE 432, 446, 459.  
WHEELER, BALL, L., T. H. BUTLER, P. H. ADAMS, CRIDLAND, ARCHER-HALL and — 702, 737.  
— M. C. 931.  
WHITWELL, A. 541, 712, 801, 823, 834.  
WIBAUT, F. 552, 554, 558, 561, 562, 618, 622, 623, 625, 656, 715, 731.  
WICK, W. 587, 617, 731.  
WIDMARK, J. 586, 616, 642, 731.  
WIEDEMANN-BUSSOLE 125.  
WIEGER, G. 744.  
WIELAND, FRANCESCHETTI und 22, 25, 26, 29, 74.  
WIENER, MEYER 639, 731.  
— O. 102, 111.  
WIERSMA, HAZELHOFF und — 208, 220.  
WIESER, St. 556, 563, 587, 731, 893, 897.  
WIETING-PASCHA 262.  
WILBRAND 255, 940.  
— und SAENGER 249, 250, 257, 265, 321, 352.  
WILKINSON 662.  
WILLIAMS, EDW. R., LANCASTER, W. B. and — 682, 741.  
— R. E., HECHT, S. and — 105, 107, 110.  
WILLIAMSON-NOBLE, F. A. 717, 982.  
WILSON 586, 643, 731.  
WINSELMANN, G. 37, 39, 62, 79, 670, 717, 736.  
WINSER, T. H., HAMBLIN, J. R. and — 662, 733, 980.  
WINTHER, KNUD 919, 920.  
WIRTZ 587, 731.  
WISER, GRAF 618, 731.  
WITASEK, St. 391, 402, 408, 411, 459.  
WITKOWSKI, L., RAEHLMANN, E. und — 402, 457.  
WITTE, H. 400, 459.  
— O. 586, 626, 627, 732.  
WITTGENSTEIN, A., GAEDERTZ, A. und — 74, 79.  
WITTICH, v. 412, 459.  
WLASSAK, R., SACHS, M. und — 402, 403, 457.  
WÖHLER 22.  
WOINOW, M. 352, 666, 712.  
— C. ADAMÜK 504, 505, 506, 707.  
WOLF, H. 25, 79.  
WOLFERTS, O. 844, 849.  
WOLFF, HUGO 875, 876, 877, 883, 976, 982.  
— J. 744.  
WOLFFBERG, L. 284, 294.  
WÖLFFLIN, E. 196, 197, 206, 317, 352, 582, 629, 717, 732.  
WOLFRUM 204, 332.  
WOLLASTON, H. 683, 746, 781.  
WOLLENBERG, A. 895, 897.  
WOO, T. L. and K. PEARSON 424, 459.  
WOOD, D. J. 620, 702, 732, 744.  
WOODS, BURKY und — 7, 69.  
WORDSWORTH, J. C. 73.  
WORMS, G., BEYNE, J. et — 928.  
WORTH, Cl. 625, 732.  
WORTON 595, 736.  
WRAY, C. 670, 736.  
WRIGHT, R. E. 883.  
WÜLFING, E. A. 380, 429, 459, 519, 712.  
WUNDER 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 92.  
WUNDT, W. 173, 175, 175, 176, 181, 182, 183, 238, 239, 241, 242, 269, 388, 389, 391, 402, 440, 448, 459.  
WÜRDEMANN 885, 887.  
XILO, N. 927, 931.  
YAMADA, K., HARTINGER, H. und — 739.  
— HARTRIDGE, H. und — 739.  
YAMAZAKI 625, 732.  
YOKOMATSU, K. 946, 949.  
YOSHINE, S. 108, 111.  
YOUNG, THOMAS 173, 354, 357, 365, 513, 547, 650, 671, 683, 712, 744, 746, 747.  
YUDKIN, A. M. 26, 79.  
— A. C. KRAUSE, H. H. GOLDSTEIN and M. B. BERGMANN 79.  
ZADE 946.  
ZAHN, J. 746, 815.  
ZAMENHOF, A. 849, 867, 883, 961, 982.  
ZAMORA, C. 653, 656, 736.  
Z'BRUN, Th. 600, 625, 732.  
ZEEMAN, W. P. C. 195, 428, 459, 542, 562, 571, 625, 693, 712, 715, 732, 744, 946.  
— ROELOFS, C. O. und — 109, 111, 196, 205.  
ZEHENDER, W. 617, 732, 744, 843, 851, 853, 875.  
ZEISS, C. 757, 772, 828, 843, 844, 853, 855, 856, 874, 877, 925, 927, 931, 970.  
ZELDENRUST 858.  
ZENKER 361, 362, 976, 992.  
ZENTMAYER, W. 715, 717, 744.  
ZEUS 982.  
ZIEHL-NEELSEN 1016, 1017.  
ZIELER 993.  
ZIEMANN 698, 744.  
ZÖLLNER, F. 390, 411, 459.  
ZOTH, O. 174, 175, 352, 362, 365, 384, 442, 459.  
ZSCHOKKE, H. 352.  
ZSIGMONDY 10, 71.  
ZYKULENKO, K. 384, 459, 931.

## Sachverzeichnis.

- Abbildbare Linien 781.  
 Abblendungsgefühl 450.  
 Achromasie 316.  
 Actinomyces 1033.  
 Adaptation, Adaptationskurve für die Fovea centralis 375.  
 — FECHNERSches Gesetz 368.  
 — HECHTS Theorie 369.  
 — — Adaptationsverlauf 371.  
 — — Beleuchtungsstärke und Sehschärfe 371.  
 — — Sehprozeß-Dualität 370.  
 — HERINGS Theorie 366.  
 — — allonomes Gleichgewicht 366.  
 — — Assimilation der Sehschubstanz 366.  
 — — autonomes Gleichgewicht 367.  
 — — Dissimilation der Sehschubstanz 366.  
 — LASAREFFS Theorie 367.  
 — — Sehpurpurkonzentration 368.  
 — physiko-chemische Theorien 367.  
 — PÜTTERS Theorie 374.  
 — Tages- und Dämmerungsapparat 373.  
 — Theorien 366.  
 — WEIGERTS Theorie 376.  
 — WEISS' Theorie 375.  
 Aderhaut, Arterienpuls 17.  
 — Blutzirkulation 16.  
 — Ernährung 3.  
 — Lymphgefäße 61.  
 — Venen 17.  
 Akkommodation s. Akkommodationslehre.  
 — des Auges, Ablauf, zeitlicher 682.  
 — — Akkommodation, tonische 702.  
 — — Akkommodationsbreite 677.  
 — — Akkommodationskrampf 696.  
 — — — Behandlung 696 f.  
 — — Akkommodationslähmung 700.  
 — — — durch Alkaloide 701.  
 — — — Behandlung 703.  
 — — — durch Fleischvergiftung 702.  
 — — — postdiphtheritische 701.  
 — — — durch verschiedene Ursachen 701.  
 Akkommodation des Auges, Akkommodationsmechanismus 683.  
 — — — intrakapsulärer 694.  
 — — Akkommodationschwäche 699.  
 — — — Behandlung durch Brillengläser 703f.  
 — — Akkommodationsstörung bei Encephalitis epidemica 702.  
 — — anatomische Untersuchungen 691.  
 — — Atropinauge 689.  
 — — Beobachtungstatistiken 677.  
 — — Ciliarkörper 688.  
 — — Eserinauge 689.  
 — — HELMHOLTZ' Untersuchung 690 f.  
 — — und Iris 683.  
 — — und Linse 683.  
 — — Linsenschlottern 685.  
 — — Nervenversorgung 695.  
 — — optische Mittel zur Naheinstellung 682.  
 — — und Pupille 683.  
 — — Sehstörungen bei ungenügender Akkommodation 699.  
 — — Störungen 696.  
 — s. Dioptrik.  
 — Untersuchung 982.  
 Akkommodationsbreite 677.  
 — und Alter 679.  
 — relative 441.  
 Akkommodationserfolg, äußerer, und Brille 773.  
 Akkommodationsgefühl 440.  
 Akkommodationskrampf 696.  
 Akkommodationslehre 460.  
 Aktionsstrom des Auges 119.  
 Aktionsströme des Nervus opticus 119.  
 Akyanopsie 323.  
 Alleerversuche HILLEBRANDS 441.  
 „Alternance binoculaire“ 449.  
 Amblyopie, Entstehungsweise 576.  
 Anagenese 108.  
 Anaglyphen 434.  
 Anomaloskop 343.  
 Anorthoskopische Täuschungen 411.  
 Anschauungsbild der Eidechsen 428.  
 Aphakie s. Refraktion.  
 Arterienpuls der Netzhaut 15.  
 Aspergillus 1031.  
 Asphärische Fläche, Wirkung 785.  
 Assoziation, Lösung zwischen Konvergenz und Akkommodation 441.  
 Astigmatisches Auge, Ausgleich durch gekreuzte Zylinder 792.  
 — — — durch toro-torische Linsen 792.  
 — — — Hauptschnitte, Vergrößerung 790.  
 Astigmatische Brillengläser 670.  
 — — für die Nähe 672.  
 — — Fehler 797, 799.  
 — — Linsen vor dem blickenden Auge 794.  
 — — — — Fehlerausgleich 795.  
 — — — — Grenzen 800.  
 — — — — Mittel zur Verbesserung des bildseitigen Strahlenganges 796.  
 — — — — Strahlenverlauf 794.  
 Astigmatismus des Auges 645.  
 — — Achsenlage und Alter 655.  
 — — Asymmetrie 652.  
 — — Begriffsbestimmung 645.  
 — — Behandlung 669.  
 — — — behelfsmäßige Mittel 669.  
 — — — durch Brillengläser 670.  
 — — — Haftgläser 674, 676.  
 — — — Hydrodiaskop 675.  
 — — — LOHNSTEINSche Wasserkammer 675.  
 — — — operative 669.  
 — — — optische Hilfsmittel 670.  
 — — — Tauchverfahren 674.  
 — — — Beschwerden 665.  
 — — — Bezeichnungen 648.  
 — — — Bi-Astigmatismus 651.  
 — — — und Binnendruck 657.  
 — — — Dezentration 652.  
 — — — einseitiger Astigmatismus 656.  
 — — — Ermittlung 649.  
 — — — erworbener 665.

- Astigmatismus des Auges, Formabweichungen des Augapfels 659.  
 — — Seschlecht 656.  
 — — Häufigkeit 653.  
 — — hintere Hornhautfläche, Bedeutung 651.  
 — — Höhe des Astigmatismus corneae 653.  
 — — Hornhaut, Einfluß 649.  
 — — Hornhaut- und Linsenastigmatismus, Beziehungen 650.  
 — — irregulärer 667.  
 — — — Sehstörungen 668.  
 — — JAVALSCHES Ophthalmometer 668.  
 — — Liddruck 657 f.  
 — — Linse, Bedeutung 651.  
 — — PFLÜGER-STEIGERSCHE Untersuchungen 648.  
 — — PLACIDOSCHES Keratoskop 668.  
 — — Pupillenverengung 662.  
 — — Richtung des schwächer brechenden Meridians 654.  
 — — und Sehschärfe 663.  
 — — Sehvermögen 660.  
 — — Ausgleich 789.  
 — — s. Dioptrik.  
 — — hyperopicus compositus 661.  
 — — und Myopie 589, 659.  
 — — obliquus 648.  
 — — gegen die Regel 648.  
 — — nach der Regel 648.  
 — — schiefer Bündel 487, 488, 781.  
 — — — Ausgleich 781.  
 — — — Grenzwerte des Fehlerausgleichs 783.  
 — — — punktmäßige Abbildung 782.  
 — — — TSCHERNINGSCHES Vorgehen 781.  
 — — nach Staroperation 666.  
 — — nach Verletzung 665.  
 Astigmatismusbestimmung, Aufzeichnung 793.  
 AUBERT-FÖRSTERSCHES Phänomen 387, 932.  
 AUBERTSche Blende 269.  
 AUBERTSches Phänomen 404.  
 „Auflösungsvermögen“ des Auges 380, 382.  
 Augapfel, Gefäßinnervation 18.  
 — — Vergleichendes 18 f.  
 Auge, Blutzirkulation 13, 18.  
 — — Dioptrik s. Dioptrik.  
 — — Ernährung, Einfluß von Nerven 13.  
 — — Physiologie 1.  
 — — als Körperglied 545.  
 Auge, Lymphgefäße 60.  
 — — Lymphzirkulation 20.  
 — — Physiologie der Ernährung 1.  
 — — s. Refraktionen des Menschenauges.  
 — — Venenblut, Abfluß 18.  
 Augenbewegungen und Augenmaß 388.  
 — — und Raumwerteänderung 401.  
 Augendrehpunkt 548.  
 Augendruck, Abhängigkeit vom Blutdruck 66.  
 — — von Druckwirkungen auf das Auge 66.  
 — — Augenflüssigkeiten, Einfluß 67.  
 — — Gleichheit 66.  
 — — Höhe 65, 901.  
 — — bei Entzündungen 65.  
 — — bei Infektionskrankheiten 65.  
 — — Instrumente zur Registrierung 65.  
 — — und Capillardruck bei der Kammerwasserbildung 57.  
 — — Messung, Filtrationsmanometer 31.  
 — — — Methodik 64.  
 — — Nerven einfluß 68.  
 — — Schwankungen, pulsatorische 66.  
 — — — respiratorische 66.  
 Augenflüssigkeiten, Chemie 20.  
 Augenkammer, Neufüllung, Dauer 32.  
 Augenmaß 387.  
 — — und Augenbewegungen 388.  
 — — Streckenvergleich 388.  
 — — Unterschiedsempfindlichkeit 387.  
 Augenströme beim Dichromaten 152.  
 — — des Menschen 149.  
 — — Adaptationszustand, Einfluß 150.  
 — — — Farbenwirkung, spezifische 152.  
 — — — Gesichtsfeldgröße, Einfluß 150.  
 — — — intermittierende Belichtung 152.  
 — — — Netzhautort, Einfluß 150.  
 — — — Reizintensität, Einfluß 150.  
 „Äugigkeit“ 424.  
 Ausgleichswert 753.  
 Bacillus fluorescens liquefaciens 1015.  
 — — megatherium 1013.  
 — — mesentericus 1013.  
 — — mycoides 1013.  
 Bacillus perfringens 1014.  
 — — proteus vulgaris 1016.  
 — — pyocyaneus 1015.  
 — — subtilis 1012.  
 — — vulgatus 1014.  
 Bacterium coli 1010.  
 Bakterien, Virulenz 985.  
 Bakterienflora des Auges siehe Bakteriologie des Auges.  
 Bakteriengehalt der Bindehaut, normaler 984.  
 Bakteriologie des Auges 984.  
 — — Alkalibildung der Bakterien 995.  
 — — — Auge als Infektionsherd und Allgemeininfektion 987.  
 — — — Bakterien, Fortpflanzung 999.  
 — — — Deckglaspräparate, Färbung 990.  
 — — — Disposition 985.  
 — — — Alter 986.  
 — — — Geschlecht 986.  
 — — — Epidemien 987.  
 — — — Färbemethoden 990.  
 — — — Geißelfärbung 994.  
 — — — GRAMSCHES Färbung 991.  
 — — — Kapselfärbung 993.  
 — — — — nach FRIEDLÄNDER 993.  
 — — — — nach JOHNE 993.  
 — — — — nach KLETT 993.  
 — — — — nach RIBBERT 993.  
 — — — von MÖLLER 993.  
 — — — — NEISSERSCHE Körnchenfärbung 994.  
 — — — — ROUXSche Körnchenfärbung 995.  
 — — — — Sporenfärbung 993.  
 — — — Färbung von Bakterien in Schnittpräparaten 992.  
 — — — Gärungsvermögen der Bakterien 995.  
 — — — gramnegative Bakterien 992.  
 — — — grampositive Bakterien 992.  
 — — — Immunität 985.  
 — — — Impfungen in die Bindehaut 997.  
 — — — in den Glaskörper 998.  
 — — — in die Hornhaut 997.  
 — — — in die Vorderkammer 998.  
 — — — Indolreaktion 995.  
 — — — Infektion, Zustände kommen 985.  
 — — — Klima 987.  
 — — — Kulturen 995.  
 — — — Anlegen 996.  
 — — — Nährböden 995.

- Bakteriologie des Auges, Lid-  
schlag 986.  
— — Metastasen 987.  
— — Nährböden, verschie-  
dene 996.  
— — NICOLLES-Färbung 993.  
— — PAPPENHEIMS Färbung  
992.  
— — Rasse 987.  
— — Säurebildung der Bak-  
terien 995.  
— — Schutzstoffe 988.  
— — Serodiagnostik 997.  
— — Spezielles 998 f.  
— — Actinomyces 1033.  
— — Aspergillus 1031.  
— — — Bacillus fluorescens  
liquefaciens  
1015.  
— — — mariannensis  
1006.  
— — — Bacillus mega-  
therium 1013.  
— — — mesentericus  
1013.  
— — — mycoides 1013.  
— — — perfringens  
1014.  
— — — proteus vulgaris  
1016.  
— — — pyocyaneus  
1015.  
— — — subtilis 1012.  
— — — vulgatus 1014.  
— — Bacterium coli 1010.  
— — Botryokokken 1024.  
— — Chlamydozoen 1036.  
— — Diplobacillus Mo-  
RAX-AXENFELD  
1006.  
— — Diplococcus intra-  
cellularis menin-  
gitudis 1029.  
— — Diphtheriebacillus  
1000.  
— — Einschlußkörper-  
chen 1036.  
— — Einteilung der Mi-  
kroorganismen  
998.  
— — Fadenpilze 1031.  
— — Favus 1032.  
— — FRIEDLÄNDERS  
Pneumoniebacil-  
lus 1011.  
— — Gonococcus NEIS-  
SERI 1028.  
— — Hefepilze 1030.  
— — HERBERTS intraepi-  
thelialer Bacillus  
1012.  
— — Influenzabacillus  
1005.  
— — KOCH-WEEKSScher  
Bacillus 1003.  
— — Leprabacillus 1019.
- Bakteriologie des Auges, Spezielles, Micro-  
coccus catar-  
rhialis 1029.  
— — — tetragenus 1024.  
— — — Milzbrandbacillus  
1019.  
— — — Mucor 1032.  
— — — Oidium (Soor) 1032.  
— — — Ozaenabacillen  
1012.  
— — — Penicillium 1031.  
— — — PETTScher Diplo-  
bacillus 1007.  
— — — Pneumococcus 1026.  
— — — Pseudodiphtherie-  
bacillus 1002.  
— — — Rotzbacillus 1021.  
— — — Sarcine 1030.  
— — — Schimmelpilze 1031.  
— — — Spirochäten 1034.  
— — — Sporotrichum 1032.  
— — — Sproßpilze 1030.  
— — — Staphylococcus al-  
bus non lique-  
faciens 1024.  
— — — pyogenes albus  
1023.  
— — — aureus 1022.  
— — — citreus 1022.  
— — Streptobacillus  
1022.  
— — Streptococcus pyo-  
genes 1024.  
— — Streptothricheen  
1033.  
— — Tetanusbacillus  
1020.  
— — Trichophyton ton-  
surans 1032.  
— — Tuberkelbacillus  
1016.  
— — Xerosebacillus 1002.  
— — ZUR NEDDENS Ba-  
cillus 1009.  
— — Symbiose 985.  
— — Tierimpfungen 997.  
— — Tränenflüssigkeit 986.  
— — UNNAS Methylenblau-  
färbung 993.  
— — Untersuchungstechnik  
989.  
— — Kammerwasserent-  
nahme 990.  
— — Materialentnahme  
989.  
— — aus Hornhaut-  
geschwüren  
990.  
— — Verhalten der Bak-  
terien im Auge 988.  
— — ZIELERSche Färbung  
993.
- Belichtungspotential 125.  
— des Auges 119.  
— vgl. Augenströme.
- Belichtungspotential am Bul-  
bus, örtliche Verteilung  
133.  
— vgl. Bulbusströme.  
— Dauerbelichtung 138.  
— Elektretinogramm, Deu-  
tung 162.  
— Entstehungsort 161.  
— und Gesichtsempfindungen  
163.  
— intermittierende Belich-  
tung 140.  
— Momentbelichtung 138.  
— vgl. Opticusströme.  
— Phasen 125.  
— Phasenänderungen durch  
verschiedene Einflüsse  
128.  
— Reizlichtintensität (Licht-  
menge) 137.  
— und Sehfunktion 161.  
— Stärke 125.  
— Vergleichendes 126.  
Belichtungsstrom und Adap-  
tationszustand, Verglei-  
chendes 135.  
— des Auges 119.  
— bei Cephalopoden 127.  
— „Farbenempfindlichkeit“,  
spezifische 146.  
— Ionenwirkungen 124, 132.  
— bei Kälteeinwirkung 132.  
— Negativwerden durch Netz-  
hautschädigung 124.  
— und PURKINJESches Phä-  
nomen 143.  
— in der Retina 125.  
— Stärke 127.  
— Temperatur und Zustand  
des Versuchstieres 136.  
— Vergleichendes 132.  
— Verlaufstypus 132.  
— Wellenlänge 143.  
BENHAMsche Scheibe 305.  
Berufseignung, Unter-  
suchungsmethoden 953.  
Bestand- und Belichtungs-  
strom, Zusammenhang 121.  
Bestandpotential 120.  
— Abhängigkeit von der  
Ionenart 124.  
— des Auges 119.  
— Gaswirkungen 123.  
— Ionenwirkungen 123.  
— Kohlensäurewirkungen  
123.  
— Potentialverteilung am  
Bulbus 121.  
— Richtung und Stärke 120.  
— Sauerstoffwirkungen 123.  
— Sekretionstheorie 160.  
— Stärke 121.  
— Stickstoffwirkungen 123.  
— Temperaturwirkungen 123.  
— Theoretisches 159.  
— Wasserstoffwirkungen 123.

- Bestandpotential bei Wirbellosen 120.  
 — am Wirbeltierauge 120.  
 Bestandstrom des Auges 119.  
 — und Donnanpotential 124.  
 Bestandstromumkehr 122.  
 Beugungserscheinungen s. Dioptrik.  
 Bewegungen, autokinetische 405, 407, 410.  
 — Sehen 406.  
 — wirkliche 406.  
 Bewegungsgeschwindigkeit 407.  
 Bewegungsnachbild, negatives 408.  
 Bewegungssehen, „optokinetisch ausgelöstes“ 410.  
 Bindehaut, Ernährung 4.  
 — Gefäßinnervation 19.  
 — Lymphgefäße 61.  
 — normale, Bakteriengehalt 984.  
 Binokulare Betrachtung identischer Bilder 435.  
 — Erscheinungen, Erklärungen 233.  
 — — Versuche von BRÜCKE 232.  
 — — — von SMITH 232.  
 — Instrumente 435.  
 — Kontrast 448.  
 — Parallaxe 429.  
 Blastomyeten 1030.  
 Blaublichtigkeit 315.  
 Blaugelbblindheit 315.  
 — erworbene 323.  
 — — Ätiologie 324.  
 — — Dunkeladaptation 324.  
 — — Gesichtsfelduntersuchung 323.  
 — — Rayleighgleichung 324.  
 — — Spektrum 323.  
 Blaugelbempfindung, überwertige 309.  
 — unterwertige 309.  
 Blickfeld des Brillenträgers 806.  
 — „Richtkreise“ 395.  
 Blickfeldfehler 784.  
 Blinder Fleck 412, 935.  
 — — und „Gestaltproduktion“ 413.  
 — — und Sehfeld 411.  
 Blutdruck in den Netzhautarterien 15.  
 — Wirbelvenen 53.  
 Blutzirkulation in der Aderhaut 16.  
 — des Auges 13.  
 — in der Netzhaut 14.  
 Botryokokken 1024.  
 Brechung des Lichtes s. Lichtbrechung.  
 Brille, achsenparallele Strahlen 751.  
 Brille und Akkommodations-  
 erfolg, äußerer 773.  
 — und Akkommodations-  
 gebiet 749.  
 — und Änderungen im Seh-  
 vorgang 749.  
 — Anpassung, Geschichtliches  
 746.  
 — Anschluß der mit und ohne  
 Brillenglas gesehenen  
 Gesichtsfeldteile 806.  
 — für das Augenpaar 821.  
 — — Folgen bei Anisome-  
 tropie 821.  
 — — Nahbrille, Hilfe für die  
 Augenstellung  
 823.  
 — — — Wirkung 822.  
 — und beidäugiges Sehen 750.  
 — Dezentration astigmati-  
 scher Brillengläser 814.  
 — Dezentrierung sphärischer  
 Brillengläser 813.  
 — Farbenfehler, Ausgleich  
 810.  
 — Fernrohrbrille für Nah-  
 arbeit 774.  
 — Folgen für den Brillen-  
 träger 810.  
 — Geschichtliches 745.  
 — und Gesichtsfeld 749.  
 — und Größenänderung 749.  
 — Kreis kleinster Verwirrung  
 784.  
 — Lochbrillen 831.  
 — LOHNSTEINS Wasserkam-  
 mer 831.  
 — Nebenbilder durch Spiege-  
 lung 811.  
 — Neigungsverschiedenheit  
 farbiger Hauptstrahlen  
 810.  
 — und Netzhautbildgröße 749.  
 — optische Aufgabe 750.  
 — und Perspektive 749.  
 — Rand 748.  
 — Randverzerrung bei astig-  
 matischen Linsen 811.  
 — und Raumauffassung 749.  
 — — Änderung 807.  
 — Rückblickbrillen 831.  
 — Scheibenform und -größe  
 748.  
 — Schielbrillen 812.  
 — Sehvorgang bei bewegtem  
 Auge 778.  
 — Spiegelbilder erster Ord-  
 nung 811.  
 — — zweiter Ordnung 812.  
 — Strahlenbündel, dünnes,  
 bei blickendem  
 Auge 777.  
 — — — bei ruhendem Auge  
 751.  
 — Taucherbrille 830.  
 — Tragrandgläser 749.  
 Brille, Verzeichnung der Brillengläser 808.  
 — — — Ausgleich 809.  
 — — — Vorhänger 820.  
 Brillenglas, achsensymmetri-  
 sches 751.  
 — allgemeines 747.  
 — ausgerichtetes vor dem  
 Einzelaug 751.  
 — Durchbiegung und Schei-  
 telbrechwert 768.  
 — Einfluß auf den äußeren  
 Akkommodationserfolg  
 773.  
 — endlicher Dicke 765.  
 — Hauptstrahlen, Ablenkung  
 bei schiefem Durchtritt  
 780.  
 — Linsenformen, verschie-  
 dene und Auge 767.  
 — und Netzhautbildgröße 758.  
 — — Brillengläser endlicher  
 Dicke 765.  
 — — Fehlsichtigkeit 758.  
 — — Fernrohrbrille 765, 766.  
 — — Glasabstand 759.  
 — — negative  $\delta$ -Werte 764.  
 — — Scheitelbrechwert 766.  
 — — Sehschärfe und  $\delta$ -Wert  
 764.  
 — — Stöpsellinse 765.  
 — — V-Fläche, räumliche  
 Darstellung 761.  
 — — Zerstreuungsgläser,  
 Vergrößerung abhän-  
 gig von  $\delta$  und A. 761.  
 — Perspektive, Änderung 804.  
 — — veränderte, Anpassung  
 805.  
 — und Richtung schiefer  
 Hauptstrahlen  
 801.  
 — — — — Änderung der  
 Größe des  
 Blickfeldes  
 802.  
 — Werkstoff 748.  
 — zentriertes, vor dem Ein-  
 zelaug 751.  
 Brillengläser, Abstand der  
 Mittelpunkte vonein-  
 ander 822.  
 — anastigmatische 787.  
 — besondere 785.  
 — Farbenfehler 801.  
 — Fernbrillengläser über  
 7,5 dptr 785.  
 — prismatisch wirkende 812.  
 — refraktionsrichtige 784.  
 — Stargläser 785.  
 — Verzeichnung 808.  
 — — punktmäßig abbilden-  
 der 785.  
 — zweifach symmetrische 787.  
 Brillenkasten und Refraktion  
 756.

- Brillen Träger, Blickfeld 806.  
 — Gesichtsfeld 806.  
 Bulbus s. Augapfel.  
 — Potentialverteilung 121.  
 Bulbusströme, Amplitude der registrierten Wellen 153.  
 — Augenrhythmen, Entstehungsort 154.  
 — Frequenz des Stromrhythmus 153.  
 — Lichtwellenlänge und Erregungsrhythmus 153.  
 — Nachrhythmus 153.  
 — periodische 153.  
 Bunsen-Photometer 271.
- Capillardruck und Augendruck bei der Kammerwasserbildung 57.  
 Centradian 812.  
 Chemie der Augenflüssigkeiten 20.  
 — Hornhautepithel 4.  
 — Hornhautgrundsubstanz 4.  
 — Linseneiweiß 7.  
 Chlamydozoen 1036.  
 Chorioidea s. Aderhaut.  
 Chromatopie 323, 329.  
 — Ätiologie 330.  
 Ciliarkörper bei Akkommodation des Auges 688.  
 — Ernährung 3.  
 — Kammerwasserbildung, Gegenargumente 37.  
 — als Quelle des normalen Kammerwassers 35.  
 — — Regenerates des Kammerwassers 34.  
 — Veränderung, morphologische, bei der Kammerwasserbildung 41 f.  
 Circulus arteriosus nervi optici 1.  
 COHNsches Täfelchen 338.  
 Conjunctiva s. Bindehaut.  
 Cornea s. Hornhaut.  
 Corpus ciliare s. Ciliarkörper.  
 CZAPSKI-ZEISSsches binokulares Hornhautmikroskop 843.
- Daltonismus 306.  
 Dämmerungssehen 199, 303.  
 Deckfeld 414.  
 Deuteranomale 309.  
 Deuteranomalie 308.  
 Deuteranopen, Spektrum, hellste Stelle 314.  
 Deuteranopie 312.  
 — Spektrum 313.  
 Diaphanoskopie 883.  
 Dichromasie 312.  
 Dichromate 302.  
 Differente Punkte der Netzhaut 416.
- Differentialpupilloskop von HESS 859.  
 Dioptrie 471, 479.  
 Dioptrik, Aberration, Asymmetrie 539.  
 — — chromatische 543.  
 — — im engeren Sinne 535.  
 — — und Pupillenweite 537.  
 — — Untersuchungen, neue 539.  
 — Abweichung, monochromatische, Einstellung des Auges 538.  
 — Akkommodation 522.  
 — Akkommodationsbreite 524.  
 — Akkommodationsgebiet 524.  
 — Astigmatismus 530.  
 — — Meridianbezeichnung 531.  
 — Auge mit doppelter Refraktion 541.  
 — Ausrichtung der Flächenfolge und der Strahlenbegrenzung 512.  
 — Beleuchtungsstärke 545.  
 — Beugungerscheinungen 541.  
 — Blicklinie 513.  
 — Brechkraftfehler 521.  
 — falsches Licht auf der Netzhaut 542.  
 — Farbenabweichung 543.  
 — Fehlsichtigkeit 520.  
 — Gesichtslinie 513.  
 — GULLSTRANDsche Prüfzeichen 502.  
 — Hornhaut, Asymmetrie 500.  
 — — Brechzahl 504.  
 — — Dicke 504.  
 — — Konstanten 499.  
 — — Krümmungshalbmesser, Häufigkeitsverteilung 503.  
 — — normale, Form 500.  
 — Hornhauthinterfläche, Krümmungshalbmesser 504.  
 — Hornhautvorderfläche, Konstanten 499.  
 — Hyperopie 521.  
 — Kernlinse 509.  
 — Konstanten der brechenden Flächen 498.  
 — Krafteinstellung 520.  
 — Kurzsichtigkeit 521.  
 — Längenfehler 521.  
 — Linse, Astigmatismus 509.  
 — — Brechzahl 507.  
 — — Dicke 506.  
 — — Kernlinse 509.  
 — — Konstanten 505.  
 — — Schichtung 508.  
 — — Totalindex 508.
- Dioptrik, Linsenflächen, Krümmungshalbmesser 505.  
 — des menschlichen Auges 497.  
 — Myopie 521.  
 — Netzhaut, Flächenschnitte 515, 516.  
 — Rasteinstellung 520.  
 — Rechtsichtigkeit 520.  
 — reduziertes Auge 510.  
 — Refraktion des Auges 519.  
 — — dynamische 520.  
 — — statische 520.  
 — Refraktionsbestimmung 525.  
 — — Akkommodationseinfluß 529.  
 — — objektive 525.  
 — — Schattenprobe 526.  
 — — Sehzeichenabstand 529.  
 — — Strahlenbegrenzung 525.  
 — — subjektive 525.  
 — schematisches Auge von GULLSTRAND 509.  
 — — — Pupille 510.  
 — — — Werte 511.  
 — Sehschärfe 513.  
 — — und Abbildungstiefe 518.  
 — — absolute 514.  
 — — Bestimmung 518.  
 — — natürliche 514, 516.  
 — Sehvorgang nach EPPENSTEIN 497.  
 — Stigmatoskopie, Ergebnisse 536.  
 — — objektive 535.  
 — — subjektive 535.  
 — Strahlenverlauf im Auge, Aberration, chromatische 532.  
 — — — Abweichungen 532.  
 — — — monochromatische 532 f.  
 — — — Farbenfehler 532.  
 — Strahlungsvermittlung 545.  
 — Taboschema 531.  
 — Totalaberration, periphere 536.  
 — Übersichtigkeit 521.  
 — Visierlinie 512.  
 — Vorderkammer, Tiefe 504.  
 — Zentrierung der Blenden 512.  
 — — der Flächen 512.  
 — — der Flächenfolge, Astigmatismus schiefer Büschel 513.  
 — Zerstreungskreise auf der Netzhaut, Lichtverteilung 540.  
 Diplobacillus MORAX-AXENFELD 1006.

- Diplococcus intracellularis meningitidis 1029.  
 Diphtheriebacillus 1000.  
 Disparate Abbildung 425.  
 — Punkte der Netzhaut 416.  
 Disparationswinkel 439.  
 Donnangleichgewicht und Kammerwasserbildung 58.  
 Donnanpotential und Bestandstrom 124.  
 Doppelbilder 425.  
 — Unterdrückung 446.  
 Doppelfokusbrille 816.  
 Dunkeladaptation 193, 303.  
 — bei Blaugelbblindheit 324.  
 Dunkel- und Helladaptation 172.  
 Dunkelstrom des Auges 119.  
 Duplizitätstheorie und Sehpurpur-Eigenschaft 106.  
  
 EHRLICHSche Linie 39, 63.  
 Einfachsehen des Doppelten 415.  
 Einseitlichkeit des Sehfeldes 414.  
 Einflußkörperchen 1036.  
 Einzelaug und Brille 751.  
 Elektrische Vorgänge im Sehorgan 118.  
 Elektroretinogramm 126.  
 — Ablaufgeschwindigkeit 136.  
 — Adaptationszustand, Einfluß 134.  
 — und Reizintensitätsabhängigkeit 141.  
 — und WEBER-FECHNERSches Gesetz 142.  
 Empfindungen, Lichtsinn 183.  
 Empfindungsanstieg, Lichtsinn 211.  
 Empfindungskreis 383.  
 Empfindungskreise, korrespondierende 429.  
 Empfindungszeit, Lichtsinn 206, 208.  
 ENGELKINGSches Adaptometer 285.  
 Entfernungsschätzen 444.  
 Erfahrungsmotive bei monokularem Sehen 442.  
 Ernährung der Aderhaut 3.  
 — des Auges, Einfluß von Nerven 13.  
 — — Physiologie 1.  
 — der Bindehaut 4.  
 — der Hornhaut 4.  
 — der Lederhaut 4.  
 — der Linse 7, 9.  
 — der Netzhaut 2.  
 — der Regenbogenhaut 3.  
 — des Sehnerven 1.  
 — des Ciliarkörpers 3.  
 Erythrochloropie 323.  
 Exophthalmometrie 850.  
  
 Fadenpilze 1031.  
 Fallversuch von HERING 428.  
 Farben, bezogene 297.  
 — bunte 297.  
 — Buntfarben, freie 296.  
 — — verhüllte 296.  
 — — verschleierte 296.  
 — dunkelklare 298.  
 — Farbenton 296.  
 — Gedächtnisfarben 295.  
 — Gegenfarben 296.  
 — Gewohnheitsfarben 295.  
 — Helligkeit 297.  
 — hellklare 298.  
 — Komplementärfarben 301.  
 — OSTWALDSche Farbenlehre 297.  
 — Sättigung 296.  
 — als Sehqualitäten 296.  
 — trübe 298.  
 — unbunte 297.  
 — Vollfarben 297.  
 Färbemethoden, Bakteriologie des Auges 990.  
 Farbenbenennungen 333.  
 Farbenblindheit, erworbene, totale 329.  
 — Statistisches 319.  
 — totale 316.  
 Farbenempfindlichkeit der Netzhautströme 149.  
 — spezifische 146.  
 Farbenempfindung und Stimmung des Auges 295.  
 Farbenfehler, Ausgleich durch Brille 810.  
 — der Brillengläser 801.  
 Farbenhalt 299.  
 Farbenkreisel 301, 339.  
 Farbenmischapparat „Pomi“ 298.  
 Farbenmischung, binokulare 447.  
 Farbennamen 299.  
 Farbenproben, Beschaffenheit 332.  
 Farbenpyramide 303.  
 Farbenschwelle 304.  
 Farbensehen der Netzhautperipherie 305.  
 Farbensinn 295.  
 — Farben, bunte 295.  
 — — getönte 295.  
 — — tonfreie 295.  
 — — ungetönte 295.  
 — Störungen 306.  
 — — Geschichtliches 306.  
 Farbensinnstörungen, angeborene 308.  
 — — Häufigkeit 318.  
 — Anomaloskop 343.  
 — COHNsches Täfelchen 338.  
 — Diagnose 331 f.  
 — — binokulare Farbengleichungen 346.  
  
 Farbensinnstörungen, Diagnose, bunte Gläser von SCHOTT 333.  
 — — Farbenproben, Beschaffenheit 332.  
 — — GOLDBERG-Farbenfilter 333.  
 — — Graukeilfilter 333.  
 — — künstliche Lichtquellen 332.  
 — Dissimulation 347.  
 — Eichwertkurven 311.  
 — erworbene 320.  
 — — Alterationen im nervösen Apparat 322.  
 — — Anomalien der brechenden Medien 321.  
 — — Refraktionsanomalien 322.  
 — Farbenkontrast, gesteigerter 310.  
 — Farbenkreisel 339.  
 — Farbenzeitschwelle, Messung 349.  
 — Farbige Schatten 338.  
 — Florkontrast 337.  
 — Gesichtswinkel 316.  
 — Grünprobe 334.  
 — Heidelberger Farbenbuch 338.  
 — HELMBOLDS drehbare Scheibe 339.  
 — HERINGS Fenster und Farbgleichungsapparat 340.  
 — HESSscher Apparat zur Untersuchung des Farbensinnes 342.  
 — HOLMGRENSche Wollprobe 334.  
 — ISHIHARASche Tafeln 337.  
 — NAGEL-KÖLLNERScher Farbgleichungsapparat 339.  
 — NAGELSche Tafeln 337.  
 — PFLÜGERS Florbuch 338.  
 — PODESTASche Tafeln 336.  
 — Prüfung mittels der geringsten Lichtintensität 348.  
 — — mittelst des kleinsten Netzhautbildes 348.  
 — — mittelst der minimalen objektiven Sättigung 348.  
 — — im indirekten Sehen 347.  
 — — der Unterschiedsempfindlichkeit 349.  
 — Pseudoisochromatische Proben 335.  
 — pupillomotorische Werte 310.  
 — Purpurprobe 335.  
 — Schwellenwerte 347.  
 — Simulation 347.  
 — Spektralapparat 342.

- Farbensinnstörungen, Spektralapparate, größere 344.  
 — Spektrum, Endstrecken 313.  
 — — neutraler Punkt 313.  
 — STILLINGSche pseudo-isochromatische Tafeln 335.  
 — Untersuchung, pupillokopische, nach v. HESS 346.  
 — — — Wechselverengung der Pupille 346.  
 — — am Spektralband 346.  
 — Untersuchungsmethoden, qualitative 334.  
 — — quantitative 347.  
 — variable pseudoisochromatische Proben 339.  
 — Wahlproben 334.  
 — WÖFFLINSche Tafeln 337.  
 Farbensintheorien 353.  
 — Duplizitätstheorie 363.  
 — Geschichtliches 353.  
 — Goethes Farbenlehre 354.  
 — Kritik 357.  
 — Theorie von v. DUNGERN 362.  
 — — von EBBINGHAUS 360.  
 — — von F. W. FRÖHLICH 362.  
 — — von HERING 356.  
 — — — Assimilationsprozeß 356.  
 — — — Dissimilationsprozeß 356.  
 — — — „farbige Valenz“ 356.  
 — — — Gegenfarben 356.  
 — — — „weiße Valenz“ 356.  
 — — von LADD-FRANKLIN 360.  
 — — von G. E. MÜLLER 358.  
 — — der primären Energieumwandlung 361.  
 — — von RÄHLMANN 361.  
 — — von SCHANZ 362.  
 — — von SCHENK 359.  
 — — von YOUNG-HELMHOLTZ 354.  
 — — — Kontrasterscheinungen 356.  
 — — — Nachbilder 355.  
 — — von ZOTH 362.  
 — Zonentheorie von v. KRIES 363.  
 Farbensystem, anomales trichromatisches 308.  
 Farbentafel 302.  
 Farbenton 296.  
 Farbentüchtigkeit 308.  
 Farbenuntüchtigkeit 308.  
 Farbige Schatten 306, 338.  
 Farbsehen 329.  
 Farbloses Intervall 304.  
 Farbtöne, Unterschiedsempfindlichkeit 310.  
 Favus 1032.  
 FECHNERS paradoxer Versuch 445.  
 Fernbrille, gewöhnliche 821.  
 — Höhenfehler 821.  
 Fernbrillengläser über 7,5 dptr 785.  
 Fernpunktkugel 778.  
 Fernrohrbrillen 786.  
 — für Naharbeit 774.  
 — und Nahglas 775.  
 — von 1,8facher Vergrößerung 774.  
 Fernrohr Lupen 786.  
 „Fernwert“ und Netzhaut 426.  
 Filtrationstheorie der Kammerwasserbildung, Kritik 50.  
 Flammströme des Auges 119.  
 Flimmergrenze 446.  
 Florkontrast 306, 337.  
 Fluoreszenz der Netzhaut 101.  
 FÖRSTERScher Fleck 592.  
 — Lichtsinnmesser 283.  
 FRIEDLÄNDERS Pneumoniobacillus 1011.  
 Fuchsinlösung, alkoholische 991.  
 FUCHSIScher Fleck 592, 595.  
 FUKALASche Operation 630.  
 Fusionsbreite, relative 441.  
 Fusionszwang 417.  
 Gefäßinnervation des Augapfels 18.  
 — der Bindehaut 19.  
 — der Netzhaut 18.  
 — der Uvea 19.  
 GENNARIScher Streifen 445.  
 Geometrisch-optische Täuschungen 389.  
 — — durch „Angleichung“ 391.  
 — — HERINGSche Täuschung 390.  
 — — „durch Kontrast“ 391.  
 — — MÜLLER-LYERSche Täuschung 392.  
 — — POGGENDORFFSche Täuschung 390.  
 — — durch Richtungsänderung 390.  
 — — über Strecken- und Winkelgrößen 389.  
 — — Theorie 392.  
 — — Trapeztäuschung 391.  
 — — ZÖLLNERSche Täuschung 390.  
 Gesetz der konstanten Spannungsänderung 122.  
 Gesichtsempfindungen und Netzhautprozesse 149.  
 — und Reizintensitätsabhängigkeit 141.  
 Gesichtsfeld 446.  
 — binokulares 414.  
 — des Brillenträgers 806.  
 — monokulares 411.  
 — Untersuchungsmethoden 931.  
 Gesichtsfeldgrenzen, Beeinflussung 448.  
 Gestaltproduktion und blinder Fleck 413.  
 Gestalttheorie 449.  
 Gestaltwahrnehmung 448.  
 Glasachse 789.  
 Glasbläserstar 12.  
 Glaskörper, Abfluß 60.  
 — Bildung 60.  
 — Brechungsindex 27.  
 — Eiweißgehalt 28.  
 — Leitfähigkeit 27.  
 — als Quelle des Regenerates des Kammerwassers 34.  
 — Schwefelgehalt 28.  
 — Wasserstoffionenkonzentration 28.  
 — Zuckergehalt 28.  
 Glaskörperflüssigkeit, chemische Zusammensetzung 26.  
 Glaskörperveränderungen bei Myopie 599.  
 Glaswert 753.  
 Glaukom und Hyperopie 574.  
 — und Lichtsinstörungen 254.  
 Gluthation der Linse 8.  
 Glykogen in der Netzhaut 114.  
 Gonococcus Neisseri 1028.  
 GRAMSche Färbung 991.  
 Graugläser 269.  
 Graunormenreihe 298.  
 Graureihe 187.  
 Grünsichtige 309.  
 GULLSTRANDSche Gläser 786.  
 Haftgläser 676, 824.  
 Haftglas, Akkommodations-erfolg 827.  
 — Anwendungsgebiet 828.  
 — Arten 828.  
 — Astigmatismus, optische Nebenwirkungen 827.  
 — Entfernen 829.  
 — bei hochgradiger Kurzsichtigkeit 826.  
 — bei Keratoconus 826.  
 — und Linsenastigmatismus 826.  
 — Nachteile 825.  
 — Nebenwirkungen 824.  
 — und ungleichsichtiges Augenpaar 827.  
 — Verträglichkeit 829.

- Haftglas, Vorteile 825.  
 Haploskop, HERINGSCHES 434.  
 Haploskopie 436.  
 Haploskopisches Prinzip 416.  
 HARTNACKSche Lupe 843.  
 Hauptkonvergenzwinkel 432.  
 Hauptlängsschnitt der Netzhaut 416.  
 Hauptpunktbrechwert 753.  
 Hauptquerschnitt der Netzhaut 416.  
 Hauptschichtung 400.  
 — und Primärstellung der Augen 401.  
 Heidelberger Farbenbuch 338.  
 Helladaptation 197, 303.  
 Helligkeit, Farbe 297.  
 HELMBOLDS drehbare Scheibe 339.  
 HELMHOLTZscher Lichtmischapparat 301.  
 HENKERSCHES Schichtenbild 754.  
 HERINGS Fenster und Farbenvergleichungsapparat 340.  
 HERINGSCHER Fallversuch 428, 951.  
 — Stäbchenversuch 429.  
 HESSscher Apparat zur Untersuchung des Farbensinnes 342.  
 Himmelsgewölbe, Form als „Referenzfläche“ der Gestirne 442.  
 HOLMGRENSCHE Wollprobe 334.  
 Homoiomorphe Wiedergabe der wirklichen Objekte 432.  
 Homozentrische Bündel 464.  
 Hornhaut, chemische Zusammensetzung 4.  
 — Durchlässigkeit für verschiedene Substanzen 6.  
 — Durchsichtigkeit 6.  
 — Ernährung 4.  
 — — durch die Randgefäße 5.  
 — Injektionen, experimentell 5.  
 — Gaswechsel 4.  
 — Nährstofftransport 5.  
 — „Saftkanälchen“ 5.  
 — Trübung 6.  
 Horopter 418.  
 Horopteraabweichung, HERING-HILLEBRANDSche 419, 425, 428.  
 Humor aqueus siehe Kammerwasser.  
 — vitreus s. Glaskörper.  
 Hypermetropie s. Hyperopie.  
 Hyperopie und Amblyopie 573.  
 — anatomischer Befund 572.  
 — Anisometropie 570.  
 — Atropinanwendung 580.  
 Hyperopie und Augenbinnendruck 583.  
 — Bau des hyperopischen Auges 571.  
 — Behandlung 578.  
 — — Gläserstärke 579.  
 — — Haftgläser 581.  
 — — hyperopischer schielender Kinder 580.  
 — Ciliarkörper 572.  
 — Conus temporalis 572.  
 — Cornea plana 571.  
 — nach Episkleritis 581.  
 — Folgezustände 573.  
 — und Glaukom 574.  
 — Hornhautkrümmung 571.  
 — auf krankhafter Grundlage 581.  
 — latente 574.  
 — Linsendicke 572.  
 — manifeste 574.  
 — durch Minderung des Brechungsindex 582.  
 — physikalisch-optische Grundlagen 569.  
 — Pseudoneuritis 572.  
 — und Schwachsichtigkeit 573.  
 — — einseitige 576.  
 — Sehen der Hyperopen 574.  
 — Sehstärke 575.  
 — Sehstörungen der Hyperopen 577.  
 — und Strabismus convergens 573.  
 — totale 574f.  
 — Ungleichsichtigkeit 570.  
 — Vorderkammer 571.  
 — Vorkommen 569.  
 — Wachstumshyperopie 569.  
 — bei Zuckerkranken 582.  
 Individueller Empirismus 442.  
 Influenzabacillus 1005.  
 Intraokularer Druck s. Augen-  
 druck.  
 — — und Kammerwasser-  
 abfluß 49.  
 Iris als Abflußstätte des Kam-  
 merwassers 46.  
 — als Quelle der Kammer-  
 wasserbildung 39.  
 — — — SEIDELSCHE Ver-  
 such 39.  
 — s. Regenbogenhaut.  
 — Veränderungen nach Vor-  
 derkammerentleerung  
 40.  
 Irradiation und gleichsinnige  
 Induktion 228.  
 ISHIHARASche Tafeln 337.  
 Kammerwasser, Abfluß 43.  
 — — Abflußwege 48.  
 Kammerwasser, Abfluß durch  
 Ciliarkörper 48.  
 — — und intraokularer  
 Druck 49.  
 — — Iris als Abflußstätte 46.  
 — — durch Lymphgefäße 49.  
 — — Nerveneinfluß 60.  
 — — SCHLEMMSCHEr Kanal  
 43.  
 — Aminosäuren 22.  
 — Antikörper 25.  
 — Bildung 29.  
 — — Ciliarkörper als Drüse  
 41.  
 — — — als Filter 40.  
 — — — Gegenargumente 37.  
 — — als Filtrationsprozeß  
 40.  
 — — Filtrationstheorie,  
 Kritik 50.  
 — — HAMBURGERSCHEr Ver-  
 such 37.  
 — — Iris als Quelle 39.  
 — — LEPLATSCHEr Versuch  
 32.  
 — — Molekulartheorie 55.  
 — — — Capillardruck und  
 Augendruck 57.  
 — — — Donnangleich-  
 gewicht 58.  
 — — — osmotischer Druck,  
 Rolle 56.  
 — — — Quellungsprozesse  
 im Auge 55.  
 — — Nerveneinfluß 60.  
 — — als Sekretionsprozeß  
 41.  
 — — Theorien, ältere 30.  
 — — WESSELYSCHEr Ver-  
 such 33.  
 — Bildungsort 30.  
 — Brechungsindex 27.  
 — chemische Eigenschaften  
 20.  
 — Ciliarkörper als Quelle des  
 normalen 35.  
 — — des Regenerates 34.  
 — Eiweißgehalt 21.  
 — Enzyme 22.  
 — Fermente 22.  
 — Filtration, Abfluß 32.  
 — — LEBERSCHEr Versuche  
 31.  
 — Gase 22.  
 — Gefrierpunktserniedrigung  
 24.  
 — Glaskörper als Quelle des  
 Regenerates 34.  
 — Harnstoffgehalt 22.  
 — Herkunft 34.  
 — Kochsalzgehalt 21.  
 — Kohlensäuregehalt 22.  
 — Leitfähigkeit 24.  
 — Leukocyten 25.  
 — Menge 20.  
 — Oberflächenspannung 25.

- Kammerwasser, osmotische Spannung 23.  
 — Paramilchsäure 22.  
 — physikalische Eigenschaften 20.  
 — Regenerat, Eiweißgehalt 25.  
 — — spezifisches Gewicht 25.  
 — Schwefelgehalt 22.  
 — Sekretion 30.  
 — spezifisches Gewicht 20.  
 — Strömung 29, 30.  
 — Substanzen, anorganische 21.  
 — — organische 21.  
 — — reduzierende 22.  
 — Vergleichendes 20f.  
 — Viscosität 24.  
 — Wasserstoffionenkonzentration 23.  
 — Zuckergehalt 22.  
 — zweites s. Regenerat.  
 Katralglas 786.  
 Kaustische Fläche 487.  
 Keratoskop 844.  
 — von WESSELY 839.  
 Kernbilder 382, 385.  
 Kernfläche 436.  
 — des Sehraumes 424, 425.  
 Kinematographie 407.  
 Knotenpunkteigenschaft der Hauptpunkte 760.  
 KOCH-WEEKSScher Bacillus 1003.  
 Kohlensäuregehalt des Kammerwassers 22.  
 Komplementärfarben 301.  
 Kontaktglas 824.  
 Kontrast 305.  
 — Lichtsinn 220.  
 Konvergenzbreite, relative 441.  
 Körperfarben 297.  
 Korrektionswert und axiale Refraktion 752.  
 Korrespondierende Empfindungskreise 446.  
 Kovariantenphänomen 428.  
 Kreis kleinster Verwirrung 784.  
 Kryptokgläser 819.  
 KUNDScher Teilungsversuch 393.  
 Kurzsichtigenberatung 640.  
 Kurzsichtigkeit s. Myopie.
- Labyrinth, Erregung und Nachbildlage 405.  
 — und optische Lokalisation 404.  
 Lagegefühl der Augen 440.  
 Lederhaut, Ernährung 4.  
 Lens crystallinea s. Linse.  
 Leprabacillus 1019.
- Licht, gemischtes 299.  
 — homogenes 299.  
 — zusammengesetztes 299.  
 Lichtbrechung s. Refraktionslehre.  
 Lichter, einfache 299.  
 Licht- und Farbensinntheorie und die Leitung verschiedener Intensitäten und Qualitäten in einer einzelnen Opticusfaser 166.  
 Lichtmengengesetz 141.  
 Lichtmischung 300.  
 — HELMHOLTZscher Lichtmischapparat 301.  
 — SCHEINERScher Versuch 301.  
 Lichtsinn, adäquate, nicht adäquate Reize 172.  
 — Allgemeines 172.  
 — Analyse der Empfindungen 183.  
 — — der einfachen Empfindungen 183.  
 — Begriff der Empfindlichkeit 180.  
 — Beobachtungen im Ganzfeld 178.  
 — Bewußtsein und Aufmerksamkeit 176.  
 — binokulare Erscheinungen 232.  
 — — Farbenmischung 233.  
 — — — Bedeutung der Konturen 237.  
 — — — Standpunkt von HELMHOLTZ 233.  
 — — — — von HERING 233.  
 — binokularer Wettstreit 237.  
 — — — Einfluß der Aufmerksamkeit 238.  
 — — — — der Gestalt 238.  
 — Blendung 240.  
 — — Definition 240.  
 — — äußere Einflüsse 241.  
 — — messende Versuche 240.  
 — Dämmerungssehen 199.  
 — — Dämmerungswerte der Spektrallichter 199.  
 — — — Duplizitätstheorie 203.  
 — — — Kritik 203.  
 — — — Eigenheiten 201.  
 — — — Farbton 201.  
 — — — der Farbenuntüchtigen 202.  
 — — — Fovea, Empfindlichkeit 202.  
 — — — PURKINJESches Phänomen 200.  
 — — — als Sehen im farblosen Intervall 201.  
 — — — und Sehpurpur 202.
- Lichtsinn, Dunkeladaptation 193.  
 — — — Adaptation der Sol- daten 197.  
 — — — Adaptationstypen 196.  
 — — — Albinos 197.  
 — — — Alterseinflüsse 196.  
 — — — binokulare und monokulare Schwelle 196.  
 — — — Eidetiker 196.  
 — — — Empfindlichkeitszunahme 194.  
 — — — Geschichtliches 193.  
 — — — Schwellenenergie, minimale 196.  
 — — — Standardkurve 195.  
 — — — Störung durch Nachbilder 196.  
 — — — Total-Farbenblinde 196.  
 — — — Dunkel- und Helladaptation 172.  
 — — — eidetische Phänomene 176.  
 — — — Eigengrau 187.  
 — — — Eindrucks helligkeit 192.  
 — — — einfache Lichtempfindungen 184.  
 — — — Einfluß subjektiver Momente beim Sehen 176.  
 — — — Empfindung, Nachdauer 211.  
 — — — und Wahrnehmung 175.  
 — — — Empfindungsanstieg 211.  
 — — — Empfindungszeit 206, 208.  
 — — — und Adaptation 208.  
 — — — und Belichtungsdauer 210.  
 — — — Einzelheiten 208.  
 — — — und Intensität der Reize 208.  
 — — — Messung nach FRÖHLICH 207.  
 — — — — nach HAZELHOFF 207.  
 — — — — Metakontrastverfahren 207.  
 — — — und Spektrum 209.  
 — — — Erinnerungsbilder 176.  
 — — — Erregung, Chronaxie 211.  
 — — — — Farben, Abklingen 216.  
 — — — — Anklingen 206.  
 — — — — Reaktionsträgheit der Macula 206.  
 — — — — Gipfelzeit 211.  
 — — — — und Nachbilder 213.  
 — — — — des Dunkelauges 217.  
 — — — — auf erhelltem Grunde 217.  
 — — — — Erklärungsversuche 217.  
 — — — — Nutzzeit 211.  
 — — — — Erregungen, Summation 212.  
 — — — — Verschmelzung 213.

- Lichtsinn, Erregungen, Verschmelzung, Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren 213.
- — — Beeinflussung durch Kontrast 213.
- — — Farbenerscheinungen 213.
- — — Flimmerphotometrie 213.
- — — Frequenz bei Farbenblindheit 213.
- — — Lichtlücken 213.
- — zeitliche Verhältnisse 206.
- Farbanglut 192.
- Farbenkonstanz und Gestaltpsychologie 179.
- Farbenphotometrie 192.
- Figur und Grund 179.
- Funktionsbedingungen 173.
- Geschichtliches 173.
- Glanz 238.
- Auffassung von WUNDT 239.
- — latenter und manifester Wettstreit 239.
- gleichsinnige Induktion 230.
- Graureihe 187.
- Helladaptation 197.
- — Empfindlichkeitszunahme 198.
- — Geschichtliches 197.
- Helligkeit und Farbenkonstanz 177.
- — — HERINGS Gedächtnisfarben 177.
- — — Transformation der Farbenkonstanz 178.
- — bei Lichtmessungen 192.
- Irradiation, Allgemeines 228.
- — Erklärungsversuche 231.
- — Erscheinung 229.
- — und gleichsinnige Induktion 228.
- — und Kontrast 231.
- Kontrast 217.
- — Allgemeines 220.
- — binokularer 232.
- — biologische Bedeutung 225.
- — Erklärung 226.
- — — physiologische 226.
- — — psychologische 227.
- — Erscheinungen 221.
- — Florkontrast 221.
- — Geschichtliches 221.
- — Gitterfigur 224.
- — Grenzkontrast 224.
- Lichtsinn, Kontrast und Irradiation 231.
- — messende Versuche 223.
- Lichtabstufung 268.
- — AUBERTSche Blende 269.
- — Episkotister 269.
- — Gläser 269.
- — Graugläser 269.
- — NICOLSches Prisma 269.
- — Photoprien-Gläser 269.
- Lichterzeugung 265.
- — Energieverteilung der Lichtquellen 266.
- — Farbe der Lichtquelle 267.
- — ideale Forderung 267.
- — Ökonomie 266.
- Lichtmischung 267.
- — Mischung von Pigmentfarben 268.
- — — von Spektralfarben 267.
- Mitwirkung der Psyche 173.
- Momentadaptation 199.
- Nachbilder 213.
- — der Eidetiker 214.
- — Erklärungsprinzipien 214.
- — Phasen 214.
- — psychische 214.
- Pathologie 242.
- — Abbildung zur Erläuterung der Lichtsindestörungen 243.
- — Absorptionssteigerung im Auge 249.
- — Adrenalin 259.
- — bei Äthylalkoholvergiftung 258.
- — bei Allgemeinerkrankung 257.
- — Autointoxikationen, verschiedene 259.
- — Chorioiditis 249.
- — echte essentielle Störungen 245.
- — enterogene Substanzen 259.
- — Farbenblindheit, totale 244.
- — Gallenfarbstoff 259.
- — Geschichtliches 260.
- — Glaskörpertrübungen 249.
- — Glaukom 254.
- — Hemeralopie, kongenitale 245.
- — — symptomatische bei Erkrankungen des Sehorgans 246.
- — histiogene Substanzen 259.
- Lichtsinn, Pathologie bei Intoxikation 257.
- — Kampfgase 258.
- — körpereigene Schädigungen 259.
- — Kriegshemeralopie 262.
- — Lebertherapie 261.
- — Mangelhemeralopie 260.
- — und Medikamente 258.
- — bei Methylalkoholvergiftung 258.
- — Myopie 253.
- — Netzhautablösung 252.
- — Netzhautblutungen 249.
- — Netzhautdegeneration, familiäre 252.
- — Netzhautschichten, innere 254.
- — Nyktalopie, angeborene 246.
- — OGUCHISche Krankheit 245.
- — physikalisch-optische Beeinträchtigung 247.
- — psychogene Störungen 262.
- — Pupillenstörungen 247.
- — Rezeptorenfunktion, Störungen, Allgemeines 249.
- — Retinitis externa 250.
- — — pigmentosa 251.
- — bei Schwangeren 261.
- — Sehbahnerkrankung 256.
- — Sehnervenatropie 256.
- — Sehnervenentzündung und Stauungspapille 255.
- — Sehnervenerkrankungen 255.
- — Sehorgan, Leitungsstörungen 254.
- — Stäbchenfunktion, Störungen 243.
- — verschiedene Einwirkungen von Erkrankungen 262.
- — Wiener Endemien 260.
- — Zapfenfunktion, Störungen 244.
- Photometrie 270.
- — Bedeutung 275.
- — Beleuchtungsmesser 274.
- — Bunsenphotometer 271.
- — Grundbegriffe 270.
- — Integral-Photometer 271.
- — LUMMER-BRODHUNSches Photometer 273.

- Lichtsinn, Photometrie, Stufen-Photometer 275.  
 — — WEBERsches Photometer 274.  
 — — Prinzipalempfindungen 184.  
 — — Prüfung 276.  
 — — Behelfsprüfungen 278.  
 — — Dunkeladaptation, Herstellung 278.  
 — — ENGELKINGSches Adaptometer 285.  
 — — Festlegen der Kurve 279.  
 — — FÖRSTERScher Lichtsinnmesser 283.  
 — — Fünfpunkt-Adaptometer 286.  
 — — Gesichtsfeldprüfung 292.  
 — — Helladaptation, Herstellung 276.  
 — — Kreiseluntersuchung 291.  
 — — Kugeladaptometer 288.  
 — — Leuchtkreisel-Gerät 286.  
 — — Messung absoluter Schwelle 279.  
 — — NAGELsches Adaptometer 284.  
 — — PIPERSches Adaptometer 285.  
 — — Pupilloskopuntersuchung 292.  
 — — TREITELsche Tafel 291.  
 — — TSCHERNINGSche Gläser 289.  
 — — mit Unterschiedsschwellen 282.  
 — — verschiedene Schreibweisen 280.  
 — — Visual-Sensitometer 287.  
 — — WESSELYs Adaptometer 285.  
 — — psychogene Störungen 262.  
 — — Psychophysik 179.  
 — — Bedeutung 181.  
 — — innere 181.  
 — — Schwarzempfindung 186.  
 — — und Kontrast 186.  
 — — Störungen, Allgemeines 242.  
 — — durch Überempfindlichkeit 263.  
 — — Tagessehen 188.  
 — — chromatische Verstimmung 190.  
 — — Fluoreszenzlicht der Linse, Wirkung 189.  
 — — Helligkeitsverteilung des Spektrums 191.  
 — — neutrales Licht 189.  
 — — Neutrallichtprüfung, Methoden 190.
- Lichtsinn, Tagessehen, Stimmung des Sehorgans 189.  
 — — Urfarben 190.  
 — — Untersuchungsmethoden, Apparate 265.  
 — — WEBER-FECHNERSches Gesetz 181.  
 — — Weißempfindung 185.  
 — — und Kontrast 185.  
 — — Weiß-Schwarz-Reihe, experimentelle Darstellung 187.
- Lichtsinntheorien 353.  
 — — HUYGENS Undulationslehre 354.  
 — — MAXWELLS Lichttheorie 354.  
 — — NEWTONS Lehre vom Licht 353.
- Lichtstärkenverteilung bei Abbildung zweier Lichtpunkte auf der Netzhaut 383.
- Linienhoroptor 418.  
 Linksäugigkeit 424.
- Linse, aktuelle Reaktion 9.  
 — chemische Zusammensetzung 7  
 — Durchlässigkeit 10.  
 — Durchsichtigkeit 11.  
 — — biologische Bedingungen 12.  
 — — chemische Bedingungen 11.  
 — — physikalische Bedingungen 11.  
 — Ernährung 7, 9.  
 — Gaswechsel 9.  
 — Glasbläserstar 12.  
 — Glutathion 8.  
 — Kataraktbildung durch Eiweißhydrolyse 13.  
 — Lecithingehalt 8.  
 — Linseneiweißkörper, isoelektrischer Punkt 7.  
 — Oxydationsvermögen 9.  
 — Quellungswärme 9.  
 — Salzgehalt 8.  
 — Spaltungsstoffwechsel 10.  
 — spezifisches Gewicht 9.  
 — Trockensubstanz, Zusammensetzung 8.  
 — Tryptophangehalt 7.  
 — Verhalten gegen fremde Substanzen 11.  
 — Wachstum 9.  
 — Wassergehalt 8.
- Linsen, anastigmatische 751.  
 — astigmatische beim ruhenden Auge 788.  
 — torische 791.  
 — zylindrische, Wirkung mehrerer hintereinandergeschalteter 792.
- Linsenastigmatismus und Haftglas 826.
- Linsenformen, verschiedene und Auge 767.  
 Linsenkapsel, Durchlässigkeit 10.  
 — und Durchsichtigkeit 11.  
 Linsenstereoskop von ZEISS 434.  
 Lochbrillen 831.  
 LOEFFLERSches Methylenblau 991.  
 LOHNSTEINS Wasserkammer 831.  
 Lokalisationsmotive, sekundäre 444.  
 Lokalzeichen 398.  
 Luftperspektive 443.  
 LUMMER-BRODHUNSches Photometer 273.  
 Lupenbrillen 787.  
 Lupenspiegel 863.  
 Lymphgefäße des Auges 60.  
 Lymphzirkulation des Auges 20.
- Macula lutea, Lage 547.  
 Makropsie 400, 441.  
 Mangelhemeralopie und Lichtsinnstörungen 260.  
 Mensch, Augenströme 149.  
 — Belichtungspotential 150.  
 — Bestandpotential 150.  
 Micrococcus catarrhalis 1029.  
 — tetragenus 1024.  
 Mikropsie 400, 441.  
 Milzbrandbacillus 1019.  
 Minimum legibile 921.  
 — separabile 921.  
 — visibile sive cognoscibile 921.
- Molekulartheorie, Kammerwasserbildung 55.  
 Momentadaptation 199.  
 Monochromasie 316.  
 — Dunkeladaptation 318.  
 — Gesichtsfeldveränderung 317.  
 — Nyctagmus 316.  
 — Pupillarreaktion 318.  
 — Spektrum 317.
- Monochromatisches System 302.  
 Monokulare Motive der Tiefenlokalisation 442.  
 Mucor 1032.  
 Muskelgefühl der Augen 439.  
 Myoid 80.  
 Myopie 583.  
 — und Allgemeinzustand 620.  
 — und Alter 584.  
 — und Amotio retinae 625.  
 — anatomischer Befund 601.  
 — — — hinterer Augenabschnitt 604.  
 — — — Histologisches 608.  
 — angeborene 585.

- Myopie und Astigmatismus** 589, 619, 659.  
 — Augenhintergrundsveränderungen 589.  
 — — grüner Fleck 598.  
 — — in der Maculagegend 591.  
 — — der Peripherie 593.  
 — — WEISSsche Reflexbogenstreifen 590.  
 — Bau des kurzsichtigen Augapfels 588.  
 — Befund am lebenden Auge 588.  
 — Behandlung 629.  
 — — allgemeine 636.  
 — — Brille 634.  
 — — Brillenglasstärke, Verträglichkeit 638.  
 — — Fernrohrbrille 636.  
 — — Formung des Augapfels 629.  
 — — FUKALasche Operation 630.  
 — — — — Erfahrungen 633.  
 — — Kurzsichtigenberatung 640.  
 — — medikamentöse 639.  
 — — operative 630.  
 — und Bevölkerungsschicht 584.  
 — Binnendruck 589.  
 — Conus 590.  
 — Eheberatung 643.  
 — Entstehung 614.  
 — Folgezustände 625.  
 — — und Geschlecht 626.  
 — FÖRSTER-FUCHSscher Fleck 592, 595.  
 — Fortschreiten, jährliches 584.  
 — und Geschlecht 584, 586.  
 — und Glaskörperabhebungen 625.  
 — und Glaskörperblutungen 625.  
 — Glaskörperveränderungen 599.  
 — und Glaukom 627.  
 — -Grad und Sehschärfe 628.  
 — Häufigkeit bei Kindern 585.  
 — hochgradige 587.  
 — und Hornhautkrümmung 588, 643.  
 — Hygiene 641.  
 — — Ergebnisse 642.  
 — im Iritisbeginn 645.  
 — Lederhaut, anatomischer Befund 603.  
 — und Lenticonus 644.  
 — — falscher 644.  
 — Lichtsinn 629.  
 — und Lichtsinnstörungen 253.
- Myopie durch Linsenveränderungen** 643.  
 — Netzhautveränderungen, anatomischer Befund 613.  
 — Pathogenese 614.  
 — physikalisch-optische Grundlagen 583.  
 — Prognose 641.  
 — progrediente 587.  
 — und Pupillenweite 588.  
 — und Rasse 584.  
 — — Verteilung unter den Völkern 586.  
 — bei Salvarsankuren 645.  
 — und Schädelbau 620.  
 — Schulkurzsichtigkeit 584.  
 — Sehen der Kurzsichtigen 627.  
 — Sehnervenaustritt 612.  
 — Sehnervenaustrittsstelle 608.  
 — Sehnervenveränderungen 608.  
 — Sehschärfe und Conusbreite 628.  
 — Sichel 590.  
 — Skleraveränderungen 603.  
 — Staphyloma posticum 593.  
 — — — verum 595.  
 — Supertraktion, nasale 591, 610.  
 — Theorien 616.  
 — — Akkommodationskrampf 618.  
 — — Einfluß der Akkommodation 618.  
 — — — der Konvergenz 619.  
 — — — von Maculae corneae 619.  
 — — — der Naharbeit 617.  
 — — — des Schädelbaus 620.  
 — — entzündliche Genese 616.  
 — — Schwerkraftwirkung auf das Auge 616.  
 — — Sehnervenzug 616.  
 — traumatische 643.  
 — Vererbung 622.  
 — Vererbungstheorien 622.  
 — Voraussage 641.  
 — und Vorderkammer 588.  
 — — anatomischer Befund 604.
- Nachbilder** 305.  
 — Lichtsinn 213.  
 — Seitenstellung 405.  
 — Wettstreiterscheinungen 449.
- Nachbildbewegung und Nyctagmus** 403.
- Nachbildlage und Labyrinth-erregung** 405.
- NAGEL-KÖLLNERScher Far-  
 bgleichungsapparat** 339.
- NAGELsches Adaptometer** 284.
- Anomaloskop 343.
- NAGELsche Tafeln** 337.
- Nahbrille, Wirkung** 822.
- Nah Brillen, astigmatische Ver-  
 ordnung** 793.
- „Nahwert“ und Netzhaut 426.
- Nahgläser punktmäßiger Ab-  
 bildung** 786.
- Naphthalinkatarakt** 12.
- Nativismus** 442.
- Nebenlängsschnitte der Netz-  
 haut** 416.
- Nebenquerschnitte der Netz-  
 haut** 416.
- Nebensehrichtung** 400.
- Negative  $\delta$ -Werte** 764.
- Neogenese** 108.
- Nervus opticus s. Sehnerv.**
- Netzhaut, Ammoniakbildung** 115 f.
- Arterien, Blutdruck 14.
- Arterienpuls 15.
- als Auffangschirm des Auges 546.
- Bewegungsvorgänge, Be-  
 deutung 88.
- Blutdruck in den Capil-  
 laren 16.
- Blutzirkulation 14.
- Capillaren 16.
- chemische Reaktion 112.
- — Vorgänge 112.
- Deckpunkte, Substitu-  
 tionsverfahren zur Er-  
 mittlung 416.
- Deckstellen beider Netz-  
 häute 415.
- differente Punkte 416.
- disparate Punkte 416.
- Ernährung 2.
- -Erregung und Sehpurpur 102.
- Färbbarkeit, Beeinflussung  
 durch Belichtung 90.
- Fermentgehalt 116.
- Fluoreszenz 101.
- Gefäße 2.
- Gefäßinnervation 18.
- Gehirnschicht, Verände-  
 rungen, mor-  
 phologische,  
 nach Belich-  
 tung 89 f.
- — — — nach Radium-  
 strahlen 89 f.
- — — — nach Röntgen-  
 strahlen 89 f.
- — — — nach Ultravio-  
 lettbestrah-  
 lung 89 f.
- Glykogen 114.
- Glykolyse 115.

- Netzhaut, Hauptlängsschnitt 416.  
 — Hauptquerschnitt 416.  
 — Kreislaufstörungen 2.  
 — — Experimentelles 3.  
 — — Sinnesepithelbeteiligung 3.  
 — Lichtstärkenverteilung bei Abbildung zweier Lichtpunkte 383.  
 — Lipoidstoffwechsel 115.  
 — Lokalzeichen 398.  
 — Lymphgefäße 61.  
 — Nebenlängsschnitte 416.  
 — Nebenquerschnitte 416.  
 — Netzhautgrube, Unterscheidungs-fähigkeit 546.  
 — Oxydase-Nachweis 116.  
 — Oxydationsvermögen 116.  
 — Raumwert 398.  
 — Raumwerte, Stabilität 428.  
 — Raumwertgliederung 380.  
 — Raumwertverteilung 381.  
 — Sauerstoffverbrauch 3.  
 — Säuerungsprozeß, Lokalisierung 114.  
 — Sehpurpur 93.  
 — Sehschärfenverteilung 385.  
 — Spaltungs- und Oxydationsstoffwechsel 115.  
 — Stoffwechsel 3, 113.  
 — — Phosphorsäurebildung 113.  
 — — Säuerungs-nachweis 113.  
 — — und Zapfenoptogramme 113.  
 — als Stromquelle 121.  
 — tätige, Chemismus 114.  
 — Unterschiedempfindlichkeit für Helligkeiten 382.  
 — — für Lagen 380.  
 — Venenpuls 15.  
 — Veränderungen, morphologische, durch Lichtwirkung 80.  
 Netzhautablösung und Lichtsinnstörungen 252.  
 — bei Myopie 625.  
 Netzhautasymmetrie und Horopter 419.  
 Netzhautbild, Größe und Brillenglas 758.  
 Netzhautdegeneration, familiäre und Lichtsinnstörungen 252.  
 Netzhautinkongruenz 397.  
 Netzhautkorrespondenz 445.  
 — anomale 446.  
 — — konkomitierendes Schielen 446.  
 Netzhautperipherie, Farbensehen 305.  
 — Sehschärfe 386.  
 Netzhautperipherie, Unterschiedempfindlichkeit für Lagen 381.  
 Netzhautprozesse und Gesichtsempfindungen 149.  
 Netzhautstellen, disparate 425, 446.  
 — identische 415.  
 — — Sehrichtungsgemeinschaft 415, 422.  
 — — Substituierbarkeit zweier sich entsprechender Punkte 415.  
 — korrespondierende 415.  
 — Tiefenwerte 426.  
 Netzhautströme, Farbenempfindlichkeit 149.  
 — und Gesichtsempfindungen 136.  
 — und Nachbilder 140.  
 — der Warmblüter und periodische Gesichtsempfindungen des Menschen 165.  
 Netzhautstromstärke und Lichtstärke 142.  
 Netzhautstruktur und Sehschärfe 384.  
 Netzhautsymmetrie und optische Lokalisation nach Höhe und Breite 396.  
 Neutralisation und Scheitelpbrechwert 769.  
 NICOLSches Prisma 269.  
 Noniusmethode 380.  
 Nyktalopie, angeborene 246.  
 Nystagmus und Monochromasie 316.  
 — optokinetischer 410.  
 OGUCHISche Krankheit 245.  
 Oidium (Soor) 1032.  
 Opticusströme, Lichtmengesgesetz 157.  
 — periodische 154.  
 — Periodizität 158.  
 Optische Lokalisation, Innervationsempfindung 401.  
 — — und Labyrinth 404.  
 — — Nachbildbewegung und Nystagmus 403.  
 — — Stellungsbewußtsein 401.  
 — — nach Höhe und Breite 392.  
 — — — — Abstandstauschungen 393.  
 — — — — dioptrischer Apparat, Einfluß 397.  
 — — — — Lagetäuschungen 393.  
 — — — — Makropsie 400.  
 — — — — Mikropsie 400.  
 Optische Lokalisation nach Höhe und Breite, „Netzhautinkongruenz“ 397.  
 — — — — und Netzhautsymmetrie 396.  
 — — — — Projektionstheorie 397.  
 — — — — Raumwerte-Verteilung auf der Einzelnetzhaut 392.  
 — — — — Richtungstauschungen 393, 395.  
 — — — — Sehferne 399, 400.  
 — — — — Selbstanschauung der Netzhaut 397.  
 — — — — Streckentäuschungen 393.  
 — — — — Theoretisches 397.  
 — — — — Theorie von HERING 397.  
 — — — — Veränderlichkeit des subjektiven Maßstabes 399.  
 — — — — zentrische Schrumpfung des Sehfeldes 394.  
 — Täuschungen, geometrisch-optische 389.  
 „Organgefühl“ des Auges 449.  
 Orthoskopie 438.  
 Orthoskopischer Bereich 435, 439.  
 Ortssinn 380.  
 Osmotischer Druck, Rolle bei der Kammerwasserbildung 56.  
 OSTWALDSche Farbenlehre 297.  
 PANUMScher Versuch 427.  
 Parallaxe, binokulare 429.  
 Parallaxstereoskopie 434.  
 Partialhoropter 418.  
 Penicillium 1031.  
 Perimeter 411.  
 Perspektive des direkten Sehens 548, 778.  
 — des indirekten Sehens 548, 777.  
 PFLÜGERS Florbuch 338.  
 Phosphorsäurebildung in der Netzhaut 113.  
 Photoelektrischer Strom des Auges 119.  
 Photometrie 270.

- Physiologische Kohärenz 447.  
 Physiologischer Pupillenab-  
 schluß 61.  
 — — HAMBURGERscher Ver-  
 such 61.  
 Pigmentepithel, Hypothese  
 und Sehschärfe 384.  
 — Reaktion 84.  
 — und Sehpurpur 88.  
 — Veränderungen durch  
 Licht 84.  
 — — — anatomische Grund-  
 lage 86  
 — — — Pigmentwanderung,  
 zeitlicher Verlauf  
 87.  
 — — — Reizschwelle 87.  
 — — — Vergleichendes 85.  
 — — — Wirkung nicht ad-  
 äquater Reize 87.  
 Pigmentfarben 297.  
 Pigmentwanderung in Augen  
 mit Tapetum 88.  
 — in stäbchenlosen Netz-  
 häuten 86.  
 PIPERSches Adaptometer 285.  
 PLATEAUSche Spirale 408.  
 Pneumococcus 1026.  
 „Porrhallaktische“ Wirkung  
 435.  
 PODESTASche Tafeln 336.  
 Prismenbrillen 812.  
 Prismendioptrie 813.  
 Probierbrillen 815.  
 Projektionshypothese 422.  
 Projektionstheorie 397, 422,  
 425, 437.  
 Protanomale 309.  
 Protanomalie 308.  
 Protanopen, Spektrum, hellste  
 Stelle 314.  
 Protanopie 312.  
 — Spektrum 313.  
 Pseudodiphtheriebacillus  
 1002.  
 Pseudoneuritis 572.  
 „Pseudoskopie“ 435.  
 Punkthoropter 418.  
 Pupillenweite und Atmung 17.  
 — und Herzschlag 17.  
 Pupillomotorische Werte bei  
 Farbensinnstörungen 310.  
 PURKINJESches Phänomen  
 200, 304.  
 — — und Belichtungsstrom  
 143.  
 — — als Netzhautprozeß  
 146.  
 Radian 812.  
 Raumsinn 378.  
 — Augenmaß 387.  
 — HERINGSche Anschauungen  
 378.  
 — Ortssinn 380.  
 Raumsinn, Raumwertglie-  
 derung der Netzhaut 380.  
 — Sehen mit einem Auge 380.  
 — Sehschärfe 380.  
 Raumwert 398.  
 Raumwerte, Änderung bei  
 Augenbewegungen  
 401.  
 — — bei Labyrinthreizung  
 404.  
 Raumwertverteilung auf der  
 Netzhaut 381.  
 Rayleighgleichung und Blau-  
 gelbblindheit 324.  
 — und Rotgrünblindheit 326.  
 RAYLEIGHsche Gleichung 308,  
 309.  
 Rechenschieber von ROCHAT  
 755, 756.  
 Rechtsäugigkeit 424.  
 Rechts- und linksäugige Ein-  
 drücke, Unterscheidung  
 449.  
 Refraktion, Änderung durch  
 Verletzung 565.  
 — Anisometropie 558.  
 — Aphakie 565.  
 — — Bildgröße 566.  
 — — Feststellung 568.  
 — — FUKALASche Operation  
 566.  
 — — Rotsehen 568.  
 — — und Sehen 566.  
 — des Auges s. Dioptrik.  
 — axiale und Korrektionswert  
 752.  
 — blinder Fleck, Abstand  
 vom Fixierpunkt 557.  
 — und Brillenkasten 756.  
 — Entstehung 559.  
 — — bei Augen ohne Hinter-  
 grundverände-  
 rungen 560.  
 — — Auslese 563.  
 — — Emmetropisation 562.  
 — — Korrelationen 562.  
 — — Refraktionskurve 561.  
 — — STEIGERSche Lehre  
 559.  
 — und Form des Auges 557.  
 — graphische Darstellung  
 nach H. ERGGELET 757.  
 — und Krankheitsvorgänge  
 564.  
 — und Pupillenweite 557.  
 — s. Refraktionslehre.  
 — und Schädelbau 558.  
 — Untersuchungsmethoden  
 957.  
 — bei Zuckerkrankheit 564.  
 Refraktionen bei Haustieren  
 556.  
 — des Menschauges 549.  
 — — Beobachtungstat-  
 sachen 549.  
 Refraktionen des Menschen-  
 auges, Bevölkerungsschicht  
 551.  
 — — bei Kulturvölkern 556.  
 — — Länder 551.  
 — — Lebensalter 551.  
 — — bei Naturvölkern 556.  
 — — Neugeborene 552.  
 — — Rasse 551.  
 — — s. auch Refraktion.  
 — bei Pferden 556.  
 — bei Rindern 556.  
 — bei Säugetieren 556.  
 Refraktionsanomalien 322.  
 Refraktionsbestimmung s.  
 Dioptrik.  
 Refraktionskurve, korrigierte,  
 Abweichung von der Bino-  
 mialkurve 561.  
 Refraktionslehre 460.  
 — Abbild 484.  
 — abbildbare Linien 491.  
 — Abbildung bei endlich ge-  
 öffneten Bündeln 486.  
 — Abbildungsfehler, Aus-  
 gleich 493.  
 — Aberration 1. Ordnung  
 496.  
 — anastigmatische Strahlen-  
 bündel 497.  
 — aplanatisches Punktpaar  
 488.  
 — Astigmatismus schiefer  
 Bündel 487,  
 488.  
 — — — felgenrechtes  
 Bündel 490.  
 — — — speichenrechter  
 Hauptschnitt  
 490.  
 — Ausrichtung zweier Kugel-  
 flächen 474.  
 — Austrittspupille 482.  
 — Bildgröße, Formel 473.  
 — — Gleichung 474.  
 — Bildraum 472.  
 — Bildschalen der s-Bündel  
 490.  
 — — der t-Bündel 490.  
 — Brechkraft 471.  
 — — einer Folge aus zwei  
 Gliedern 478.  
 — Brechwert 471.  
 — Brechzahl und Wellen-  
 längen in  $n\mu$  463.  
 — Brech- und Zerstreuungs-  
 zahlen für Flint-  
 glas 463.  
 — — — für Kronglas 463.  
 — — — für Quarz 463.  
 — — — für Wasser 463.  
 — Brennflächen bei endlich  
 geöffneten Bündeln 492.  
 — Brennpunkte 476.  
 — Brennweite einer Linse 475.  
 — — Luftwert 476.

- Refraktionslehre, Bündel mit 1, 2 und keiner Symmetrieebene 491.  
 — Diagonal-Astigmatismus nach GULLSTRAND 496.  
 — Dingraum 472.  
 — Dioptrie 471, 479.  
 — Eintrittspupille 482.  
 — Farbenfehler der Linse 477.  
 — Farbenzerstreuung 463.  
 — — sekundäres Spektrum 464.  
 — Geometrie der geraden Linie 467.  
 — Grundgesetze der allgemeinen optischen Abbildung nach GULLSTRAND 494.  
 — GULLSTRANDSche Ableitungen 493.  
 — — — Strahlenfläche 494.  
 — — — monochromatische Aberrationen 495.  
 — — — — Asymmetriewerte 496.  
 — Hauptpunkte 476.  
 — Hauptpunktverschub 478.  
 — Hinterblende 483.  
 — homozentrische Bündel 464.  
 — Koma 488, 489.  
 — Konvergenz 469.  
 — Lichtbrechung 462.  
 — — an Flächen 462.  
 — — an Keilen 462.  
 — — an Kugelflächen 466.  
 — — — ohne Beschränkung auf den GAUSSischen Raum 486.  
 — — — Lagengleichung 467, 469.  
 — — — Luftlänge 470.  
 — — — Reduktion auf Luft 470.  
 — — an mehrteiligen Flächenfolgen 478.  
 — — — Beziehung auf ein beliebiges Paar zugeordneter Punkte 479.  
 — — an Platten 462, 465.  
 — — an Prismen 465.  
 — Linse in Luft 476.  
 — Luken des Gesichtsfeldwinkels 484.  
 — Nullstrahlen 469.  
 — paraxialer Raum 469.  
 — Polarisation des Lichtes 461.  
 — sphärische Aberration 487.  
 — Spiegelung 461.  
 — — an einer ebenen Fläche 461.
- Refraktionslehre, Spiegelungsverlust für Glasflächen 461.  
 — — für Hornhautvorderfläche 461.  
 — — für die Linsenvorderfläche 461.  
 — Strahlenbegrenzung 482.  
 — Strahlungsvermittlung 482.  
 — STURMSches Konoid 492.  
 — Teilzerstreuungen 463.  
 — Vorderblende 482, 489.  
 — Zeichenverfahren 480.  
 — Zentrierung zweier Kugelflächen 474.
- Regenbogenhaut, Arterienpuls 17.  
 — Ernährung 3.  
 — Lymphgefäße 61.
- Retina s. Netzhaut.  
 Retinitis pigmentosa und Lichtsinstörungen 251.
- RHEINBERGS Brille 820.
- Rhodogenese, Sehpurpur-Regeneration 108.
- Rhodophyllin 108.
- Richtung schiefer Hauptstrahlen und Brillenglas 801.
- Richtungslokalisierung, egocentrische 400.
- Richtungstäuschungen 393, 395.
- Röntgenstrahlen, Untersuchungsmethoden 887.
- Rotgrünblindheit 312.  
 — erworbene 325.  
 — — Ätiologie 328.  
 — — Dunkeladaptation 328.  
 — — Gesichtsfelduntersuchung 326.  
 — — Lichtsinn 328.  
 — — Rayleighgleichung 326.  
 — — Sehschärfe 328.  
 — — Spektrum 327.  
 — — Symptome 325.
- Rotsichtige 309.
- Rotzbacillus 1021.
- Rückblickbrillen 831.
- Ruhestrom des Auges 119.
- Sarcine 1030.
- Sättigung, Farben- 296.
- Schärfenkugel 778.
- Schattenprobe 526.
- Scheitelbrechwert 766.  
 — und Brillengläsereidbiegung 768.  
 — und Neutralisation 769.
- Scheitelbrechwertmesser 771.  
 — von A. KÜHL 770.  
 — von ZEISS 771, 772.
- Schematisches Auge s. Dioptrik.
- Schimmelpilze 1031.
- SCHLEMMERScher Kanal als Abflußstätte des Kammerwassers 43.  
 — — Druckhöhe 54.  
 — — experimentelle Verlegung 43 f.
- Schwarzempfindung 186.  
 Schwelle, absolute 304.  
 — generelle 304.  
 — spezifische 304.
- Sclera s. Lederhaut.
- Sehdinge, scheinbare Größe 438.
- Sehen mit disparaten Netzhautstellen 425.  
 — mit zwei Augen 414.  
 — von Bewegungen 406.  
 — — Augenmuskelparesen 410.  
 — — Bewegungsgeschwindigkeit 407.  
 — — Geschwindigkeitsgrenze, untere 407.  
 — — Kinematographie 407.  
 — — „optokinetisch“ aufgelöstes 410.  
 — — Ortsverschiebung, kleinste 407.  
 — — parallaxtische Verschiebung 411.  
 — — Phänomen der „flatternden Herzen“ 410.  
 — — „Punktwandern“ 410.  
 — — Raumwerte, kompensatorische Umstimmung 410.  
 — — Scheinbewegungen 409.
- Sehfeld und blinder Fleck 411.  
 — Einheitlichkeit 414.  
 — Kernpunkt 398.  
 — Komplementärer Anteil der beiden Netzhäute 445.  
 — Veränderlichkeit des subjektiven Maßstabes 438.  
 — zentrische Schrämpfung 412.
- Sehferne und Sehgröße 441.  
 Sehgelb 98, 99, 101.  
 Sehgröße 438, 443.
- Sehnerv, Ernährung 1.  
 — Gefäße 1.  
 — Lymphräume 60.  
 — Stoffwechsel 2.
- Sehorgan, elektrische Vorgänge 118.  
 — Stimmung 303.
- Sehpurpur 93.  
 — Absorptionsspektrum 103.  
 — Arten 94.  
 — Bleichung, Chemisches 95, 100.  
 — — Geschwindigkeit 103 f.  
 — — Reaktionskinetik 100.

- Sehpurpur, Bleichung, zeitliche Verhältnisse 100.  
 — chemische Eigenschaften 95.  
 — Eigenschaft und Duplizitätstheorie 106.  
 — entoptischer, Nachweis 94.  
 — Herstellung 96.  
 — im lebenden Auge, Nachweis 94.  
 — Lichtabsorption 97.  
 — — und PLANCKSCHE Theorie 105.  
 — Lichtempfindlichkeit 95.  
 — Löslichkeit 95.  
 — — in gallensauren Alkalien 94.  
 — Nachweis 93.  
 — in der Netzhaut des Menschen 94.  
 — und Netzhauterregung 102.  
 — Optogramme 96.  
 — und Pigmentepithel 88.  
 — physikalische Eigenschaften 95.  
 — Regeneration 107.  
 — — Bedingungen 107.  
 — — und Hemeralopie 108.  
 — — und Pigmentepithel 108.  
 — — „Rhodogenese“ 108.  
 — — und Vitamine 108.  
 — und Sehgelb 99.  
 — spektroskopische Untersuchung 96.  
 — Typen 98.  
 — Vergleichendes 93.  
 — Verhalten gegen verschiedene Temperaturen 95.  
 — Vorkommen 93.  
 Sehraum, Kernfläche 424, 425.  
 Sehrichtungsgemeinschaft „identischer“ Netzhautstellen 415.  
 Sehrichtungszentrum 424.  
 Sehrot 93.  
 Sehschärfe 380.  
 — Adaptationsveränderung, Einfluß 386.  
 — und Beleuchtung 385.  
 — s. Dioptrik.  
 — exzentrische 386.  
 — und Gesichtswinkel 385.  
 — in der Netzhautperipherie 386.  
 — und Netzhautstruktur 384.  
 — und Pigmentepithel-Hypothese 384.  
 — Prüfung in der ärztlichen Praxis 387.  
 — Untersuchungsmethoden 921.  
 — und  $\delta$ -Wert 764.  
 Sehschärfenprüfung 385.  
 Sehschärfenverteilung auf der Netzhaut 385.  
 Sehweiß 99.  
 Sella turcica, Röntgenaufnahme 895.  
 Serodiagnostik 997.  
 Skiaskopie 526.  
 SNELLENSCHE Tafeln 387.  
 SNELLIUSSCHES Brechungsgesetz 462.  
 Spaltlampe 840.  
 Spektralapparat 342.  
 Spektrum 300.  
 — Deuteranopie 313.  
 — Endstrecken 300.  
 — hellste Stelle für Protanopie 313.  
 Sphärometer 770.  
 Sphäro-torisches Glas, photographisches Prüfungsergebnis 800.  
 Spiegelbilder erster Ordnung 811.  
 Spirochaeta pallida, Darstellung 1035.  
 Spirochäten 1034.  
 Sporotrichum 1032.  
 Sproßpilze 1030.  
 Stäbchen, Veränderungen, morphologische, durch Lichtwirkung 83, 84.  
 Stabilität der Raumwerte auf der Netzhaut 428.  
 Staphylococcus albus non liquefaciens 1024.  
 — pyogenes albus 1023.  
 — — aureus 1022.  
 — — citreus 1022.  
 Staphyloma posticum verum 595.  
 Stargläser 785.  
 Stellungsbewußtsein der Augen 439.  
 Stereoeffekt, PULFRICH'S 436.  
 Stereoskop, BRÄWSTER'SCHES 434.  
 — WHEATSTONE'SCHES 434.  
 Stereoskopie 432.  
 — Hauptkonvergenzwinkel 432.  
 — ohne Trennung der Teilbilder 435.  
 Stereoskopieren, freiäugiges 433.  
 Stereoskopischer Glanz 448.  
 Stereoskopische Messung 444.  
 STILLINGSCHES pseudoisochromatische Tafeln 335.  
 Stimmung des Sehorganes 303.  
 Stoffwechsel der Netzhaut 3.  
 — des Sehnerven 2.  
 Streptococcus pyogenes 1024.  
 Strobostereoskopie 435.  
 Strahlenverlauf im Auge s. Dioptrik.  
 Streptobacillus 1022.  
 Stroboskopie 407.  
 STURMSCHES Konoid 492.  
 Substitutionsverfahren zur Ermittlung von Netzhautdeckpunkten 416.  
 Taboteilung 531, 789.  
 Tagessehen 303.  
 — Helligkeitsverteilung des Spektrums 191.  
 — Lichtsinn 188.  
 TALBOTSCHES Gesetz 142.  
 Tangentenfehler 394.  
 Taucherbrillen 830.  
 Tautomorphe Wiedergabe der wirklichen Objekte 432.  
 Telestereoskop 435.  
 — v. HELMHOLTZ'SCHES 431.  
 Tetanusbacillus 1020.  
 Tiefenlokalisierung, absolute 437, 439.  
 — Erfahrungseinfluß 442.  
 — Erfahrungsmotive 442.  
 — Gedächtnis 443.  
 — Licht und Schatten, Verteilung 442.  
 — Linearperspektive 442.  
 — Muskelgefühle der Augen 439.  
 — relative 437.  
 — Stellungsbewußtsein der Augen 439.  
 — „Zweikantenversuch“ 440.  
 Tiefensehschärfe 429, 430.  
 Tiefenunterscheidungsvermögen 431, 444.  
 Tiefenwerte der Netzhautstellen 426, 427.  
 Tintenfischauge, Bau 121.  
 Tonnenförmige torische Fläche 792.  
 Tonometrie, Untersuchungsmethoden 900.  
 Torische Linsen 791.  
 — — tonnenförmige Fläche 791.  
 — — wurstförmige Fläche 791.  
 — oder Wulstfläche 791.  
 Totalhoropter 418.  
 Tragrandgläser 749.  
 Trichromate 302.  
 Tritanomalie 308, 310.  
 Tritanopie 315.  
 — erworbene 323.  
 TSCHERNINGSCHES Ellipsen 783.  
 Tuberkelbacillus 1016.  
 — Ausstrichpräparat 1016.  
 Tuberkelbacillen, Anreicherungsverfahren 1017.  
 — granuläre 1017.  
 — Schnittpräparat 1017.

- Tuberkelbacillen, Typus bovinus 1018.  
 — — humanus 1018.
- Übersichtigkeit s. Hyperopie.
- Umstimmung, indirekte des Auges 448.
- Unterschiedsempfindlichkeit für Größenunterschiede, WEBERSches Gesetz 388.  
 — der Netzhaut für Helligkeiten 382.  
 — — für Lagen 380.  
 — — -Peripherie für Lagen 381.
- Untersuchungsbestimmungen, Refraktion, objektive Methoden 970.
- Untersuchungsmethoden 835.  
 — Aggravation 950.  
 — Akkommodation 982.  
 — Augenabstand, seitlicher, Bestimmung 853.  
 — — — — — Apparat von CRAWLEY 855.  
 — — — — — von OPPENHEIMER 855.  
 — — — — — von RITZMANN 855.  
 — — — — — objektive Verfahren 854.  
 — — — — — subjektive Verfahren 854.  
 — Augendruck, normale Höhe 901.  
 — Augenhintergrund, Lokalisation 870.  
 — — Meridianbestimmung 870.  
 — — Messung 872.  
 — — — nach Breite und Höhe 872.  
 — — Niveauunterschiede, refraktometrische Bestimmung 872.  
 — — Parallelkreisbestimmung 870.  
 — — Photographie 877.  
 — — Untersuchung unter Ausschaltung der Hornhautbrechung 875.  
 — Augenspiegel, elektrischer von MAY 876.  
 — — von THORNER 876.  
 — — von WOLF 876.  
 — Augenspiegelbild, Vergrößerung 867.  
 — Auto-Ophthalmoskopie 875.  
 — Bakteriologie des Auges 989.  
 — Basallinie 853.
- Untersuchungsmethoden, Beobachtung bei indirekter seitlicher Beleuchtung 847.  
 — — Berufsberatung 953.  
 — — Berufseignung 953.  
 — — Chauffeure 955.  
 — — Dunkeladaptation, Störungen 954.  
 — — Eisenbahnangestellte 955.  
 — — Farbensinn, Störungen 954.  
 — — Flieger 955.  
 — — Gesichtsfeld, Störungen 954.  
 — — Marineangehörige 956.  
 — — Sehstärke 953.  
 — — stereoskopisches Sehen 954.  
 — — binokulare Lupen 843.  
 — — Blinzelreflex 951.  
 — — Breitensehstärke 921.  
 — — Brillengestell 968.  
 — — Chronaxie (LAPICQUE) 858.  
 — — CZAPSKI-ZEISSsches binokulares Hornhautmikroskop 843.  
 — — Diaphanoskopie 883.  
 — — Adaptation, Einfluß 884.  
 — — Beurteilung der Befunde 885.  
 — — diasklerale Durchleuchtung 885.  
 — — Durchleuchtung der Lider 886.  
 — — — vom Munde aus 855.  
 — — Durchleuchtungslampen 885.  
 — — Instrumente 884.  
 — — Schattenbildungen im vorderen Bulbusabschnitt 886.  
 — — Technik 885.  
 — — transpupillare Methode 885.  
 — — Zusammensetzung des Lichtes 884.  
 — — Diaskopie 840.  
 — — Doppellineal von LANDOLT 854.  
 — — Dynamometrie 915.  
 — — Apparate 916.  
 — — von BAILLIART 916.  
 — — Bedeutung 918.  
 — — Fehlerquellen 917.  
 — — und Hirndruck 919.  
 — — Pelottenmethode 916, 918.  
 — — Pulsationserscheinungen 916.  
 — — Untersuchung des Blutdruckes in den Capillaren 918.  
 — — Eintrittspupille 858.
- Untersuchungsmethoden, Eisenspäher, HIRSCHBERG 898.  
 — Eisensplitternachweis im Auge 898.  
 — Ektropionieren 839.  
 — — bimanuelles, doppeltes 839.  
 — Elektromagnet, Verwendung zu diagnostischen Zwecken 899.  
 — entoptische Methoden 949.  
 — — — Zirkulation in den Netzhautcapillaren 950.  
 — entoptisches Phänomen 949.  
 — Exophthalmometer AMBIALET 851.  
 — — COHN 851.  
 — — EMMERT 851.  
 — — photographisches Verfahren 852.  
 — — ROLLET und DURAND 852.  
 — — SATTLER-HERING 851.  
 — — von TRENDLENBURG 851.  
 — — ZEHENDER 851.  
 — Exophthalmometrie 850.  
 — — Inspektion 850.  
 — — instrumentelle 850.  
 — — Methode von P. KNAPP 851.  
 — Fehlermethoden FECHNER 835.  
 — fokale Beleuchtung 840.  
 — — — Beleuchtungsvorrichtung 840.  
 — Formensinn 921.  
 — Gesichtsfelduntersuchung 931.  
 — — Adaptation, Einfluß 934.  
 — — Akkommodation, Einfluß 933.  
 — — Astigmatismus schiefer Bündel 932.  
 — — Aufzeichnung der Resultate 940.  
 — — binokulare Methoden 942.  
 — — blinder Fleck 935.  
 — — Blitzlichtperimeter 939.  
 — Gesichtsfeldprüfung, Bogenperimeter 937.  
 — — Dunkelgesichtsfeld 939.  
 — — Ermüdung, Einfluß 939.  
 — — Farbgrenzen 934.  
 — — FÖRSTERScher Verschiebungstypus 940.  
 — — Gegenfarben 935.  
 — — Gesichtsfeld, normales 932.

- Untersuchungsmethoden, Gesichtsfeldprüfung, Gesichtsfeldausfälle, pathologische 936.  
 — — Gesichtsfeldschema 940.  
 — — Handperimeter 937.  
 — — Hohlkugelperimeter 937.  
 — — Isopteren 932.  
 — — Kampimetrie 937.  
 — — Lichtprojektion, Prüfung 936.  
 — — Lichtstärke 932.  
 — — Einfluß 933.  
 — — Lochmethode von HERRING 942.  
 — — Meridiane, Anzahl 939.  
 — — Methodik 936.  
 — — Objektgröße, Einfluß 933.  
 — — Perimeter, Beleuchtung 939.  
 — — Perimeterobjekte 938.  
 — — periphere gleiche Farben 935.  
 — — Prüfungsobjekt, Form 939.  
 — — Punktsehschärfe 932.  
 — — Pupillenweite 932.  
 — — Reaktionszeit des Patienten 939.  
 — — Refraktion 933.  
 — — Richtungslokalisation, Prüfung 943.  
 — — Schachtelgesichtsfeld nach BEHR 933.  
 — — Simulationsprüfungen 937.  
 — — Skotome durch Gefäßschatten 935.  
 — — — physiologische 935.  
 — — — Untersuchung 940.  
 — — Skotometer 941.  
 — — Stereoskop nach HAITZ 942.  
 — — TSCHERNINGSche Gläser 939.  
 — — Überblicksperimetrie 941.  
 — — UHTHOFFSche Scheibe 937.  
 — — Untersuchung exzentrischen Farbensinnes 943.  
 — — — des exzentrischen Farbensinnes 932.  
 — — — — Lichtsinnes 932.  
 — — — der exzentrischen Sehschärfe 932.  
 — Glaskörperuntersuchung 846.  
 — Gonioskopie 878.  
 — — Untersuchung mit dem Auflegetglas 879.
- Untersuchungsmethoden, Gonioskopie, Untersuchung mit dem Lupenspiegel 878.  
 — Grünfilter von THORNER 874.  
 — HAABSches Pupillometer 858.  
 — HAIDINGERSches Büschel 949.  
 — HARTNACKSche Lupe 843.  
 — HERINGScher Fallversuch 951.  
 — HERTELSches Spiegelexophthalmometer 851.  
 — Höhenverschiebung des Bulbus, Messung 852.  
 — Hornhautinfiltration im auffallenden Licht 847.  
 — Hornhautprisma 846.  
 — Hornhautreflexbild 844.  
 — Hornhautreflexphotographie von F. P. FISCHER 844.  
 — Hornhautspiegelbezirk 847.  
 — Inspektion 839.  
 — intraokularer Druck, Messung 900.  
 — Irisfarbe, protokollarische Festlegung 845.  
 — Kammerwinkeluntersuchung 878.  
 — Kampimetrie 933.  
 — Keratometer von JAVALSCHIÖTZ 958.  
 — Keratoskop 844.  
 — — von GULLSTRAND 957.  
 — — von PLACIDO 957.  
 — — von WESSELY 839, 858.  
 — Kinesimetrie 858.  
 — KOEPPEScher Spiegel 846.  
 — KRUSIUS' Apparat 858.  
 — Lagebestimmung des Auges 850.  
 — LANGESche Lampe 879, 885.  
 — Lichtquellen zum Augenspiegeln 870.  
 — Lichtsinn 265.  
 — Lochblende 846.  
 — Lokalisation im Augenhintergrunde 870.  
 — Lupenspiegel 863.  
 — Messung im Augenhintergrunde 872.  
 — „Mouches volantes“ 949.  
 — Nahsehschärfe 923.  
 — Niveauunterschiede, parallaktische Verschiebung 872.  
 — objektive, Untersuchung der äußeren Teile des Auges 839.  
 — Ophthalmofundoskop von BAUM 876.
- Untersuchungsmethoden, Ophthalmoskop, großes von GULLSTRAND 876.  
 — Ophthalmoskopie 862.  
 — — Augenhintergrund, Farbe 864.  
 — — — — und Blutgehalt 864.  
 — — Augenspiegelbild 865.  
 — — direkte 865.  
 — — indirekte 867.  
 — — im indirekten Licht 867.  
 — — Lichtquelle 864, 873.  
 — — Lokalisation von Trübungen 864.  
 — — der Ora serrata 870.  
 — — reflexfreie 875.  
 — — im roten Licht 873.  
 — — — — nach FRANCESCHETTI u. H. K. MÜLLER 874.  
 — — — — nach VOGT 873.  
 — — Untersuchung mittels Augenspiegels im durchfallenden Lichte 863.  
 — — ophthalmoskopisches Beleuchtungsfeld 869.  
 — — Gesichtsfeld 868.  
 — — — Grenzen 870.  
 — — Ophthalmostereographie 878.  
 — — Parallaxenrefraktometer von HENKER 972.  
 — — Photographie des Augenhintergrundes 877.  
 — — — mit rotempfindlichen Platten 877.  
 — — des Spaltlampenbildes 848.  
 — — des vorderen Bulbusabschnittes 845.  
 — — photographische Verfahren 844.  
 — — Photokeratoskopie 844.  
 — — Photopsien 949.  
 — — Piezometrie 852.  
 — — polarisationsmikroskopische Untersuchungen 843.  
 — — Polyophthalmoskop von WEGNER 877.  
 — — Pupille 857.  
 — — — Form 857.  
 — — — pharmakologische Untersuchung 861.  
 — — Pupillenabstandsmesser 853.  
 — — Pupillenabstandsmessung für die Nahebrille 855.  
 — — Pupillenbewegungen, absolute Reizschwelle 859.

- Untersuchungsmethoden, Pupillenbewegungen, Differentialpupillooskop von HESS 859.  
 — — entoptische Methode 860.  
 — — Hemikinesimetrie 859.  
 — — Kinematographie 858.  
 — — Lichtreaktion 858.  
 — — optisches Kymographion 858.  
 — — Prüfung 858.  
 — — — der konsensuellen Reaktion 859.  
 — — Untersuchung der Erweiterungsreaktion 861.  
 — — — der galvanischen Reaktion 861.  
 — — — auf hemianopische Pupillenstarre 859.  
 — — — der Naheinstellungsreaktion 860.  
 — — — des Orbicularisphänomens 860.  
 — — — der Unterschwelle 859.  
 — Pupillenspiel, Ermüdung 858.  
 — Pupillenweite 857.  
 — Pupillometrie 857.  
 — PURKINJESCHE Aderfigur 949.  
 — Reflexbilder an der Linsenhinterfläche 844.  
 — — an der Linsenvorderfläche 844.  
 — Refraktion 957.  
 — — Apparat von AMSLER 957.  
 — — Brillengestell 968.  
 — — Chromasie des Auges 962.  
 — — Ericiskop 963.  
 — — Glasabstand bei der Refraktionsmessung 968.  
 — — Kammertiefbestimmung 960.  
 — — Keratometer von JAVALSCHLÖTZ 958.  
 — — — von SUTCLIFFE 959.  
 — — und Lähmung der Akkommodation 979.  
 — — Messung der Abstände der berechnenden Flächen 960.  
 — — Ophthalmometrie 957.  
 — — optische Konstanten 957.  
 — — Parallaxenrefraktometer von HENKER 972.
- Untersuchungsmethoden, Refraktion, Pfeilschattenprobe von RAUBITSCHKE 962.  
 — — Punktalprobiergläser 969.  
 — — Refraktometer von RODENSTOCK 975.  
 — — — von THORNER 974.  
 — — ROESSLERSCHES Verfahren 963.  
 — — Schattenprobe 976.  
 — — SCHEINERSCHER Versuch 963.  
 — — Sehprüfscheiben 969.  
 — — Skiaskopie 976.  
 — — subjektive Refraktionsbestimmung 966.  
 — — — Verfahren 960.  
 — — Strahlenfigur 960.  
 — — Veloskiaskopie 965.  
 — — Zylinderskiaskopie 979.  
 — Refraktionsbestimmung im aufrechten Bilde 970.  
 — — im umgekehrten Bilde nach SCHMIDT-RIMPLER 973.  
 — Röntgendurchleuchtung 888.  
 — Röntgenphotographie 888.  
 — Röntgenstrahlenuntersuchung 887.  
 — — Bulbuskontur 894.  
 — — Canalis opticus, Aufnahme 893.  
 — — Carotis interna, Darstellung 894.  
 — — Durchleuchtung 888.  
 — — Fremdkörper-Feststellung 889.  
 — — Fremdkörper-Lokalisation 889.  
 — — Geometrisches 890.  
 — — Methode von BAER 890.  
 — — — nach FÜRSTENAU-WESKI 890.  
 — — — von TRENDELLENBURG 892.  
 — — — in der Orbita 893.  
 — — — skelettfreie Aufnahmen 892.  
 — — — stereogrammetrisches Verfahren 892.  
 — — — stereoskopisches Verfahren 891.  
 — — — Verfahren von COMBERG 891.  
 — — — von HASSELWANDER 892.  
 — — — von ALBAN KÖHLER 889.
- Untersuchungsmethoden, Röntgenstrahlenuntersuchung, Fremdkörper-Lokalisation, Verschiebungsverfahren 890.  
 — — — Zweiplattenverfahren von HOLZKNECHT 890.  
 — — — von MÜLLER 890.  
 — — Hornhautvorderfläche, Sichtbarmachung 894.  
 — — knöcherner Tränenkanal, Darstellung 895.  
 — — Orbita-Aufnahmen 893.  
 — — Orbitalbegrenzungen, Orientierung 893.  
 — — Photographie 888.  
 — — Sella turcica, Aufnahme 895.  
 — — Tränenwege, Darstellung 894.  
 — — — Jodipin 895.  
 — — Weichteildarstellung 894.  
 — rotfreies Licht, Physikalisches 874.  
 — SACHSSCHE Lampe 885.  
 — Sehproben 923.  
 — Sehprüfscheiben 969.  
 — Sehschärfe 921.  
 — — angulare 923.  
 — — und Beleuchtung 922.  
 — — — des Gesamtraumes 927.  
 — — — der Sehprobentafeln 927.  
 — — — verschiedenfarbige 922.  
 — — binokulare 922.  
 — — Einfluß des Lebensalters 922.  
 — — klinische Prüfung 922.  
 — — Kontrastvorgänge 922.  
 — — Kugelspiegellampe 927.  
 — — Nahsehproben 926.  
 — — Oxyoptrie 926.  
 — — PFLÜGERSCHER Haken 926.  
 — — praktische Ausführung der Sehprüfung 928.  
 — — psychische Faktoren 922.  
 — — Pupille, Weite 922.  
 — — quantitative Bestimmung 923.  
 — — Raum für die Sehprüfung 927.  
 — — Sehprobentafeln für Analphabeten und Kinder 926.

- Untersuchungsmethoden, Sehschärfe, Sehprobentrommeln 928.  
 — — — Sehzeichen, kontinuierliche Änderung der Größe 926.  
 — — — Sehzeichengröße, Abstufung 925.  
 — — — Spiegelproben 928.  
 — — — Untersuchung des Formensinnes 923.  
 — — — ZEISS-Tafeln 925.  
 — — — ziffernmäßige Bestimmung 924.  
 — — — Sehschärfepfprüfung, Schnelligkeit der Auffassung 922.  
 — — — seitliche Beleuchtung 840.  
 — — — Beobachtungsvorrichtungen 843.  
 — — — Sensibilität des Auges 946.  
 — — — ASCHNERsches Phänomen 947.  
 — — — Betasten mit dem Finger durch das geschlossene Lid 947.  
 — — — Bindehaut, Untersuchung 946.  
 — — — — Wärmeempfindung 947.  
 — — — — Bulbus, Druckempfindlichkeit 947.  
 — — — — v. FREYsche Reizhaare 946.  
 — — — — HAENEL-Symptom 948.  
 — — — — Hornhaut, Kälteempfindung 946.  
 — — — — — Prüfung 947.  
 — — — — — Schmerzempfindung 946.  
 — — — — — Untersuchung 946.  
 — — — — — Wärmeempfindung 947.  
 — — — — Lidhautuntersuchung 946.  
 — — — — — oculo-cardialer Reflex 947.  
 — — — Sideroskop von ASMUS 898.  
 — — — — Sideroskopie 898.  
 — — — — Fehlerquellen 899.  
 — — — Simulation 950.  
 — — — — von Augenmuskeltörungen 952.  
 — — — — binokulare Proben 951.  
 — — — — funktionelle Prüfung 951.  
 — — — — „lecture contrôlé“ von JAVAL 952.  
 — — — — monokulare Proben 951.  
 — — — — objektive Prüfung 951.
- Untersuchungsmethoden, Simulation, Pupillenreaktion 951.  
 — — — Sehschärfe 951.  
 — — — Spiegelproben 951.  
 — — — Stereoskop 952.  
 — — — vergrößernde Sehhilfen 951.  
 — — — Skiaskopie 976.  
 — — — Theorie 976.  
 — — — Spaltlampe 840.  
 — — — Beobachtung im durchfallenden Lichte 846.  
 — — — GULLSTRANDsche Montierung 841.  
 — — — „HENKERScher Arm“ 842.  
 — — — KÖHLER-VOGTSche Montierung 841.  
 — — — Linsenhalter nach ARRUGA 842.  
 — — — Modelle 843.  
 — — — Tiefenlage bestimmter Veränderungen 846.  
 — — — Untersuchung der Bindehaut 848.  
 — — — — im fokalen auffallenden Lichte 845.  
 — — — — im Spiegelbezirk 847.  
 — — — Spiegelbezirk 847.  
 — — — — der Linsenhinterfläche 847.  
 — — — — der Linsenvorderfläche 847.  
 — — — stereoskopischer Augenspiegel 873.  
 — — — subjektive 920.  
 — — — Tangentialpulliometer von SCHLÖSSER 858.  
 — — — THORNERscher reflexloser Augenspiegel 876.  
 — — — Tonometrie 900.  
 — — — Anästhesierung 908.  
 — — — Apparat von BAILLIART 903.  
 — — — — von FICK 903.  
 — — — — von LIFSHTZ 903.  
 — — — — von MAKLAKOFF 904.  
 — — — — von SCHLÖTZ 904.  
 — — — — — Anwendung 907.  
 — — — — — Eichung 905.  
 — — — — — Modifikationen 904.  
 — — — — von STEPHENSON 903.  
 — — — — von WENDT 905.  
 — — — — Applanationstonometer 903.  
 — — — — Auswertung der Tonometerausschläge 906.  
 — — — — ballistische Methoden 907.
- Untersuchungsmethoden, Tonometrie, digitale Fehlerquellen 902.  
 — — — Druckkurven 911.  
 — — — Ermittlung der absoluten Druckhöhe 910.  
 — — — Fehler 909.  
 — — — Impressionstonometer 904.  
 — — — instrumentelle 903.  
 — — — Justierblock von COMBERG 910.  
 — — — Messungen auf der Sklera 911.  
 — — — Methodik 901.  
 — — — Normung der Tonometer 910.  
 — — — Oszillationen des Tonometerzeigers 908.  
 — — — physikalische Faktoren 900.  
 — — — physiologische Faktoren 900.  
 — — — Registrierung der gefundenen Werte 910.  
 — — — Schädigungen 911.  
 — — — Stativtonometer 907.  
 — — — Tonometer mit konvexem Zapfen 905.  
 — — — Tonoskopie 915.  
 — — — Tyndalleffekt 838.  
 — — — ultra-mikroskopische Untersuchungen 843.  
 — — — ultraviolettes Licht zum Nachweis der Fluoreszenz der Linse 837.  
 — — — — des Fluorescinübertritts in die vordere Kammer 837.  
 — — — Unterschiedsempfindlichkeit 835.  
 — — — Untersuchung im aufrechten Bilde 865.  
 — — — — bei emmetropischer Refraktion 866.  
 — — — — bei Kurzsichtigkeit des untersuchten Auges 866.  
 — — — — des Bindehautsackes 839.  
 — — — — der brechenden Flächen 843.  
 — — — — der Conjunctiva bulbi 83.  
 — — — — tarsi et fornicis des Unterlides 839.  
 — — — — des Hornhautparenchyms 845.  
 — — — — im reflektierten Licht 836.

- Untersuchungsmethoden,  
 Untersuchung mit  
 Spektrallicht der  
 vorderen Teile des  
 Augapfels 837.  
 — — — derspiegelnden Flächen  
 843.  
 — — — am umgekehrten Bilde  
 867.  
 — — — Vergrößerung im aufrechten  
 Bild 867.  
 — — — im umgekehrten Bild  
 868.  
 — — — Viermaß von HENKER und  
 MÜHSAM 855.  
 — — — Vorderkammer, Tiefe 845.  
 — — — Winkelsehschärfe 921.  
 — — — Zylinderskiaskopie 979.  
 Urfarben, Lichtsinn 190.  
 Uvea, Gefäßinnervation 19.
- Venae vorticosae, Blutdruck  
 17.  
 Venenpuls der Netzhaut 15.  
 Vergrößerung, scheinbare, der  
 Gestirne in der Nähe des  
 Horizontes 442.  
 „Verzogene Schachbrettfigur“  
 395.  
 Violettblindheit 323.  
 Violettblindheit 315.  
 Visierlinie 500.  
 Vorhänger 820.
- Wasserstoffionenkonzentra-  
 tion im Kammerwasser  
 23.  
 WEBER-FECHNERSches Gesetz  
 181.  
 — — — und Elektroretino-  
 gramm 142.  
 WEBERSches Gesetz 388.  
 — — — Photometer 274.  
 Wechsellängigkeit 424.  
 Weißempfindung 185.  
 WESSELYSches Adaptometer  
 285.  
 WESSELYScher Keratometer  
 772.  
 Wettstreit der Farben 447.  
 — — — der Sehfelder 447.  
 — — — binokulares Sehen 444.  
 — — — komplementärer Anteil  
 beider Netzhäute 444.  
 — — — monokulares Sehen 444.  
 WÖLFFLINSche Tafeln 337.  
 Wurstförmige torische Fläche  
 791.
- Xerosebacillus 1002.
- Zapfen, Veränderungen, mor-  
 phologische, Einfluß des  
 Adaptations-  
 zustandes 82.  
 — — — — von Lichtern  
 verschiedener  
 Wellenlänge  
 82.
- Zapfen, Veränderungen, mor-  
 phologische, Ein-  
 fluß von Stärke  
 und Dauer der  
 Belichtung 81.  
 — — — — durch Lichteinfluß  
 80.  
 — — — — Wirkung nicht ad-  
 äquater Reize 82.  
 — — — — zeitliche Verhält-  
 nisshältnisse 81.  
 — — — — Vergleichendes, Kontrak-  
 tionsvorgänge 80.  
 Zapfenkontraktion, Angriffs-  
 punkt des Reizes 83.  
 Zapfenoptogramme und Netz-  
 hautstoffwechsel 113.  
 ZEISSIScher Vorhänger 820.  
 Zentrische Schrumpfung des  
 Sehfeldes 394.  
 Zielbrillen 815.  
 ZUR NEDDENS Bacillus 1009.  
 Zweibildstereoskopie 432, 447.  
 Zweikantenversuch 440.  
 Zweistärkenbrille 816.  
 — — — — Art des Aneinandergren-  
 zens der beiden Gläser  
 817.  
 — — — — Ausgleich des Astigmati-  
 smus schiefer Bündel 816.  
 — — — — praktische Ausführung  
 818.  
 — — — — Schnittkreis 818.  
 — — — — Zusatzlinse 819.  
 Zyklopenauge 420, 421.  
 Zylinderachse 789.  
 Zylinderlinse 789.