

**DIE LEHRE**  
VOM  
**RAUMSINN DES AUGES**

VON

**FRANZ BRUNO HOFMANN**  
PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT MARBURG

**ERSTER TEIL**

MIT 78 TEXTFIGUREN UND EINER TAFEL



**BERLIN**  
**VERLAG VON JULIUS SPRINGER**  
1920

ISBN-13:978-3-642-89869-3 e-ISBN-13:978-3-642-91726-4  
DOI: 10.1007/978-3-642-91726-4

ALLE RECHTE, INSBESONDERE DAS DER ÜBERSETZUNG,  
VORBEHALTEN

COPYRIGHT 1919 BY JULIUS SPRINGER IN BERLIN

SONDERABDRUCK AUS DEM HANDBUCH DER AUGENHEILKUNDE  
I. TEIL, XIII. KAPITEL

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung . . . . .	4
Die relative Lokalisation im ebenen Sehfeld . . . . .	8
1. Die Irradiation . . . . .	8
2. Das Auflösungsvermögen des Auges . . . . .	19
a) Allgemeines und Methodik . . . . .	19
b) Die Wahrnehmung einzelner Punkte und Linien . . . . .	23
c) Sonderung mehrerer Punkte, Linien und Flächen voneinander . . . . .	28
d) Sehschärfe und Formensehen . . . . .	34
e) Die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtung . . . . .	38
f) Das Auflösungsvermögen der Netzhautperipherie . . . . .	48
g) Die Sehschärfe des Schielauges . . . . .	53
3. Die Feinheit des optischen Raumsinns nach Höhe und Breite . . . . .	55
4. Die Beziehungen der Raumschwelle und des Auflösungsvermögens zu den Elementen des Perzeptionsapparates . . . . .	58
5. Vergleich von Richtungen und Winkeln . . . . .	71
6. Das Augenmaß . . . . .	81
7. Das Formensehen . . . . .	92
8. Die Gestaltwahrnehmungen	
a) Allgemeines und Metamorphopsien . . . . .	104
b) Die geometrisch-optischen Täuschungen . . . . .	112
$\alpha$ ) Übersicht der wichtigsten Täuschungen . . . . .	113
$\beta$ ) Erklärungsversuche . . . . .	123
A) Annahme peripheren Ursprungs der geometrisch-optischen Täuschungen . . . . .	124
B) Annahme zentraler Ursachen der geometrisch-optischen Täuschungen . . . . .	130
9. Einfluß der Erfahrung auf die Lokalisation im ebenen Sehfeld . . . . .	142
10. Die Verteilung der Raumwerte auf der Einzelnetzhaut . . . . .	164
11. Die Ausfüllung des blinden Flecks . . . . .	190
Literatur . . . . .	198

---

## I. Einleitung.

Alltäglich können wir uns davon überzeugen, daß wir die Gegenstände unserer Umgebung durchaus nicht immer in der Form und in der räumlichen Anordnung sehen, die ihnen nach der Gesamtheit unserer Erfahrungen »wirklich« zukommt. Besonders auffallende Unterschiede ergeben sich daraus, daß uns alle Dinge, wenn wir sie aus sehr großer Entfernung sehen, viel kleiner erscheinen, als in der Nahе. An Objekten, die sich weit nach der Tiefe zu erstrecken, stimmen infolgedessen auch die sichtbaren Größenverhältnisse der einzelnen Teile nicht mit den wirklichen überein. So ragen ferne Bergriesen über die nahen Vorberge scheinbar nur ganz wenig hinaus, obwohl sie sie in Wirklichkeit an Hohе weit übertreffen. Daher sehen wir die Formen eines nahen Gebirgszuges vom Tale aus ganz falsch. Die Schienenstränge einer langen geraden Eisenbahnstrecke, auf der wir stehen, scheinen gegen die Ferne zu zusammenzulaufen usf. Wir müssen demnach einen Unterschied machen zwischen den wirklichen Objekten und den Gesichtswahrnehmungen, die durch sie hervorgerufen werden, und die wir nach HERING die »Sehdinge«<sup>1)</sup> nennen. Die Gesamtheit aller gleichzeitig wahrgenommenen Sehdinge bildet den subjektiven Sehraum oder das Sehfeld. Ihm entspricht im objektiven Raum das Gesichtsfeld, d. i. jener Teil des wirklichen Raums, der uns bei einer gegebenen Augenstellung gleichzeitig sichtbar ist.

Der Unterschied zwischen den räumlichen Eigenschaften des äußeren Objekts und des ihm entsprechenden Sehdings, zwischen dem objektiven Gesichtsraum und dem subjektiven Sehraum, reicht aber noch weiter, als es die oben angeführten Beispiele zeigen, die bloß die vielfachen Widersprüche zwischen beiden veranschaulichen. Wenn wir einen Maßstab an ein Objekt anlegen und seine Ausdehnung messen, so kennen wir zwar das objektive Maß des Gegenstandes, aber damit ist gar nichts darüber ausgemacht, wie groß wir nun den Maßstab und das mit ihm gemessene Objekt subjektiv sehen. Beide können uns je nach den Umständen ver-

---

1) Eine sehr eingehende Zergliederung dieses Begriffes findet man bei H. HOFMANN (20). Die damit zusammenhängenden erkenntnistheoretischen Fragen gehören nicht mehr zu unserem Thema.

schieden groß erscheinen. Man blicke mit einem Auge, während das andere geschlossen ist, gegen ein mehrere Meter entferntes Fenster und halte nun einen Finger so nahe vor das sehende Auge, daß man angestrengt auf ihn akkomodieren muß. Sobald man dies tut, schrumpft das Fenster zusammen und erscheint viel kleiner, als wenn man es ohne Akkomodationsanstrengung betrachtet. Gerade so verhält sich natürlich auch ein Maßstab, der gleichzeitig an das Fenster angelegt ist. Das objektive Maß des Fensters sagt uns also nichts darüber, wie groß uns sowohl der Maßstab, als das mit ihm gemessene Objekt — das Fenster — subjektiv erscheint, d. h. das räumliche Maß der Objekte gibt uns noch keineswegs zugleich ein Maß für die Größe der Sehdinge. Daher wissen wir auch nicht, ob andere Menschen die Gegenstände alle gleich groß sehen, wie wir, oder ob sie ihnen etwa alle stets größer oder kleiner erscheinen, als uns. Wäre das letztere der Fall, so würden wir es in keiner Weise merken. Was von anderen Menschen gilt, trifft natürlich auch für den Vergleich mit dem Sehen der Tiere zu. Man hat früher das leichte Scheuen der Pferde darauf zurückführen wollen, daß sie alle Gegenstände viel größer sähen, als der Mensch, aber diese Erklärung ist ganz unhaltbar (vgl. v. MADAY (22), S. 15 ff.).

Nachweisbar sind bei uns, wie an Anderen, nur Änderungen im subjektiven Maßstabe des Sehfeldes. An uns selbst können wir sie subjektiv durch Vergleich mit früheren Erfahrungen feststellen, wie in dem oben angeführten Versuch mit dem Fenster. Bei Anderen sind wir im allgemeinen ebenfalls auf solche Vergleiche und die Aussagen der Personen darüber angewiesen. Manchmal äußert sich die Änderung des subjektiven Größenmaßstabes aber auch objektiv, z. B. beim Schreiben. Nehmen wir an, eine Person sehe zeitweilig alle Gegenstände beträchtlich größer als vorher, so werden ihr auch die Buchstaben beim Schreiben, die mit dem früher gewöhnlich gebrauchten Ausmaß von Bewegungsgröße ausgeführt sind, jetzt viel zu groß erscheinen. Um sie wieder auf die gewohnte scheinbare Größe zu bringen, muß sie dieselben nunmehr kleiner machen, als vorher, mit der Makropsie ist eine Mikrographie verbunden. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß sich die Person beim Schreiben mehr vom Gesichtssinn leiten läßt, als von den Sinneseindrücken, die sie von der schreibenden Hand empfängt. In dieser Beziehung sind besonders belehrend die von A. PICK (23), FISCHER (18, 19), LIEBSCHER (21) und SITTIG (24; hier weitere Literatur) mitgeteilten Fälle von Makropsie mit Mikrographie bei Hysterischen. Es läßt sich voraussehen, daß dieselben Erscheinungen, wie beim Schreiben, auch beim Zeichnen in natürlicher Größe und bei plastischen Nachbildungen, überhaupt bei allen »Herstellungsarbeiten« auftreten würde, freilich nur dann, wenn der Gesichtssinn bei der Ausführung leitend ist, und wenn sie sich auf die Wiedergabe von Gegenständen aus dem Gedächtnis beschränken.

Bei der Nachbildung von Gegenständen der sichtbaren Umgebung stimmt ja der subjektive Maßstab für die Vorlage und die Nachbildung miteinander überein. Diese würden also richtig wiedergegeben werden, trotzdem sie der Person im angeführten Falle von Makropsie zu groß erscheinen. Solche Untersuchungen, die meines Wissens noch nicht angestellt worden sind, würden die hier besprochenen Zusammenhänge zwischen scheinbarer und »wirklicher« Größe sehr gut veranschaulichen. Sie würden namentlich anschaulich die Beschränkung aufzeigen, die uns in bezug auf das Erkennen der Raumgrößen auferlegt ist. Nehmen wir an, ein anderer hätte von jeher alles viel größer gesehen, als wir, so würden ihm auch seine Bewegungen entsprechend größer erscheinen, er würde sich gewöhnt haben, mit einem kleineren Ausmaß von Bewegung die Vorstellung einer viel größeren Strecke zu verknüpfen<sup>1)</sup>. Wir würden also die abweichende Größenschätzung aus seinen Bewegungen nicht erkennen, und auch sonst könnte er es uns in keiner Weise mitteilen, daß ihm alles viel größer erscheint, als uns. Die Größe der Sehdinge ist also eine subjektive Reaktion unseres Sehorgans auf den äußeren Reiz, die individuell variieren kann und objektiv nicht meßbar ist.

Nach dem Gesagten ist ein Vergleich der absoluten Größe der Sehdinge mit einer gedachten »wirklichen« Größe der Objekte unmöglich; wir können nur die Größenverhältnisse der Sehdinge und ihre gegenseitige Lage vergleichen mit den Größenverhältnissen und der gegenseitigen Lage der ihnen entsprechenden äußeren Objekte. Wir bezeichnen die scheinbare gegenseitige Lagerung der Sehdinge, in der auch die scheinbare Form und die Größenverhältnisse derselben mit inbegriffen sind, als die **relative optische Lokalisation**.

Unter den Sehdingen zeichnen sich die sichtbaren Teile unseres eigenen Körpers dadurch aus, daß sich in ihnen die räumlichen Daten, die wir vom Gesichtssinn erhalten, mit denen der Hautsinne, der Sensibilität der tiefen Teile und vom statischen Organ zum Vorstellungsbilde unseres Leibes verbinden. Dieser unterscheidet sich ferner von allen übrigen Sehdingen dadurch, daß seine Lage und Bewegung ganz unmittelbar an unsere willkürlichen Innervationen geknüpft sind. Dadurch hebt er sich als das »Ich« von der fremden Umgebung ab.

Das leibliche Ich nimmt als Objekt einen bestimmten Platz im wirklichen Raum ein. Wir können es zum Anfang eines rechtwinkeligen räum-

---

1) Solange sich diese gegenseitige Anpassung noch nicht hergestellt hat, können allerdings die optische und die taktile Größenschätzung voneinander differieren. Beachtenswert ist in dieser Beziehung besonders die Angabe mehrerer operierter Blindgeborener, daß ihnen die sichtbaren Gegenstände im Anfang auffällig groß erschienen.

lichen Koordinatensystems machen, wobei wir zunächst den einfachsten Fall zugrunde legen, daß sich Rumpf und Kopf in aufrechter Lage befinden und der Kopf geradeaus nach vorn — in der sogenannten Primärstellung — steht. Als erste Ebene des rechtwinkligen Koordinatensystems nehmen wir dann die gemeinsame sagittale Medianebene des Kopfes und Rumpfes, die in diesem Falle vertikal steht und die im wirklichen Raume nach rechts und links gelegenen Objekte voneinander scheidet. Als zweite Koordinatenebene nehmen wir die durch die Drehpunkte der beiden Augen gelegte Horizontalebene. Wir nennen sie die horizontale Hauptebene oder den Augenhorizont. Sie trennt die im objektiven Raum nach oben und nach unten von unseren Augen befindlichen Gegenstände. Die dritte Koordinatenebene ist die durch die Drehpunkte der beiden Augen gelegte Vertikal Ebene, die frontale Hauptebene. Sie trennt im objektiven Raum die vor und hinter uns liegenden Gegenstände voneinander. Da sich das binokulare Gesichtsfeld beim Blick geradeaus nach außen hin gewöhnlich nur wenig über  $90^\circ$  erstreckt, verläuft die frontale Hauptebene dicht an der hinteren Grenze desselben und die allermeisten sichtbaren Gegenstände liegen nach vorn von ihr. Rechts und links von der Medianebene liegen die ihr parallel verlaufenden seitlichen Sagittalebene, nach oben und unten vom Augenhorizont die ihm parallelen Horizontalebene, nach vorn von der frontalen Hauptebene die frontalparallelen Ebenen.

Von diesen Ebenen im wirklichen Raum unterscheiden wir nun die subjektiven Sagittal-, Horizontal- und frontalparallelen Ebenen im Sehraum. Die subjektive Medianebene, der subjektive Augenhorizont und die Frontalebene, in der uns unser Kopf zu liegen scheint, liefern uns ein Bezugssystem, das im Sehfeld ebenso zur Orientierung dient, wie das entsprechende objektive Koordinatensystem im wirklichen Raum. Wir bezeichnen die Lokalisation der Medianebene, des Augenhorizontes und der Frontalebene unseres Kopfes, sowie die Lagebestimmung der Sehdinge in bezug auf diese Ebenen als die absolute Lokalisation<sup>1)</sup>. Wie zwei Sehdinge gegeneinander gelagert sind, ist also nach dieser Definition eine Frage der relativen optischen Lokalisation. Ob aber ein Gegenstand gerade vor uns in der Medianebene, oder nach rechts oder links von ihr — in Augenhöhe oder darunter oder darüber zu liegen scheint, ob er nahe vor uns oder weit weg erscheint, das alles fällt unter die absolute Lokalisation.

---

1) Der Ausdruck absolute Lokalisation bezieht sich hier ausschließlich auf die Orientierung im subjektiven Sehraum und hat nichts zu tun mit der Frage nach der Existenz eines wirklichen »absoluten Raumes«. Auch ist bei den obigen Auseinandersetzungen immer ruhige aufrechte Körperhaltung und Primärstellung des Kopfes vorausgesetzt. Wie sich die optische Lokalisation bei anderen Lagen des Kopfes und bei Bewegungen verhält, wird später zu besprechen sein.

Absolute und relative Lokalisation hängen eng miteinander zusammen. Das zeigt sich, wie wir später sehen werden, besonders in der Lokalisation nach der Tiefe. Der gleiche innige Zusammenhang besteht aber auch zwischen der absoluten und relativen Lokalisation nach Höhe und Breite, ja in gewissen Fällen lassen sich absolute und relative Lokalisation nach Höhe und Breite sogar schwer voneinander trennen. Wenn wir untersuchen, unter welchem Winkel sich zwei Striche schneiden müssen, um als rechtwinkeliges Kreuz zu erscheinen, so ist das eine Frage der relativen Lokalisation, denn es handelt sich dabei bloß um das gegenseitige Lageverhältnis der Sehdinge untereinander. Wenn wir aber fragen, wie ein Strich liegen muß, um uns vertikal, und wie ein anderer verlaufen muß, um uns horizontal zu erscheinen, so bewegen wir uns im Gebiete der absoluten Lokalisation. Wenn nun aber die Striche, die uns horizontal und vertikal erscheinen, in Wirklichkeit keinen rechten Winkel miteinander bilden, so ist dies gleichzeitig auch eine Angelegenheit der relativen Lokalisation.

Vergleichen wir die absolute Lokalisation im Sehraum mit der Lagerung der Objekte im wirklichen Raum, so können wir, soweit es sich um den Abstand der Nebenebenen des Bezugssystems von den Hauptebenen desselben handelt, auch hier nur Größenverhältnisse feststellen. Das Bezugssystem selbst aber ermöglicht darüber hinaus zu vergleichen, ob die wirkliche Lage der Hauptebenen durch den Gesichtssinn richtig wiedergegeben wird, oder nicht. Wir können demnach bestimmen, ob wir die in der wirklichen Medianebene liegenden Gegenstände auch gerade vor uns sehen. Wenn dies nicht der Fall ist, so können wir die Ebene im objektiven Raum feststellen, die uns subjektiv median zu liegen scheint. Wir nennen sie die scheinbare Medianebene. Ihre Abweichung von der wirklichen Medianebene können wir objektiv messen, und wir erhalten dadurch ein wirkliches Maß für die Abweichung der scheinbaren von der wirklichen Medianebene im objektiven Raum. Das Gleiche gilt vom scheinbaren und wirklichen Augenhorizont.

Wir werden uns im Folgenden zunächst mit der relativen Lokalisation nach Höhe und Breite beschäftigen, während wir die Lokalisation nach der Tiefe erst später erörtern wollen. Bei den Untersuchungen der Höhen- und Breitenlokalisation müssen wir aber wegen des Einflusses, den die Tiefenlokalisation auf die scheinbare Größe der Objekte ausübt, den scheinbaren Tiefenabstand der Gegenstände vom Beobachter mit berücksichtigen. Wir untersuchen daher die Lokalisation nach Höhe und Breite zunächst in dem einfachen Falle, daß die Gegenstände, die wir zur Untersuchung benutzen, in einem ebenen, frontalparallelen Sehfelde zu liegen scheinen. Das wird beim binokularen Sehen dann erreicht, wenn sich die sichtbaren Gegenstände im Längshoropter befinden. Dieser bildet aber nur bei einer



gewissen mittleren Entfernung eine ebene Fläche, diesseits und jenseits dieses Mittelwertes sieht eine wirklich ebene Fläche gekrümmt aus. Soweit dies einen Fehler verursacht, kann man ihm dadurch entgehen, daß man bloß mit einem Auge beobachtet. Beim einäugigen Sehen treten die empirischen Motive der Tiefenlokalisierung in den Vordergrund. In diesem Falle können wir daher die optische Lokalisation in gleichen Tiefenabstand dadurch sichern, daß wir die dem einen Auge allein sichtbaren Objekte auf einer frontalparallelen ebenen Fläche anbringen. Nur muß dann auch der Hintergrund, von dem sie sich abheben, als frontalparallele Ebene gesehen werden, die Fläche darf also nicht etwa infolge einseitig abschatierter Beleuchtung schräg zu liegen scheinen.

Die Möglichkeit, die Sehdinge an verschiedene Orte des Sehraums zu lokalisieren, ist dadurch gegeben, daß das von den äußeren Objekten ausgehende Licht als Reiz auf differente Stellen eines räumlich ausgedehnten Sinnesapparates einwirkt, zunächst auf das flächenhaft ausgebreitete Sinnesepithel der Netzhaut, dessen Erregungen durch die angeschlossene nervöse Leitung den zugehörigen Hirnteilen zugeführt werden. Den einzelnen Orten des subjektiven Sehfeldes korrespondieren also räumlich gesonderte Stellen des optischen Sinnesapparates — nicht bloß der Netzhaut —, deren Gesamtheit wir mit HERING als das somatische Sehfeld bezeichnen. Wenn wir daher den Beziehungen zwischen den räumlichen Verhältnissen im wirklichen oder objektiven Gesichtsfeld und der subjektiven Lokalisation im Sehfeld nachgehen wollen, so werden wir zunächst immer das Verhältnis der Lage der äußeren Objekte zu den Teilen des somatischen Sehfeldes zu berücksichtigen haben. Auch hier besprechen wir wiederum zuerst die einfachsten Verhältnisse, die beim Sehen mit einem Auge in bezug auf die Lokalisation nach Höhe und Breite im ebenen Sehfeld obwalten.

Dabei sind im allgemeinen bezüglich des Zusammenhanges zwischen dem Lichtreiz, den Vorgängen im somatischen Sehfeld und den damit einhergehenden Bewußtseinsvorgängen, dem Sehen von Gegenständen, folgende Sätze der Nervenphysiologie zu beachten. Man hat zunächst streng zu unterscheiden den äußeren Reiz und den durch ihn im Nerven ausgelösten Vorgang der Nervenenerregung. Es ist nicht zulässig zu sagen, der Reiz pflanze sich im Nerven fort, vielmehr ist der Vorgang, der im Nerven fortgeleitet wird, wie wir heute mit gutem Grunde annehmen, ein Stoffwechselprozeß, der mit dem äußeren Reiz nichts Gemeinsames hat. Auch wird dabei nicht die Energie des Reizes nach konstanten Äquivalenten in die des Erregungsvorganges umgesetzt. Es erscheint also im Sehorgan nicht etwa die Energie des Lichtstromes oder eines Teiles desselben nach der Reizung in Form einer hypothetischen »Nervenenergie« wieder, vielmehr löst der äußere Reiz den Prozeß der Nervenenerregung bloß aus. Übrigens

gehen im Sehorgan Erregungsvorgänge nicht nur auf äußere Reize hin vor sich, sondern sie treten auch bei Abwesenheit derselben im völlig dunklen Raum von selbst auf. Wir fassen sowohl die durch äußere Reize ausgelösten, als auch die spontan auftretenden Erregungsvorgänge im Sehorgan unter dem von HERING (in diesem Handbuch) eingeführten Namen der Regungen des Sehorgans zusammen.

Mit dem Ablauf gewisser Erregungsprozesse in unserem Zentralnervensystem sind nun für uns Bewußtseinsvorgänge verbunden, und zwar ist es nach dem von FECHNER aufgestellten Prinzip des psychophysischen Parallelismus ein und derselbe Prozeß, der sich objektiv dem fremden Beobachter als ein physischer darstellt, subjektiv aber der Person, in deren Zentralnervensystem er sich abspielt, als psychischer Vorgang bewußt wird. Diese Prozesse haben also gewissermaßen ein doppeltes Gesicht, je nach dem Standpunkt, von dem aus man sie betrachtet, so wie etwa nach dem von FECHNER (47, S. 3) zur Erläuterung des Zusammenhanges angezogenen Beispiele ein und derselbe Kreisbogen gegen den Beschauer hin entweder konkav oder konvex gekrümmt erscheint, je nachdem er ihn vom Zentrum des Kreises aus oder von außen her betrachtet. Wir bezeichnen die Vorgänge im Zentralnervensystem, welche dergestalt das physische Korrelat unserer Bewußtseinsvorgänge darstellen, als psychophysische Prozesse und nennen die Substanz, in der sich die abspielen, die psychophysische Substanz. Wie weit sich die psychophysische Substanz im Zentralnervensystem erstreckt, darüber können wir heute noch nichts ganz bestimmtes aussagen. Nach den anatomischen Stationen wären im Sehorgan zu unterscheiden Vorgänge in der Netzhaut, in den subkortikalen Zentren, in der Sehsphäre und in ihr übergeordneten Zentren der Hirnrinde. Insoweit die Gesichtseindrücke mit denen anderer Sinnesorgane zusammenwirken, wird man zunächst der Ansicht zuneigen, daß die psychophysische Substanz in den übergeordneten »Assoziationszentren« der Großhirnrinde lokalisiert ist. Inwieweit sie sich auch noch auf untergeordnete Zentren erstreckt, ist freilich nicht sicher zu sagen, denn, wie HERING (dieses Handb., Teil I, Kap. XII, S. 22) bemerkt, schließt der Fortbestand von Gesichtsempfindungen nach dem Verlust beider Netzhäute noch nicht völlig aus, daß unter normalen Umständen nicht vielleicht schon Vorgänge in der Netzhaut selbst psychophysisch mitfungieren. Wir werden auf die hiermit zusammenhängenden Fragen unten noch eingehender zu sprechen kommen.

In der Kette der Vorgänge beim Sehen stehen also an dem einen Ende die äußeren Reize, der Lichtstrom, der von den äußeren Objekten unter Vermittlung des dioptrischen Apparates des Auges auf die Netzhaut geleitet wird, auf der anderen Seite die dadurch in unserem Bewußtsein hervorgerufenen lokalisierten Gesichtsempfindungen. Der äußere Reiz und die lokalisierte Empfindung sind uns gegeben. Die dazwischen liegenden

Erregungsvorgänge können wir aber nur erschließen. Dabei hat sich das Prinzip des psychophysischen Parallelismus als ein Hilfsmittel von großem Nutzen erwiesen.

## II. Die relative Lokalisation im ebenen Sehfeld.

### 1. Die Irradiation.

Die Regungen des Sehorgans werden, soweit sie durch den Lichtreiz ausgelöst sind, hervorgerufen durch die vom dioptrischen Apparat des Auges auf der Netzhaut entworfenen Bilder der Objekte. Der Konstruktion und Berechnung der Netzhautbilder legen wir das Schema des reduzierten Auges mit den allgemein gebräuchlichen Zahlen nach DONDERS (vgl. C. HESS, dieses Handb. Teil II, Kap. XII, S. 94) zugrunde, müssen aber dabei stets dessen eingedenk sein, daß dieses Schema in Wirklichkeit nicht genau zutrifft. Das gilt zunächst für die Zahlenwerte, die wir dort, wo es nötig ist, durch die genaueren von GULLSTRAND ersetzen werden, insbesondere aber betrifft es die Abbildungsfehler im Auge. Infolge der mannigfachen Fehler des dioptrischen Apparates des Auges vereinigen sich nämlich auch im wohl akkommodierten emmetropen Auge die von einer leuchtenden Fläche minimalster Ausdehnung, einem sogenannten »leuchtenden Punkt«, des Außenraums ausgehenden Lichtstrahlen auf der Netzhaut nicht wieder in einem Punkt, sondern sie belichten ein etwas größeres Gebiet der Netzhaut. Wegen dieser Lichtausbreitung im gut eingestellten emmetropen Auge, wie ich sie im Gegensatz zu der Lichtzerstreuung im nicht akkommodierten Auge nennen will, werden daher auch im normalen Auge die Ränder einer leuchtenden Fläche auf der Netzhaut nicht ganz scharf, sondern verwaschen abgebildet.

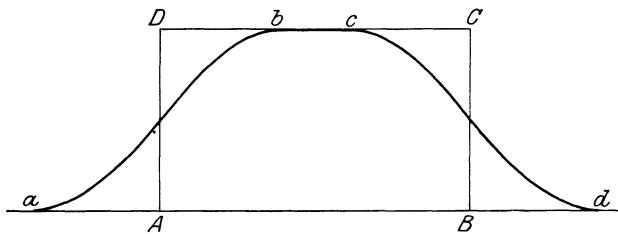
Einen experimentellen Beweis dafür findet man bei HERING (dieses Handb., S. 151 ff). Einem anderen werden wir in der folgenden Darstellung begegnen (vgl. unten S. 41). Die Größe und die Verteilung der Lichtintensität in den durch ungenaue Akkommodation und durch die chromatische Aberration bewirkten Zerstreuungskreisen hat HELMHOLTZ (I, S. 134 ff.<sup>4)</sup> berechnet. Im gut akkommodierten Auge kommt aber außer der chromatischen Aberration noch der reguläre und der sogenannte »irreguläre« Astigmatismus, ferner die Beugung des Lichtes am Pupillarrande in Betracht. Das Beugungsscheibchen eines leuchtenden Punktes ist um so größer, je enger die Pupille ist. Man kann also auch nicht etwa durch Vorsetzen einer sehr engen Öffnung vor das Auge eine stigmatische Vereinigung der von einem leuchtenden Punkt ausgehenden Strahlen bewirken (vgl. dazu HESS, dieses Handb., I. c., S. 133 ff.).

---

4) Die römische Ziffer nach dem Namen von HELMHOLTZ weist immer auf die betreffende Auflage seines Handbuchs der physiologischen Optik hin.

Denken wir uns die Netzhaut flach ausgebreitet und über jedem Punkt derselben die Belichtungsintensität als Ordinate nach oben aufgetragen, so ergibt die Verbindung der Endpunkte aller dieser Ordinaten eine Fläche, die Lichtfläche nach MACH (28), deren Erhebung über die Netzhaut die Lichtverteilung innerhalb der belichteten Netzhautpartie darstellt. In Fig. 4 sei  $aABd$  ein Schnitt durch die flach ausgebreitete Netzhaut. Sie werde bestrahlt durch eine kleine Fläche von gleichmäßiger Lichtstärke, deren Bild bei ganz scharfer Abbildung auf der Netzhautstrecke  $AB$  liegen würde. Bei vollkommen scharfer Abbildung wäre demnach  $ADCB$  der Durchschnitt der Lichtfläche des schematischen Netzhautbildes, wie ich das theoretisch konstruierte scharfe Bild im Folgenden nennen will. Wegen der dioptrischen Fehler des Auges wird das Licht, das sich auf die Fläche des schematischen Netzhautbildes konzentrieren sollte, auf eine

Fig. 4.



Fläche von etwas größerer Ausdehnung ausgebreitet. Dies ist in der Figur rein schematisch durch die Kurve  $abcd$  versinnlicht, die also den Durchschnitt durch die wirklich vorhandene Lichtfläche andeuten soll. An Stelle der scharf absetzenden Konturen des schematischen Netzhautbildes bei  $AD$  und  $BC$  liegt demnach in Wirklichkeit zwischen  $ab$  und  $cd$  eine allmähliche Abnahme der Lichtintensität vor. HERING (26) bezeichnete das Gebiet, das im Netzhautbilde auch bei bester Akkommodationseinstellung die scharfe Kontur ersetzt, als das Aberrationsgebiet. Senden sowohl die helle Fläche, als auch der dunklere Grund, auf dem sie liegt, Licht ins Auge, so ändern sich die Verhältnisse gegenüber der Fig. 4 in der Weise, daß sich der Querschnitt der Lichtfläche nicht von der Nulllinie, sondern von einem etwas höheren Niveau erhebt. Der Abfall der Lichtfläche zum Lichtniveau des Grundes erfolgt aber auch hier nicht mit einem plötzlichen Sprung, sondern in allmählicher Abdachung.

Würde nun die Lichtverteilung des Netzhautbildes in der Empfindung genau wiedergegeben, so könnten wir demnach von keinem Gegenstand scharfe Konturen, sondern nur verwaschene Grenzen sehen. Dem wirkt, wie HELM-

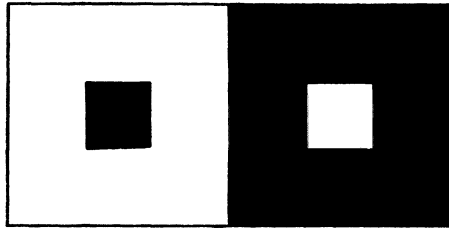
HOLTZ (I, S. 322 ff.) bemerkte, zunächst entgegen, daß wir einen Teil des Lichtunterschiedes, soweit er unter der Unterschiedsschwelle liegt, nicht wahrnehmen. Infolgedessen wird die Lichtabnahme neben  $b$  und  $c$  und die Lichtzunahme neben  $a$  und  $d$  eine Strecke weit der Wahrnehmung entgehen, und wir brauchen bloß den mittleren Teil der Aberrationskurve zu berücksichtigen. Hier greift nun weiter, wie insbesondere HERING (26; vgl. ferner dieses Handb., I. c. S. 154) auseinandergesetzt hat, der Grenzkontrast ausgleichend ein. Dieser ruft dort, wo zwei Flächen verschiedener Lichtstärke im Netzhautbild aneinanderstoßen, eine gegen die Grenze hin zunehmende subjektive Helligkeitserhöhung der lichtstärkeren und eine Herabsetzung der Helligkeit der lichtschwächeren Fläche hervor. Nimmt daher, wie im Aberrationsgebiet, die objektive Lichtstärke des helleren Netzhautbildchens gegen die Grenze zu allmählich ab, die des dunkleren gegen die Grenze hin zu, so wirkt der Grenzkontrast der objektiven Lichtabnahme am Rande des helleren Bildes und der Zunahme der Belichtung am Rande des dunkleren Bildchens gerade entgegen und gibt dadurch Anlaß, daß unter günstigen Umständen trotz der unscharfen Abbildung dennoch eine scharf absetzende Grenze gesehen wird. Tragen wir daher über der Netzhaut als Abszisse den subjektiven Helligkeiten proportionale Strecken als Ordinaten nach oben auf, so bildet die Verbindung ihrer Enden in diesem Falle eine scharf gegen die Umgebung absetzende Fläche, die von MACH (28) als Empfindungsfläche bezeichnet wird. In welchen Teil des Aberrationsgebietes die Grenze der Empfindungsfläche hineinfällt, das ist allerdings je nach den besonderen Verhältnissen des Einzelfalles verschieden. Im allgemeinen kann man zwei Grenzfälle unterscheiden:

1. Die Ausdehnung der Empfindungsfläche ist größer als das schematische Netzhautbild, die Grenze der Empfindungsfläche liegt also in Fig. 4 zwischen  $aA$  und  $Bd$ . In diesem Falle erscheint eine leuchtende Fläche auf lichtlosem Grund oder eine lichtstärkere Fläche auf lichtschwächerem Grund größer, als eine in Wirklichkeit gleich große lichtlose oder lichtschwächere Fläche auf einem Grund von höherer Lichtstärke. Dies ist der bei starken Helligkeitsunterschieden und an ausgedehnten Flächen gewöhnlich auftretende Fall, der gemeinhin unter dem Namen der Irradiation verstanden wird, und der von VOLKMANN als positive Irradiation bezeichnet wurde. Daß diese überwiegend zur Beobachtung gelangt, liegt daran, daß zufolge des WEBERSchen Gesetzes die Abnahme der Lichtstärke neben den am hellsten belichteten Mittelpartien der Lichtfläche, also neben  $b$  und  $c$  in Fig. 4, weniger leicht wahrgenommen wird, als die Zunahme der Lichtstärke neben dem lichtschwächeren oder lichtlosen Grund, d. h. neben  $a$  und  $d$  in Fig. 4. Daher liegt die Grenze der Empfindungsfläche, wenn es nicht besondere Umstände verhindern, im Aberrationsgebiet unsymmetrisch, mehr gegen die schwächer belichtete Umgebung hin verschoben.

2. Die Empfindungsfläche ist kleiner als das schematische Netzhautbild der lichtstärkeren Fläche, ihre Grenzen fallen also in der Fig. 4 zwischen  $Db$  und  $cC$  hinein. In diesem Falle erscheint eine lichtschwächere Fläche größer, als eine gleich große lichtstärkere. Das ist die von VOLKMANN entdeckte negative Irradiation, die allerdings nur unter ganz besonderen Umständen beobachtet wird.

Fälle von positiver Irradiation sind in großer Zahl bekannt. So sieht ein weißes Quadrat auf schwarzem Grund bei guter Beleuchtung größer aus, als ein in Wirklichkeit gleich großes schwarzes Quadrat auf weißem Grund — vgl. Fig. 2. Ein und dieselbe Person erscheint in schwarzem Kleid schmaler, als in weißem Gewande, Hände bzw. Füße in weißen Handschuhen bzw. Schuhen breiter als in schwarzen. Die weißen Felder eines Schachbrettmusters scheinen größer zu sein als die schwarzen, und gehen dementsprechend an den Ecken, wo sie sich berühren, scheinbar

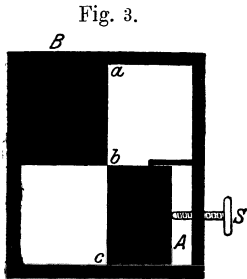
Fig. 2.



etwas ineinander über (vgl. Fig. 3 bei  $b$ ). Ein helles Licht macht in die gerade Kante eines Lineals, durch das es halb verdeckt ist, einen Einschnitt, der an den hellsten Stellen des Lichtes am tiefsten ist (siehe die Abbildung bei HELMHOLTZ I, S. 322), ebenso die untergehende Sonne in den Horizont. Besonders auffällig ist die Irradiation an sehr kleinen hell leuchtenden Objekten auf lichtlosem Grund. Schmale leuchtende Spalte im dunklen Raum sehen viel breiter aus, als sie wirklich sind. Helle leuchtende Punkte, wie die Sterne, erscheinen als kleine Flächen, deren Ränder aber nicht kreisrund, sondern unregelmäßig strahlig sind, weil die Lichtausbreitung im Auge wegen des »irregulären Astigmatismus« nach den verschiedenen Richtungen hin verschieden weit reicht, das Ausbreitungsgebiet des Lichtes eines leuchtenden Punktes im Auge demnach nicht eine Kreisfläche, sondern eine unregelmäßig strahlige Figur bildet (vgl. HESS, l. c. S. 420).

Zur wissenschaftlichen Untersuchung der Irradiationsgröße benützte PLATEAU (29) folgenden Apparat. Eine viereckige Metallplatte wurde derart ausgeschnitten, wie es Fig. 3 zeigt, daß außer einem quadratischen Rahmen

nur noch das Quadrat *B* stehen blieb. In den Rahmen wurde ferner eine weitere Metallplatte *A* eingefügt, die mittels der Schraube *S* meßbar nach rechts und links verschieblich war. Rahmen und Platte wurden matt geschwärzt und gegen den hellen Himmel betrachtet.



Nach PLATEAU (29).

Infolge der positiven Irradiation erscheinen die hellen Flächen gegen die schwarzen zu verbreitert, die beiden Grenzen *ab* und *bc* erscheinen daher, wenn sie wirklich in der geraden gegenseitigen Verlängerung liegen, seitlich gegeneinander verschoben, *ab* nach links, *bc* nach rechts zu. Die Größe der Irradiation konnte nun dadurch gemessen werden, daß man mittels der Schraube *S* die Platte *A* soweit nach links verschob, bis *ab* und *bc* scheinbar in einer Geraden lagen.

VOLKMANN (13) bediente sich zur Messung der Irradiation zweier feiner Drähte, die er einander genau meßbar soweit näherte, bis der Zwischenraum zwischen ihnen ihrer Dicke gleich zu sein schien. Statt der dünnen Drähte verwendeten VOLKMANN und AUBERT (4, S. 214 ff.), um die technische Herstellung des Apparates zu erleichtern, auch verhältnismäßig breite Streifen, die sie auf optischem Wege, mittels des unten S. 20 ff. beschriebenen Makroskops verkleinerten.

Das Ausmaß der Irradiation ist unter sonst gleichen Umständen zunächst abhängig von dem Ausmaß der Lichtausbreitung im Auge. Die Irradiationsgröße schwankt daher individuell sehr, und sie wird besonders erheblich, wenn infolge mangelhafter Akkommodation statt der verhältnismäßig schmalen Aberrationsgebiete größere Zerstreuungskreise auftreten. In diesem Falle genügt die Wechselwirkung der Stellen des somatischen Sehfeldes nicht mehr, um den unscharfen Randsaum an der Grenze der Netzhautbildchen zu beseitigen, die Konturen der Gegenstände erscheinen verwaschen, und es machen sich dann auch die Folgen des irregulären Astigmatismus in hohem Grade bemerkbar. HELMHOLTZ (I, 324 u. 326) wollte den Namen Irradiation auf das Sehen in Zerstreuungskreisen nicht ausgedehnt wissen. In der Tat liegen dabei wegen des Verwaschensehens der Konturen die Verhältnisse anders, als bei guter Akkommodation. Doch ist die Grenze zwischen den beiden Fällen nicht immer ganz scharf zu ziehen, und man ist oft genötigt, bei der Untersuchung der Irradiation auch das Sehen in Zerstreuungskreisen mit zu berücksichtigen.

Außer vom Ausmaß der Lichtausbreitung im Auge ist die Irradiationsgröße ferner abhängig vom Unterschiede der Lichtstärke der aneinander grenzenden Flächen. Untersuchungen darüber hat PLATEAU mit dem oben beschriebenen Apparate vorgenommen, der bei äußerst lichtschwachem Grund eine Änderung der Lichtstärke der irradiierenden Flächen gestattet. Sie

ergaben, daß bei einer Erhöhung der Lichtstärke der letzteren von mittleren Beträgen aus die positive Irradiation anfangs rasch, später immer langsamer zunimmt.

Aus diesen und anderen Erscheinungen der Irradiation schien zunächst zu folgen, daß zum physikalischen Faktor der Lichtabirrigung im Auge noch ein physiologischer Faktor hinzukomme. PLATEAU vermutete, daß die Erregung in der Netzhaut von den direkt gereizten Stellen aus eine Strecke weit in die Umgebung fortgeleitet werde und wies als Analogie auf die Ausfüllung des blinden Flecks hin. Diese Annahme einer physiologischen Ausstrahlung der Erregung, analog den sogenannten »Mitempfindungen«, wurde aber von HELMHOLTZ (I, S. 326 ff.) als überflüssig und nicht genügend begründet zurückgewiesen. Für die Zunahme der Irradiationsgröße bei steigenden Unterschieden der Lichtstärke bietet sich nämlich eine ausreichende Erklärung, wenn man annimmt, daß sich die Empfindungsfläche bei zunehmender Lichtstärke auf immer weitere Teile der Lichtfläche ausbreitet, mit anderen Worten, daß infolge des steileren Anstieges der Belichtung am Rande der Lichtfläche der Reiz auf immer weiteren Bezirken derselben über die Schwelle tritt. Bei sehr hohen Lichtstärken werden sich aber die Grenzen der Empfindungsfläche denen der Lichtfläche immer mehr nähern und das weitere Anwachsen der Empfindungsfläche wird daher immer geringer werden.

Weitere Untersuchungen, in denen sowohl die Lichtstärke der irradiierenden Flächen, als auch die des Grundes verändert wurde, stellte VOLKMANN an. Er verglich einerseits eine weiße Kreisfläche auf schwarzem Grund mit einer schwarzen objektiv gleich großen Kreisfläche auf weißem Grund, andererseits ebenso große graue Scheibchen auf weißem und schwarzem Grund bei etwas unscharfer Akkommodation, also verwaschenen Konturen, miteinander, und änderte in weitem Umfang die Belichtung der Figuren. Bei sehr heller Belichtung erschien die weiße Kreisfläche auf schwarzem Grund am größten, darauf folgte die graue Fläche auf schwarzem Grund. Noch kleiner sah die graue Fläche auf weißem Grund aus und am kleinsten erschien die schwarze Fläche auf weißem Grund. Bei Herabsetzung der Beleuchtung nahmen die Größenunterschiede der vier Kreisflächen zunächst ab, und bei sehr stark vermindertem Licht erschien schließlich das graue Scheibchen auf weißem Grund sogar größer als das graue Scheibchen auf schwarzem Grund. Diese Umkehrung des gewöhnlich vorkommenden Verhaltens hat VOLKMANN, wie erwähnt, negative Irradiation genannt, wir wollen den soeben beschriebenen als den ersten Fall derselben bezeichnen.

Führt man den Versuch mit gleich großen, aber verschiedenen hellen grauen Kreisscheibchen aus, von denen man je eines von gleicher Helligkeit nebeneinander auf einen schwarzen und einen weißen Grund klebt, so ergibt sich folgendes: Bei heller Beleuchtung sehen die Scheibchen um so



größer aus, je mehr ihre Helligkeit über die des Grundes überwiegt. Es erscheinen also alle grauen Scheibchen auf dem schwarzen Grund größer, als die auf dem weißen Grund und von den verschiedenen hellen Grauscheiben erscheinen die helleren sowohl auf dem schwarzen, als auf dem weißen Grund größer, als die dunkleren. Setzt man die Beleuchtung stark herab oder hält man Rauchgläser vor das Auge, so verwischen sich die Unterschiede, bleiben aber andeutungsweise in der früheren Ordnung weiter bestehen. Erst wenn man die Belichtung so stark abschwächt und dabei auch den Abstand der Scheibchen vom Auge soweit vergrößert, daß man die Kontur derselben nicht mehr ganz scharf sieht und sie sich nur mehr undeutlich vom Grunde unterscheiden, ändert sich das Bild. Es erscheinen jetzt jene grauen Scheibchen, die auf dem schwarzen Grunde eben noch als matte, verwaschene Flecken zu erkennen sind, kleiner, als die gleich großen grauen Scheibchen, die sich noch deutlich vom weißen Grunde abheben. Setzt man die Beleuchtung dann noch etwas weiter herab oder hält man noch ein Rauchglas mehr vor das Auge, so werden die vorher undeutlichen grauen Scheibchen auf dem schwarzen Grund vollends unsichtbar. Dieser erste Fall von negativer Irradiation ist also nach meinen Erfahrungen bloß als Vorstadium vor dem völligen Unmerklichwerden der Scheibchen und nur dann zu beobachten, wenn die grauen Scheibchen sich vom dunklen Grunde nur wenig, vom hellen aber noch deutlich abheben. Daraus ergibt sich auch die Erklärung: Ist der Lichtunterschied zwischen dem Grauscheibchen und dem dunklen Grund sehr gering, so erhebt sich die Lichtfläche des grauen Scheibchens auf dunklem Grund nur äußerst flach, und es wird bloß im mittelsten Teile derselben ein Lichtunterschied gegenüber der Umgebung bemerkbar. Ist gleichzeitig der Lichtunterschied zwischen der grauen Scheibe und dem hellen Grund größer, so ruft die Grauscheibe in der Lichtfläche des hellen Grundes eine etwas tiefere Einsenkung hervor, und diese tritt infolgedessen in etwas größerer Ausdehnung über die Schwelle.

Sehr eingehend studiert wurde mehrfach die Frage, welchen Einfluß die Größe des Gesichtswinkels, unter dem die Objekte gesehen werden, auf den Betrag der Irradiation besitzt. Zunächst stellte PLATEAU mittels der oben beschriebenen Anordnung fest, daß bei relativ großem Gesichtswinkel die Irradiationsgröße gleich bleibt, auch wenn der Gesichtswinkel (Knotenpunktswinkel) bzw. die Größe des nach ihm berechneten Netzhautbildchens wechselt. Dann gaben VOLKMANN (13, S. 14 ff.) und AUBERT (4) an, daß die Irradiation bei sehr kleinen irradiierenden Flächen, speziell sehr schmalen Strichen, mit der Verkleinerung des Gesichtswinkels für die letzteren zunehme. VOLKMANN'S und AUBERT'S Untersuchungsmethode bestand, wie oben schon angegeben wurde, darin, daß sie den scheinbaren Zwischenraum zwischen zwei sehr schmalen Strichen der scheinbaren Dicke der Striche

gleich machten. Bezeichnet man die wirkliche Dicke der Striche mit  $B$  und den Zwischenraum zwischen ihnen mit  $D$ , so fand sich, daß man beim Versuch, die Dicke der Striche der Breite des Zwischenraumes gleichzumachen, wenn die Striche sehr schmal sind, immer  $D$  größer einstellt als  $B$ , wie dies in Fig. 4 a angedeutet ist. Gehen wir von den Ob-

Fig. 4 a.

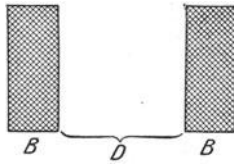
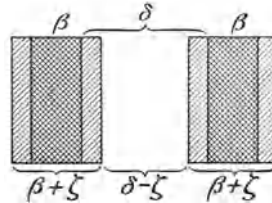


Fig. 4 b.



jekten zu den Abbildungsverhältnissen auf der Netzhaut über, und bezeichnen wir die Breite des schematischen Netzhautbildes von  $B$  mit  $\beta$ , wie in Fig. 4 b, die des schematischen Netzhautbildes von  $D$  mit  $\delta$ , so ist nach der Theorie die  $B$  entsprechende Ausdehnung der Empfindungsfläche um den Betrag der Irradiation  $\zeta$  breiter als  $\beta$ , die Empfindungsfläche von  $D$  um denselben Betrag von  $\zeta$  schmaler. Da nun  $\beta + \zeta = \delta - \zeta$  gemacht worden war, so ist  $\zeta = \frac{\delta - \beta}{2}$ .

Tabelle 4.

Weiße Linien auf Schwarz					Schwarze Linien auf Weiß			
$b$	$d'$	$d$	$\alpha$	$d' - \alpha$	$d'$	$d$	$\alpha$	$d' - \alpha$
45''	67''	146''	50''	17''	45''	112''	34''	9''
36	72	153	58	14	48	108	36	12
30	67	150	60	7	60	105	38	22
26	72	143	59	13	64	104	39	25
22,5	75	140	59	16	72	106	42	30
20	80	140	60	20	80	110	45	35
18	84	148	65	16	95	108	45	40
15	80	148	66	14				
13	88	146	66	22				
11,5	96	(165)	77	19				
10	100	153	72	28				

Ich führe in Tabelle 4 das Ergebnis einer derart ausgeführten Versuchsreihe von AUBERT (1, S. 215) an, in der unter  $b$  der Gesichtswinkel für die Strichbreite  $B$ , unter  $d$  der Gesichtswinkel für den Zwischenraum  $D$ ,

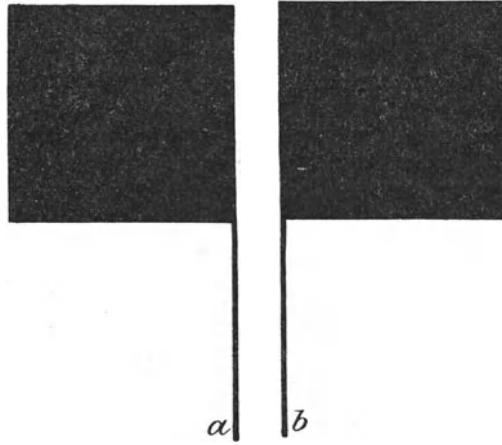
unter  $\alpha$  der Gesichtswinkel für die berechnete Irradiation angeführt sind. Außerdem sind unter  $d'$  noch der Gesichtswinkel angegeben, bei dem die beiden Striche eben voneinander gesondert werden konnten, worüber, wie über die Bedeutung der Kolumne  $d'-\alpha$  später gesprochen werden soll. Aus der Tabelle geht nun zunächst hervor, daß der auf dem oben angegebenen Wege errechnete Betrag der Irradiation mit der Verkleinerung des Gesichtswinkels für die Strichbreite merklich zunimmt. Ferner ersieht man aus der Tabelle, daß nicht bloß die weißen Linien auf dunklem Grund breiter erscheinen, als der in Wirklichkeit gleich breite Zwischenraum zwischen ihnen, so daß der letztere, um der Strichdicke gleich zu erscheinen, vergrößert werden muß, sondern es erscheinen auch zwei schwarze, sehr feine Linien auf weißem Grund verbreitert. Freilich ist die Irradiation der weißen Striche auf schwarzem Grund stärker, als die gleich breiter schwarzer Striche auf hellem Grund.

Während also größere schwarze Flächen auf hellem Grund bei guter Beleuchtung durch die Irradiation verkleinert werden, werden äußerst schmale schwarze Striche auf hellem Grund umgekehrt vergrößert: Zweiter Fall von negativer Irradiation. Die Grenze, bei der die positive Irradiation in die negative umschlägt, liegt nach VOLKMANN bei ungefähr  $3'$ , d. h. bei diesem Gesichtswinkel erscheinen schwarze Striche auf hellem Grunde auch subjektiv gleich breit, wie der in Wirklichkeit ebenso breite Zwischenraum zwischen ihnen. Man kann diese negative Irradiation ohne jede besondere Vorrichtung auch beobachten, wenn man auf rein weißes Papier zwei äußerst feine tiefschwarze Striche zieht, die sich unter einem Winkel von  $1-2^\circ$  kreuzen. Sucht man nun aus etwas größerer Sehweite die Stelle auf, an der die Dicke der schwarzen Striche ebenso groß erscheint, wie der helle Zwischenraum zwischen ihnen, so wird man nachher bei Lupenvergrößerung finden, daß der weiße Zwischenraum in Wirklichkeit breiter ist, als die schwarzen Striche (VOLKMANN).

Zur Erklärung dieses zweiten Falles von negativer Irradiation nahm AUBERT (4, S. 220) Bezug auf die graue Randzone, welche bei unscharfer Abbildung infolge ungenauer Akkommodation um einen schwarzen Streifen auf hellem Grunde herum auftritt. Dieser graue Randstreifen werde bei großen schwarzen Objekten zum Weiß des Grundes hinzugerechnet, von dem er sich in seiner subjektiven Helligkeit weniger unterscheidet, als vom Schwarz des Objektes. Sobald aber der schwarze Streifen so schmal gemacht wird, daß sich im Netzhautbilde das Licht der Umgebung auf der ganzen Lichtfläche desselben ausbreitet, so daß der Streifen im ganzen grau und nicht mehr tiefschwarz gesehen wird, unterscheidet sich das Grau der Randzone nicht mehr so stark von der Mitte des Bildes des schwarzen Strichs, es werde infolgedessen nicht mehr zum Grund, sondern zum Strich hinzugerechnet. Um seine Auffassung an einem Beispiele zu

erläutern, führt AUBERT folgenden Versuch an. Man betrachte Fig. 5 mit etwas ungenauer Akkommodation, so daß die Ränder der schwarzen Figur unscharf gesehen werden. Dann erscheinen die beiden schmalen Striche *a* und *b* — sofern nicht etwa eine Polyopia monocularis störend eingreift — als etwas verwaschene dunkle Streifen und der Zwischenraum zwischen ihnen sieht schmaler aus, als der in Wirklichkeit gleich breite weiße Zwischenraum zwischen den beiden großen schwarzen Quadraten. Die graue Randzone neben den Quadraten werde nämlich dem Weiß des Zwischenraums hinzugefügt, während sie an der Seite der schmalen Striche *a* und *b* mit den letzteren verschmelze.

Fig. 5.



Nun kann man gegen AUBERTS Erklärung freilich einwenden, daß man bei scharfer Akkommodation und guter Beleuchtung einen grauen Zerstreuungsrang gar nicht wahrnimmt, vielmehr erscheinen auch die irradiierenden schmalen Striche in den Versuchen von AUBERT und VOLKMANN mit ganz scharfen Konturen. Es fehlt daher an AUBERTS Erklärung offenbar noch ein sehr wesentlicher Punkt, und den hat HERING (26) durch den Hinweis auf den Simultankontrast hinzugefügt<sup>1)</sup>. Liegt ein kleines weißes Objekt auf einem ausgedehnten schwarzen Grund, so wird wegen der Wechselwirkung der Netzhautstellen die Weißempfindlichkeit innerhalb der Lichtfläche des Objekts höher sein, als wenn dieses nur von einem schmalen schwarzen Saum umgeben ist. Infolgedessen ist die Grenzlinie der Empfindungsfläche im ersteren Falle weiter gegen die dunkle Umgebung vorgeschoben, als im letzteren Falle. Daher muß der weiße Zwischenraum zwischen den schwarzen Quadraten der Fig. 5 heller und breiter erscheinen, als der Zwischenraum zwischen den schmalen Strichen *a* und *b*. Da ferner der Kontrast um so wirksamer wird, je kleiner die umschlossene Fläche ist, so muß die Irradiation des Weiß um so bedeutender sein, je schmaler die

1) AUBERT gebraucht in diesem Zusammenhange wohl auch den Ausdruck »Kontrast«, aber er bezeichnet damit den Unterschied zwischen der Lichtstärke des Objektes und des Grundes. Dem gegenüber möchte ich ausdrücklich betonen, daß ich hier und im folgenden unter »Kontrast« immer nur den auf der Wechselwirkung der Netzhautstellen beruhenden Vorgang im Sehorgan selbst verstehe.

weißen Striche auf schwarzem Grund sind. Ganz dasselbe gilt aber auch für schwarze Striche auf hellem Grund. Auch hier wird die Grenze zwischen Schwarz und Weiß durch den Simultankontrast um so mehr nach der Seite des Weiß vorgeschoben, je kleiner die schwarze Fläche ist, je stärker sich also der Kontrast geltend macht. An sehr schmalen schwarzen Strichen auf ausgedehntem weißem Grund kann dadurch die Grenze der Empfindungsfläche ausnahmsweise sogar über die Grenze des schematischen Netzhautbildes der schwarzen Fläche hinausgerückt werden.

Auf rechnerischem Wege hat LEHMANN (27) unter bestimmten Annahmen über die Lichtverteilung im Aberrationsgebiet das gleiche Ergebnis abgeleitet. Er gelangt dadurch zum selben Schluß, den AUBERT experimentell erhielt, daß nämlich bei Objekten, die unter so kleinem Gesichtswinkel gesehen werden, daß der Durchmesser des schematischen Netzhautbildchens kleiner ist als der Durchmesser des Aberrationsgebietes, die Irradiation derart mit der Abnahme des Gesichtswinkels anwächst, daß die scheinbare Größe des Objekts konstant bleibt. Eine weitere Folgerung daraus werden wir später besprechen.

Dieser Absatz ist mit denselben Lettern gedruckt, wie der unmittelbar vorhergehende, bloß sind die Abstände der Zeilen voneinander größer. Dies bewirkt aber, daß die Buchstaben, insbesondere wenn man flüchtig darüber hinwegblickt, größer erscheinen, als die des vorhergehenden Absatzes. Auch diese Erscheinung wird von BOURDON (3, S. 320) auf Irradiation zurückgeführt. Zwischen den weitgestellten Zeilen tritt nämlich der weiße Grund viel mehr hervor, daher erscheint der Grund im ganzen heller, als bei den enggestellten Zeilen, was besonders bei ungenauer Akkommodation merklich ist. Der hellere Grund kann in der Tat infolge des Simultankontrastes die negative Irradiation, das Größererscheinen der schwarzen Buchstaben, begünstigen.

Die negative Irradiation — die Verbreiterung des Schwarz auf Kosten des Weiß — bildet für diejenigen Forscher, die bloß die Weiß- und nicht auch die Schwarzempfindung auf eine Regung des Sehorgans zurückführen, einen endgültigen Gegenbeweis gegen jene Erklärung der Irradiation, die in ihr eine Ausbreitung der Erregung von erregten Stellen der Netzhaut auf unerregte erblickt. Für den freilich, der mit HERING davon überzeugt ist, daß der Schwarzempfindung geradeso eine Regung des Sehorgans zugrunde liegt, wie der Weißempfindung, ist dieser Gegenbeweis nicht zwingend. Denn wenn überhaupt eine Ausbreitung der Regungen im Sehorgan vorhanden ist, muß dies für die Schwarzregung ebenso gelten, wie für die Weißregung, und die Versuche von BRÜCKNER über den blinden Fleck machen es in der Tat wahrscheinlich, daß dies der Fall ist. Es wäre also die Frage so zu stellen, wieviel von den Erscheinungen der Irradiation auf die physiologische Miterregung der Nachbarstellen, wieviel auf die physikalische

Lichtausbreitung im Auge zurückzuführen sei. Dann aber muß man allerdings sagen, daß die bisher besprochenen Tatsachen durch die physikalische Lichtausbreitung im Auge — zusammen mit der Wirkung des Simultan-contrastes — im allgemeinen ausreichend erklärt werden können.

PLATEAU faßte die Erscheinung, daß ein schmaler schwarzer Strich durch die Irradiation des Weißen weniger eingeengt wird, als eine breite schwarze Fläche, in den Satz zusammen, zwei Irradiationen, die von entgegengesetzten Seiten her einwirken, also z. B. in Figur 5 auf den Strich *a* (oder *b*) von rechts und von links her, schwächen sich gegenseitig um so mehr ab, je näher sie gegeneinander herandrücken. Es war dies der Haupteinwand, den er zuletzt noch (30) gegen die physikalische Erklärung der Irradiation geltend machte, der aber durch die Erkenntnis hinfällig wird, daß es sich hierbei um die Mitwirkung des Simultan-contrastes handelt.

## 2. Das Auflösungsvermögen des Auges.

### a) Allgemeines und Methodik.

Aus den Erscheinungen der Irradiation ergibt sich, daß die schematische Berechnung der Netzhautbildgröße ebensowenig, wie sie die Ausdehnung der belichteten Netzhautstelle richtig darstellt, auch einen Schluß auf die Größe des erregten Netzhautgebietes zuläßt. Das ist wohl in Betracht zu ziehen bei der Untersuchung der Frage, bis zu welcher unteren Grenze herab Lageunterschiede der Objekte durch den Gesichtssinn noch wahrgenommen werden können, der Frage also nach der Feinheit des optischen Raumsinnes. Als ihr Maß hat man lange den kleinsten Gesichtswinkel angesehen, unter dem man zwei leuchtende Punkte eben noch voneinander gesondert wahrzunehmen vermag. Erst HERING (106) zeigte, daß auf diesem Wege nicht die räumliche Unterschiedsschwelle, sondern ein anderes Vermögen des Auges gemessen wird, das man nach Analogie mit den optischen Instrumenten als das optische Auflösungsvermögen des Auges bezeichnen kann. Das Auflösungsvermögen des Auges hat selbstverständlich die Feinheit des Raumsinnes der Netzhaut insofern zur Grundlage, als es nicht weiter reichen kann, wie die letztere. Es reicht aber tatsächlich nicht so weit, wie die Feinheit des Raumsinnes, und deshalb müssen wir beide Vermögen des Auges streng auseinander halten und gesondert besprechen.

Ganz allgemein wollen wir das Auflösungsvermögen des Auges als seine Fähigkeit definieren, feinste Einzelheiten der Objekte wahrzunehmen. Fassen wir den Begriff in dieser Weite, so fällt darunter das Sehen einzelner, in ihrer Farbe von der Umgebung verschiedener kleinster Flächen (sogenannter Punkte) und schmälerer Streifen (sogenannter Linien), aber auch die Sonderung zweier oder mehrerer nebeneinander liegender Punkte und Linien und die gesonderte Wahrnehmung ausgedehnterer Flächen. Dagegen liegt das Erkennen der Form von Linien

und Flächen schon außerhalb des eigentlichen Auflösungsvermögens und soll deshalb eingehend erst später behandelt werden. Hier muß es nur insoweit schon zur Sprache kommen, als das Erkennen der Form kleinster Flächen vielfach zu Sehschärfestimmungen verwendet wurde.

Als Sehschärfe bezeichnet man allgemein die Fähigkeit des Auges, kleinste Flächen (Punkte) voneinander zu sondern. Die Fähigkeit, feinste einzelne Punkte wahrzunehmen, hat man von ihr abgetrennt und sie wohl auch »Punktsehschärfe« genannt. Dabei übersah man jedoch, daß das Erkennen eines einzelnen schwarzen Punktes oder Striches auf einer weißen Fläche grundsätzlich der Sonderung zweier weißer Flächen voneinander gleichsteht (vgl. unten S. 29). Noch bedenklicher aber war es, daß die Methoden, mittels derer man die so definierte Sehschärfe zu bestimmen vermeinte, wie schon erwähnt, zumeist auf dem Erkennen von Formen (Buchstaben, Zahlen, LANDOLTSche Ringe, SNELLENSche Haken) beruhten. Um jedes Mißverständnis zu vermeiden, sei daher hier betont, daß ich den bequemen Ausdruck »Sehschärfe« der obigen Definition gemäß im folgenden lediglich für das Sonderungsvermögen von Punkten — dann aber natürlich auch von Linien und von größeren Flächen — verwende. Die Grenze der Sehschärfe entspricht dann dem Minimum separabile, die untere Grenze für das Sehen einzelner Punkte und Striche dem Minimum visibile, die Grenze für das Formensehen dem Minimum legibile (cognoscibile) der Ophthalmologen (vgl. HESS, dies Handb. I. c. S. 244). Wenn nichts weiter hinzugefügt wird, ist dabei stets das Auflösungsvermögen in der Netzhautmitte, die »zentrale Sehschärfe«, gemeint.

In der Darstellung will ich den hier vorliegenden umfangreichen Stoff so gliedern, daß ich in diesem Kapitel zunächst bloß die Ergebnisse der Untersuchung des Auflösungsvermögens einzeln bespreche, und erst im folgenden, nachdem die eigentliche Feinheit des optischen Raumsinnes dargelegt ist, die Beziehungen des Auflösungsvermögens zur Raumsinnschwelle und zu den Elementen des nervösen Empfangsapparates im Auge erörtere.

Zur Untersuchung des Auflösungsvermögens können folgende zwei Methoden verwendet werden:

1. Man sucht für ein Objekt von gegebener Größe den Abstand auf, aus dem es eben noch sichtbar ist, und berechnet aus dem Gesichtswinkel die Größe des schematischen Netzhautbildchens.
2. Man variiert bei gleichbleibendem Abstand des Auges die Größe des Objektes, indem man entweder eine abgestufte Reihe verschieden großer Objekte fertig bereit hält, oder durch geeignete Vorrichtungen, wie sie z. B. AUBERT (1, S. 243) angibt, die Größe desselben ändert.

Ein wertvolles Hilfsmittel bei diesen Untersuchungen ist das Makroskop von VOLKMANN (13, S. 4; vgl. ferner AUBERT, 1, S. 199 ff.). Es be-

steht aus einer starken Konvexlinse, die in einem Ende eines innen geschwärtzten ausziehbaren Tubus befestigt ist, während an das andere, offene Ende der Röhre das Auge angelegt wird. VOLKMANN verwandte die Objektivlinse eines Fernrohres, dessen Okular entfernt war, AUBERT nahm die Okularlinse eines Mikroskops dazu. Durch die Konvexlinse wird ein stark verkleinertes umgekehrtes Bildchen des Objektes erzeugt, und durch Ausziehen des Tubus jener Abstand des Auges vom Bildchen aufgesucht, bei dem das Objekt eben erkannt wird. Man kann auch einen photographischen Kopf mit kurzer Brennweite und weiter Blende verwenden, am einfachsten gleich eine Handkamera, aus der man die Mattscheibe entfernt. Der Apparat hat den Vorteil, daß man durch Änderung des Abstandes des Objektes von der Konvexlinse (eventuell auch durch Einschalten von Linsen verschiedener Brechkraft) das Objekt beliebig verkleinern kann, ohne daß man sich allzuweit von ihm entfernen muß. Dadurch werden kleine technische Fehler in der Herstellung und bei den Abmessungen der Objekte ganz in den Hintergrund gedrängt.

Für die Berechnung des Gesichtswinkels bei den Makroskopversuchen leitete AUBERT folgende Formel ab: Es sei  $E$  der Abstand des Objektes von der Linse,  $e$  der Abstand des Bildchens von ihr und  $f$  die Brennweite der Linse, so ist nach der Linsenformel

$$\frac{1}{e} = \frac{1}{f} - \frac{1}{E}.$$

Daraus folgt

$$e = \frac{Ef}{E - f}.$$

Ferner ist

$$o = \frac{eO}{E},$$

worin mit  $O$  die Objektgröße und mit  $o$  die Bildgröße bezeichnet ist.

Befindet sich das Auge in der Entfernung  $S$  vom Bilde, so ist  $\frac{o}{S}$  die Tangente des Gesichtswinkels  $\alpha$  für  $o$ .  $S$  ist gleich der Entfernung des Knotenpunktes des Auges von der Linse weniger dem Bildabstand von der Linse  $e$ . Ist  $E$  sehr viel größer als  $f$ , so kann man statt  $e$  ohne merklichen Fehler  $f$  setzen, und es ist dann

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{o}{S} = \frac{O \cdot f}{E \cdot S}.$$

Als Gesichtswinkel ist hier der Knotenpunktswinkel gerechnet. Diese Rechnung ist aber nicht ganz genau, denn aus den Knotenpunktswinkeln erhalten wir die »absolute Sehschärfe«<sup>1)</sup> nur bei dem auf große Entfernung

1) Betreffs der Definition der »absoluten«, »natürlichen« und »relativen« Sehschärfe vgl. man die Darstellungen von v. HESS und v. ROHR in diesem Handbuch.



eingestellten emmetropen oder ametropen Auge, dessen Ametropie durch ein im vorderen Brennpunkt des Auges befindliches Glas korrigiert ist. Ist der Beobachter emmetrop, so muß er bei Verwendung des Makroskops für die Nähe akkomodieren, und beim Vergleich der Sehschärfe des emmetropen Auges bei verschiedener Akkommodation sind nach GULLSTRAND nicht die Knotenpunktswinkel, sondern die Hauptpunktswinkel einzusetzen. Besitzt der Beobachter, wie dies bei mir der Fall ist, eine Myopie, und bringt er das durch das Makroskop entworfene Bild in den Fernpunkt seines myopischen Auges, so ist gegenüber dem auf die gleiche Entfernung akkomodierenden Emmetropen noch eine weitere Korrektur an der Sehschärfe anzubringen, die nach der Tabelle von NAGEL (dies Handb., 1. Aufl., Bd. 6, S. 398) für mein Auge mit  $5\frac{1}{4}$  D Myopie in einer Division von rund 4,4 besteht. Da für die von VOLKMANN und AUBERT untersuchten Augen die zu diesen Korrekturen erforderlichen Daten nicht immer angegeben sind, so können die Zahlen dieser Autoren im allgemeinen nur zu Vergleichen unter sich, also der Zu- oder Abnahme des »makroskopischen Auflösungsvermögens« bei einer bestimmten Änderung der Versuchsbedingungen verwandt werden.

Wenn ich diese rechnerischen Korrekturen bei mir anbringe, so finde ich bei Verwendung des Makroskops meist eine etwas höhere Sehschärfe, als bei Betrachtung derselben Objekte mit freiem Auge aus sehr großer Entfernung. Das kann von Nebenumständen herrühren, z. B. davon, daß beim Sehen durch das Makroskop das Nebenlicht stärker abgeblendet ist, als beim Sehen mit freiem Auge in die Weite. Eine andere Möglichkeit, die zu erwägen ist, beruht darauf, daß man mit dem Makroskop die Objekte stark verkleinert und nahe sieht, und daher vielleicht Analogien zu jenen Vorgängen auftreten könnten, die im indirekten Sehen eine deutliche Erhöhung der Sehschärfe beim Blick in die Nähe bewirken (sog. AUBERT-FÖRSTERSches Phänomen, s. unten S. 51). Bestimmt kann ich mich darüber nicht äußern, weil nach JAENSCH (9) das AUBERT-FÖRSTERSche Phänomen beim direkten Sehen nicht nachzuweisen ist. Nun hat freilich neuerdings M. JACOBSON (60) gefunden, daß bei tachistoskopischer Darbietung direkt gesehener Buchstaben das Erkennen näher gelegener gegenüber den unter gleichem Gesichtswinkel erscheinenden fernerer ebenfalls begünstigt ist. Wenn sich dies auch für die Untersuchung der eigentlichen zentralen Sehschärfe bestätigen sollte, so würde sich daraus eine wichtige praktische Folgerung ergeben. Es würde dann nämlich nicht genügen, als Maß der Sehschärfe bloß den reziproken Wert des Gesichtswinkels anzuführen, sondern man müßte entsprechend dem Verfahren von SNELLEN  $\left(V = \frac{d}{D}\right)$  dabei stets auch den Abstand der Sehprobe vom Auge mit angeben. Ich habe vorläufig davon abgesehen, weil ein solcher Einfluß des Nahesehens auf die direkte Sehschärfe, wenn er überhaupt besteht, doch bloß für das Sehen aus nächster Nähe in Betracht käme, und selbst bei den Makroskopversuchen, bei denen er dann allenfalls zu berücksichtigen wäre, der Unterschied gegenüber dem Sehen mit freiem Auge aus der Ferne doch nur ganz unbedeutend und jedenfalls so gering ist, daß ein kleiner Beobachtungsfehler ihn schon verdecken kann. (vgl. die Tabelle 16 auf S. 96).

Immerhin habe ich mit Rücksicht darauf die Makroskopversuche immer deutlich als solche gekennzeichnet.

Wichtig ist, daß bei wissenschaftlichen Untersuchungen des Auflösungsvermögens die Weite der Pupille durch Vorschalten eines Diaphragmas konstant erhalten wird. Der Fehler, der durch Nichtberücksichtigen dieses Umstandes auftreten kann, ist von LAAN (67), COBB (44) und HUMMELSHHEIM (59) studiert worden. Bezüglich weiterer technischer Details bei der Durchführung der Versuche vgl. man F. B. HOFMANN (8, S. 103 ff.) und LÖHNER (70).

### b) Die Wahrnehmung einzelner Punkte und Linien.

Die Grenze der Unterscheidbarkeit ausgedehnter Flächen von ihrer Umgebung ist durch die Unterschiedsempfindlichkeit des Auges für Helligkeit und Farben bestimmt. Diese müssen demnach neben der Feinheit des Raumsinnes des Auges auch für die untere Grenze der Wahrnehmung kleinster Flächen von Bedeutung sein. Um die hier vorliegenden Beziehungen klarzulegen, gehen wir von dem Falle aus, daß auf einem lichtlosen Grunde eine einzige sehr kleine helle Fläche angebracht ist. Offenbar wird man diesen »leuchtenden Punkt« erst dann wahrnehmen können, wenn das von ihm ausgehende Licht genügend stark ist, um das Sehorgan überhaupt in Erregung zu versetzen. RICCÒ (82) fand nun, daß es für die Wahrnehmungsgrenze sehr kleiner Lichtflächen — bis zu einem Gesichtswinkel von  $2'$  für den Durchmesser — gleichgültig ist, ob das von ihnen ausgehende Licht auf eine kleinere oder größere Fläche verteilt ist, wenn nur die gesamte Lichtmenge, die von dem Objekt ausgesendet wird, gleich ist. Für die Reizschwelle ist also unter diesen Umständen bei gleichmäßiger Verteilung des Lichtes auf der Fläche das Produkt aus der Flächengröße mal Lichtstärke des Flächenelementes maßgebend. Die Gültigkeit dieses Satzes für das foveale Sehen wurde von mehreren Nachuntersuchern bestätigt (vgl. die Literatur bei TSCHERMAK, 34, S. 793 und HELMHOLTZ, III, Bd. 2, S. 283 ff.), für sehr kleine Objekte wurde er allerdings von KÜHL (66) etwas modifiziert. ASHER (32) fügte hinzu, daß bei kleinen Objekten und fovealer Abbildung auch die scheinbare Größe von demselben Produkt abhängig ist. Unterhalb einer Grenze von etwa  $2'$  erscheint also ein größeres, aber schwächer leuchtendes Objekt gleich groß, wie ein kleineres, aber entsprechend stärker leuchtendes, wenn die gesamte entsandte Lichtmenge in beiden Fällen gleich groß ist. Erst wenn die Objekte ungefähr unter einem Gesichtswinkel von  $2'$  gesehen werden, wird ein lichtschwächeres größeres Objekt mit Sicherheit größer gesehen, als das kleinere lichtstärkere Objekt. Bei Objekten, deren Gesichtswinkel kleiner ist als  $2'$ , wird dagegen die scheinbare Größe durch die Gesamtlichtstärke bestimmt. Am bekanntesten ist dieses Verhalten bei den Sternen. Diese erscheinen uns nicht als feinste Punkte,

wie es ihr schematisches Netzhautbild erwarten ließe, sondern als Scheibchen, die eine um so größere scheinbare Fläche besitzen, je lichtstärker der Stern ist. In gleicher Weise hängt die scheinbare Breite schmaler heller Striche wesentlich von ihrer Lichtstärke ab. Der Grund hierfür liegt in dem schon bei der Besprechung der Irradiation erörterten Umstande, daß das von einem leuchtenden Objekt ausgehende Licht sich auf der Netzhaut nicht zum scharfen »schematischen« Bildchen vereinigt, sondern sich darüber hinaus auf eine etwas größere Lichtfläche zerstreut. Lichtstarke Punkte und Linien erscheinen infolgedessen breiter, als sie wirklich sind. Bei lichtschwachen Punkten und Linien ist aber zu berücksichtigen, daß das schematische Netzhautbildchen derselben so viel an Licht verliert, als es außerhalb seiner Grenzen an die Umgebung abgibt. Bei größeren Flächen erfolgt dieser Lichtverlust nur an den Rändern ihres Netzhautbildchens, in dem Schema der Fig. 4 (oben S. 9) also nur auf den Strecken  $Db$  und  $cC$ . Im mittleren Teil der Lichtfläche, zwischen  $b$  und  $c$  in Fig. 4, bleibt die volle Lichtstärke bestehen, weil sich hier die Aberrationsgebiete der benachbarten leuchtenden Stellen übereinander lagern und Lichtgewinn und Lichtverlust sich gegenseitig ausgleichen. AUBERT nannte diese mittlere Partie der Lichtfläche mit der vollen Lichtstärke (nach Analogie des Ausdrucks »Kernschatten«) das Kernbild. Wird das Netzhautbildchen so klein, daß das Aberrationsgebiet vom Rande her bis eben zur Mitte der Lichtfläche reicht, so hat das Kernbild seine geringste Ausdehnung, die Lichtfläche erreicht allein noch im Mittelpunkt ihre volle Höhe. Verkleinert man das Objekt von da ab noch weiter, so geht nunmehr der Lichtverlust an die Umgebung auf Kosten des ganzen schematischen Netzhautbildchens vor sich, eine weitere Verkleinerung wirkt daher wie eine Abschwächung der Lichtstärke der Fläche, ein heller Punkt erscheint zunehmend dunkler grau, je kleiner man ihn macht, und er wird schließlich ganz unmerklich, sobald die Erhebung der Lichtfläche über die Umgebung unter die Schwelle für die Unterschiedsempfindlichkeit des Auges für Licht herabsinkt. Durch Erhöhung der Lichtintensität der leuchtenden Fläche kann man aber dann jedesmal die Lichtfläche wieder sichtbar machen, und zwar wie die Sterne zeigen, deren Gesichtswinkel ja minimal ist, auch bei ganz beliebig kleinem Gesichtswinkel. Andererseits wirkt eine Vergrößerung des Gesichtswinkels, unter dem man eine kleine leuchtende Fläche sieht, wie eine Erhöhung der Lichtstärke. Wir können demnach innerhalb gewisser Grenzen von einem kleineren, aber lichtstärkeren Objekt eine ebenso große Empfindungsfläche bekommen, wie von einem größeren, aber lichtschwächeren Objekt. Daher bieten aber auch die zahlreichen Beobachtungen über den kleinsten Gesichtswinkel, unter dem ein leuchtendes Objekt eben noch gesehen wurde, die man bei AUBERT (1, S. 194) zusammengestellt findet, für sich allein keinerlei Aufschluß über die Punktsehschärfe.

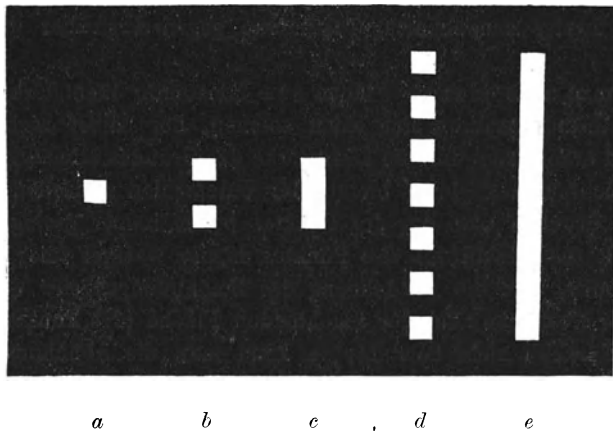
Nach den obigen theoretischen Auseinandersetzungen nimmt das Kernbild, sobald es einmal vorhanden ist, bei einer weiteren Vergrößerung der Fläche des Objekts nicht mehr an Lichtstärke, sondern nur noch an Größe zu. Darnach sollte man eigentlich erwarten, daß die Ebenmerklichkeit von der Grenze an, bei der eben ein Kernbild zustande kommt, nicht mehr von der Flächengröße des Objekts abhängt, sondern einzig und allein von der Lichtstärke desselben, daß also dann verschieden große Flächen stets bei derselben Lichtstärke über die Schwelle treten. Das ist aber, wie S. EXNER (46) gezeigt hat, an kleineren Objekten nicht der Fall. Vielmehr werden diese bis zu einer gewissen Grenze immer noch bei einer um so geringeren Lichtstärke wahrgenommen, je größer sie sind. Das hängt damit zusammen, daß, wie unten S. 99 ff. genauer besprochen wird, gleichartige Regungen benachbarter Netzhautstellen sich gegenseitig in ähnlicher Weise unterstützen, wie sich z. B. auch die gleichzeitigen Reizungen zweier benachbarter Tastpunkte gegenseitig über die Schwelle heben.

Legt man eine kleinste Fläche von konstanter Lichtstärke nicht auf lichtlosen Grund, sondern auf einen solchen, der selbst Licht ins Auge sendet, und erhöht man nun die Lichtstärke des Grundes allmählich, während die des Lichtpunktes gleich bleibt, der Unterschied zwischen der Lichtstärke des Grundes und der des Punktes somit immer geringer wird, so erhebt sich die Lichtfläche des Punktes immer weniger über das Niveau der Umgebung, und die Ausdehnung der Empfindungsfläche wird kleiner. Ist nun der Gesichtswinkel der leuchtenden Fläche (des Punktes) so klein, daß kein Kernbild mehr entsteht, so kann man die Abnahme des Lichtunterschiedes zwischen ihrer Lichtfläche und der des Grundes innerhalb gewisser Grenzen kompensieren durch eine entsprechende Vergrößerung der leuchtenden Fläche. War demnach die letztere durch die Erhöhung der Lichtstärke des Grundes bereits unmerklich geworden, so wird sie bei einer Vergrößerung ihres Gesichtswinkels wieder sichtbar. Nun beobachtete AURERT (4, S. 204 ff.) bei derartigen Versuchen, daß der Gesichtswinkel, bei dem die kleine Fläche eben noch sichtbar blieb, nicht proportional der Erhöhung der Lichtstärke des Grundes zunahm, sondern bei allmählicher Erhöhung der letzteren anfangs rascher, dann trotz weiterer bedeutender Erhöhung der Lichtstärke des Grundes nur äußerst wenig, und erst zuletzt, wenn die Lichtstärke des Grundes sich nur noch wenig von der des Punktes unterschied, wieder sehr stark anstieg. AUBERT zog daraus den Schluß, daß bei mittlerer Lichtstärke des Grundes das aus dem Gebiet des schematischen Netzhautbildes abirrende Licht die Lichtstärke der Umgebung so wenig vermehre, daß die durch dasselbe bewirkte Lichtzunahme unmerklich bliebe, und die Empfindungsfläche demnach gerade mit der Grenze des schematischen Netzhautbildes abschneide. Wenn das richtig wäre,

würde demnach in diesem Sonderfalle die Größe des Gesichtswinkels wirklich die Ausdehnung der Empfindungsfläche wiedergeben. Da nun ferner unter diesen Umständen die leuchtende Fläche bei einer Verkleinerung ihres Gesichtswinkels unter den ziemlich konstanten Wert von rund  $35''$  unsichtbar wird, betrachtete er dieses Netzhautbild als das kleinste, das eben noch wahrgenommen werden könne, und nannte es den physiologischen Punkt.

Die gleiche Rolle, wie bei einzelnen leuchtenden Punkten auf lichtlosem Grunde, spielt die Lichtausbreitung im Auge auch bei einzelnen leuchtenden Linien. Nur fallen an Linien die Aberrationsgebiete der einzelnen Punkte derselben in der Längsrichtung der Linie übereinander, und der

Fig. 6.



Lichtverlust erfolgt nicht, wie bei einem einzelnen Punkte, nach allen, sondern bloß nach zwei Seiten hin. Infolgedessen erscheint eine leuchtende Linie heller und ist auf größere Entfernungen hin zu erkennen, als ein leuchtender Punkt von gleicher objektiver Lichtstärke (zuerst JURIN; vgl. AUBERT, 1, S. 496). Die Sichtbarkeit einer leuchtenden Linie nimmt aber bis zu einer gewissen Grenze auch mit ihrer Länge zu. Diese zuerst von BERGMANN (34) gemachte, nachmals von PERGENS (80) bestätigte Beobachtung wurde schon von AUBERT auf die Vermehrung der Zahl der gereizten Netzhautelemente bezogen, sie entspricht durchaus der oben erwähnten gegenseitigen Unterstützung gleichartiger Regungen benachbarter Netzhautstellen. Übrigens gelten die eben angeführten Sätze nicht bloß für leuchtende Linien auf absolut lichtlosem Grunde, sondern auch für lichtstärkere Punkte oder Linien auf lichtschwächerem Grunde, und man kann sich daher die Verhältnisse an der von AUBERT (l. c. S. 497) gegebenen Fig. 6 veranschaulichen.

Betrachtet man die Teilfiguren derselben einzeln<sup>1)</sup>, so kann man feststellen, daß der Strich  $e$  aus größerer Entfernung sichtbar ist, als der kürzere Strich  $c$ , und dieser wieder aus weiterer Entfernung, als das Quadrat  $a$ , dessen Seitenlänge gleich ist der Breite der Striche  $c$  und  $e$ . Dasselbe Verhältnis besteht zwischen  $a$ ,  $b$  und  $d$ . Aus großer Entfernung gesehen, verschmelzen das Doppelquadrat  $b$  und ebenso die Quadratreihe  $d$  infolge der Irradiation zu grauen Strichen. Von diesen ist am weitesten sichtbar  $d$ , weniger weit  $b$ , aus der geringsten Entfernung das Quadrat  $a$ .

Für die untere Grenze der Sichtbarkeit eines isolierten schwarzen Punktes oder einer schwarzen Linie auf hellem Grunde gelten analoge Gesetze, wie für einzelne leuchtende Punkte oder Linien auf schwarzem Grunde, nur liegen die Verhältnisse quantitativ etwas anders. Man erkennt dies, wenn man die untere Grenze für die Wahrnehmung eines einzelnen Lichtpunktes auf dunklem Grunde vergleicht mit der Wahrnehmbarkeit eines eben so kleinen einzelnen dunklen Punktes auf einem Grunde, der ebenso stark leuchtend ist, wie der Vergleichspunkt auf dunklem Grunde. Dabei stellt sich heraus, daß der leuchtende Punkt auf dunklem Grunde meist (vgl. jedoch unten!) schon unter einem kleineren Gesichtswinkel sichtbar ist, als der dunkle Punkt auf dem hellen Grunde. So konnte beispielsweise AUBERT (1, S. 195) unter im übrigen gleichen Bedingungen ein Quadrat von weißem Papier auf schwarzem Papier unter einem Gesichtswinkel von 48" für die Seite des Quadrates eben noch sehen, ein Quadrat von demselben schwarzen Papier auf demselben weißen Papier aber erst unter einem Gesichtswinkel von 35". Der gleiche Unterschied besteht zwischen der Sichtbarkeit einer isolierten weißen und schwarzen Linie bei gleicher Differenz der Lichtstärke zwischen Linie und Grund. Der Zusammenhang mit der Irradiation ist auch hier wieder deutlich, und man kann kurz sagen: gerade so und insoweit, als bei gleichem Unterschied der Lichtstärke eine schmalste weiße Fläche auf schwarzem Grunde stärker irradiert, als eine in Wirklichkeit eben so große schwarze Fläche auf weißem Grunde, verschwindet auch bei abnehmendem Gesichtswinkel die weiße, größer erscheinende Fläche später als die schwarze, kleiner erscheinende Fläche. Danach hängt aber auch die Sichtbarkeit eines dunklen Punktes auf hellem Grunde vom Unterschied der Lichtstärke beider in der gleichen Weise ab, wie die Sichtbarkeit eines hellen Punktes auf dunklem Grunde, und folgt also der oben S. 25 angegebenen Regel. Bemerkenswert ist dabei, daß bei mittleren Lichtstärken des Grundes der Unterschied zwischen der Sichtbarkeit eines dunklen und eines hellen Punktes sehr gering wird. Nach AUBERT erklärt sich dies wiederum daraus, daß in diesem Falle das abirrende Licht

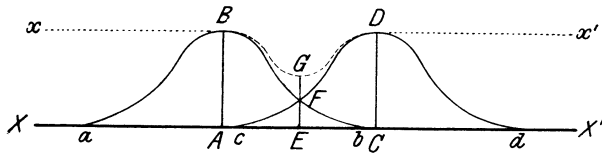
1) Es empfiehlt sich, beim Versuch die einzelnen Teilfiguren isoliert sichtbar zu lassen und die anderen zu verdecken, weil sie etwas zu nahe aneinander liegen und sich gegenseitig stören.

unmerklich wird und die Ausdehnung der Empfindungsfläche des schwarzen wie die des hellen Punktes demnach mit der Grenze des schematischen Netzhautbildchens zusammenfällt.

c) **Sonderung mehrerer Punkte, Linien und Flächen voneinander.**

Liegen zwei sehr schmale leuchtende Streifen dicht nebeneinander auf lichtlosem Grunde, so gibt jeder einzelne auf der Netzhaut eine längliche Lichtfläche, die wie ein Gebirgskamm nach beiden Seiten hin allmählich absinkt. Der zur Linienrichtung senkrechte Querschnitt durch die beiden

Fig. 7.



Lichtflächen sei durch Fig. 7 versinnlicht, in der  $XX'$  ebenso wie in Fig. 4 einen Schnitt durch die flach ausgebreitete Netzhaut,  $aBb$  und  $cDd$  schematisch die Querschnitte der beiden Lichtflächen darstellen sollen. Liegen nun die beiden Leuchtlinien, wie im vorliegenden Falle, nahe genug nebeneinander, so überdecken sich die von ihnen erzeugten Lichtflächen zum Teil, so daß die in der Mitte zwischen  $A$  und  $C$  gelegene Netzhautstelle  $E$  Licht von der Intensität  $2EF = EG$  empfängt und der Querschnitt durch die gemeinsame Lichtfläche der beiden Leuchtlinien der Kurve  $aBGDd$  entspricht. Die gemeinsame Lichtfläche der beiden Linien enthält daher über  $E$  nur eine Einsattelung, die Lichtintensität ist dort nicht gleich Null, sondern bloß etwas geringer, als über  $A$  und  $C$ . Die beiden Leuchtlinien können aber nur dann voneinander gesondert wahrgenommen werden, wenn zwischen ihnen ein dunkler Zwischenraum zu sehen ist. Betrachten wir, wie dies unten näher begründet wird, in der Fovea centralis die Zapfen als die Empfangseinheiten des somatischen Sehfeldes, so würde dies besagen, daß die beiden Leuchtlinien im direkten Sehen eben dann voneinander gesondert werden können, wenn zwischen den am stärksten belichteten Zapfen an den Stellen  $A$  und  $C$  in  $E$  mindestens ein Zapfen eben merklich schwächer erregt wird, als die beiden ersteren. Ob dies der Fall ist, hängt aber keineswegs allein vom Gesichtswinkel ab, unter dem die Distanz der beiden Leuchtlinien voneinander gesehen wird, sondern ganz ebenso, wie bei einer einzelnen Leuchtlinie oder einem isolierten leuchtenden Punkt, von der Ausdehnung der Lichtfläche und der Art der Lichtverteilung in ihr, also zunächst von den dioptrischen Eigenschaften des Auges und von den objektiven Lichtintensitäten, dann aber auch von der subjektiven Unterschiedsempfindlichkeit der Netzhautstellen  $A$ ,  $E$  und  $C$  für Licht.

Die Kurve  $aBGDd$  in Fig. 7 stellt zugleich den schematischen Querschnitt durch die Lichtfläche zweier nahe nebeneinander liegender leuchtender Punkte dar. Die gesamte Lichtfläche derselben wird gebildet durch zwei kuppenartige Erhebungen, die durch eine flache, sattelförmige Ein-senkung voneinander getrennt sind. Diese Kuppen besitzen aber an ihrem Rande infolge des »irregulären Astigmatismus« erhabene Rippen und zackige Ausläufer, stellen also keine richtigen Rotationsflächen dar.

Durch eine kleine Abänderung der Figur erhalten wir ferner den zur Längsrichtung senkrechten Querschnitt durch die Lichtfläche eines schmalen schwarzen Streifens auf gleichmäßig hellem Grunde. Wir brauchen näm-lich bloß die Belichtungskurve von  $B$  gegen  $x$  hin und von  $D$  gegen  $x'$  hin parallel zur Abszisse  $XX'$  zu verlängern und finden dann in der Kurve  $xBGDx'$  den gesuchten Querschnitt. Die Gesamtllichtfläche einer schwarzen Linie auf hellem Grunde erhalten wir, wenn wir den Querschnitt  $xBGDx'$  senkrecht zur Papierfläche gerade fortführen, als eine längsverlaufende Rinne. Denken wir uns die Kurve  $xBGDx'$  um eine durch  $EG$  gehende vertikale Achse gedreht, so ergibt diese napfförmige Vertiefung angenähert die Ge-samtllichtfläche einer kleinen kreisrunden dunklen Fläche auf hellem Grunde. Aber auch hier springen vom hellen Grunde her unregelmäßige Rippen und Fortsätze gegen die Vertiefung hin vor. Liegen zwei kleine dunkle Flächen dicht nebeneinander, so erhalten wir als ihre Lichtfläche zwei derartige nebeneinander liegende und allenfalls etwas zusammenfließende napfförmige Vertiefungen. Besteht das Testobjekt aus parallelen, abwechselnd hellen und dunklen Linien, so muß man sich die streifenförmigen Erhebungen mit den dazwischen liegenden rinnenförmigen Senkungen vervielfältigt denken. Noch kompliziertere Gestalten erhält man für die Lichtfläche eines Gitters. Werden nicht leuchtende Objekte auf lichtlosem Grunde, sondern licht-stärkere auf lichtschwächerem Grunde verwendet, so bleiben die Formen der Lichtflächen dieselben, nur erhebt sich in diesem Falle die Lichtfläche nicht von der Nulllinie, sondern schon von einem etwas höheren Niveau.

Untersuchen wir nun, wie sich die Fähigkeit zur Sonderung zweier schmaler Striche oder sonstiger Flächen verschiedener Größe bei gleichem Lichtunterschied zwischen Objekt und Grund verhält, so stellt sich heraus, daß die untere Grenze für die Sonderung zweier Striche oder Flächen — ganz einerlei, ob hell auf dunklem Grunde, oder dunkel auf hellem Grunde — nicht ausschließlich von der Breite des Zwischenraumes zwischen ihnen ab-hängt, sondern überdies von der Breite der Striche selbst, bzw. von der Größe der zu sondernden Flächen. Quantitative Untersuchungen darüber hat an verschieden breiten Strichen schon AUBERT angestellt. In Tab. 4 (oben 'S. 15) sind nach AUBERT in der zweiten Kolumne unter  $d'$  die Ge-sichtswinkel angegeben, unter denen zwei weiße Striche auf schwarzem Grunde, bzw. zwei schwarze Striche auf weißem Grunde mit dem Makroskop



eben gesondert wahrgenommen werden können, während in der ersten Kolumne der Gesichtswinkel für die Breite der Striche eingetragen ist, unter dem sie bei der Einstellung auf eben merkliche Sonderung gesehen wurden. Man ersieht daraus, daß der Gesichtswinkel, unter dem man zwei Striche eben gesondert wahrnehmen kann, bei ganz schmalen Strichen mit der Verbreiterung der letzteren abnimmt.

Für die gesonderte Wahrnehmung kleiner quadratischer Flächen — weißer auf schwarzem oder schwarzer auf weißem Grunde — gilt dieselbe Abhängigkeit von der Größe der zu sondernden Flächen. Auch hierüber liegen schon Versuchsreihen von AUBERT (1, S. 228) vor, der zeigte, daß man zwei nebeneinander liegende gleich große Quadrate bis zu einer gewissen Grenze um so leichter voneinander sondern kann, je größer sie sind. AUBERTS Zahlen sind in Tab. 2 enthalten, wobei  $b$  in der ersten Reihe wieder den Gesichtswinkel angibt, unter dem die Seitenlänge jedes Quadrates gesehen wird,  $d'$  den Gesichtswinkel der eben merklichen Distanz der Quadrate.

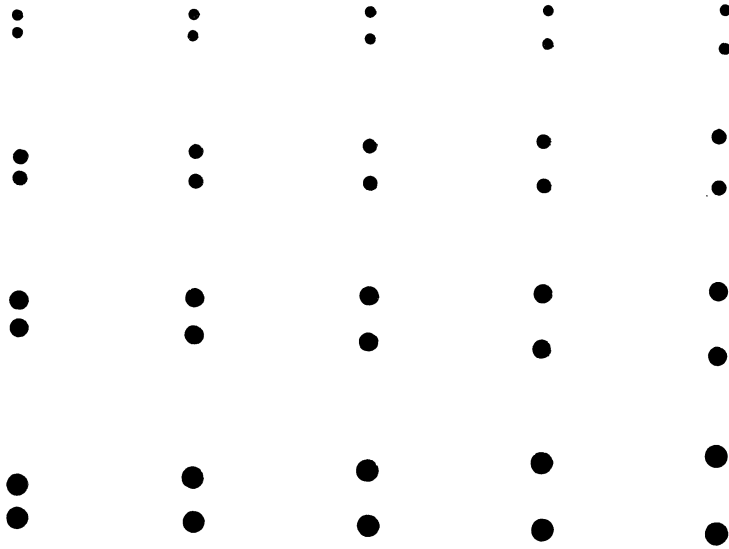
Tabelle 2.

$b$	$d'$			
	Weiß Quadrate auf Schwarz	Schwarz Quadrate auf Weiß	Weiß Quadrate auf Grau	Schwarz Quadrate auf Grau
114"	28"	28"	34"	28"
91"	60"	68"	68"	64"
76"	98"	114"	92"	100"
65"	145"	170"	140"	182"
57"	160"	262"	210"	
54"	204"		270"	
46"	230"			

Um dem Leser eine bequeme Möglichkeit zu bieten, sich selbst von der wichtigen Tatsache der Abhängigkeit des Auflösungsvermögens von der Größe der zu sondernden Flächen zu überzeugen, gebe ich in Fig. 8 ein von LÖHNER (70) benütztes Muster zum Teil wieder. Es ist so zusammengestellt, daß in jeder Horizontalreihe, die ich von oben nach unten fortlaufend mit 1—4 numeriere, die schwarzen Kreisflächen gleich groß sind. Dagegen sind sie von links nach rechts fortlaufend um den einfachen, doppelten, drei-, vier- und fünffachen Betrag ihres Halbmessers voneinander entfernt. In der Tab. 3 sind die Durchmesser der Kreisflächen und ihre Abstände voneinander übersichtlich eingetragen, wobei die Doppelpunkte jeder Horizontalreihe von links nach rechts fortlaufend mit  $A, B, C, D, E$  bezeichnet sind. An einem sonnenhellen Tage nun konnte ich nach Korrektion meiner Ametropie im Zimmer aus einem Abstand von 12 m eben den Doppelpunkt  $4 E$  (Durchmesser 3,0 mm, Abstand 7,50 mm) sicher

getrennt wahrnehmen, alle übrigen noch nicht. Aus 11 m Entfernung kam die Sonderung von 4 *D* dazu, aus  $9\frac{1}{2}$  m 4 *C*, aus  $8\frac{1}{2}$  m 4 *B*, aus 8 m 3 *C*, aus 6 m 4 *A*, 3 *B*, 2 *C* und 1 *B*, aus 5 m 3 *A*, 1 *C* und etwa auch

Fig. 8.



2 *B*, aus 4 m 2 *A* und 1 *B*, endlich aus  $3\frac{1}{2}$  m noch 1 *A*. Auf Gesichtswinkel umgerechnet ergibt dies die Zahlen der Tab. 4, in der unter *b* wieder die Gesichtswinkel für die Flächengröße, unter *a'* die Gesichtswinkel des eben merklichen Abstandes für die vier Horizontalreihen angegeben sind.

Tabelle 3.

Reihe	Durchmesser der Kreisflächen	Abstände der Kreisflächen				
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
1	1,5	0,75	1,50	2,25	3,00	3,75
2	2,0	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
3	2,5	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25
4	3,0	1,50	3,00	4,50	6,00	7,50

Das Ergebnis steht, wie man sieht, grundsätzlich in vollkommener Übereinstimmung mit den Angaben von AUBERT. Daß die absoluten Zahlenwerte für das Auflösungsvermögen bei gleichem Gesichtswinkel für die Objektgröße in beiden Fällen verschieden sind, das liegt an dem Unterschied der Versuchsbedingungen, insbesondere der Belichtung. Die verschiedene Form

der zu sondernden Objekte hat dagegen nicht viel zu sagen, weil kleine Quadrate an der Grenze der Wahrnehmung von Kreisflächen nicht zu unterscheiden sind.

Tabelle 4.

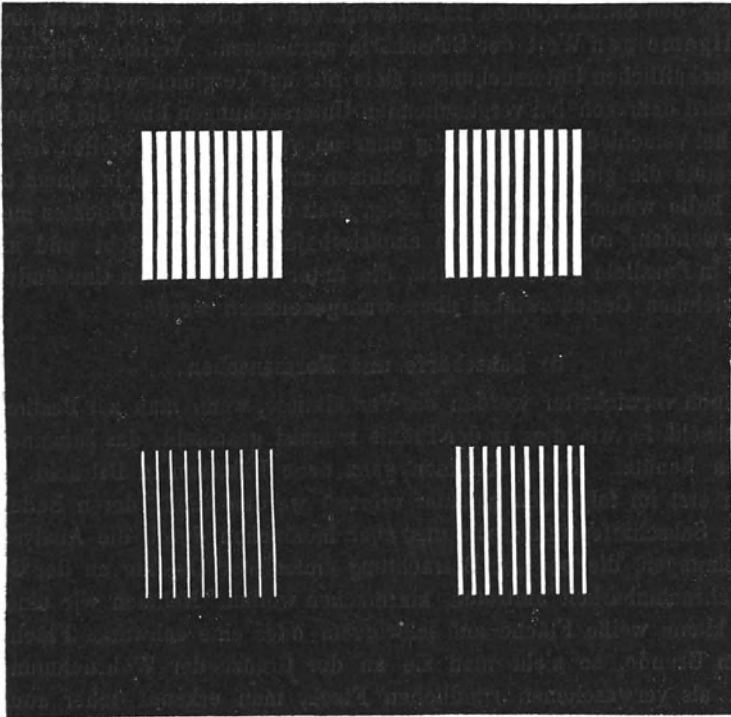
Doppel- punkt	Reihe 1		Reihe 2		Reihe 3		Reihe 4	
	<i>b</i>	<i>d'</i>	<i>b</i>	<i>d'</i>	<i>b</i>	<i>d'</i>	<i>b</i>	<i>d'</i>
<i>A</i>	102''	52''	—	—	—	—	89	59
<i>B</i>	76	76	103	52	103	52	78	78
<i>C</i>	66	98	86	86	83	83	62	93
<i>D</i>	56	112	65	98	69	102	—	—
<i>E</i>	51	129	—	—	—	—	52	129

Fragen wir nun nach dem Grund für die Abhängigkeit des Auflösungsvermögens von der Größe der zu sondernden Flächen, so ist dabei zu berücksichtigen, daß diese Abhängigkeit nur bei sehr kleinen Gesichtswinkeln für die Flächengröße vorhanden ist. Bei so kleinen Gesichtswinkeln kommt aber auf der Netzhaut infolge der Lichtaberration kein »Kernbild« mehr zustande, und die Netzhautbilder der Objekte unterscheiden sich in ihrer Lichtstärke um so weniger von der der Umgebung, je kleiner ihr Gesichtswinkel ist. Dadurch entstehen hier dieselben Bedingungen für das Auflösungsvermögen, wie bei einer Herabsetzung des Lichtunterschiedes zwischen Objekt und Grund. Wir werden unten S. 38 ff. noch genauer besprechen, daß dann nach allgemeiner Erfahrung »die Sehschärfe abnimmt«, d. h. es muß die Distanz der zu unterscheidenden Objekte, damit sie eben erkennbar wird, um so größer gemacht werden, je kleiner der Lichtunterschied zwischen Objekt und Grund ist.

Mit diesen Verhältnissen hängt nun auch die Beobachtung zusammen, die schon TOB. MAYER machte (vgl. HELMHOLTZ, I, S. 217), daß das Sondierungsvermögen für parallele Linien gleich bleibt, wenn man zwar die Breite der Linien und ihres Zwischenraums ändert, aber die Summe der Linienbreite und des Zwischenraums konstant läßt. Die weitgehende Gültigkeit dieses Satzes geht deutlich aus Tab. 4 hervor, in der die Summe  $d' + b$  nur innerhalb verhältnismäßig enger Grenzen schwankt (bei den weißen Linien zwischen 95 und 112'', bei den schwarzen zwischen 90 und 113''). Ein Versuch von LEHMANN (27) macht diese Erscheinung, die er aus seinen oben S. 18 erwähnten Berechnungen der Irradiation ableitet, sehr anschaulich. Bringt man auf einem schwarzen Grunde in quadratischer Anordnung mehrere parallele weiße Streifen derart nebeneinander an, wie es in Fig. 9 wiedergegeben ist, daß die weißen Streifen in jedem Quadrat verschieden breit sind, aber die Summe der Breite eines weißen Streifens und seines Abstandes vom nächsten Streifen jedesmal gleich ist, so werden alle diese

Quadrate im direkten Sehen ziemlich aus dem gleichen Abstand vom Auge aufgelöst. Für die Sonderung kleiner Quadrate oder Kreisflächen gilt dies nicht mehr, vielmehr nimmt hier, wie man aus Tab. 2 u. 4 ersehen kann, die Summe  $d' + b$  mit der Verkleinerung des Gesichtswinkels für die zu sondernden Flächen zu.

Fig. 9.



HELMHOLTZ hat in seine Tabelle über die Sehschärfe (I, S. 217, II, S. 259) diese Summe  $d' + b$  eingesetzt, während hier und im folgenden immer der Gesichtswinkel  $d'$  für den Zwischenraum berechnet ist. Dies ist bei Vergleichen der Werte für die Sehschärfe zu beachten.

Aus dem Vergleich der Werte  $d'$  in den Tabellen 1, 2 u. 4 ersieht man ferner, daß sie für Linien mit der Abnahme des Gesichtswinkels viel weniger ansteigen, als für kleinste Quadrate oder kreisrunde Flächen — kurz gesagt für »Punkte«. Das liegt daran, daß ein weißer Punkt auf schwarzem Grunde infolge der Lichtaberration nach allen Seiten hin Licht verliert (bzw. ein schwarzer Punkt auf weißem Grunde von allen Seiten her Licht empfängt) und daher blasser erscheint, als eine gleich breite Linie, bei der die Ab-

errationsgebiete der einzelnen Punkte in der Längsrichtung der Linie übereinander fallen (vgl. oben S. 26).

Das Ergebnis aller dieser Versuche läßt sich demnach kurz dahin zusammenfassen, daß es einen einheitlichen unteren Grenzwert für die gesonderte Wahrnehmung feiner Details nicht gibt, sondern daß dieser auch unter sonst gleichbleibenden Verhältnissen der Belichtung usf. je nach der Größe und Form der Probeobjekte verschieden ist. Es ist daher grundsätzlich unmöglich, den SNELLENSchen Einheitswert von  $4'$  oder irgend einen anderen als allgemeinen Wert der Sehschärfe anzusetzen. Vielmehr ist man bei wissenschaftlichen Untersuchungen stets nur auf Vergleichswerte angewiesen. Man wird demnach bei vergleichenden Untersuchungen über die Sehschärfe, z. B. bei verschiedener Belichtung oder an verschiedenen Stellen der Netzhaut, stets die gleichen Objekte benutzen müssen. Ist es in einem besonderen Falle wünschenswert oder nötig, statt eines einzigen Objektes mehrere zu verwenden, so müssen rein empirisch jene herausgesucht und miteinander in Parallele gestellt werden, die unter sonst gleichen Umständen bei dem gleichen Gesichtswinkel eben wahrgenommen werden.

#### d) Sehschärfe und Formensehen.

Noch verwickelter werden die Verhältnisse, wenn man zur Bestimmung der Sehschärfe, wie dies in der Praxis zumeist geschieht, das Erkennen von Figuren benützt. Dabei kommen ganz neue Faktoren in Betracht, deren Wesen erst im folgenden genauer erörtert werden kann, deren Bedeutung für die Sehschärfepfung wir uns aber hier schon durch die Analyse der Erscheinungen, die bei der Betrachtung einfachster Objekte an der Grenze der Wahrnehmbarkeit auftreten, klarmachen wollen. Nehmen wir eine einzelne kleine weiße Fläche auf schwarzem oder eine schwarze Fläche auf weißem Grunde, so sieht man sie an der Grenze der Wahrnehmung zunächst als verwaschenen rundlichen Fleck, man erkennt daher auch die Form der Fläche zunächst nicht, kann also Kreise, Dreiecke, Quadrate usf. nicht voneinander unterscheiden. Erst bei weiterer Vergrößerung des Gesichtswinkels erkennt man dann allmählich deutlicher zunächst die Form der Fläche. Untersuchungen darüber unter Berücksichtigung der Flächengröße und der Belichtung hat insbesondere S. EXNER (46) ausgeführt, indem er als Kriterium für das Erkennen der Form die Fähigkeit benützte, ein liegendes von einem stehenden Rechteck zu unterscheiden. Dabei erscheinen aber die Umrisse der Figur immer noch etwas verwaschen. Ganz scharf sieht man sie erst bei noch weiterer Vergrößerung des Gesichtswinkels. An kreisrunden kleinen Flächen hat LÖHNER (70, S. 91 ff.) festgestellt, daß der Unterschied im Gesichtswinkel für das Ebenmerklichwerden des Fleckes und für das Scharfsehen seines Randes individuell sehr schwankt. Das liegt zum Teil daran, daß es außerordentlich schwer ist, die Grenze anzu-

geben, bei der der Umriß der Figur eben scharf erscheint. Offenbar sehen verschiedene Beobachter verschiedene Phasen des allmählichen Überganges als den wirklichen Eintritt des Scharfsehens an. Wir haben demnach beim Sehen einzelner Flächen wohl voneinander zu unterscheiden die oben im ersten Abschnitt besprochene Grenze der Sichtbarkeit des zunächst verwaschenen Fleckes und das nunmehr in Rede stehende Erkennen der Form der Fläche. Man kann dies letztere wohl auch als das Formensehen bezeichnen (GUILLERY gebrauchte dafür den Ausdruck »Formensinn«).

Auch wenn man die eben merkbare Sonderung zweier kleiner Flächen (weiß auf schwarzem Grunde oder schwarz auf weißem Grunde) feststellen will, sieht man zu allererst einen durch die Verschmelzung der beiden Flächen entstandenen, verwaschen begrenzten, einheitlichen Fleck. Dieser wird mit der Vergrößerung des Gesichtswinkels allmählich länglich, erhält dann eine leichte Einbuchtung von der Seite her, die immer tiefer und tiefer eingreift, bis schließlich die Trennung eine durchgehende ist, womit die eigentliche Grenze des Auflösungsvermögens gefunden ist. Wird aber dem Beobachter die Frage gestellt, ob ein oder zwei Punkte vorliegen, so kann er die Entscheidung schon treffen, bevor er noch die beiden Punkte wirklich scharf gesondert sieht, wenn er sich an die erste leichte Einbuchtung hält. Günstiger liegen die Verhältnisse, wenn dem Beobachter mehrere parallele gerade Striche dargeboten werden und er anzugeben hat, welche Richtung sie besitzen. Man sieht zwar auch da zunächst eine verwaschene Schattierung des Grundes, und man lernt es, aus diesen verschwommenen Umrissen die Richtung der Striche merklich eher zu erraten, als man sie wirklich scharf getrennt sieht. Aber der Unterschied zwischen diesem ersten Erraten und dem wirklichen Erkennen der Sonderung der Striche ist hier nicht groß, und es hält nicht schwer, die Grenze anzugeben, von der an man die parallelen Striche deutlich gesondert sieht. Insofern sind also für Sehschärfestimmungen parallele gerade Striche den Punkten vorzuziehen.

Gehen wir nun von diesen verhältnismäßig einfachen Fällen zu jenen Figuren über, die in der Praxis zur Untersuchung der Sehschärfe benützt werden, so wiederholt sich der Unterschied zwischen dem Erraten der Figur, die sich aus der Deutung des zunächst verwaschenen Bildes ergibt, und dem Scharfsehen der Umrisse in noch höherem Grade. Die einfachsten derartigen Figuren sind die SNELLENSchen Haken, die in den bekannten SNELLENSchen Quadratblock so eingezeichnet sind, wie es Fig. 40 *a* u. *b* zeigen, und der LANDOLTSche Ring, der an einer Stelle eine Unterbrechung besitzt, die ebenso groß ist, wie die Dicke des Ringes. Die Untersuchung der Sehschärfe wird mit ihnen so angestellt, daß der Untersuchte, der die Form des Testobjektes kennt, bei Vorlage einer Anzahl von Haken oder



Fig. 40.

Ringen verschiedener Größe und Lage anzugeben hat, nach welcher Richtung hin der SNELLENSche Haken offen ist, bzw. an welcher Stelle des LANDOLTSchen Ringes sich die Unterbrechung befindet. Zur Vereinfachung der Aussagen gibt man dem Untersuchten ein Pappmodell des Hakens oder Ringes mit einem Handgriff in die Hand, das er in dieselben Lagen zu bringen hat, wie er sie am Probeobjekt sieht.

Bei diesem Verfahren ist nun besonders wesentlich für die Deutung der Figur, daß man ihre Form von vornherein bereits kennt und nur noch ihre Lage anzugeben hat. Es ist dann verhältnismäßig leicht, schon aus der Verteilung von Hell auf der einen und von Dunkel auf der anderen Seite des verwaschenen Bildes die Richtung des SNELLENSchen Hakens herauszubringen. Daraus geht aber hervor, daß das Erkennen dieser Proben, besonders bei Ungeschulten, durchaus nicht ohne weiteres der gesonderten Wahrnehmung der parallelen Striche des Hakens gleichzusetzen ist, und daß demnach auch der Gesichtswinkel des Zwischenraumes zwischen den Strichen unter diesen Umständen nicht für das Erkennen der Figur maßgebend ist. Aber auch das Erkennen der Lücke im LANDOLTSchen Ring ist nicht gleichbedeutend mit der scharfen Sonderung ihrer Ränder, sondern erfolgt schon vorher aus dem Auftreten einer Erhellung an einer Stelle des Umfanges des Ringes.

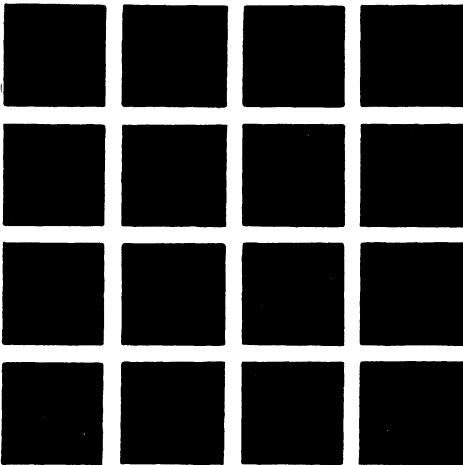
Dem Nachteil, daß dem Untersuchten die allgemeine Form der Figur von vornherein bekannt ist, entgeht man, wenn man sehr verschiedene Probeobjekte durcheinander verwendet. Sehr eingeschränkt wird er daher schon durch die in der Praxis übliche Verwendung von Probefiguren und Probezahlen. Nur ist auch hierbei der Gesichtswinkel, unter dem die Distanzen der einzelnen Striche der Buchstaben und Zahlen gesehen werden, nicht das allein entscheidende Maß der Sehschärfe. Vielmehr hängt diese, wie besonders die Versuche von PERGENS (75—80), GUILLERY (54, 56, 57), GEBB und LÖHLEIN (69), LÖHNER (70) und vielen anderen zeigen, außerdem noch von der speziellen Form der Probeobjekte ab. Es ist sehr schwer, aus den zahlreichen Einzelbeziehungen, die von diesen Autoren an den verschiedensten Figuren, u. a. auch am LANDOLTSchen Ring und den SNELLENSchen Haken, nachgewiesen wurden, allgemeinere Sätze abzuleiten. Nur auf zwei Punkte sei hier besonders hingewiesen.

Zunächst beteiligt sich bei Figuren, die sich aus mehreren Einzelteilen zusammensetzen, regelmäßig auch der Simultankontrast. Ein hübsches Beispiel für seine Wirkung erhält man, wenn man die Fig. 44 bei recht heller Beleuchtung aus so großer Entfernung betrachtet, daß die Form der Quadrate eben an der Grenze der Wahrnehmung liegt. Wenn man dann etwas vor- oder zurückgeht, wird man leicht eine Entfernung finden, aus der man die Quadrate im Innern der Figur schon als solche erkennt, während die am Rande der Figur noch eine nach außen hin runde Begrenzung

zeigen. Der Simultankontrast plattet die Flecken in der Mitte gleichsam gegeneinander ab. Genau genommen wird der Vorgang allerdings durch die später zu besprechenden Phänomene der »Gestaltauffassung« etwas komplizierter. Ganz scharf sieht man nämlich eigentlich nur die geraden Streifen, die durch die Figur hindurchziehen. Die schwarzen Quadrate im Innern der Figur besitzen dabei noch immer eine etwas unbestimmte Form.

In anderen Fällen soll das Erkennen von Figuren angeblich durch die Möglichkeit eines Vergleichs erleichtert werden. So erklärt es GUILLERY (56), daß er ebenso wie PERGENS (75) die Lücke im oberen Strich der Fig. 12 *b* schon aus größerem Abstand erkennt, als die in Fig. 12 *a*, weil sie im

Fig. 11.



ersteren Fall mit dem nicht unterbrochenen unteren Strich verglichen werde, was das Erkennen der Lücke besonders dann begünstige, wenn der untere Strich noch etwas verstärkt wird. Ich muß allerdings die Richtigkeit dieser Annahme ganz dahingestellt sein lassen, weil ich die Tatsachen selbst nicht sicher bestätigen kann.

Fig. 12.



In zahlreichen weiteren Fällen ist es noch weniger möglich, den eigentlichen Grund für die leichtere oder schwerere Erkennbarkeit bei einer Änderung der Form der Figur anzugeben. Aber wenn auch auf diese Weise die Bedingungen für das Erkennen der gewöhnlichen Sehproben recht verwickelt und schwer zu erfassen sind, so bleiben die letzteren trotzdem für praktische Zwecke, ja in vielen Fällen sogar zu wissenschaftlichen Vergleichen der Sehschärfe unter verschiedenen Umständen wohl verwendbar. Man muß sich nur hüten, aus den Untersuchungen mit ihnen zu weitgehende theoretische Folgerungen zu ziehen oder ihre Konstruktion aus unzutreffenden theoretischen Voraussetzungen abzuleiten. Vielmehr muß ihre Ausgestaltung auf rein empirischem Wege erprobt werden. Ich verweise in dieser Hinsicht auf die Ausführungen von HESS zu den Internationalen Sehproben (58) und in diesem Handb. I. c. S. 217 ff.



### e) Die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtung.

Der zweite Faktor, von dem das Auflösungsvermögen des Auges wesentlich abhängt, ist der Farbenunterschied zwischen Objekt und Grund. Beschränken wir uns zunächst auf die Besprechung der tonfreien Farben der Weißschwarz-Reihe, so ist der einfachste Fall der, daß als Objekt eine leuchtende Figur auf lichtlosem Grunde vorliegt und nur die Lichtstärke der Figur variiert wird. Sendet auch der Grund Licht aus, so werden die Verhältnisse verwickelter, weil dann außer der absoluten Lichtstärke des Objekts auch der Lichtunterschied zwischen Objekt und Grund mit berücksichtigt werden muß. Verwendet man zu den Versuchen nicht selbstleuchtende, sondern lichtreflektierende Flächen, z. B. weißes auf schwarzem oder schwarzes auf weißem Papier, so hängt der Lichtunterschied zwischen Objekt und Grund von der Beleuchtung der Flächen ab. In diesem Falle nimmt bei zunehmender Beleuchtung der absolute Lichtunterschied zwischen Objekt und Grund zwar immer mehr zu, aber die Lichtstärke des Objektes und des Grundes stehen bei jedem Beleuchtungsgrad in demselben Verhältnis zueinander.

Wie sich mit zunehmender Tagesbeleuchtung die Farbe der Objekte aus dem in schwacher Dämmerung zunächst nur wenig differenzierten mittleren Grau heraus immer stärker und stärker, sowohl nach dem Weiß, als auch nach dem Schwarz hin vertieft, das Dunkle schwärzlicher, das Helle immer weißlicher wird, hat HERING in diesem Handbuch (4. Teil, Kap. 42, S. 70 ff.) schon eingehend geschildert. Entsprechend dem zunehmenden Farbengegensatz nimmt dabei auch die Sehschärfe allmählich zu, doch ist ihre Abhängigkeit von der Belichtung höchst verwickelt. Die Änderung der allgemeinen Beleuchtung bewirkt nämlich außer der Änderung der von den Objekten reflektierten Lichtmenge auch eine Umstimmung der Lichtempfindlichkeit des Auges selbst, die wir in den Extremen als Hell- und Dunkeladaptation bezeichnen. Diese beeinflußt ihrerseits wieder die Sehschärfe, vorwiegend zwar der Netzhautperipherie, wo sie am ausgesprochensten ist, aber auch die zentrale. Ferner ändert sich mit der allgemeinen Belichtung auch die Weite der Pupille, was bei etwas höheren Lichtstärken, wie HUMMELSHEIM (59) zeigte, ebenfalls einen merklichen Einfluß auf die Sehschärfe hat, und endlich fällt bei heller Außenbeleuchtung außer von den Sehproben noch eine Menge Licht von seitlichen Objekten (etwa den hellen Fenstern) ins Auge, das sich zum Teil als falsches Licht über die Netzhaut ergießt. Nun haben sich die bisherigen Untersucher (ich verweise bezüglich der Literatur auf die Zusammenstellungen derselben bei UHTHOFF, 92, und OGUCHI, 72) zumeist mit der Ermittlung der ja praktisch außerordentlich wichtigen Beziehung zwischen Sehschärfe und Belichtung im allgemeinen beschäftigt, haben also dabei die Änderungen der Adaptation und meist auch die Änderung der Pupillenweite mit in Kauf genommen.

Daher ist es kein Wunder, daß sich in diesen Fällen keine einfache Beziehung zwischen Lichtstärke und Sehschärfe ergeben hat. Außerdem weichen die Versuchsbedingungen bei den einzelnen Autoren vielfach voneinander ab, so daß auch ihre Ergebnisse nicht immer direkt miteinander vergleichbar sind.

Setzen wir vorerst den Fall, es werden dem Auge verschiedene stark belichtete Sehproben auf einem Grunde dargeboten, der lichtlos ist oder so wenig Licht reflektiert, daß wir dessen Lichtzunahme unberücksichtigt lassen können. Dann zeigt sich, daß die Sehschärfe bei zunehmender Belichtung der Proben anfangs rasch, später zunehmend langsamer ansteigt und schließlich ein Optimum erreicht, von dem sie bei noch höheren Lichtstärken unter Umständen sogar wieder absinken kann. Trägt man die Sehschärfen als Ordinaten über einer Abszisse, auf der die Lichtintensitäten angegeben sind, nach oben zu auf, so erhält man nach den Versuchen von UHTHÖFF (l. c.) eine Kurve — sie ist in diesem Handbuch schon von LANDOLT (Bd. 4, Abt. 1, S. 455) reproduziert worden —, die anfangs bis zu einer Belichtung von etwa 3—4 Meterkerzen ganz steil ansteigt. Dann wird ihr Anstieg zunehmend flacher und bei einer Belichtung von 33 oder etwas mehr MK erreicht die Kurve ein Maximum, das bis zu 400 MK Belichtung nicht mehr überschritten wird. Nur trat bei manchen Personen bei den höchsten Lichtstärken schon wieder eine Verringerung der Sehschärfe ein. Ebenfalls vom dunkel adaptierten Auge ausgehend, fanden auch LAAN und PICKEMA (vgl. SNELLEN, 90), daß das Maximum der Sehschärfe bei einer Beleuchtung von 50 MK, und wenn das Auge gut dunkel adaptiert ist, schon bei 30 MK erreicht werde. COHN (42) fand in analogen Versuchen, daß der Anstieg der Sehschärfe mit zunehmender Lichtstärke der Sehproben individuell außerordentlich variiert.

Die Ergebnisse der angeführten Versuche haben, wie gesagt, ihre große praktische Bedeutung, aber sie geben keinen Aufschluß über die theoretische Frage, inwieweit die Änderung der Sehschärfe auf die Änderung der Lichtstärke an sich oder auf die Änderung der Adaptation bezogen werden darf. In diesen Versuchen war nämlich der ursprüngliche Anpassungszustand des Auges der einer völligen Dunkeladaptation. Bei der Darbietung der hellen Sehproben ändert sich dieser aber je nach der Lichtstärke und der Betrachtungsdauer der Proben. Zur weiteren Analyse wären daher Versuche heranzuziehen, in denen die Sehschärfe des hell und des dunkel adaptierten Auges bei wechselnder Lichtstärke der Sehproben direkt miteinander verglichen werden. Derartige Vergleichsversuche sind in sehr exakter Weise — mit vorgeseztem, stets gleich weitem Diaphragma; Ausschluß seitlicher Belichtung des Auges; Betrachtung durchleuchteter SNELLENscher Haken auf lichtlosem Grunde; gleicher objektiver Lichtstärke für Hell- und Dunkelauge — von BLOOM und GARTEN (37) ausgeführt worden. Das eine Auge der Versuchsperson

war vor dem Versuch durch langen Lichtabschluß dunkel adaptiert worden, das andere war hell adaptiert. An letzterem ändert sich zwar beim Hereinblicken in den dunklen Apparat etwas die Adaptation, aber doch nur wenig und stets in gleicher Weise. Die Änderung der Dunkeladaptation im anderen Auge infolge Betrachtung der Sehproben wurde durch kurzdauernde Belichtung derselben mittels eines elektrischen Funkens verhindert. BLOOM und GARTEN fanden nun, daß bei sehr geringen Lichtstärken die zentrale Sehschärfe des Dunkelauges höher ist, als die des Hellauges, daß aber mit zunehmender Lichtstärke die Sehschärfe des Hellauges wesentlich rascher ansteigt, als die des Dunkelauges, so daß schließlich die Sehschärfe des ersteren der des letzteren weit überlegen ist. Ich gebe in Tabelle 5 die Zahlen für die Augen von GARTEN wieder, wobei als Einheit der Lichtintensität eine willkürlich gewählte, sehr schwache Belichtung eingesetzt und die Sehschärfe in Dezimalen der SNELLENSchen Einheit ausgedrückt ist.

Tabelle 5.  
Sehschärfe in Dezimalen der Snellenschen Einheit.

Lichtstärke	Sehschärfe	
	Hellauge	Dunkelauge
4	0,27	0,36
4,55	0,27	0,36
3,45	0,31	0,55
6,62	0,37	0,55
12,90	1,09	0,55

Ein ähnliches Ergebnis ließe sich, allerdings mit weniger Sicherheit, auch schon aus früheren Versuchen von KÖNIG (62) erschließen. KÖNIG selbst leitete aus seinen Versuchen ab, daß die Sehschärfe  $S$  von der Belichtungsintensität  $B$  nach der Formel  $S = a \log \frac{B}{k}$  abhängt, wobei  $a$  und  $k$  Konstanten darstellen, die je nach den Verhältnissen verschieden seien. Die Konstante  $a$  sei beim »Stäbchensehen« 10 mal kleiner, als beim »Zapfensehen«. Die Konstante  $k$  hänge vom Helligkeitswerte des Lichtes ab. Proportionalität der Sehschärfe zu  $\log B$  hatte für kleine Lichtunterschiede schon POSCH (84) angegeben. Vgl. ferner die Resultate von TWINING bei FECHNER (17, Bd. 4, S. 269) und FECHNERS Kritik derselben.

Nach SNELLEN (90, S. 176 ff.) sollte die Sehschärfe des dunkel adaptierten Auges durchschnittlich besser sein, als die des hell adaptierten. Zu dieser Angabe und denen von BUTTMANN (39), KOESTER (63) und A. E. FICK (47) vgl. man die Bemerkungen von BLOOM und GARTEN (l. c., S. 406).

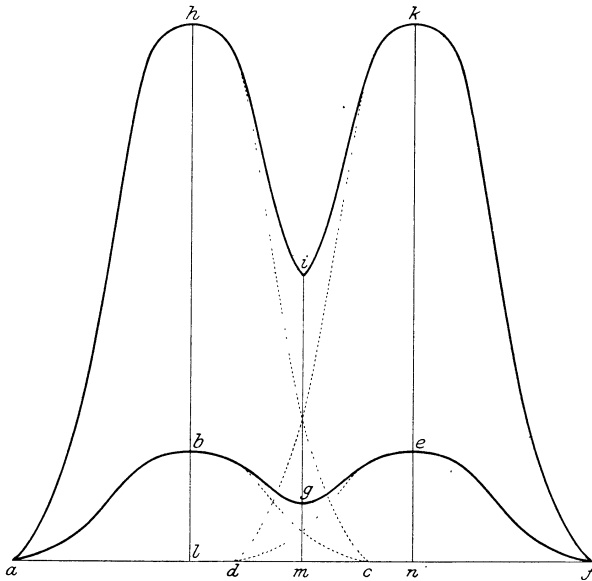
Das Ergebnis dieser Versuche und alle sonstigen Erfahrungen machen es nun wahrscheinlich, daß ebenso wie dies HERING in diesem Handbuch

(l. c. S. 72 ff.) für die Deutlichkeit des Sehens (vgl. deren Definition unten S. 46) ausgesprochen hat, auch die Sehschärfe bei jedem Adaptationsgrad mit zunehmender Lichtstärke zunächst zunimmt, dann ein relatives Maximum erreicht, von dem sie bei noch höherer Lichtstärke wieder absinkt. Dieses Maximum liegt für das dunkel adaptierte Auge niedriger, als für das hell adaptierte, und der höchste, überhaupt erzielbare Betrag der Sehschärfe, ihr absolutes Maximum, wird daher vom hell adaptierten Auge bei einem bestimmten, aber individuell verschiedenen Optimum der Lichtstärke erreicht werden.

Die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Lichtstärke bietet insofern ein besonderes theoretisches Interesse, als sie einen klaren Beweis für die auch im normalen, wohl akkommodierten Auge vorhandene Unschärfe der Netzhautbildchen liefert. Würde nämlich die Belichtung der Netzhaut durch die leuchtende Sehprobe auf lichtlosem Grunde ganz scharf mit der Grenze des schematischen Netzhautbildchens abschneiden, so wäre nicht recht abzusehen, warum bei herabgesetzter Lichtstärke größere Distanzen zur Unterscheidung zweier leuchtender Objekte voneinander notwendig sein sollten, als bei hoher Lichtstärke. Denn die Objekte sollten dann doch, wenn ihre Lichtstärke überhaupt über der Schwelle liegt, stets gleich groß erscheinen, und auch der Zwischenraum zwischen ihnen müßte trotz verschiedenster Lichtstärke gleich bleiben. Auch die Irradiation, die man unter der obigen Voraussetzung bloß noch auf eine physiologische Ausbreitung der Erregung im Sehorgan beziehen dürfte, könnte die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Lichtstärke nicht erklären. Diese müßte nämlich bei leuchtenden Objekten eine mit steigender Lichtstärke zunehmende Vergrößerung derselben auf Kosten des dunklen Zwischenraumes herbeiführen — wie es bei sehr hohen Lichtstärken tatsächlich der Fall ist (siehe unten!) —, während bei den Sehschärfebestimmungen mit niedrigeren Lichtstärken doch gerade umgekehrt der Zwischenraum um so merklicher wird, je höher die Lichtstärke wird. Dagegen wird dieses Verhalten wohl verständlich, wenn wir uns auf die tatsächlich vorhandenen Formen der Lichtflächen beziehen, die wir oben besprochen haben. Es sei *abgef* in Fig. 43 der Querschnitt einer aus den beiden einfachen Lichtflächen *abc* und *def* zusammengesetzten Lichtfläche eines Doppelpunktes von verhältnismäßig geringer Lichtstärke auf lichtlosem Grunde. Erhöht sich die Leuchtkraft auf das Fünffache, so erhalten wir, da bei gleicher Pupillenweite nicht die Ausdehnung der Lichtflächen, wohl aber die Steilheit ihres Abfalles zunimmt, als Querschnitt der Gesamtlichtfläche beider Punkte die Kurve *ahikf*, deren Einbuchtung bei *hik* fünfmal größer ist, als die Einbuchtung *bge*. Wäre nun allein das Verhältnis der Höhe *mg* zu *lb* (oder *ne*) und *mi* zu *lh* (oder *kn*) für die Unterschiedsempfindlichkeit für Licht maßgebend, so müßte freilich die Senke *hik* ebenso merk-

lich sein, wie die Senke *bge*. Dies trifft aber, wie wir sehen, nicht zu, vielmehr hängt die Merklichkeit des Unterschiedes, wie HERING in diesem Handbuch ausführlich gezeigt hat, auch von der absoluten Lichtstärke, sowie von der Wechselwirkung der Netzhautstellen, speziell vom Grenzkontrast ab. Sinkt der Lichtunterschied zwischen Sehprobe und Grund unter eine gewisse Grenze herab, so reicht der Grenzkontrast nicht mehr hin, das verwaschene Netzhautbild in ein Empfindungsbild mit scharfen Grenzen umzugestalten, man sieht dann die Ränder der Objekte verwaschen, und die

Fig. 13.



Sehschärfe nimmt dementsprechend stark ab. Bei den geringsten Lichtstärken, die eben über der Schwelle liegen, kommt dann noch eine andere Erscheinung hinzu, über die wir unten S. 99 ff. ausführlicher sprechen werden.

Auf der anderen Seite macht sich nun bei sehr hohen Lichtstärken der Einfluß der Irradiation immer mehr und mehr geltend. Stark leuchtende Punkte erscheinen unregelmäßig strahlig ausgebreitet. Liegen zwei solche Punkte dicht nebeneinander, so fließen ihre Empfindungsflächen um so mehr zusammen, und die Sonderung der beiden Punkte wird um so schwieriger, je höher ihre Lichtstärke ist. Ist einer der leuchtenden Punkte wesentlich lichtschwächer als der andere, so kommt es zu dem speziell an Doppelsternen sogenannten »Überglänzen« des lichtschwächeren durch den lichtstärkeren. Für das Auftreten dieser Erscheinung ist nun selbstverständlich

nicht der Betrag der Lichtstärke allein maßgebend, sondern auch der Zustand des Auges. Je größer dessen Lichtempfindlichkeit ist, bei desto niedrigeren Lichtstärken tritt das Phänomen des Überglänzens und die dadurch bewirkte Herabsetzung der Sehschärfe auf. Daher rührt es denn auch — im Verein mit der an sich niedrigeren Sehschärfe des dunkel adaptierten Auges für größere Lichtstärken —, daß das Sonderungsvermögen für Doppelsterne vergleichsweise so niedrig ist: es geht bei den allermeisten Personen nicht unter  $3-3\frac{1}{2}'$  herunter (AUBERT, 1, S. 203, 210 und 233).

Sendet außer der Sehprobe auch der Grund Licht aus, handelt es sich also um lichtreflektierende Flächen von verschiedenem Remissionsvermögen, so ändern sich bei verschieden starker Belichtung die Kurven der Fig. 13 insofern, als ihre Erhebung nicht von der Nulllinie, sondern von einem höheren Niveau ausgeht, das mit zunehmender Belichtung ebenfalls proportional ansteigt. Gesetzt den Fall, der Grund reflektierte bloß den zehnten Teil des Lichtes, wie das Probeobjekt, so würde in unserer Figur die Kurve *abgef* von einer Linie auszugehen haben, die 1,44 mm über der Abszisse verläuft, die Kurve *ahikf* bei fünfmal höherer Belichtung von einer Linie, die 7,2 mm über der Abszisse liegt. Auch hier bleibt die Theorie dieselbe: die Sehschärfe nimmt bei zunehmender Beleuchtung zunächst bis zu einem dem betreffenden Adaptationsgrad entsprechenden relativen Maximum zu und von da an wieder ab.

Tabelle 6.

<i>b</i>	<i>d'</i>
444''	29''
94	46
76	60
65	72
57	97
51	107
46	110

Verwendet man, wie es bei der augenärztlichen Untersuchung am gebräuchlichsten ist, als Sehprobe schwarz gedruckte Figuren auf weißem Grunde, so wäre, da nach HERING (dieses Handb., I. c., S. 44) gute Drucker-schwärze ungefähr den 15. Teil des Lichtes reflektiert, wie weißes Papier, das Verhältnis der Lichtstärken bei verschiedener Beleuchtungsintensität konstant ungefähr 1:15. Wenn man nun verschiedene Sehproben bei wechselnder Beleuchtung untersucht, so stellt sich heraus, daß sich der Einfluß der Beleuchtung auch je nach der Größe und Form der Sehprobe verschieden äußert. Das kann man schon aus Versuchen von AUBERT

ableiten. Als AUBERT die in der Tabelle 2 (oben S. 30) niedergelegten Versuche über die Sonderung verschieden großer weißer Quadrate auf schwarzem Grunde, die an einem nicht besonders hellen Tage ausgeführt worden waren, an einem auffallend hellen Tage wiederholte, fand er die in Tabelle 6 wiedergegebenen Beziehungen zwischen Sehschärfe  $d'$  und dem Gesichtswinkel  $b$  für die Seitenlänge der zu sondernden Quadrate. Für genügend große Quadrate war die Sehschärfe bei beiden Lichtstärken gleich. Je kleiner aber die Quadrate waren, desto deutlicher wurde sie durch die Zunahme der Belichtung begünstigt. Ich selbst habe derartige Vergleichs-

versuche außer an der in Fig. 8 wiedergegebenen Doppelpunktanordnung von LÖHNER auch an drei parallelen geraden Strichen, die fünfmal so lang als breit waren und deren Abstand voneinander gleich ihrer Dicke war (Fig. 8), sowie an SNELLENSchen Haken gleicher Größe — sämtlich schwarz auf rein weißem Grunde gedruckt —, bei sehr verschiedener, aber beidemal heller Tagesbeleuchtung ausgeführt, nämlich a) im Freien bei grellem Mittagssonnenschein und direkter Sonnenbelichtung der Sehproben, und b) in einem sehr hellen Zimmer an einem sonnigen Tage bei indirekter Beleuchtung der Sehproben. Von dem letzteren Versuch stammt die Tabelle 4, welche das Ergebnis an den LÖHNERSchen Doppelpunkten angibt. Im direkten Sonnenlicht fand ich die Zahlen der Tabelle 7. Sie sind freilich nicht ganz so

Tabelle 7.

$b$	$d'$
65''	65''
62	62
52	78
52	90
44	103
39	116

zuverlässig wie die anderen, weil sich bei der grellen Beleuchtung schon nach kurzer Betrachtung der Proben ein Schleier über dieselben legt und man daher nur auf den flüchtigen Eindruck des ersten Blickes angewiesen ist. Daher rühren die nicht unbedeutlichen Unterschiede der Einzelbestimmungen. Trotzdem ist die Erhöhung der Sehschärfe im Sonnenlicht ganz bedeutend. Geringer, aber doch auch noch wahrnehmbar ist sie an den parallelen Strichen, die an der Sonne unter 36—37'' eben erkannt wurden, während im hellen Zimmer die äußerste Grenze des Erkennens bei 44'' lag und sie erst bei 44'' sicher erkannt wurden. Dreizeinkige SNELLENSche Haken wurden etwas leichter, im direkten Sonnenlicht bei

34—34'' zwischen ihren Zinken, im hellen Zimmer bei 34—39'' erkannt. Auch bei diesen Proben wurde bei direkter Sonnenbelichtung und dauernder Betrachtung die Sehschärfe infolge der Blendung durch den weißen Grund stark beeinträchtigt. Die Ursache für die angeführten Unterschiede der Sehschärfe ist offenbar in der Wirksamkeit des Simultankontrastes gegeben. Je stärker dieser wirksam ist, je ausgedehnter also die zu sondernden Flächen sind, desto eher bewirkt er schon bei niedrigeren Beleuchtungsstärken eine Annäherung an das Maximum der Sehschärfe — demnach bei größeren Quadraten eher als bei kleineren, bei Strichen eher als bei Punkten.

Bei schmalen Strichen bleibt die Abhängigkeit des Sonderungsvermögens von der Summe der Strichbreite plus dem Zwischenraum, die oben S. 32 beschrieben wurde, auch bei verschiedener Beleuchtung bestehen. Man kann dies am einfachsten dadurch feststellen, daß man die Teile der Fig. 9 auf S. 33 bei verschieden starker Beleuchtung betrachtet. Natürlich äußert sich die Zunahme der Sehschärfe bei stärkerer Beleuchtung darin, daß die Summe  $b + d'$  abnimmt. Bei der Bestimmung des Sonderungsvermögens zweier feiner Drähte, die vor einem leuchtenden Hintergrunde meßbar verschieblich angebracht waren, fand ich in zwei aufeinanderfolgenden Versuchen, in denen die Werte von  $b$  und  $d'$  gerade miteinander vertauscht waren, die in Tabelle 8 enthaltenen Zahlen. Man sieht, daß bei einer und derselben Lichtstärke die Summe  $b + d'$  konstant bleibt, mit zunehmender Lichtstärke aber kleiner wird.

Tabelle 8.

Lichtstärke	$b$	$d'$	$b + d'$
4	24''	59''	83''
2	27''	66''	93''
1	29''	71''	100''
4	57''	23''	80''
2	67''	27''	94''
1	69''	27,5''	96,5''

Benützt man, wie in den oben beschriebenen Versuchen, auf weißen Grund gedruckte Figuren als Sehproben, so ist man nur auf ein Verhältnis der Lichtstärke von Objekt und Grund beschränkt. Um die Versuche weiter auszudehnen, bediente ich mich einer Vorrichtung, bei der die Sehproben in Ausschnitten in einer Blechscheibe bestanden, die von hinten her gleichmäßig durchleuchtet wurden, und bei der außerdem noch Licht auf die mattweiß lackierte Vorderfläche der Scheibe zugespiegelt werden konnte. Auf diese Weise war es möglich, einerseits die mit einer bestimmten Lichtstärke durchleuchtete Sehprobe auf lichtlosem Grunde mit der gleichen



Probe auf verschieden hellem Grunde zu vergleichen, andererseits während der Versuchsreihe beliebig auch die absolute Lichtstärke zu ändern. Sucht man mit diesem Apparat zunächst die Lichtstärke für die durchleuchteten Sehproben auf lichtlosem Grunde auf, bei der das relative Maximum der Sehschärfe für einen bestimmten Adaptationsgrad liegt, die obere Grenze also, von der ab die Sehschärfe durch die Irradiation wieder eingeschränkt wird, und spiegelt sodann dem Grunde Licht zu, so muß man, um wieder dieselbe Sehschärfe zu erzielen wie vorher, die Lichtstärke der Sehproben um so mehr erhöhen, je mehr Licht der Grund selbst ausendet. Das beruht auf zweierlei Ursachen. Erstens mischt sich in diesem Falle das vom schematischen Netzhautbildchen der Sehprobe abweichende Licht mit dem Licht des Grundes. Je stärker nun das letztere ist, desto größer muß nach dem WEBERSchen Gesetz der Zuwachs an Licht sein, damit die Zunahme der Lichtstärke eben merklich wird. Daher wird auch das irradiierende Licht um so weniger merklich, je lichtstärker der Grund ist. Weitaus wichtiger aber ist, daß durch die Belichtung der Umgebung die Lichtempfindlichkeit der von der leuchtenden Sehprobe selbst gereizten Netzhautstellen herabgesetzt wird. Die Sehprobe erscheint viel weniger hell, als auf lichtlosem Grunde. Die Belichtung der Umgebung wirkt also bis zu einem gewissen Grade so, wie eine Herabsetzung der Lichtstärke der Sehproben selbst.

Von der im flüchtigen Versuch bestimmten eigentlichen Sehschärfe ist zu unterscheiden, was HERING in diesem Handbuch (I. c., S. 68 ff.) als die Deutlichkeit des Sehens bezeichnet hat. Beim gewöhnlichen ungewungenen Sehen kommt es uns nicht so sehr darauf an, daß wir möglichst feine Einzelheiten, aber nur auf kurze Zeit, wahrnehmen, als vielmehr darauf, daß wir sie dauernd gut und ohne Mühe erkennen können. Das ist einerseits erschwert bei stark herabgesetzter Beleuchtung, andererseits aber auch bei sehr hohen Lichtintensitäten. So ergab sich oben schon, daß bei der Betrachtung von Sehproben im hellen Sonnenlicht die Sehschärfe rasch abnimmt, das Optimum der Lichtstärke für die Deutlichkeit Sehens daher schon überschritten ist. Bezüglich alles weiteren verweise ich auf die Darlegungen von HERING.

Gehen wir von den tonfreien zu den bunten Farben über, so ist die erste Hauptfrage die, ob die bunten Farben einen spezifischen Einfluß auf die Sehschärfe besitzen, oder ob die Sehschärfe in diesem Falle bloß der subjektiven Helligkeit parallel geht. Wäre letzteres der Fall, so wäre das nicht bloß theoretisch, sondern auch praktisch wichtig, beispielsweise wäre dann in der vergleichenden Sehschärfepfung bei verschiedenfarbigem Licht eine bequeme Methode zur heterochromen Photometrie gegeben. In der Tat hatte HELMHOLTZ (II, S. 426 ff.) aus Untersuchungen von UHTHOFF (93, 94) geschlossen, daß die Wahrnehmbarkeit bunt gefärbter

Sehproben im allgemeinen von ihrer subjektiven Helligkeit abhängt, wenn sich auch im einzelnen noch mancherlei Abweichungen herausstellten (vgl. ferner KÖNIG, 62). Im Gegensatz dazu gaben freilich mehrere andere Autoren einen spezifischen Einfluß der Farbe auf die Sehschärfe an, doch waren ihre Methoden nicht ganz einwandfrei. Indessen fand auch PAULI (73; hier ausführliche Literatur und Kritik der früheren Untersuchungen) in neueren Versuchen, wenn er die Farben nach subjektiv gleicher Helligkeit auswählte, beträchtliche Unterschiede zwischen den langwelligen und den kurzwelligen Lichtern. Die Sehschärfe ist vergleichsweise am geringsten im Blau und Grün, viel höher im Rot und am besten im Gelb. Nimmt man mit W. SIEMENS (88) die Sehschärfe bei einem bestimmten Licht als das Maß seines Beleuchtungswertes an, so war bei der von PAULI benutzten Anordnung (bei nahezu spektraler Sättigung der Farben) das Verhältnis des Beleuchtungswertes der verschiedenen Farben gegenüber weißem Licht folgendes:

Blau : Weiß	1 : 5,74
Grün : Weiß	1 : 4,26
Rot : Weiß	1 : 2,27
Gelb : Weiß	1 : 1,27 <sup>1)</sup> .

Auf den von SCHANZ (87) betonten Einfluß der Fluoreszenz der Augenmedien im kurzwelligen Licht lassen sich diese Unterschiede nicht zurückführen, sonst müßte die Sehschärfe im gemischten weißen Licht niedriger sein, als im gelben und roten.

Die genauere Erörterung des Einflusses der bunten Farben auf die Sehschärfe reicht in Gebiete hinüber, die an anderen Stellen dieses Handbuchs behandelt werden, und soll daher hier unterbleiben. Das gleiche gilt für die Abhängigkeit der Sehschärfe von seitlich einfallendem Licht, die im Handbuch ausführlich schon von HERING (l. c., S. 145 ff.), und von der Abnahme der Sehschärfe im Alter, die von HESS (l. c., S. 293 ff.) besprochen worden sind.

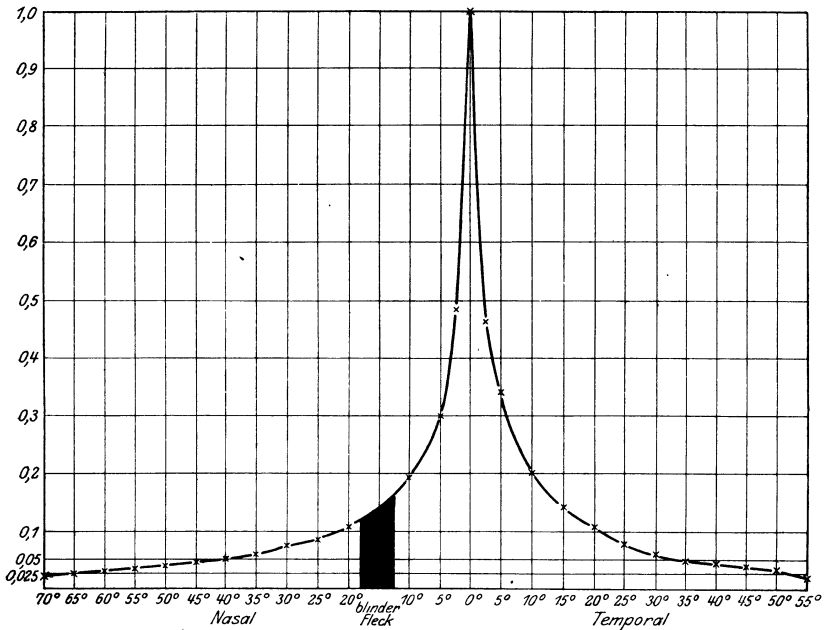
Bekannt ist, daß die Sehschärfe bei binokularer Betrachtung der Sehproben regelmäßig höher gefunden wird, als bei Prüfung mit einem Auge, während das andere verdeckt ist. Dies beruht darauf, daß, besonders bei längerer Beobachtungsdauer, die Regungen des abgeschlossenen (verdunkelten) Auges das Gesichtsfeld etwas verschleiern und so die Deutlichkeit des Sehens herabsetzen. Wenn man daher das Optimum der Sehschärfe eines Auges genau feststellen will, tut man gut, während der Prüfung das andere Auge immer nur auf kurze Zeit zu verdecken und es während der Untersuchungspausen wieder freizugeben.

1) Ein Überwiegen der Sehschärfe in Rot gegenüber Grün und Blau gab neuerdings auch RICE (83) an.

### f) Das Auflösungsvermögen der Netzhautperipherie.

Bei der Untersuchung der Sehschärfe auf der peripheren Netzhaut erheben sich im allgemeinen dieselben Fragen, wie für die Sehschärfe im direkten Sehen. Beim Vergleich beider werden wir daher sorgfältig darauf zu achten haben, daß er unter wirklich vergleichbaren Bedingungen erfolgt, daß er also mit den gleichen Sehproben, bei gleichbleibender Beleuchtung und gleichem Adaptationszustand ausgeführt wird. Solche Untersuchungen sind nach dem Vorbilde von AUBERT und FÖRSTER schon von einer ganzen

Fig. 15.

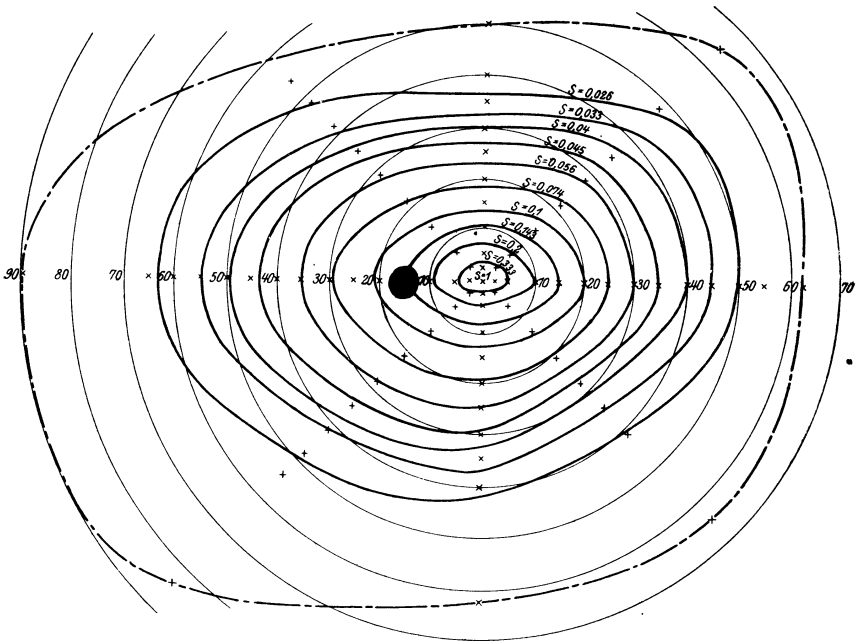


Reihe von Autoren angestellt worden, ich erwähne außer den bei WERTHEIM (95) und LANDOLT (dieses Handb. Bd. 4, Abt. 1, S. 570) angeführten neuerdings noch GROENOUW (48), GUILLERY (53), KÖSTER (63), BLOOM und GARTEN (37), RUPPERT (85).

Alle diese Untersuchungen ergaben im wesentlichen übereinstimmend eine Abnahme der unter gleichen Bedingungen gemessenen Sehschärfe vom Zentrum gegen die Peripherie hin, die neben der Stelle des direkten Sehens ungemein rasch, danach mehr allmählich erfolgt. Der Abfall ist nicht nach allen Seiten hin gleichmäßig, insbesondere geht er auf der temporalen Netzhauthälfte schneller vor sich, als auf der nasalen, nach oben hin schneller, als nach unten. Am übersichtlichsten lassen sich die

Verhältnisse graphisch darstellen, und ich gebe deshalb in Fig. 15 und 16 das Resultat einer ausgedehnten Versuchsreihe von WERTHEIM (95) nach seinen Diagrammen wieder. Fig. 15 zeigt das Verhalten der Sehschärfe im Horizontalschnitt des Auges auf der temporalen und nasalen Seite der Netzhaut, wobei auf der Abszisse der Grad der Exzentrizität, als Ordinaten die Sehschärfe in der Weise eingetragen ist, daß die zentrale Sehschärfe gleich 1 gesetzt und die periphere in Bruchteilen dieser Einheit angegeben ist. In Fig. 16 sind dann die Kurven gleicher Sehschärfe auf der Netzhaut dargestellt, wie sie sich nach den in vier verschiedenen Schnitten

Fig. 16.



(horizontal, vertikal und zwei unter  $45^\circ$  geneigte Richtungen) erhobenen Werten etwas schematisch ergeben. Sie verlaufen, wie man sieht, annähernd der gestrichelt eingezeichneten Grenze des Gesichtsfeldes parallel.

Vergleichen wir die Angaben von WERTHEIM mit denen anderer Autoren (AUBERT und FÖRSTER, DOR, RUPPERT), so stimmen sie in bezug auf den allgemeinen Verlauf der Kurven recht gut miteinander überein, aber die absoluten Zahlenwerte für die Sehschärfe in der Netzhautperipherie weichen bei den verschiedenen Autoren doch recht beträchtlich voneinander ab. Ich bringe in Tabelle 9 eine kleine Auswahl aus den Versuchen von DOR, WERTHEIM und RUPPERT, wobei ich in abgerundeten Zahlen die periphere

Sehschärfe als Bruchteil der zentralen (diese gleich 1 gesetzt) angebe. Die Unterschiede beruhen z. T. vielleicht darauf, daß DOR anscheinend mit hell adaptiertem, WERTHEIM und RUPPERT mit dunkel adaptiertem Auge arbeiteten, ferner aber werden sie wohl auch durch die verwendeten Sehproben bedingt. Es ist nach dem weiter unten Gesagten verständlich, daß die periphere Sehschärfe um so höher gefunden wird, je »eindringlicher« die Sehprobe erscheint.

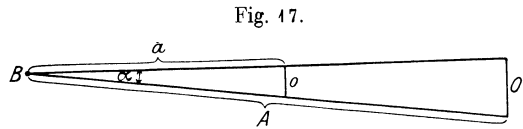
Tabelle 9.

Exzentrizität	DOR	WERTHEIM	RUPPERT
5°	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$
10°	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$
20°	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{10}$	—
30°	$\frac{1}{70}$	$\frac{1}{14}$	$\frac{1}{25}$
40°	$\frac{1}{300}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{42}$
50°	—	$\frac{1}{26}$	$\frac{1}{52}$
60°	—	$\frac{1}{32}$	$\frac{1}{66}$
70°	—	$\frac{1}{44}$	$\frac{1}{77}$

Als Ursachen für die Abnahme der Sehschärfe vom Netzhautzentrum gegen die Peripherie könnten mehrere in Betracht kommen. Zunächst könnte die unscharfe periphere Abbildung das Auflösungsvermögen verschlechtern, doch kommt diesem Umstande kein sehr beträchtlicher Einfluß zu, da die Abnahme der Sehschärfe in der nächsten Umgebung der Fovea, wo die Unschärfe der Abbildung noch sehr gering ist, am raschesten erfolgt (DOBROWOLSKI und GAINÉ, 44). Aus dem gleichen Grunde kann auch die von denselben Autoren angegebene geringere Unterschiedsempfindlichkeit für Licht in der Netzhautperipherie nicht das ausschlaggebende Moment sein. Von viel größerer Bedeutung ist es, daß wir unter gewöhnlichen Umständen beim ungezwungenen Sehen unsere Aufmerksamkeit dauernd nur den Gegenständen des direkten Sehens und ihrer nächsten Umgebung zuwenden. Erregt ein Gegenstand im indirekten Sehen unsere Aufmerksamkeit, so wenden wir Kopf und Augen derart, daß er sich auf der Stelle des direkten Sehens abbildet. Der Ungeübte kann daher anfangs nur schwierig bei festgehaltener Fixation seine Aufmerksamkeit einem exzentrisch abgebildeten Gegenstand zuwenden. Man erlernt dies aber allmählich, und es wird mit zunehmender Übung immer leichter. Nun hatte HELMHOLTZ (II, S. 605) die Beobachtung gemacht, daß er während ruhiger Fixation eines feinen Lichtpunktes im dunklen Felde, in dem ein mit großen Buchstaben bedecktes Blatt lag, bei plötzlicher Erhellung des Blattes durch einen elektrischen Funken die Buchstaben gerade jener exzentrischen Stelle des Gesichtsfeldes erkannte, dem er vorher seine Aufmerksamkeit zugewandt hatte, während die Buchstaben in den übrigen Teilen des Gesichtsfeldes größtenteils nicht

erkannt wurden. Daraus folgt, daß, je eindringlicher die peripheren Netzhautindrücke ins Bewußtsein eintreten, je größer nach G. E. MÜLLERS und HERINGS Bezeichnung ihr Gewicht ist, desto größer die Deutlichkeit des peripheren Sehens wird. Vermutlich ist so die zunächst ganz befremdliche Entdeckung von WERTHEIM (95) zu erklären, daß die periphere Sehschärfe für Gitter abhängig ist von der Größe der Netzhautbilder: sie war höher, wenn das Gitter eine größere Fläche bedeckte, und sie nahm ab, wenn er das Gitter durch eine Blende verkleinerte und dadurch die Eindringlichkeit seines Bildes abschwächte.

Auf den Einfluß der Aufmerksamkeit hat ferner neuerdings JAENSCH (9) eine von AUBERT und FÖRSTER (33) entdeckte Erscheinung bezogen, die bislang ganz rätselhaft erschien. AUBERT und FÖRSTER beobachteten nämlich, daß die periphere Sehschärfe keineswegs allein vom Gesichtswinkel der Sehprouben eindeutig abhängt. Die indirekte Sehschärfe bleibt nicht gleich groß, wenn man die Untersuchung einmal mit dem Objekt  $o$  im Abstand  $a$  vom Beobachter ausführt und sie dann mit dem größeren Objekt  $O$  aus dem größeren Abstand  $A$  wiederholt, auch wenn  $o$  und  $O$  vom Beobachter  $B$



aus, wie in Fig. 17, unter dem gleichen Gesichtswinkel  $\alpha$  erscheinen; vielmehr ist sie für nahe kleine Objekte (Buchstaben oder Doppelquadrate) höher, als für große, weiter entfernte Objekte, die unter dem gleichen Gesichtswinkel erscheinen. JAENSCH konnte diese von manchen Autoren angezweifelte Beobachtung bestätigen und die Bedingungen für ihr Auftreten genauer feststellen. Er deutet sie dahin, daß es sich dabei um eine Ausweitung und Verengung des mit der Aufmerksamkeit erfaßten Teiles des objektiven Gesichtsfeldes handle. Beim Sehen in die Nähe rücken wegen des damit verbundenen Kleinersehens aller Distanzen die peripher abgebildeten Gegenstände subjektiv näher an die Kernstelle des Sehraums, dem Zentrum des Gebietes, dem die Aufmerksamkeit zugewandt ist, heran, beim Sehen in die Ferne rücken sie dagegen wieder weiter von ihm ab. Infolgedessen reicht das mit der Aufmerksamkeit umfaßte — das auf einmal »überschaubare« — Gebiet des objektiven Gesichtsfeldes beim Sehen in die Nähe weiter gegen die Peripherie hin, als beim Sehen in die Ferne. Dem entspricht auch das Verhalten der Sehschärfe. Sie ist demnach an einer und derselben exzentrischen Netzhautstelle im ersteren Falle größer als im letzteren. Parallel mit der Verbesserung der exzentrischen Sehschärfe geht beim Sehen in die Nähe auch eine Änderung in der Farbe der Sehdinge. Diese wird bei der Mikropsie, wie dies insbesondere von KOSTER (64) studiert wurde, viel eindringlicher, als vorher, ihr »Gewicht« nimmt zu. JAENSCH

setzt seine Auffassung in bemerkenswerter Weise auch zu pathologischen Erscheinungen in Beziehung (s. Schielaugenamblyopie!), insbesondere benutzt er sie zur Erklärung der Gesichtsfeldeinschränkung bei Hysterischen, doch würde die nähere Besprechung dieser Dinge schon aus dem Rahmen dieses Kapitels herausfallen.

Da sich das Hinlenken der Aufmerksamkeit auf die Gegenstände der Netzhautperipherie bei festgehaltener Fixation mit der Übung immer leichter und leichter vollzieht, so ist zu erwarten, daß auch die indirekte Sehschärfe mit der Übung allmählich zunehmen wird. In der Tat wurde dies von DOBROWOLSKI und GAINÉ (44) nachgewiesen, und zwar stieg bei täglich einstündiger Versuchsdauer die periphere Sehschärfe in den ersten 6 Wochen bis zu einem Maximum, das in weiteren 2 Monaten nicht mehr überschritten wurde. Dabei war die Verbesserung der Sehschärfe durch die Übung in der äußersten Netzhautperipherie größer, als mehr gegen die Mitte zu.

Auch nach sehr langer Übung und möglicher Hinwendung der Aufmerksamkeit auf die Bilder exzentrischer Netzhautstellen bleibt indessen die Sehschärfe der letzteren immer noch weit niedriger, als die des Zentrums. Es müssen also in der Netzhautperipherie andere Gründe vorliegen, die eine so hohe Sehschärfe wie im Zentrum nicht zulassen. Welcher Art diese sind, läßt sich noch nicht mit voller Bestimmtheit sagen. Doch wird man in erster Linie an anatomische Besonderheiten in der Netzhautperipherie denken müssen.

Ein verhältnismäßig einfaches Schema würde sich darbieten, wenn die Duplizitätstheorie von v. KRIES und PARINAUD zuträfe, nach der die Zapfen die Perzeptionsorgane für das Hellsehen, die Stäbchen die Organe des Dämmerungssehens darstellen sollen. Dann würde die Abnahme der Sehschärfe im Hellauge durch die Abnahme der Dichte der Zapfen vom Zentrum gegen die Peripherie hin eine entsprechende Erklärung finden. Für das Dämmerungssehen läge dann allerdings von vornherein die Erwartung nahe, daß die Sehschärfe außerhalb der Makula gegen die Peripherie hin kaum merklich mehr abnähme, weil ja die Dichte der für das Dämmerungssehen in Betracht kommenden Stäbchen durch die Einlagerung von Zapfen nicht mehr geändert würde. In der Tat glaubte v. KRIES (65) nach Versuchen seines Schülers BUTTMANN (39) diese Folgerung bestätigen zu können. Doch zeigten BLOOM und GARTEN (37; dort auch die weitere Literatur über diesen Gegenstand), als sie die Sehproben für das hell und das dunkel adaptierte Auge subjektiv gleich hell machten, daß auch im dunkel adaptierten Auge eine mit der Exzentrizität der Abbildung wachsende Abnahme der Sehschärfe außerhalb der Makula vorhanden ist, wie im hell adaptierten Auge, was ähnlich auch schon von KOESTER (63; 47) beobachtet worden war. Es ergab sich ferner, daß bei gleicher subjektiver Helligkeit der Sehproben die Sehschärfe des dunkel adaptierten Auges allorts der des hell adap-

tierten nachstand, während doch die Dichte der Zapfen in der Netzhautperipherie schließlich viel geringer wird, als die der Stäbchen. Diese Ergebnisse fügen sich nicht ohne weiteres den Folgerungen aus der Duplizitätstheorie. Um sie mit ihr zu vereinen, müßte man etwa auf die unten S. 70 bezüglich des Empfangsapparates im allgemeinen — ohne Rücksicht auf die Duplizitätstheorie — aufgestellte Hypothese zurückgehen und sie durch spezielle Annahmen über die Stäbchen und Zapfen erweitern. Man müßte also nicht bloß wie dort annehmen, daß die Erregung von mehreren Stäbchen im Laufe der zentralen Leitung in eine Nervenfasern zusammenfließen, und zwar von um so mehr Stäbchen, je weiter exzentrisch die betreffende Netzhautstelle liegt, sondern es müßten überdies die Stäbchen auf einem größeren Areal zu einer Einheit zusammengefaßt sein, als es bei den Zapfen der Fall ist. Sehr wahrscheinlich ist speziell das letztere gerade nicht.

### g) Die Sehschärfe des Schielauges.

In besonders hohem Grade tritt der Einfluß, den das Beachten der Netzhautbilder nicht bloß auf die periphere, sondern auch auf die zentrale Sehschärfe ausübt, bei Schielenden zutage. Besteht bei diesen die normale Netzhautkorrespondenz weiter fort, so müssen, wenn störende Doppelbilder vermieden werden sollen, die Bilder des Schielauges völlig unterdrückt werden. Aber auch in den Fällen, in denen sich eine anomale Netzhautbeziehung ausgebildet hat, beteiligen sich die Bilder des Schielauges nur zum Teil am Aufbau des binokularen Sehfeldes, sie treten mit viel geringerer Eindringlichkeit und meist nur dann ins Bewußtsein, wenn die Aufmerksamkeit eigens auf sie gerichtet ist. Dies gilt insbesondere für die auf der Fovea des Schielauges gelegenen Bilder, die sich im binokularen Sehfeld noch am ehesten bemerkbar machen können. In dem Maße nun, als die Eindrücke vom Schielaug Jahre hindurch unbeachtet bleiben, sinkt allmählich die Sehschärfe, es kommt zu den Erscheinungen der »Schielaugenamblyopie«. Diese ist, wie sich nach dem Gesagten leicht erklärt, am stärksten ausgesprochen, wenn die Sehschärfe des Schielauges von vornherein minderwertig ist und seine Netzhautbilder sich also der Aufmerksamkeit wenig aufdrängen. Dagegen braucht die Amblyopie nur gering zu sein, oder sie kann ganz fehlen, wenn die Sehschärfe beider Augen von vornherein gut war, so daß Veranlassung zur Ausbildung alternierender Fixation gegeben war. Diese hier nur in den flüchtigsten Umrissen angedeuteten Verhältnisse, die von BIELSCHOWSKY in diesem Handbuch ausführlich erörtert werden, besitzen nun noch insofern eine große, schon von JAENSCH (9) betonte Ähnlichkeit mit der Herabsetzung der Sehschärfe in der Netzhautperipherie, als auch die Schielaugenamblyopie, ebenso wie die Amblyopie der exzentrischen Netzhaut, durch das immer wiederholte Hinlenken der Aufmerksamkeit, also durch Übung, bedeutend verbessert werden kann.



Das ist insbesondere der Fall, wenn das vorher schielende Auge verloren geht, oder wenn man das führende Auge längere Zeit zubindet und der Schielende dadurch gezwungen wird, seine Aufmerksamkeit allein den Schielaugeneindrücken zuzuwenden, oder wenn sich nach einer Schieloperation wieder binokulares Sehen auf Grund der normalen Korrespondenz herstellt.

Nach WORTH (98) erfolgt das Auftreten der Schielaugenamblyopie und ebenso die Verbesserung derselben bei alleiniger Benützung des Schielauges zum Sehen am raschesten in ganz jugendlichem Alter. Daß aber auch beim Erwachsenen unter Umständen eine überaus hochgradige Verbesserung der Sehschärfe des amblyopischen Schielauges erfolgen kann, zeigt der von BIELSCHOWSKY (36) lange Zeit hindurch beobachtete Fall von Doppelsehen mit einem Auge. Als diesem Patienten das früher führende Auge enukleiert worden war, betrug die Sehschärfe der Fovea des übrigbleibenden, früher schielenden Auges zunächst bloß  $\frac{1}{15}$ . Sie stieg nach 3 Monaten auf fast  $\frac{1}{6}$ , nach weiteren 16 Monaten auf  $\frac{1}{3}$ , nach weiteren 2 Jahren auf  $\frac{2}{5}$ — $\frac{1}{2}$ , am Schluß der mehr als 15jährigen Beobachtung bis auf  $\frac{6}{8}$ .

Freilich ist in der Deutung der Schielaugenamblyopie noch manches unklar und bedürfte weiterer Untersuchung. Am meisten Schwierigkeit macht die Erklärung einer anderen hierher gehörigen Erscheinung, die auftritt, wenn sich beim Schielen eine anomale Netzhautbeziehung ausgebildet hat. Es besitzt dann öfters jene periphere Netzhautstelle, welche die gleiche Sehrichtung mit der Fovea des führenden Auges erworben hat (die sogenannte Pseudomakula), eine auffällig hohe Sehschärfe. Dies ist um so schwieriger zu deuten, als gerade die Eindrücke dieser Stelle des Schielauges beim binokularen Sehen ganz besonders von den Eindrücken der Fovea des führenden Auges unterdrückt werden, so daß es zumeist schwer fällt, ein auf diesen Stellen erzeugtes Netzhautbild überhaupt wahrzunehmen. Indessen hat doch die genauere Untersuchung in vielen Fällen gezeigt, daß die innere Hemmung der Eindrücke der »Pseudomakula« keine absolute ist, sondern daß man wohl eine gewisse Beteiligung derselben am binokularen Sehen annehmen muß, ob freilich auch gerade in den Fällen mit erhöhter Sehschärfe, steht noch nicht fest. Merkwürdig ist ferner, daß die Eindrücke dieser Stelle anscheinend nur deswegen so bevorzugt werden, weil sie in gleicher Richtung mit jenen Bildern des führenden Auges erscheinen, denen die volle Aufmerksamkeit zugewandt ist. Es würde sich also in diesem Falle der Einfluß der Aufmerksamkeit auch an der mit der Fovea des führenden Auges »korrespondierenden« Stelle des Schielauges geltend machen, und zwar vermutlich nur an dieser einen Stelle, denn daß sich die Erhöhung der Sehschärfe außer auf die »Pseudomakula« auch noch auf die ganze übrige Netzhautperipherie erstreckt, ist nicht anzunehmen.

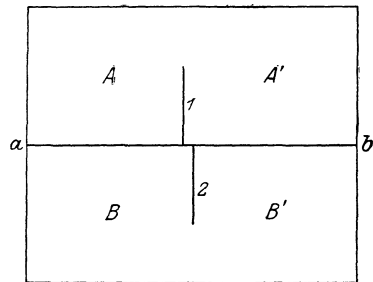
Um die Erhöhung der Sehschärfe an der Pseudomakula zu erklären, hat JAENSCH (9) die Hypothese aufgestellt, sie rühre davon her, daß der

Schielende das »Zentrum der Aufmerksamkeit«, das beim Normalen auf der Fovea ruht, in die »vikariierende Makula« verlegt. Dadurch werde die Sehschärfe gerade an dieser Stelle erhöht, die der wirklichen Makula des Schielauges hingegen, die nicht mehr Aufmerksamkeitszentrum ist, herabgesetzt. Diese Annahme ist in der Tat sehr einleuchtend, aber es bleibt dabei trotz der eingehenden Erörterungen von JAENSCH über diesen Punkt immer noch die Frage offen, wie denn die Verlegung der Aufmerksamkeit auf die Pseudomakula diese Wirkung auf die Sehschärfe ausübt, während doch die Bilder dieser Stelle nicht merklich über die Schwelle treten.

### 3. Die Feinheit des optischen Raumsinns nach Höhe und Breite.

Zur Messung der Feinheit des optischen Raumsinnes nach Höhe und Breite kann, wie HERING (106) zeigte, zunächst dienen die Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit für Lagen nach der sogenannten »Noniusmethode« von WÜLFING (114). Ein sehr feiner, von hinten her durchleuchteter Spalt oder ein über zwei weiße Kartons gezogener schwarzer Strich ist so eingerichtet, daß seine auf dem Grund  $BB'$  befindliche untere Hälfte 2 in Fig. 18 gegenüber der oberen, 1 auf dem Grunde  $AA'$ , längs der Grenze  $ab$  nach Art eines Nonius seitlich verschoben werden kann. Der Gesichtswinkel der eben merklichen seitlichen Verschiebung gilt als Maß für das Erkennen von Lageunterschieden. WÜLFING konnte in seinen Versuchen eine seitliche Verschiebung der beiden Strichhälften, die einem Gesichtswinkel von 40—42 Winkelsekunden entsprach, eben noch sicher erkennen. Zu noch niedrigeren Grenzwerten von 7—9" gelangte später STRATTON (110, 111) nach derselben Methode.

Fig. 18.



WÜLFINGS Anordnung wurde von BEST (100) auf HERINGS Vorschlag in der Weise verbessert, daß an Stelle von Strichen die scharfen geraden Trennungslinien einer schwarzen und einer weißen Fläche verwendet wurden (vgl. die Abbildung bei LANDOLT, dies Handb., Bd. 4, Abt. 1, S. 449). BEST fand, daß die eben sicher erkennbare Verschiebung von der Richtung der Trennungslinien abhängt. Waren diese vertikal gestellt, so war ihm ein Lageunterschied entsprechend 43" eben sicher wahrnehmbar. Bei horizontaler Richtung der Trennungslinien und besonders bei Schrägstellungen war die Unterschiedsempfindlichkeit geringer. Bei Schrägstellungen betrug sie nur ungefähr 46—49".

Ist die Schrägstellung sehr gering, so findet man die Unterschiedsschwelle nach rechts und nach links ungleich. Man denke sich die Fig. 18 mit dem oberen Ende ganz wenig nach rechts geneigt, dann wird eine Verschiebung der unteren Linienhälfte 2 zwischen  $B$  und  $B'$  nach links viel eher erkannt, als eine Verschiebung derselben nach rechts. Der Beobachter läßt sich nämlich in diesem Falle durch die Abweichung der Linie von der vertikalen Richtung in seinem Urteil beeinflussen.

Wichtig ist, daß bei der Untersuchung nach der Methode der richtigen und der falschen Fälle eine noch viel geringere Verschiebung schon einen deutlichen Einfluß auf die Aussagen erkennen läßt, und zwar überwiegen schon bei einer Verschiebung um den Gesichtswinkel von  $2,5''$  die richtigen Aussagen über die falschen<sup>1)</sup>. BOURDON (3, S. 145) erkannte mit seinem rechten Auge einen Unterschied von  $7''$  schon sicher, mit dem linken Auge und binokular sogar  $5''$  fast ohne Fehler. An meinem rechten Auge fand ich neuerdings nach vollständiger Korrektur meiner Ametropie und bei bestem Licht eine Unterschiedsempfindlichkeit von  $8''$ , bei einer emmetropen Versuchsperson stellte ich  $7''$  fest.

Eine zweite Methode, aus der man Schlüsse auf die Feinheit des optischen Raumsinnes ziehen kann, ist die Bestimmung des eben merklichen Größenunterschieds kleinster Objekte. Solche Untersuchungen hat schon VOLKMANN angestellt, indem er durch drei feine vertikal gespannte Drähte zwei nebeneinander gelegene Strecken abteilte und nun durch Verschiebung des einen äußeren Drahtes eine der beiden Strecken eben merklich breiter machte, als die andere. Er fand in einer Versuchsreihe (13, S. 129 ff.), daß der eben erkennbare Größenunterschied sehr kurzer Strecken, die bloß unter einem Gesichtswinkel von  $8-20'$  gesehen wurden, einen von der Länge der Vergleichsstrecke unabhängigen konstanten Wert von  $\frac{1}{90}$  mm aus 200 mm Abstand vom Auge annimmt, der einem Gesichtswinkel von rund  $11''$  entspricht. In einer anderen Versuchsreihe an einer weiteren Versuchsperson ergab sich mit Vergleichsstrecken von  $4-6'$  ein Wert von  $7''$ . Wie man sieht, stimmen diese Werte durchaus mit denen überein, die mit der Noniusmethode gewonnen wurden.

Gegen diese Versuche hat BOURDON (3, S. 148) eingewandt, daß in ihnen nicht die Verlängerung der Strecken, sondern die Zunahme der Lichtstärke derselben maßgebend gewesen sei. Dem ist zunächst zu entgegen, daß die Längen der Vergleichsstrecken in den Versuchen von VOLKMANN einem Gesichtswinkel von wenigstens  $4'$  entsprechen, der über der oberen

1) Bei der Untersuchung nach der Methode der wahren und der falschen Fälle wird dem Beobachter von einer zweiten Person eine bestimmte Einstellung dargeboten, und er hat dann anzugeben, welchen Eindruck sie ihm macht. Man kann dabei unterscheiden die 100%-Schwelle, bei der alle Angaben richtig sind, und die 50 %-Schwelle, von der ab die wahren über die falschen Angaben überwiegen. In den Versuchen von BEST lag die erstere bei  $13''$ , die letztere bei  $2,5''$ .

Grenze von 2' liegt, bis zu der nach den Versuchen von ASHER die ins Auge entsandte Lichtmenge allein für die scheinbare Größe maßgebend ist. Sie liegen vielmehr in dem Bereich, innerhalb dessen die Irradiation unabhängig von der Größe des Gesichtswinkels gleich groß bleibt, so daß wir guten Grund zu der Annahme haben, daß die Vergrößerung der Empfindungsfläche in diesen Versuchen tatsächlich der objektiven Verbreiterung der Streckenlänge proportional geblieben ist. Das scheint übrigens selbst bei noch kleineren Objekten der Fall zu sein, denn es ist sehr bemerkenswert, daß in den Versuchen, die BOURDON selbst mit einer Vergleichsstrecke anstellte, die unter Gesichtswinkeln von 22" bis 1'30" betrachtet wurde, die Grenze für den eben merklichen Größenunterschied ebenfalls wieder bei einer Vergrößerung der Strecke um 40,3—43,4" herum lag.

Ein gewisser Aufschluß über die Feinheit des optischen Raumsinnes ergibt sich ferner aus der eben merklichen Bewegungsgröße. Genaueres darüber wird später bei der Lehre von den Bewegungsempfindungen berichtet werden. Hier sei nur so viel bemerkt, daß sich diese Schwelle ebenfalls in derselben Größenordnung bewegt, wie die nach den beiden anderen Methoden gefundene. VOLKMANN fand nämlich als Schwelle für die eben merkliche Bewegungsgröße an verschiedenen Versuchspersonen Werte, die meist zwischen 7" und 48" lagen, BASLER beobachtete an sich selbst 20", STERN 45", STRATTON (144) an zwei Versuchspersonen 6,8" bzw. 8,8". Die Unterschiede in diesen Zahlen lassen erkennen, daß hier außer der Raumschwelle noch andere Faktoren mit in Betracht zu ziehen sind, und daß sie sich der Raumschwelle nur mehr oder weniger nähern.

Vom Netzhautzentrum gegen die Peripherie hin nimmt die Unterschiedsempfindlichkeit für Lagen sehr rasch ab. BOURDON (3, S. 146) fand bei der Prüfung nach der Methode von WÜLFING an sich selbst folgende Werte für die Unterschiedsempfindlichkeit für Lagen

bei 1° Exzentrizität:	23"
» 5° »	3' 57"
» 10° »	6' 53"
» 20° »	13' 56"

Bei ihm nahm also die Unterschiedsempfindlichkeit für Lagen zwischen 5° und 20° Exzentrizität ziemlich genau proportional dem Abstände von der Fovea ab. Nehmen wir seine zentrale Raumschwelle zu 7" an (siehe oben), so sank demnach die Raumschwelle bei 1° Exzentrizität auf  $\frac{1}{3}$ , bei 5° auf  $\frac{1}{34}$ , bei 10° auf  $\frac{1}{59}$ , bei 20° auf rund  $\frac{1}{120}$  des zentralen Wertes. Bei mir selbst fand ich in zwei Versuchsreihen mit dem BESTschen Apparat für das Unterscheidungsvermögen auf der nasalen Netzhautpartie meines rechten Auges folgende Zahlen:

zentral	8—9"
2° Exzentrizität	54"
5°	2' 4"; 2' 1"
10°	3' 56"; 3' 40".

Die Zahlen sind beträchtlich niedriger, als die von BOURDON, sie nehmen aber von 2° Exzentrizität ab ebenfalls ungefähr proportional dem Abstände von der Fovea ab. Für die weitere Netzhautperipherie liegen Bestimmungen über die Unterscheidbarkeit von Ruhelagen noch nicht vor, sondern nur Bestimmungen der Schwelle der eben merklichen Bewegungsgröße, auf die ich weiter unten (S. 68) nochmals zurückkomme.

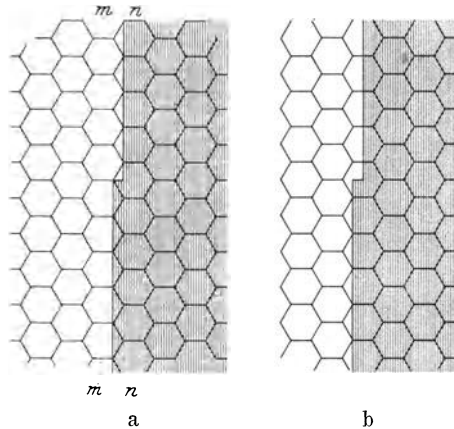
#### 4. Die Beziehungen der Raumschwelle und des Auflösungsvermögens zu den Elementen des Perzeptionsapparates.

WÜLFING hatte angenommen, daß der seitliche Lagenunterschied zweier Striche eben merklich werde, wenn die Netzhautbilder derselben um den Durchmesser eines Zapfens gegeneinander verschoben sind. Man könnte dann daraus schließen, daß wir eben noch imstande seien, die Erregung jedes einzelnen Zapfens in der Fovea centralis von der jedes benachbarten Zapfens verschieden zu lokalisieren, so daß demnach in der Fovea die Zapfen als die physiologischen Grundeinheiten des perzipierenden Apparates zu betrachten wären, deren Erregung eine einheitliche Empfindung vermittelt, die eine weitere Zerlegung in räumliche Teile nicht mehr zuläßt. Die Durchrechnung der Versuchsergebnisse scheint aber dieser Annahme zunächst nicht günstig zu sein. Einem Gesichtswinkel von 60" entspricht im schematischen Auge nach HELMHOLTZ (I, S. 216) eine Netzhautstrecke von 4,38  $\mu$ , nach GULLSTRAND eine solche von 4,85  $\mu$ . Für die Zapfendurchmesser in der Fovea sind allerdings von verschiedenen Untersuchern sehr verschiedene Werte, 1,5—2,0  $\mu$  als unterster, 4,5  $\mu$  als oberster angegeben worden. Zum Teil beruht dies, wie die ausgedehnten Untersuchungen von FRITSCH (103) zeigten, darauf, daß die Zapfendurchmesser in der Fovea centralis in der Tat bei verschiedenen Personen stark variieren, von 1,5  $\mu$  im Minimum bis zu 4—5  $\mu$  im Maximum. Berücksichtigen wir bloß den Zapfendurchmesser und vernachlässigen den ebenfalls variablen Zwischenraum zwischen den Zapfen, so entspricht der Distanz der Zapfenmitte im untersten Grenzfall, wenn wir die größere GULLSTRANDSche Zahl und den kleinsten Wert für den Zapfendurchmesser zugrunde legen, immer noch ein Gesichtswinkel von 18,6", unter Zugrundelegung der HELMHOLTZschen Zahl und des höchsten Wertes von 4,5  $\mu$  für den Zapfendurchmesser sogar ein Gesichtswinkel von 62". Auch der kleinste dieser Werte ist also immer noch viel größer als der Gesichtswinkel des eben merklichen seitlichen Lagenunterschiedes vertikaler Strecken. Berücksichtigt man vollends

das Ergebnis der Versuche nach der Methode der wahren und der falschen Fälle, so ergeben sich so beträchtliche Unterschiede zwischen Zapfendurchmesser und Merkwert des seitlichen Lagenunterschiedes, daß es zunächst scheinen muß, als ob selbst Teile eines einzelnen Zapfens in der Fovea centralis noch verschiedene Lokalisationen im Raume vermitteln könnten.

Die genauere Analyse des WÜLFINGSchen Versuches lehrt aber doch etwas anderes. Zunächst ergibt sich nämlich aus den Versuchen von BEST, daß wir es bei der Schwelle nicht mit einer auch nur irgendwie scharfen Grenze zu tun haben, sondern mit einem ganz allmählichen, verwaschenen Übergang, der ungemein weit (von 2,5—12") reicht. Sodann zeigt die unbefangene Selbstbeobachtung, daß die Schwellenbestimmung nicht etwa vorwiegend auf dem Erkennen der seitlichen Verschiebung der Grenzlinien — der Ecke — an jener Stelle beruht, wo sie aneinander stoßen (Näheres darüber unten S. 98), sondern man vergleicht, ob die beiden Linien in ihrem ganzen Verlauf in einer Flucht zu liegen scheinen oder nicht. Wir dürfen also auch bei der Erklärung des Versuchs unser Augenmerk nicht ausschließlich auf die Lagerung der Bilder auf jenen Zapfen richten, wo die Vergleichslinien einander am nächsten liegen, sondern müssen die Verhältnisse der ganzen Strecke mit berücksichtigen. Welche Gesichtspunkte dann für die Beurteilung in Betracht kommen, hat HERING an folgendem Schema entwickelt, das an die Versuchsanordnung von BEST anknüpft. Denken wir uns die Zapfen in der Fovea lückenlos aneinander schließend, so daß sie sich im Querschnitt wie Polygone irgendwelcher Form, etwa als gleichseitige Sechsecke darstellen, und setzen wir nun zunächst den Fall, sie seien in

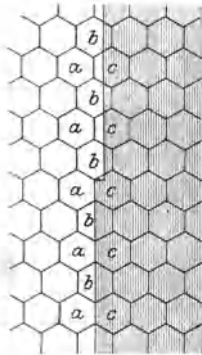
Fig. 19.



geraden und zufällig den Grenzlinien der schwarzweißen Fläche parallelen Reihen angeordnet, dann ergeben sich zunächst zwei durch die Fig. 19 a und b versinnlichte Möglichkeiten. In der unteren Hälfte der Fig. 19 a liegt die Grenzlinie der weißschwarzen Fläche des BESTschen Apparates eben noch auf der Zapfenreihe  $mm$ , in der oberen Hälfte ist sie ein klein wenig nach rechts verschoben, so daß sie eben auf die Reihe  $nn$  fällt. Wenn nun die beiden Zapfenreihen  $mm$  und  $nn$  eine eben merklich verschiedene Lokalisation nach rechts und links vermitteln, so kann die

Lageverschiedenheit der beiden Linienhälften in diesem Falle wahrgenommen werden, wenn die Mitreizung der Elementenreihe *nn* in der oberen Hälfte der Figur durch das weiße Licht so groß ist, daß sie als Erregung über die Schwelle tritt. Nun wird freilich die Augenstellung auch bei beabsichtigter fester Fixation keineswegs ganz genau festgehalten, sondern es kommen fortwährend kleine Verschiebungen des Netzhautbildes vor. Dadurch wird die Grenzlinie vorübergehend auch auf Elementenreihen von einem und demselben Breitenwert entworfen, wie es in Fig. 19 b angegeben ist. Da dies aber nur ein vorübergehender Zustand ist, dem bei der

Fig. 20.



nächsten unwillkürlichen Schwankung der Augenstellung sogleich wieder eine Abbildung auf verschiedenen Elementenreihen, wie in Fig. 19 a, folgt, so kann man trotzdem daraus den Lageunterschied der oberen und unteren Linienhälfte erkennen.

Denkt man sich die Zapfen in der Weise angeordnet, wie es in Fig. 20 dargestellt ist, wo die Elemente *a* und *b* in der Richtung von unten nach oben nicht in gerader Flucht, sondern zickzackförmig übereinander liegen, dann werden bei der angezeichneten Lage der Grenzlinie außer den Elementen *a* und *b* auch noch Elemente der Reihe *c* mitgereizt. Auch in diesem Falle wird sich die Lageverschiedenheit der oberen und unteren Linienhälfte bemerkbar machen, immer vorausgesetzt, daß die Mitreizung der

teilweise vom Licht getroffenen Zapfen *c* genügend stark ist, um über die Schwelle zu treten.

Von dem zuletzt angenommenen Schema, das einer Schräglage der Grenzlinie zu den noch immer in gerader, aber in anderer Richtung angeordneten Zapfenreihen entspricht, gelangt man weiterhin zum Falle einer beliebig unregelmäßigen Anordnung der Zapfen. Schließlich kann man auch die Annahme, daß die Zapfenquerschnitte eine regelmäßige Sechseckform besitzen und sich ohne jeden Zwischenraum aneinander schließen, fallen lassen; obwohl diese Anordnung von HEINE (104) tatsächlich für die Fovea centralis des menschlichen Auges angegeben worden ist. Sie wird aber von FRITSCH (103) für das Zentrum derselben entschieden bestritten und ist für HERINGS Überlegungen auch gar nicht notwendig. Denn selbst, wenn sie nicht zutrifft, läßt sich der Grundgedanke des Schemas der Fig. 20 immer noch anwenden, d. h. es werden bei einer Verschiebung der Grenzlinienhälfte auch nur um Teile eines Zapfendurchmessers immer schon neue Zapfen mitbetroffen werden.

Die Sachlage wird allerdings weiterhin dadurch verwickelt, daß die Grenze einer weißen Fläche im Netzhautbilde nach den Auseinandersetzungen

des vorigen Kapitels auch im günstigsten Falle nicht eine ganz scharf vom Maximum auf Null sich absetzende Stufe, sondern eine mehr oder weniger allmähliche Abdachung darstellt. Wenn nun der Lagenunterschied der Netzhautbilder bloß einen Teil des Durchmessers eines Zapfens beträgt, wird es sehr darauf ankommen, wie steil die Grenze der Lichtfläche absinkt. Je steiler das Absinken ist, auf je engerem Raum sich also starke Unterschiede der Belichtung ergeben, desto geringerer Verschiebung bedarf es, um schon eine eben merkbare Mitreizung neuer Zapfen hervorzurufen. Daher hängt die Unterschiedsempfindlichkeit des Auges für Lagen auch von der Schärfe der Netzhautbilder ab, und sie wird bei Refraktionsanomalien mit der Unschärfe der Netzhautbilder erheblich geringer. Aus demselben Grunde üben auch die Beleuchtungsverhältnisse einen Einfluß auf die Unterschiedsempfindlichkeit für Lagen aus.

Die Erklärung von HERING läßt uns nun auch verstehen, warum die 50 %- und die 100 %-Schwelle für das Erkennen von Lageunterschieden so weit auseinander liegen. Es kommt eben darauf an, ob man im Einzelversuch die unbedeutenden Lageunterschiede der Netzhautbilder mit voller Aufmerksamkeit erfaßt oder nicht. Das macht es dann auch vollkommen begreiflich, daß die Erkennbarkeit kleinster Lageunterschiede durch die Übung sehr deutlich erhöht wird.

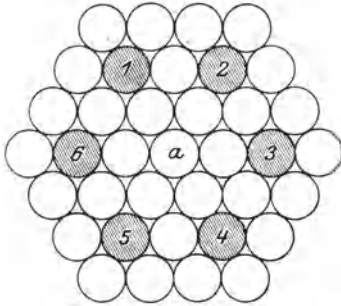
Ähnliche Überlegungen wie bei der Unterschiedsempfindlichkeit für Lagen ergeben sich auch bei der eben merklichen Unterscheidung kurzer Streckenlängen, wenigstens soweit diese über mehrere Zapfen hinwegreichen. Auch da wird die Verlängerung der einen Strecke eben merklich werden können, wenn durch sie bei kleinen Augenbewegungen gelegentlich ein Bruchteil eines Zapfens mehr gereizt wird, als durch die kürzere Strecke.

Etwas schwieriger erscheint auf den ersten Blick die Erklärung für Versuche von SCROUTE (109), der angibt, daß man nach einiger Übung imstande sei, an Objekten, deren schematisches Netzhautbild den Durchmesser eines einzigen Zapfens nicht übersteige, noch acht verschiedene Größen zu unterscheiden. Dabei rechnet er den Zapfendurchmesser zu  $4,4 \mu$ , was einem Gesichtswinkel von  $1'$  entspricht. Dürfte man mit den schematischen Netzhautbildchen rechnen, so würden die acht verschiedenen Stufen Differenzen von je  $7,5''$  entsprechen, die nach dem oben Gesagten in der Tat als die niedrigsten Schwellenwerte für Größenunterschiede betrachtet werden können. Statt die Objekte verschieden groß zu machen, kann man auch ihre Lichtstärke variieren, wobei die lichtstärkeren entsprechend größer erscheinen. Um nun dem Einwand zu begegnen, die Größenunterschiede rührten davon her, daß sich der wahrnehmbare Teil des Netzhautbildchens (die Empfindungsfläche) bei den höheren Lichtstärken, bzw. den größeren Objekten, über mehrere Zapfen ausbreite, umgab SCROUTE die Objekte, deren Größenunterschiede er feststellte, derart mit einem Ring von 6 Objekten, daß das schematische Netzhautbild jedes einzelnen Punktes und jedes Zwischenraumes zwischen ihnen wiederum einem Gesichtswinkel von  $1'$  entsprach, also nach seiner Annahme gerade einen Zapfen deckte. Es sei in Fig. 24 ein schema-



tischer Flachschnitt durch Zapfen von je  $4,4 \mu$  Durchmesser dargestellt, so fällt das schematische Netzhautbildchen der sechs äußeren ringförmig angeordneten Objekte auf die Zapfen 1 bis 6, zwischen dem schematischen Netzhautbilde jedes dieser Objekte liegt also ein Zapfen, entsprechend einem Gesichtswinkel von  $60''$ , sodaß man die einzelnen Objekte eben von einander sondern kann. Die im Ring diametral einander gegenüber liegenden schematischen Netzhautbilder sind durch je drei Zapfendurchmesser, entsprechend einem Gesichtswinkel von  $3'$ , von einander getrennt. Bringt nun SCHOUTE in der Mitte des Ringes ein kleines

Fig. 21.



Objekt an, dessen schematisches Netzhautbild nicht über den Zentralzapfen *a* hinausreicht, das also wieder von jedem der Bilder 1 bis 6 durch einen vollen Zapfendurchmesser getrennt ist, und daher auch wieder von den äußeren Objekten getrennt wahrgenommen werden kann, so konnte er an einem solchen innengestellten Objekt noch mindestens vier Größen unterscheiden. Würde nun den verschiedenen Größenstufen jedesmal die Mitreizung eines neuen um den Zentralzapfen herum gruppierten Zapfenkranzes entsprechen, so käme man schon bei der zweiten Stufe bis an die schematischen Netzhautbilder der äußeren Punkte

heran. Deshalb glaubte SCHOUTE, die Empfindungsfläche des mittleren Objektes überschreite in diesen Versuchen das Areal des Zentralzapfens *a* überhaupt nicht, und der Unterschied der scheinbaren Größe hänge von der Stärke der Reizung dieses Einzelzapfens ab. Nun hat allerdings SCHOUTE für den Zapfendurchmesser ziemlich den höchsten Wert angenommen, der überhaupt vorkommt. Legen wir den niedrigsten beobachteten Zapfendurchmesser von  $1,5 \mu$ , also bloß  $\frac{1}{3}$  des von SCHOUTE angenommenen Wertes zugrunde, so entspricht schon dem von SCHOUTE gezeichneten Mittelzapfen ein Zentralzapfen und ein erster Zapfenkreis um ihn herum, dem ersten Zapfenkranz von SCHOUTE aber drei weitere konzentrische Zapfenkränze. Berücksichtigt man ferner, daß nach dem früher Gesagten ein Gegenstand schon etwas größer erscheint, als ein anderer, wenn er bei kleinen Augenbewegungen einen Bruchteil eines zweiten Zapfen eben miterregt, so läßt sich die Beobachtung von SCHOUTE doch wohl mit der Annahme vereinigen, daß die Zapfen die Elemente des Empfangsapparates darstellen. Ich halte dies um so eher für die richtige Deutung, weil der Versuch von SCHOUTE nur bei Personen mit hervorragend guter Sehschärfe so wie bei ihm gelingen dürfte. Ich selbst kann die vier Größen der zentralen Punkte eben noch mit Mühe voneinander unterscheiden, wenn zwischen den diametral einander gegenüber liegenden Netzhautbildern 1 und 4 (bzw. 2 und 5 oder 3 und 6) der Figur ein Gesichtswinkel von  $5'$  dazwischen liegt; eine emmetrope Versuchsperson mit sehr guter Sehschärfe bei einem Gesichtswinkel von  $4'$ .

Nach allen diesen Erwägungen dürfen wir es trotz mancher Bedenken doch als sehr wahrscheinlich ansehen, daß in der Fovea centralis die Zapfen jene letzten Einheiten des Empfangsapparates darstellen, deren Erregung sich durch eine besondere Lokalisationsweise von der der benachbarten Elemente, aber nicht

mehr in sich selbst unterscheidet. Physiologisch würde diese Annahme bedingen, daß jedem Zapfen eine einheitliche, nicht mehr teilbare Erregung zukommt, also nicht einzelne Teile des Zapfens isoliert für sich in Erregung geraten können. Wahrscheinlich ist es ferner, daß auch die Fortleitung der Erregung im Sehorgan zunächst von der Leitung der Nachbarelemente gesondert erfolgt. Wenigstens geben die Histologen an (vgl. GREEFF, dieses Handb. Teil I, Kap. V, S. 181), daß in der Netzhautgrube jede Optikuszelle über eine bipolare Zelle hinweg nur mit je einem Zapfen in Verbindung stehe. Das kann zwar im weiteren Verlauf der Sehbahn nicht immer so bleiben, vielmehr müssen schließlich die Erregungen der einzelnen Elementarleitungen sich ausbreiten und mit denen der benachbarten in gemeinsame Bahnen zusammenlaufen. Aber auch wenn dies der Fall ist, müssen die von den verschiedenen Empfangseinheiten herrührenden Erregungen, da sie sich durch ihren räumlichen Charakter voneinander unterscheiden, immer noch die ihrer Herkunft entsprechende Eigenart bewahren.

Auf der Haut hatte E. H. WEBER (113) jene Partien, welche bei gleichzeitiger Reizung an verschiedenen Stellen nur eine einzige ungeteilte Berührungsempfindung ergeben, die also seiner Meinung nach bloß von einer einzigen Nervenfasern versorgt werden, als Empfindungskreise bezeichnet. Insofern, als die Erregung eines einzelnen Zapfens einheitlich und nicht mehr teilbar ist, würde demnach jeder Zapfen der Fovea centralis auch einem Empfindungskreis entsprechen. Die Größe der Empfindungskreise auf der Haut hatte E. H. WEBER mit Hilfe des Zweispitzenversuchs ermittelt. Er setzte gleichzeitig auf die Haut zwei Spitzen auf und bestimmte die kleinste Entfernung derselben, bei der sie eben noch getrennt wahrgenommen wurden. WEBER nahm dann an, daß dann eben ein unerregter Empfindungskreis zwischen den beiden gereizten Kreisen dazwischen liege. Derselbe Gedanke ist von ihm auch auf das Auge übertragen worden. So wie die Haut durch zwei Zirkelspitzen, kann man sich die Retina an zwei Stellen durch die Spitze zweier Lichtkegel gereizt und die Größe der Empfindungskreise dadurch gemessen denken, daß man die Spitzen der beiden Lichtkegel soweit voneinander entfernt, bis sie eben zwei gesonderte Empfindungen im Sehorgan auslösen. Die praktische Ausführung dieses Gedankens stößt aber auf die Schwierigkeit, daß der von einem leuchtenden Punkt der Außenwelt ausgehende Lichtkegel nach der Brechung im dioptrischen Apparat des Auges die Netzhaut nicht mit einer punktförmigen Spitze berührt, oder anders ausgedrückt, ein leuchtender Punkt der Außenwelt auf der Netzhaut nicht als Punkt abgebildet wird, sondern über eine größere Fläche irradiiert. Nun hat ja allerdings VOLKMANN versucht, den Anteil der Irradiation bei den Sehschärfeversuchen in Rechnung zu stellen. Er maß zunächst in der oben S. 15 angegebenen Weise mit zwei parallelen schmalen Strichen den Betrag der Irradiation, indem er den Zwischenraum zwischen den Strichen der Strich-

dicke gleich einstellte. Unmittelbar darauf wurde in einem zweiten Versuch mit derselben Vorrichtung die kleinste, eben noch erkennbare Distanz zwischen den beiden Strichen bestimmt. Wäre nun im zweiten Versuch die Irradiation gleich groß geblieben, wie bei ihrer Bestimmung im ersten Versuch, so könnten wir den Durchmesser der eben merklichen Empfindungsfläche genau angeben. Er wäre, wenn wir den Gesichtswinkel der eben erkennbaren Distanz mit  $d'$ , den Knotenpunktswinkel des Betrages der Irradiation mit  $z$  bezeichnen, gleich  $d' - z$ . In der Tabelle 4 auf S. 15 ist nach den Messungen von AUBERT dieser Betrag mit angeführt. Seine Größe schwankt infolge der Messungsfehler sehr, meist liegt er zwischen  $12''$  und  $30''$ . Ganz vereinzelt finden sich sogar noch kleinere Werte. Gegen diese Art der Berechnung hat aber schon AUBERT (2, S. 583) eingewandt, daß es gar nicht bewiesen sei, daß die Irradiationsgröße bei der Verkleinerung des Zwischenraums zwischen den beiden Strichen konstant bleibt. Auch ist es nach den Erfahrungen, über die ich oben S. 36 berichtete, sehr wahrscheinlich, daß die Verbreiterung der beiden Striche  $B$  wegen des Simultankontrastes an ihrer einander zugewendeten Seite anders ist, als an der nach außen gewandten Seite. Beides macht aber die Berechnung unzuverlässig.

Etwas weiter gelangt man auf einem anderen Wege, wenn man nämlich das absolute Maximum der Sehschärfe bei sehr heller Beleuchtung und unter Verwendung mehrerer paralleler Striche als Sehprobe bestimmt. Hierher sind zunächst Versuche zu rechnen, die VOLKMANN (112), angeregt durch Überlegungen von BERGMANN (99), unter Verwendung von vier parallelen schwarzen Strichen auf weißem Grund, mit dem Makroskop ausgeführt hat. Er fand so bei einer Versuchsperson eine Sehschärfe von  $23,3''$  (unkorrigiert, s. oben S. 22)<sup>1)</sup>. An mir selbst fand ich unter den günstigsten Bedingungen: Die parallelen geraden Striche der Fig. 14 als Sehprobe, Beobachtung mit dem Makroskop in greller direkter Sonnenbeleuchtung im Freien — ein Optimum der Sehschärfe von  $34,6''$  (korrigiert, nach S. 22), entsprechend einer Netzhautdistanz von  $2,5 \mu$  (nach GULLSTRAND von  $2,8 \mu$ ). Das sind Zahlen, die sich vollkommen mit der Annahme vereinigen lassen, daß zwischen den durch die weißen Linien gereizten Zapfenreihen gerade noch eine weniger stark erregte Zapfenreihe lag.

Drücken wir das Ergebnis in der SNELLENSchen Einheit aus, so wäre demnach der höchste erreichbare Betrag der Sehschärfe bei mir rund 2, bei der Versuchsperson von VOLKMANN noch höher. Von anderer Seite liegen Angaben über ebenso hohe und noch höhere Grade der Sehschärfe mehrfach vor, insbesondere aus Untersuchungen von COHN (43), FRITSCH (403), RIVERS (84, 84a, 215) u. a. (siehe die Literatur bei FRITSCH, l. c.)

<sup>1)</sup> War die Versuchsperson emmetropisch, so berechnet sich der Hauptpunktswinkel aus VOLKMANN'S Angaben zu  $24,6''$ , die Netzhautdistanz im DONDERSSchen Auge zu  $1,8 \mu$ , nach GULLSTRAND zu  $2,0 \mu$ .

an Naturvölkern, aber auch an Europäern (COHN, 42 a, 43 a u. a.). Ja die Sehschärfe wurde sogar in Einzelfällen bis zum Sechsfachen des SNELLENSCHEN Wertes angegeben<sup>1)</sup>. Dabei ist aber zu bedenken, daß die Sehschärfe in diesen Fällen mit dem SNELLENSCHEN, oder wohl gar (von COHN und FRITSCH) mit dem etwas modifizierten PFLÜGERSCHEN (COHNSCHEN) Haken, der einen kürzeren Mittelstrich hat, als der SNELLENSCHE, ausgeführt wurde. Das ist aber eine Prüfung des Formenerkennens, die zwar einen Vergleich desselben bei verschiedenen Personen, dagegen keinen Rückschluß auf die Sehschärfe im engeren Sinne gestattet, weil dadurch nicht die Unterscheidung der einzelnen Striche, sondern bloß das Unterscheiden der helleren und dunkleren Seite des verwaschenen Hakenbildes bestimmt wird (s. oben S. 36). Daß dies so ist, geht deutlich auch daraus hervor, daß man den PFLÜGERSCHEN Haken, bei dem der Unterschied zwischen dem helleren und dunkleren Teil des Bildes viel stärker hervortritt, unter noch kleinerem Gesichtswinkel erkennt, als den SNELLENSCHEN (s. dazu LÖHNER, 70, S. 74). Aber auch den SNELLENSCHEN Haken erkennt man, wie SEGCEL (87 a, S. 1042) statistisch zeigte, immer noch leichter, als die Buchstabenproben. Mit den letzteren fand SEGCEL bei Soldaten zwar häufig Sehschärfen, die sich um 2 herum bewegten, dagegen unter 930 Personen nur eine mit  $\frac{18}{6}$  und eine mit  $\frac{19}{6}$  Visus<sup>2)</sup>. Noch niedrigere Werte für die Sehschärfe findet man mit Punktproben, wie sie von KOTELMANN angewandt wurden (vgl. FRITSCH, l. c. S. 113). Wir können daher aus den oben angegebenen Höchstwerten für das Formenerkennen keine unmittelbaren Schlüsse für unsere theoretischen Fragen ableiten. Wenn FRITSCH aus der Gesamtheit der bisher vorliegenden Untersuchungen über das Sehen der Naturvölker und der Europäer folgert, die durchschnittlich Veranlagung des Sehvermögens der europäischen Rassen sei tatsächlich geringer, als diejenige vieler anderer Rassen, welche durchaus nicht ausschließlich Naturvölker zu sein brauchen, so kann dies gewiß mit den von ihm gefundenen Rassenunterschieden in der Dicke und Verteilung der Zapfen zusammenhängen, die natürlich, wenn die obigen Überlegungen richtig sind, einen wesentlichen Einfluß auf die Sehschärfe ausüben werden. Aber es bleibt die Frage offen, inwieweit an dem bisherigen Ergebnis der Sehschärfeprüfungen die individuell verschiedene Fähigkeit beteiligt ist, kleine Lichtunterschiede zugunsten des Erkennens von Formen auszunutzen.

Hier würde sich nun unmittelbar die oft erörterte Frage anschließen, ob es denn möglich sei, einen Zapfen ganz isoliert durch Licht zu reizen.

1) Der einmal von COHN gefundene achtfache Wert ist ein Unikum und beruht nach FRITSCH wohl auf einer Täuschung.

2) FRITSCHS Minimum von  $1,6 \mu$  ( $1,5 \mu$  Zapfendurchmesser plus  $0,1 \mu$  Zwischenraum) würde im GULLSTRANDSCHEN Auge einem Gesichtswinkel von  $19,8''$  entsprechen. Das ist nach SNELLEN rund Sehschärfe 3.

Gewöhnlich wird die Frage so gestellt, ob man das Netzhautbild so klein oder noch kleiner machen könne, als der Querschnitt eines Zapfens beträgt. Das ist, wie wir früher sahen, in keiner Weise möglich, auch nicht etwa beim Vorsetzen eines engen Diaphragmas und Verwendung monochromatischen Lichtes. Wohl aber können wir fragen, ob nicht die über die Schwelle tretende Kuppe der Lichtfläche, die der Empfindungsfläche entspricht, auf den Querschnitt eines Zapfens einschrumpfen kann. AUBERT glaubte dies daraus schließen zu können, daß der Gesichtswinkel für den kleinsten, eben sichtbaren Punkt auch bei recht verschiedenen großen Differenzen der Lichtstärke von Punkt und Grund konstant rund  $35''$  betrug (physiologischer Punkt, s. oben S. 26). Er nahm deswegen an, daß die Empfindungsfläche in diesem Falle gerade einen Zapfenquerschnitt von  $2,5 \mu$  Durchmesser decke. Ich selbst kann unter den günstigsten Bedingungen — direkte Sonnenbeleuchtung im Freien — einen kreisrunden Fleck von Drucker-schwärze auf weißem Papier ebenfalls unter einem Gesichtswinkel von etwa  $34''$  eben sehen. Diese Zahl stimmt nun sehr gut zu dem soeben für meine Augen auf anderem Wege berechneten Zapfendurchmesser, man könnte es daher für möglich halten, daß die Ausdehnung der Empfindungsfläche unter Umständen auf das Areale eines einzigen Zapfens beschränkt sei, wenn sich aus dieser Annahme nicht verschiedene Schwierigkeiten ergäben. Die Empfindungsfläche müßte sich ja, wenn sie gerade die ganze Fläche eines Zapfens ausfüllte, bei der allergeringsten Augenbewegung auf zwei Zapfen verteilen, und man sollte doch von vornherein meinen, daß der Punkt dann doppelt so groß erscheinen müßte, was offenkundig nicht der Fall ist. Andere Bedenken hat BEST (35) geäußert. Man wird also der Ansicht von AUBERT um so mißtrauischer gegenüberstehen, als vieles dafür spricht, daß sich die Regungen eines Empfangselementes im zentralen Verlauf der Sehbahn auch etwas in die Nachbarschaft ausbreiten können (physiologische Irradiation, s. unten S. 400).

Alle diese Überlegungen wären freilich unhaltbar oder müßten mindestens stark modifiziert werden, wenn eine Hypothese, die HENSEN (105) zur Erklärung der von ihm entdeckten und als »Punkttauchen« bezeichneten Erscheinung aufgestellt hat, richtig wäre. Betrachtet man im mäßig erleuchteten Zimmer (etwa bei schwachem Lampenlicht) eine Gruppe zerstreuter, feiner schwarzer Punkte auf weißem Papier, die man mit Hilfe einer Konvexlinse noch weiter verkleinert, so beginnen die einzelnen Punkte bei einer Verkleinerung, die knapp bis zur Grenze ihrer Wahrnehmbarkeit heranreicht, in höchst wechselnder Weise zu verschwinden und wiederzuerscheinen, sie tauchen gleichsam unter und wieder auf. Dasselbe flimmernde Spiel sieht man, wenn die feinen Punkte sehr schwach hell auf dunklem Grund sind. HENSEN hält, was nach Hess auch wirklich zutrifft, bloß die Außenglieder der Zapfen für lichtempfindlich, nicht aber die dickeren Innenglieder derselben. Infolge dessen müssen in der Fovea, auch wenn die Zapfennenglieder einander dicht anliegen, zwischen den Außengliedern Lücken vorhanden sein. Je nachdem nun bei den kleinen Augenbewegungen während des

vermeintlich steten Fixierens das Bild eines Punktes bald auf eines der lichtempfindlichen Zapfenaußenglieder, bald auf eine Lücke zwischen ihnen fälle, würde nach HENSENS Ansicht der Punkt abwechselnd sichtbar sein und wieder verschwinden. Dieser Ansicht steht freilich zunächst die Ausbreitung der Lichtfläche über mehrere Zapfen entgegen, die HENSEN noch nicht berücksichtigt hat. Man müßte also seine Hypothese zunächst dahin abändern, daß nur der mittlere Teil der Lichtfläche, der über die Schwelle tritt, unter Umständen so klein werden könne, daß er in die Lücke zwischen den Zapfenaußengliedern hineinfalle. Aber auch gegen diese an sich schon etwas gezwungene Annahme spricht zunächst die ganze Erscheinungsform des Punkttauchens. Beruhte sie auf den kleinen, tatsächlich während des Fixierens auftretenden Augenbewegungen, so müßten, da sich diese mehr ruckförmig vollziehen, die Punkte rasch zuckend auftauchen und wieder verschwinden, je nachdem sie gerade über einen Zapfen oder über eine Lücke hinweghuschen. In Wirklichkeit geht aber der Wechsel viel ruhiger vor sich, und er beruht auch auf einem ganz anderen Vorgange. Blickt man mit dunkel adaptierten Augen auf eine ganz schwach und gleichmäßig beleuchtete Fläche, so beobachtet man ein fortwährend wechselndes Spiel kleiner Flecken vom Eigenlicht der Netzhaut. Befinden sich auf der Fläche sehr wenig absteckende Details, so können diese durch das Spiel des Eigenlichtes vorübergehend verdeckt werden. Indessen gibt dies bei binokularer Betrachtung noch kein Punkttauchen in ausgebildeter Form. Dazu gehört, daß man das eine Auge schließt oder auf eine gleichmäßig graue Fläche blicken läßt, und mit dem anderen die feinen Punkte betrachtet. Dann drängen sich die Regungen des ersten Auges in höchst unregelmäßigem Wechsel stellenweise ins Gesichtsfeld und helfen an diesen Stellen sehr schwache Regungen des »sehenden« Auges, wie sie z. B. durch den geringen Lichtunterschied zwischen einem feinsten schwarzen Punkt und dem weißen Grund wegen des Fehlens eines Kernbildes verursacht werden, vorübergehend mit verdecken<sup>1)</sup>. KLEIN (107, S. 190 ff.; 107a, S. 244) hat diese Verhältnisse eingehend untersucht.

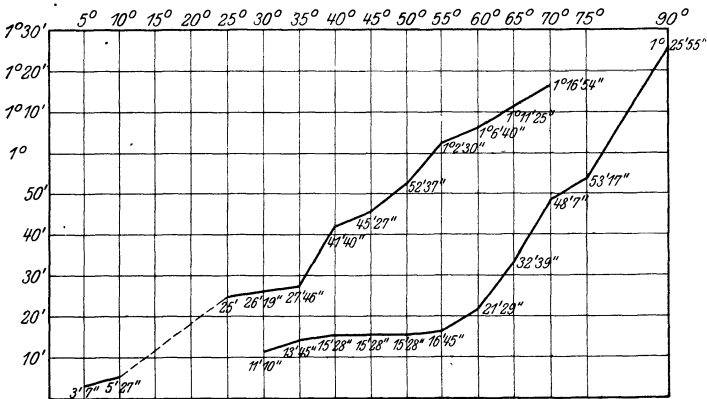
Wenn man bei diesen Versuchen längere Zeit auf die Punkte hinstarrt, verändern sie scheinbar ihre Form, sie sehen gelegentlich zackig aus, wie das Bild eines fern fliegenden Vogels (HENSEN). Manchmal sieht man auch vorübergehend statt eines Punktes zwei dicht nebeneinander. Man erhält durchaus den gleichen Eindruck, wenn man unter denselben Versuchsbedingungen das Blatt Papier, auf dem die Punkte angebracht sind, leicht zitternd hin und her bewegt. Demnach würde die Erscheinung auf unwillkürliche kleine Augenbewegungen zurückzuführen sein. Das wäre aber, da während derselben die Punkte dauernd sichtbar geblieben sind, der schlagendste Gegenbeweis gegen die HENSENSCHE Deutung des Punkttauchens. Ich würde mich noch viel bestimmter für diese Auffassung aussprechen, wenn ich nachweisen könnte, daß alle Punkte diese Formveränderungen gleichzeitig durchmachen, wie dies bei einer Bewegung des Bulbus der Fall sein müßte. Das kann ich aber subjektiv nicht feststellen, wahrscheinlich deswegen, weil das Wandern der Aufmerksamkeit von einer Stelle des Gesichtsfeldes zur anderen Zeit braucht und dann schon wieder ein

1) Bildet sich ein schwach leuchtender Punkt auf der Netzhautperipherie dauernd an einer Stelle ab, so verschwindet er wegen der Lokaladaptation ebenfalls nach einiger Zeit, und zwar, solange man keine willkürlichen Augenbewegungen ausführt, dauernd. Diese Erscheinung kann also nicht die Ursache des Punkttauchens sein.

anderes Stadium der Bewegung vorliegt. KLEIN (107 a, S. 237) führt auch diese Erscheinung auf das wechselnde Spiel des Eigenlichtes der Netzhaut zurück.

Wie sich in der **Netzhautperipherie** die Empfindungskreise zur Verteilung der Stäbchen und Zapfen verhalten, ist noch unklar. Wir haben oben S. 53 schon auseinandergesetzt, daß man das Verhalten des Auflösungsvermögens in der Netzhautperipherie mit der Duplizitätstheorie nur unter Hinzuziehung der Hilfshypothese vereinen könnte, daß die Erregungen von mehreren Stäbchen in einer Nervenfasern des Optikus zusammenfließen, und zwar um so mehr, je weiter peripher die betreffende Netzhautstelle liegt. Daß diese Annahme jedenfalls auch auf die Zapfen übertragen werden muß, ergibt sich aus SALZERS vergleichenden Zählungen der Optikusfasern und der Zapfen in der Netzhaut. SALZER (108) fand, daß auf etwa  $3\frac{1}{2}$  Millionen Zapfen bloß rund  $\frac{1}{2}$  Million Sehnervenfasern kommen, die sich doch außer auf die Zapfen noch auf die Stäbchen verteilen. Nach der Darstellung von

Fig. 22.



GREEFF in diesem Handb. (Teil I, Kap. V, S. 197) erfolgt das Zusammenströmen der Erregungen mehrerer Sehzellen im Laufe der zentralen Leitung stufenweise derart, daß zunächst die Erregung von mehreren Sehzellen auf eine bipolare Ganglienzelle und dann von mehreren Bipolaren auf nur eine Optikusganglienzelle übertragen wird.

Das würde an sich die allmähliche Abnahme der Sehschärfe gegen die Netzhautperipherie hin gut erklären, aber es ergibt sich eine Schwierigkeit aus dem Vergleich des Auflösungsvermögens mit der Unterschiedsempfindlichkeit für Lagen und Bewegungen in der Netzhautperipherie. Wenn wir die oben S. 50 und 57 ff. angeführten Zahlen für beide Leistungen des Auges miteinander vergleichen, so stellt sich heraus, daß die Werte für das Unterscheidungsvermögen für Lagen und für Bewegungen wie im Zentrum, so auch an den exzentrischen Netzhautstellen durchweg niedriger sind als die

für das Auflösungsvermögen. Freilich ist bei den großen individuellen Unterschieden ein Vergleich dieser Zahlen bei verschiedenen Personen nur sehr angenähert möglich, und es ist daher richtiger, sie an einem und demselben Auge miteinander zu vergleichen. Hierüber liegen bisher folgende Bestimmungen vor. LAURENS (68) hat für eine und dieselbe Netzhautstelle des dunkel adaptierten Auges das Verhältnis der nach der Noniusmethode bestimmten Raumschwelle zum Auflösungsvermögen auf durchschnittlich 4:4 ermittelt. Das Verhältnis der Schwelle für das Erkennen von Bewegungen zu der des Auflösungsvermögens betrug bei Verwendung kleiner Objekte etwa 4:3. Vorher schon hatte RUPPERT (85) an zwei Personen das Auflösungsvermögen und die Schwelle für das Erkennen von Bewegungen im selben Auge gemessen. Ich gebe in Fig. 22 ein Diagramm von ihm wieder, das die Verhältnisse auf der nasalen Netzhautpartie eines dieser Augen darstellt, wobei auf der Abszisse die Grade der Exzentrizität, als Ordinaten darüber die Gesichtswinkel für das Auflösungsvermögen — obere Kurve — und der Schwelle für das Bewegungssehen — untere Kurve — aufgetragen sind. Wie man sieht, liegen an derselben Netzhautstelle die Werte für das Auflösungsvermögen bis in die äußerste Peripherie höher, als für die Schwelle des Bewegungssehens.

Wie diese Begünstigung des Bewegungssehens und der Unterscheidungsfähigkeit für Lagen gegenüber dem Auflösungsvermögen in der Netzhautperipherie zu erklären ist, läßt sich nicht ganz sicher angeben. Eine von HELMHOLTZ (II, S. 264) aufgestellte Hypothese zur Erklärung dieses Unterschiedes enthält einen sehr wertvollen Gedanken, muß aber wohl in ihrer Detailausführung nach den neueren histologischen Befunden aufgegeben werden. v. FLEISCHL (404) hatte die Möglichkeit erwogen, daß in den peripheren Netzhautpartien die einer Sehnervenfasern zugehörigen Zapfen nicht alle unmittelbar nebeneinander liegen, sondern daß verschiedenen Nervenfasern zugehörige Zapfen durcheinander gemischt seien. Auch bei dieser Anordnung würde eine Bewegungsempfindung schon durch das Wandern des Bildes von einem Zapfen zum anderen hervorgerufen werden, während eine getrennte Wahrnehmung zweier Punkte erst bei viel größerem Abstand derselben voneinander stattfinden könnte. Bestünde diese Anordnung aber wirklich, und wäre jeder Optikusganglienzelle ein besonderer Raumwert eigentümlich, so müßte beim Hinwegwandern eines Punktbildes über die periphere Netzhaut die Lokalisation streckenweise immer vorwärts und wieder zurück springen, je nachdem zuerst ein zur Ganglienzelle *a*, dann ein zur Zelle *b*, dann wieder ein zur Zelle *a* gehöriger Zapfen gereizt würde. Da dies nicht der Fall ist, so ist offenbar auch v. FLEISCHLS Hypothese in der Form, wie sie vorliegt, noch nicht ganz zutreffend. Wohl aber könnte man trotzdem ihren Grundgedanken zur Erklärung der Verschiedenheit der Raumschwelle und des Auflösungsvermögens in der Netzhautperipherie mit heranziehen, wobei wir allerdings die Sonderung von



Stäbchen und Zapfen in den Hintergrund rücken und bloß von Sehzellen im allgemeinen sprechen wollen. Nennen wir je eine Gruppe von Sehzellen in der Netzhautperipherie, deren Erregung in eine einzige Optikusfaser zusammenfließt, eine Empfangseinheit, so können wir zunächst auf die nebeneinander liegenden Empfangseinheiten die Überlegungen übertragen, die HERING im Netzhautzentrum bezüglich der einzelnen Zapfen angestellt hat. Es wird also zum Merklichwerden eines Lageunterschieds, etwa bei einer Bewegung, nicht nötig sein, daß das Netzhautbild eines Gegenstandes von einer Empfangseinheit vollständig auf die nächste hinübereückt, sondern es ist nur notwendig, daß die nächste Empfangseinheit in der neuen Lage eben merklich mitgereizt wird. Zur Sonderung zweier leuchtender Punkte voneinander aber ist es allerdings notwendig, daß eine nicht erregte Empfangseinheit zwischen den Netzhautbildern der beiden leuchtenden Punkte dazwischen liegt. Zunächst bietet diese Annahme noch die Schwierigkeit, daß nach ihr eine Verschiebung des Netzhautbildes innerhalb des relativ großen Gebietes einer Empfangseinheit unbemerkt bliebe. Hier wäre nun der Gedanke v. FLEISCHLS anzuwenden. Wir müßten annehmen, daß die zu einer Empfangseinheit zugehörigen Sehzellen nicht alle in dicht geschlossener Gruppe unmittelbar nebeneinander stehen, sondern sich derart miteinander mischen, daß die Zahl der fremden Sehzellen gegen die Mitte der Gruppe zu abnimmt; Nun ist aber die Lichtausbreitung in der Netzhautperipherie noch größer als im Zentrum, es ist also dort noch weniger als auf der Fovea möglich, durch einen leuchtenden Punkt nur eine Sehzelle isoliert zu reizen, sondern man reizt immer mehrere zusammen. Setzen wir nun voraus, daß die Erregung einer Empfangseinheit um so stärker ist, je mehr ihr zugehörige Sehzellen gereizt werden, und nehmen wir ferner mit HELMHOLTZ an, daß Unterschiede im Verhältnis der Erregungsstärke der benachbarten Empfangseinheiten einen Einfluß auf die Lokalisation ausüben, so werden wir auch noch innerhalb des Areales, auf dem die Sehzellen zweier Empfangseinheiten durcheinander gemischt sind, einen Lagenunterschied wahrnehmen können, je nachdem mehr Sehzellen der einen oder der anderen Empfangseinheit gereizt werden. Diese Annahme ist zwar nur hypothetisch, aber sie bietet nicht bloß eine zureichende Erklärung für die Verschiedenheit des Auflösungsvermögens und der Raumschwelle auf der Netzhautperipherie, sondern sie macht es auch begreiflich, daß, wie GUILLERY (53) fand, die Fähigkeit, einen einzelnen schwarzen Punkt auf weißem Grund wahrzunehmen, gegen die Netzhautperipherie viel langsamer abnimmt, als die Fähigkeit, zwei ebenso große schwarze Punkte voneinander gesondert zu sehen. Mit Hilfe derselben läßt sich endlich auch sehr gut der große Einfluß der Übung auf die Sehschärfe in der Netzhautperipherie erklären, denn die Übung wäre nach ihr darauf zurückzuführen, daß man es erlernt, immer feinere Unterschiede in der Erregungsstärke der benachbarten Empfangseinheiten zu erkennen.

### 5. Vergleich von Richtungen und Winkeln.

Durch die Verschiedenheit der von den einzelnen Empfangseinheiten des Sehorgans gelieferten räumlichen Daten wird die gegenseitige Lage der Sehdinge im Sehfeld bestimmt, sie ist die Grundlage der relativen optischen Lokalisation. In dieser sind aber zweierlei Bestimmungen enthalten, nämlich

1. die der Richtung, in welcher die einzelnen Sehdinge gegeneinander zu liegen scheinen, und
2. die der scheinbaren Größe des Abstandes der Sehdinge voneinander.

Was zunächst die Bestimmung der Richtung anlangt, so beschränkt sich diese, so lange sie sich im Rahmen der relativen Lokalisation hält, lediglich auf den Vergleich der Richtungen, in denen die einzelnen Bestandteile des subjektiven Sehfelds relativ zueinander liegen, unter sich selbst und mit den ihnen entsprechenden Richtungen im objektiven Gesichtsfeld. Freilich sind, wie wir später sehen werden, zureichende Gründe für die Annahme vorhanden, daß schon in der ursprünglichen Lokalisationsweise des Auges über den bloßen Richtungsvergleich hinaus ein absolutes Moment, nämlich eine Festlegung der horizontalen und vertikalen Richtung, mit gegeben ist. Darnach wäre also den einzelnen Elementen des somatischen Sehfeldes bereits von vornherein eine bestimmt gerichtete Lokalisation nach rechts und links, nach oben und unten eigen. HERING drückt dies so aus, daß er einem jeden Element einen Raumwert zuschreibt, der aus einem Breitenwert (Rechts- oder Linkswert) und einem Höhenwert zusammengesetzt ist, und der demnach schon die Beziehung zur absoluten Lage der vertikalen und horizontalen Richtung enthält. Wenn wir uns daher im Folgenden zunächst auf die Besprechung des bloßen Relativvergleichs der Richtungen beschränken und die Bestimmung der scheinbaren Horizontalen und Vertikalen erst später bei der absoluten Lokalisation besprechen, so führen wir damit eine Sonderung ein, die zwar die Darlegung der Verhältnisse vereinfacht, auf der anderen Seite aber in Wirklichkeit stets miteinander verbundene Dinge voneinander trennt.

Mit der gegenseitigen Lage der Sehdinge ist ferner auch die Bestimmung der scheinbaren Größe des Abstandes der Sehdinge voneinander gegeben. Auch diese besteht zunächst in einem bloßen Relativvergleich, während die absolute Größe je nach den Umständen wechseln kann. Die letztere ist vor allem abhängig von der scheinbaren Entfernung der Sehdinge vom Beobachter nach der Tiefe zu. Wenn man eine Regung des somatischen Sehfeldes von konstanter Ausdehnung, z. B. ein dauerhaftes Nachbild, aus der Nähe in größere Entfernung verlegt, so nimmt seine scheinbare Größe zu. Die Größe des Sehdinges wird also gewissermaßen mit einem je nach dem scheinbaren Abstände wechselnden Faktor multipliziert, der subjektive »Maßstab des Sehfeldes« ändert sich und mit ihm

die absolute Größe. Die Breiten- und Höhenwerte der Netzhautstellen sind demnach keine konstanten, stets gleichbleibenden absoluten Werte, sondern sie bezeichnen bloß Größenverhältnisse (HERING, 7, S. 324).

Der Vergleich von Richtung und Abstand der Sehdinge voneinander bezieht sich nun nicht bloß auf gesondert wahrgenommene und isoliert lokalisierte Sehdinge, sondern er ist auch enthalten und bildet eine der Voraussetzungen für das Erkennen von Formen, in dem daneben allerdings noch etwas weiteres enthalten ist, nämlich das Verschmelzen der Einzeleindrücke zu einem zusammenhängenden einheitlichen Ganzen. Wir wollen die darauf bezüglichen Fragen später in einem besonderen Kapitel besprechen und vorerst den Richtungsvergleich und die relative Größenschätzung an durch diskrete Punkte abgegrenzten und an ausgefüllten Strecken gemeinsam besprechen.

Ehe wir aber an die Einzelerörterungen herangehen, müssen wir einige methodologische Bemerkungen vorausschicken. Bleiben wir vorerst beim Richtungsvergleich, so kann zunächst die subjektiv gesehene Richtung von der objektiv vorhandenen abweichen, die Richtung kann falsch gesehen werden. Bekannte Beispiele dafür sind die Ablenkung der scheinbaren Vertikalen von der wirklichen bei der Karussellbewegung oder die scheinbare Divergenz der parallelen Linien bei der ZÖLLNERschen Täuschung. Diese falsche Richtung kann aber trotzdem mit großer Sicherheit immer wieder so gesehen werden. HERING unterscheidet daher scharf voneinander die Richtigkeit und die Bestimmtheit der optischen Lokalisation.

Stellen wir einer Versuchsperson die Aufgabe, zu einer gegebenen vom Fixationspunkt nach oben hin verlaufenden Strecke eine gleich lange herzustellen, die vom Fixationspunkt nach unten zu verläuft, so wird die Person bei den einzelnen aufeinander folgenden Einstellungen im allgemeinen Fehler begehen. Sei  $a$  die gegebene Länge der oberen Strecke, bezeichnen wir ferner die Längen der nacheinander eingestellten unteren Strecken mit  $b_1, b_2 \dots b_n$ , und nehmen von allen  $n$  Einstellungen das arithmetische Mittel  $c = \frac{\Sigma(b_1, b_2 \dots b_n)}{n}$ , so ist dieses in dem angezogenen Beispiele von der

Länge  $a$  verschieden. Die Differenz  $c - a$  wird als der konstante Fehler bezeichnet, und seine Größe liefert uns einen Anhalt für die Richtigkeit der optischen Lokalisation. Von dem Mittelwert  $c$  für die Länge der unteren Strecke weichen nun die Einzeleinstellungen  $b_1, b_2 \dots b_n$  um je einen Betrag ab, den man den variablen Fehler nennt, und den wir in den Einzelversuchen mit  $d_1, d_2 \dots d_n$  bezeichnen wollen. Bilden wir die Summe aller dieser Abweichungen, indem wir sie alle als positiv rechnen und dividieren sie durch die Zahl der Versuche  $n$ , so erhalten wir den mittleren variablen Fehler: m. v. F. =  $\frac{\Sigma(d_1, d_2 \dots d_n)}{n}$ . Die Größe desselben können

wir als das Maß der Bestimmtheit der optischen Lokalisation ansehen.

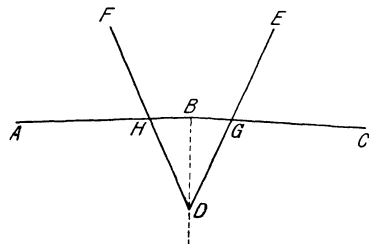
Wir wollen uns in diesem Abschnitt ausschließlich mit der Frage nach der Bestimmtheit der optischen Lokalisation im ebenen Sehfeld befassen und die Frage nach der Richtigkeit vorläufig beiseite lassen. Soweit es möglich ist, sollen dabei die Versuchsbedingungen so gewählt werden, daß die optische Lokalisation richtig ist, d. h. daß der konstante Fehler gleich Null ist. Das läßt sich beim Vergleich von Richtungen mit einiger Genauigkeit erzielen, wenn man Richtungen wählt, die durch den Fixationspunkt des in Primärstellung befindlichen Auges verlaufen. Für solche gilt nämlich — wenigstens in den meisten Augen — der Satz, daß objektiv gerade Richtungen auch subjektiv als gerade erscheinen. Wir werden also die Versuchsobjekte bei Primärlage des Kopfes und der Augen entweder ruhig fixieren oder bei Augenbewegungen nur wenig von der Primärstellung abgehen dürfen.

Solche Vergleiche zweier Richtungen können nun entweder in der Weise angestellt werden, daß wir Richtungsänderungen im Verlaufe eines und desselben Linienzuges beurteilen, oder wir beurteilen den Parallelismus zweier getrennter Linien. Daran schließt sich dann an der Vergleich von Winkeln.

Richtungsänderungen im Verlaufe eines und desselben Linienzuges können sich entweder darstellen als plötzliche Abknickung einer Geraden oder als stetige Richtungsänderung, als Krümmung. Die Genauigkeit, mit der wir derartige Richtungsänderungen zu erkennen vermögen, hat zuerst GUILLERY (116) untersucht. Er fand, daß die Merklichkeit der Abweichung von der geraden Richtung nicht bloß von der Größe des Knickungswinkels bzw. dem Krümmungsgrade abhängt, sondern außerdem noch von der Größe des Netzhautbildes der untersuchten Linien. Die Untersuchung geschah binokular mit bewegtem Blick. In einer ersten Versuchsreihe war in 50 cm Abstand vom Beobachter ein auf einer weißen Papierfläche gezogener in der Mitte geknickter Strich  $ABC$  in Augenhöhe derart aufgestellt, daß die Knickstelle  $B$  in der Mediane ebene des Beobachters lag. Waren die beiden Hälften des Strichs  $AB$  und  $BC$  je 15 cm lang, so wurde der Knick eben sicher erkannt, wenn der Knickungswinkel  $23'$  betrug. Bei einem Knickungswinkel von  $16'$  war die Schätzung bereits unsicher, d. h. bei abwechselnder Darbietung eines geraden und eines geknickten Striches wurden dabei schon Fehler begangen.

Um den Einfluß der Bildgröße zu untersuchen, wurde ein Papier mit

Fig. 23.



dem Ausschnitt  $EDF$  so über die Striche gelegt, daß bloß ein kurzes Stück derselben,  $GBH$  in der Fig. 23, sichtbar blieb. Dieses Stück wurde durch Verschieben des Deckblattes längs der Richtung  $BD$  soweit vergrößert, bis die Abknickung eben sicher merklich wurde. Dabei stellte sich heraus, daß die Länge der Striche, bei denen die Knickung eben erkannt wurde, wenn der Knickungswinkel den Schwellenwert von  $23'$  um ein Geringes übersteigt, zunächst nur wenig abnimmt. Sobald aber die Knickungswinkel größer werden, nimmt die Länge der Striche, bei der er eben erkannt wird, stark ab, und sie nähert sich rasch einer für alle stärker geknickten Striche konstanten Minimallänge. An vertikal und horizontal gerichteten Strichen ist das Erkennen der Knickung gegenüber den Schräglagen deutlich begünstigt.

Eine ähnliche Abhängigkeit von der Netzhautbildgröße ließ sich auch nachweisen für die Unterscheidung von geraden Strichen und Kreisbögen und ebenso für die Erkennbarkeit von Krümmungsänderungen, wofür als Spezialfälle der kontinuierliche Übergang (ohne objektiven Knick) einer geraden Linie in einen Kreisbogen, sowie zwei kontinuierlich aneinander anschließenden Kreisbögen von verschiedenem Radius zur Untersuchung dienen. Auch hier war stets das Erkennen der Krümmung bzw. des Krümmungsunterschiedes bei vertikaler oder horizontaler Gesamtrichtung des Linienzugs gegenüber den Schräglagen begünstigt.

Tabelle 40.

Größe des Knickungswinkels	Gesichtswinkel	
	für die Länge der Grundlinie	für den seitlichen Lageunterschied der Strichenden
$23'$	$4^\circ$	$12''$
$34\frac{1}{2}'$	$54'$	$16\frac{1}{2}''$
$69'$	$16'$	$10''$

Fragen wir nun, wodurch diese Abhängigkeit des Erkennens von Richtungsänderungen von der Größe des Netzhautbildes bedingt sein könnte, so liegt es zunächst nahe, an eine Beziehung zum eben merklichen Lagenunterschiede bei der Noniusmethode zu denken. Nehmen wir den Fall der geknickten Linie und wenden darauf das Schema der Fig. 49a auf S. 59 an, so wird eine Richtungsänderung des geraden Striches jedenfalls erst erkannt werden können, wenn sie den Betrag des eben merklichen seitlichen Lageunterschiedes erreicht hat, d. h. wenn die Enden des Striches von der Elementenreihe  $mm$  auf die Reihe  $nn$  übergegangen sind. Dies wird aber auf einer um so kürzeren Netzhautstrecke erfolgen, je größer der Knickungswinkel ist. Ich habe nun, um zu sehen, inwieweit diese Überlegung zutrifft, aus den Angaben von GUILLERY berechnet, wie groß die seitliche Abweichung

des sichtbaren Endes  $G$  des geknickten Striches von der geraden Fortsetzung von  $AB$  ist, wenn die Knickung eben erkannt wird, und finde die in Tabelle 10 zusammengestellten Beträge<sup>1)</sup>. Ich selbst komme, wenn ich die Versuche ganz so anstelle, wie GUILLERY, nur im günstigsten Falle zu Werten von der gleichen Größe (12"), sonst aber zu höheren. Jedenfalls sind die Zahlen innerhalb der in der Tabelle angeführten Beträge der Knickungswinkel tatsächlich ziemlich gleich und entsprechen der Größenordnung nach dem Wert für den eben erkennbaren seitlichen Lagenunterschied, nur sind sie im allgemeinen etwas höher. Das ist aber ganz begreiflich, weil die Bedingungen für das Erkennen der Knickung doch andere sind, als die für das Erkennen des seitlichen Lagenunterschiedes bei der Noniusmethode, da es sich im ersteren Falle um den Vergleich von Lagen handelt, die durch Zwischenstufen ineinander übergehen. Erfolgt dieser Übergang sehr allmählich, so daß der seitliche Lageunterschied erst bei größeren Streckenlängen die Raumschwelle erreicht, so muß dies den Vergleich um so mehr erschweren, je weiter die Punkte des geknickten Striches, die um den Betrag der Raumschwelle seitlich verlagert sind, voneinander entfernt sind. Dadurch wird nun ohne weiteres verständlich, warum bei sehr kleinen Knickungswinkeln, die eben an der Grenze des Erkennens liegen, eine weitere Verlängerung der Striche nichts mehr nützt.

Die Erschwerung des Lagevergleichs weit voneinander entfernter Punkte, die aus theoretischen Gründen von besonderem Interesse ist, läßt sich noch auf eine andere Weise feststellen, indem man nämlich so, wie dies zuerst BOURDON (3, S. 96 ff.) in einigen Probeversuchen getan hat, die Bestimmtheit untersucht, mit dem man im Dunkelzimmer einen Lichtpunkt in die gerade Verbindungslinie zweier anderer einzustellen vermag. Man kann diesen Versuch so auffassen, daß durch die drei Lichtpunkte zunächst die Enden  $A$ ,  $B$  und  $C$  (vgl. Fig. 23) einer geknickten Strecke markiert werden, und daß man nun den mittleren Punkt  $B$  so weit verschiebt, bis die Knickung eben unmerklich wird.

Um die Versuche mit den vorhergehenden streng vergleichbar zu machen, müßte man freilich auch hier die Schwelle für das Ebenmerklichwerden der

1) Bezeichnet man die von GUILLERY »Grundlinie« genannte gerade Entfernung  $GH$  in Fig. 23 mit  $g$ , den Knickungswinkel mit  $\alpha$ , so ist die vom Endpunkt der zweiten Linie auf die gerade Fortsetzung der ersten gefällte Senkrechte gleich  $g \sin \frac{\alpha}{2}$ . Der Gesichtswinkel für diese Länge aus 50 cm Abstand vom Auge in die dritte Kolumne der Tabelle 10 eingesetzt. Nachträglich sah ich, daß BÜHLER (4, S. 77) anders rechnet. Er zieht die gerade Verbindungslinie von  $G$  nach  $H$  in Fig. 23 (GUILLERYS »Grundlinie«) und berechnet ihren Abstand vom Knickpunkt  $B$ . Das ergibt ungefähr die Hälfte der oben angegebenen Werte für den Gesichtswinkel (5—8"), Zahlen also, die bei der Noniusmethode bloß von einigen Personen unter den allergünstigsten Umständen noch erreicht werden. Es ist demnach äußerst unwahrscheinlich, daß diese Rechnungsweise hier anwendbar ist.

Knickung bestimmen. Auch dürfte man nicht mit der Methode der mittleren Fehler, die jetzt nach G. E. MÜLLER (135 b) als Herstellungsmethode bezeichnet wird, arbeiten, denn der nach ihr bestimmte mittlere Fehler ist keineswegs ein genaues Maß der Unterschiedsschwelle. Ich habe aber diese Methode trotz ihrer verschiedenen Mängel deswegen angewandt, weil es mir mehr noch als auf die Analogie mit den Versuchen von GUILLERY auf einen Vergleich mit den später zu besprechenden Augenmaßversuchen ankam, die zum allergrößten Teil nach der Methode der mittleren Fehler ausgeführt wurden.

In einigen Versuchen dieser Art hatte zunächst schon BOURDON festgestellt, daß der mittlere variable Fehler bei fester Fixation des mittleren Punktes größer ist, als bei Beobachtung mit bewegtem Blick. Ferner gelang ihm die Einstellung bei einer um  $45^\circ$  geneigten Richtung wesentlich schlechter, als bei horizontaler und vertikaler Richtung, was mit dem oben erwähnten Befunde von GUILLERY übereinstimmt.

Mir handelte es sich bei diesen Versuchen zunächst darum, einen wenigstens vorläufigen Überblick darüber zu erhalten, wie die Bestimmtheit der Einstellung dreier Punkte in eine gerade Linie von der Entfernung der Endpunkte der durch sie abgegrenzten Strecke abhängt. Ich beobachtete binokular mit bewegtem Blick, nachdem ich mich ebenfalls davon überzeugt hatte, daß der mittlere variable Fehler bei fester Fixation des mittleren verschieblichen Punktes beträchtlich größer ist, als bei Beobachtung mit bewegtem Blick. Der Abstand der Augen vom mittleren Lichtpunkt betrug 298 cm, die Gesichtswinkel für die Streckenlänge betrugen nacheinander  $10-40^\circ$  (die Entfernung des mittleren Punktes von jedem Endpunkt daher  $5-20^\circ$ ). Das aus je 80—160 Einzeleinstellungen für jede Streckenlänge gewonnene Ergebnis ist in Tabelle 11 zusammengestellt, wobei ich der leichteren Übersicht wegen die Streckenlänge und den mittleren variablen Fehler nicht bloß im Längenmaß anführe (die Ablesungen erfolgten mit Nonius auf 0,4 mm genau), sondern auch den Gesichtswinkel dafür daneben setze. Wie man sieht, geht der mittlere variable Fehler bei einer Streckenlänge von  $10-20^\circ$  ziemlich genau der Vergrößerung des Gesichtswinkels proportional, von da ab steigt er aber rascher an als die Streckenverlängerung<sup>1)</sup>. Bis zu etwa  $20^\circ$  stimmt also das Ergebnis zu der Angabe GUILLERYS, daß der eben erkennbare Knickungswinkel mit der Verlängerung der Vergleichsstrecken nicht zunimmt. Darüber hinaus bleiben aber zunehmend größere Knickungswinkel unbemerkt.

---

1) Leider mußte ich als Myop mit einer Brille (Zeiss' Punktalgas) arbeiten, die, auch wenn sie gut zentriert ist, wenigstens bei den extremen Lagen schon eine merkliche Bildverzerrung im Sinne einer Verkürzung der Strecke bewirkt. Deshalb habe ich die Versuche nur soweit geführt, daß daraus das allgemeine Ergebnis abgelesen werden kann. Die Zahlen selbst werden, sobald eine emmetrope Versuchsperson zur Verfügung steht, noch genauer — und dann auch mit einer exakteren Methode — festzustellen sein.

Tabelle 11.

Länge der Strecke	Gesichtswinkel	Mittlerer variabler Fehler		Verhältnis der Gesichtswinkel
		in mm	Gesichtswinkel	
32,5 cm	10°	1,0	69"	1 : 522
108,4 »	20°	2,05	142"	1 : 517
172,0 »	30°	3,4	235"	1 : 459
230,0 »	40°	5,05	350"	1 : 411

Da GUILLERY und BOURDON angegeben hatten, daß man beim Vergleich schräger Richtungen viel größere Fehler mache, als beim Vergleich in der vertikalen und horizontalen Richtung, habe ich ferner eine Versuchsreihe angeschlossen, in der der Gesamtstrecke bei einer konstanten Länge derselben von 108,4 cm (gleich einem Gesichtswinkel von 20°) verschiedene Neigungswinkel erteilt wurden. Dabei ergaben sich aus je 80 Einzeleinstellungen für jeden Neigungswinkel die in der Tabelle 12 angeführten Zahlen, wobei der Neigungswinkel die Abweichung von der Vertikalen angibt, diese also mit 0°, die horizontale mit 90° bezeichnet ist. Wie man daraus ersieht, sind auch bei mir die schrägen Richtungen gegenüber den horizontalen und vertikalen im Nachteil, und zwar am meisten die Neigung von 45°. Von da ab nimmt die Genauigkeit der Einstellung gegen die horizontale und vertikale Richtung hin allmählich zu. Bei 10° Abweichung von der vertikalen und horizontalen Richtung ist der Unterschied gegenüber der reinen Vertikalen und Horizontalen schon sehr gering, oder er fehlt ganz. Außerdem scheint bei mir die horizontale Richtung gegenüber der vertikalen etwas bevorzugt zu sein.

Tabelle 12.

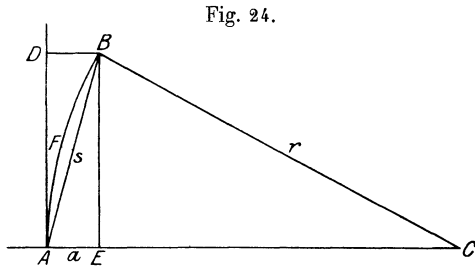
Neigung	Mittlerer var. Fehler mm
0°	2,05
10°	2,0
30°	3,85
45°	4,1
60°	3,78
80°	2,25
90°	1,7

Mit Rücksicht auf später zu erwähnende Überlegungen habe ich die letzteren Versuche auch bei unverwandter Fixation des mittleren beweglichen Punktes ausgeführt. Sie ergaben wieder dieselbe Abhängigkeit des mittleren variablen Fehlers vom Neigungswinkel der Strecke. Der mittlere variable Fehler aus 80 Einstellungen betrug hierbei, bei einer Distanz der



Endpunkte von 108,4 cm (gleich einem Gesichtswinkel von  $20^\circ$ ) in vertikaler Richtung 3,5 mm, war also beträchtlich größer als bei Beobachtung mit bewegtem Blick. Das lag, wie die Selbstbeobachtung lehrte, daran, daß man die relative Lage der indirekt und unscharf gesehenen Punkte undeutlicher wahrnimmt, als wenn man sie abwechselnd fixieren kann und scharf sieht. Bei  $30^\circ$  Neigung gegen die Vertikale stieg der m. v. F. auf 4,5 mm, bei  $45^\circ$  Neigung auf 5,8 mm (Mittel aus je 40 Einstellungen). Die zunehmende Unsicherheit der Einstellung bei seitlicher Neigung war auch subjektiv sehr bemerklich.

Über die Unterscheidung gerader und gekrümmter Linien liegen Untersuchungen von GUILLERY (116) und von BÜHLER (4, S. 71 ff.) vor. GUILLERY verwendete wieder die oben angeführte Methode des sukzessiven Aufdeckens einer gekrümmten Linie, BÜHLER bestimmte die eben noch erkennbare Krümmung an äußerst schwach gekrümmten Kreisbögen von je 10 cm Sehnenlänge, die aus 1 m Augenabstand betrachtet wurden.



Es fragt sich nun, wonach man in diesen Fällen die Krümmung beurteilt. Man könnte zunächst vermuten, daß dafür der seitliche Lagenunterschied der beiden Enden des sichtbaren Bogens maßgebend sei, und man könnte diesen so bestimmen, daß man an das Ende  $A$  des Kreisbogens  $AB$  in Fig. 24 die Tangente  $AD$  anlegt und den seitlichen Abstand des anderen Endpunktes  $B$  von ihr (die Strecke  $BD$ ) berechnet. Ist  $s$  die gegebene Länge der Sehne des Bogens (GUILLERY'S Grundlinie) und  $r$  der Krümmungsradius, so ist  $BD = AE = \frac{s^2}{2r}$ . Aus den Versuchen von GUILLERY (Tabelle H) findet man dann die in Tabelle 13 in der dritten Reihe angeführten Zahlen.

Tabelle 13.

Länge des Krümmungsradius mm	Gesichtswinkel für		
	die Länge der Sehne des sichtbaren Kreisbogens	den seitlichen Lagenunterschied der Bogenenden	die Bogenhöhe
1000	$2^\circ 26'$	$94''$	$24''$
500	$4^\circ 47'$	$96''$	$24''$
250	$4^\circ 22' (55')$	$115'' (53'')$	$29'' (14'')$
125	$41\frac{1}{2}' (38')$	$58'' (50'')$	$15'' (12\frac{1}{2}'')$
62,5	$32' (24')$	$70'' (45'')$	$17\frac{1}{2}'' (11'')$
34	$20' (17')$	$58'' (45'')$	$16'' (11'')$
15	$10'$	$29''$	

Die in Klammern stehenden rühren von Versuchen her, die ich selbst anstellte. Indessen halte ich diese Rechnung nicht für zulässig. Der seitliche Lagenunterschied bei geknickten geraden Strichen, den man als Analogie heranziehen könnte, bietet nämlich bloß die Unterlage zum eigentlichen Richtungsvergleich, d. h. man benützt ihn, um die Richtung  $AB$  mit  $BC$  in Fig. 23 zu vergleichen. Auf den Krümmungsfall übertragen würde das heißen, man müßte die Richtung des äußersten mit der Tangente zusammenfallenden Endes des Bogens bei  $A$  in Fig. 24 mit der Richtung des äußersten Endes bei  $B$  vergleichen, und das geschieht gewiß nicht. BÜHLER (4) hat als Maß für die eben merkliche Krümmung die »Bogenhöhe« angenommen, d. h. den Abstand des Scheitels des Kreisbogens  $F$  von der Sehne  $AB$  (die punktierte Linie in Fig. 24). Ihre Länge ist  $r - \sqrt{r^2 - \frac{s^2}{4}}$ , sie beträgt rund  $\frac{1}{4}$  der Länge des Tangentenabstandes.

Ich habe die Gesichtswinkel für diese Strecke in der letzten Reihe der Tabelle 13 angeführt. Sie sind mit den nach der Noniusmethode erhaltenen gut vereinbar. Das Verfahren würde besagen, daß man den seitlichen Lagenunterschied der beiden Enden des Bogens gegenüber dem Scheitel miteinander vergleiche.

Zweifellos ist auch dies für das Erkennen der Krümmung nicht allein maßgebend, denn es würde noch immer nicht die Unterscheidung zwischen einem stetig gekrümmten und einem in der Mitte geknickten Strich ermöglichen. Eine stetige Krümmung sieht man dann, wenn man auch noch in der Zwischenstrecke Richtungsänderungen wahrnimmt, während man, wenn diese auf einer hinreichend langen Strecke fehlen, den Eindruck der Geraden erhält. Wir werden uns damit noch an einer anderen Stelle befassen (unten S. 102) und dort sehen, daß ein strenger Maßstab für die Unterscheidung kurzer gerader und gekrümmter Strecken noch nicht gefunden ist. Wir müssen uns daher hier vorläufig damit begnügen, daß uns die gefundenen Zahlen wenigstens den Vergleich der eben merklichen Krümmung bei verschiedenem Radius und verschiedenen Bogenlängen gestatten. Man sieht nämlich aus der Tabelle, daß die Bogenhöhe (und ebenso der seitliche Lagenunterschied der Bogenenden) bei Krümmungsgraden, die unter einem Gesichtswinkel von weniger als  $1^\circ$  für die gesamte Bogenlänge erkannt werden, ungefähr konstant ist<sup>1)</sup>. Bei schwächeren Krümmungen, zu deren Erkennen eine größere Bogenlänge erforderlich ist, steigt auch der Grenzwert für die Bogenhöhe an, und es ist zu erwarten, daß er bei noch flacheren Bögen wegen der größeren Schwierigkeit des Vergleichs der Enden mit der Mitte des Bogens ebenso zunimmt, wie beim Vergleich von geraden Richtungen. Dafür spricht

1) Den niedrigsten Wert von  $29''$  lasse ich dabei außer Betracht, weil er wegen des Einflusses des Messungsfehlers zu unsicher ist.

besonders, daß BÜHLERS Versuchspersonen an äußerst schwach gekrümmten Bögen die Krümmung meist erst bei einem Gesichtswinkel von  $5\frac{3}{4}^\circ$  für die ganze Länge des Bogens und einer Bogenhöhe von mehr als  $60''$  sicher erkannten<sup>1)</sup>.

Während bei allen bisherigen Versuchen die miteinander verglichenen Richtungen in einem Zuge lagen, hat MACH (118) untersucht, mit welcher Bestimmtheit man zu einer gegebenen Richtung eine dazu parallele einzustellen vermag. Die Bestimmtheit erwies sich als abhängig von der absoluten Richtung: Sie war am größten in der Horizontalen und Vertikalen und nahm beim Übergang zu schrägen Richtungen immer mehr ab, so daß sie bei einer Neigung von  $45^\circ$  am geringsten war. Bezeichnet man die vertikale Richtung mit  $0^\circ$ , die Horizontale mit  $90^\circ$ , gibt also als Neigungswinkel die Abweichung der Richtung von der Vertikalen an, und trägt dann über den Winkelwerten als Abszisse die Größe des mittleren variablen Einstellungsfehlers als Ordinate auf, so erhält man nach MACH die ausgezogene

Fig. 25.



Kurve der Fig. 25. Es ist, wie man sieht, ein im wesentlichen analoges Verhalten, wie wir es oben bei der Einstellung eines mittleren beweglichen Lichtpunktes in die

gerade Verbindungslinie zweier anderer fester Lichtpunkte erhalten haben, und wie es sich auch in den Versuchen von GUILLERY, ja sogar schon in den Versuchen von BEST mit der Noniumethode äußert. In allen diesen Versuchen wird das Ergebnis durch die absolute Richtung mit beeinflusst.

Auch in den Versuchen von JASTROW (117), der die Genauigkeit untersuchte, mit der man eine vorher gezeigte Richtung nach dem Verdecken wieder einzustellen vermag, ergaben sich Anhaltspunkte dafür, daß die horizontale und die vertikale Richtung mit größerer Bestimmtheit eingestellt wird, als die schrägen Richtungen. Besonders deutlich kam dies zum Vorschein, als JASTROW ohne jede Vorlage aus dem Gedächtnis und bei Ausschluß jeglicher sichtbaren geraden Linie im Gesichtsfelde seine Versuchspersonen die vertikale, horizontale und die unter  $45^\circ$  nach rechts oder links geneigten Richtungen einstellen ließ. Der mittlere variable Fehler betrug bei 40 Versuchspersonen im Durchschnitt und auf Minuten abgerundet: bei vertikaler Richtung  $36'$ , bei horizontaler  $39'$ , bei  $45^\circ$  Neigung, gleichgültig, ob die Linie von links oben nach rechts unten oder umgekehrt verlief,  $2^\circ 55'$ . Die horizontale und vertikale Richtung ist also in unserem Gedächtnis mit viel größerer Bestimmtheit festgelegt, als die schrägen

1) Verschiedene andere Versuche über das Erkennen von Krümmungsunterschieden usf., deren Erörterung hier zu weit führen würde, findet man bei GUILLERY (116) und bei BÜHLER (4).

Richtungen. Worauf dies beruhen kann, soll erst bei der Besprechung der absoluten Lokalisation erörtert werden.

Unter den Winkeln ist in der Bestimmtheit des Wiedererkennens der rechte besonders bevorzugt. Der mittlere variable Fehler, den man bei seiner Herstellung begeht, ist viel kleiner als bei der Herstellung (dem Nachzeichnen) spitzer oder stumpfer Winkel. Übrigens spielt auch hier die absolute Lokalisation wieder dieselbe Rolle, wie beim einfachen Richtungsvergleich, indem bei horizontaler und vertikaler Richtung der Schenkel die mittlere Variation der Einstellung geringer ist, als bei Schräglagen (BIHLER, 445).

Wenn man versucht, einen spitzen oder stumpfen Winkel nach einem anderen, gleichzeitig sichtbaren oder aus dem Gedächtnis nachzuzeichnen, so kann man entweder so vorgehen, daß man die Schenkel des zweiten denen der Vorlage parallel zu machen sucht, oder man sieht davon ab und sucht bei gleicher oder veränderter Richtung der Schenkel nur die Winkel gleich groß zu machen. BIHLER (445, S. 24 ff.) erhielt in beiden Fällen ein verschiedenes Resultat, das aber hauptsächlich wegen der Größe des konstanten Fehlers interessiert. Auch die Versuche über die Genauigkeit, mit der spitze oder stumpfe Winkel aus dem Gedächtnis nach einer kurz vorher gezeigten und dann verdeckten Vorlage nachgezeichnet werden, die JASTROW (447), BIHLER (445), RICHTER und WAMSER (449) ausgeführt haben, beziehen sich vorwiegend auf die absolute Größenschätzung.

## 6. Das Augenmaß.

Als zweite Leistung der relativen optischen Lokalisation hatten wir die Fähigkeit bezeichnet, die Größe der Sehdinge miteinander zu vergleichen. Man bezeichnet diese Fähigkeit auch als das Augenmaß, und wir müssen bei der Untersuchung desselben zweierlei berücksichtigen, nämlich 1. das Vermögen, Größenunterschiede zu erkennen und 2. das Vermögen, Größenverhältnisse (Proportionen) abzuschätzen.

Die Fähigkeit, Größenunterschiede zu erkennen oder die Feinheit des Augenmaßes ist sehr oft untersucht worden im Hinblick auf die Frage, ob auch hier das WEBERSche Gesetz gilt, d. h. ob der eben merkliche Unterschied beim Vergleich verschieden langer Strecken einen konstanten Bruchteil der Streckenlänge beträgt. Größere Versuchsreihen darüber durch Bestimmung des mittleren variablen Fehlers beim Versuch, einer gegebenen ersten Strecke eine zweite gleich zu machen (Herstellungsmethode), sind zuerst von FECHNER (17, Bd. I, S. 244; s. ferner 125 a, S. 334 ff.; ältere Versuche von HEGELMAIER [129] sind zu wenig umfangreich) und von VOLKMANN (43) ausgeführt worden. VOLKMANN benützte zu diesen Versuchen drei meist vertikal ausgespannte Fäden, von denen die ersten zwei  $a$  und  $b$ ,

feststanden, während der dritte  $c$  — bei kleinen Distanzen mittels einer Mikrometerschraube — so lange nach rechts und links verschoben wurde bis die Distanz  $bc$  der von  $a$  und  $b$  gleich erschien. Die Beobachtungen erfolgten mit einem Auge und mit bewegtem Blick. Dabei fand nun VOLKMANN für mittlere Längen, die unter einem Gesichtswinkel von  $43'$  bis  $46\frac{1}{2}'$  — entsprechend  $4,24$ — $101,04$  mm aus  $340$  mm Sehweite — gesehen wurden daß der mittlere variable Einstellfehler ziemlich konstant rund  $\frac{1}{90}$ — $\frac{1}{100}$  der Streckenlänge ausmachte. Da man gewöhnlich annimmt, daß der mittlere Fehler der Größe der Unterschiedschwelle proportional ist, so schließt man daraus, daß das WEBERSche Gesetz innerhalb der genannten Breite gültig ist<sup>1)</sup>. Ebenso fand später MERKEL (135) das WEBERSche Gesetz für mittlere Streckenlängen ( $5$ — $100$  mm, die »aus deutlicher Sehweite« betrachtet wurden) gültig. In den Versuchen von CHODIN (124) sind die Schwankungen etwas größer, und zwar besitzt nach diesem Autor die relative Unterschiedsempfindlichkeit für horizontale Strecken ein Maximum bei einer aus  $350$  mm Entfernung gesehenen Vergleichsstrecke von  $20$  mm Länge und nimmt von da nach den längeren und kürzeren Strecken hin ab. Die Zahlen für vertikale Strecken stimmten auch bei ihm mit dem WEBERSchen Gesetz überein. FISCHER (126), der bei Halbierungsversuchen das WEBERSche Gesetz für mittlere Streckenlängen zutreffend fand, hält die Abweichungen vom WEBERSchen Gesetz in CHODINS Tabellen für zufällige. Abweichungen von diesem Gesetz gab auch HIGIER (130) an, gegen dessen Berechnungen aber von MERKEL (135) und WUNDT (15 a) Einwände erhoben wurden. Bei der Untersuchung des eben merklichen Unterschiedes zweier Strecken fanden VOLKMANN und MERKEL das WEBERSche Gesetz für mittlere Länge bestätigt, während CHODIN auch hierbei Abweichungen fand.

Für kurze Strecken, die unter weniger als  $40'$  gesehen werden, gilt das WEBERSche Gesetz nach VOLKMANN nicht mehr, und zwar wird die relative Unterschiedsempfindlichkeit, die nach diesem Gesetz konstant sein sollte, um so geringer, je kürzer die Vergleichsstrecke ist. Für ganz kurze Strecken, die unter etwa  $8$ — $20'$  gesehen werden, nimmt der eben erkennbare Längenunterschied einen von der Länge der Vergleichsstrecke unabhängigen konstanten Wert von  $\frac{1}{90}$  mm aus  $200$  mm Abstand vom Auge an, der einem Gesichtswinkel von rund  $44''$  entspricht, sonach mit dem nach der Noniusmethode gemessenen Wert für die Unterschiedsempfindlichkeit für Lagen übereinstimmt (vgl. oben S. 56).

Bei CHODIN war die Feinheit des Augenmaßes für horizontale Strecken merklich größer als für vertikale, was vorher schon HEGELMAIER (129) und an sehr kurzen Strecken auch VOLKMANN bemerkt hatten. Darin scheinen aber individuelle Unterschiede zu bestehen, denn BOURDON (3, S. 122) fand

1) Man vergleiche dazu die Ausführungen von G. E. MÜLLER (135 b, S. 376 ff.

bei sich umgekehrt ein besseres Unterscheidungsvermögen für vertikale Strecken als für horizontale, allerdings auch wieder nur an äußerst kurzen Strecken, die bloß infolge verschiedener Helligkeit verschieden lang aussahen. Durch Übung wird das Erkennen von Längenunterschieden wesentlich verfeinert, wofür insbesondere VOLKMANN (13, S. 88) Zahlenbelege anführt. Ferner ist das Augenmaß für Strecken von einiger Ausdehnung bei bewegtem Blick dem bei fester Fixation erheblich überlegen. Messungen darüber bei MÜNSTERBERG (136).

Die Messungen der Unterschiedsempfindlichkeit des Raumsinns sind mit denen der Unterschiedsempfindlichkeit des Drucksinnes oder des Lichtsinnes usf. grundsätzlich unvergleichbar, weil es sich im letzteren Falle um verschieden starke Reizungen der gleichen Endorgane handelt, beim Raumsinne dagegen um eine Ausdehnung der ihrer Intensität nach gleichen Reizung auf verschiedene Endorgane. Nun wird aber das einheitliche Erfassen räumlich ausgedehnter Objekte um so schwieriger, je größer sie sind, weil sich die Aufmerksamkeit den einzelnen Teilen des Objektes nur nacheinander zuwenden kann. Dazu kommt speziell beim Raumsinn des Auges, daß sich die einzelnen Stellen des gereizten Endorgans in bezug auf ihr räumliches Unterscheidungsvermögen in hohem Grade verschieden verhalten. So gelangt man beim Vergleich sehr kurzer Strecken, die in ihrer ganzen Länge in der Nähe der Stelle des schärfsten Sehens abgebildet werden, zu Werten für die Unterschiedsempfindlichkeit, welche denen für das Erkennen von Lageunterschieden bei der Noniusmethode gleichkommen. Je länger aber die zu vergleichenden Strecken werden, je weiter sich also ihr Bild auf exzentrische Netzhautstellen mit zunehmend geringerer Sehschärfe erstreckt, desto schwieriger wird der Längenvergleich. Daß das WEBERSche Gesetz für den Raumsinn des Auges beim direkten Sehen mindestens sehr angenähert gültig ist, braucht also nicht mehr zu besagen, als daß die Erschwerung des Längenvergleichs, die aus den beiden eben angeführten Gründen vorhanden ist, sehr angenähert der Zunahme der Streckenlänge parallel geht.

Für die Richtigkeit dieser Auffassung spricht zunächst, daß das Gesetz sofort ungültig wird (genauer gesagt, der mittlere variable Fehler bei der Herstellungsmethode nicht proportional der Streckenlänge anwächst), wenn man den zweiten der Faktoren, der oben als erschwerend für den Vergleich größerer Strecken angeführt wurde, nämlich die Verschiedenheit der Sehschärfe der gereizten Netzhautstellen möglichst beseitigt. So fand GUILLERY (128), daß das WEBERSche Gesetz beim Vergleich direkt gesehener mit indirekt gesehenen nicht mehr zutrifft. Dabei ändert sich aber wenigstens für die indirekt gesehenen Strecken die Feinheit des Ortssinnes nicht mehr in so hohem Maße mit der Verlängerung der Strecke wie beim direkten Sehen, und schon dadurch wird das Ergebnis

wesentlich geändert. Zwar nahm auch in den Versuchen von GUILLERY der mittlere variable Fehler mit der Streckenlänge zu, aber lange nicht mehr proportional der letzteren. Nun erfüllen ja allerdings auch die Versuche von GUILLERY nicht genügend die Forderung, die zu vergleichenden Strecken in ihrer ganzen Länge auf Netzhautpartien mit gleicher Sehschärfe abzubilden. Diesem Ideal kann man sich noch mehr nähern, als es in GUILLERYS Versuchen der Fall war, wenn man beide Vergleichsstrecken auf exzentrischen Netzhautpartien abbildet, die so gewählt werden müssen, daß bei der Verlängerung der Strecken die Sehschärfe der gereizten Netzhautstellen möglichst wenig Verschiedenheiten zeigt. Wegen der quer-ovalen Form der Kurven gleicher Sehschärfe würden sich dazu am besten horizontale Strecken eignen, die gleich weit nach oben und unten vom Fixationspunkt abstehen. Da jedoch in diesem Falle bei größerer Exzentrizität die Bestimmtheit der Auffassung besonders der oberen Strecke sehr gering ist, wählte ich zum Vergleich lieber zwei gleichweit nach rechts und links vom Fixationspunkt liegende vertikale Strecken. Ich verfuhr demnach so, daß rechts und links vom Fixationspunkt mit je  $20^\circ$  Exzentrizität zwei 2 mm breite weiße Streifen (durchleuchtete Spalte) auf ebenem schwarzen Grund sichtbar gemacht wurden. Der eine wurde auf eine bestimmte Länge eingestellt, der andere ihm scheinbar gleich gemacht. Zur Untersuchung diente mein rechtes Auge (ohne Korrektion), der Abstand des Fixationspunktes vom Auge war 49 cm. Das Ergebnis aus je 80 Einzeleinstellungen für jede

Tabelle 44.

Länge der Vergleichsstrecke mm	Mittlerer var. Fehler mm	Verhältnis des mittl. var. Fehlers zur Streckenlänge
40	0,78	1 : 42,8
20	1,45	1 : 17,4
40	1,6	1 : 25
60	2,45	1 : 28

Streckenlänge zeigt die Tabelle 44. Wie man sieht, ist hier von einer Gültigkeit des WEBERSchen Gesetzes auch nicht annähernd mehr die Rede, wenn schon der mittlere variable Fehler mit zunehmender Streckenlänge immer noch zunimmt. Dies kann zum Teil darauf beruhen, daß auch in diesen Versuchen die Enden der verglichenen Strecken immer noch auf Stellen von etwas geringerer Sehschärfe fallen als ihre Mitte, aber die Unterschiede sind doch zu groß, als daß sie ausschließlich auf diesen Umstand bezogen werden könnten. Man wird daher noch an andere Faktoren denken müssen, die den Vergleich längerer Strecken erschweren, und da dürfte die oben erwähnte größere Schwierigkeit des Gesamterfassens der längeren Strecke in erster Reihe stehen.

Eine ganz andere Erklärung für die Gültigkeit des WEBERSchen Gesetzes bei optischen Längenschätzungen deutete schon FECHNER (17, Bd. I, S. 234; Bd. II, S. 336; 125, S. 63) und nach ihm WUNDT (15 a, B. II, S. 574, 637) an. Da sich nämlich für Längenschätzungen mit dem Tastsinn auf unbewegter Haut das WEBERSche Gesetz als ungültig erwies, vermutete FECHNER, daß die Längenschätzung auf der Intensität des Muskelgefühls beim Durchwandern der Vergleichsstrecken mit dem Blick beruhe. Damit wären die »Extensitätsunterschiede« verschieden langer Strecken auf »Intensitätsunterschiede« des Muskelgefühls zurückgeführt, und auf diese würden sich das WEBERSche Gesetz ebenso anwenden lassen, wie auf verschiedene Schallstärken usf. Freilich liegt dieser Annahme stillschweigend die früher allgemein geteilte Ansicht zugrunde, daß man beim Blick geradeaus den äußeren Augenmuskeln gar keine Innervation erteile, und daß erst bei der Seitenwendung und bei der Hebung oder Senkung die entsprechend wirkenden Muskeln innerviert würden, und zwar um so stärker, je größer die Bewegung des Bulbus ist. Diese primitive Ansicht ist nach neueren Untersuchungen, über die wir im Kapitel über die Augenbewegungen eingehender sprechen, wesentlich zu berichtigen. Wir innervieren schon beim Blick geradeaus alle Augenmuskeln, aber eben in einem solchen gegenseitigen Verhältnis, daß daraus die primäre Blickrichtung resultiert. Bei der Rechtswendung werden die Rechtswender stärker, die Linkswender schwächer, bei der Linkswendung umgekehrt die Linkswender stärker, die Rechtswender schwächer innerviert, und analog bei der Hebung und Senkung die Heber und Senker. Demnach ist jede Augenbewegung von einer Änderung der Innervation der Augenmuskeln hervorgerufen, die in einer Verstärkung der Innervation der »Agonisten« und einer gleichzeitigen Herabsetzung (Hemmung) der Innervation der Antagonisten besteht. Immerhin ließe sich auch damit die FECHNERSche Zurückführung der Augenbewegungen auf Intensitätsunterschiede des Muskelgefühls allenfalls noch vereinen. Es läßt sich aber direkt zeigen, daß bei optischen Raumschätzungen, bei denen gar nicht »Intensitätsunterschiede« der Augenbewegungen miteinander verglichen werden, aber sonst ähnliche Verhältnisse obwalten wie bei der Längenschätzung, ebenfalls ein dem WEBERSchen Gesetz entsprechendes Ergebnis erzielt wird. Das ist der Fall, wenn man einen mittleren beweglichen Punkt in die gerade Verbindungslinie zweier anderer Punkte einzustellen versucht, mit denen die Enden verschieden langer Strecken markiert werden. Innerhalb der Grenzen für den Gesichtswinkel der Strecke, innerhalb derer für das Augenmaß die Gültigkeit des WEBERSchen Gesetzes bestätigt worden ist (bis zu 20°), nimmt auch hier der mittlere variable Fehler, wie wir oben S. 76 sahen, proportional der Länge der durch die beiden Endpunkte begrenzten Strecke zu, obwohl hier nicht die Streckenlänge als solche abgeschätzt wird, sondern der seitliche Abstand des mittleren Punktes von der



geraden Verbindungslinie der Endpunkte. Wenn man dies auch wieder durch Muskelgefühle erklären wollte, so würden hier nicht Unterschiede im Grade der Muskelspannung beim Durchlaufen der Strecke mit dem Blick verglichen, sondern ein der Intensität nach veränderliches Muskelgefühl in der Richtung der Strecke mit einem qualitativ anderen senkrecht dazu. Demnach würden wir uns hier auf dem Gebiete qualitativer Unterschiede bewegen, auf die das WEBERSche Gesetz überhaupt keine Anwendung findet. Wenn nun trotzdem das Versuchsergebnis mit dem WEBERSchen Gesetz übereinstimmt, so liegt das eben daran, daß die sonstigen Versuchsbedingungen gleich sind: Die stärker indirekte Abbildung und die größere Schwierigkeit für das Erfassen der Gesamtstrecke bei größerer Streckenlänge.

MACH wollte auch die Abhängigkeit der Genauigkeit des Parallelenvergleichs vom Neigungswinkel (s. oben S. 80) aus Muskelgefühlen nach dem WEBERSchen Gesetz ableiten. Bei schrägen Blickwanderungen sollte man den Unterschied im Spannungsgrad der Augenheber bzw. Senker einerseits und der Rechts- bzw. Linkswender andererseits wahrnehmen können, und daraus ließe sich unter gewissen vereinfachenden Annahmen das von ihm gefundene Resultat ableiten. Man könnte nun vielleicht geneigt sein, diese Betrachtungsweise auch auf unsere Versuche über die Unterscheidbarkeit schräger Richtungen und ihre Abhängigkeit vom Neigungswinkel zu übertragen. Aber das wäre selbst dann unzulässig, wenn MACHS Erklärung für seine Versuche zuträfen (was nach dem folgenden nicht der Fall sein kann). Denn wir haben oben S. 77 gesehen, daß die Abhängigkeit vom Neigungswinkel auch vorhanden bleibt, wenn der mittlere Punkt unverwandt fixiert wird, folglich auch keine Spannungsänderungen der Augenmuskeln im verlangten Sinne erfolgen. Man müßte dann so, wie es später (S. 139) auseinandergesetzt wird, auf die verschiedene »Stärke« der Innervationsimpulse rekurrieren<sup>1)</sup>. Von deren Verteilung auf die verschiedenen Muskeln hat aber unser Bewußtsein gar keine Kenntnis, denn wir intendieren zwar bestimmte Bewegungen, aber nicht die Innervation bestimmter Muskeln.

Die endgültige Entscheidung gegen die Auffassung von FECHNER und WUNDT wird durch den Nachweis erbracht, daß die kinästhetischen Empfindungen, die wir von den Augen erhalten, seien es nun Spannungsempfindungen oder Empfindungen von den Augenlidern her, uns so außerordentlich schlecht über die Stellung der Augen unterrichtet, daß wir bei Ausschluß von orientierenden Gesichtsempfindungen den größten Täuschungen unterliegen können. So kommt es beim »Punktwandern« (das wir bei der Lehre von den Scheinbewegungen später eingehender besprechen werden) vor, daß man die Augen für stark seitwärts gewendet hält, während sie in Wirklichkeit ungefähr geradeaus stehen (BOURDON, 3, S. 340). Ferner beobachteten RÄHLMANN und WITKOWSKI (137) an Blinden, daß sie meist »keine richtige

1) Ein Zurückgehen auf die Innervationsimpulse wäre übrigens bei dieser Grundanschauung auch zur Erklärung des Streckenvergleichs bei fester Fixation eines Punktes der Strecke notwendig. Nach FISCHER (126) bleibt auch in diesem Falle das WEBERSche Gesetz gültig.

Vorstellung von der jedesmaligen Stellung der Augen« hatten, »was deutlich daraus hervorging, daß sie oft ganz andere Bewegungen, als die beabsichtigten, vornahmen«. Beispielsweise glaubte der eine beim Übergang von der Rechts- zur Linkswendung schon die volle Linkswendung ausgeführt zu haben, während die Augen noch in der Lidmitte standen; ferner gingen die Augen aus extremen Seitenwendungen, die dauernd eingehalten werden sollten, langsam zurück, ohne daß die Blinden es merkten. Diese große Unbestimmtheit in der Beurteilung der Augenstellung nach den kinästhetischen Empfindungen schließt also eine Längenschätzung mit Hilfe derselben von irgendwelcher Genauigkeit unbedingt aus.

WUNDT glaubte zwar eine Übereinstimmung zwischen der Unterschiedsschwelle für die Tiefenwahrnehmung und den Spannungsempfindungen von Akkommodation und Konvergenz nachgewiesen zu haben, aber diese Meinung ist, wie sich bei der Lehre von der Tiefenwahrnehmung ergeben wird, irrig. BOURDON (3, S. 65 ff.) hält die Empfindungen von den Augenlidern für besonders wichtig zur Beurteilung der Augenstellung. Die groben Täuschungen über die Augenstellung beim Punkt wandern sollen nach ihm auf einer Ermüdung dieser Sensationen beruhen. Er untersuchte mit Hilfe einer auf die geschlossenen Lider aufgesetzten Kappe, welche seitliche Verschiebung der Lider und dadurch erzwungene Drehung des Bulbus eben merklich ist, und fand als untere Grenze, daß eine Bulbusdrehung von  $4,79^{\circ}$  schon sicher erkannt wurde. Ich glaube nicht, daß man daraus schließen kann, daß auch eine willkürliche Drehung des Bulbus um denselben Betrag schon an den Lidern merklich ist. Aber selbst wenn das der Fall sein sollte, wäre dies für die Genauigkeit der Längenschätzung ganz und gar unzureichend.

In anderer Form ließe sich allerdings eine Mitbeteiligung der Augenbewegungen bei der Längenschätzung denken, wenn man nämlich die von HERING (bei FECHNER, 125, S. 49) und von G. E. MÜLLER und SCHUMANN (135 a) über die Vergleichung gehobener Gewichte aufgestellte Hypothese auf das Auge anwenden wollte. Nach diesen Forschern erteilen wir beim Heben zweier zu vergleichender Gewichte den Muskeln beide Male die gleiche Innervation. Wenn nun der Erfolg bei den beiden Huben merklich verschieden ist — wenn also das eine Mal auf denselben Impuls hin eine größere Hebung erfolgt, als das andere Mal —, so halten wir die Gewichte für verschieden. Übertragen wir das auf das Auge, so könnten wir uns demgemäß vorstellen, daß wir beim Durchlaufen zweier zu vergleichender Strecken mit dem Blick jedesmal die gleiche Innervation der Augenmuskeln erteilen. Führt diese nun nicht beide Male bis zum Endpunkt der Strecke, sondern etwa einmal weniger weit und das andere Mal darüber hinaus, so könnten wir daraus den Längenunterschied der Strecken erkennen.

Wie stimmen nun die tatsächlichen Verhältnisse mit diesen Überlegungen überein? Man hat verschiedentlich versucht, die Beteiligung der Augenbewegungen an der Schätzung von Streckenlängen rein für sich herauszuheben. So hat v. KRIES (134) den mittleren variablen Fehler bei der

Längenschätzung bestimmt, wenn er nicht die ganze Strecke auf einmal sichtbar machte, sondern einem auf ganz gleichförmigem Grunde, auf dem sonst keine festen Marken zu sehen waren, hin- und herbewegten Gegenstände mit dem Blicke folgte. Neuerdings stellte M. BINNEFELD (123) das Augenmaß für die Bewegungsbahn eines isolierten Lichtpunktes, dem mit dem Blick gefolgt wurde, im sonst völlig dunklen Raum fest, und zwar war in einer ersten Versuchsanordnung der bewegte Lichtpunkt allein zu sehen, in einer zweiten war neben dem einen Endpunkt der Bahn, welche der bewegliche Punkt durchlief, ein zweiter feststehender Leuchtpunkt dauernd sichtbar. In beiden Fällen verglichen die Versuchspersonen eine zuerst exponierte »Normalstrecke« mit einer später dargebotenen »Vergleichsstrecke«. Die Schätzungen der Bewegungsgröße fielen den Versuchspersonen bei der ersten Anordnung anfangs schwerer, sie erreichten aber nach einiger Übung dieselbe Genauigkeit, wie bei der zweiten. Da bei der ersten Anordnung die Länge der Bewegungsbahn nach BINNEFELDS Meinung nur durch die Bewegungsempfindungen des Auges erkannt wurde, so schließt sie daraus, daß diesen letzteren ein bestimmender Einfluß auf die Längenschätzung zukommen müsse.

An sich wäre eine solche Genauigkeit der Innervation (nicht der »Bewegungsempfindungen«) wohl möglich. Wir kennen ja einen Fall, in dem wirklich eine so außerordentlich feine Abstufung der Innervationsimpulse gegeben wird, wie sie bei der obigen Erklärung vorausgesetzt wird, nämlich bei der Innervation der Kehlkopfmuskeln. Hier hat der geübte Sänger die Innervationsstärke so in der Gewalt, daß er sie von vornherein, ohne daß eine weitere Korrektur nötig wird, auf die richtige Tonhöhe einzustellen vermag. Aber bei genauerer Überlegung merkt man doch einen großen Unterschied zwischen den beiden Fällen: Der Sänger hat seine motorische Einstellung vorher unter der Leitung des Gehörs als Kontrollsinne so eingeübt, daß er sie von vornherein, ehe er noch den Ton singt, genau trifft. In den Versuchen von BINNEFELD dagegen ist der Kontrollsinne, in diesem Falle der Gesichtseindruck, nicht ausgeschaltet, vielmehr gehen die Augenbewegungen immer noch unter der Führung der Netzhautbilder vor sich. Wenn wir also die Feinheit der Abstufung für die Innervation der Augenmuskeln wirklich rein für sich studieren wollen, so müssen wir sie bei Ausschluß jeglicher Leitung durch einen Gesichtseindruck im dunklen Raum bestimmen.

Für einige Fälle liegen nun derartige Bestimmungen schon vor. So stellten SACHS und WLASSAK (137a) fest, mit welcher Genauigkeit wir imstande sind, im Finstern die scheinbare Medianebene anzugeben, indem sie vor dem Beobachter ein Licht aufblitzen und die Versuchsperson angeben ließen, ob es gerade vor ihr oder rechts oder links zu liegen schien. Da jeder andere Anhaltspunkt für das Urteil fehlte, so konnte der Beobachter dies nur daraus erkennen, daß er den Blick geradeaus zu richten suchte,

und nun beurteilte, ob die Lage des aufblitzenden Lichtes in die Blickrichtung hineinfiel oder nicht. Aus den Versuchen von SACHS und WLASSAK ergab sich nun für die scheinbar mediane Richtung eine Streuungsbreite von  $1/2-1^\circ$  nach jeder Seite hin, demnach eine außerordentlich große Unsicherheit der Innervation. Fehler von ähnlicher Größe fand MARX (133 a), als er feststellte, mit welcher Genauigkeit das Auge im Dunkeln eine gegebene Stellung beizubehalten vermag. Daraus folgt, daß wir aus dem Vergleich der Innervationsimpulse allein keine Genauigkeit erzielen würden, die auch nur annähernd an die des Augenmaßes heranreicht.

Nun besagt freilich die unseren Überlegungen vorangestellte Hypothese, daß wir nicht die Innervationen selbst, sondern ihren Erfolg miteinander vergleichen. Hätte dies einen Einfluß auf das Augenmaß, so müßten wir danach eine Strecke um so länger schätzen, je stärker wir die Augenmuskeln bei ihrer Durchwanderung mit dem Blick innervieren müßten. Eine solche Folgerung liegt in der Tat der Erklärung WUNDTs für die Unterschiede in der Größenschätzung von Strecken in den verschiedenen Teilen des Gesichtsfeldes zugrunde (vgl. unten S. 187). Wäre dies richtig, so müßte es sich aber auch, und zwar besonders auffällig, bei Paresen der Augenmuskeln äußern. Ein Patient mit rechtseitiger Abduzensparese müßte z. B. mit dem rechten Auge eine nach rechts von der Medianebene liegende Strecke viel größer einschätzen, als eine nach links zu gelegene Strecke, weil er ja beim Blick nach rechts eine viel stärkere Innervation erteilen muß als beim Blick nach links. Davon ist aber gar keine Rede (vgl. S. 187 Anm.). Statt dessen erfolgt bei der Blickwendung nach rechts eine Scheinbewegung des ganzen Gesichtsfeldes nach rechts, die ganze Strecke und alles andere mit ihr verschiebt sich nach rechts. Die Nichtübereinstimmung der Innervation mit ihrem Erfolg hat also in der Tat eine Änderung der optischen Lokalisation zur Folge, aber diese bezieht sich nicht auf die relative, sondern auf die absolute Lokalisation, und wir werden bei der Besprechung der letzteren darauf zurückkommen, wie nach HERING der Zusammenhang eigentlich zu denken ist. Die Schätzung der Streckenlänge ändert sich dabei jedenfalls nicht, wofern nicht etwa durch die geänderte Blickrichtung Motive für andersartige Gestaltauffassungen eingeführt werden, oder bei indirektem Sehen die »zentrische Schrumpfung des Sehfeldes« (s. unten S. 172 ff.) mit hereinspielt. Der Beweis dafür läßt sich unschwer auch am Normalen erbringen, wenn man Verhältnisse einführt, welche Scheinbewegungen hervorrufen, wie sie später ausführlicher beschrieben werden. Dadurch werden aber alle Erklärungen, welche das Augenmaß auf die Schätzung der Innervationsstärke der Augenmuskeln zurückführen wollen, hinfällig.

In Wirklichkeit liegen nämlich, wie HERING zuerst betonte, die Verhältnisse gerade umgekehrt: Nicht die Augenbewegung ermöglicht die Schätzung des Abstandes zweier Punkte voneinander, sondern die Inner-

vation zur Blickbewegung von einem Punkte zum anderen erfolgt erst auf Grund der Abstandsschätzung. Letztere geht der Augenbewegung vorher. Wie sich dies im einzelnen vollzieht, ergibt sich sehr anschaulich aus Untersuchungen von SUNDBERG (262), der mit einer objektiven Methode Verlauf und Größe der Augenbewegungen maß, während die Versuchsperson von der Fixation eines Punktes zu der eines anderen, der zuvor exzentrisch abgebildet war, überging. Die dabei ausgeführte Augenbewegung zerfällt in zwei Abschnitte: Es erfolgt zunächst eine rasche Zielbewegung auf den zweiten Punkt hin, durch die aber in der Mehrzahl der Fälle noch keine Fixation desselben erreicht wird. Der Einstellungsfehler schwankt dabei zwischen 45 und 50'. Dabei folgen, wenn nötig, kurze Korrektivbewegungen, welche das Bild des zweiten Punktes nun wirklich auf die Netzhautmitte selbst bringen. Weitere Versuche zeigten, daß die erste Zielbewegung während ihres Ablaufs durch die gleichzeitig sichtbaren Dinge in ihrem Ablauf nicht beeinflußt, also auch nicht reguliert wird. Für die ihr zugrunde liegende Innervation muß daher die vorherige Abschätzung der Entfernung der beiden Punkte voneinander maßgebend sein. Der Fehler, der bei der Zielbewegung begangen wird, wird verursacht zunächst durch den Fehler in der Schätzung des Abstandes der beiden Punkte voneinander und dann durch die mangelhafte Präzision der Innervation. Beide könnten sich natürlich gegenseitig kompensieren, der Punktabstand könnte etwa unterschätzt werden, und im Verhältnis dazu könnte eine zu starke Innervation erteilt werden, welche trotz der falschen Einschätzung den zweiten Punkt gleich auf die Netzhautmitte brächte. Wir können deshalb aus der Fehlergröße bei diesen Versuchen nicht allzuviel schließen. Bemerkenswert ist nur, daß die Fehler der Zielbewegung bei einer Vergrößerung des Punktabstandes von  $7^\circ$  bis auf  $50^\circ$  im Durchschnitt aller Versuche nur möglicherweise etwas anwachsen. Von einer Gültigkeit des WEBERSchen Gesetzes dafür ist jedenfalls nicht die Rede.

Bei alledem ist freilich nicht außer acht zu lassen, daß beim Durchwandern der ganzen Streckenlänge mit dem Blick, wie die Versuche deutlich zeigen, die Schätzung der Streckenlänge wesentlich begünstigt ist. Auf diese Weise werden eben die verschiedenen Teile der Strecke, wenn auch nicht gleichzeitig, so doch in kontinuierlicher Folge nacheinander, aus der Undeutlichkeit des indirekten in die Schärfe des direkten Sehens hereingebracht und dadurch die Möglichkeit eines genaueren Vergleichs erleichtert. Daß gerade dies von großer Bedeutung ist, ergibt sich aus den Versuchen von BINNEFELD (123), die bei momentaner gleichzeitiger Exposition der beiden Endpunkte einer Strecke im allgemeinen eine große Unsicherheit der Längenschätzung fand, derart daß die Vergleichsstrecke zweimal nacheinander exponiert werden mußte. Eine einigermaßen gute Schätzung ergab sich aber selbst im letzteren Falle nur dann, wenn der Blick ungefähr auf

die Mitte der Strecke eingestellt war, die beiden Endpunkte derselben also nicht gar zu exzentrisch abgebildet wurden.

Beim ungezwungenen Sehen beteiligen sich an der Durchwanderung der Strecke sowohl Augen- als auch Kopfbewegungen. HABERLANDT (128 a) hat versucht, den Anteil beider an der Verbesserung der Abschätzung von Punktdistanzen gesondert zu bestimmen. Das Ergebnis war aber individuell ganz verschieden.

Von dem WEBERSchen Gesetz ist streng zu unterscheiden die Folgerung, die FECHNER (17) daraus ableitete, und die auch als das FECHNERSche Gesetz bezeichnet wird. Dieses setzt voraus, daß die eben merklichen Empfindungszuwüchse bei Verstärkung der äußeren Reize auch stets gleich groß sind. Auf das Augenmaß übertragen würde dies besagen, daß die eben merkliche Verlängerung zweier verschieden langer Strecken den gleichen Längeneindruck hervorrufen müßte. Würden wir also eine 50 mm lange Strecke durch eine Reihe eben merklicher Unterschiede um weitere 50 mm verlängern, so müßte diese Längenzunahme gleichgroß erscheinen, wie die einer Strecke von 50 cm, die durch ebensoviele eben merkliche Unterschiede um 50 cm verlängert worden ist (HERING, 129 a). Da dies nicht der Fall ist, vielmehr die scheinbare Verlängerung in beiden Fällen wenigstens annähernd der wirklichen proportional geht, kann das FECHNERSche Gesetz für das Augenmaß jedenfalls nicht gelten. Wie sich FECHNER von seinem Standpunkt aus mit dieser Tatsache abgefunden hat, darüber vergleiche man 17, Bd. 2, S. 336; 125, S. 62.

Versuche über die Entwicklung des Augenmaßes bei Kindern wurden von BINET (122), BINET und HENRI (122 a), GIERING (127), in etwas anderer Hinsicht teilweise auch von WOLFE (138 a) angestellt. Im allgemeinen zeigten schon ganz kleine Kinder, wenn es gelingt, ihre Aufmerksamkeit der Aufgabe genügend zuzuwenden, eine ebenso hohe Unterschiedsempfindlichkeit für Längen wie ältere Kinder oder Erwachsene. Nach GIERING nimmt die Genauigkeit des auf verschiedene Weise geprüften Augenmaßes bei Kindern im schulpflichtigen Alter nicht zu. Dagegen wird nach BINET und HENRI das mit einer anderen Methode geprüfte Gedächtnis für Streckenlängen während der Schulzeit deutlich besser. Die absolute Größenschätzung aus der Erfahrung bekannter Gegenstände (Münzen, Maßstäbe) nimmt nach WOLFE mit der Bildungsstufe zu, das Alter tritt demgegenüber zurück.

Versuche von MC CREE und PRITCHARD (134), sowie einige vorhergehende von QUANTZ (136 a), ob das WEBERSche Gesetz auch beim Größenvergleich von Flächen gilt, leiden darunter, daß die Verfasser die scheinbare Größe der einen Vergleichsfläche durch Änderung ihres Abstandes vom Beobachter variierten. Da sich nämlich, wie wir später sehen werden, bei Einstellung des Auges auf verschiedene Entfernungen nicht bloß der Gesichtswinkel, sondern auch der subjektive Maßstab des Sehfeldes in schwer übersehbarer Weise ändert, so lassen sich aus solchen Versuchen kaum irgendwelche sicheren Folgerungen ziehen. Nach neueren Untersuchungen

von LEESER (133) soll das WEBERSche Gesetz auch für den Flächenvergleich angenähert gelten. Nach diesem Autor läßt man sich beim Vergleich von Flächen tatsächlich vom Eindruck der Flächengröße selbst, nicht von der Schätzung linearer Dimensionen der Figur — beim Kreis z. B. des Durchmessers — leiten. Die Genauigkeit der Schätzung von Quadraten wird nach ihm nicht erhöht, wenn man die gewöhnliche Flächenschätzung durch eine Schätzung auf Grund der Seitenlänge oder des Durchmessers ersetzt.

Untersuchungen über die Genauigkeit des Proportionalitätsvergleichs an Strecken liegen vor von MERKEL (135), an Winkeln von WITASEK (138). Besonders eingehend aber hat den Proportionalitätsvergleich BÜHLER (4) an Flächen studiert. Diese Versuche besitzen ein großes psychologisches Interesse, greifen aber aus diesem Grunde auch so weit in andere Gebiete hinüber, daß ich von einer Erörterung derselben als nicht mehr in den Rahmen unserer Darstellung gehörig hier absehen muß.

## 7. Das Formensehen.

Die Empfindungen, welche durch die Regungen der Einzelelemente des Empfangsapparates des Sehorgans ausgelöst werden, gelangen, wenn überhaupt (vgl. oben S. 66), dann höchstens ganz ausnahmsweise voneinander gesondert zum Bewußtsein. Meist sind sie vielmehr miteinander zu höheren Einheiten verbunden, so die durch eine kontinuierliche Reihe von gereizten Elementen vermittelten Empfindungen zu der eines geraden, gezackten oder gekrümmten Striches, die durch Reizung einer größeren Zahl nebeneinander liegender Elemente ausgelöst zu einer flächenhaften Empfindung. Diese Verknüpfung der Erregung mehrerer Elemente des somatischen Sehfeldes miteinander stellt den Inhalt jener besonderen Leistung des Sehorgans dar, die wir oben schon als das Formensehen vom Auflösungsvermögen abgetrennt haben. Ein schlagender Beweis für die Sonderstellung dieses Vorganges scheint durch eine Mitteilung von GOLDSTEIN und GELB (140) erbracht zu sein, die an einem Patienten mit verletztem Okzipitalhirn bei gut erhaltener zentraler Sehschärfe, vorhandener Wahrnehmung der gegenseitigen Lage isolierter Sehdinge und normalem Augenmaß den Verlust des Vermögens nachwies, die Form der gesehenen Gegenstände zu erkennen. So war der Patient z. B. nicht imstande, eine quadratische Fläche von einer Kreisfläche oder einem Dreieck zu unterscheiden, auch erkannte er Umrißzeichnungen, Buchstaben usf. nicht ohne weiteres, sondern bloß dadurch, daß er die betreffenden Konturen mittels Bewegungen des Fingers oder des Kopfes nachfuhr. Wo ihm dies nicht gelang, wie an Nachbildern, war ihm auch das Erkennen der Form nicht möglich. Der Patient erhielt also nicht unmittelbar den optischen Eindruck der Form, sondern konnte sich nur auf

einem Umwege, durch die Umsetzung des optischen Bildes in das kinästhetische Bild eines Bewegungskomplexes, die Kenntnis desselben verschaffen. Auf welche Weise diese Umsetzung im einzelnen zustande kam, brauchen wir hier nicht weiter zu erörtern. Jedenfalls aber setzt die Möglichkeit derselben voraus, daß der Patient die gegenseitige Lage der einzelnen Teile der Konturen nach Richtung und Abstand sah — es fehlte ihm eben nur die Fähigkeit zur optischen Zusammenfassung derselben. Die Tatsache, daß die Zusammenfassung zum kinästhetischen Gesamtbild erhalten war bei völligem Verlust des optischen Zusammenfassungsvermögens, gestattet uns die wichtige Schlußfolgerung, daß diese beiden Prozesse, die einander ihrem Wesen nach zwar durchaus homolog sind, doch voneinander derart getrennt werden können, daß der eine unabhängig vom anderen ausfallen kann. Für unser Thema ist ferner beachtenswert, daß nach den Angaben von GOLDSTEIN und GELB dem Patienten Augenbewegungen das Nachfahren der Konturen mittels Finger- oder Kopfbewegungen nicht ersetzen können. Das würde also heißen, daß die Augenbewegungen kein so deutliches kinästhetisches Bild vermitteln, wie Bewegungen der Finger oder des Kopfes, was mit den sonstigen Erfahrungen, die wir oben besprochen haben, übereinstimmt.

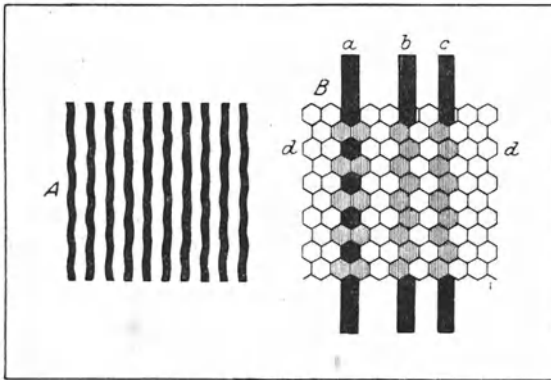
Erweisen uns nun Beobachtungen, wie der Fall von GOLDSTEIN und GELB, das Zusammenfassen der einzelnen Gesichtseindrücke zur einheitlichen Form als Vorgang eigener Art im Sehorgan, so können wir die Besonderheiten dieses Vorganges natürlich nicht mehr aus dem Verlust desselben erschließen, sondern müssen sie an uns selbst studieren. Dabei lernen wir nun verschiedene Einzelheiten kennen, die wir, vom Primitiveren zum Komplizierteren fortschreitend, jetzt nacheinander besprochen wollen. Wir knüpfen dabei zunächst an eine Schwierigkeit an, die aus der Mosaikanordnung der Empfangselemente, wie sie in den Fig. 19 und 20 rein schematisch angenommen wurde, für das Verständnis des Sehens mit der Netzhautgrube erwächst. Würde nämlich in der Lokalisation der Empfindung, die ein jedes dieser Elemente auslöst, die gegenseitige Lage derselben ganz genau wiedergegeben, so könnten wir, worauf zuerst VOLKMANN (13, S. 93 ff.) hinwies, fast niemals genau gerade oder ganz gleichmäßig gekrümmte Linie so sehen, wie sie wirklich sind, vielmehr müßten sie fast stets gezähnt erscheinen, denn sie werden in den allermeisten Fällen auf zickzackförmig angeordneten Elementen abgebildet. Für die gerade Linie ergibt sich das unmittelbar aus den Fig. 19 und 20. Entspräche der Verlauf der Linie genau der Lage der gereizten Zapfen, so würden immer nur jene Geraden, deren Richtung zufällig mit der der Zapfenreihen übereinstimmte, geradlinig erscheinen, schräg verlaufende und ebenso gleichmäßig gekrümmte Linien müßten auch hier gezähnt aussehen. Dieser Gegensatz zwischen der Zickzacklagerung der gereizten Zapfen und dem Geradesehen



des Netzhautindrucks läßt sich auch nicht durch die Annahme beseitigen, daß die Elemente des Empfangsapparates kleiner seien als ein Zapfen. Denken wir uns z. B., die Sechsecke der Fig. 19 und 20 seien beliebige kleine Teile eines Zapfens, so würde sich, wenn jedem derselben eine von dem Nachbartheil gesonderte Lokalisation von genau derselben gegenseitigen Lage zukäme, wie sie die Elementarteile selbst besitzen, wieder ganz dieselbe theoretische Schwierigkeit ergeben wie früher. Nun bemerken wir in Wirklichkeit von dieser Zickzackform nichts. Wir müssen also nach einer Erklärung dafür suchen, wie der Widerspruch zwischen Theorie und Wirklichkeit zu beseitigen ist.

Betrachtet man parallele feine Striche, z. B. feinste, parallel gespannte Drähte gegen den hellen Himmel, so erscheinen sie nach kurzer Zeit nicht mehr geradlinig, sondern wellenförmig gebogen wie in Fig. 26A, bzw. perschnurförmig mit abwechselnd dickeren und dünneren Stellen. Diese Erscheinung hatte

Fig. 26.



HELMHOLTZ (I, S. 247) auf die Abbildung der Linien auf zickzackförmig angeordneten Netzhautelementen bezogen. In der Tat drängt das Schema der Fig. 26B nach HELMHOLTZ, in deren mittlerem Teil *dd* alle Zapfenquerschnitte, die ganz oder größtenteils vom Licht zwischen den schwarzen Strichen *a*, *b* und *c* getroffen werden, weiß, jene, die höchstens zur Hälfte vom weißen Licht getroffen werden, grau gemacht sind, diese

Erklärung für das Welligerscheinen feiner, gerader Linien direkt auf. Trotzdem trifft sie, wie v. FLEISCHL (139 a) darlegte, nicht zu. Zunächst ist die Länge der Wellen, die man in der Wirklichkeit dabei beobachtet, weitaus größer, als sie sein dürfte, wenn sie auf die Zapfenmosaik zurückzuführen wäre. FLEISCHL schätzte sie auf einen Gesichtswinkel von  $\frac{1}{4}^\circ$ , während dem doppelten Zapfendurchmesser nur  $36''$  bis höchstens  $2'$  entsprechen würden. Durch die Annahme von HENSEN (140 a), daß es nicht auf die Reizung der Zapfeninnen- sondern der Außenglieder ankomme, wird der Einwand v. FLEISCHLS zwar abgeschwächt, aber nicht völlig beseitigt. Vor allem müßte man aber die Erscheinung, wenn sie wirklich auf der Zapfenmosaik beruhte, fast stets wahrnehmen, sobald man gerade oder stetig gekrümmte Linien betrachtet, während sie doch nur unter ganz bestimmten Umständen auftritt<sup>1)</sup>. Insbesondere wird sie nach v. FLEISCHL nur an bewegten Objekten, bzw. bei Augenbewegungen wahrgenommen. Freilich ist die

1) Aus diesem Grunde ist auch der Erklärungsversuch von HENSEN (140 a) unzureichend.

eigentliche Ursache der Erscheinung auch jetzt noch nicht sicher festgestellt. Nach BOURDON (3, S. 90) sollte die durch die Tränenflüssigkeit verursachte unregelmäßige Krümmung der Hornhaut dabei eine wesentliche Rolle spielen. KLEIN (107, S. 193; 107 a, S. 236) setzt die Erscheinung zu entoptischen Phänomenen oder zum Eigenlicht der Netzhaut in Beziehung. Wir kommen darauf bei der Lehre vom Bewegungsehen nochmals zurück.

Um den oben dargelegten Widerspruch zu erklären, bezieht sich HERING (106) auf die unaufhörlichen kleinen Augenbewegungen, die auch bei scheinbar ruhiger Fixation immer vorhanden sind. Infolge der durch sie bewirkten fortwährenden Verschiebungen des Linienbildes auf der Netzhaut »schwanken die relativen Raumwerte der einzelnen Linienelemente innerhalb gewisser enger Grenzen um einen Mittelwert hin und her, welcher letztere für die Wahrnehmung das Bestimmende sein wird«. Die Erscheinung fällt nach ihm unter den allgemeineren Satz, daß die »Raumgebilde, welche auf Grund der Netzhautbilder in unserem Bewußtsein entstehen oder, anders gesagt, durch unser Vorstellungsvermögen geschaffen werden, . . . im Vergleich zum bezüglichen Netzhautbilde stets schematisiert und idealisiert« sind.

Um nun in der Analyse dieser Erscheinung noch etwas weiter vorzudringen, fragen wir zunächst, wie durch die Erregung diskreter lichtempfindlicher Stellen der Netzhaut, die einander nicht einmal so dicht berühren, wie es in den Fig. 49, 20 und 26 dargestellt ist, das lückenlose Kontinuum des Sehraumes zustande kommt. Das erfolgt doch offenbar so, daß die Erregung jedes einzelnen Empfangselementes eine Flächenempfindung vermittelt, die lückenlos an die der Nachbarlemente anschließt. Nun wissen wir freilich nicht, welche räumliche Form die durch ein Einzelement vermittelte Empfindung besitzt, denn wir haben oben schon bemerkt, daß es sehr zweifelhaft ist, ob wir ein einzelnes Empfangselement wirklich allein für sich durch Licht zu reizen vermögen. Aber selbst der lichtschwache »physiologische Punkt«, der wahrscheinlich schon die Reizung mehrerer Zapfen in sich schließt, hat noch immer eine recht unbestimmte Begrenzung. Zu bestimmten, scharfen Umrissen gelangen wir erst durch die gleichzeitige Reizung einer größeren Zahl von Elementen, also bei der Betrachtung von Strichen oder von Flächen etwas größerer Ausdehnung.

Um nun festzustellen, welche Grenzwerte hier maßgebend sind, habe ich zunächst den Gesichtswinkel bestimmt, bei dem man eben noch feine Zacken an sonst geraden Konturen erkennen vermag. Ich benützte zu diesen Versuchen schmale Laubsägeblätter, die auf der einen Seite geradlinig begrenzt sind, auf der anderen in regelmäßigen Abständen Zähne von ziemlich gleichmäßiger Form und Größe besitzen. Diese Zähne entspringen mit der einen Kante angenähert (nicht genau) senkrecht zur Längsrichtung des Sägeblattes, die andere Kante verläuft ganz schräg aus, beide sind

schwach gekrümmt. Sie bilden also annähernd an die Längskontur ange-setzte, fast rechtwinklige Dreiecke. Die durchschnittliche Höhe der Zähne und ihr Abstand an den drei von mir verwendeten Blättern gibt nach mikro-metrischen Messungen<sup>1)</sup> die Tabelle 15 an.

Tabelle 15.

Blatt	Höhe der Zähne	Abstand der Zähne
<i>a</i>	0,33 mm	1,00 mm
<i>b</i>	0,42 »	1,70 »
<i>c</i>	0,25 »	1,50 »

Betrachtete ich die Laubsägeblätter gegen einen gleichmäßig hellen Grund, so erhielt ich unter den günstigsten Beleuchtungsverhältnissen als Grenzen, bei denen ich die Zacken eben noch erkannte, die in Tabelle 16 zusammengestellten Werte:

Tabelle 16.

Blatt	Betrachtung mit freiem Auge		Betrachtung mit Makroskop (korrigiert)	
	Gesichtswinkel für die Höhe der Zähne	für den Abstand der Zähne	Gesichtswinkel für die Höhe der Zähne	für den Abstand der Zähne
<i>a</i>	44"	433"	42"	127"
<i>b</i>	40"	160"	41"	163"
<i>c</i>	34"	200"	32"	186"

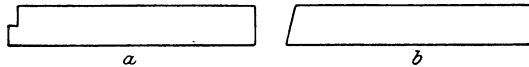
Die Grenze für das Erkennen von Zacken an einer geraden Kontur bewegt sich demnach in derselben Größenordnung, wie die für die Sonde-rung zweier Striche voneinander. Dabei ist es ganz deutlich, daß die Grenze nicht bloß vom Gesichtswinkel für die Zackenhöhe, sondern auch von der Zackendistanz abhängen. Die Zacken sind um so weniger leicht zu erkennen, je dichter sie aneinander heranrücken. Das ist auch begreif-lich, weil die Zackenbilder ja bei noch größerer Annäherung aneinander wegen der Lichtausbreitung im Auge vollkommen zusammenfließen würden. Tatsächlich verschmelzen beim Blatt *a* und *b* knapp hinter der Grenze des Erkennens die Zähne zu einem grauen Saum, von dem man allerdings nur seine durch den Simultankontrast bedingte Grenze gegen den hellen Hinter-grund deutlich wahrnimmt, d. h. man sieht dann neben dem scheinbar scharfen glatten Kontur des Sägeblattes eine parallel dazu verlaufende graue

1) Die Zahlen sind in den Hundertstel-Millimetern wegen der Unregelmäßig-keiten der Zähne auf einige Einheiten ungenau.

Linie<sup>1)</sup>. Es ist also ganz klar, daß in diesem Falle die Lichtausbreitung im Auge zunächst die Grenze der Zacken verwischt, und daß dann der Grenzkontrast aus diesen verwaschenen Bildern wieder die scharfen geraden Konturen schafft.

Über das Wesen dieses Vorganges liefern nun folgende Beobachtungen weitere Aufklärung. Ich schnitt aus der BESTschen Anordnung mittels einer schmalen rechteckigen Blende einen mittleren Streifen heraus, so daß von jeder Linienhälfte bloß noch eine Strecke von 2' sichtbar blieb. Verschiebt man jetzt die eine Linienhälfte gegen die andere, so daß eine scharfe Ecke entsteht, wie am linken Rande der Fig. 27a, so sieht man von der Grenze der eben merklichen Verschiebung an keineswegs etwa die Ecke, sondern

Fig. 27.



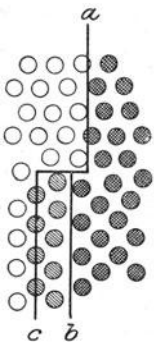
eine schräge gerade Grenzlinie, wie in Fig. 27b. Man muß die seitliche Verschiebung der Linienhälften noch bedeutend vergrößern, bis in der vorher scheinbar ganz geraden Linie die erste Spur einer Ungleichmäßigkeit auftritt, die zunächst auch nur ganz verwaschen ist und noch nicht die wirklich vorhandene scharfe Ecke erkennen läßt. Die untere Grenze, bei der die Unregelmäßigkeit in der schrägen Linie eben merklich wird, ohne daß man ihre Form noch sicher erkennt, variiert je nach den Versuchsbedingungen. Sie ging für meine Augen unter den günstigsten Bedingungen, in denen ich einen seitlichen Lageunterschied für die Grenzlinien der weißen und schwarzen Flächen bei einem Gesichtswinkel von  $7\frac{1}{2}$ —9" eben noch erkannte, bloß bis auf 24—28" herunter. Lag die Raumschwelle höher, so war auch die Ecke erst bei größeren Gesichtswinkeln zu erkennen, die untere Grenze dafür wuchs auf 30—40", ja bis auf 60". So hohe Werte traten allerdings bloß auf, wenn die Lichtausbreitung im Auge sehr merklich wurde, bei sehr hellen Objekten auf lichtlosem Grund und mäßig dunkeladaptierten Augen. Das Erkennen der Ecke im Verlauf einer geraden Linie erfordert also stets viel größere Gesichtswinkel, als das Unterscheidungsvermögen für Lagen an ausgedehnten Linien, und stimmt in ihrer

1) Einige einfache Versuche über die Verbindung diffuser Einzelheiten zu scheinbar geraden Linien sind aus Anlaß der Frage der Marskanäle auch von Astroromen (CERULLI, 439; NEWCOMB, 440 b) angestellt worden (vgl. STUMPF, 264, S. 74 ff.). Ob die oben erwähnte Verdoppelung der Kontur gezackter Objekte etwas zur Erklärung der Verdoppelung der Marskanäle beizutragen vermag, kann ich nicht beurteilen. Zu erwähnen sind ferner die Messungen von VOLKMANN (13, S. 98 ff.) über das Erkennen sehr kleiner Figuren, die allerdings meist schon etwas kompliziertere Verhältnisse betreffen.

Größe und in ihrem Verhalten bei verschiedenen Lichtstärken nahezu mit dem Sonderungsvermögen zweier Striche überein.

Der Zusammenhang mit den zuvor besprochenen Versuchen wird ganz klar, wenn man sich die Ecke in kurzen Absätzen mehrmals wiederholt denkt, so daß eine Art Treppelinie zustande kommt. Eine solche Treppelinie wird, wenn sich die Absätze unterhalb der Grenze für das Scharfsehen von Zacken halten, natürlich ebenso als einfache schräge Linie erscheinen müssen, wie unter den gleichen Umständen die Kontur eines schräg gehaltenen Sägeblattes. Auch hier wirken in der oben beschriebenen Weise die Lichtausbreitung im Auge und der Simultankontrast derart zusammen, daß sie bei entsprechend kleinem Gesichtswinkel zunächst die scharfen Ecken abrunden und sie schließlich ganz zum Verschwinden bringen. Was aber bei dem zweiten Versuch neu hinzukommt, das ist, daß eine kleine Ecke zwar nicht mehr als solche erkannt wird, daß aber noch bis zur Raumschwelle herunter die durch sie bedingte Änderung der allgemeinen Richtung der Linie wahrgenommen wird. Diese Richtungsänderung erstreckt sich, wenn die anstoßenden Linienstücke sehr kurz sind, auch noch auf diese selbst, die letzten geraden Linienstücke werden mit in die schräge Richtung einbezogen. An längeren geraden Linien, die nur wenig gegeneinander verschoben sind, wie z. B. am BESTSchen Apparat, an dem die Grenz-

Fig. 28.



linie auf längere Strecken sichtbar ist, bemerkt man von der unteren Grenze an, bei der der Lageunterschied der beiden Linienhälften schon zu erkennen, aber an der Berührungsstelle noch keine Ecke zu sehen ist, nur einen ganz verwaschenen Übergang von der oberen Geraden zur unteren.

Für die Erklärung dieser Versuche scheinen mir folgende Umstände berücksichtigungswert. Die Fig. 19, 20 und 26 geben den wirklichen Sachverhalt insofern nicht genau wieder, als nicht einmal die Zapfennenglieder, geschweige denn die Außenglieder, die nach den Untersuchungen von HESS die eigentlich lichtempfindlichen Teile der Zapfen darstellen, kontinuierlich aneinander anschließen. Zeichnen wir uns in ein Schema — Fig. 28 —, das den tatsächlichen Verhältnissen, wie sie etwa auf den Tafeln von FRITSCH (403) wiedergegeben sind, mehr entspricht, den eckigen Übergang von einem Strich *a* zum anderen *b* ein, so folgt aus dem Schema unmittelbar, daß diese Ecke nicht als solche, sondern lediglich als eine der Form nach ganz unbestimmte Verschiebung der Linie im ganzen gesehen werden kann. Die Ecke selbst wird man erst erkennen, wenn auch in horizontaler Richtung die zur Wahrnehmung einer geraden Linie erforderliche Zapfenzahl von differentem Licht getroffen werden, wie etwa beim Übergang von Strich *a* auf Strich *c* in Fig. 28. Aber auch aus diesem Schema würde sich

wieder ergeben, daß man eine gerade Linie zwar nicht zackig, wohl aber unregelmäßig gekrümmt sehen müßte, wenn die Teile des subjektiven Sehfeldes, die von jedem der nebeneinander liegenden Zapfen herrühren, überall gleich groß wären. Das kann also, da wir die Konturen gerade sehen, nicht der Fall sein, vielmehr muß die Begrenzung der den einzelnen Zapfen zukommenden Sehfeldstellen derart gestaltet sein, daß ein Ausgleich der theoretisch zu erwartenden Krümmung erfolgt. Wie dieser zustande kommt, darüber lassen sich allerdings nur Vermutungen aufstellen. In erster Linie ist an die von HERING hervorgehobenen kleinen Verschiebungen der Netzhautbilder zu denken. Vielleicht ist aber dabei auch die in den bisherigen Schemen noch nicht berücksichtigte Ausbreitung des Lichtes im Auge von Bedeutung. Die Lichtfläche links von  $a$  in Fig. 28 fällt nicht mit einer scharfen Grenze gegen den dunklen Grund rechts von  $a$  ab, sondern mit einer allmählichen Abdachung. Es werden also die Zapfen links von  $a$  um so stärker belichtet, je weiter sie von der Grenze  $a$  entfernt sind, und um so schwächer, je näher sie der Grenze  $a$  anliegen. Die Zapfen rechts von  $a$  sind wiederum um so mehr verdunkelt, je weiter sie von der Grenze abliegen, und sie werden schon etwas mehr belichtet, wenn sie der Grenze näher liegen. Zwar bemerken wir das nicht, weil der Simultankontrast aus diesem verwaschenen Bilde eine scharfe Grenze schafft, aber dabei werden zugleich die Ecken und scharfen Spitzen abgerundet und bei genügender Kleinheit derselben zum Verschwinden gebracht. Das legt den Gedanken nahe, daß der Simultankontrast auch imstande ist, die durch die Netzhautmosaik verursachten kleinen lokalen Lageunterschiede eines Grenzstriches abzuschleifen und zu beseitigen. In der Tat entspricht die Grenze, bis zu der man die Zacken einer Kontur eben noch erkennen kann, etwa der Sehschärfe und hängt wie diese von dem Grade der Ausbreitung des Lichtes im Auge ab. Ist diese Überlegung richtig, so knüpft sich daran ein hohes biologisches Interesse. Dann wäre nämlich die dioptrisch bedingte Unschärfe der Abbildung im Auge und ihre Korrektur durch den Simultankontrast nicht ein biologisch gleichgültiger Vorgang, sondern das von der Natur verwendete Mittel, um gerade und stetig gekrümmte Konturen trotz ihrer Abbildung auf einem Mosaik verschiedenartig lokalisierender Elemente in der Empfindung wiederum in ihrer wahren Gestalt aufzubauen.

Indessen ist der Simultankontrast, d. h. die Herabdrückung der Régung einer Netzhautstelle durch die gleichartige Régung einer zweiten, nicht die einzige Form der Wechselwirkung der Stellen des somatischen Sehfeldes. Vielmehr besteht diese auch noch in der zweiten Form, daß sich gleichzeitige und gleichartige Régungen mehrerer Sehfeldstellen gegenseitig heben. Am bekanntesten ist diese bisher noch nicht genügend gewürdigte Form der Wechselwirkung beim Farbensinn der peripheren Netzhaut. Hier kann eine bunte Farbenempfindung, die an kleinen Reizflächen

fehlt, an größeren sichtbar werden: Kleine Flächen erscheinen grau, größere bunt. Auch in der Netzhautmitte ist dieselbe Erscheinung nachweisbar, beim normalen Farbentüchtigten nur an sehr kleinen Objekten, bei »schwachem Farbensinn« aber auch an recht großen Flächen. Durch die gleichartige Mitreizung der Umgebung wird also hier eine an sich unterschwellige Reizung einer Stelle über die Schwelle gehoben. Eine ganz analoge Erscheinung hat v. FREY (vgl. 102, S. 120 ff.) beim Drucksinn nachgewiesen — gleichzeitige Reizungen zweier Druckpunkte verstärken sich gegenseitig, daher wird der gleiche Reiz innerhalb gewisser Grenzen wirksamer, wenn mehr Druckpunkte von ihm getroffen werden<sup>1)</sup> — und (102 a) auf die zentrale Ausbreitung der Erregungsleitung für die Druckempfindungen bezogen. Der gleiche Gedanke einer physiologischen Irradiation liegt auch für den Gesichtssinn um so mehr nahe, als er sich hier mit den Beobachtungen und Überlegungen BRÜCKNERS (s. unten S. 194 ff.) über die Ausfüllung des blinden Flecks aufs engste berührt. Gilt er aber für die bunten Farben, so muß er auch auf die Weißschwarz-Reihe Anwendung finden. In der Tat haben wir schon oben S. 25 und 26 Beobachtungen anführen können, die darauf hinweisen, daß das Vermögen zur Wahrnehmung kleiner weißer und schwarzer Flächen mit Vergrößerung der Zahl der gleichartig erregten Elemente zunimmt. Insbesondere heben sich, wie einfache Messungen an Sehproben zeigen, bei sehr stark herabgesetzter Beleuchtung und dunkel adaptiertem Auge erst so große Flächen merklich von ihrer Umgebung ab, daß es sich hier ganz offenkundig nicht mehr um das räumliche Unterscheidungsvermögen von einzelnen Empfangselementen, sondern von ganzen Komplexen derselben handeln kann. EXNER (46) hatte diese gegenseitige Unterstützung gleichartiger Regungen ebenfalls schon auf eine Ausbreitung derselben im Sehorgan zurückgeführt, und er glaubt, daß sie durch die Querverbindungen in der Netzhaut selbst vermittelt werde<sup>2)</sup>.

In besonders eindringlicher Form konnte ich nun dieselbe Erscheinung an einem Fall von parazentralem Skotom auch im hellen Tageslicht beobachten. Legte ich dem Patienten die oben S. 37 abgebildete Fig. 14 in 35 cm Abstand vom Auge vor, so erkannte er das Schachmuster auch auf der geschädigten Stelle, es erschien hier aber ganz abgeblaßt. Brachte ich nunmehr eine kleine Marke von etwa 4 mm Durchmesser an dieselbe Stelle, so war sie völlig unsichtbar, und man konnte mit ihr die Grenzen des Skotoms gradeso abtasten, wie etwa die Grenze des blinden Flecks. Bei diesem Patienten verhielten sich also die geschädigten Stellen des somati-

1) Das gleiche gilt für den Geschmackssinn und den Temperatursinn.

2) Eine starke Herabsetzung des Erkennens von Formen bei Beleuchtung mit Natriumlicht und Vorsetzen einer trüben Brille hatte seinerzeit SIEMERLING (140 d) beschrieben. Es handelt sich dabei wegen der schwachen Beleuchtung zum Teil um die gleichen Erscheinungen, wie sie eben angegeben wurden.

schen Sehfeldes bei heller Beleuchtung ähnlich wie unser normales Sehorgan bei sehr herabgesetzter Beleuchtung. Hierher gehört auch die Erscheinung, daß man die Grenzen des Gesichtsfelddefektes bei Hemianopsie usf. je nach der Größe der Testobjekte verschieden findet (vgl. POPPELREUTER (11 a, S. 29)<sup>1</sup>).

Auch diese Form der Wechselwirkung der Sehfeldstellen mag nun bei der Schaffung glatter Konturen mitwirken. Wir dürfen wenigstens vermuten, daß ebenso, wie eine ganz isolierte kleine Fläche, auch eine scharf vorspringende und in andersartig erregtes Gebiet hineinragende Zacke bei genügender Kleinheit nicht mehr über die Schwelle gehoben wird und demnach wegfällt. Indessen werden wir doch den Erscheinungen des Grenzkontrastes dabei den Vorzug einräumen müssen. Wie immer wir aber die Mitwirkung der beiden Formen der Wechselwirkung der Sehfeldstellen beim Schaffen von Konturen bewerten, jedenfalls steht eines fest: Die Vorgänge selbst vollziehen sich ganz unbewußt, und wir können sie auch durch unsere Willkür nicht direkt beeinflussen.

Außer der Beseitigung von Zacken aus geraden oder gleichmäßig gekrümmten Konturen hatte sich in den bisherigen Versuchen noch eine weitere eigentümliche Erscheinung gezeigt, auf die schon oben S. 97 hingewiesen wurde: Die Anwesenheit einer kleinen seitlichen Verschiebung (Stufe) innerhalb des Verlaufs kurzer vertikaler Konturen übt auch einen Einfluß auf die scheinbare Richtung der unmittelbar an die Stufe angrenzenden Vertikal-konturen aus, sie erscheinen im ganzen schräg. Noch deutlicher ist diese neue Art von Wechselbeziehung der somatischen Sehfeldstellen beim Vergleich sehr kurzer geknickter Striche mit kurzen Kreisbögen zu beobachten. Wir hatten die allgemeinen Bedingungen für diese Unterscheidung schon früher abgeleitet, uns aber dort auf verhältnismäßig lange Striche und kleine Knickungswinkel beschränkt. Verwendet man hingegen geknickte gerade Striche mit etwas größerem Knickungswinkel und verkleinert man die sichtbare Länge der Striche durch Abdecken derselben, so stellt sich heraus, daß man schließlich einen sehr kurzen geknickten Strich nicht mehr von einem stetig gekrümmten unterscheiden kann. Beide sehen gekrümmt aus, die scharfe Ecke der Knickstelle wird, wenn die daran ansetzenden Striche immer kürzer gemacht werden, abgerundet und zum Verschwinden gebracht.

Man kann dies sehr wohl schon an sauber mit Tusche auf weißes Papier gezeichneten Strichen beobachten, die man nach der von GULLERY angegebenen

---

1) Bemerkenswert ist, daß BEST (267 a) bei der Bestimmung der Gesichtsfeldgrenzen an Hemianopikern eine Erscheinung feststellen konnte, die dem oben S. 47 beschriebenen AUBERT-FÖRSTERSchen Phänomen vollkommen analog ist: Die Grenzen des erhalten gebliebenen Gesichtsfeldes fielen enger aus bei Verwendung eines entfernteren größeren, als bei Verwendung eines näheren kleineren Testobjektes, die beide unter gleichem Gesichtswinkel gesehen wurden.



Methode (vgl. oben Fig. 23 auf S. 73) mittels eines keilförmig eingeschnittenen Deckblatts abdeckt. Noch schöner wirkt es, wenn man die Striche mit einer Nadel in eine mit Mattlack überzogene Glasplatte einritz, diese gegen helles Licht hält und die durchleuchteten Striche mittels einer keilförmig eingeschnittenen Metallplatte abdeckt, die man in einem Rahmen verschiebt.

Will man eine geknickte gerade Linie von einer gleichmäßig gekrümmten unterscheiden, so muß man sie demnach von der Knickstelle aus eine Strecke weit verlängern. Die Länge der Linien, bei der der Geradheitseindruck eben auftritt, hängt z. T. auch von der Größe des Knickungswinkels ab. In einigen Probeversuchen, die ich anstellte, lag die Grenze bei einem Knickungswinkel von  $20^\circ$  etwa bei einem Gesichtswinkel von  $5\frac{1}{2}'$  für jede der beiden Strichhälften. Dieselben Verhältnisse wiederholen sich bei der Unterscheidung eines Polygons vom Kreise. Bei kleinen Gesichtswinkeln für die Seitenlänge des Polygons ist dessen Unterscheidung vom Kreis ebenfalls unmöglich. Erst wenn die Seitenlänge des Polygons einen Gesichtswinkel erreicht, dessen Größe von der Größe des Winkels abhängt, den die Seiten des Polygons miteinander einschließen, werden seine Seiten als Gerade gesehen, und dann werden auch seine Ecken deutlich. Einige Versuche darüber hat, allerdings in ganz anderem Zusammenhang, PERGENS (78) ausgeführt. Systematische Untersuchungsreihen fehlen aber noch ganz. Deshalb ist es auch jetzt noch nicht möglich, präzise die Bedingungen für die Unterscheidung der Krümmung von einem Knick an sehr kurzen Strecken anzugeben.

Gegenüber den früher besprochenen Formen der Wechselbeziehung der somatischen Sehfeldstellen stehen die soeben besprochenen Erscheinungen schon wieder auf einer etwas höheren Stufe, denn hier handelt es sich nicht mehr um eine gegenseitige Beeinflussung der Farbenempfindung, sondern um eine solche der Lokalisation, wie sie ähnlich auch bei den im folgenden zu erörternden Gestaltwahrnehmungen auftritt. Im Gegensatz zu diesen müssen wir aber den Mechanismus, der zum Entstehen des Eindrucks eines scharfen Knicks oder einer stetigen Krümmung führt, noch für einen solchen halten, der von der Übung und Erfahrung unabhängig ist, denn es ist nicht einzusehen, wie wir durch noch so große Übung und Erfahrung dahin bringen könnten, den Eindruck eines scharfen Knicks bei zu kurzen Ansatzlinien herbeizuführen oder umgekehrt einen deutlich sichtbaren scharfen Knick abzurunden.

Als den innersten Kern des Formensehens, auf den die zuletzt angeführten Einzelvorgänge schließlich zurückzuführen sind, müssen wir, wie schon erwähnt, das Verschmelzen der von den einzelnen Elementen gelieferten Empfindungen zu einem einheitlichen Ganzen betrachten, das auf dem Zusammenarbeiten der Elemente des somatischen Sehfeldes beruht. Es ist das ein Prozeß, der sich, wie es scheint, nicht bloß auf die

Zusammenfassung kontinuierlicher Empfindungsreihen beschränkt, sondern auch beim Zusammenfassen gesonderter Objekte zu einer Einheit betätigt wird. Dem Patienten von GOLDSTEIN und GELB, der die Fähigkeit, Formen zu sehen, verloren hatte, war auch die Fähigkeit abhanden gekommen, vier im Quadrat stehende einzelne Punkte zu einer Gesamtfigur (analog der auf S. 107 beschriebenen Vereinigung von neun Punkten) zusammenzufassen. Hiermit wäre eine noch größere Annäherung an die Prozesse der Gestaltwahrnehmung, die im folgenden besprochen werden, gegeben.

Im Gegensatz zu der eben erwähnten Unfähigkeit des Patienten von GOLDSTEIN und GELB, einzelne Punkte zu einer Gesamtfigur zusammenzufassen, steht seine Fähigkeit, aus der Art der Verteilung isolierter Farbflecke, die er relativ zueinander richtig lokalisierte, Gegenstände zu erkennen. So konnte er z. B. bei der Betrachtung eines stark mit der Konkavität nach oben gekrümmten horizontalen Bogens angeben, daß es sich nicht um einen geraden Strich handeln könne, weil die beiden Enden höher stehen, als die Mitte, und er erriet oder erschloß auf ähnliche Weise auch die meisten Gegenstände seiner Umgebung, wofür GOLDSTEIN und GELB zahlreiche Beispiele anführen. Es handelt sich aber in allen diesen Fällen nicht um ein eigentliches Sehen der Gestalt, sondern bloß um Schlußfolgerungen aus dem ihm noch verbliebenen Rest primitiver optischer Raumempfindungen. Freilich wird man dann die Frage aufwerfen, warum der Patient nicht auch aus den vier im Quadrat stehenden einzelnen Punkten analoge Figuren erriet.

Mit der Verschmelzung der Einzelteile eines Linienzuges zu einem Ganzen ist auch der Vergleich der Richtung der einzelnen Teile verbunden, der zwar nicht als charakteristische Besonderheit des Formensehens — denn er tritt beim Richtungsvergleich isolierter Punkte ebenso in Erscheinung —, wohl aber als integrierender Bestandteil desselben anzusehen ist. Er vollzieht sich bei ruhendem Blick in der Weise, daß die Aufmerksamkeit der Linie entlang wandert und dabei die gegenseitige Lage der Bestandteile feststellt. Das Wandern der Aufmerksamkeit im Gesichtsfeld bei festgehaltenem Blick ist aber ein erzwungener Zustand. Beim ungewungenen Sehen sind wir gewohnt, mit der Verlagerung der Aufmerksamkeit auf eine seitlich vom Fixationspunkt gelegenen Stelle des Gesichtsfeldes auch den Blick dorthin zu wenden. Das bietet den großen Vorteil, daß die einzelnen Teile der Linie nacheinander auf den Stellen der höchsten Sehschärfe abgebildet und daher deutlich gesehen werden, während bei fester Fixation eines einzigen Punktes jene Teile derselben, deren Bilder auf exzentrische Netzhautstellen fallen, viel schlechter wahrgenommen werden. Es ist daher ganz begreiflich, daß, wie wir es schon beim Richtungsvergleich und Augenmaß gefunden und ganz ebenso begründet hatten, auch das Erkennen von Formen bei bewegtem Blick gegenüber der festen Fixation wesentlich begünstigt ist. So fand SEYFERT (140 c), daß beim Nachzeichnen

einfacher Formen nach Vorlagen aus dem Gedächtnis, die Fehler größer waren, wenn vorher ein Punkt der Vorlage fest fixiert worden war, und daß sie viel kleiner wurden, wenn die Figur mit bewegtem Blick betrachtet worden war. SEYFERT glaubte aus seinen Versuchen den Schluß ziehen zu dürfen, daß wir die Formen mit Hilfe der Bewegungsempfindungen der Augen genauer zu erkennen vermögen, als durch den Ortssinn der Netzhaut allein. Wir sind auf diese prinzipiellen Fragen schon früher (S. 85 ff.) näher eingegangen und brauchen daher hier nicht nochmals auseinanderzusetzen, warum dieser Schluß unzulässig ist.

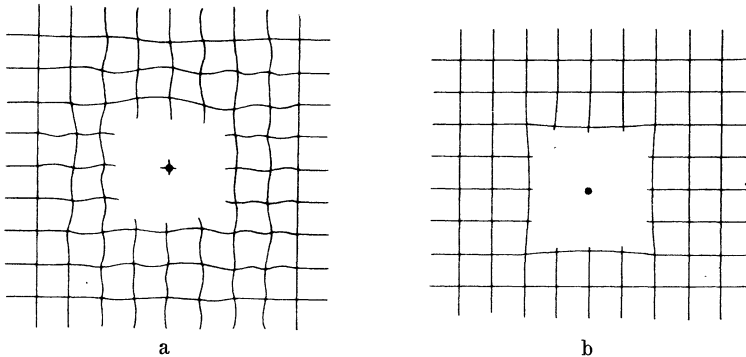
## 8. Die Gestaltwahrnehmungen.

### a) Allgemeines und Metamorphopsien.

Wenn wir im vorhergehenden den einzelnen Empfangselementen der Netzhaut bestimmte Höhen- und Breitenwerte zugeschrieben haben, so fragt es sich weiter, ob durch die Reizung derselben Netzhautelemente konstant immer dieselbe relative Lokalisation ausgelöst wird oder nicht. Da zeigt sich nun zunächst, daß mit einer Verlagerung der Netzhautelemente, wie sie als Folge von Exsudaten oder sonstiger Erkrankungen des Auges auftreten kann, in der Tat auch eine Änderung der Lokalisation im Sinne einer solchen Konstanz verbunden ist. Es treten dann die zuerst von FÖRSTER beschriebenen sogenannten Metamorphopsien auf, die in diesem Handbuch schon von LEBER (Teil II, Kap. 10, S. 705 u. 1066) beschrieben worden sind und von denen die nachfolgende Fig. 29 a ein Beispiel bietet. Die Erklärung derselben ergibt sich daraus, daß die einzelnen Netzhautelemente ihre charakteristische Lokalisationsweise unabhängig von ihrer Lage im Auge beibehalten, sie also bei einer Verlagerung gewissermaßen mit sich mitnehmen. Rücken sie daher weiter auseinander, so fällt das Bild eines Gegenstandes an dieser Stelle auf weniger Elemente als früher, bzw. als es an den umliegenden unveränderten Nachbarstellen der Fall ist, und der Gegenstand muß, so weit er auf die gedehnte Stelle der Netzhaut fällt, kleiner erscheinen, als er früher erschien bzw. mit der unveränderten Netzhaut gesehen wird, es tritt Mikropsie auf. Daß neben den Stellen, an denen kleiner gesehen wird, häufig das entgegengesetzte Symptom der Makropsie auftritt, führt LEBER darauf zurück, daß, wenn die Netzhaut an einer beschränkten Stelle nach innen konvex vorgebuchtet ist, ein Bild von bestimmter Größe auf der Höhe der Prominenz eine kleinere Zahl von Elementen deckt als zuvor, an den seitlichen Abhängen der Prominenz hingegen eine größere. Aus diesen Beobachtungen geht die konstante Zuordnung der relativen Raumwerte zu den einzelnen Netzhautelementen, die auch nach ihrer Verlagerung sicher noch einige Zeit weiter bestehen bleibt, unzweifelhaft hervor.

Nun hat WUNDT (144) an seinem eigenen Auge eine derartige Metamorphopsie infolge einer Chorioiditis disseminata, die mit einem zentralen Skotom (mit Ausnahme eines ganz in der Mitte gelegenen Punktes) verbunden war, genau beobachtet und gibt das ungefähre Bild eines quadratischen Gitters, so wie er es in einem späteren Stadium der Erkrankung sah, durch Fig. 29 a wieder. Nach der Heilung des Krankheitsprozesses, 1 Jahr nach der vorigen Untersuchung, war aber die Metamorphopsie fast völlig verschwunden, und es war nur eine geringe Einwärtsbiegung der Linien an der Grenze der erblindeten Stelle übriggeblieben, wie sie in Fig. 29 b angedeutet ist. Da nun nach WUNDT nicht wohl anzunehmen ist, daß die Netzhautelemente nach dem Verschwinden des Exsudates fast genau wieder in ihre frühere Lage zurückgekehrt seien, so müßte sich die Lokalisationsweise der dauernd verlagerten Netzhautelemente mit der Zeit ge-

Fig. 29.



ändert haben, und zwar müßte sie sich im Laufe längerer Zeit den wirklichen Raumverhältnissen derart angepaßt haben, daß sie dieselben trotz der veränderten Lage der Sehelemente wieder nahezu richtig wiedergibt. Ist das richtig, so würde es sich um eine örtliche Änderung der Lokalisationsweise handeln, die jetzt ihrerseits wieder stabil geworden wäre, also um einen Neuerwerb durch Erfahrung. Ob das zutrifft, läßt sich natürlich auf Grund der bloßen einmaligen Beobachtung weder beweisen noch ablehnen.

Dagegen können wir in einer grundsätzlich ganz anderen Beziehung allerdings sicher feststellen, daß die relative gegenseitige Lage und der relative Abstand der Sehdinge voneinander trotz gleicher Abbildung auf der Netzhaut nicht immer derselbe bleibt, sondern je nach den sonstigen Umständen wechseln kann. Die relative optische Lokalisation ist nicht allein abhängig von der Lage der gereizten Netzhautelemente, sondern sie hängt außerdem noch ab vom augenblicklichen Zustand, der »Stimmung« des Sehorgans.

Die jeweilige Stimmung des Sehorgans ist bedingt:

1. Durch die Nachwirkung der Gesamtheit aller früheren Sinnesindrücke, also durch die Gesamterfahrung;
2. Durch das Zusammenwirken der dem Zentralnervensystem gleichzeitig mit dem gesetzten optischen Reiz zuströmenden anderen Regungen des Sehorgans und durch den Einfluß sonstiger, gleichzeitig sich abspielender zentraler Vorgänge.

Dem Einfluß der Erfahrung kann sich der Erwachsene beim Sehen überhaupt nicht entziehen. Um ihre Wirkungsweise zu erforschen, steht uns zunächst der Weg der Selbstbeobachtung und der kritischen Analyse der Vorgänge beim Sehen offen.

Wenn wir im beleuchteten Raum umherblicken, so sehen wir nicht ein wirres, regelloses Nebeneinander von Farben und Formen, sondern die ganze Umgebung zerfällt, so weit wir sie deutlich sehen, in eine Anzahl voneinander gesonderter Gegenstände. Jeder Gegenstand bildet für unsere unbefangene Wahrnehmung in sich eine gewisse Einheit, obwohl er sich bei der genaueren Analyse aus einer Mannigfaltigkeit von einzelnen Farben und Formen zusammensetzt. Beschränken wir uns hier, unserem Thema entsprechend, nur auf die Formen, so können wir sagen, jedem Gegenstand kommt eine bestimmte einheitliche Gesamtform oder Gestalt zu, in der die verschiedenen Einzel- oder Unterformen, die man an ihr unterscheiden kann, derart zusammengefaßt sind, daß die Einzelformen einer und derselben Gestalt inniger miteinander verbunden sind, als je eine Einzelform von verschiedenen nebeneinander liegenden Gestalten. Das bloße Nebeneinander oder die unmittelbare Aufeinanderfolge der Gesichtseindrücke bei wanderndem Blick kann nicht die Ursache dieser innigeren Verbindung derselben zur Gestalt sein. Vielmehr besteht das Band, das die Einzelformen zur Gesamtgestalt verknüpft, eben in der Beziehung auf den Gegenstand. Wie wir aus einem Gewirr von vielen Klängen ein gesprochenes Wort heraus hören können, indem sich die dazugehörigen Einzelklänge miteinander zu einer Einheit verbinden, so heben sich aus der großen Mannigfaltigkeit von Gesichtsempfindungen, die uns zu irgendeiner Zeit zuströmen, die zusammengehörigen heraus und verbinden sich zum einheitlichen Komplex der »Gestalt« eines Gegenstandes.

An diesem Herausheben und Verbinden des Zusammengehörigen ist, wie die Beobachtungen des täglichen Lebens zeigen, unsere Aufmerksamkeit wesentlich mitbeteiligt. Wer in Gedanken versunken ist, bemerkt nichts, und umgekehrt sieht der mit geschärfter Aufmerksamkeit auf die ihn interessierenden Objekte aufpassende Botaniker, Jäger usf. viel mehr, als ein anderer. Für den Laien ist etwa das Grün einer Wiese ununterscheidbares »Gras«, während der Botaniker darin eine Unzahl einzelner Pflanzen unter-

scheidet. Studieren läßt sich der genannte Vorgang des Heraushebens und Zusammenfassens zusammen gehöriger Einzelheiten an Zeichnungen, insbesondere beim Aufsuchen einer versteckten Figur in den sogenannten Vexierbildern. Sehr belehrend sind auch Zeichnungen, die mehrere Deutungen zulassen. So kann man die Punkte  $\cdot\cdot\cdot$  entweder als Quadrat mit Mittelpunkt  $\square$ , oder als Kreuz mit Punkten  $\cdot\cdot\cdot$  oder als parallele Linien  $\equiv |||$  usf. auffassen. Dieser Vorgang des Heraushebens und Verbindens einzelner Teile eines Komplexes ist besonders von SCHUMANN (249) studiert und als Folge einer bestimmten Verteilung der Aufmerksamkeit gedeutet worden. Andere Psychologen, insbesondere MEINONG und seine Schule (WITASEK, 14; BENUSSI) bezeichnen den Vorgang als »Gestaltproduktion« und sondern ihn als Prozeß sui generis von der rein reproduktiven Tätigkeit des Geistes ab.

Die Sonderstellung dieses Vorganges wurde zuerst von CH. v. EHRENFELS (141) begründet, der sie insbesondere am Erfassen einer Melodie aus einer Reihe aufeinanderfolgender Klänge veranschaulicht hat. Nach seiner Meinung muß zur Aufeinanderfolge noch etwas Neues, was er »Gestaltqualität« nannte, hinzukommen, das erst aus dem bloßen Nacheinander der Klänge die Melodie schafft. Das gelte dann auch für das Zusammenfassen gleichzeitiger Eindrücke zur einheitlichen Gestalt. In der Tat haben wir in dem oben angezogenen Beispiele eines Wortes, das wir aus einem Klanggewirr heraushören, denselben Fall vor uns. Das gibt uns aber auch den Anhalt dafür, worin denn eigentlich die Gestaltqualität besteht. Es ist keine Empfindung von derselben Art, wie eine Farbenempfindung, auch keine Eigenschaft derselben, wie die Lokalisation, sondern es ist der zugrunde liegende Sinn des Wortes oder der Melodie — der Unmusikalische »versteht« die Melodie nicht —, der die einzelnen Bestandteile zusammenhält. Ebenso ist es der Sinn des Gesehenen, das was wir oben die Beziehung auf den Gegenstand genannt haben, der beim Gesichtssinn die Gestaltqualität ausmacht<sup>1)</sup>. Man steht ratlos vor den verwirrenden Farbenflecken eines impressionistischen Gemäldes, sowie man aber den Sinn des Gesehenen erfaßt hat, fällt es einem wie Schuppen von den Augen und man hat plötzlich den packenden Eindruck der Wirklichkeit<sup>2)</sup>. Auch mehrdeutige Eindrücke dieser Art kann man im gewöhnlichen Leben beob-

1) So, wie es nach HOFMANN (20, S. 59 Anm.) scheint, zuerst HUSSERL. POPPELREUTER (14a, S. 159) definiert die Gestaltqualität direkt als den »sinnvollen Anteil« der Gestaltwahrnehmung. Zur psychologischen Analyse der »Gestaltqualität« und der Gestaltwahrnehmungen überhaupt vgl. man außer WITASEK (14) und den Abhandlungen von BENUSSI noch GELB (142), BÜHLER (4, S. 5 ff.), KOFFKA (142a), LINKE (142c). Hier findet man dann noch weitere Literatur.

2) Einen leichten Anklang daran werden vielleicht manche Leser bei der Betrachtung der Fig. 59 auf S. 133 verspüren. Man sehe sie zuerst an und lese dann erst den begleitenden Text.

achten, wie z. B. die von HERING in diesem Handbuch (l. c. S. 9) beschriebene Verwechslung eines Sonnenflecks auf dem Rock mit einem Staubleck.

Die angeführten Beispiele zeigen nun auch schon deutlich den Einfluß, den die Erfahrung auf den Vorgang der Gestaltauffassung nimmt. Wir kennen von früher her die Gestalt des Gegenstandes. Sie erscheint uns als eine ihm zugehörige Eigenschaft, die er unabhängig von seinen verschiedenen Netzhautbilder liefernden verschiedenartigen Lagen im Raume konstant beibehält. Diese dem bekannten Gegenstande eigentümliche Gestalt wird nun durch die zufällige Form, in der er sich im Augenblick auf der Netzhaut abbildet, aus der Erinnerung geweckt und ins Bewußtsein gerückt. Wir erkennen den Gegenstand wieder. Dazu ist es nicht nötig, daß alle Einzelheiten desselben sichtbar sind, vielmehr wird sein Bild auch aus der teilweisen Darbietung seiner Form erkannt. Das machen sich die Maler zunutze, indem sie nur die allgemeinen, charakteristischen Umrisse der Figuren in der Zeichnung wiedergeben, aus denen wir trotzdem die Gestalt des dargestellten Gegenstandes erkennen. Denn dazu braucht nur durch den vorliegenden, wenn auch unvollständigen Gesichtseindruck die Gesamtform ins Bewußtsein gehoben zu werden. Was zum vollen Bilde noch fehlt, darüber sehen wir hinweg. Es ist derselbe Vorgang, der uns einen fehlenden Buchstaben in einem Wort beim Lesen übersehen läßt, wenn nur das allgemeine Druckbild des Wortes genügt, um uns den Sinn desselben zu vermitteln. Erst wenn wir die Aufmerksamkeit ganz besonders auf die Einzelheiten hinlenken, beim Suchen nach Druckfehlern z. B., entdecken wir das Fehlende. Die fehlenden Einzelheiten werden also in diesen Fällen nicht eigentlich zum Gesichtseindruck hinzugefügt, sondern ihr Fehlen bleibt nur unbemerkt. Daneben gibt es aber auch eine wirkliche Ergänzung der fehlenden Einzelheiten. So wird insbesondere an perspektivischen flächenhaften Zeichnungen die fehlende Tiefendimension ergänzt und hinzugefügt. Wir können hier von einer wirklich ergänzenden Gestaltproduktion sprechen.

Auf demselben Untergrund der Gestaltproduktion, aber als Vorgang für sich, steht jene Art der Ausdeutung eines Sinneseindrucks, der im Gegensatz zum vorigen nichts hinzufügt, sondern den augenblicklichen Eindruck unter dem Einfluß früherer Erfahrungen umformt. Dieser Vorgang ist bisher meist bei gleichzeitiger Beteiligung der dritten Dimension, der Tiefe, in Betracht gezogen worden, die wir selbstverständlich bei solchen allgemeinen Überlegungen ebenfalls mit heranziehen müssen. Blicke ich etwa mit einem Auge aus geringer Höhe auf eine quadratische horizontale Tischplatte herab, so sehe ich sie auch ungefähr quadratisch und bemerke nur, wenn ich genauer darauf achte, daß doch infolge der Perspektive die beiden seitlichen Kanten der Platte nach der Tiefe zu etwas konvergieren, die beiden nahen Ecken rechts und links spitze, die beiden fernen stumpfe

Winkel bilden, der fernere Rand des Tisches kürzer ist und etwas höher liegt, als der nähere. In Wirklichkeit ist aber die perspektivische Verzeichnung der Platte viel beträchtlicher, als ich sie selbst bei voller Aufmerksamkeit sehe. Sehr schön sichtbar ist die Umformung an perspektivischen Zeichnungen. Betrachtet man z. B. die eines Würfels mit einem Auge (vgl. unten Fig. 65 auf S. 138), so wandeln sich, sobald die Tiefenauslegung deutlich wird, ebenfalls die stumpfen und spitzen Winkel in rechte um, und die Längenverschiedenheit der Seiten gleicht sich aus. Ein anderer schöner Versuch wurde von VOLKMANN (13, S. 145 ff.) angegeben. Erzeugt man im Auge das dauerhafte Nachbild eines rechtwinkligen Kreuzes<sup>1)</sup> und sieht man dann auf eine ebene Fläche, so erscheint das Nachbild schiefwinklig, wenn die ebene Fläche nicht zur Gesichtslinie senkrecht steht. Dasselbe ist der Fall, wenn man am Ende einer kurzen Röhre ein Fadenkreuz anbringt und nun durch das Rohr hindurch auf eine schrägstehende ebene Fläche hinsieht; in diesem Falle aber nur dann, wenn man das Fadenkreuz als Schatten auf der Fläche sieht und es nicht von ihr losgelöst als selbständiges vor ihr liegendes Objekt aufgefaßt wird. Hierbei spielt auch wieder die verschiedene Tiefe eine Rolle. Aber derartige Änderungen der scheinbaren Richtung und der scheinbaren Länge sind, wie wir im folgenden sehen werden, keineswegs auf die Mitwirkung der Tiefendimension beschränkt, wir werden ihnen auch im ebenen Sehfeld begegnen. Es handelt sich dabei offenbar um eine ähnliche Ummodelung des Erregungsvorganges im Sehorgan unter dem Einfluß der aus der Erfahrung bekannten Form des Gegenstandes, wie sie auch in bezug auf die Farbe besteht. Man kann der »Gedächtnisfarbe« von HERING (dieses Handb., I. c., S. 6 ff.) geradezu eine **Gedächtnisform** an die Seite stellen.

Zu diesen Abänderungen des Erregungsvorganges im Sehorgan durch die Erfahrung gehören auch die den Augenärzten bekannten Erscheinungen, die auftreten, wenn korrigierende Gläser oder auch Prismen dauernd getragen werden. Eine gewöhnliche sphärische Bikonkav- oder Bikonvexlinse gibt beim schrägen Durchblicken eine Bildverzerrung eines Quadrates, die beim Konkavglas als eine kissenförmige, beim Konkavglas als eine tonnenförmige Verzeichnung bezeichnet wird (vgl. M. v. ROHR in diesem Handb., Anhang, S. 36 und 55). Gleichzeitig erscheinen die schräg durch die Brille betrachteten Teile des Gesichtsfeldes bei der Konkavbrille näher gegen die Mitte des Glases zu gerückt, bei der Konkavbrille weiter von der Mitte entfernt; der Fußboden erscheint, schräg nach unten durch die Brille gesehen,

<sup>1)</sup> Man kann dies heute sehr bequem erreichen, wenn man eine elektrische Glühlampe mit geraden Kohlenfaden, wie sie von SIEMENS-SCHUCKERT geliefert wird, in einem Halter einmal vertikal stellt, aufleuchten läßt und eine in der Mitte angebrachte Marke fixiert, sie dann rasch horizontal dreht, wieder aufleuchten läßt und nochmals die Mitte kurz fixiert.



bei der Konkavbrille gehoben, bei der Konvexbrille gesenkt. Die Folge davon ist, daß im ersteren Falle beim Gehen auf ebenem Boden die Füße zu hoch gehoben, im letzteren Falle zu tief gesenkt werden, wie beim Stiegensteigen, und daß andererseits das Stiegensteigen ungeschickt ausgeführt wird, was besonders beim unvermittelten Vorsetzen starker Gläser (z. B. bei Starbrillen) sehr unangenehm empfunden wird. Ähnlich unangenehm ist manchen Astigmatikern anfangs das Vorsetzen von korrigierenden Zylindergläsern wegen der damit verbundenen Bildänderung, und ebenso das Tragen von Prismen bei Innervations- oder Stellungsanomalien. Es ist aber bekannt, daß sich diese anfänglichen Beschwerden beim ständigen Tragen der Brille allmählich verlieren, man »gewöhnt« sich an die Brille und merkt die Bildveränderung nicht mehr. WUNDT (144) hat diese Erscheinung als dioptrisch erzeugte Metamorphopsie bezeichnet und nach einer Beobachtung von O. SCHWARZ noch folgendes hinzugefügt: Sobald infolge ständigen Tragens eines Prismenpaares die Bildverzerrung nicht mehr gesehen wurde, trat sie wieder auf, und zwar im entgegengesetzten Sinne wie vorher, als die Brille wieder abgelegt wurde, verschwand aber dann ebenfalls nach einiger Zeit. Ähnliche Anpassungen werden auch nach der Korrektur des Astigmatismus durch Zylindergläser berichtet (vgl. LIPPINCOTT, 143; FRIEDENWALD, 144a; in etwas anderer Beziehung auch WOLFFBERG, 143 a).

Eine genauere Analyse dieser Vorgänge, die nur auf Grund sorgfältiger Selbstbeobachtung möglich ist, wurde bisher nicht gegeben. Ich kann hier auch nur das darüber beibringen, was mir aus eigener Erfahrung bekannt ist. Die anfänglichen Beschwerden, insbesondere beim Gehen, sind mir noch wohl erinnerlich, als meine Myopie mit einemmal durch beiderseits rund  $-2\frac{1}{2}$  D (alte Nr. 48) korrigiert wurde. Jetzt trage ich seit Jahren beiderseits  $-5$  D und merke für gewöhnlich keine besondere Bildverzerrung, auch wenn ich schräg durch das Glas sehe<sup>1)</sup>. Wenn ich darauf achte, kann ich sie mir aber unter geeigneten Umständen aufs deutlichste sichtbar machen. Am eindringlichsten ist sie, wenn ich schräg durch die Brille hindurch auf nahe, lange gerade Linien hinsehe. Die Begrenzungslinie eines halboffenen Türflügels sehe ich dann geschwungen, als ob der Türflügel »geworfen« wäre, und diese Beobachtung wird besonders erleichtert, wenn ich während derselben den Kopf abwechselnd nach rechts und nach links drehe, so daß ich bald schräg nach links, bald nach rechts durch die Brille hindurchsehe. Dann biegt sich die Linie abwechselnd nach rechts und nach links ein, und ich bemerke dann auch schwächere Krümmungen derselben, die ich bei ruhig gehaltenem Kopf

---

1) Die Beobachtungen stammen aus einer Zeit, da ich ständig gewöhnliche Konkavgläser, nicht Punktalgläser, trug.

übersehen hätte, ganz deutlich. Beobachte ich dagegen Objekte mit unregelmäßigen oder stark perspektivisch verkürzten Formen, blicke ich etwa mit einem Auge aus der Nähe auf ein aufgeschlagenes, horizontal und etwas schief liegendes Buch, dessen Blätter nicht ganz flach liegen, sondern etwas gebogen sind, so erscheinen mir Seiten und Zeilen desselben in der wahren Form, auch wenn ich ganz schräg durch die Brille sehe. Erst wenn ich mir aus der Verzeichnungsfigur vergegenwärtige, wie denn das Bild der Seite verzerrt ist, merke ich einen Rest davon, und das wird wiederum deutlicher, wenn ich den Kopf nach rechts und links wende, wobei ich die aufeinanderfolgenden Verzerrungen miteinander vergleichen kann. Daraus geht also hervor, daß ich die vorhandenen Bildverzerrungen zwar noch sehen kann, sie aber für gewöhnlich nicht beachte und sie in die sonstigen perspektivischen Bildänderungen mit einbeziehe. Besonders entgehen sie mir bei komplizierteren Formen, während sie bei einfachen Formen, speziell an langen geraden Linien, ganz deutlich zum Bewußtsein kommen. Es ist dies ein ganz ähnliches Verhalten, wie es der Unkundige gegenüber Zeichnungen an Figuren zeigt: Je einfacher und bekannter die Form ist, desto leichter erkennt er den Zeichenfehler, während er ihn an komplizierteren und weniger geläufigen übersieht. Es dürfte sich daher empfehlen, Personen, denen man zeichnungsfreie Gläser nicht geben kann, zur Erleichterung der Angewöhnung außer der Anweisung, möglichst durch die Mitte der Gläser zu schauen, auch noch den Rat zu erteilen, sich anfangs des Schreibens, Zeichnens, weiblicher Handarbeiten und ähnlicher Beschäftigungen, bei denen die scharfe Beobachtung einfacher Konturen eine Rolle spielt, zu enthalten.

Die Verschiebung der seitlichen Gesichtsfeldpartien nach der Mitte zu beim gewöhnlichen Konkavglas führt nun, wenn man den Kopf nach rechts und links dreht, auch zu Scheinbewegungen der Objekte. Wenn man die Brille ständig trägt, stören sie einen nicht. Als ich aber nach langem Tragen der ZEISSschen Punktalgläser, bei denen die Verschiebung der seitlichen Gesichtsfeldpartien gering ist, vorübergehend wieder zu gewöhnlichen Gläsern zurückkehrte, wurde mir die Scheinbewegung anfangs eine kurze Zeit hindurch so lästig, daß ich fast schwindlig wurde. Allerdings dauerte es nicht lange, bis ich mich wieder daran gewöhnte und die Scheinbewegung wieder nicht beachtete.

Dieses Übersehen, Nichtbeachten ist beim Tragen von Konkavgläsern noch an einer anderen Erscheinung beteiligt, nämlich bei der Bewegung eines Gegenstandes, den man anfänglich neben dem Brillenrand vorbei sieht, in das von der Brille abgebildete Gebiet hinein. An dieser Grenze sieht man den Gegenstand infolge der Prismenwirkung des Brillenrandes doppelt, und man sollte eigentlich, wenn man dem mäßig rasch bewegten Gegenstand mit dem Blick folgt, ein Springen wahrnehmen, sobald man von der Fixation

des Gegenstandes neben der Brille vorbei zu der des Brillenbildes übergeht. Ein solches Springen am Brillenrand — wegen des Kleinersehens auch nach der Tiefe zu — wurde mir in der Tat von Personen, die vorübergehend ein Konkavglas aufsetzten, angegeben. Ich selbst bemerke nur noch im indirekten Sehen, wenn ich geradeaus starre und einen Gegenstand mit mäßiger Geschwindigkeit von unten her von dem außerhalb der Brille befindlichen Bereich des Gesichtsfeldes in das der Brille hineinführe, an der Übergangsstelle eine kurze ruckartige Beschleunigung. Wenn ich dem Gegenstande mit dem Blick folge, gleitet die Aufmerksamkeit so glatt von einem Bilde zum anderen über, daß ich selbst beim schärfsten Aufpassen nichts von einem Sprunge wahrnehme. Es scheint sich hier um einen ähnlichen durch Übung erworbenen Vorgang zu handeln, wie bei der Unterdrückung der Scheinbewegungen beim »angeborenen« Nystagmus. Deshalb sind diese Vorgänge zweifellos der Beachtung wert, sie müßten aber noch durch genaue Selbstbeobachtungen vom Beginn des Brillen-tragens an ergänzt werden, wobei auch festzustellen wäre, ob wirklich alle Personen anfangs das Springen des Objekts am Brillenrand wahrnehmen.

#### b) Die geometrisch-optischen Täuschungen.

Außer von der Nachwirkung früherer Eindrücke in Form der Erfahrung hängt die »Stimmung« des Sehorgans auch von sonstigen Vorgängen im Zentralnervensystem ab, vor allem kann sich die Lokalisation eines Netzhautbildes infolge des Hinzutretens anderer optischer Reizungen ändern. Solche Fälle sind in außerordentlich großer Zahl bekannt. Sie sind fast ausnahmslos in der Weise studiert worden, daß man die sich gegenseitig beeinflussenden optischen Reize dem Beobachter auf einer ebenen Fläche als Zeichnungen darbot. Man faßt sie daher gewöhnlich mit einigen anderen Abweichungen der subjektiven Lokalisationsweise von der objektiv dargebotenen Anordnung, die bei der Betrachtung von einfachen Zeichnungen auftreten, als geometrisch-optische Täuschungen zusammen. Dieser von OPPEL (205) eingeführte Sammelname hält sich allerdings an ein ganz nebensächliches Merkmal und wird aufzulassen sein, sobald man die darunter zusammengefaßten Fälle nach ihren Ursachen klar erkannt hat und sie sozusagen in ein natürliches System einordnen kann. Dazu sind aber bisher bloß Ansätze vorhanden. So werden wir die von WUNDT (232; 45 a, Bd. 2, S. 575) ebenfalls hierher gerechneten »konstanten Strecken- und Richtungstäuschungen« im folgenden Abschnitt gesondert behandeln, und ebenso bilden die »umkehrbaren« perspektivischen Täuschungen eine von den übrigen geometrisch-optischen Täuschungen geschiedene Gruppe für sich, die später bei der Lehre von der Tiefenwahrnehmung zur Sprache kommt.

Erst die dann noch übrigbleibenden Fälle von geometrisch-optischen

Täuschungen, die WUNDT in die Gruppe der »variablen Strecken- und Richtungstäuschungen« und der »Assoziationstäuschungen« einteilt, gehören in unser Kapitel der Beeinflussung der optischen Lokalisation nach Höhe und Breite durch neu hinzukommende optische Eindrücke hinein. Man kann diese charakteristische Eigenschaft der Beobachtungen dadurch besonders deutlich hervortreten lassen, daß man zunächst jenen Teil der Figur, dessen Lokalisation durch den neu hinzukommenden Reiz modifiziert wird, und den wir etwa den »Hauptreiz« nennen können, wie z. B. in der ZÖLLNERschen Figur die parallelen langen Hauptstriche, allein für sich auf eine ebene Fläche projiziert und dann erst die modifizierenden »optischen Nebenreize«, im angezogenen Beispiele die kurzen Schrägstriche, darüberfallen läßt (WUNDT, 232 a).

Eine andere sehr hübsche und einfache Methode, von der wir gelegentlich (unten S. 115 und 116) Gebrauch machen werden, rührt von BÜHLER (4) her. Man zeichnet den Hauptreiz auf die Vorderseite eines durchscheinenden Papiers, die Nebenreize auf die Rückseite, und hält nun das Papier so gegen einen hellen Hintergrund, daß sowohl die Vorderseite gut beleuchtet wird, als auch genügend Licht durch das Papier hindurchscheint. Deckt man nun das durchscheinende Licht mittels eines Schirmes ab, so ist bloß die Zeichnung auf der Vorderseite sichtbar, beim Wegziehen des Schirmes kommt die Zeichnung auf der Rückseite hinzu.

Über die Ursache der Lokalisationsänderung beim Hinzufügen der Nebenreize gehen freilich die Meinungen noch weit auseinander. Außerdem ist es wahrscheinlich, daß, wenigstens in gewissen Fällen, mehrere verschiedene Momente im gleichen Sinne zusammenwirken. Daher ist es am angezeigtesten, die Darlegungen dieses Kapitels so anzuordnen, daß zunächst die reinen Tatsachen aufgezählt und erst hinterher die Erklärungsversuche daran angeschlossen werden. Allerdings ist die Zahl der Einzelbeobachtungen heute schon so groß — und sie vermehrt sich immer noch weiter —, daß wir hier nur die wichtigsten derselben bringen, im übrigen aber bloß die Literatur anführen können.

Allgemein sei hier gleich noch bemerkt, daß die Täuschungen besser hervortreten, wenn man den Blick flüchtig über die Figur hinschweifen läßt und sie dabei möglichst in ihrer Gesamtheit einheitlich zu erfassen sucht, daß sie aber weniger deutlich werden, wenn man die Aufmerksamkeit bloß auf einzelne Striche unter Außerachtlassung der Umgebung konzentriert. Den Grund hierfür werden wir unten kennen lernen.

### α) Übersicht der wichtigsten Täuschungen.

1. Eine mit Details ausgefüllte, etwa mehrfach geteilte Distanz erscheint länger, als eine leere — ungeteilte — gleich lange Distanz (OPPEL, 206 b; HERING, 7, S. 68). In Fig. 30 scheint die linke, durch kurze Vertikalstriche

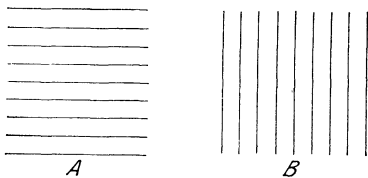
untergeteilte Strecke länger zu sein, als die in Wirklichkeit gleich lange, aber leere Distanz rechts. Das Quadrat *A* in Fig. 34 erscheint als Rechteck mit vertikaler, *B* als Rechteck mit horizontaler langer Seite. Die leere

Fig. 30.



Distanz zwischen zwei Punkten sieht kürzer aus, als ein gleich langer, ausgezogener Strich; ein mehrfach geteilter Winkel erscheint größer, als ein in Wirklichkeit gleich großer ungeteilter, u. ä. Quantitative Untersuchungen

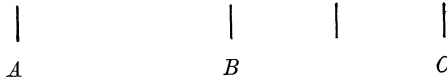
Fig. 34.



über diese Art von Täuschungen wurden von AUBERT (1, S. 266), KUNDT (282, S. 418), KNOX (190) und LEWIS (196) angestellt.

Die eben angeführte Regel kann sich aber auch umkehren. Sind die Teilstriche gering an Zahl und weit voneinander entfernt, so kann die geteilte Distanz gleich groß oder sogar kleiner erscheinen, als die ungeteilte. So verschwindet die Täuschung oder kehrt sich sogar ins Gegenteil um in Fig. 32, wo *AB* größer erscheinen kann als *BC*. Allerdings kommen bei diesen Längenschätzungen individuelle Variationen vor (LEWIS, l. c.).

Fig. 32.



2. In eine zweite Gruppe gehören die Täuschungen, die man gewöhnlich in den allgemeinen Satz zusammenfaßt, daß spitze Winkel im Vergleich zu stumpfen in ihrer Größe überschätzt werden. Man kann diese Beobachtung schon an einem einzigen Winkelpaar machen. So erscheint in Fig. 33

Fig. 33.



die in Wirklichkeit gerade Linie *ab* infolge Überschätzung der Größe der Winkel in der Mitte schwach geknickt. Die Erscheinung wird noch deutlicher, wenn man die Figur verdoppelt, also durch Hinzufügen von *B*, und

sie ist am stärksten ausgesprochen, wenn die Zahl der spitzen Winkel vervielfacht wird, wie in den HERING'schen Zeichnungen (7, S. 100), von denen die eine in Fig. 34 u. 34 a nach der oben S. 113 beschriebenen Methode von BÜHLER wiedergegeben ist. Man betrachte das Blatt im durchfallenden

Fig. 35.

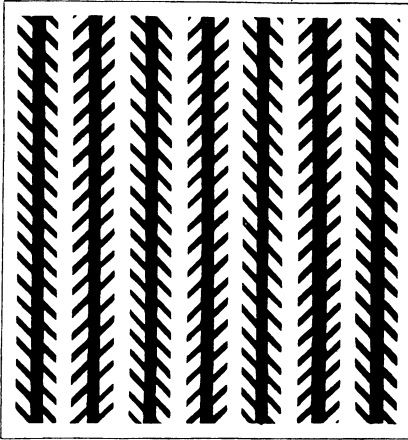


Fig. 34.

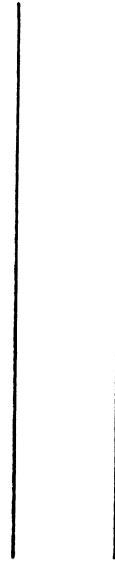


Fig. 36.

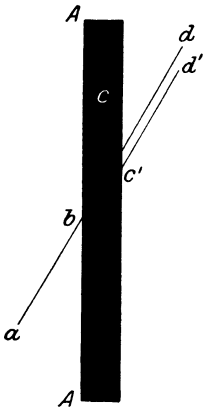
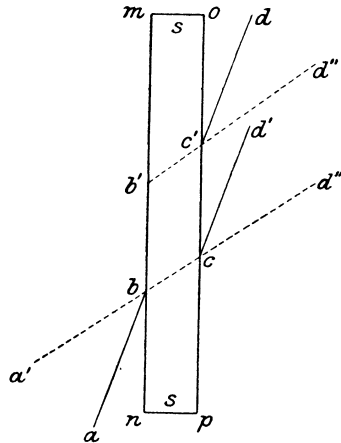


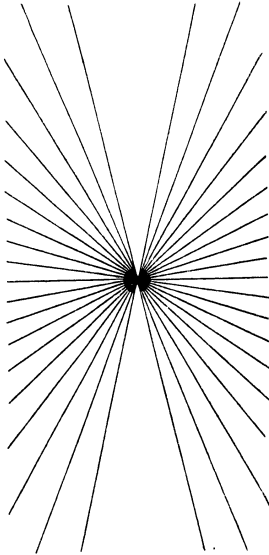
Fig. 37.



Licht gegen einen hellen Hintergrund unter gleichzeitiger Belichtung der Vorderseite und decke die Rückseite vorübergehend ab! Im ersteren Falle erscheinen die beiden geraden Striche der Figur gebogen, weil die einzelnen

Teilstücke derselben an jedem Schnittpunkt mit einer schrägen Linie die beschriebene Ablenkung erleiden. Eine andere hierher gehörige Täuschung ist die scheinbare Knickung eines Kreises an den Ecken eines eingeschriebenen Quadrates (HERING, 7, S. 70).

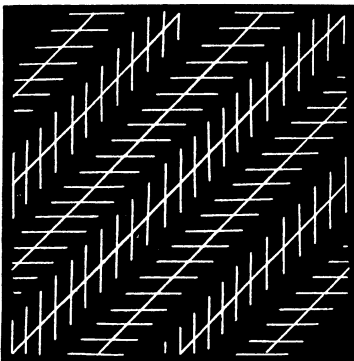
Fig 34 a.



Auf die Überschätzung der spitzen Winkel hat HERING (7, S. 75) auch die bekannte ZÖLLNERsche Täuschung (ZÖLLNER, 234, 234 a), vgl. Fig. 35, zurückgeführt, daß nämlich die vertikalen, einander genau parallelen Hauptstriche der Figur, wenn sie von kurzen schrägen parallelen Strichen geschnitten werden, zu divergieren scheinen. POGGENDORFF (s. ZÖLLNER, 234, S. 501) entdeckte an diesem Muster noch eine andere damit verknüpfte Täuschung, die in Fig. 36 gesondert wiedergegeben ist. Der an den Streifen  $AA$  angesetzte Schrägstrich  $ab$  findet seine scheinbare Fortsetzung in  $c'd'$ , nicht aber in seiner wirklichen Verlängerung  $cd$ . Diese scheint zwar parallel der scheinbaren Fortsetzung  $c'd'$ , jedoch zu weit nach oben zu liegen. HERING erklärt dies durch die Überschätzung des spitzen

Winkels welchen die schrägen Striche mit dem Streifen  $AA$  bilden. Der Winkel  $nba$  in Fig. 37 erscheint vergrößert, übertrieben gezeichnet wie  $nba'$ , ebenso

Fig. 38.



erscheint der Winkel  $ocd$  wie  $ocd''$  und der Winkel  $ocd'$  wie  $ocd'''$ . Im subjektiven Sehfeld bildet daher  $cd'''$  die Fortsetzung von  $a'b$ . Eigentlich müßten infolge der Überschätzung des spitzen Winkels beide Schenkel desselben ihre scheinbare Richtung ändern. Indessen wird diese Richtungsänderung je nach den Umständen mehr auf den einen oder anderen Schenkel übertragen. Hält man die ZÖLLNERsche Figur so vor sich hin, daß die langen Hauptlinien vertikal oder horizontal liegen, so bezieht man, nach HERING wegen der ziemlich genauen Beurteilung dieser Richtungen, die Richtungsänderung mehr auf

die Schrägstriche, es überwiegt die POGGENDORFFsche Täuschung. Dreht man dagegen die Zeichnung so, daß die Hauptstriche schräg liegen, so tritt die ZÖLLNERsche Täuschung, die Divergenz der Hauptstriche, stärker hervor.

Die ZÖLLNERSche Täuschung wird durch Augenbewegungen bedeutend verstärkt, sie bleibt aber, allerdings abgeschwächt, auch bei fester Fixation bestehen. Doch tritt bei einäugiger Fixation statt der Divergenz der Hauptstriche in einer Ebene leicht eine Tiefenauslegung ein, die besonders schön an der in Fig. 38 abgebildeten Abänderung des Musters nach HERING zu sehen ist. Man sieht dann die einzelnen Teile des Musters wie Leitern, deren Sprossen sich nach der Tiefe erstrecken: die kurzen horizontalen Querlinien treten mit ihren linken Hälften nach hinten zurück, mit ihren rechten Hälften nach vorne vor, die vertikalen springen oben vor und treten unten zurück. Oder es kann (nach WUNDT, 15 a, Bd. 2, S. 587) auch die Konvergenz und Divergenz der Hauptstriche perspektivisch ausgedeutet werden.

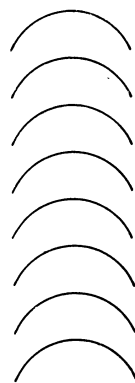
Beachtenswert ist ferner, daß die ZÖLLNERSche Täuschung schwächer wird und schließlich ganz verschwindet, wenn man bei einäugiger Betrachtung die Längsstriche vertikal stellt und dann die Fläche der Zeichnung nach vorn und hinten neigt, so daß man schräg auf sie blickt. Stellt man die Hauptstriche horizontal und neigt das Blatt nach vorn und hinten, so wird die Täuschung umgekehrt bedeutend verstärkt (HERING, 7, S. 76).

Verschiedene Abänderungen der POGGENDORFFSchen Figur zum Zweck genauerer Untersuchung des Zustandekommens der Täuschung finden sich bei DELBOEUF (467), JUDD (485), BLIX (458), HASSERODT (478).

Quantitative Untersuchungen über die POGGENDORFFSche und ZÖLLNERSche Täuschung wurden von THIÉRY (229), HEYMANS (480), BURMESTER (463), JUDD (485), PIERCE (244, S. 259) und insbesondere von BENUSSI (447) ausgeführt. Die Literatur über die ZÖLLNERSche und POGGENDORFFSche Täuschung bis zum Jahre 1899 findet man bei WITASEK (234), Nachträge dazu für die späteren Jahre bei BENUSSI (Z. f. Psychol., Bd. 34, S. 340, 1904, und Bd. 43, I. Abt., S. 303, 1906).

Die ZÖLLNERSche Täuschung tritt auch noch auf, wenn die parallelen Hauptstriche fehlen und bloß die Reihen der schrägen Nebenstriche vorhanden sind. Wenn man z. B. in der Fig. 38 in den mittleren Reihen die langen geraden Striche mit Tinte wegtuscht, so divergieren die Schrägstrichreihen immer noch, nur nicht so deutlich wie früher. Nimmt man eine einzige Doppelreihe von Schrägstrichen isoliert heraus, so ist die Täuschung schließlich recht geringfügig. Besser sichtbar ist sie in diesem Falle, wenn man eine Serie von gleichen Kreisbögen in der Weise übereinander zeichnet, wie es in Fig. 39 geschehen ist. Diese scheinen nach oben hin allmählich größer zu werden, weil man, wie MÜLLER-LYER (202, S. 270) ausführt, unwillkürlich die Enden der Bögen beiderseits durch eine gerade Linie ver-

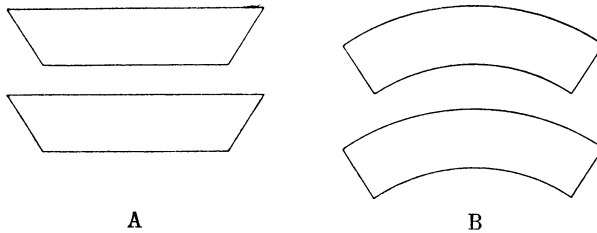
Fig. 39.





bindet, die mit den Endstücken der Bögen spitze Winkel einschließen. Diese beiden hinzugedachten seitlichen Begrenzungslinien entsprechen dann einem Parallelenpaar aus dem ZÖLLNERschen Muster, das infolge der angesetzten schrägen Linien nach oben zu divergieren scheint, woraus dann sekundär die scheinbare Vergrößerung der oberen Bögen folgt. Eine Abart dieser Täuschung stellt die MÜLLER-LYERSche Trapeztäuschung dar. Von den beiden gleichen Trapezen der Fig. 40 A erscheint das untere größer als

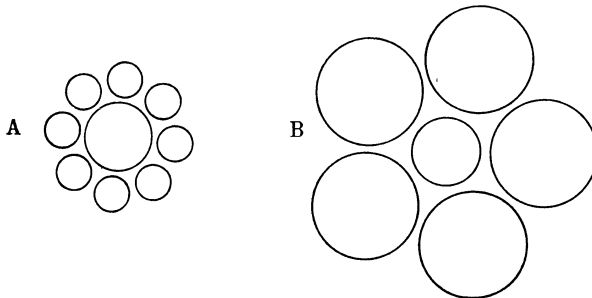
Fig. 40.



das obere, weil die beiden schrägen Seiten des Trapezes wie die schrägen Linien in der ZÖLLNERschen Figur wirken. Auch hier wird die Täuschung deutlicher, wenn man statt gerader Linien gekrümmte nimmt, wie in Fig. 40 B.

Als Modifikation des ZÖLLNERschen Musters ist auch die »verschobene Schachbrettfigur« von MÜNSTERBERG (204; vgl. auch HEYMANS, 180, S. 118) aufzufassen. Die Täuschung wurde genauer untersucht von PIERCE (211), BENUSSI und LIEL (153) und von LEHMANN (193). Eine Abänderung der Figur stellt das »Kindergartenmuster« von PIERCE (210) dar, das bei EBBINGHAUS-DÜRR (5, Bd. 2, S. 58) abgebildet ist.

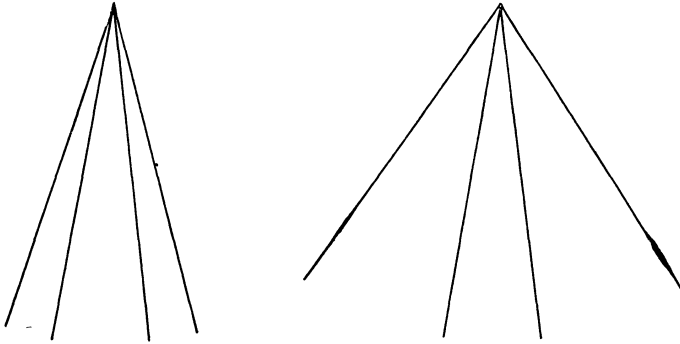
Fig. 41.



3. In manchen Fällen sehen Räume oder Strecken objektiv gleicher Größe größer aus, wenn sich in ihrer Nähe kleinere Raumgebilde gleicher Art befinden, als wenn sie an größere Raumgebilde angrenzen. So erscheint ein und derselbe Kreis, wenn er von größeren umgeben ist, kleiner, als

wenn er von kleineren umgeben ist, wie Fig. 41 zeigt. Ein und derselbe Winkel wird für größer geschätzt, wenn er beiderseits an kleinere, als wenn er an größere anstößt, vgl. Fig. 42; eine durch Marken abgegrenzte Strecke

Fig. 42.



wird für länger gehalten, wenn sie rechts und links an kürzere, als wenn sie an längere Nebenstrecken angrenzt; vgl. Fig. 43. Beide Täuschungen wurden von MÜLLER-LYER (202) angegeben. Ferner erscheinen von zwei

Fig. 43.



Rechtecken gleicher Breite, aber verschiedener Höhe — in Fig. 44 werden ein Quadrat und ein Rechteck gleicher Breite miteinander verglichen —, das höhere schmaler als das niedrigere. Dem entspricht auch eine be-

Fig. 44.

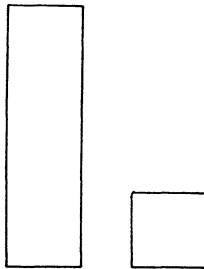
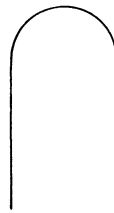


Fig. 45.



kannte Täuschung über den Körperumfang verschieden großer Personen. Alle diese Erscheinungen wurden von verschiedenen Autoren als »Kontrasterscheinungen« zusammengefaßt (vgl. unten S. 130 ff.).

Eine ähnliche Täuschung kann als »Krümmungskontrast« durch krumme Linien hervorgerufen werden. So erscheint ein an eine gekrümmte Linie

anschließender gerader Kontur schwach nach der entgegengesetzten Seite gebogen (OPPEL, 206b; HÖFLER, 181). Ein in gerade Linien verlängerter Halbkreis erscheint gedrückt, und dort, wo die geraden Linien tangential in den Halbkreis übergehen, sieht man einen Knick (LIPPS, 198, S. 295,

Fig. 46.



vgl. die beistehende Fig. 45). Erst wenn man den Bogen entsprechend etwas überhöht, erscheint er dem Beobachter als Halbkreis. Noch deutlicher wird dies, wenn man zwei Halbkreise in Form einer »Pseudowelle« ineinander übergehen läßt, wie in Fig. 46.

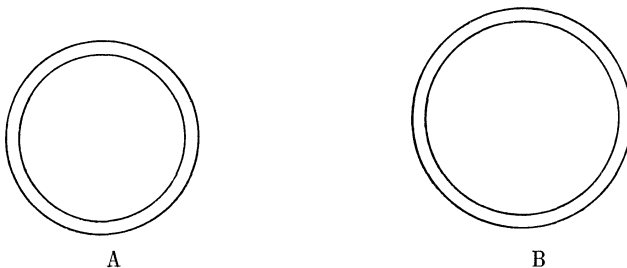
4. Unter gewissen Umständen erscheinen Raumgrößen oder Richtungen benachbarten Raumgrößen oder Richtungen, die nur wenig von ihnen verschieden sind, ähnlicher. Diese Erscheinung, die das gerade Gegenteil zum sogenannten Kontrast bildet, wurde von MÜLLER-LYER (202, 203) als Konfluxion, von WUNDT (15a, Bd. 2, S. 598) als »Angleichung« bezeichnet. Man

Fig. 47.



beobachtet dies z. B., wenn man die spitzen Winkel der Fig. 33, die wir oben besprochen haben, schwarz ausfüllt, wie in Fig. 47. Jetzt erscheint die gerade Linie, welche die beiden Winkel nach unten zu begrenzt, nicht mehr rechts und links von der Mitte nach unten zu, wie in Fig. 33, sondern umgekehrt nach oben zu abgelenkt, ihre Richtung nähert sich auf beiden Seiten mehr der der oberen Grenzlinie. Hierher gehört ferner Fig. 48,

Fig. 48.



in der links der innere, rechts der äußere Kreis objektiv gleich groß sind, aber verschieden groß aussehen, nämlich ähnlicher den hinzugefügten Kreisen von etwas anderer Größe. In Fig. 49 nach LIPPS (198, S. 127) bildet links die Tangente an alle Kreise eine gerade Linie, die linken Ränder der Kreise zeigen aber für unser Auge trotzdem eine Abweichung nach rechts, ähnlich wie ihre rechten Ränder.

In diese Gruppe hinein gehört auch die in Fig. 50 abgebildete Täuschung von MÜLLER-LYER (202, 203), die außerordentlich häufig besprochen und quantitativ untersucht worden ist (AUERBACH, 145; BENUSSI, 149 a; BERRETTONI, 154; BINET, 156; BRENTANO, 161, 162; DELBOEUF, 168; HEYMANS, 179; JUDD, 186, 187; LEWIS, 194, 195; PIÉRON, 211 a; SMITH, 222; STILLING, 228); Literaturübersicht bei SCHWIRTZ, 218), und die im folgenden Text immer gemeint ist, wenn kurz von der MÜLLER-LYER-Figur die Rede

Fig. 49.

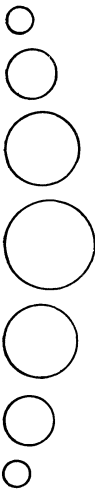


Fig. 50.

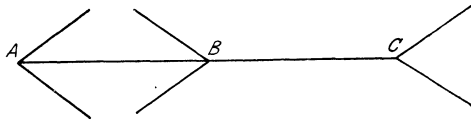
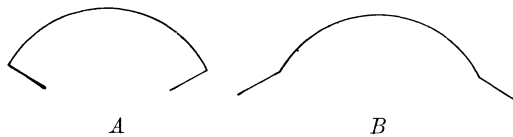


Fig. 51.



ist. Die Strecken  $AB$  und  $BC$  sind in Wirklichkeit gleich lang,  $AB$ , die von einwärts gerichteten Schenkelpaaren begrenzt wird, erscheint aber viel kürzer, als die Strecke  $BC$ , an welche sich nach auswärts gerichtete Schenkelpaare anschließen. Von den zahlreichen Modifikationen der Täuschungsfigur sei noch die in Fig. 51 angeführt, in der die nach einwärts gerichteten geraden Anschlußlinien den Bogen  $A$  viel kleiner erscheinen lassen, als den Bogen  $B$  mit den nach außen gerichteten Anschlußlinien.

Als Angleichungserscheinungen im Gebiete der Richtungen dürfen wir endlich auch die von FRASER (176) mitgeteilten Täuschungen betrachten, von denen die wichtigsten auf Tafel I wiedergegeben sind. In Fig. 1 erleiden die in Wirklichkeit senkrechten und wagerechten Gesamtkonturen der Buchstaben infolge ihrer Zerlegung in schräge parallele Striche eine Richtungsänderung im Sinne der letzteren. Die Täuschung wird sehr verstärkt durch die an die geraden parallelen Striche angesetzten Dreiecke, die in der Mitte der Buchstabenbalken die Form  $\blacktriangleleft$  besitzen, und von denen zunächst die schwarzen auffallen. Erst wenn man genauer hinsieht, bemerkt man, daß auch die weißen Lücken dieselbe Anordnung zeigen. Man kann

dieselbe Täuschung zwar auch hervorrufen, wenn man, wie in Fig. 3 auf der Tafel, die parallelen schrägen Striche allein für sich auf weißem Grunde zieht, doch ist sie dann viel geringer. Setzt man einen Kreis aus schräg gestellten abwechselnd schwarzen und weißen Bogen zusammen, die, wie in Fig. 5, mit ähnlichen dreieckigen Anhängseln versehen sind, so ändern sich die Kreise entsprechend der schrägen Verlaufsrichtung der sie zusammensetzenden Bögen in scheinbare Spiralen um. Auch diese Figur läßt sich, wie FRASER zeigt, mannigfach abändern. Stark abgeschwächt wird die Wirkung, wenn man, wie in Fig. 4 der Tafel, die Enden der schrägen Linien miteinander verbindet, oder wenn man sich so weit von der Fig. 3 entfernt, daß ihre Zusammensetzung aus einzelnen Strichen verwischt wird. Ferner auch dadurch, daß man die Konturen durch Darüberdecken eines Seidenpapiers undeutlich macht, oder auch, wenn man durch die Mitte der schrägen Striche eine gerade Linie zieht. Sie hat also nichts mit der ZÖLLNERSchen Täuschung zu tun, sondern stellt sogar das Gegenteil zu ihr dar, denn beim ZÖLLNERschen Muster werden ja die geraden Hauptlinien nach der entgegengesetzten Richtung abgelenkt, wie in den FRASERSchen Figuren.


Die Wirkung der dreieckigen Anhängsel für sich kann man an den geraden Linien der Fig. 2 auf der Tafel studieren. Hier erscheinen die Konturen infolge der anhängenden Dreiecke leicht wellig gekrümmt, indem die Verbreiterung der Linienenden die letzteren gleichsam zu sich herüberzieht nach dem Schema: . Sobald man freilich durch genaue Betrachtung die schwarzen geraden Konturen der Buchstaben gewissermaßen isoliert herausholt, verschwindet die Täuschung, und sie wird schon undeutlicher, wenn man die Figur öfter betrachtet (vgl. unten S. 136).

Fig. 52.

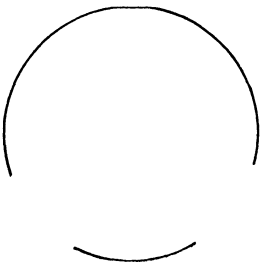
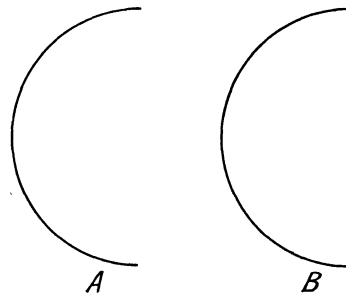


Fig. 53.



5. Von weiteren Täuschungen, die sich nicht sicher in eine der eben abgetheilten Gruppen einreihen lassen, seien schließlich noch jene Veränderungen im Aussehen geometrischer Figuren erwähnt, die auftreten, wenn man einzelne Begrenzungsstücke derselben wegläßt (MÜLLER-LYER, 202). So



Fig. 1

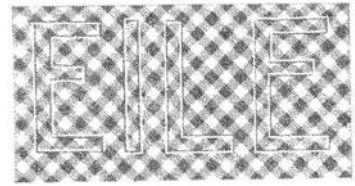


Fig. 2

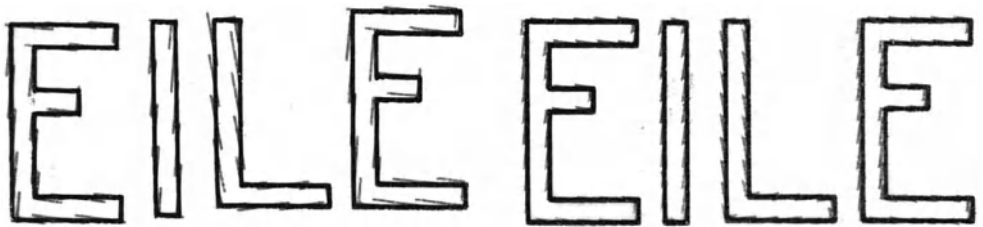


Fig. 3

Fig. 4

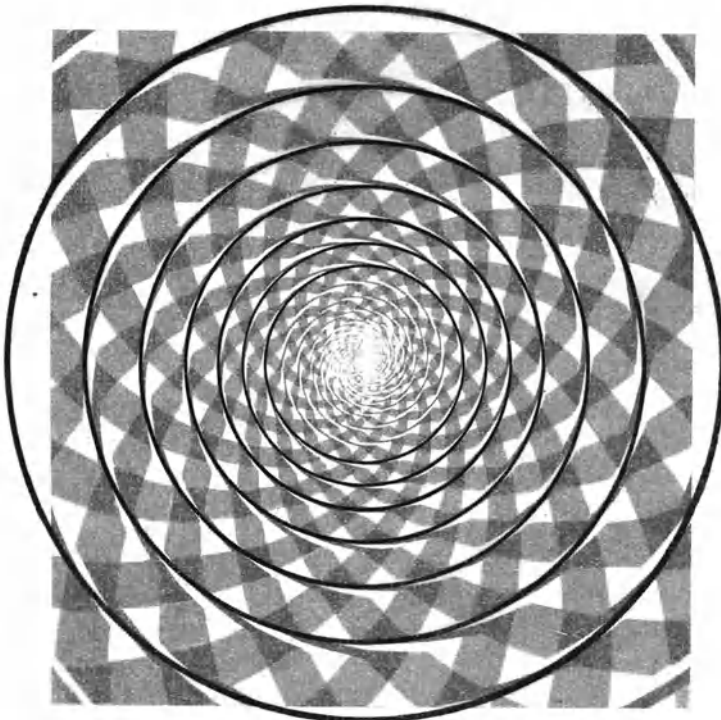


Fig. 5

EILE

EILE EILE

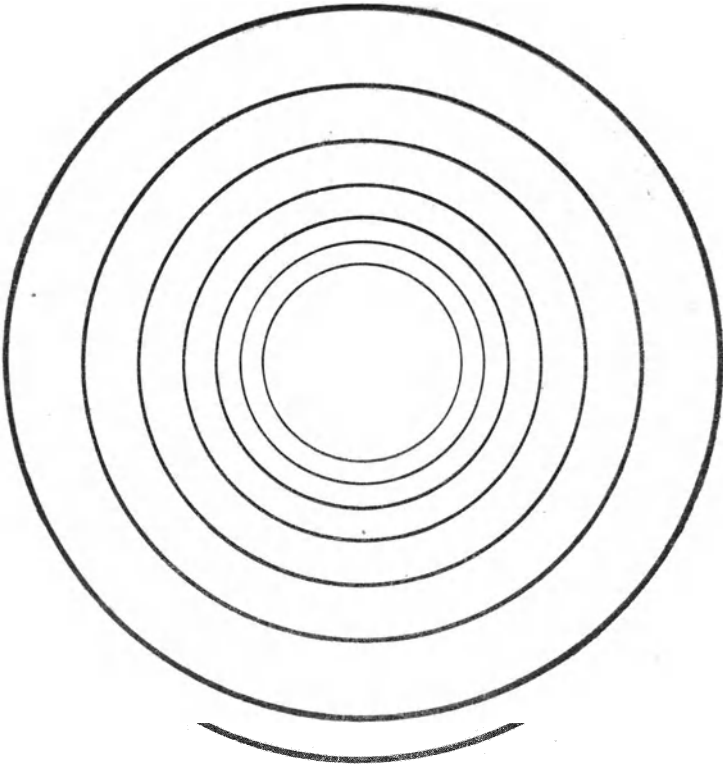




Fig. 1

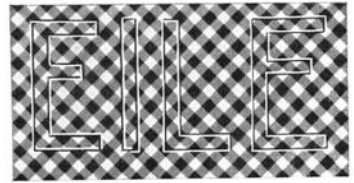


Fig. 2

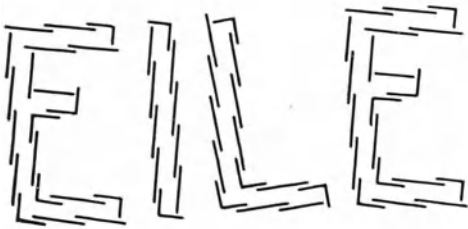


Fig. 3

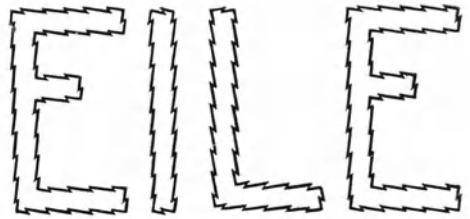


Fig. 4

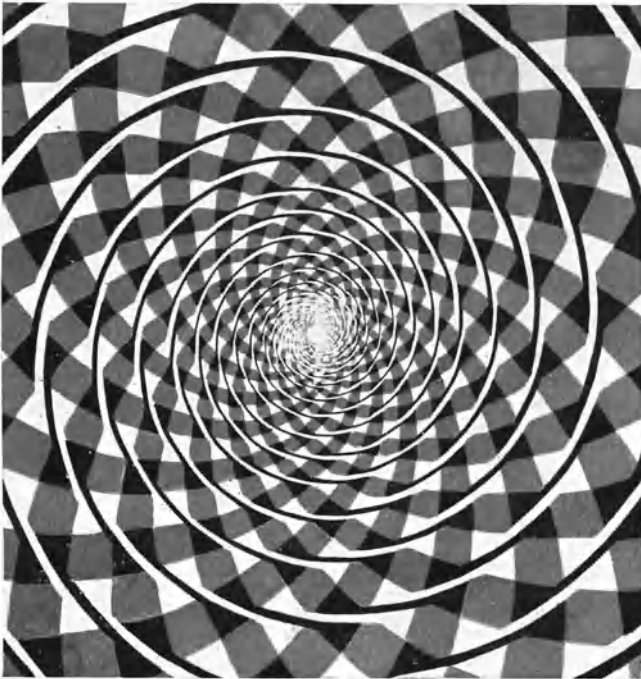


Fig. 5



sieht von zwei gleichen Quadraten, deren einem die obere, deren anderem die rechte oder linke Seite fehlt, das nach oben offene höher, das nach rechts oder links offene breiter aus, als das andere. Ein kurzes Bogenstück eines Kreises erscheint viel schwächer gekrümmt, als ein längeres Stück eines Kreises von demselben Radius; vgl. Fig. 52. Dieser Täuschung unterliegt man auch, wenn man die dunkle Mondscheibe beim ersten oder letzten Mondviertel betrachtet. Sie liegt dann in der hellen Sichel wie in einem etwas flacheren Napf darin. Allerdings wird in diesem Falle die helle Sichel noch durch die Irradiation vergrößert. Endlich erscheint ein offener Kreisbogen gewölbter und als kürzerer Bogen, wie ein anderer gleicher Bogen, dessen Endpunkte durch eine gerade Linie verbunden sind (Fig. 53).

Im übrigen sind noch eine große Zahl weiterer Täuschungsfiguren mitgeteilt worden, die sich zum Teil auf die hier schon besprochenen zurückführen lassen, zum Teil selbständig dastehen. Man findet solche außer in den schon im obigen Text zitierten Abhandlungen und in der Zusammenfassung von EBBINGHAUS-DÜRR (5, Bd. 2, S. 54) noch in den Schriften von BALDWIN (446), BERRETTONI (454), BOTTI (459, 460), DELBOEUF (467, 468), KIESOW (489), LASKA (494), LIPPS (198), OPPEL (205, 206), POZZO (243), SCHUMANN (249), SEASHORE und WILLIAMS (220), SMITH und Mitarbeiter (223, 224, 225), auf die ich bezüglich der Einzelheiten verweise. Einige sonstige Täuschungsfiguren werden auch noch im folgenden zur Sprache kommen.

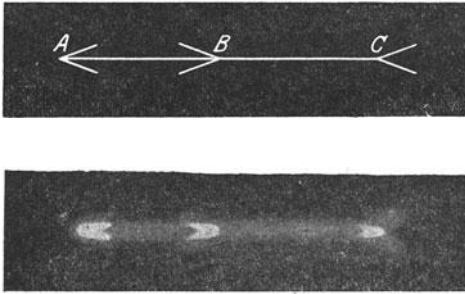
### β) Erklärungsversuche.

Die Erklärungsversuche für das Entstehen der geometrisch-optischen Täuschungen können wir in zwei Gruppen sondern, nämlich 1. in solche, die eine im peripheren Sinnesorgan selbst gelegene Ursache für die Täuschung annehmen, und 2. in solche, welche die Täuschung auf Vorgänge in höheren Zentren zurückzuführen. Wollte man die peripheren Ursachen als physiologische den zentralen als »psychologischen« gegenüberstellen, so würde man den Gegensatz zwischen den beiden nicht ganz zutreffend kennzeichnen. Denn nach der Annahme des psychophysischen Parallelismus laufen auch allen psychischen Vorgängen physische Prozesse parallel, und es ist bloß die Folge unserer Unkenntnis der letzteren, wenn wir uns auf die Beschreibung des uns unmittelbar bewußt werdenden psychischen Vorganges beschränken. Oft weist dieser dann noch Lücken auf, die man durch die Annahme zentraler Vorgänge, die nicht zum Bewußtsein gelangen, ausfüllen muß — was gerade auf unseren Fall zutrifft.

### A. Annahme peripheren Ursprungs der geometrisch-optischen Täuschungen.

1. Von diesen Annahmen ist zuerst der Versuch EINTHOVENS (172) anzuführen, eine Anzahl optischer Täuschungen, vornehmlich aber die von MÜLLER-LYER angegebene, in Fig. 50 abgebildete, durch die mangelhafte Sehschärfe der Netzhautperipherie zu erklären. Jedes Netzhautbild von einiger Ausdehnung fällt nur zum kleinsten Teil auf die Stelle des schärfsten Sehens, der größere Teil wird auf exzentrischen Netzhautstellen abgebildet, deren Sehschärfe vom Zentrum weg ungemein rasch abnimmt. Die mangelhafte Sehschärfe bewirke aber einen ähnlichen Gesichtseindruck, wie eine Abbildung in Zerstreuungskreisen. Man kann sich diese Wirkung nach

Fig. 54.



EINTHOVEN veranschaulichen, wenn man die Täuschungsfigur unscharf photographiert. Eine solche Aufnahme der in Fig. 54 oben abgebildeten MÜLLER-LYER-Zeichnung zeigt Fig. 54 unten. Die an *A*, *B* und *C* angehängten Schenkel erscheinen jetzt in Zerstreuungsf lächen, deren »Schwerpunkte« bei *A* und *B* in Wirklichkeit näher aneinander liegen, als

die bei *B* und *C*. In ähnlicher Weise lasse man sich aber auch bei undeutlich gesehenen Figuren durch den Schwerpunkt ihres Netzhautbildes leiten, und darauf beruhe die Täuschung. Die kurzen Schenkel bei *A* und *C* verschmelzen gewissermaßen bei Fixation von *B* eine Strecke weit mit der horizontalen Hauptlinie, daher erscheine *AB* verkürzt, *BC* verlängert, und das wiederhole sich mit *B* und *C*, wenn man *A* fixiert, usf.

Gegen diese Erklärung wandte BOURDON (3, S. 309) ein, daß man die Täuschung bei fester Fixation eines Punktes der Figur, z. B. der Stelle *B*, nicht mehr so deutlich sehe, wie bei bewegtem Blick. Dieser Unterschied lasse sich aber durch EINTHOVENS Annahme nicht erklären. Überdies ersetze man bei bewegtem Blick die unscharfen exzentrischen Bilder fortwährend durch die scharf gesehenen zentralen. Es handle sich also um einen Sukzessivvergleich scharf gesehener Bilder, nicht um einen Vergleich scharfer mit unscharfen Bildern. Nun könnte immerhin EINTHOVENS Deutung noch auf den Rest der Täuschung, der bei fester Fixation bestehen bleibt, zutreffen. Dem widersprechen aber die Messungen von SCHOUTE (217), der zeigte, daß der Einfluß des fixierten, also scharf gesehenen Schenkel-

paares bei *B* auf die Längenschätzung der beiden Teile der MÜLLER-LYER-schen Figur fast eben so groß ist, als der Einfluß der beiden äußeren Schenkelpaare bei *A* und *C*, welche dabei indirekt und unscharf gesehen werden.

EINTHOVEN glaubte seine Erklärung auch noch zur Deutung anderer Täuschungen heranziehen zu können und suchte dies durch unscharfe photographische Aufnahmen der betreffenden Figuren zu erläutern. Doch zeigen diese Bilder zum Teil die erwartete Schwerpunktsverschiebung nicht, während man allerdings die optische Täuschung bei der Betrachtung derselben meist viel deutlicher sieht, als bei der Betrachtung der scharf konturierten Originalfiguren (vgl. dazu SCHOUTE, l. c., S. 384 ff.).

2. Eine zweite Erklärung — insbesondere der POGGENDORFFSchen und der ZÖLLNERSchen Täuschung — wird hauptsächlich von LEHMANN (493) verfochten, der in eingehender Weise die schon von HELMHOLTZ (I, S. 707) für die POGGENDORFFSche Täuschung vermutete, von MÜNSTERBERG (204) und besonders von PIERCE (244) für die verschobene Schachbrettfigur angegebene Wirkung der physikalisch bedingten Irradiation zu begründen sucht. — Als Hauptbeweis für die ausschlaggebende Rolle der Irradiation bei der ZÖLLNERSchen Täuschung führt LEHMANN an, daß die Täuschung vollständig ausbleibe, wenn man das ZÖLLNERSche Muster binokular derart erzeugt, daß man im Stereoskop dem einen Auge die langen Hauptlinien, dem anderen die schrägen Nebenlinien allein sichtbar macht, was vorher, wenn auch nicht ganz so entschieden, schon KUNDT (282) und WITASEK (234) angegeben hatten und später EBBINGHAUS (474) bestätigte. Ferner gibt LEHMANN eine besondere Versuchsanordnung an, mittels welcher man die Haupt- und Nebenlinien einem und demselben Auge in verschiedenen Farben von der gleichen Helligkeit darbieten kann. Auch in diesem Falle verschwindet nach LEHMANN die Täuschung bei der ZÖLLNERSchen Figur vollständig, ebenso bei der gleichen Anordnung die POGGENDORFFSche Täuschung und die Täuschung der verschobenen Schachbrettfigur. Alles dies wird freilich von BENUSSI (447; ferner Z. f. Psychol. Bd. 44, S. 204) bestritten, der für die binokulare Vereinigung angibt, daß die ZÖLLNERSche Täuschung nur abgeschwächt wird und bei Verwendung verschiedener Farben und Helligkeiten findet, daß die Täuschung bei Herabminderung des Helligkeitsunterschiedes der Haupt- und Nebenreize zwar zunächst abnimmt, von einer gewissen Grenze an aber bei weiterer Herabsetzung des Helligkeitsunterschiedes sogar wieder stark zunimmt, wofür er aber zentrale Ursachen — die mehr oder weniger große Eindringlichkeit der Haupt- und Nebenlinien — verantwortlich macht. Ich selbst meine bei stereoskopischer Vereinigung, und zwar sowohl im Haploskop, als im Prismenstereoskop und beim freitäugigen Stereoskopieren, von der POGGENDORFFSchen Täuschung nichts mehr zu sehen, kann es aber nicht sicher behaupten. Dagegen irre ich wohl nicht, wenn ich von der ZÖLLNERSchen Täuschung

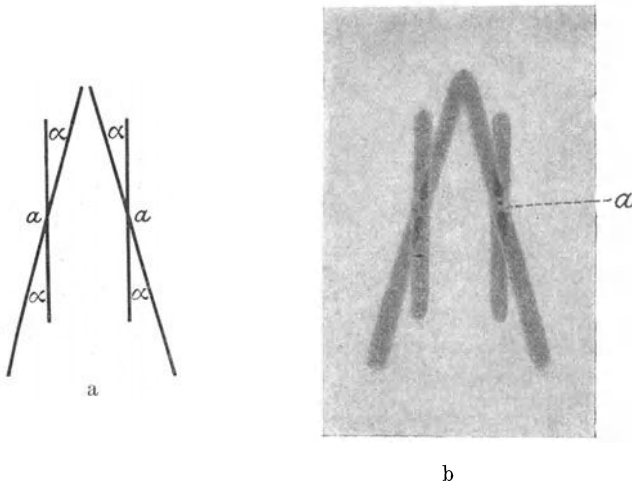
noch einen Rest wahrzunehmen glaube. Fällt nun bereits diese rein tatsächliche Entscheidung wegen des binokularen Wettstreites, wie schon BOTTI (160) bemerkte, außerordentlich schwer, so ist aus demselben Grunde auch die theoretische Beweiskraft des Versuchs nicht so durchschlagend, wie man von vornherein meinen sollte. Man muß nämlich, um dem Wettstreit entgegenzuarbeiten, seine Aufmerksamkeit konzentriert auf die Figuren hinken, und es fällt daher jenes flüchtige Darüberhinschweifen des Blickes fort, welches das Auftreten der POGGENDORFFSchen und ZÖLLNERSchen Täuschung nach allgemeiner Erfahrung so sehr begünstigt. Überdies gibt BÜHLER (4, S. 97) für die oben S. 115, 116, Fig. 34 und 34a, abgebildete HERINGSche Täuschung, die ja auf der gleichen Überschätzung spitzer Winkel beruht, direkt an, daß er nach vielfachen Versuchen an ihrem Auftreten im Stereoskop nicht mehr zweifle, wenn er abwechselnd die Nebenreize abdeckt und wieder frei läßt.

Wichtiger ist, daß, wie schon LEHMANN erwähnt, die POGGENDORFFSche Täuschung sehr gesteigert wird, wenn man die verhältnismäßig steil abfallenden Grenzen des Aberrationsgebietes ersetzt durch wirkliche Zerstreuungskreise, wie sie bei unscharfer Einstellung auf die Figur auftreten. Wenn ich z. B. als Kurzsichtiger die Fig. 35 S. 115 jenseits meines Fernpunktes halte, so wird die Täuschung ungemein groß, die schrägen Halbstriche auf der einen Seite jedes Längsstriches erscheinen geradezu in die Mitte des Intervalls zwischen den Halbstrichen der anderen Seite hereingerückt. Bringe ich dann die Figur in mein Akkommodationsgebiet herein und akkommodiere ganz scharf darauf, so verschwindet die Täuschung im direkten Sehen fast völlig. Erst beim flüchtigen Darüberhinstreifen mit dem Blick und etwas ungenauer Akkommodation wird sie wieder deutlich. Bei der ZÖLLNERSchen Täuschung scheint sich dieser Einfluß der unscharfen Abbildung darin zu äußern, daß die Täuschung an den indirekt gesehenen Teilen des Musters wegen der etwas unschärferen Abbildung in der Netzhautperipherie größer ist, als an den jeweils direkt gesehenen, was z. B. schon BOURDON (3, S. 30) beschrieben hat und LEHMANN (l. c., S. 99) ausführlich erörtert. In dieser Form, in Verbindung mit der Irradiation, wird also der EINTHOVENSche Gedanke in der Tat fruchtbar. Bei der MÜLLER-LYER-Figur, von der EINTHOVEN ausging, spielt hingegen, wie LEHMANN auseinandersetzt, die Irradiation nur eine untergeordnete Rolle.

Wie die unscharfe Abbildung zur POGGENDORFF-Täuschung mitwirkt, kann man sich am besten durch Betrachtung der Fig. 55 a und b klarmachen. Fig. 55 b ist die unscharfe Photographie EINTHOVENS von Fig. 55 a, welche letztere die ZÖLLNER'sche Täuschung — die beiden parallelen vertikalen Striche scheinen nach oben zu divergieren — mit der POGGENDORFF-Täuschung — die beiden Hälften der schrägen Striche erscheinen gegeneinander verschoben — vereint. Betrachtet man nun Fig. 55 a im ganz hellen Zimmer mit ungenauer Akkommodationseinstellung, so sieht man tatsächlich eine ähnliche Form, wie es Fig. 55 b

angibt. Die Gegend des Scheitels der spitzen Winkel  $\alpha$  wird ausgefüllt von einem dunkeln Keil ähnlich wie in Fig. 55 b. Zwischen den einander zugewendeten Enden der Keile, an der Schnittstelle der Striche bei  $\alpha$  sieht man eine etwas dünnere, hellere Stelle, die im unscharfen Photogramm nicht so gut zu sehen ist, wie bei unscharfer Akkommodation auf Fig. 55 a. Die Scheitel der spitzen Winkel  $\alpha$  stoßen daher nicht mehr direkt aneinander, sondern erscheinen durch einen dünneren schrägen Streifen miteinander verbunden, und dabei tritt in auffallender Weise die POGGENDORFF-Täuschung hervor. Diese wird noch viel beträchtlicher, wenn man während der Betrachtung mit ungenauer Akkommodation auch noch die Beleuchtung herabsetzt. Dann verwischen sich die Details der Irradiationsfigur noch mehr, und bei einer passenden, nicht zu schwachen Beleuchtung erreicht die POGGENDORFF-Täuschung einen

Fig. 55.

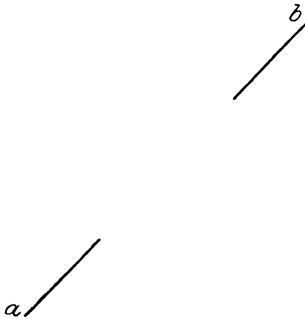


sehr hohen Grad. Dabei zeigt sich ein gewisses Schwanken: die POGGENDORFFsche Verschiebung kann entweder auf den Vertikalstrich oder auf den Schrägstrich bezogen werden, wobei dann der andere Strich gerade durch die Schnittstelle hindurchzulaufen scheint. Diese Schwankungen treten bei längerer Betrachtung von selbst auf, können aber auch willkürlich hervorgerufen werden: Jener Strich, den man besonders beachtet, scheint gerade zu verlaufen, der weniger beachtete erleidet die Verschiebung. Es wirkt also auch hier ein zentraler Faktor mit, der sich auf die Deutung oder Auffassung des Netzhautbildes bezieht, doch ist nach diesen Versuchen die Irradiation als eine Hauptursache der Täuschung kaum zu bezweifeln.

Daß aber bei der POGGENDORFFschen Täuschung zur Wirkung der Irradiation noch anderes hinzukommt, ist höchst wahrscheinlich. So hat WUNDT (13 a, Bd. 2, S. 604) auf einen Faktor aufmerksam gemacht, den wir zu den peripher bedingten rechnen müssen, und der besonders dann, wenn die

Hauptstriche sehr dick sind, mit zur Täuschung beitragen kann. Die Täuschung bleibt nämlich zum Teil auch in der durch v. ZEHENDER (233) angegebenen Modifikation bestehen, die in Fig. 56 wiedergegeben ist. Auch hier erscheinen die zwei Bruchstücke *a* und *b* einer durch einen leeren Zwischenraum unterbrochenen schrägen Linie, wenn man die Figur aufrecht hält, gegeneinander verschoben, die scheinbare Fortsetzung von *a* liegt etwas

Fig. 56.



tiefer unten, als *b*. Dreht man die Figur so, daß die Striche horizontal oder vertikal liegen, so verschwindet in diesem Falle die Verschiebung ganz, während sie an der ursprünglichen Täuschungsfigur (vgl. oben Fig. 36), wenn man die Schrägstriche horizontal stellt, zwar abnimmt, aber nicht ganz aufhört. WUNDT bezieht die Täuschung in diesem Falle auf die Überschätzung der vertikalen gegenüber der horizontalen Strecken. SCHUMANN, der diese Täuschung und ihre individuellen Schwankungen genauer untersucht hat (219 d), hielt sie im Anschluß an BLIX (158)

hauptsächlich für eine Folge davon, daß der Blickpunkt bei Augenbewegungen in schräger Richtung nicht in geraden, sondern in gekrümmten Bahnen verläuft. Dagegen ist aber, wie wir oben S. 89 schon auseinandergesetzt haben, zu sagen, daß, wenn die wirklich ausgeführte Augenbewegung der Willensintention nicht entspricht, eine Verschiebung des gesamten Gesichtsfeldinhaltes und nicht nur eines Teiles auftritt, also beide Striche und nicht bloß der eine von ihnen nach oben oder unten rücken müßten. Überdies ist die Voraussetzung, von der SCHUMANN ausging, insofern nicht zutreffend, als, wie STRATTON (228 a) durch photographische Aufnahmen zeigte, die Bewegungsbahn des Auges in der vertikalen Richtung nicht weniger unregelmäßig ist, als in den schrägen Richtungen.

Bei den anderen Täuschungen, die man gewöhnlich auf die Überschätzung der Größe spitzer Winkel zurückführt<sup>4)</sup>, der ZÖLLNERSchen Täuschung und der HERINGSchen Sternfigur, dürfte die Irradiation als Ursache mehr in den Hintergrund treten, als bei der POGGENDORFFSchen Täuschung. Daß sie nicht die alleinige Ursache derselben sein kann, geht daraus hervor, daß bei stereoskopischer Vereinigung der einzelnen Bestandteile doch wohl noch ein Rest der ZÖLLNERSchen und der HERINGSchen Täuschung

4) Diese Auffassung ist von verschiedenen Seiten her scharf kritisiert worden, doch möchte ich eine Erörterung dieser Streitfrage als zu weitgehend um so mehr unterlassen, als unten S. 138 eine wichtige Einschränkung des obigen allgemeinen Satzes ohnehin zur Sprache kommt.

bestehen bleibt; daß ferner nach dem oben S. 117 Gesagten der ZÖLLNERschen analoge Täuschungen auch dann auftreten, wenn man sich die geraden Hauptlinien bloß hinzudenkt. Endlich hat neuerdings BLATT (157) angegeben, daß die ZÖLLNERsche Täuschung auch noch fortbesteht, wenn man die Haupt- und Nebenlinien dem Auge nacheinander darbietet (kinematographische Vereinigung). Hierbei fällt, wie immer man den Versuch sonst deuten mag, die physikalisch bedingte Irradiation im peripheren Sinnesorgan jedesfalls ganz weg, und außerdem hat dieser Versuch vor der stereoskopischen Vereinigung den großen Vorzug, daß auch kein Wettstreit der Sehfelder vorhanden ist. Der einfachste Versuch dieser Art besteht aber darin, daß man sich durch längere Betrachtung eines glühenden geraden Kohlenfadens ein dauerhaftes lineares Nachbild erzeugt (vgl. S. 109, Anm.) und dieses dann auf das HERINGSche Sternmuster fallen läßt. Das Nachbild erscheint dann ebenfalls gebogen, ja, wenn es dicht neben einer in das Sternmuster eingezeichneten geraden Linie verläuft, so sieht man keinen merklichen Unterschied in der Krümmung des Nachbildes und der gezeichneten Linie<sup>1)</sup>. Da beim Nachbild von einer physikalisch bedingten Irradiation keine Rede sein kann, so muß demnach diese Täuschung mindestens in der Hauptsache auf andere Ursachen zurückgeführt werden. Die Mitwirkung einer eventuellen physiologischen Irradiation — Ausbreitung der Regungen in der zentralen Leitung des Sehorgans — kann dabei allerdings ebenso wenig ausgeschlossen werden, wie bei den anderen angeführten Versuchsanordnungen, welche die Ausschaltung der physikalisch bedingten Irradiation bezwecken.

Die oben unter 1 angeführte Täuschung der eingeteilten Strecke verschwindet nach EBBINGHAUS (171) bei stereoskopischer Zusammensetzung aus ihren Teilen vollständig. Das ist wohl richtig, aber sie verschwindet mir auch dann, wenn ich im Stereoskop dem einen Auge die volle Täuschungsfigur der eingeteilten Strecke (Fig. 30, oben S. 114) und dem anderen bloß die Endstriche darbiete. Das ist offenbar bloß die Folge des fortwährenden Fluktuiers und Gleitens der Figuren und der dadurch erschwerten Beobachtung. Ich kann daher auch diesen stereoskopischen Versuchen keine entscheidende Bedeutung beilegen, und glaube auch nicht, daß für

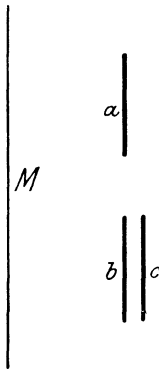
1) Um das Nachbild möglichst fein strichförmig zu erhalten, betrachte man den glühenden Kohlenfaden aus größerer Ferne und bringe die Sternfigur in kurzen Abstand vom Auge. Für die POGGENDORFFSche Täuschung bietet der Versuch nichts Neues. Wenn das Nachbild des Kohlenfadens ohne Unterbrechung über die Fovea hinwegzieht, so ist es auch über dem schwarzen Streifen der Fig. 36, wenn auch in anderer Farbe, sichtbar, und solange dies der Fall ist, ist von der Täuschung nichts wahrzunehmen. Deckt man aber den mittleren Teil des Kohlenfadens ab, dann erhält man als Nachbild einfach das Bild der Fig. 36, und es ist dann gleichgültig, ob man es auf einen gleichmäßigen Grund entwirft, oder ob die Lücke desselben durch einen schwarzen Streifen ausgefüllt wird. In beiden Fällen sieht man den oben bei der Besprechung der Fig. 36 erwähnten Rest der Täuschung.

die Täuschungen der Gruppe 4 periphere Ursachen wesentlich in Betracht kommen. Das letztere gilt auch für die Täuschungen der Gruppen 3 und 4. Die MÜLLER-LYER-Täuschung verschwindet bei Vereinigung der Bestandteile im Stereoskop nicht (EBBINGHAUS), auch läßt sie sich im Stereoskop nach der Tiefe zu hervorrufen, wenn die Konvergenz und Divergenz der Ansatzschenkel im wesentlichen erst durch die binokulare Tiefenwahrnehmung erzeugt werden (EXNER, Zentralbl. f. Physiol. Bd. 12, S. 901).

### B. Annahme zentraler Ursachen der geometrisch-optischen Täuschungen.

4. Von den Annahmen, welche den optischen Täuschungen zentrale Ursachen zugrunde legen, ist zunächst die zur Erklärung der oben S. 118 ff. unter 3 angeführten Erscheinungen aufgestellte Kontrasthypothese zu erwähnen, die schon von HELMHOLTZ (I, S. 574) und MACH erwogen, später von MÜLLER-LYER (202, 203), HÖFLER (181), HOLTZ (183), REICHEL (214), J. LOEB (204), HEYMANS (180), SCHUMANN (219b), BOURDON (3, S. 309), v. TSCHERMAK (230), SMITH und SOWTON (223) u. a. vertreten wurde.

Fig. 57.



Als hauptsächlichsten Beweis für das Vorhandensein räumlicher Kontrasterscheinungen führte J. LOEB folgenden Versuch an: Der Beobachter blickt mit fixiertem Kopf (aus mittlerer Sehweite von ungefähr 30 cm) auf einen horizontalen Tisch herab, auf dem parallel zur Medianlinie  $M$  und etwa 40 cm nach rechts von ihr ein langer schmaler Pappstreifen  $a$  liegt, wie es in Fig. 57 angezeichnet ist. Die Versuchsperson hat die Aufgabe, bei bewegtem Blick einen zweiten, ebensolchen Pappstreifen  $b$  in die gerade Verlängerung von  $a$  einzustellen. Legt man, sobald dies geschehen ist, in etwa 2 cm Entfernung von  $b$  einen dritten Streifen  $c$  hin, so ändert die Versuchsperson die Einstellung von  $b$ . Liegt der Streifen  $c$  näher zur Medianebene als  $b$ , so muß auch  $b$ , um in der geraden Verlängerung von  $a$  zu erscheinen, der Medianebene etwas genähert werden. Ist der Streifen  $c$ , wie es in Fig. 57 der Fall ist, weiter von der Medianebene entfernt als  $b$ , so rückt auch die scheinbare Verlängerung von  $a$  weiter von der Medianebene ab<sup>1)</sup>.

Der Versuch zeigt nach J. LOEBs Meinung gerade das, was man erwarten müßte, wenn der »Breitenwert« der zuerst gereizten Netzhautstelle durch eine hinzugefügte zweite Reizung im Sinne einer Kontrastwirkung abgeändert

1) Analoge Versuche, aber mit Variation der Expositionszeit der »Nebenreize«, hat später PEARCE (207) ausgeführt. Auf die ziemlich verwickelten Ergebnisse derselben kann ich hier nicht eingehen.



würde: Ist zunächst ein Punkt  $A$  mit einem Rechtswert  $a$  gegeben, so müßte in diesem Falle ein zweiter Punkt  $B$  »von größerem Rechtswert  $b$  den Rechtswert von  $A$  herabsetzen,  $a$  müßte kleiner werden oder, mit anderen Worten,  $A$  müßte weniger weit rechts erscheinen. Ist dagegen der Rechtswert  $b$  des Punktes  $B$  kleiner als  $a$ , so muß im Falle einer Kontrastwirkung  $a$  hierdurch größer erscheinen oder m. a. W.  $A$  weiter nach rechts zu liegen scheinen«, und ähnliches gilt für jede andere Lage der beiden Punkte.

Auf den Kontrast führt LOEB auch die Überschätzung geteilter Strecken zurück. Sie werden nach ihm größer geschätzt, weil bei geringerem Abstand der optischen Reize voneinander der Kontrast leichter eintrete, als bei weiterem Abstand. Endlich könne der Kontrast auch auftreten, wenn die sich beeinflussenden Linien einander nicht parallel sind. Es erscheine dann ein Richtungskontrast, und in der Tat hat HEYMANS (180) bei vergleichenden Messungen der ZÖLLNERSchen und LOEBschen Täuschung unter ähnlichen Versuchsbedingungen eine weitgehende Übereinstimmung im Ausmaß der beiden Täuschungen gefunden.

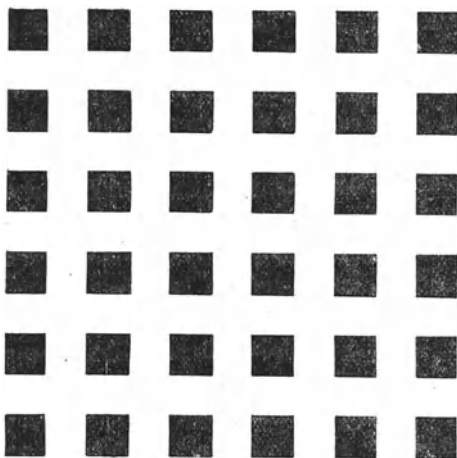
Mit der bloßen Benennung der erwähnten Täuschungen als Kontrast ist allerdings für das Verständnis der ihnen zugrunde liegenden Vorgänge noch nicht viel gewonnen. Wollte man sie etwa mit dem Simultankontrast des Farbensinnes vergleichen, so wäre in erster Linie zu bedenken, daß dieser letztere — die Wechselwirkung der Netzhautstellen — sich nach den bekannten Binokularversuchen HERINGS in den nervösen Apparaten jedes Einzelauges für sich gesondert von dem des anderen abspielt und als solcher von dem bewußt werdenden Farbeneindruck des Hintergrundes unabhängig ist. Im Gegensatz dazu würde es sich beim Raumkontrast um Vorgänge handeln, die sich in einer beiden Augen gemeinsamen psychophysischen Zone abspielen. Das geht daraus hervor, daß im LOEBschen Versuch die Aufmerksamkeit einen ausschlaggebenden Einfluß auf die Lokalisation ausübt: nur wenn die Nebenlinie vom Beobachter mit beachtet wird, ändert sie den Raumwert des Hauptreizes. Wir gehen also wohl nicht fehl, wenn wir den farbigen Simultankontrast als einen Vorgang in einer der direkten psychophysischen Einwirkung unzugänglichen Substanz auffassen, während der Raumkontrast auf Vorgänge in einer psychophysisch beeinflussbaren Region zurückzuführen wäre.

Einen Versuch, tiefer in das Wesen des Raumkontrastes einzudringen, macht SCHUMANN (219 c, S. 280 ff.). Er weist, ebenso wie BOURDON (3, S. 310), auf jene allmählichen Änderungen der Größenschätzung hin, die man gemeinhin als Gewöhnung bezeichnet. Hat man beispielsweise mehrere Jahre im Flachland zugebracht, so imponiert einem eine Kette mittelhoher Berge als sehr hoch. Sieht man dieselbe Bergkette wieder, nachdem man jahrelang im Hochgebirge gelebt hat, so macht sie den Eindruck unscheinbarer, niedriger Hügel. SCHUMANN bezeichnet diese Gewöhnung, zu der wir später

bei der absoluten Lokalisation ein interessantes Gegenstück finden werden, als innere Anpassung oder Einstellung. Sie führt dazu, daß die gewohnte Größe zur Grundlage, gewissermaßen zum Maßstab der absoluten Größenschätzung gemacht wird. Ändert sich dieser, so ändert sich auch die Größenschätzung der anderen Objekte.

Eine solche innere Einstellung müßte nun auch vorübergehend auftreten, wenn man der Versuchsperson in einer Versuchsreihe zunächst mehrmals einen Normalkreis und nur wenig davon verschiedene Kreise darbietet und dann plötzlich einen erheblich verschieden großen Kreis einschaltet. Man könnte also eine solche innere Anpassung auch zur Erklärung der in Fig. 44 A u. B wiedergegebenen Täuschung heranziehen: der mittlere Kreis würde in A und B verschieden groß erscheinen, weil sich infolge des Anblicks der ihn umgebenden größeren und kleineren Kreise der Größenmaßstab ändert. Auf den Widerstand gegen eine innere Bereitschaft zur Wiederholung des zuerst Gesehenen, welcher letztere jedem Sukzessivvergleich zugrunde liege, führt den Raumkontrast auch PIKLER (14) zurück. Es ist dies bei ihm

Fig. 58.



ein Teil einer ganz eigenartigen Empfindungstheorie, auf die ich hier nur hinweisen kann, die wir aber später verschiedentlich werden streifen müssen. Jedenfalls, und das ist das Gemeinsame dieser Ansichten, handelt es sich beim Raumkontrast um unbewusste innere Einstellungen, die durch die Nebenreize herbeigeführt werden, und die eine veränderte Reaktion unseres Bewußtseins auf den Hauptreiz nach sich ziehen.

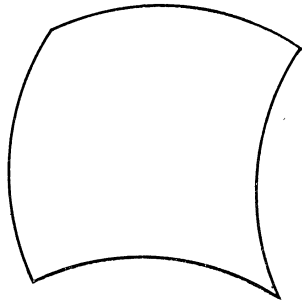
2. Von großer Bedeutung für das Verständnis vieler geometrisch-optischer Täuschungen sind die Versuche insbesondere von WITASEK (14, 231), SCHUMANN (219) und BENUSSI (148, 149, 151, 152), sie zu jenen Vorgängen in Beziehung zu setzen, die wir oben bei der Lehre von der Gestaltwahrnehmung besprochen haben. Zwar gehen die theoretischen Ansichten der Autoren über den psychischen Vorgang beim Zustandekommen der Gestaltwahrnehmung weit auseinander, in den Tatsachen selbst stimmen sie vielfach überein.

Betrachtet man eine Zeichnung, wie etwa die Fig. 58 von SCHUMANN,

so kann man die kleinen Quadrate derselben ganz nach Willkür in der verschiedensten Weise zusammen gruppieren, z. B. in vier Gruppen zu je neun kleinen Quadraten oder in andere größere oder kleinere Gruppen. Dabei treten die weißen Streifen, welche die zu einer Einheit zusammengefaßten Gruppen von den benachbarten trennen, lebhaft im Bewußtsein hervor. Zugleich erscheint dann ein so hervortretender weißer Streifen häufig breiter als die anderen, objektiv gleich breiten, aber mehr im Hintergrund befindlichen Streifen. Das Hervor- und Zurücktreten bezieht sich zunächst auf das Bewußtwerden im Sinne des Auffallens, Eindringlichseins. Doch kommt es vor, daß die besonders auffallenden Distanzen tatsächlich auch aus der Ebene der Figur nach vorn treten. Da mit diesem Vor- und Zurücktreten überdies eine eigentümliche Veränderung im Aussehen (in der Farbe) verbunden ist — die vortretenden Konturen sind schärfer, kontrastierender —, so könnte man auch an einen Zusammenhang mit der geänderten Tiefenlokalisation denken, wie sie JAENSCH (9a) besonders betont hat (worauf wir später zu sprechen kommen), die dann indirekt wieder einen Einfluß auf die Größenschätzung nehmen könnte. Sei dem, wie ihm wolle, jedenfalls weisen diese Versuche darauf hin, daß die scheinbare Größe der einzelnen Teilstücke je nach der Auffassung der Gesamtfigur variieren kann.

Viele Personen bemerken, wie SCHUMANN (249b) mitteilt, den Einfluß, den die wechselnde psychische Einstellung auf die scheinbare Größe der Teile ausübt, auch an Quadraten. Wenn sie zwei einander gegenüberliegende parallele Seiten desselben gemeinsam besonders beachten, so erscheinen ihnen diese beiden durch die Aufmerksamkeit herausgehobenen Seiten länger, als die beiden anderen, weniger beachteten, das Quadrat sieht aus wie ein Rechteck. Eine analoge Beobachtung — ein auf der Spitze stehendes Quadrat erscheint beim Hervorheben zweier aneinander stoßender Seiten als Rhombus, zweier gegenüberliegender Seiten als Rechteck — führt LEESER (133) an. Besser als am Quadrat mit seinen geraden Begrenzungslinien sehe ich die Formänderung beim Wechsel der Auffassung an Fig. 59, die man einmal als eine quadratische Fläche mit gekrümmten Seiten auffassen kann, das anderemal als einen »Kinderdrachen« mit dem Kopf nach links oben und dem Schwanz nach rechts unten. Gehe ich nun abwechselnd von der einen Auffassung zur anderen über, so erhält die Figur beide Male eine andere Form. Jedesmal, wenn ich die Figur als Drachen auffasse und dabei besonders die rechte und untere Begrenzungslinie beachte, rückt die linke obere Ecke nach ein-

Fig. 59.



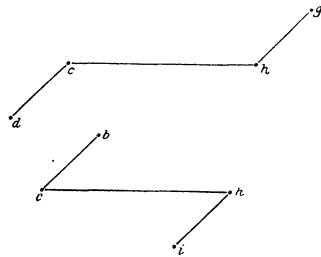
wärts und wird stumpfer, die rechte untere Spitze hingegen verlängert sich. Beim Übergang zur Quadratauffassung erfolgt die entgegengesetzte Änderung<sup>1)</sup>. Schwieriger wahrnehmbar ist, daß sich die untere und die obere Seite der Figur bei der Quadratauffassung etwas mehr voneinander entfernen, daß also das Quadrat höher aussieht, als der Drache. Das wird dadurch unterstützt, daß ich bei der Quadratauffassung nicht die obere und untere Seite zusammen mit der Aufmerksamkeit heraushebe, sondern vorwiegend die rechte und linke Seite, die mir infolgedessen länger erscheinen.

Auch an der nebenstehenden, von BENUSSI (148) angegebenen Fig. 60 kann man den Einfluß der Gestaltauffassung auf die scheinbare Länge von Distanzen gut erkennen. In ihr ist die Distanz der beiden Punkte  $c$  und  $h$  veränderlich, je nachdem man aus den hinzugedachten Verbindungslinien der übrigen Punkte der Figur eine bestimmte Gestalt konstruiert. Besonders deutlich ist die Änderung der scheinbaren Länge von  $ch$ , wenn man

Fig. 60.



Fig. 61.



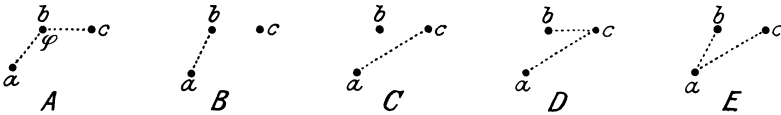
sich unmittelbar nacheinander zuerst die aus der Verbindung von  $dchg$ , sodann die aus der Verbindung von  $bchi$  hervorgehenden Gestalten, die in Fig. 61 wiedergegeben sind, lebhaft vorstellt. Im ersteren Fall erscheint die Distanz  $ch$  deutlich länger, als im letzteren. Ganz ebenso deutlich ist für mich der Unterschied in der Länge von  $hc$ , wenn ich aus der Figur einmal durch die hinzugedachte Verbindung einmal von  $ac$  und  $cd$  auf der einen,  $gh$  und  $hk$  auf der anderen Seite, das nächste Mal durch Hinzufügen von  $bc$  und  $ec$  einerseits, von  $fh$  und  $hi$  andererseits die beiden entgegengesetzten Teile der MÜLLER-LYERSchen Figur konstruieren.

BENUSSI hat diesen Einfluß hinzugedachter Verbindungslinien auf die scheinbare Größe späterhin (149a) auch an einer einfachen Figur quantitativ untersucht. Er bot seinen Versuchspersonen im Tachistoskop drei

1) Wenn man bei diesem Wechsel der Auffassung Augenbewegungen ausführt, etwa bei der Auffassung der Figur als Quadrat die Mitte der Fläche fixiert, bei der Auffassung als Drache die rechte untere Spitze, so wird schon infolge der »zentrischen Schrumpfung des Sehfeldes« (s. unten S. 172 ff.) die scheinbare Annäherung der linken oberen Ecke an die Mitte der Figur begünstigt. Sie ist aber auch bei fester Fixation des Mittelpunktes zu sehen.

Punkte  $a, b, c$  dar, deren Verbindungslinien, wenn sie wie in Fig. 62  $A$  eingezeichnet gedacht werden, miteinander den Winkel  $\varphi$  einschließen. Die Größe des Winkels  $\varphi$  wurde in der Versuchsreihe variiert. Ferner wurde die Versuchsperson angewiesen, die drei Punkte in verschiedener Weise zu einer Gesamtfigur zusammenzufassen, einmal wie in Fig. 62  $A$ , oder wie in  $B, C, D$  usf. BENUSSI gibt nun an, daß die Distanz  $ab$  und  $bc$  je nach

Fig. 62.

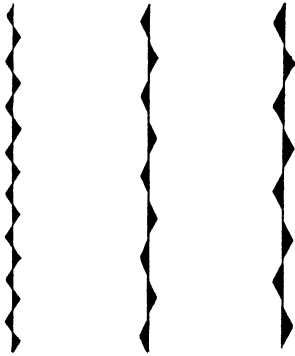


der Auffassung der Figur verschieden lang erschien. Da nun auch der Längenvergleich bei verschiedener Größe des Winkels  $\varphi$  verschieden ausfiel, so folgt daraus, daß der Gestaltauffassung auch beim Vergleich vertikaler mit horizontalen Strecken und solchen verschiedener Neigung ein Einfluß zukommt.

Wie wir im vorhergehenden sahen, daß sich die scheinbare Länge einer Strecke durch die bloß vorgestellte Hinzufügung der Schenkel der MÜLLER-LYER-Figur ändern läßt, so ist es umgekehrt auch möglich, die Täuschung in dieser Figur selbst dadurch herabzudrücken, daß man die an die gerade Hauptlinie angesetzten Schenkel unbeachtet läßt. Die Fähigkeit, die Ansatzschenkel unberücksichtigt zu lassen, wird bei vielen Versuchspersonen durch Übung erleichtert. In diesem Falle nimmt auch Täuschung immer mehr ab und kann im günstigsten Falle ganz verschwinden. Daß tatsächlich die Täuschung der MÜLLER-LYER-Figur — ähnlich auch die ZÖLLNERSche und die POGGENDORFFSche Täuschung — kleiner wird und eventuell schließlich verschwinden kann, wenn sich die Versuchsperson durch öftere Betrachtung völlig mit der Figur vertraut gemacht hat, ist wiederholt angegeben worden, insbesondere von JUDD (186 u. 187), JUDD und COURTEN (188), CAMERON und STEELE (164); man vgl. ferner LEWIS (194) und SEASHORE mit seinen Mitarbeitern (221). Von BENUSSI (148) rührt aber die wichtige Feststellung her, daß dieses Ergebnis nur von der Einübung der Versuchsperson auf eine ganz bestimmte Reaktionsweise herrührt, indem sie allmählich lernt, die zu vergleichenden Hauptlinien der MÜLLER-LYER-Figur isoliert für sich zu erfassen, daß aber andererseits durch Übung im Zusammenfassen der Figur zu einer Einheit gerade umgekehrt die Täuschung mehr und mehr bis zu einem Maximum gesteigert werden kann. Das gleiche gilt nach BENUSSI und LIEL (153) für die verschobene Schachbrettfigur, deren Täuschungsgröße ebenfalls durch Übung entweder vergrößert oder verkleinert werden kann.

Sehr rasch wirksam ist der Einfluß des Vertrautwerdens insbesondere auch bei der in Fig. 2 der Tafel I abgebildeten Täuschung. Am stärksten sah ich hier die Täuschung beim allerersten Anblick der Figur, als ich ihre Einzelheiten noch nicht isoliert erfaßt hatte. Sobald ich sie aber genauer studiert und ihre Zusammensetzung erkannt hatte, wurde die Täuschung viel schwächer, und ich sehe sie jetzt nur noch, wenn ich den Blick ganz flüchtig über die Figur hinwegschweifen lasse, leicht angedeutet. Das Verschwinden der Täuschung ist aber verbunden mit einer Hervorhebung der geraden Striche und der Nichtbeachtung des Musters, auf dem sie angebracht sind; ich bemerke deutlich, daß mir dabei die schwarzen und weißen Striche wie losgelöst vom Grunde erscheinen. Nun geht aber das Welligerscheinen der Konturen an sich auf einen Vorgang

Fig. 63.



zurück, der zweifellos unter die S. 95 ff. erörterten Erscheinungen des Formensehens gehört. Betrachtet man Fig. 63 aus etwas größerer Entfernung, so sieht man die geraden Linien, denen die dreieckigen Anhängsel aufsitzen, zackig hin und her gebogen. Je enger die Anhängsel aneinanderschließen, aus desto geringerem Abstand ist das Phänomen sichtbar. Zwingend wird das Zackigerscheinen von dem Abstand an, von dem man die Anhängsel nicht mehr deutlich vom Strich sondern kann. Geht man etwas näher heran, so gibt es ein Zwischenstadium, in dem man die Striche ganz gerade sieht, wenn man sie scharf von den Anhängseln getrennt auf-

faßt, wo sie aber wieder zackig werden, wenn man sich gehen läßt und den Gesamteindruck der Figur auf sich wirken läßt. Besonders leicht gelingt es, den Wechsel an jenem Strich wahrzunehmen, an dem die Anhängsel am weitesten auseinander liegen. Nähert man die Figur dem Auge noch mehr, so wird schließlich umgekehrt der Eindruck des geraden Striches mit angesetzten Dreiecken zwingend und das Zackigerscheinen verschwindet ganz.

Die angeführten Beispiele zeigen, daß in der Tat, wie SCHUMANN, BENUSI und RIVERS (215) im wesentlichen übereinstimmend meinen, die Täuschung in diesen und in anderen ähnlichen Fällen dadurch zustande kommt, daß wir den Gesamteindruck der Figur auf uns einwirken lassen, während sie zurücktritt, wenn wir die zu vergleichenden Details isoliert aus ihr herausheben. Je besser dies gelingt, desto mehr verschwindet die Täuschung. Daher der Einfluß der Übung einerseits, des flüchtigen Darüberhinhinblickens andererseits. Daher sind die Täuschungen bei Kindern wegen

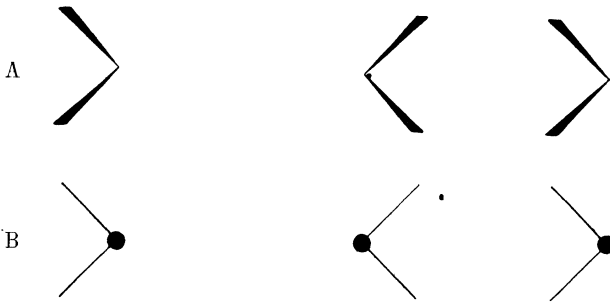
ihrer Unfähigkeit, sich vom Gesamteindruck freizumachen, stärker als bei Erwachsenen (BIERVLIET, 155, BINET, 156, HASSERODT, 178; vgl. dagegen BENUSSI, 148, S. 429 Anm. 2, und GIERING, 38), während doch, wie wir oben sahen, die Feinheit des Augenmaßes bei Kindern schon eben so hoch entwickelt ist, wie beim Erwachsenen.

So sicher man nach dem Gesagten annehmen muß, daß die Gestalt-auffassung bei vielen geometrisch-optischen Täuschungen die optische Lokalisation mit bestimmt, so schwierig ist es, die Gesetzmäßigkeiten, nach denen sich dies in den einzelnen Fällen vollzieht, festzulegen. Zwar gibt BENUSSI (148, S. 395; 151) allgemeine Regeln über die gegenseitige Beeinflussung der Einzelteile eines Komplexes, die zueinander in Beziehung treten, an, aber auch diese stellen, selbst wenn wir sie als richtig annehmen, bloß eine Zusammenfassung, keine Erklärung der Phänomene dar.

Versuchen wir, aus der Mannigfaltigkeit der Erscheinungen wenigstens das wichtigste herauszuheben, so lassen sich nach SCHUMANN (219a) auf manche Fälle die oben S. 133 erwähnte Regel anwenden, daß Distanzen, die sich der Aufmerksamkeit besonders aufdrängen, größer erscheinen, als die weniger beachteten. Quantitative Untersuchungen darüber hat BENUSSI (150) ausgeführt. In den meisten anderen Fällen wird durch die Einbeziehung der miteinander zu vergleichenden Einzelheiten in eine komplexe Gesamtgestalt die erstere durch das Aussehen der letzteren im Sinne einer Angleichung modifiziert. Es handelt sich also in diesem Falle geradezu um einen Gegensatz gegenüber dem Kontrast. Dieser stellt sich ein, wenn die Vergleichsfiguren so verschieden sind, daß der Unterschied derselben ins Bewußtsein tritt. Die Angleichung erfolgt, wenn die Anordnung der Einzelheiten derart ist, daß sie eine Zusammenfassung derselben zu einer Einheit bedingt, wofür aber durchaus nicht allein, wie man oft meint, eine gewisse Geringfügigkeit der Größenunterschiede den Ausschlag gibt. In den Figuren 33 und 47 sind die Größenverhältnisse ganz gleich. In Fig. 33 bilden aber die Schenkel des spitzen Winkels isolierte, verschieden gerichtete Striche, und treten daher in Kontrast zueinander. In Fig. 47 liegen statt der isolierten Striche die Begrenzungslinien eines einheitlich zusammengefaßten Keils vor, dessen Gesamtrichtung auch die scheinbare Richtung seiner Grenzlinien mit beeinflusst. Einen ganz analogen Fall siehe bei BRENTANO (162). In Fig. 48 fassen wir auf den ersten Blick die beiden konzentrischen Kreispaaire zu einem Ring zusammen. Da nun der Ring in Fig. 48 A größer ist, als in Fig. 48 B, so erscheint uns auch der innere Kreis der Figur A kleiner, als der äußere von Figur B. Wenn wir aber bei aufmerksamer Betrachtung den inneren Kreis von A mit dem äußeren von B isoliert zu vergleichen suchen, und zu dem Behufe möglichst wenig auf die beiden anderen Kreise achten, so wird die Täuschung viel geringer. Daß auch bei der MÜLLER-LYER-Figur die Wirkung

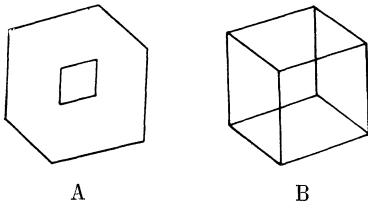
der Ansatzschenkel auf die zu vergleichenden Mittelstrecken darauf beruht, daß man beide in eine gemeinsame Einheit einbezieht, geht aus dem schon oben erwähnten Einfluß der Übung hervor, läßt sich aber auch an einer von AUERBACH (145) angegebenen Modifikation der Figur zeigen. \* Wenn man nämlich die Endpunkte der beiden Vergleichsstrecken stark markiert, wie dies in Fig. 64B geschehen ist, und dadurch ihr isoliertes Herausheben erleichtert, so wird die Täuschung viel schwächer. Umgekehrt nimmt sie zu, wenn man die Ansatzschenkel in der Zeichnung besonders betoht, wie in Fig. 64A, und dadurch die Aufmerksamkeit eigens auf sie hinlenkt.

Fig. 64.



Eine andere Erklärung für manche Täuschungsfiguren, die ebenfalls unter den Vorgang der Gestaltproduktion einzubeziehen ist, wurde im Anschluß an VOLKMANN (13, S. 163 ff.) und THIÉRY (229) von FILEHNE (174) gegeben, der insbesondere die Überschätzung der spitzen und die Unterschätzung der stumpfen Winkel als sekundäre Folge einer latenten Tiefenauslegung der Figur auffaßt. In Fig. 65A fehlt jeder Anlaß zur Tiefenauslegung, die spitzen und stumpfen Winkel werden in ihrer wirklichen Größe gesehen. Sobald wir aber die Figur, wie in 65B, durch Ausziehen der Verbindungslinien zum perspektivischen Bild eines Würfels ergänzen, erscheinen die spitzen und stumpfen Winkel zugleich mit der Tiefenauslegung der Figur als rechte. Eine analoge Überschätzung der spitzen und

Fig. 65.



Unterschätzung der stumpfen Winkel tritt nun nach FILEHNE überall dort — aber auch nur dort — ein, wo in der Zeichnung ein Motiv zur Tiefenauslegung gegeben ist, selbst wenn dies dem Beschauer nicht bewußt wird. FILEHNE erklärt auf diese Weise die ZÖLLNERsche und die POGGENDORFFsche Täuschung, die verschobene Schachbrettfigur und den LOEBschen



Kontrastversuch. Indes begegnet die Anwendung des Prinzips auf die ZÖLLNERsche Täuschung Schwierigkeiten, die besonders EBBINGHAUS-DÜRR (5, Bd. 2, S. 90 ff.) auseinandergesetzt haben. WUNDT (15 a, Bd. 2, S. 582 ff., 587) hält die perspektivische Deutung bei der ZÖLLNERschen und anderen Täuschungsfiguren umgekehrt nicht für die Ursache, sondern für eine sekundäre Wirkung der Täuschung: sie sei eine von den Möglichkeiten, wie man die Figur auslegen kann, so daß sie mit den sonstigen Verhältnissen in Einklang steht, wie dies an der ZÖLLNERschen Figur schon oben S. 117 auseinandergesetzt wurde.

Ziemlich allgemein abgelehnt wurde die von LIPPS (197, 198, 199) aufgestellte »mechanisch-ästhetische« Theorie der geometrisch-optischen Täuschungen. Nach LIPPS legen wir in die sichtbaren Raumformen mit unserer Phantasie Kräfte, Tätigkeiten und Bestrebungen hinein, die wir von uns selbst her kennen, wir beleben sie gewissermaßen. Eine Säule »richtet sich auf«, die Form des Dachs eines Gebäudes »senkt sich herab« usf. Wir deuten daher auch die Zeichnungen entsprechend dieser Belebung aus. Wenn in einer Form die Tendenz der Ausweitung liegt, so dehne sich tatsächlich das nach der Wahrnehmung derselben zurückbleibende Vorstellungsbild aus. Wenn wir dieses nachher mit einer neuen Wahrnehmung vergleichen, so »messen wir infolge der vorgestellten Kräfte statt der ersten Raumform deren modifiziertes Vorstellungsbild an der zweiten Raumform und dadurch wird unser Vergleichsurteil abgelenkt«. An dieser Theorie haben SCHUMANN (219 c) und WUNDT (vgl. 15 a, Bd. 2, S. 608) eingehend Kritik geübt, auf die ich, ebenso wie auf die Antwort von LIPPS (200) verweise. Insbesondere bemerkt WUNDT, daß, die ästhetischen Wirkungen der Raumform zugeben, diese doch das sekundäre seien, die durch die Strecken- und Richtungs-täuschungen erst hervorgerufen oder verstärkt werden.

Mehrere Forscher, insbesondere HEYMANS (179, 180), WUNDT (232, 144 und 15 a) und EBBINGHAUS (5, Bd. 2, S. 87 und 106) haben die geometrisch-optischen Täuschungen zu Bewegungsempfindungen des Auges in Beziehung gesetzt. Zwar wird die Annahme, daß sie durch Augenbewegungen hervorgerufen werden, dadurch hinfällig, daß die Täuschungen, wenn auch oft abgeschwächt, auch bei fester Fixation, bei Momentanbeleuchtung und im Nachbild bestehen bleiben. Aber man könnte dann voraussetzen, daß es nicht notwendig zur Ausführung der Augenbewegung kommen müsse, sondern daß schon die Innervationstendenz oder die bloße Bewegungsvorstellung die Täuschung erzeuge. Wir haben die Frage nach dem Einfluß der Augenbewegungen und ihrer Innervation auf die relative optische Lokalisation bereits oben S. 85 ff. ausführlich erörtert. Wenn wir dort zum Schluß kamen, daß durch die Augenbewegungen eine Änderung der relativen Lokalisation nicht gesetzt wird, so muß dieses negative Ergebnis natürlich auch für den Spezialfall der geometrisch-optischen Täuschungen zutreffen, und wir können uns daher hier auf die Erörterung der Teilfrage beschränken, ob sich etwa aus den Beobachtungen an Täuschungsfiguren ein positiver Beweis für den Einfluß von Augenbewegungen auf die relative optische Lokalisation ableiten läßt. Als solchen führt WUNDT folgenden Befund von JUDD und seinen Mitarbeitern (164, 187, 188) an, welche die Augenbewegungen bei Betrachtung der ZÖLLNERschen, der POGGENDORFFschen und der MÜLLER-LYERSchen Figur photographisch aufnahmen. Es zeigte sich, daß die Augenbewegungen sich sehr merklich änderten,

sobald durch wiederholte Übung die Täuschung sich stark verringerte und fast schwand. Nun kann natürlich der Zusammenhang der sein, daß die Änderung der Augenbewegungen das primäre und die Änderung der optischen Lokalisation ihre Folge ist. Es kann aber auch umgekehrt die veränderte Augenbewegung die Folge der geänderten optischen Lokalisation, noch wahrscheinlicher aber der geänderten Verteilung der Aufmerksamkeit auf die verschiedenen Teile der Täuschungsfigur sein. Dies stimmt dann mit unserem allgemeinen Ergebnis gut überein, und auch JUDD selbst zieht aus den Versuchen den Schluß, daß eine Mitwirkung der Augenbewegungen beim Entstehen der genannten Täuschungen wohl kaum anzunehmen sei. Zur selben Ansicht gelangte auf Grund photographischer Aufnahmen der Augenbewegungen auch STRATTON (228 a). Vergleiche ferner LEWIS (194).

Als weiteren Beweis für die Theorie führt EBBINGHAUS an, daß mehrere Täuschungen bei ruhiger Fixation abgeschwächt werden. Aber diese Tatsache beweist zwar, daß in diesen Fällen bei bewegtem Blick, insbesondere beim flüchtigen Darüberhinhinblicken, günstigere Bedingungen für das Entstehen der Täuschung vorhanden sind, als bei fester Fixation, die mit einer konzentrierten Anspannung der Aufmerksamkeit verbunden ist, sie zwingt aber keineswegs zu dem Schluß, daß diese Begünstigung nun auch auf die Bewegungsempfindungen des Auges zurückzuführen ist.

Endlich weist derselbe Autor darauf hin, daß manche Täuschungen, z. B. die MÜLLER-LYERSche Täuschung, wenn man sie durch wiederholte Betrachtung in der einen Lage zum Verschwinden gebracht hat, bei der bloßen Umkehrung der gegenseitigen Lage der Täuschungsfigur wieder auftritt. Aber auch hier hat sich ja durch den Lagewechsel die ganze Konstellation geändert, und ich würde diese Beobachtung eher für einen Beweis der zuerst von МАЧН (10 a) hervorgehobenen Tatsache halten, daß die einfache Änderung der »absoluten« Lage psychologisch etwas Neues darstellt. Übrigens hat JUDD (186) diesen Fall genauer untersucht und gefunden, daß der Erfolg der Übung bei einer Lage der Täuschungsfigur auch bei Lageänderung derselben doch in gewisser Beziehung merkbar ist. (Bezüglich der etwas verwickelten Verhältnisse im einzelnen muß ich auf die Abhandlung selbst verweisen.)

HERING hatte anfangs (7, S. 66 ff.) die Überschätzung spitzer Winkel und die geteilter Strecken gegenüber ungeteilten darauf zurückgeführt, daß wegen der Netzhautkrümmung nicht eine ebene, sondern eine kugelig gekrümmte Fläche im Objekt-raum den Netzhautbildern kongruente Dimensionen besitzt. Bei der Betrachtung ebener Zeichnungen müsse nun die ursprüngliche Lokalisation in eine Kugel- fläche der aus den übrigen optischen Eindrücken entspringenden Kenntnis der Anordnung in einer Ebene angepaßt werden, und daraus würde dann folgen, daß die scheinbare Länge einer durch zwei Marken abgegrenzten Strecke nicht der Länge des Bogens zwischen den Netzhautbildern, sondern der Länge der Sehne dieses Bogens proportional ist. Tatsächlich fand auch KUNDT (282) in seinen Messungen diese Proportionalität. HERING hat aber, wie er mir sagte<sup>1)</sup>, diese seine Ansicht sehr bald wieder aufgegeben, weil nach ihr die Täuschungen so gut wie verschwinden müßten, wenn man die Netzhautbilder, etwa unter Zuhilfenahme eines Makroskopes, stark verkleinerte, was nicht der Fall ist.

Wenn wir von allen Spezialausführungen absehen, deren Anwendbarkeit auf die Einzelfälle der geometrisch-optischen Täuschungen noch keines-

1) Ich bin von ihm zu dieser Mitteilung ausdrücklich ermächtigt worden.

wegs voll geklärt ist, so bleibt jedenfalls als sicher eines bestehen, daß zum Zustandekommen der geometrisch-optischen Täuschungen neben den etwa vorhandenen peripheren auch zentrale Ursachen mitwirken. Dies geht unzweifelhaft daraus hervor, daß die Täuschungsgröße vom Beachten oder Nichtbeachten einzelner Bestandteile der Täuschungsfigur, ferner von der willkürlichen Deutung mehrdeutiger Figuren abhängt und durch Einübung in der Auffassung der Figur abgeändert werden kann. Man hat daher von verschiedenen Seiten die geometrisch-optischen Täuschungen als »Urteilstäuschungen« den sogenannten »Empfindungstäuschungen« gegenübergestellt. So meint z. B. SCHUMANN (249 c, S. 289), daß man bei der MÜLLER-LYERschen Täuschung die zu vergleichenden Hauptlinien gar nicht verschieden groß sehe, sondern sie nur als verschieden beurteile. Als Beweis dafür führt er an, daß man der Täuschung nicht mehr unterliegt, wenn man die beiden Teile der Figur untereinander zeichnet, und sich dann die Enden der Halbfiguren durch Hilfslinien verbunden denkt. Der Versuch läßt sich erklären durch das Hervorheben der Endpunkte der Vergleichsstrecken und entspricht dem oben an Fig. 60 erläuterten Versuche von BENUSSI über den Einfluß hinzuphantasierter Verbindungslinien. Sobald man die hinzugedachten Hilfslinien wieder fallen läßt, tritt die Täuschung wieder auf. Wenn nun in diesem Falle die den Horizontalen entsprechenden Bewußtseinsinhalte wirklich verschieden ausgedehnt wären, so müßte man bei dieser Änderung doch den unmittelbaren Eindruck haben, daß die eine Strecke sich verkleinere, die andere größer werde. Davon merkte aber SCHUMANN nichts. Ich sehe dies auch nicht. Dagegen sehe ich es deutlich bei der oben S. 134 erwähnten Fig. 60 von BENUSSI, wo mir die Vergrößerung und Verkleinerung der Strecke  $eh$  je nach dem Hinzudenken von  $de$  und  $hg$ , oder von  $bc$  und  $hi$  sogar auffälliger ist, als der nachträgliche Längenvergleich. Daß man dies bei der MÜLLER-LYER-Figur nicht deutlich sieht, liegt wohl daran, daß die Aufmerksamkeit beim Übergang von einer Figur zur anderen zu stark abgelenkt wird. Zeichnet man die beiden Vergleichsstrecken und die Ansatzstücke der MÜLLER-LYER-Figur nach der Methode von BÜHLER (oben S. 113) auf durchscheinendes Papier, so kann man die Größenänderung der Vergleichsstrecken beim Zutreten und Wegbleiben der Ansatzschenkel sehr schön sehen (BÜHLER, 4). Sehr deutlich ist dies auch nach derselben Methode an der HERINGSchen Sternfigur (Fig. 34, oben S. 115—116) und der ZÖLLNERSchen Täuschung zu sehen. Wir müssen also annehmen, daß bei diesen Täuschungen wirklich der anschauliche Bewußtseinsinhalt selbst aus zentralen Ursachen eine Änderung erfährt. Es handelt sich hier offenbar um ganz analoge Vorgänge, wie sie beim Tiefensehen mit einem Auge auf Grund der sogenannten empirischen Motive der Tiefenlokalisierung schon längst wohlbekannt sind.

Den geometrisch-optischen analoge Täuschungen treten auch auf dem Gebiete des Tastsinnes auf, so die Täuschung von MÜLLER-LYER, die Überschätzung geteilter Strecken usf. (COOK, 165; DRESSLAR, 169; JAENSCH, 184; PEARCE, 208, 209; ROBERTSON, 216; SOBESKI 226; u. a.). Man hat diese Erscheinungen mehrfach, zum Teil auch in der Hoffnung studiert, dadurch Aufklärung über das Wesen der geometrisch-optischen Täuschungen zu erhalten. Doch liegen die Verhältnisse auch hier nicht ganz einfach. So fällt z. B. die POGGENDORFFSche Täuschung beim aktiven Betasten der Figur gerade entgegengesetzt aus, wie beim Sehen (ROBERTSON, 216). Ich muß es daher hier beim Hinweis auf die zitierte Literatur und auf die Handbücher der Psychologie bewenden lassen.

### 9. Einfluß der Erfahrung auf die Lokalisation im ebenen Sehfeld.

Das Ergebnis, zu dem wir bei der Erklärung einer Anzahl geometrisch-optischer Täuschungen schließlich gelangt sind, daß es sich bei ihnen um eine Änderung der Raumempfindung durch die Gestaltauffassung, also durch einen zweifellos auf individueller Erfahrung beruhenden Vorgang handelt, widerspricht der weit verbreiteten Annahme, daß eine eigentliche Sinnesempfindung durch Erfahrungsmotive nicht abgeändert werden könne. Auf diesem Standpunkt fußte insbesondere HELMHOLTZ, der es als allgemeine Regel aussprach, »daß nichts in unseren Sinneswahrnehmungen als Empfindung anerkannt werden kann, was durch Momente, die nachweisbar die Erfahrung gegeben hat, im Anschauungsbilde überwunden und in sein Gegenteil verkehrt werden kann« (I, S. 438). Träfe diese Annahme zu, so könnten wir demnach, wenn wir nach dem Vorhergehenden eine Änderung der Lokalisation unter dem Einfluß der Erfahrung als erwiesen betrachten, die optische Lokalisation nicht auf die gleiche Stufe stellen, wie die sonstigen Empfindungsqualitäten. Sie würde dann nicht zum eigentlichen Empfindungsinhalt selbst gehören, sondern nur einen durch die Erfahrung zur eigentlichen »reinen« Empfindung, die nur aus der Farbe bestehen würde, hinzugefügten, am voll ausgebildeten Sehorgan allerdings untrennbar mit ihr verbundenen Anhang bilden. In der Tat folgert HELMHOLTZ aus dem oben zitierten allgemeinen Satz, daß, wenn wir dieser Regel folgen, »nur die Qualitäten der Empfindung als wirkliche reine Empfindungen zu betrachten sind, bei weitem die meisten Raumanschauungen aber als Produkt der Erfahrung und Einübung«.

Weitere Erfahrungen haben indes gezeigt, daß sich die Regel von HELMHOLTZ, selbst wenn man sie in seinem Sinne auf die reine Qualität der Sinnesempfindung einschränkt, in ihrer Allgemeinheit nicht aufrecht erhalten werden kann. Denn es gibt, wie schon STUMPF (259, S. 208 ff.) anführt, in der Tat Fälle, in denen der qualitative Empfindungsinhalt selbst durch Bewußtseinsvorgänge wie durch die Aufmerksamkeit oder durch die Willkür umgewandelt werden kann. STUMPF hat dafür später insbesondere auf dem Gebiet der Tonempfindungen Beispiele angeführt, so,

daß jene Teiltöne eines Klanges, die man durch besonders darauf gerichtete Aufmerksamkeit hervorhebt, stärker gehört werden (260, I, S. 373 ff.; II, S. 299 ff.). Ferner kann man sehr schwache oder tiefe einfache Töne anscheinend beliebig bis zu einem halben Ton tiefer oder höher hören (260, I, S. 243, 264; II, S. 114, Anm.; vgl. auch 261, S. 88, Anm.). Im Besonderen hat aber gerade für die Gesichtsempfindungen HERING (dies Handb. S. 8 ff. und S. 209) dargelegt, in welcher eingreifender Weise die Gedächtnisfarbe, bezw. die Art der Lokalisation unsere Farbenempfindungen zu modifizieren vermag. Ein Schatten, der auf ein weißes Blatt Papier fällt, sieht anders aus, als ein graues Papierstück, auch dann, wenn von beiden genau dieselbe Lichtmenge ins Auge entsendet wird. »Das Dunkel, welches im Grau gesehen wird, ist mit dem gleichzeitig darin enthaltenen Weiß vollständig zu einer Empfindung besonderer Qualität verschmolzen; das Dunkel aber, welches als Schatten auf dem Weiß erscheint, wird als ein besonderes, über dem Weiß liegendes Etwas aufgefaßt, durch welches hindurch wir noch das Weiß zu sehen meinen.« Die bewußte Empfindung ist also in beiden Fällen trotz Gleichheit des äußeren Reizes eine andere.

Demgegenüber behauptet allerdings v. KRIES (HELMHOLTZ, III, Bd. 3, S. 494), die Selbstbeobachtung lehre in unzweideutiger Weise, daß, wenn in dem angeführten Falle der Eindruck aus dem eines grauen Flecks in den eines Schattens umschlage, irgend etwas an ihm oder in ihm sich unverändert erhalte. Dies letztere werde damit gemeint, wenn man sagt, es sei »die eigentliche Empfindung unverändert geblieben, dagegen ihre Verknüpfung mit empirischen Begriffen . . . in eigentümlicher Weise modifiziert worden.« Aus diesen Worten geht indessen nicht klar genug hervor, was v. KRIES mit dem unveränderten Anteil der Empfindung eigentlich meint. Natürlich können bei einer Änderung der Gestaltauffassung gewisse Teilempfindungen unbeeinflusst weiter bestehen. Dann haben wir auch keinen Grund, eine eigentliche oder reine Empfindung von einer sekundär abgeänderten zu unterscheiden. Soweit aber die Teilempfindung durch die Gestaltwahrnehmung modifiziert wird, ist es, wie schon HILLEBRAND (246) ausführlich dargelegt hat, unmöglich anzunehmen, daß im Bewußtsein gleichzeitig die ursprüngliche »reine« Empfindung und die durch das Erfahrungsurteil abgeänderte nebeneinander vorhanden seien. Das, was wir unmittelbar im Bewußtsein vorfinden, ist dann eben nur die letztere. Von einer vorhergehenden reinen Empfindung, einem nachfolgenden bewußten Urteil und der durch dasselbe bewirkten Abänderung der Empfindung merken wir nichts. Man hat deshalb angenommen, daß sich diese ganze Reihenfolge von Prozessen unbewußt abspiele und sprach von unbewußten Empfindungen und unbewußten Schlüssen. Mit solchen Annahmen verlegen wir aber rein hypothetisch Empfindungen und Urteile, Vorgänge also, die uns nur vom Bewußtsein her bekannt sind, und die auch nur von dorther ihren Namen

erhalten haben, in ein Gebiet hinein, auf dem wir sie absolut nicht nachweisen können und vermengen dadurch die Begriffe. Eine saubere und scharfe Scheidung erhalten wir nur, wenn wir die Bezeichnung »Empfindung« ausschließlich auf die Einzelelemente der Bewußtseinsvorgänge anwenden, aus denen sich die komplexen Gestaltwahrnehmungen zusammensetzen, gleichgültig, wie sie entstanden sind. In diesem Sinne wird der Name von HERING und ebenso von EXNER (240) angewendet. Alle jene Vorgänge im Nervensystem, zu denen wir ein psychisches Korrelat in unserem Bewußtsein nicht aufweisen können, können wir nicht mehr von der psychischen Seite her betrachten, sie sind für die wissenschaftliche Forschung lediglich physische Regungen.

Diese Auffassung führt aber weiterhin zu Sätzen allgemeiner Art, die auch noch andere Gebiete der Bewußtseinserscheinungen umfassen, hinüber. Auch hier weisen uns wieder Beobachtungen, die an geometrisch-optischen Täuschungen angestellt worden sind, den Weg.

STADELMANN (227) und SCHWIRTZ (248) geben übereinstimmend an, daß es nicht gelingt, die MÜLLER-LYERSche Täuschung durch Wegsuggerieren der schrägen Ansatzlinien in der Hypnose oder im posthypnotischen Suggestionstest zu beseitigen. MARTIN (252) gelang dies zwar in einigen Versuchen bei einer Person, die die Täuschung kannte, SCHWIRTZ erhielt aber bei mehreren Personen, denen die Täuschung ganz unbekannt war, in zahlreichen Versuchen das oben angegebene Resultat. Diese Tatsache bildet nun auf den ersten Blick einen anscheinend unüberbrückbaren Gegensatz zu dem Einfluß, den das Herausheben der Hauptstrecken durch die Aufmerksamkeit, also ein Vorgang des klaren Bewußtseins, auf die Größe der MÜLLER-LYERSchen Täuschung ausübt. Die Erklärung dürfte aber darin zu suchen sein, daß die wechselseitige Beeinflussung der Einzelteile einer Gestalt infolge der reichen Übung, die wir beim alltäglichen Sehen im Gestalterfassen erworben haben, schließlich unbewußt abläuft, ähnlich wie wir uns bei zahlreichen komplizierten Handlungen, die wir lange genug eingeübt haben, z. B. beim Finden des Weges nach einem bekannten Ziele (etwa beim Nachhausegehen) trotz vollständiger Ablenkung der Aufmerksamkeit doch durch den Gesichtssinn ganz richtig leiten lassen. Auf diesen Zusammenhang deutet ja auch der von SCHUMANN (249c, S. 336) angeführte Analogiefall hin, daß Personen in der posthypnotischen Suggestion zwar den ihnen wegsuggerierten Tisch nicht mehr sehen, ihm aber beim Gehen sorgfältig ausweichen.

Mit diesem Vergleich ist freilich der Hypnoseversuch durchaus noch nicht voll erklärt, aber wir stellen damit den Sachverhalt mitten hinein in die bekannteren Vorgänge der Übung, wie wir sie auf motorischem Gebiet auch noch als Erwachsene beim Erlernen einer komplizierten Handlung an uns selbst beobachten können. In diesen Fällen handelt es sich darum,

daß wir zuerst mit gespanntester Aufmerksamkeit Komplexe von Muskelaktionen oder ihre Aufeinanderfolge solange willkürlich hervorrufen, bis sie durch die häufige Wiederholung immer geläufiger und geläufiger werden und endlich der ganze Mechanismus auch ohne Mitwirkung des Bewußtseins ganz »von selbst« abläuft, sobald wir ihn nur willkürlich in Gang setzen. Schließen wir von der Motilität auf die Sensibilität zurück, so dürfen wir annehmen, daß die Gestaltwahrnehmungen ebenfalls ursprünglich unter der Mitarbeit des Bewußtseins bei voller Aufmerksamkeit erworben worden sind. Ein Beispiel dafür liefert uns, freilich in abgekürzter und abgeblaßter Form, das Verhalten operierter Blindgeborener beim Versuch, sich neue Gestalten einzuprägen und ihre Gedächtnisform aus dem Wechsel ihrer jeweiligen Farbe, Lage und Umgebung herauszuschälen (vgl. unten S. 158). Was sich aber im Anfang nur ganz allmählich und schwierig entwickelt hatte, ist dann durch die häufige Wiederholung so fest geworden, daß die Gestaltwahrnehmung schließlich, sobald die genügenden Vorbedingungen dafür gegeben sind, ganz von selbst fertig ins Bewußtsein tritt.

Man pflegt derartige Entwicklungen, d. h. die Fähigkeit gewisser Teile des Zentralnervensystems, nach öfterem gleichartigem Gebrauch immer leichter und leichter auf die betreffende Erregung anzusprechen, gewöhnlich unter den EXNERschen Begriff der »Bahnung« zu subsumieren. In diesem Sinne haben sich insbesondere EXNER (240, 244) und WUNDT (15a, Bd. 3, S. 538 ff.) ausgesprochen. Natürlich soll diese Hypothese nicht bloß das Zustandekommen der optischen Gestaltwahrnehmungen erklären, sondern sie soll als allgemeines Prinzip auch auf alle anderen Sinneswahrnehmungen anwendbar sein und zur Erklärung des Gedächtnisses überhaupt dienen, und sie ist in dieser Allgemeinheit besonders von SEMON (236) in sehr bemerkenswerter Weise ausgebaut worden. In der letzteren Beziehung ersetzt sie die vulgäre Annahme, nach welcher das Gedächtnis darauf beruht, daß in der Hirnrinde abgeblaßte Reste früherer Erregungsvorgänge als physische Korrelate von Erinnerungsbildern deponiert seien, durch die viel ansprechendere Annahme einer durch Bahnung hergestellten Bereitschaft der Hirnzentren für bestimmte Erregungsweisen, welche auf der sensorischen Seite das Homologon zum geordneten Zusammenspiel der motorischen Erregungen bei den koordinierten Bewegungen darstellen würden.

Trotz dieses unleugbaren Fortschrittes besitzt auch die Bahnungshypothese eine Anzahl von Schwächen, auf die besonders v. KRIES (248a) und BECHER (235a und b; hier weitere Literatur) hingewiesen haben<sup>1)</sup>. An

<sup>1)</sup> Es kann dabei nicht unerwähnt bleiben, daß der Grundversuch, mit dem S. EXNER (239) die Bahnung physiologisch begründen wollte, nicht eine Erleichterung des Erregungsablaufes auf lange Zeit hinaus, sondern vor allem die Tat-

dieser Stelle seien nur jene erwähnt, die eng mit unserem Gegenstande zusammenhängen: Zunächst könne durch die Bahnung wohl die Festigung einer schon bestehenden, nicht aber die erste Bildung einer Verknüpfung oder »Assoziation« zweier oder mehrerer Empfindungen miteinander erklärt werden. Eine einfache Summation der Erregungen an der Stelle, wo sie zusammentreffen, genüge nicht zur Erklärung. Vor allem aber ist es nach der Bahnungshypothese ganz unbegreiflich, wie durch das Zusammentreffen mehrerer Erregungen eine gegenseitige Beeinflussung derselben im Sinne einer Angleichung oder eines Kontrastes, wie wir sie speziell bei den geometrisch-optischen Täuschungen vorfinden, zustande kommen sollte. Endlich müßten, wenn die Erregungen etwa des Sehorgans irgendwelche Residuen, sei es auch nur in der Form von Bereitschaften, hinterläßt, die Residuen der aufeinander folgenden verschiedenen Erregungen sich gegenseitig überdecken, wie die Bilder auf einer photographischen Platte, auf die fortwährend neue Aufnahmen gemacht werden.

Man wird die Berechtigung dieser Einwände gegen die Bahnungshypothese in der bisherigen Form nicht bestreiten können. Man hat eben bei den bisherigen Ausarbeitungen derselben viel zu einseitig die Leitungsfunktion des Nervensystems in den Vordergrund gerückt und dabei die Nervenleitung als einen überall ganz gleichartigen Erregungsvorgang betrachtet. Gegen diese ungerechtfertigte Meinung hat sich nun HERING (244, 245) sehr nachdrücklich gewendet. Die Nervenfasern sind Fortsätze von Zellen, und wie jede Zelle ihr spezifisches Eigenleben besitzt, so auch die Nervenzellen. Danach würden also Unterschiede der Erregungsvorgänge in den verschiedenen Nervenzellen und ihren Fortsätzen möglich sein, ja die Lehre von den spezifischen Sinnesenergien fordert geradezu derartige Unterschiede, wenigstens in den Sinneszentren. Aber an diese spezifische Erregungsart sind keineswegs alle Nervenzellen für immer starr gebunden. Ihre Erregungsweise kann sich unter Umständen auch ändern. Wir kennen derartige Umstimmungen vom motorischen Apparat. Wenn motorische Nerven, die früher zu Beugemuskeln hinzogen, experimentell mit Streckmuskeln verheilt werden, so innerviert das Tier mit der Zeit die Strecker wieder in der richtigen Weise. Es müssen also die Zentren für die willkürliche Innervation »umgelernt« haben. Diese Fähigkeit zum Lernen ist am meisten ausgebildet an jenem Teile des Gehirns, den EDINGER als das

---

sache beweist, daß ein Zentrum, wenn es nach längerer Ruhe einmal in Tätigkeit war, darnach kurze Zeit hindurch leichter auf eine neuerliche Reizung anspricht. Das ist aber ein sogenanntes »Treppenphänomen«, das ebensogut am Herz- und Skelettmuskel, wo von »Bahnung« keine Rede ist, auftritt, und das daher mit der Ausschleifung von Leitungsbahnen zunächst noch nichts zu tun hat. Das Ausschleifen von Leitungsbahnen ist also nicht etwa eine durch das physiologische Experiment festgestellte Tatsache, sondern eine aus den Erfahrungen am Zentralnervensystem abgeleitete Hypothese.



Neenzephalon vom Paläenzephalon scheid, und in dem gerade die höchsten Assoziationszentren« liegen.

Sowie man aber einmal die Vorgänge im Nervensystem als Ausdruck des Lebens der Nervenzellen betrachtet, so ergibt sich daraus, wie HERING auseinandersetzt, noch ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt. Die Eizelle birgt die Anlage zu sämtlichen Funktionen, die später auf die verschiedenen Organe verteilt sind, noch alle vereint in sich. Mit der zunehmenden Teilung und Entwicklung differenzieren sich aber die Zellen des Körpers immer mehr und mehr, und je differenzierter sie werden, desto einseitiger werden auch die Lebensvorgänge in ihnen. Wir dürfen nun annehmen, daß die Zellen des Neenzephalon noch nicht so einseitig zu einer einzigen Leistung differenziert sind, wie die des Paläenzephalon und des Rückenmarks; sie können daher nicht nur leichter umlernen (am Rückenmark haben sich bisher noch keine Erscheinungen des Gedächtnisses feststellen lassen) sondern sie werden auch noch nacheinander oder sogar gleichzeitig zu verschiedenartigen Leistungen fähig sein. Allerdings wirken auf sie seit der Geburt die dem Gehirn zuströmenden Sinneserregungen modelnd und umbildend ein, und je nachdem einzelne Zellen öfter zu Erregungen einer Art angeregt werden, wird in ihnen eine Neigung zu bestimmten Erregungsabläufen hervorgerufen. Auf diese Weise kommt es zu einer im Laufe des Lebens immer mehr zunehmenden Spezialisierung und Individualisierung der Zellen auch dieser Hirnteile, und es entwickelt sich das, was wir als die im Individualleben erworbene Organisation des Zentralnervensystems bezeichnen können, die Grundlage der Erfahrung und Übung.

Auf Grund dieser von HERING in großen Zügen entworfenen Auffassung der Lebensvorgänge in den Nervenzellen lassen sich zweifellos eine Anzahl der Einwände gegen die physiologische Deutung der Gedächtnis- und Assoziationsprozesse beseitigen. Wirken z. B. auf eine Zelle zwei verschiedene Leitungsreize gleichzeitig ein, so wird sich ihr Effekt nicht bloß im Sinne einer Verstärkung, sondern auch in einer Abänderung der Erregungsform der Zelle äußern können, und bei Wiederkehr derselben Kombination, ja eventuell nur eines Teiles derselben, kann sich dann wieder dieselbe Tönung des Erregungsvorganges einstellen. Die Assoziation beruht dann in der Tat auf der Umbildung eines physischen Prozesses, und es ist dann auch begreiflich, daß diese Umbildung am ausgesprochensten ist, wenn die beiden Erregungen als gleichzeitig eintreffende Leitungsreize auf die Zelle einwirken. Aber auch die sukzessiven Residuen, die SEMON in verschiedenen »Schichten« der Zelle annahm, werden so verständlich. Die Zellen sind, wenn sie von den späteren Reizen getroffen werden, nicht mehr dieselben wie vorher, sie sind durch ihre dazwischen liegenden Erlebnisse umgestimmt und reagieren daher auf die neuerliche Reizung in anderer Weise als früher. Weiterhin kann man sich vorstellen, daß, wenn eine Erregung auf ein

größeres Feld von Nervenzellen einzuwirken vermag, in jeder dieser Zellen je nach ihrer Eigenart und Stimmung ein etwas anders getönter Erregungsvorgang ausgelöst wird. Vor allem aber liegt bei dieser Auffassung die Möglichkeit vor, daß der Erregungsvorgang einer Zelle nicht einer einzelnen gesonderten Empfindung entspricht, sondern einem einheitlichen Komplex von solchen, einer »Gestalt«, die dann durch das Zusammenwirken mehrerer Zellen zu noch höheren Einheiten ganz allgemeiner Art zusammenfließen können <sup>1)</sup>.

Annahmen dieser Art, die sich in manchen Punkten mit Gedanken treffen, die v. KRIES (248a) ausgesprochen hat, scheinen nun in der Tat eine geeignete Unterlage dafür zu bieten, um die gegenseitige Beeinflussung der Erregungsvorgänge im Sehorgan auch von der physiologischen Seite her verständlich zu machen. Freilich muß vorher noch ein Bedenken beseitigt werden, das insbesondere BECHER stark betont hat. Hat sich etwa, um ein Beispiel anzuführen, eine assoziative Verknüpfung zwischen einem direkt gesehenen Gegenstande und einem gleichzeitig gehörten Ton gebildet, so taucht die assoziierte Vorstellung auch auf, wenn man den betreffenden Gegenstand später im indirekten Sehen wahrnimmt. Die Assoziation ist also nicht an die Leitung vom Netzhautzentrum allein angeschlossen, sondern sie läßt sich auch von allen anderen Netzhautstellen her auslösen. Das ist nun offenbar darin begründet, daß die Erregungen von jeder Stelle aller Sinnesorgane schließlich in dem einheitlichen Organ des Bewußtseins zusammentreffen, in dem sie sich gegenseitig verbinden und beeinflussen. Physiologisch ließe sich dieses Organ denken als ein Komplex von Nervenzellen, die entweder untereinander anastomosieren oder sonstwie durch Zwischenglieder derart miteinander verbunden sind, daß die Möglichkeit einer allseitigen Ausbreitung der Erregungen in ihm vorhanden ist. Aus psychologischen Gründen muß die Forderung hinzugefügt werden, daß die Aufnahme der von den untergeordneten Zentren zugeleiteten Erregungen ins Organ des Bewußtsein durch die Tätigkeit desselben bis zu einem gewissen Grade abgeändert werden kann, denn wir können ja durch Ablenkung der Aufmerksamkeit verhindern, daß uns Sinneseindrücke, wenn sie sich nicht allzu lebhaft aufdrängen, bewußt werden, und umgekehrt kann das Vordringen von Sinnesregungen ins Bewußtsein durch erhöhte Aufmerksamkeit begünstigt werden. Physiologisch ist dafür die Erklärung gegeben, wenn wir den von HERING (245) für die zentrale Erregungsleitung im allgemeinen aufgestellten Satz in Anwendung bringen, daß die Weiter-

1) Nach den Andeutungen von KOFFKA (442a) scheint es, als ob ein ähnlicher Gedanke auch der bisher noch nicht ausführlich veröffentlichten »Querleitungshypothese« von WERTHEIMER zugrunde lägen. Ganz besonders bedeutungsvoll ist aber die obige Auffassung für die Bildung von »Totalvorstellungen«, wie sie POPPELREUTER (253b; 41a, S. 163 ff.) annimmt.

leitung von Erregungen von einer Nervenzelle zur anderen nicht bloß von der Stärke der Erregungen, sondern auch von ihrem Charakter und von der Stimmung der Anschlußzellen abhängt: Die Erregung pflanzt sich nur auf jene Anschlußzellen fort, die für sie aufnahmefähig sind. Gerade am Einfluß der Aufmerksamkeit auf das Bewußtwerden von Sinnesregungen läßt sich dieser allgemeine Gedanke am anschaulichsten klar machen.

Für die Bildung von Assoziationen ist aber das Eintreten der Sinnesempfindungen ins Bewußtsein die erste Voraussetzung. Ist diese erfüllt, dann ist die Assoziation von selbst gegeben. Im Grunde genommen sollte man nämlich garnicht von einer nachträglichen Verbindung der ursprünglich getrennt gedachten Empfindungen sprechen, denn diese letzteren existieren ja nicht isoliert für sich, vielmehr sind alle Sinnesempfindungen, die gleichzeitig im Bewußtsein vorhanden sind, in ihm miteinander verbunden. Die Verbindung ist aber bei jenen inniger, denen die Aufmerksamkeit zugewandt ist, während die anderen mehr im Hintergrund bleiben. Solange solche Unterschiede der Aufmerksamkeit noch nicht gemacht werden, sind alle einzelnen Empfindungen untereinander gleichwertig, so wie etwa dem operierten Blindgeborenen anfangs die nebeneinander liegenden Formen und Farben des Gesichtsfeldes. Erst dann, wenn sich einzelne Komplexe von Empfindungen durch ihr besonderes Verhalten, etwa die gesamten Formen und Farben eines bewegten Objektes durch ihre gemeinsame Bewegung u. dgl., aus der Gleichmäßigkeit der übrigen herausheben, dadurch die Aufmerksamkeit vereint auf sich ziehen und durch sie in besonders enge Beziehung zueinander gebracht werden, stellt sich die Differenzierung der Empfindungen und ihre Gruppierung nach einzelnen Gegenständen her. Die Wirkung der Aufmerksamkeit auf die Bildung von Assoziationen ist also nur eine mittelbare, sie schafft nur die Bedingungen für die Assoziation und unterstützt und festigt sie, erzeugt sie aber nicht unmittelbar selbst. Hat sich die Assoziation einmal gebildet, und wiederholen sich dann die Erregungskomplexe öfter in der gleichen oder in sehr ähnlicher Weise, so setzt nunmehr jener Vorgang ein, der die Erregungskombination so geläufig macht, daß sie sich, allerdings unter der im Folgenden angeführten Voraussetzung, dem Bewußtsein von selbst darbieten. Das was wir sehen, ist dann kein ungeordnetes Nebeneinander mehr, sondern es ist gleich von vornherein gegliedert in voneinander gesonderte Gestalten, deren Einzellemente in bestimmter Weise eng miteinander vereinigt sind.

Allerdings kommt als Voraussetzung für die Gestaltwahrnehmung außer dem bloßen Beachten der Gesichtseindrücke auch dann noch etwas anderes in Betracht, das wir uns wieder besser an einem Beispiel von der motorischen Seite klar machen können. Man führt zwar, wenn man in Gedanken versunken nach Hause geht, durchaus nicht alle Bewegungen bewußt aus, aber die allgemeine Tendenz, nach Hause zu gehen, muß vorhanden sein.

Die genügt dann freilich, um auf ihr als Basis reflexartig alle jene Einzelbewegungen auszulösen und zu regulieren, die für die Ausführung der Gesamthandlung nötig sind. Ähnlich ist es beim Sprechen und bei allen komplizierteren »sinnvollen« Handlungen überhaupt. Ebenso erfordert aber auch die Gestaltwahrnehmung eine gewisse geistige Einstellung, auf deren Basis dann die Einzelempfindungen sich zur Einheit zusammenschließen. Die Bedeutung dieser geistigen Einstellung auf den Sinn des Wahrgenommenen tritt am offenkundigsten hervor bei mehrdeutigen Gestalten, insbesondere an perspektivischen Zeichnungen, bei denen die Tiefendimension mitbeteiligt ist, die man nur dann richtig sieht, wenn man ihren Sinn kennt, deren Bild sich aber dann je nach der Auslegung, die man ihm gibt, ändert. Wir kommen auf diesen Punkt später noch einmal zurück.

Man kann die hier kurz gekennzeichneten Prozesse physiologisch verschieden deuten. Am annehmbarsten erscheint mir die Auffassung, daß das psychophysische Feld einen stufenförmigen Aufbau besitzt mit mindestens zwei — vielleicht auch mehreren — übereinander geschalteten Zonen. Schon in die untere Zone können die Erregungen von allen Stellen der verschiedenen Sinnesorgane in weitester Ausdehnung einstrahlen und sich überallhin ausbreiten, so daß schon hier eine allseitige Kombinationsmöglichkeit der Erregungen vorliegt. Wie allerdings diese Möglichkeit im speziellen Falle ausgenützt wird, wie und wohin also die Erregungen in jedem Einzelfalle in dieser Zone geleitet werden, das wäre in weitem Umfang von dem Eingreifen eines übergeordneten Zentrums abhängig zu denken, das auf die vorgeschaltete Zone durch rückläufige Leitungen einwirkt, Verbindungen herstellt und wieder aufhebt, bzw. durch sein Eingreifen auch die Erregungsweise der einzelnen Nervenzellen abzuändern vermag. Dadurch würde schon in dieser Zone eine physiologische Organisation zustande kommen, die es bewirkt, daß die Einzelerregungen bereits dort so geordnet und miteinander verknüpft werden, daß sie ins Bewußtsein gleich als einheitliche Gestalten eintreten.

Zu dieser Auffassung scheinen nun gewisse anatomische Einrichtungen im Zentralnervensystem gut zu stimmen, wenn es auch freilich schwer ist, die eben angenommenen Stufen anatomisch auf die einzelnen Glieder der Sehbahn zu beziehen, sie in ihr zu »lokalisieren«. Auf den ersten Blick sieht es wenigstens so aus, als ob die Neuronentheorie eine brauchbare Unterlage für unsere Annahmen böte, insofern wir uns nach ihr die gesamte Sehleitung in eine Kette hintereinander geschalteter Nervenzellen mit ihren Fortsätzen zerlegt denken können, die sich vom Aufnahmeapparat, dem Sinnesepithel, an über die bipolaren Zellen, die Ganglienzellen des N. opticus und dessen Nervenfasern, die subkortikalen Kerne der Sehleitung mit der aus ihnen entspringenden Sehstrahlung zur kortikalen Sehsphäre und ihren weiteren Verbindungen mit den übrigen Teilen der Hirnrinde erstreckt. Auf diesem langen Wege können die Erregungen auch bei gleichartiger Reizung des

Empfangsapparates in der mannigfachsten Weise abgeändert werden. Zunächst kann die Erregung, wenn sie nicht genügend stark ist, um das betreffende Anschlußneuron in Erregung zu versetzen, wenn sie also die GOLDSCHIEDERSche (243) Neuronschwelle nicht überschreitet, in der Leitung stecken bleiben und garnicht bis an die Endstation gelangen. Ferner wird die Fortleitung der Erregung nach der Hypothese von HERING auch davon abhängen, ob die Anschlußneurone zur Aufnahme der Erregung richtig abgestimmt sind oder nicht. Zu diesen Variationsmöglichkeiten in der Längsrichtung kommt nun noch die oben angenommene Möglichkeit einer qualitativen Umstimmung der Erregungen infolge der Querverbindungen der Neurone untereinander dazu, die wir als die Grundlage für jene Phänomene betrachten können, die sich allgemein als Wechselwirkungen innerhalb des somatischen Sehfeldes darstellen, und die sich, wie wir früher sahen, durchaus nicht bloß auf das Farbensehen beziehen, sondern sich auch auf die räumliche Wahrnehmung erstrecken. Eine derartige Querleitung kann zunächst schon in der Netzhaut selbst stattfinden, und diese hat S. EXNER (46) als anatomisches Substrat für jene Form der Wechselwirkung der Sehfeldstellen angenommen, die sich speziell in einer gegenseitigen Unterstützung gleichartiger Regungen äußert (vgl. oben S. 100). Am Simultankontrast scheint nach den neueren Beobachtungen von BRÜCKNER und KÖLLNER die Sehspähre, wenn nicht transkortikale Zentren, beteiligt zu sein. Die wechselseitige Verknüpfung, die der Assoziationsbildung zugrunde liegt, wird man am ehesten in den transkortikalen Zentren vermuten. Indessen darf man mit solchen Folgerungen nicht allzu zuversichtlich sein. In der zentralen Sehbahn befinden sich nämlich ebenso, wie in anderen höheren Leitungsbahnen, nicht bloß zentripetale, sondern auch zentrifugale Leitungen. Es besteht also nicht bloß die Möglichkeit einer Querleitung und dadurch der Beeinflussung der Nachbarstellen eines Querschnittes untereinander, sondern auf diesem Wege können auch von einem höher gelegenen Zentrum aus weiter peripher gelegene Stellen der Leitungsbahn umgestimmt werden. Die gesamte Sehbahn bildet demnach ein einheitlich organisiertes Ganze, in das von der Peripherie gegen das Zentrum hin, aber auch umgekehrt vom Zentrum zur Peripherie her eingegriffen werden kann. Eine bestimmte Erregung des höheren Zentrums kann die Erregungsvorgänge der peripheren Teile ändern und dadurch rückwirkend wieder auf die zentraleren Vorgänge einen Einfluß ausüben. Das könnte zwar geradezu als die anatomische Grundlage für die früher angenommene Einwirkung der höheren Zentren auf niedere angesehen werden, es erschwert aber natürlich die Lokalisation im neurologischen Sinne außerordentlich. Man wird deshalb vor allen Dingen aus dem Wegfall eines Vorganges nach Läsion einer zentralen Stelle nicht zwingend auf eine Lokalisation desselben allein an dieser Stelle schließen dürfen, sondern es bedarf dazu möglicherweise auch der Mitwirkung noch

weiter peripher gelegener Stellen. Andererseits beweist, wie schon FECHNER (17, Bd. 2, S. 425) darlegt, unverändertes Fortbestehen eines psychischen Prozesses nach Entfernung einer peripheren Stelle nicht ohne weiteres, daß diese auch unter normalen Umständen keinen Anteil an ihm hat. Vielmehr könne der Verlust einer mittätigen Stelle nach dem »Prinzip der solidarischen Vertretung« durch die Tätigkeit anderer Stellen gedeckt werden. Einen zwingenden Beweis für das letztere würde allerdings nur eine wirklich nachweisbare Veränderung des Prozesses nach dem Wegfall der peripheren Stelle erbringen. Mehr läßt sich über alle diese Dinge auch heute noch nicht mit voller Bestimmtheit sagen, und deshalb ist auch die Vorstellung von der Gliederung der Sehbahn in mehrere hintereinander geschaltete Stufen nur als eine vorläufige Arbeitshypothese anzusehen, die uns aber dazu dienen kann, die hier vorhandenen Möglichkeiten zu entwickeln.

Das eben Gesagte berührt sich in mancher Beziehung mit Ausführungen von POPPELREUTER (253b), die mir erst nachträglich bekannt wurden<sup>1)</sup>. Insbesondere entspricht die Annahme POPPELREUTERS von den übereinander gestaffelten »registrierenden« Systemen weitgehend der Ansicht, daß sich in der Kette der Sehbahn jedem Anschlußneuron höherer Ordnung die ihm durch die vorgeschalteten Neurone zugeleiteten Erregungen gleichsam als sein eigenes Erlebnis darstellen. Für die optischen Auffassungsvorgänge speziell nimmt POPPELREUTER eine Staffelung im Sinne einer Steigerung oder Vervollkommnung der Leistung an, die sich von unten nach oben nach folgendem Schema (11a, S. 75) vollziehen soll: Empfindung und Wahrnehmungen; Bemerken; Formauffassung; Dingauffassung; Gesamterfahrung. Soweit diese Dinge zu unserem Thema gehören, werden sie im Folgenden mit berücksichtigt.

Wenn nun die räumliche Anordnung unserer Gesichtswahrnehmungen zum Teil von der durch individuelle Erfahrung erworbenen Organisation des Zentralnervensystems abhängt, so fragt es sich nunmehr, wie weit reicht diese letztere, und was können wir im Gegensatz zu ihr als die ursprünglich gegebene Leistung des Sehorgans betrachten. Hier müssen wir nun wieder eine Überlegung vorausschicken, die ganz allgemeiner Natur ist und sich gleichmäßig auf die sensorische wie die motorische Seite des Geschehens im Zentralnervensystem bezieht. Wir müssen nämlich unterscheiden zwischen der in der Organisation des Zentralnervensystems gegebenen ursprünglichen Anlage und ihrer Ausbildung durch die Übung auf der motorischen, die Erfahrung auf der sensorischen Seite. Am sichersten und leichtesten ist die angeborene Anlage<sup>2)</sup> dann nachweisbar, wenn sie

1) Einige der oben geäußerten Ansichten sind übrigens, wie A. PICK (253a) bemerkt, in den Grundzügen auch schon von HUGHLINGS JACKSON ausgesprochen worden.

2) Mit diesem Ausdruck ist, wie aus dem Text hervorgeht, hier nicht gemeint, daß die Anlage schon bei der Geburt voll ausgebildet ist, sondern nur, daß sie im Zentralnervensystem von vornherein gegeben ist, sei es durch anatomische, sei es durch physiologische Einrichtungen. Dadurch erledigen sich die von manchen Autoren gegen das Wort »angeboren« erhobenen Einwände.

sich schon vor jeder Übung und Erfahrung am Neugeborenen äußert. Hierher gehören die Lokomotionsbewegungen bei den meisten Tieren. Es zweifelt wohl niemand daran, daß das Schreiten der Hühner, das Hüpfen der Sperlinge u. dgl. auf einer angeborenen Organisation des Zentralnervensystems dieser Tiere beruht. Anders wird es, wenn die betreffenden Bewegungen wegen der nachträglichen Reifung des Gehirns erst im Laufe der postfetalen Entwicklung nach der Geburt zum Vorschein kommt, wie beim Menschen. Dann ist oft nicht mehr mit voller Bestimmtheit zu unterscheiden, was davon auf der Ausbildung einer angeborenen Anlage, was auf bloßer Übung beruht. Auch die Möglichkeit, die Bewegungsformen durch Übung abzuändern, liefert keinerlei sicheres Kriterium für diese Unterscheidung. Das Laufen der Pferde im Schritt beruht doch gewiß auf einer angeborenen Anlage, und dennoch kann man die Pferde durch Dressur zum Paßgang erziehen. Auch der Wegfall bestimmter Bewegungserscheinungen infolge von Erkrankung oder Verletzung des Zentralnervensystems kann nichts darüber aussagen, ob die verlorene Erscheinung angeboren oder erworben ist. Wenn infolge des Ausbleibens der regulatorischen Antagonistenspannung bei *Tabes dorsalis* der Gang ausfahrend und schleudernd wird, so liegt das am Wegfall von Rückenmarksreflexen, die sicherlich nicht durch Übung erworben, sondern in der ursprünglichen Anlage des Zentralnervensystems begründet sind.

Diese Überlegungen, die im Gebiete der Motilität wohl nicht bestritten werden können, müssen wir nun auch auf das sensorische Gebiet übertragen. Daß die postfetale Entwicklung des Sehens an sich nichts gegen die angeborene Anlage beweist, hat in diesem Falle keine praktische Bedeutung, weil wir ja über die allmähliche Entwicklung des Gesichtssinns beim Kind nur auf ganz wenige und für unser Thema wenig bedeutsame Beobachtungen beschränkt sind, wie solche oben S. 94 und 136 ff. berichtet wurden und später (S. 190) noch zur Sprache kommen. Dagegen haben wir beim Gesichtssinn die wohl einzig dastehende Möglichkeit, am Erwachsenen mit voll ausgereiftem Gehirn die Ausbildung des Gesichtssinns für sich zu studieren, nämlich an mit Erfolg operierten Blindgeborenen<sup>1)</sup>. Diese Personen besitzen freilich schon eine Anzahl räumlicher Kenntnisse. Sie kennen von ihren kinästhetischen Erfahrungen her den haptischen Raum, sie besitzen auf diesem Gebiete die Fähigkeit zum Wiedererkennen von Gestalten (den sogenannten stereognostischen Sinn), und sie haben darüber hinaus

---

1) Die ältere Literatur über diese Fälle ist in den Abhandlungen von v. HIPPEL (247), UHTHOFF (263) und SCHLODTMANN (255) zusammengestellt. Sehr ausführliche Zitate bietet HELMHOLTZ (I, S. 586 ff.), umfassende Übersichten STUMPF (259) und besonders BOURDON (3, S. 362 ff.). Neuere Mitteilungen rühren her von FRANCKE (244a), LATTA (249), LE PRINCE (250), MINER (253), SEYDEL (257) und UHTHOFF (264).

abstrakte Raumvorstellungen und die Fähigkeit zur Orientierung im Raum erworben. Dies muß man natürlich bei der theoretischen Verwertung der Beobachtungen sehr wohl beachten, und wir werden festzustellen versuchen, inwieweit diese Erfahrungen vom haptischen Gebiet auf die Verwertung der Gesichtseindrücke rückwirken.

Was sieht nun der operierte Blindgeborene, sobald er zum erstenmal die Augen aufschlägt, vor sich? Es wird von den Autoren wenig betont, geht aber aus den Beschreibungen mit voller Sicherheit hervor, daß die Patienten sogleich das Nebeneinander der Farbflecke richtig lokalisieren. Der operierte Blindgeborene besitzt sogleich, wenn er die Augen aufschlägt, das, was wir oben als die relativen Raumwerte der Netzhaut nach Höhe und Breite gekennzeichnet haben, er lokalisiert im ebenen Sehfeld nach Abstand und Richtung wenigstens im Groben sofort so, wie der dauernd Sehende. Insbesondere sieht er ferner die Dinge nicht etwa umgekehrt, wie sie auf der Netzhaut abgebildet werden, sondern auch in der absoluten Lokalisation nach Höhe und Breite richtig. Man könnte darin einen schlagenden Beweis für die angeborene Anlage mindestens der relativen Lokalisation nach Höhe und Breite erblicken, wenn nicht sogleich ein wichtiger Einwand gemacht werden müßte. Sämtliche operierte Blindgeborene besaßen nämlich schon vor der Operation eine mehr oder weniger deutliche Lichtempfindung, und sie konnten auch die Richtung, aus der das Licht herkam, bis zu einem gewissen Grade erkennen. Sie konnten also je nach der Verteilung der diffusen Belichtung über größere Netzhautpartien und ihrer Änderung bei Bewegungen der Augen Schlüsse auf die Lage des Lichts gegenüber ihren Augen und ihrem Körper ziehen. Zwar gehören solche Beobachtungen in das Gebiet der absoluten Lokalisation hinein, aber es ist von vornherein denkbar, und die Theorie der »komplexen Lokalzeichen« z. B. nimmt das auch an, daß sich aus derartigen Daten über die absolute Lokalisation die relative im Laufe der Erfahrung allmählich entwickle. Nun muß man freilich sagen, daß von einer Entwicklung der relativen Lokalisation beim operierten Blindgeborenen nichts zu merken ist, die relative Lokalisation ist sofort in einer Ausbildung fertig da, wie es die meist ganz diffusen Lichtempfindungen, die die Patienten vorher besaßen, und die irgendwie genauere Ortsbestimmungen gänzlich ausschlossen, nicht im Entferntesten erwarten ließen. Immerhin sind das doch sozusagen unreine Versuche, und es wäre wünschenswert, ein Mittel zu einwandfreieren Beobachtungen ausfindig zu machen. Als solches schlug DUFOUR vor, an Menschen, die zwar noch eine erregungsfähige Netzhaut besitzen, aber die Richtung des Lichtes nicht zu erkennen vermögen, die Lokalisation des Druckphosphens zu studieren. Er selbst fand in einem solchen Falle, wie ich dem Referat (238a) entnehme, daß die Person die Druckphosphene »durchaus nicht korrekt in die Außenwelt projizierten«. Aber sie »projizierten« sie doch nach



außen<sup>1)</sup>, und neuere Untersuchungen von SCHLODTMANN (255) geben auch Aufschluß darüber, in welcher Weise dies geschieht. SCHLODTMANN berichtet, daß bei zirkumskriptem Druck auf den Bulbus von allen drei von ihm untersuchten Blinden, »die vorher niemals über den Ort eines empfundenen Lichteffektes etwas aussagen konnten, übereinstimmend und ohne Zögern stets die der Druckstelle gegenüberliegende Seite als der Ort der Lichtquelle angegeben wurde«. Bei Druck unten am Bulbus wurde ein begrenzter Lichtschein oben, bei Druck an der temporalen Bulbushälfte ein nasalwärts gelegener Lichtschein wahrgenommen. »Wurde der Druck gleitend, z. B. von oben nach der temporalen Seite geführt, so wurde eine entsprechend gegensinnige Bewegung des Lichtscheines von unten nach der Nase hin angegeben«. Wenn diese Beobachtungen ganz einwandfrei sind, und nach den Angaben von SCHLODTMANN scheint die Zuverlässigkeit der Aussagen doch außer Zweifel zu stehen, so wäre durch sie in der Tat der direkte Beweis geliefert, daß nicht bloß die relative, sondern auch die absolute Lokalisation nach rechts, links, oben und unten mindestens in den groben Grundzügen schon vor jeder Erfahrung gegeben ist. Der Einwand von WUNDT (15a, Bd. 2, S. 716), daß die Blinden noch normale Augenbewegungen besaßen, und durch diese die optische Lokalisation hätten erwerben können, ist nicht stichhaltig, denn der Erwerb einer optischen Lokalisation durch die Augenbewegungen setzt doch voraus, daß sich bei den Augenbewegungen die Abbildung auf der Netzhaut verschiebt, und daß durch die Erfahrung diese beiden gleichzeitigen Veränderungen miteinander verknüpft werden. Wenn nun nach den Angaben von SCHLODTMANN die Patienten bloß noch den Unterschied von Hell und Dunkel erkannten, den diffusen Lichtschein bei Belichtung des Auges aber nicht zu lokalisieren vermochten, so konnte sich doch auch keine Verknüpfung der Augenbewegung mit bestimmten Lokalzeichen der Netzhaut ausbilden.

Das, was dem operierten Blindgeborenen zu Anfang noch fehlt, ist die geistige Verwertung des Gesehenen und in den Grundzügen richtig Lokalisierten. Diese beginnt allerdings schon bei solchen Vorgängen, die wir gewöhnlich noch als ganz einfache und elementare ansehen. So ergaben eingehende Untersuchungen von UTHOFF (263, 264), daß schon das Augenmaß operierter Blindgeborener anfangs sehr schlecht war und sich erst allmählich durch Übung bessern ließ, bis es schließlich dem normalen ungefähr gleichkam. Es kommt eben schon beim bloßen Vergleich von

---

1) ALBERTOTTI (235) berichtet über einen Fall von kongenitalem Star, bei dem nicht einmal dies der Fall sein sollte, denn der Patient behauptete, das Druckphosphen an der Stelle zu sehen, an der der Finger die Augenlider berührte. Da er trotzdem die Lage heller Sterne richtig anzugeben vermochte, ist die Aussage des Patienten als ganz unzuverlässig zu betrachten (vgl. UTHOFF, 263).

Längen nicht allein auf den reinen, sozusagen rohen Ortsunterschied an, sondern auf einen geistigen Prozeß, dessen Handhabung eigens erlernt werden muß. Daß dies in dem Falle von UHTHOFF so besonders schwer war und solange dauerte, lag übrigens wohl, wie schon BOURDON vermutet, an den geringen geistigen Fähigkeiten des Patienten<sup>1)</sup>. Wenigstens scheint dies aus dem Vergleich mit einem Falle von DUFOUR (238) hervorzugehen, der uns insbesondere einen Einblick in den Vorgang beim Erlernen des Erkennens einfacher Formen gestattet.

Der Patient von DUFOUR hatte vor der Operation nur Hell und Dunkel, bis zu einem gewissen Grade auch Farben unterscheiden können, jedenfalls aber niemals den Gesichtseindruck einer Form, einer Linie oder einer Kontur gehabt. Beim zweiten Sehversuch wurde ihm eine Taschenuhr gezeigt, er kann auf die Frage, ob der Gegenstand rund oder viereckig sei, nicht antworten. Beim dritten Versuch am nächsten Tage ist dies zunächst ebenso, sobald aber der Patient die Uhr betastet, sagt er sofort: »Das ist rund, das ist eine Uhr.« Darauf werden ihm zwei verschieden lange Rechtecke aus weißem Karton gezeigt. Frage: »Sind sie gleich?« Antwort, zögernd: »Nein.« »Ist das eine länger als das andere?« Keine Antwort. »Welches ist das längere?« Das weiß der Patient nicht zu sagen. Sodann werden ihm zwei weiße Papiere vorgelegt, das eine ist kreisförmig, das andere quadratisch zugeschnitten. »Sehen Sie einen Unterschied zwischen diesen Papieren?« »Ja.« »Was für einen?« Keine Antwort. »Nun, das eine ist rund, das andere viereckig. Welches ist das Viereckige?« Das kann der Patient nicht sagen. Darauf darf er die Papiere betasten, und sobald er die eine Ecke des Vierecks fühlt, erklärt er sogleich, das sei das viereckige Papier. Dann erkennt er durch Betasten auch das runde, vergleicht sehr genau die beiden Gesichtsbilder miteinander, und von diesem Augenblick an ist er stets imstande, einen runden Gegenstand bloß mit Hilfe des Gesichts zu erkennen, während er andere Gegenstände, die er nicht betasten konnte, z. B. eine Schere, auch in den folgenden Tagen noch nicht erkennt. Aber auch an diesem Objekt wiederholt sich dann derselbe Vorgang: Nach dem Betasten der Schere erkennt er bloß auf Grund des optischen Bildes auch eine andere von geringerer Größe.

Die hier möglichst nach den Worten des Originals wiedergegebene Beschreibung zeigt in schlagender Weise, daß es dem operierten Blindgeborenen nicht an dem Unterscheidungsvermögen der verschiedenen optischen Bilder selbst fehlte, wohl aber an dem Vermögen, diese ihm sichtbaren Unterschiede zu beschreiben. Er verstand nicht, was lang und kurz, rund und eckig auf optischem Gebiete bedeutet, man konnte ihm das aber beibringen, wenn man ihm durch Vergleich des optischen Bildes mit dem Tastbild die ersteren auf das ihm wohlbekannteste letztere zurückführte. Von dem Zeitpunkt ab, als diese Zurückführung

1) Vielleicht spielt bei der anfänglichen Unbeholfenheit operierter Blindgeborener auch der von MACH (40 a, S. 144, Anm. 2) betonte Umstand mit, daß bei dauerndem Fehlen optischer Reize in früher Kindheit die Entwicklung der Sehsphäre mangelhaft bleibt (vgl. auch die Versuche von BERGER, 236).

gelungen war, vermochte er auch den betreffenden optischen Eindruck richtig zu benennen. Daraus geht klar hervor, daß ihm allerdings die Kenntnis der haptischen Form zur Verknüpfung des optischen Eindruckes mit dem Begriff des Runden, Eckigen usf. verholpen hat, aber ebenso klar ist, daß der Patient einen optischen Unterschied zwischen dem Runden, Eckigen usf. doch schon vorher sah, was er ja auf Befragen auch direkt angab<sup>1)</sup>. Der Patient von FRANZ (242), ein hochgebildeter junger Mann, war sogar imstande, sobald er überhaupt deutlich sah, einen Kreis, ein Quadrat und ein Dreieck nicht nur sofort voneinander zu unterscheiden, sondern sie auch richtig zu benennen. Auch erkannte er sogleich den Unterschied zwischen einem horizontalen und einem vertikalen Strich und bezeichnete sie, allerdings mit anfänglicher Unsicherheit, richtig.

Um den Fehler, der durch die Unkenntnis der Benennung hereingebracht wird, auszuschalten, wäre es das richtigste, die Versuche über das Formensehen beim operierten Blindgeborenen so anzustellen, wie bei der Untersuchung eines Farbenblinden, daß man ihn nämlich nicht die Formen beschreiben läßt, sondern ihm ähnlich, wie bei der HOLMGRENSchen Wollprobe, eine große Zahl von Formen vorlegt und ihn auffordert, anzugeben, welche einander am ähnlichsten, bzw. gleich sind. Auf diese Weise würde man auch objektive Auskunft über die Feinheit des Formensinns beim operierten Blindgeborenen erhalten können. Solange solche Versuchsreihen nicht vorliegen, sind wir darüber bloß auf Vermutungen angewiesen. Wir können aber nach Analogie mit der allmählichen Entwicklung der Größenschätzung im Falle von UTHOFF annehmen, daß auch das Unterscheidungsvermögen von Formen im Anfang nur gering sein wird und sich erst allmählich zur vollen Feinheit entwickeln dürfte. Es würde dies dem allgemeinen Satz von HERING (7, S. 332) entsprechen, daß ein Sensorium selbst sehr differente Empfindungen um so weniger voneinander zu unterscheiden vermag, je ungebildeter es ist.

Das Formensehen bildet den Übergang zu den Gestaltwahrnehmungen, die wir schon im Vorhergehenden als ein Ergebnis der individuellen Erfahrung hingestellt hatten. Es ist daher vollkommen begreiflich, daß dem operierten Blindgeborenen die optische Gestaltwahrnehmung anfangs gänzlich fehlt. Dieser Mangel ist die auffallendste und interessanteste Erscheinung am operierten Blindgeborenen, und die Beschreibungen der Fälle bieten dafür zahlreiche und mannigfaltige Beispiele. Die Patienten erkennen, kurz gesagt, mit dem Gesicht zunächst keinerlei Gegenstände, die optischen Eindrücke bilden ein unzusammenhängendes Nebeneinander. Intelligente Patienten finden auch richtig heraus, woran es ihnen fehlt, am Verständnis, dem Sinne

---

<sup>1)</sup> Die Aussagen der Fälle von WARE und HOME sind in dieser Beziehung nicht recht zuverlässig (vgl. BOURDON, 3, S. 384).

des Gesehenen, und da ihnen von anderen Sinnesgebieten her die geistige Verarbeitung der Sinneseindrücke geläufig ist, so stellt sich ihnen dieser Ausfall als ein geistiger Mangel dar (vgl. das Zitat bei HELMHOLTZ, I, S. 589). Aber auch hier genügt der eindringliche Vergleich der Gesichtseindrücke mit dem Tastbild des Gegenstandes oder mündliche Belehrung, um das optische Gesamtbild desselben als solches einheitlich zu erfassen und soweit dem Gedächtnis einzuprägen, daß es später wiedererkannt wird. In dieser Beziehung verleiht aber die vorherige Ausbildung des stereognostischen Sinnes dem Blindgeborenen einen gewaltigen Vorsprung gegenüber einem völlig ungeübten Sensorium. Denn es ist von vorneherein nicht daran zu zweifeln, daß der operierte Blindgeborene, wenn er vom Tastsinne her die Übung in der Zusammenfassung der Einzelheiten zum Gesamtbilde noch nicht besäße, erst durch oft wiederholte Vergleiche zur richtigen Deutung des je nach seiner augenblicklichen Lage variablen Gesamtbildes eines Gegenstandes gelangen würde. Reste von solchen Schwierigkeiten finden sich ja auch bei den Patienten immer noch vor, so z. B. in der Mühe, die ihnen die Verkleinerung des Bildes oder eine Änderung seiner Farbe oder Lage für das Wiedererkennen eines Gegenstandes macht (vgl. UHTHOFF, 263) <sup>1)</sup>.

Am instruktivsten für die Beurteilung dieser Verhältnisse sind Versuche von UHTHOFF (263), der die Fähigkeit seines (7jährigen) operierten Blindgeborenen, Gegenstände wiederzuerkennen und richtig zu benennen, mit der eines 4 $\frac{1}{2}$ -jährigen normalen Kindes verglich. Beiden wurden zunächst vier Gegenstände vorgewiesen, deren Namen ihnen wiederholt genannt und deren Verwendung ihnen mehrmals gezeigt wurde, wobei sie die Gegenstände auch betasten durften. Beide Versuchspersonen begriffen die Bedeutung der Gegenstände ungefähr gleichzeitig, die Benennung derselben wurde jedoch vom operierten Blindgeborenen erheblich rascher erlernt, als vom Kinde. In einer zweiten Versuchsreihe wurde verglichen, wie rasch beide Versuchspersonen Gegenstände (natürlich andere, als im ersten Versuch) bloß nach dem Gesicht, ohne Kenntnis von ihrer Bedeutung und Verwendung und ohne Vergleich mit dem Tastbild wiedererkannten. Hierbei lernte nun das Kind die Gegenstände viel später wiederzuerkennen und zu benennen, als der operierte Blindgeborene, der die Namen der Gegenstände lediglich nach dem Gesichtsbilde ungefähr ebenso rasch erlernte, wie nach dem Vergleich mit dem Tastbilde. Daraus geht hervor, daß die Zurückführung auf das Tastbild nicht der einzige Nutzen war, den dem operierten Blindgeborenen seine früheren haptischen Erfahrungen darboten, daß er vielmehr tatsächlich durch die Übung im »stereognostischen Sinn« über-

1) Aus dem Gesagten ergibt sich auch die Antwort auf das berühmte Problem, das MOLYNEUX mit LOCKE diskutierte (250b, Bd. 2, Kap. 9, § 8), ob der operierte Blindgeborene durch den Gesichtssinn allein eine Kugel von einem Würfel unterscheiden würde.

haupt in der Fähigkeit, Sinneseindrücke zu Gestaltwahrnehmungen zu verwerten, gewandter geworden war. Allerdings hafteten die optischen Erinnerungsbilder allein für sich nicht so fest im Gedächtnis, wie nach ihrer Kombination mit dem Tastbild. Der Patient vergaß in der zweiten Versuchsreihe die Namen viel leichter wieder, als in der ersten.

Die Leichtigkeit, mit der der operierte Blindgeborene in gleicher Weise sowohl die verschiedenen Formen zu beschreiben erlernt, als auch zum Verständnis komplexer Gestalten gelangt, könnte den Anschein erwecken, als ob kein besonderer Unterschied zwischen den Vorgängen beim Formensehen und den eigentlichen Gestaltwahrnehmungen bestehe. Dieser Schluß wäre aber irrig. Vielmehr wird, wie schon bemerkt, der Unterschied der Form sofort gesehen, die Gestaltwahrnehmung hingegen fehlt zunächst. Die Analogie zwischen beiden besteht nur darin, daß der operierte Blindgeborene den Formunterschied, den er wohl sieht, zuerst ebensowenig versteht<sup>1)</sup> und zu benennen vermag, wie die aus mehreren Einzelformen zusammengesetzte Gestalt. Die Zurückführung auf das Tastbild bzw. die mündliche Belehrung liefert ihm dort den noch fehlenden Begriff, hier das die Einzelpfindungen einigende geistige Band. Das Formensehen an sich aber ist, wie daraus hervorgeht, schon in der ursprünglichen Organisation des Gesichtssinns so fest begründet, daß die Erfahrung nur noch die Verknüpfung mit dem Begriff und der Benennung hinzuzufügen braucht, während sie bei der Gestaltwahrnehmung auch noch die Zusammenfassung der zueinander gehörigen Einzelempfindungen zum Ganzen, die nur aus der Erfahrung erlernt werden kann, zu leisten hat. Sobald diese allerdings einmal gründlich eingeübt ist, geht sie auch unbewußt vor sich, sie ist dann unter die erworbenen Organisationen des Zentralnervensystems eingereiht.

Überblicken wir noch einmal kurz den Inhalt dieses Kapitels, so erhalten wir, wenn wir von der relativen Lokalisation isolierter Objekte ausgehen, über den Richtungs- und Größenvergleich und das Formensehen bis zu den Gestaltwahrnehmungen hin eine Reihenfolge der geistigen Verwertung der Gesichtseindrücke, die stufenweise vom Einfacheren zum Komplizierteren fortschreitet. Mit den Gestaltwahrnehmungen ist dann auf dem Gebiete der relativen Lokalisation ein vorläufiges Ende der Reihe gegeben<sup>2)</sup>, aber wie wir später bei der Besprechung der absoluten Lokalisation sehen

---

1) Es ist wahrscheinlich, daß auch beim Formensehen, ähnlich wie beim Augenmaß, zwei Prozesse übereinander gestaffelt sind. Beim Formensehen wäre es zunächst ein rein unbewußter Vorgang, der unter die Wechselwirkungen der somatischen Sehfeldstellen einzureihen ist, und ein darüber stehendes Verständnis der Form. Eine ähnliche Staffelung nimmt insbesondere POPPELREUTER (11a, S. 75) an.

2) Allerdings nur soweit, als es sich um die bloße Raumwahrnehmung handelt. Die weitere geistige Verwertung des Gesehenen, das Verständnis des Gelesenen, die Auffassung des Sinnes einer bildlich dargestellten Handlung usf. geht natürlich noch darüber hinaus.

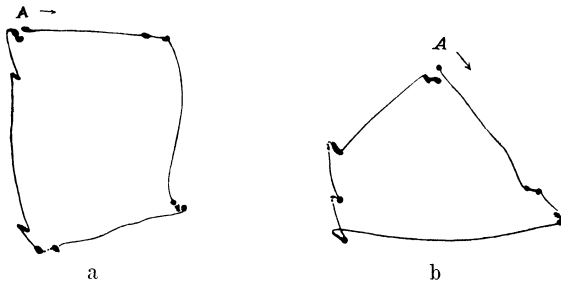
werden, durchaus noch nicht der Gipfel der Entwicklung des optischen Raumsinnes erreicht.

Soweit in den vorhergehenden Erörterungen von dem Einfluß der Erfahrung und Übung die Rede war, handelte es sich immer um die Unterscheidung oder gegenseitige Verknüpfung ursprünglich gegebener räumlicher Einzeldaten, nicht aber um das Hereinspielen fremder, nicht im optischen Eindruck selbst enthaltener Sinnesempfindungen. Wir besitzen im Besonderen keinerlei Beweis dafür, daß speziell die kinästhetischen Eindrücke der Augenbewegungen an sich bei der Ausbildung der relativen optischen Lokalisation beteiligt sind. Allerdings ermöglichen erst die Augenbewegungen die volle Ausnutzung des Lokalisationsvermögens, weil sie eine genaue Durchmusterung des Sehfeldes mittels des direkten Sehens gestatten. Ferner kommt ihnen eine hervorragende Bedeutung für die absolute Lokalisation zu — was oft genug mit der relativen Lokalisation verwechselt wird — aber auch dies beruht wiederum nicht auf kinästhetischen Eindrücken von den Muskeln, oder wie BOURDON will, von den Augenlidern her, sondern wie wir später ausführlich besprechen werden, auf dem Zusammenhange zwischen dem bewußt gegebenen Innervationsimpuls und der entsprechenden Verschiebung der Netzhautbilder.

Es ist freilich wiederholt der Versuch gemacht worden, auch die relative optische Lokalisation aus dem Zusammenwirken von Augenbewegungen und der Verschiebung der Netzhautbilder herzuleiten. Ein solcher, wegen seiner geistreichen Anwendung auf das indirekte Sehen zunächst sehr ansprechender Versuch, rührt von HELMHOLTZ her. HELMHOLTZ sprach (I, S. 548 ff.) die Meinung aus, die Wahrnehmung der geraden Richtung und ihre Unterscheidung von gekrümmten Konturen komme dadurch zustande, daß die Teile einer in der Primärstellung durch den Blickpunkt verlaufenden geraden Linie, wenn wir sie mit dem Blick verfolgen, gemäß dem LISTINGSchen Gesetz stets über die gleichen Netzhautstellen hinwegwandern. Man brauche deshalb lediglich anzunehmen, daß sich die von den einzelnen Netzhautelementen vermittelten Empfindungen nur irgendwie — zunächst noch nicht räumlich — voneinander unterscheiden. Dann würden wir rein aus der Erfahrung heraus, daß sich die Teile einer geraden Linie bei einer Augenbewegung, die durch die Primärstellung hindurchgeht, in sich selbst und nicht seitlich verschieben, den Geradheitseindruck erhalten. Gegen diese Auffassung ist in erster Linie der grundsätzliche Einwand erhoben worden (WUNDT, 45 a, Bd. 2, S. 712; v. KRIES in HELMHOLTZ III, Bd. 3, S. 522 ff.), daß nicht einzusehen ist, wie aus nichträumlichen Merkmalen der Gesichtsempfindungen durch noch so häufige Wiederholung und Vergleichung ein neues psychisches Phänomen von so spezifischer Eigenart, wie es die räumliche Bestimmung der Gesichtsempfindungen ist, entstehen sollte. Aber auch, wenn wir von derartigen allgemeinen Erwägungen

absehen, so sprechen direkt gegen diese Annahme die Beobachtungen an operierten Blindgeborenen, die vorher, wie der Fall von DUFOUR, nie eine Kontur gesehen hatten und trotzdem gleich in den ersten Sehversuchen eine gerade von einer Kreiskontur unterscheiden können. Endlich sind wir durch neuere, insbesondere photographische Untersuchungen heute weit aus besser über den wirklichen Ablauf der Augenbewegungen unterrichtet, als es zur Zeit HELMHOLTZ' der Fall war. Schon aus den oben S. 90 mitgeteilten Beobachtungen von SUNDBERG (262) über die Ziel- und Korrektivbewegungen geht hervor, daß wir mit dem Blick einer Kontur nicht genau nachfolgen können. Direkt aber beweisen dies die photographischen Aufnahmen der Bewegung. Fig. 66 a zeigt die von STRATTON (258) photographisch aufgenommene Bewegungsbahn des Auges beim Verfolgen der Kontur eines stehenden Rechtecks. Man erkennt die vorübergehenden Ruhelagen des Auges in Form von Punkten, die durch die kurzen Korrektiv-

Fig. 66.



bewegungen und die Stellungsschwankungen des Auges während der Fixation, sowie durch die längeren Bahnen der Zielbewegungen miteinander verbunden sind. Daraus ist ganz deutlich ersichtlich, daß die Zielbewegungen keineswegs streng den Konturen folgen, sondern sie höchstens ganz andeutungsweise wiedergeben. Noch viel stärker tritt die Abweichung der Bewegungsbahn des Auges von der betrachteten Kontur beim Kreise hervor (siehe Fig. 66 b). Hier sind beide einander ganz unähnlich. Demnach wird die von HELMHOLTZ vorausgesetzte Verschiebung der Teilstücke der geraden Linie in sich selbst nur ganz ausnahmsweise eine Strecke weit vorkommen, selbst wenn man der Linie ganz genau mit dem Blicke zu folgen glaubt. Niemals aber wird man durch eine mit derart groben Fehlern behaftete Ausmessung des Gesichtsfeldes eine Geradheitsschwelle erklären können, die bis auf 20" und weniger heruntergeht.

Ein zweiter Versuch, den Raumsinn des Auges aus der Mitwirkung von Augenbewegungen abzuleiten, geht auf LOTZE zurück. Nach LOTZE (254; vgl. auch 259, S. 320) sind die Nervenregungen, welche die Farben-

empfindungen hervorrufen, begleitet von einem anderen Nervenprozeß, der je nach der Lage der gereizten Nervenendigungen verschieden ist. Dieser Nervenprozeß bewirke einen zur Farbenempfindung hinzukommenden Eindruck, verleihe derselben dadurch ein Merkzeichen, das »Lokalzeichen«, das an sich noch nichts Räumliches enthalte, aber die Seele zur Lokalisation veranlasse. Das Lokalzeichen entstehe aus den Spannungsempfindungen, welche die Augenbewegungen begleiten, die nötig sind, um das Bild des zunächst exzentrisch abgebildeten Lichtpunktes auf die Stelle des direkten Sehens zu bringen. Wird diese Bewegung häufig wiederholt, so verbinden sich die Spannungsempfindungen der Augenmuskeln bei derselben so fest mit der von der betreffenden exzentrischen Netzhautstelle gelieferten Empfindung, daß sie auch dann reproduziert werden, wenn die Bewegung gar nicht wirklich ausgeführt wird. Es dient dann die bloße Bewegungstendenz als Lokalzeichen der betreffenden exzentrischen Netzhautstelle.

LOTZES Theorie ist von WUNDT zur Theorie der »komplexen Lokalzeichen« weiter ausgebildet worden. Nach WUNDT (15, S. 164 ff.; 144; 45 a, Bd. 2, S. 716 ff.) weisen die Empfindungen von zwei verschiedenen Stellen der Netzhaut auch dann, wenn der äußere Reiz genau gleich ist, gewisse qualitative Unterschiede auf, die nicht räumlicher Natur sind, die aber genügen, die betreffenden Empfindungen um so deutlicher voneinander zu unterscheiden, je weiter die beiden Netzhautstellen voneinander entfernt sind. Das ergebe ein von der Netzhaut herrührendes Lokalzeichen. Mit ihm verschmelzen aber die »Muskel-« oder »Spannungsempfindungen«, die bei den reflexmäßigen Einstellbewegungen des Auges auftreten, durch welche die zuerst indirekt gesehenen Punkte nacheinander auf die Stelle des direkten Sehens gebracht werden zu einem einheitlichen Komplex, eben dem komplexen Lokalzeichen. Durch diesen Verschmelzungsprozeß entwickle sich aus den qualitativen Unterschieden der Netzhautbilder und aus der Intensitätsabstufung der Spannungsempfindungen etwas Neues, das »in dem sinnlichen Material, das zu seiner Ausbildung verwendet wurde, nicht unmittelbar enthalten ist«, nämlich die Wahrnehmungen des Raumes.

Grundsätzlich ist zweifellos auch gegen diese Hypothese von WUNDT derselbe Einwand zu erheben, wie gegen alle Annahmen, welche die Entstehung der Raumempfindung aus nicht räumlichen Elementen dartun wollen, daß man nicht recht versteht, wie der psychisch eigenartige Prozeß der Raumempfindung aus gänzlich andersartigen Vorgängen, in denen er nicht enthalten ist, neu entstehen soll. Der Terminus »Verschmelzung« ist eben doch nur eine Umschreibung, und liefert keine Erklärung für eine solche Neubildung. Aber selbst wenn wir uns darüber hinwegsetzen, so ist gegen WUNDTs Hypothese ferner einzuwenden, daß die von ihm angenommenen qualitativen Unterschiede der Erregung in den verschiedenen Sehfelddele-



menten höchstens, wie die von WUNDT als Beispiel herangezogene sogenannte »Farbenblindheit« der exzentrischen Netzhautpartien, für ganz weit voneinander entfernte Netzhautstellen zutreffen. Innerhalb kleiner Bezirke oder gar von einem Empfangselement zum andern sind solche Unterschiede nicht nachweisbar. Auch die Voraussetzung, daß uns Spannungsempfindungen, seien es nun Muskelempfindungen oder Spannungsgefühle am Bulbus oder Empfindungen von den Lidern usf., eine irgendwie genauere Kenntnis der Stellung und Bewegung des Bulbus vermitteln, ist ganz unhaltbar. Wir haben die Beweise dafür schon oben S. 86 ff. angeführt. Nicht irgendein »Spannungsbild« oder »Muskelempfindungen« könnten also mit dem Lokalzeichen der Netzhaut verschmelzen, sondern man dürfte höchstens annehmen, daß es die Kenntnis, das »Vorwissen« der bewußten Innervation sei, die wir erteilen müssen, um das Bild von der exzentrischen Netzhautstelle auf die Stelle des direkten Sehens zu bringen. Von der Stärke dieses Innervationsimpulses müßte dann auch die relative Lokalisation des indirekt gesehenen Punktes gegenüber dem direkt gesehenen abhängen. Je größer die Innervationsstärke wäre, die aufgewendet werden muß, um zur Fixation des indirekt gesehenen Punktes überzugehen, desto größer müßte uns der Abstand der beiden Punkte erscheinen. So hat WUNDT die konstanten Täuschungen über die Streckenlängen nach den verschiedenen Richtungen des Gesichtsfeldes hin, die wir im folgenden Abschnitt besprechen, auf die verschiedene Beweglichkeit der Augen nach den verschiedenen Richtungen hin zurückgeführt. Wir werden aber sehen, daß diese Annahme durch die darüber bekannten Tatsachen direkt widerlegt wird, daß vielmehr die relative Lokalisation — das Augenmaß — wie wir schon oben S. 89 auseinandergesetzt haben, vom Erfolg der Augenmuskelninnervation unabhängig ist, und daher die WUNDTsche Theorie der komplexen Lokalzeichen auch in dieser modifizierten Form nicht aufrecht erhalten werden kann<sup>1)</sup>.

Mit einigen Worten sei schließlich darauf hingewiesen, daß man häufig versucht hat, auf der Grundlage des Entwicklungsgedankens eine gewisse Versöhnung zwischen den einander entgegenstehenden Prinzipien des »Nativismus« und des »Empirismus« anzubahnen. Gibt man nämlich die Möglichkeit einer Vererbung erworbener Eigenschaften zu, so kann man ja die dem Individuum angeborenen Anlagen als im Laufe der früheren Generationen erworbene Fähigkeiten betrachten, indem sich die im Einzelleben erworbenen Organisationen des Zentralnervensystems durch fortwährenden gleichartigen Gebrauch schließlich immer fester und fester einprägen. In diesem

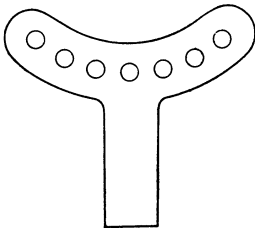
1) Man vgl. zu dieser Diskussion in einigen Punkten noch LIPPS (250 a) und WIRTH (264 a). Bezüglich der zahlreichen weiteren Hypothesen und ihrer Modifikationen, die nur noch historisches Interesse haben, siehe die geschichtlichen Überblicks bei HELMHOLTZ (I, S. 593 ff.), STUMPF (259), WUNDT (45 a, Bd. II, S. 729 ff.), FRÖBES (6, S. 271 ff.), TSCHERMAK (12, S. 558).

Sinne haben sich denn auch eine ganze Reihe der bedeutendsten Forscher ausgesprochen, so DU BOIS-REIMOND (236 a), DONDERS (237 a), LIPPS (250 a) und HERING (245 a). Wie man sich diese allmähliche Ausbildung des Raumsinns von den primitiven Lebewesen ab im einzelnen denken soll, darüber lassen sich allerdings kaum irgendwie begründete Vermutungen aufstellen. Eine Entstehung des Raumsinns aus einem räumlichen Nichts ist doch auch hier nicht anzunehmen, und über die Art, wie ein solches primitives Lebewesen den Raum empfindet, können wir uns keine genügend begründete Vorstellung machen.

### 10. Die Verteilung der Raumwerte auf der Einzelnetzhauf.

Nachdem wir im Vorigen die Einflüsse kennen gelernt haben, welche die optische Lokalisation im ebenen Sehfeld abzuändern vermögen, können wir nunmehr an die Frage herangehen, inwieweit die durch solche Umstände unbeeinflusste relative optische Lokalisation in den verschiedenen Teilen des ebenen Sehfelds richtig ist. Um dies festzustellen, müssen wir, abgesehen von dem Ausschluß aller die Lokalisation modifizierenden Nebenumstände, auch noch ganz exakt die in der Einleitung angeführte Vorbedingung einhalten, daß wir die gesehenen auch wirklich in eine frontalparallele, zur Gesichtslinie senkrechte Ebene lokalisieren. Das untersuchte Auge muß also in fester Stellung eine gerade vor ihm auf einer frontalparallelen ebenen Fläche befindliche Marke fixieren. Das erfordert zunächst, daß der Kopf genügend festgehalten wird. Dies kann entweder — für

Fig. 67.



den vorliegenden Zweck allerdings nicht immer hinreichend genau — durch eine Kinnstütze, samt Stirnhalter erfolgen, wie sie ähnlich bei größeren Perimetern Verwendung finden. Besser und für alle genaueren Versuche unbedingt erforderlich ist ein sogenanntes »Beißbrettchen«. Das ist ein nach Fig. 67 geformtes Stück Blech, dessen gekrümmter und durchlöcherter Teil dick mit Siegelack oder mit der von den Zahnärzten benützten Stent-Masse überzogen wird. Diese Masse wird

in warmem Wasser erweicht, und dann beißt die Versuchsperson (vor dem Spiegel oder unter Leitung einer anderen Person) fest hinein. Der Abdruck (zur Erleichterung des Ablösens müssen die Zähne vorher eingefettet werden) dient dann, in einen passenden Halter eingespannt dazu, den Kopf beim jedesmaligen Einbeißen immer wieder in genau dieselbe Lage zu bringen. (Weiteres darüber bei HOFMANN, 8, S. 116.)

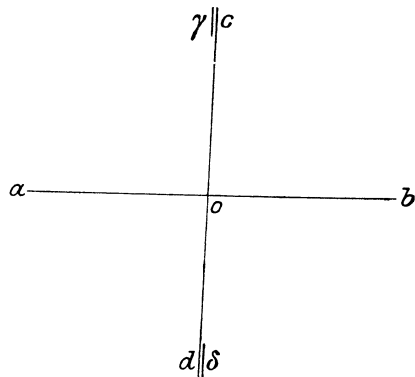
Daß die Ebene, in welcher der Fixationspunkt liegt, genau senkrecht zur Gesichtslinie steht, wird dadurch erzielt, daß man im Fixationspunkt eine zur ebenen Scheibe, auf der er sich befindet, senkrechte Nadel

anbringt (mit einem Winkel zu kontrollieren!) und sodann die Scheibe, bzw. das Auge solange verrückt, bis man die Nadel in totaler Verkürzung sieht. Durch passende Einstellung der Beleuchtung (von zwei Seiten her) hat man ferner zu verhindern, daß die Helligkeit der ebenen Fläche nicht etwa nach einer Seite hin gleichmäßig abnimmt, weil dadurch bei einäugiger Betrachtung leicht eine scheinbare Neigung der Fläche vorgetäuscht werden könnte. Auf einer derartig geneigten Fläche kann aber, wie wir oben S. 109 sahen, ein rechtwinkliges Kreuz schief erscheinen usf. Besteht die Möglichkeit, daß bei den Versuchen die scheinbare Richtung von Linien durch die Ränder der ebenen Fläche, auf die man hinblickt, beeinflußt wird, so muß man die Ränder durch ein kurzes Rohr aus mattschwarzer Pappe, an das man das Auge dicht heranbringt, abblenden. (Genaueres über solche Abblendungsvorrichtungen siehe bei HOFMANN, 8, S. 117.)

Untersuchen wir nun mit Hilfe einer derartigen Anordnung zunächst, welche objektiven Linien im ebenen Gesichtsfeld uns subjektiv als Gerade erscheinen, so stimmen die meisten Beobachter darin überein, daß ein durch den Fixationspunkt selbst hindurchlaufender langer gerader Strich auch wirklich gerade gesehen wird, gleichviel, in welcher Richtung er verläuft. Nur RECKLINGHAUSEN (285) und BERTHOLD (266) gaben an, daß sie die Schenkel eines rechtwinkligen Kreuzes, deren Schnittpunkt sie fixierten, gekrümmt sahen: RECKLINGHAUSEN bezog dies auf eine beträchtliche Schiefstellung der Hornhaut in seinem Auge, der zu einer Verzerrung der Abbildung langer gerader Striche Veranlassung gebe.

Eine zweite Frage ist die, ob zwei im Fixationspunkt senkrecht zueinander stehende Richtungen auch subjektiv (>scheinbar<) einen rechten Winkel miteinander bilden, oder nicht. Bei der Untersuchung dieser Frage hatten HELMHOLTZ (279) und VOLKMANN (13, S. 223 ff.) zunächst entdeckt, daß in ihren Augen die Richtung der scheinbaren Horizontalen und Vertikalen keinen rechten Winkel miteinander bildeten. Wenn HELMHOLTZ auf der Mitte einer gegebenen horizontalen Linie die scheinbare Vertikale errichtete, so wich sie gegenüber der wirklichen Vertikalen für beide Augen mit dem oberen Ende um etwa einen Grad nach der temporalen Seite hin ab. In Fig. 68 ist  $ab$  die gegebene Horizontale,  $cd$  die scheinbare Vertikale für das rechte Auge von HELMHOLTZ, dessen Gesichtslinie im Kreuzungspunkt  $o$

Fig. 68.



senkrecht auf der Papierfläche steht,  $\gamma\delta$  markieren die Enden der wirklichen Vertikalen. Bei VOLKMANN, der einen Strich abwechselnd horizontal und vertikal einstellte, ging die Abweichung des oberen Endes der Vertikalen ebenfalls in beiden Augen nach der temporalen Seite, u. z. betrug sie im linken Auge  $4,4^\circ$ , im rechten Auge  $0,6^\circ$ . HELMHOLTZ bezeichnete diese Abweichung, die nicht mit der später zu besprechenden, vom Muskelzuge abhängigen Rollung der Augen zu verwechseln ist, als Netzhautinkongruenz.

Diese konstante Abweichung des scheinbaren rechten Winkels vom wirklichen hängt aber, wie schon HELMHOLTZ fand, von der Lage der Schenkel ab. HELMHOLTZ sah den rechten Winkel mit dem rechten Auge wieder richtig, wenn er ihn so drehte, daß der eine Schenkel um etwa  $48^\circ$  mit dem oberen Ende nach links von der Vertikalen, mit dem linken Auge, wenn er um etwa ebensoviel nach rechts von der Vertikalen abwich. War dagegen die Stellung der beiden Winkelschenkel um  $45^\circ$  von der vorigen verschieden, so erreichte die »Netzhautinkongruenz« bei HELMHOLTZ ein Maximum von etwa  $2^\circ$ . Erweitert wurden diese Angaben durch FISCHER (275) und BIHLER (115). BIHLER legte quer über eine gerade Linie, der im frontalparallelen Gesichtsfeld eine beliebige Neigung erteilt werden konnte, ein Lineal so an, daß die Richtung seiner Kante mit der gegebenen Geraden einen rechten Winkel zu bilden schien. Nimmt man die vertikale Richtung der Geraden als Neigung von  $0^\circ$  zum Ausgang der Zählung, und rechnet man von ihr aus die Neigungswinkel im Sinne des Uhrzeigers als positiv, so erhielt BIHLER für sein rechtes Auge die in Tabelle 47 verzeichneten

Tabelle 47.

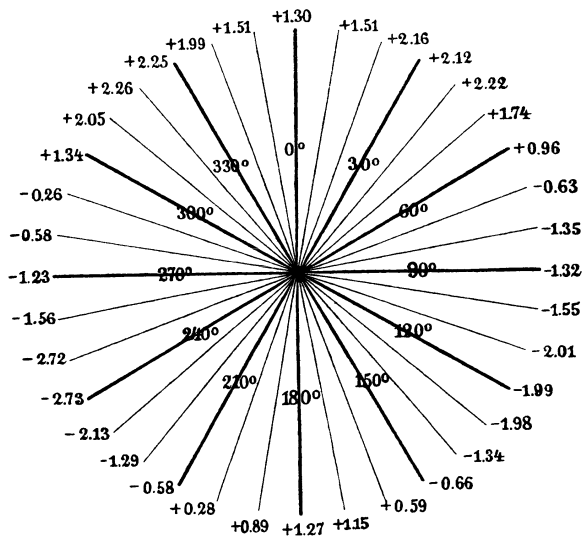
Neigung der gegebenen Geraden	Konstanter Fehler
$0^\circ$	$- 0^\circ 49'$
$30^\circ$	$+ 2^\circ 8'$
$45^\circ$	$+ 4^\circ 18'$
$70^\circ$	$+ 2^\circ 57'$
$90^\circ$	$+ 1^\circ 54'$
$110^\circ$	$- 0^\circ 42'$
$135^\circ$	$- 3^\circ 32'$
$150^\circ$	$- 2^\circ 28'$

Werte für den konstanten Fehler, der wieder als positiv bezeichnet wird, wenn die Abweichung der intendierten Senkrechten von der wirklichen im Sinne des Uhrzeigers erfolgt. Wie man sieht, ist bei BIHLER innerhalb des Umkreises von  $180^\circ$  eine periodische Abwechslung zwischen positiven und negativen Fehlern vorhanden. Das Maximum des Fehlers liegt bei ungefähr  $45^\circ$ , bzw.  $135^\circ$ , der Umschlag vom positiven zum negativen Wert,

bzw. umgekehrt, erfolgt um  $0^\circ$  herum und zwischen  $90^\circ$  und  $140^\circ$ . Eine ähnliche Periodik bestand auch im linken Auge.

In BIHLERS Versuchsanordnung wurde ein gestreckter Winkel von  $180^\circ$  durch eine gerade Linie scheinbar halbiert. Dieses Problem war aber schon vorher von FISCHER sehr genau studiert worden, und dabei hatte sich ebenfalls beim Umlauf um  $360^\circ$  eine charakteristische Periodik des konstanten Fehlers gefunden. Nehmen wir wie oben die vertikale Richtung zum Ausgang und rechnen von ihr aus die Winkel im Sinne des Uhrzeigers als positiv, so wird FISCHERS Ergebnis an seinem rechten Auge durch das Diagramm der Fig. 69 übersichtlich zusammengefaßt. Die am Ende der

Fig. 69.



vom Zentrum ausgehenden Radien angeschriebenen Zahlen geben in Prozenten die Größe des konstanten Fehlers an, den FISCHER beging, wenn der betreffende Radius die wirkliche Halbierungslinie eines gestreckten Winkels darstellte. Gesetzt den Fall, es wäre der gestreckte Winkel zu halbieren, der durch eine gerade Linie gegeben ist, deren oberes Ende um  $30^\circ$  im Sinne des Uhrzeigers von der Vertikalen abwich, so stellte FISCHER mit dem rechten Auge nicht die wirkliche Halbierungslinie  $120^\circ$  ein, sondern die scheinbare Halbierungslinie wich um  $4,99\%$  entgegengesetzt dem Sinne des Uhrzeigers von der wirklichen ab. Wie man sieht, schlägt auch bei FISCHER der Fehler im ganzen Umkreis von  $360^\circ$  viermal um: zwischen  $60$  und  $70^\circ$ ; zwischen  $150$  und  $160^\circ$ ; zwischen  $200$  und  $240^\circ$ ; zwischen  $290$  und  $300^\circ$ ; und erreicht dazwischen je ein Maximum. Aber nur zwei

Umschlagsstellen differieren um je  $90^\circ$ , und die Maxima sind nicht gleich groß und liegen einander nicht diametral gegenüber.

Daraus ergibt sich aber eine bemerkenswerte Folgerung für den Fall, daß man statt eines Nebenwinkelpaares von je  $90^\circ$  auch noch die Scheitelwinkel berücksichtigt, wenn man also einen geraden Strich genau senkrecht über die Mitte eines anderen hinweg übers Kreuz legen will. Nehmen wir zunächst an, der eine Schenkel des Kreuzes sei genau vertikal (Durchmesser  $0^\circ$ — $180^\circ$  im Schema), der andere genau horizontal ( $90^\circ$ — $270^\circ$ ). Dann erscheint das Kreuz zwar zunächst schiefwinklig, aber es läßt sich in ein scheinbar rechtwinkliges umwandeln, wenn der vertikale Strich um ein Geringes im Sinne des Uhrzeigers gedreht wird, oder der horizontale um ein Geringes entgegengesetzt dem Sinne des Uhrzeigers. Dann gleichen sich die konstanten Fehler aller vier Radien gerade aus und man erhält vier scheinbar rechte Winkel. Erstreckt sich aber der eine Strich etwa schräg von rechts oben nach links unten, z. B. im Durchmesser  $30^\circ$ — $210^\circ$  des Schemas, so können die vier Winkel des Kreuzes bei keiner Lage des zweiten Strichs alle gleichzeitig als Rechte erscheinen. Man kann dann nur das eine Paar von Nebenwinkeln einander scheinbar gleich machen oder das andere, denn zur Linie  $30^\circ$ — $210^\circ$  gehört im rechten unteren Quadranten eine Abweichung der Halbierungslinie von  $-4,99\%$ , im linken oberen Quadranten eine solche von  $+1,34\%$ , also nach der entgegengesetzten Richtung. Eine gerade, durch den Kreuzungspunkt verlaufende Linie muß also in diesem Falle geknickt erscheinen. Diese Erscheinung hatte zuerst BERTHOLD (266) an sich selbst und an einer seiner Versuchspersonen bei dem Versuche beobachtet, zwei gerade Striche rechtwinklig zueinander zu stellen, und FISCHER hatte dies für seine Augen bestätigt. Ich habe eine ähnliche Beobachtung an meinen Augen mittels einer der FISCHERSchen analogen Versuchsanordnung ebenfalls gemacht. Auch für meine Augen gibt es Lagen, in denen die vier Winkel, die durch die Kreuzung zweier gerader Striche gebildet werden, nicht gleichzeitig alle als rechte erscheinen können. Das wird aber bei mir nicht durch eine Knickung der Linien im Kreuzungspunkt, sondern durch eine ganz schwache Krümmung derselben verursacht, die so unbedeutend ist, daß ich sie an einer einfachen Geraden gar nicht wahrnehme. Erst bei der Aufgabe, ein genau rechtwinkliges Kreuz einzustellen, wird sie mir bemerkbar.

Halbierte FISCHER kleinere Winkel als solche von  $180^\circ$ , so erhielt er einen ähnlichen periodischen Wechsel des konstanten Fehlers in den vier Quadranten, wie bei der Halbierung gestreckter Winkel. Es ist nicht nötig, über diese Ergebnisse hier ausführlich zu berichten, weil sie sich schon aus dem Vorhergehenden, noch leichter aber aus einem Prinzip, das wir weiter unten eingehend besprechen, übersichtlich entwickeln lassen. Natürlich muß die dort zu erwähnende Erklärung auch auf die sonstigen Beob-

achtungen erstreckt werden, die bei derartigen Winkelvergleichen gemacht wurden, so von HELMHOLTZ (I, S. 546) beim Anzeichnen eines Nebenwinkels von  $30^\circ$  oder  $45^\circ$  an einen vorher gegebenen gleich großen Winkel; von BIHLER (l. c.) und JASTROW (117) beim Nachzeichnen von stumpfen oder spitzen Winkeln verschiedener Größe.

Lange gerade Linien, die neben dem Fixationspunkt vorüberlaufen, also in ihrer ganzen Ausdehnung auf exzentrischen Netzhautstellen abgebildet werden, erscheinen bei ruhiger Fixation mit einem Auge gegen den Fixationspunkt zu gekrümmt u. z. ist die scheinbare Krümmung um so stärker, je weiter exzentrisch die Abbildung auf der Netzhaut liegt. Man kann diese von HERING (7, S. 189) und HELMHOLTZ (I, S. 551 ff.) entdeckte Erscheinung schon bei ganz einfachen Versuchen sehen. Man legt z. B. auf einen großen schwarzen Tisch, auf dem sich sonst keine Gegenstände befinden, einen langen weißen, etwa 40 cm breiten Papierstreifen mit parallelen Rändern, bringt in seiner Mitte einen Fixationspunkt an und beugt sich nun soweit darüber, daß die Begrenzung des Tisches im indirekten Sehen nicht mehr deutlich zu erkennen ist. Die beiden Enden des Papierstreifens erscheinen dann schmaler als seine Mitte, die begrenzenden Ränder als zwei gegen den Fixationspunkt zu konkave Kurven.

Linien, welche im indirekten Sehen als Gerade erscheinen sollen, muß man daher eine konvexe Krümmung gegen den Fixationspunkt zu erteilen. Man erkennt dies schon, wenn man in der Mitte eines gleichmäßigen dunklen Grundes, z. B. auf einem leeren Tische eine Fixationsmarke anbringt und nun seitlich ein kleines Papierstückchen mittels eines schwarzen Stieles in die gerade Verbindungslinie zweier anderer, seitlich gelegener Marken zu bringen versucht. Messende Versuche dieser Art hat BOURDON (3, S. 403) angestellt.

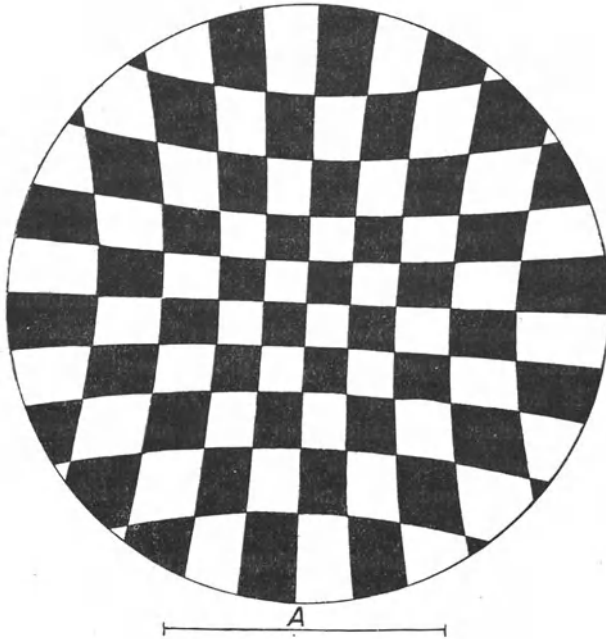
Auf Grund von theoretischen Überlegungen nahm HELMHOLTZ an, daß die Projektionen der Richtkreise des kugeligen Blickfeldes<sup>1)</sup> auf eine das letztere im Hauptblickpunkt tangierende Ebene, die Hyperbeln darstellen, im indirekten Sehen als gerade Linien erscheinen müßten. Er zeichnete die Projektionen jener Richtkreise, welche mit der durch den Blickpunkt gehenden Horizontalen und Vertikalen gleiche Richtung besitzen, auf eine Tafel und füllte das Gitter, das er erhielt, um es im indirekten Sehen deutlicher sichtbar zu machen, nach Art eines Schachbretts mit abwechselnd schwarzen und weißen Feldern. In Fig. 70 ist das auf solche Weise erhaltene Muster auf  $\frac{3}{16}$  der Originalgröße reduziert wiedergegeben. Wenn nun HELMHOLTZ bei fester einäugiger Fixation des Mittelpunktes der senkrecht zur horizontal gestellten Gesichtslinie aufgehängte Tafel dieser den

---

1) Zur Erklärung dieser Bezeichnung verweise ich auf das später bei der Lehre von den Augenbewegungen Gesagte.

Kopf näherte, so sah er bei einem bestimmten Abstände des Auges die schwarz-weißen Felder als Quadrate und die Hyperbeln als Gerade. Die Entfernung, in der HELMHOLTZ sie so sah, entsprach für den größten Teil des Gesichtsfeldes dem Augenabstand von 20 cm, für den die Figur konstruiert ist. Dieser Abstand ist, ebenfalls auf  $\frac{3}{16}$  verkleinert, in der Figur durch *A* wiedergegeben. Zur Wiederholung des Versuches muß man, die Figur durch Projektion auf Zeichenpapier vergrößern. Die Beurteilung der Linienrichtung erfolgt am sichersten, wenn

Fig. 70.



man durch anhaltende Fixation des Mittelpunktes der Tafel ein dauerhaftes Nachbild erzeugt und dies bei geschlossenen Lidern gegen Licht gewendet betrachtet. Für das Auge von HELMHOLTZ war demnach die Annahme, daß die Projektionen der Richtkreise des kugeligen Gesichtsfeldes auf eine frontalparallele Ebene den scheinbar geraden Richtungen im indirekten Sehen entsprechen, im wesentlichen erfüllt. Nur im temporalen Teile des Gesichtsfeldes müßten die Vertikallinien etwas weniger gekrümmt sein als die zugehörigen Projektionen der Richtkreise, um gerade zu erscheinen.

Auf analoge Weise hat KÜSTER (281) die Übereinstimmung der Projektionen der Richtkreise mit den scheinbar geraden Richtungen des indirekten Sehens dar-



zutun gesucht. Er verwendete dazu einen von DONDERS konstruierten Apparat, das Kükloskop. Dem in Primärstellung befindlichen Auge wird im Dunkelzimmer eine Reihe von leuchtenden Punkten (erzeugt durch elektrische Funkenstrecken) dargeboten, die auf einem Kreisbogen angebracht sind, der bei Fixation seiner Mitte einem größten Kreise durch ein kugeliges Blickfeld entspricht, dessen Zentrum im Drehpunkte des Auges liegt. Er ist um eine durch den Okzipitalpunkt verlaufende horizontale Achse drehbar. Der Beobachter hatte zu beurteilen, ob ihm die Lichtpunkte im indirekten Sehen in gerader Richtung zu liegen schienen oder nicht. KÜSTER glaubte dabei eine vollständige Übereinstimmung mit der HELMHOLTZschen Theorie gefunden zu haben. In Wirklichkeit würde sich aber, worauf HERING (R.<sup>1</sup>) S. 370) hinwies, aus seinen Versuchen ergeben, daß die als gerade erscheinenden Richtungen bei ihm eine geringere Krümmung aufweisen, als die Projektionen der HELMHOLTZschen Richtkreise. Bei diesen nimmt nämlich der Krümmungsradius mit ihrer Abweichung von der Hauptblickebene ab, während in der Anordnung von KÜSTER der Radius des Kreisbogens, auf dem die Lichtpunkte angebracht waren, konstant blieb. Zwar würde dies, wie HERING meint, wegen der Unbestimmtheit der Lokalisation im indirekten Sehen nicht viel ausmachen, aber eben deshalb wäre eine Untersuchung nach anderen Methoden zu fordern.

Verschiebt man im ebenen frontalparallelen Gesichtsfeld einen kurzen Strich vom Fixationspunkt weg immer weiter nach der Peripherie zu, so nimmt der Gesichtswinkel, unter welchem er gesehen wird, mehr und mehr ab. An Gegenständen von bekannter Form kann allerdings diese perspektivische Verkürzung der seitlichen Strecken zu einem Teil unter dem Einfluß der »Gedächtnisform« wieder ausgeglichen werden. Blickt man z. B. geradeaus vor sich auf eine nicht zu nahe vertikale Wand, so erscheinen einem die indirekt gesehenen, an der Wand befindlichen Objekte trotz der verzerrten Abbildung auf der Netzhaut einigermaßen in ihrer richtigen Form. Es werden also etwa die Winkel eines rechteckigen Bildes, das an der Wand hängt, ungefähr wieder als Rechte gesehen, und die sonstigen perspektivischen Verkürzungen des Rahmens subjektiv wieder etwas ausgeglichen annähernd (aber nicht so weitgehend) so, wie es auch der Fall ist, wenn wir den Blick direkt auf das Bild richten.

Freilich reicht diese Ausgleichung nur bis zu einer gewissen Grenze, und sie wird umso geringer, je weniger stark sich die Auffassung der wirklichen Gestalt geltend machen kann. Man halte ein frontalparallel gestelltes Schachbrett recht nahe vor das rechte Auge und blicke dann ganz schräg nach der rechten unteren Ecke desselben hin. Man sieht dann die rechts unten gelegenen Felder um so mehr verkleinert, je weiter exzentrisch sie liegen. Gibt man sich dabei ganz dem unmittelbaren Eindruck hin und drängt möglichst die Beziehung zur wirklichen Gestalt zurück, so sieht man die Quadrate auch verzerrt, u. z. sind sie entsprechend der perspektivischen Verzeichnung in der radiären Richtung stärker verkürzt, als in der tangen-

4) Damit ist hier und im folgenden stets HERING's Darstellung des optischen Raumsinns in HERMANN's Handbuch der Physiologie gemeint.

tialen, senkrecht dazu stehenden Richtung. Was hier für das direkte Sehen bei schräger Blickrichtung beschrieben wurde, tritt, — wenigstens dem Sinne nach, wenn auch nicht in ganz gleichem Betrage —, auch auf, wenn man den Blick geradeaus richtet und die seitlichen Quadrate im indirekten Sehen betrachtet. Wird diese Verzerrung der Bilder, soweit sie subjektiv als solche gesehen wird, durch eine entsprechende Vergrößerung der Felder im entgegengesetzten Sinne gerade ausgeglichen, so erscheinen die Felder als Quadrate. Ein solcher Fall liegt angenähert beim HELMHOLTZschen Muster vor, wenn man es aus der richtigen Entfernung, für die es konstruiert ist, betrachtet, allerdings nur dann, wenn man streng seine Mitte fixiert und die seitlichen Felder indirekt sieht. Die subjektiven Streckenlängen erscheinen also im indirekten Sehen gegenüber den objektiven verkürzt u. z. am meisten die radiären vom Fixationspunkt ausstrahlenden, viel weniger die dazu senkrechten, tangential gerichteten<sup>1)</sup>. Die scheinbare Verkürzung ist umso stärker, je weiter exzentrisch die Strecken abbildet werden. Man hat die Verkürzung der indirekt gesehenen, insbesondere der radiären Strecken im ebenen Sehfeld als »scheinbare Sehfeldzusammenziehung«, (FISCHER) oder als »zentrische Schrumpfung des Sehfeldes« (TSCHERMAK, 42) bezeichnet. Sie ist von MORREY (284) auch vermittels des Tastversuchs nachgewiesen worden. Er ließ im Dunkelzimmer während anhaltender Fixation eines Lichtpunktes einen zweiten Lichtpunkt exzentrisch kurz aufleuchten und markierte nach dessen Erlöschen mit einem Stabe die Stelle, an der er ihm vorher zu liegen schien. Dabei zeigte sich, daß er immer näher an den Fixationspunkt heran verlegt wurde, als er sich wirklich befand<sup>2)</sup>.

Fragen wir nun, ob die scheinbare Größenänderung in der Netzhautperipherie der Perspektive aus dem Knotenpunkt entspricht, ob also die Größe des Gesichtswinkels für die Größenschätzung in der Netzhautperipherie maßgebend ist, so ergibt sich schon aus dem HELMHOLTZschen Muster, daß das nicht streng zutrifft. In diesem erscheinen nämlich zwar die Abstände der Hyperbelscheitel in der mittleren Horizontal- und Vertikallinie unter gleichem Gesichtswinkel, nicht aber die Abstände der indirekt gesehenen seitlichen Hyperbelpunkte von der horizontalen und vertikalen Mittellinie. Vielmehr nehmen

1) Daß im allgemeinen ein Gegenstand im indirekten Sehen kleiner erscheint, als im direkten, haben auch FECHNER (17, Bd. 2, S. 313), v. WITTICH (302) und AUBERT (4, S. 355) angegeben. Wie TSCHERMAK (42) anführt, kann man dies auch sehen, wenn man ein gut vom Grunde abstechendes Objekt, z. B. die Mondscheibe, durch willkürliches Schielen in Doppelbilder zerlegt. Das indirekt gesehene Doppelbild ist merklich kleiner, als das direkt gesehene.

2) Besonders hochgradiges Vorbeigreifen nach innen fand POPPELREUTER (14 a, S. 103) als pathologisches Symptom bei Hirnverletzten mit oder ohne Gesichtsfelddefekt. Eine abnorm große zentrische Schrumpfung des Gesichtsfeldes nimmt ferner BEST (267 b) zur Erklärung der Lokalisationsstörungen bei Hemiamblyopie an (siehe unten S. 189).

die Gesichtswinkel für die tangential gerichteten Strecken im Muster vom Zentrum nach der Peripherie hin sogar ab. Entspräche also gleichen Gesichtswinkeln im indirekten Sehen durchwegs die gleiche scheinbare Größe, so müßten die nach oben und unten vom Fixationspunkt gelegenen Felder relativ zu schmal gegenüber ihrer Höhe aussehen, die nach rechts und links zu gelegenen zu niedrig gegenüber ihrer Breite. HELMHOLTZ fand aber gerade das umgekehrte: Die weit nach oben zu gelegenen Felder erschienen zu niedrig gegenüber ihrer Breite, die nach rechts und links zu gelegenen — allerdings weniger ausgesprochen — etwas zu schmal gegenüber ihrer Höhe. Also stimmt die Größenschätzung im indirekten Sehen nicht ganz mit der Größe des Gesichtswinkels überein, u. z. ist der Grad der Nichtübereinstimmung auf den verschiedenen Teilen der Netzhaut verschieden.

Um nun diese Änderungen der Größenschätzung auf verschiedenen Partien der Netzhaut möglichst genau messend zu verfolgen, kann man so vorgehen, daß man entweder zwei Objekte miteinander vergleicht, die an zwei Stellen eines Perimeterbogens angebracht sind, dessen Zentrum mit dem Knotenpunkt des Auges zusammenfällt, oder man bringt die Vergleichsobjekte auf einer senkrecht zur Gesichtslinie liegenden Ebene an. Bei der ersteren Anordnung bleibt der Gesichtswinkel (Knotenpunktswinkel) bei einer Verschiebung des Objekts auf dem Perimeterbogen gleich (gleichen Streckenlängen entsprechen also gleiche Gesichtswinkel), bei der zweiten nimmt er dagegen mit der Entfernung der Strecke vom Fixationspunkt, also mit der größeren Exzentrizität der Abbildung, ab. Da man indes die Größe des Gesichtswinkels auch in dem letzteren Falle leicht berechnen kann, so wäre es in dieser Hinsicht gleichgültig, ob man die eine oder die andere Anordnung wählt, vorausgesetzt, daß die Größe der Bilder auf den verschiedenen Teilen der Netzhaut überhaupt durch die Größe des Knotenpunktswinkels eindeutig bestimmt wird. Wir werden später sehen, daß diese Voraussetzung nicht zutrifft, und insofern sind also die Versuche mit einer gewissen Unsicherheit behaftet.

Vor allem leidet aber die exakte Untersuchung dieser Verhältnisse am Auge unter der Schwierigkeit, daß wir nicht wissen, inwieweit der Einfluß der Gestaltwahrnehmung auch schon beim bloßen Streckenvergleich mitbeteiligt ist. Verschieben wir eine Strecke auf einer zur Gesichtslinie senkrechten Ebene von der Stelle des direkten Sehens aus weiter nach der Peripherie hin, so brauchte der Abnahme des Gesichtswinkels keineswegs eine gleiche Abnahme der scheinbaren Größe zu entsprechen, wenn nämlich durch die Verlegung der Strecke in das ebene Sehfeld ebenso eine Korrektur der Größenabnahme des Netzhautbildes bewirkt würde, wie in dem oben angezogenen Beispiele an der peripheren Kontur eines an der Wand hängenden Bildes. Wir dürfen aber wohl annehmen, daß sich der

modifizierende Einfluß der Gedächtnisform beim Vergleich einfacher isolierter Striche viel weniger geltend machen wird, als bei der Betrachtung komplizierter Gestalten, speziell schon des HELMHOLTZschen Musters<sup>1)</sup>.

Am ehesten entgeht man den eben besprochenen Schwierigkeiten bei vergleichenden Größenschätzungen, wenn man untersucht, ob gleichem Abstand vom Fixationspunkt im ebenen oder kugeligen Gesichtsfelde nach allen Richtungen hin auch die gleiche scheinbare Länge im subjektiven Sehfeld entspricht, wobei man natürlich die oben S. 164 erwähnten Vorsichtsmaßregeln streng einzuhalten hat. Der Größenvergleich in der horizontalen Richtung nach rechts und links ist bekannt in der Form des KUNDTschen Teilungsversuchs (282). Auf einem sonst ganz gleichmäßigen ebenen Grund werden durch zwei scharf vom Grunde abstechende Marken die Enden einer horizontalen Strecke bezeichnet. Eine verschiebliche mittlere Marke wird, während man sie andauernd fixiert, in die scheinbare Mitte zwischen den beiden Endmarken eingestellt. KUNDT (282, S. 134 ff.) fand nun, wenn er eine Strecke von 100 mm Länge aus einer Entfernung von 226 mm vom Knotenpunkt mit einem Auge zu halbieren versuchte, daß die scheinbare Mitte vom linken Auge um 0,33 mm (entsprechend einem Gesichtswinkel von rund 5') zu weit nach rechts, vom rechten Auge dagegen um 0,155 mm (entsprechend einem Gesichtswinkel von rund 2½') zu weit nach links von der wirklichen eingestellt wurde. Das Verhältnis der gleich erscheinenden linken zum rechten Teil der Strecke war daher für das linke Auge 30,33 : 49,67, für das rechte Auge 49,845 : 50,155. Demnach wurde in jedem Auge die auf der temporalen Hälfte der Netzhaut abgebildete Strecke gegenüber der auf der nasalen abgebildeten überschätzt. Der größte Teil der späteren Beobachter fand gleichfalls in jedem Auge eine Überschätzung der auf der temporalen Netzhauthälfte abgebildeten Strecke, so HILLEBRAND (246) an sich und anderen Versuchspersonen, FRANK (277) und TSCHERMAK (12, S. 528) an sich und Anderen. Bei mir fällt der Teilungsversuch zwar nach der Regel, aber wie bei KUNDT in beiden Augen ungleich aus. Ich sehe die Mitte einer 25,0 mm langen Strecke aus 19 cm Abstand mit dem linken Auge um 0,8 mm zu weit nach rechts, mit dem rechten Auge um 0,4 mm zu weit nach links. Im übrigen scheinen hier mancherlei individuelle Varianten zu bestehen. So gibt FEILCHENFELD (272) an, daß er erst bei sehr großen Strecken den gleichen Unterschied sehe

1) Wie stark durch die Auffassung des HELMHOLTZschen Musters als quadratischer Forderung die Lokalisation beeinflußt wird, geht aus folgendem Versuch hervor. Man bedecke den rechten unteren Quadranten des Musters mit einem Blatt weißen Papiers, halte an einem langen Stiel ein rechtwinkliges Drahtkreuz dahin und blicke mit dem rechten Auge aus der vorgeschriebenen Distanz schräg auf dasselbe hin. Man wird es zunächst ziemlich rechtwinklig sehen, sobald man aber das Papier wegzieht und das Muster (in diesem Falle als konkave Schüssel) sichtbar wird, erscheint das Kreuz sofort vollkommen schiefwinklig.

wie KUNDT, an kleineren Strecken sei für ihn kein Unterschied zwischen der nasal und der temporal abgebildeten Hälfte zu erkennen. FISCHER (126) machte sogar im Gegensatz zu den früheren Beobachtern mit jedem Auge die auf der temporalen Netzhautpartie abgebildete Strecke größer, als die auf der nasalen Partie abgebildete. MÜNSTERBERG (136) überschätzte beim Vergleich zweier indirekt gesehener, rechts und links vom Fixationspunkt gelegener Strecken (nicht Teilungsversuch!) mit jedem Auge die links gelegene Strecke. Umgekehrt gibt BENUSSI (150) als Regel an, daß, wenn dem Beobachter zwei durch drei Punkte begrenzte, gleich große in horizontaler

frontalparalleler Richtung nebeneinander liegende Distanzen  $\overset{\cdot}{a}$   $\overset{\cdot}{b}$   $\overset{\cdot}{c}$  in Momentexposition dargeboten werden, bei gleich auffälliger Begrenzung die links vom Mittelpunkt  $b$  gelegene Strecke  $ab$  kürzer geschätzt wird, als die rechte  $bc$ .

Ebenso wie in der horizontalen Richtung sind auch in vertikaler Richtung Unterschiede in der Längenschätzung nach oben und nach unten vom Fixationspunkt beobachtet worden, u. z. wird gewöhnlich die obere (auf der unteren Netzhautpartie abgebildete Strecke) überschätzt (DELBOEUF 167; vgl. ferner WUNDT (15 a, Bd. 2, S. 593, Anm. nach Versuchen von MELLINGHOFF), FEILCHENFELD (272), TSCHERMAK (12, S. 533). Nur FISCHER (126) fand auch hier wieder das Entgegengesetzte, nämlich eine Überschätzung der unteren (auf der oberen Netzhauthälfte abgebildeten) Strecke. Bei unseren Lettern ist auf diese gewöhnliche Überschätzung der oberen von zwei Strecken Rücksicht genommen. Der obere Bogen des S, der obere Kreis der 8 wird kleiner geschnitten, als der untere, die Horizontalstriche beim B und H liegen etwas über der Mitte. Die meisten Menschen merken das gar nicht, um so auffälliger wird es, wenn man die Lettern stürzt, wie in Fig. 71, wobei allerdings das Ungewohnte des Anblicks unterstützend wirkt.

Fig. 71.



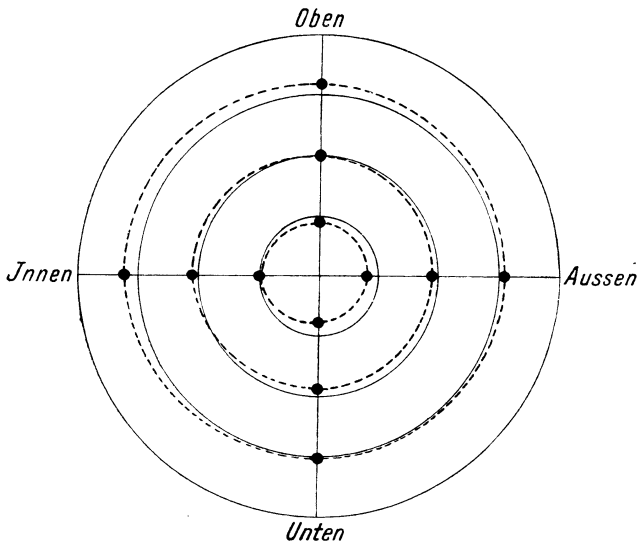
Wird je eine vom Fixationspunkt ausgehende horizontale und vertikale Strecke miteinander verglichen, so überschätzen die meisten Beobachter die vertikale Strecke gegenüber der horizontalen, zuerst FICK (273), dann OPPEL (205), WUNDT (15, S. 158 ff.), HELMHOLTZ (I, S. 543), CHODIN (124), FISCHER (126), GUILLERY (128), SEASHORE und WILLIAMS (220), HOLTZ (182). Die Größe der Überschätzung variiert individuell. DELBOEUF fand sogar bei sich eine Unterschätzung der vertikalen gegenüber der horizontalen Strecke.

1) MÜNSTERBERG beobachtete anscheinend mit einem seine Myopie (deren Größe nicht angegeben ist) korrigierenden Glase (l. c. S. 154). Die durch die schräge Inzidenz der Strahlen bewirkte Bildverzerrung wird aber wegen der Symmetrie nach beiden Seiten in diesen Versuchen kaum einen Fehler bewirkt haben.

CHODIN gibt an, daß die Überschätzung der Vertikalen mit zunehmendem Gesichtswinkel der zu schätzenden Strecken größer wird. Auch diese Täuschung des Augenmaßes kann man schon bei der Betrachtung einfacher Figuren wahrnehmen, am besten nach WUNDT (15, S. 160; 15 a, Bd. 2, S. 591) an einem Kreuz mit gleich langen Armen oder einem gleichschenkligen Dreieck von gleicher Grundlinie und Höhe, weniger gut am Quadrat, gar nicht am Kreis. Man vgl. diesbezüglich die auf S. 189 folgenden Erörterungen.

Einstellversuche in schräger Richtung sind von TSCHERMAK ausgeführt worden (12, S. 534). An einem Apparat, der gestattete, einzelne Marken

Fig. 72.



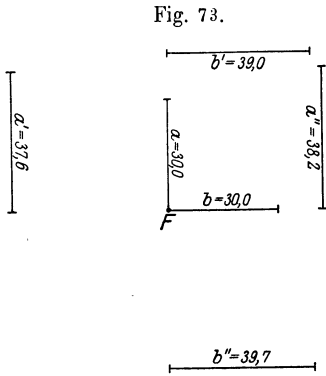
auf gleichmäßigem Grunde in radiär vom Zentrum der Scheibe ausgehenden Richtungen meßbar zu verschieben (Streckentäuschungsapparat, 290), wurden bei Fixation des Zentrums die vom Fixationspunkte nach oben, unten, rechts, links und in den unter  $45^\circ$  geneigten schrägen Richtungen die subjektiv gleich groß erscheinenden Strecken eingestellt. Das Ergebnis war das in Fig. 72 dargestellte, in der die Netzhaut als Ebene von hinten gesehen gedacht ist. Die ausgezogenen konzentrischen Kreise geben die objektiv gleichen Abstände vom Zentrum nach allen Richtungen hin an, während die schwarzen Punkte den Netzhautbildern der auf scheinbar gleichen Abstand vom Fixationspunkt eingestellten Marken entsprechen. Verbindet man ihre Lage durch den gestrichelten Kreis, so ergibt sich daraus für das rechte Auge von TSCHERMAK, daß besonders die auf dem medialen

oberen Quadranten der Netzhaut abgebildeten Strecken gegenüber den auf dem temporalen unteren Quadranten abgebildeten unterschätzt werden. Andererseits stellte STEVENS (287) an vier Personen durch Versuche am Perimeter fest, daß sie mit jedem Auge Objekte (Kreisscheiben) in der rechten Gesichtsfeldhälfte, insbesondere die rechts oben liegenden, größer schätzten, als gleich große, links unten liegende Objekte. Da der Autor vermutete, daß diese Größenüberschätzung der rechts gelegenen Objekte, ähnlich wie die Rechtshändigkeit, mit einer Art von Überwiegen der linken Hemisphäre über die rechte zusammenhänge, untersuchte er an einer größeren Anzahl von Personen, Rechts- und Linkshändern, die Unterschiede in der Größenschätzung nach rechts und links, und fand dabei die allerverschiedensten Verhältnisse, aber keine feste Beziehung zwischen der optischen Größenschätzung und der Rechts- oder Linkshändigkeit.

Messende Versuche über den Längenvergleich radiär gerichteter Strecken von verschiedener Exzentrizität sind von FISCHER (126) u. a. ausgeführt worden. Sie ergaben den exakten Beweis für die Unterschätzung der exzentrisch abgebildeten Strecke gegenüber der zentralen, und zwar stellte sich heraus, daß der Gesichtswinkel für die scheinbar gleich lange Strecke gegen die Netzhautperipherie sogar etwas zunahm, daß also Knotenpunktwinkel und scheinbare Größe einander nicht parallel gingen. Ferner fand FISCHER auch hier wieder Unterschiede in der Größenschätzung nach den verschiedenen Richtungen des Gesichtsfeldes hin.

Während die bisher erwähnten Versuche — wenigstens soweit, als sie Messungen enthalten — sich ausschließlich auf radiär gerichtete Strecken des Gesichtsfeldes beziehen, wurden von FISCHER (126) und besonders von GUILLERY (128) auch Vergleiche tangential verlaufender Strecken im direkten und indirekten Sehen (bei einer Exzentrizität von  $35^\circ$ ) ausgeführt. Beide Autoren stimmen darin überein, daß auch diese im indirekten Sehen kleiner erscheinen, als im direkten Sehen, u. z. war die Unterschätzung der indirekt gesehenen Strecken bei GUILLERY im nasalen Teile des Gesichtsfeldes stets größer, als im temporalen. In der oberen Gesichtsfeldhälfte fand er sie für einige Streckenlängen größer, für andere kleiner, als in der unteren. Ob dies letztere Schwanken bloß durch eine zu geringe Zahl der Einzeleinstellungen (80 für jede Vergleichslänge) bedingt war, muß dahingestellt bleiben. Ich habe an meinem rechten Auge ebenfalls Messungen über die Größenschätzung in tangentialer Erstreckung ausgeführt, indem ich aus 49 cm Entfernung auf eine zur Gesichtslinie senkrechte ebene schwarze Fläche blickte, und das eine Ende eines 2 mm breiten, 30,0 mm langen, von hinten durchleuchteten Spaltes fixierte. Dann stellte ich einen in derselben Ebene liegenden, parallelen, mit  $20^\circ$  Exzentrizität auf der Netzhaut abgebildeten anderen Spalt auf gleiche Länge mit dem direkt fixierten ein. Das Ergebnis aus je 120 Einzeleinstellungen ist in der Fig. 73 eingetragen, aus

der zugleich die Anordnung des Versuchs schematisch zu ersehen ist. Der Punkt *F* ist der Fixationspunkt. Der mittlere Spalt stand also in der einen Versuchsreihe vom Fixationspunkt aus nach rechts (*b*), in der zweiten vom Fixationspunkt nach oben (*a*). Beim Vergleich der Zahlen mit denen von



GUILLERY ist aber zu beachten, daß die Spalte in einer Ebene lagen, während GUILLERY seine Anordnung auf einem Perimeter angebracht hatte. Ich habe deshalb, um beide Versuchsreihen direkt vergleichbar zu machen, meine und GUILLERY'S Zahlen auf Gesichtswinkel umgerechnet, wobei ich der Rechnung für GUILLERY Fixation der Mitte der Strecke aus 15 cm Entfernung zugrunde lege und bloß die Strecke von 16 mm Länge berücksichtige. Das Hauptresultat, das sich aus der Tabelle 18 ergibt, ist nun bei uns beiden eine Unterschätzung nicht

bloß der absoluten Länge, sondern auch des Gesichtswinkels indirekt gesehener tangentialer Strecken gegenüber den direkt fixierten. Freilich ist der variable Fehler bei diesen Versuchen ziemlich groß, aber dies kann trotz der nicht sehr hohen Zahl von Einzeleinstellungen am Haupt-

Tabelle 18.

Lage des Strichs im Gesichtsfeld	GUILLERY	HOFMANN
Mittlerer Strich . .	6° 61/2'	8° 58 1/2'
Innen . . . . .	6° 22'	10° 32'
Außen . . . . .	6° 44'	10° 42'
Oben . . . . .	6° 29'	10° 55'
Unten . . . . .	6° 34'	11° 6 1/2'

ergebnis nichts ändern, denn dieses würde prinzipiell das gleiche bleiben, wenn man selbst den ganzen Betrag des mittleren variablen Fehlers noch abzöge. Bedenklicher ist, daß ich bei mir die Neigung entdeckte, bei diesen Einstellversuchen immer den Spalt, an dem ich jeweils die Einstellungen vornahm, etwas zu lang einzustellen. Wenn ich z. B. die exzentrisch abgebildete Strecke *a'* auf 37,6 mm stellte, und nun umgekehrt den mittleren Spalt *a* ihr gleich lang zu machen suchte, so stellte ich ihn im Mittel auf 33,5 mm ein, was einem Gesichtswinkel von 10° entspricht. Diese zuerst von RIVERS (215) an mehreren Versuchspersonen festgestellte Eigentümlichkeit mahnt zwar zur Vorsicht bei Schlußfolgerungen aus den gefundenen

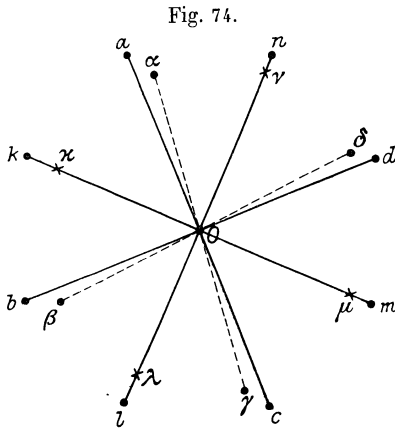


Zahlen, kann aber das Hauptresultat nicht umstoßen. Nur nähern sich bei Berücksichtigung dieses Fehlers die von mir gefundenen Einstellungsunterschiede viel mehr denen von GUILLERY. Unberührt von diesem Fehler bleiben ferner die Unterschiede in der Größenschätzung tangentialer Erstreckungen in den verschiedenen Teilen des Gesichtsfeldes. Sie werden bei mir im oberen und unteren Teil des Gesichtsfeldes mehr unterschätzt, als im inneren und äußeren. Auch beim Vergleich von oben mit unten und von rechts mit links sind kleine Unterschiede vorhanden. Sie sind zwar nicht bedeutend, aber sie waren ganz in der gleichen Weise auch in Vorversuchsreihen bemerkbar, in denen ich die Mitte des zentralen Spaltes fixierte, sind daher nicht etwa durch eine zu geringe Zahl der Versuche bloß vorgetäuscht.

In dem oben S. 170 wiedergegebenen HELMHOLTZschen Muster nehmen die Gesichtswinkel für den Seitenabstand der Hyperbelpunkte von der horizontalen und vertikalen Mittellinie vom Zentrum gegen die Peripherie zu ab. Wenn man also die Hyperbeln des Musters als zur horizontalen und vertikalen Mittellinie parallele gerade Linien sieht, so erscheinen demnach, wie HELMHOLTZ hervorhebt, im Verhältnis zum Gesichtswinkel tangentiale Erstreckungen im peripheren Gesichtsfeld nicht kleiner, als im direkten Sehen, sondern vergrößert. Zur weiteren Stütze dieser Ansicht führt HELMHOLTZ mehrere Versuche an, die zeigen, daß auch sonst ein seitlich gelegener Gegenstand, wenn man nach ihm hinblickt, kleiner erscheint, als vorher im indirekten Sehen. Zum Teil könnte dies daher rühren, daß sich bei der Blickwendung gleichzeitig auch die Lokalisation nach der Tiefe ändert. Legt man z. B. auf den Boden einen Bogen weißes Papier vor sich hin, blickt dann zunächst darüber hinweg in die Ferne und wendet dann den Blick auf den Bogen selbst, so schrumpft er in der Tat von rechts nach links (tangential) zusammen, aber das dürfte eben damit zusammenhängen, daß beim Nahesehen die scheinbare Größe der Sehdinge überhaupt abnimmt. Befindet sich der seitlich gelegene Gegenstand in derselben frontoparallelen Ebene wie der Fixationspunkt, so fällt allerdings die Blickwanderung nach der Tiefe zu weg, aber es tritt eine ebenfalls schon von HELMHOLTZ beschriebene Änderung des scheinbaren Tiefenabstandes auf, welche von JAENSCH (9 a) auf die »orthogone Lokalisationstendenz« zurückgeführt wird, die wir später besprechen werden. HELMHOLTZ sieht sie freilich als die Folge, nicht als die Ursache der geänderten Größenschätzung an. Diesen Beobachtungen stehen nun auf der anderen Seite die Messungen von GUILLERY und von mir gegenüber, die sowohl am Perimeter, wie im ebenen Gesichtsfeld eine Unterschätzung peripherer tangentialer Strecken gegenüber direkt fixierten von gleichem Gesichtswinkel ergeben. Wie der Widerspruch zu lösen ist, kann ich vorläufig nicht mit Sicherheit angeben. Wegen des Einflusses aber, den besonders bei komplizierteren Verhältnissen die Gedächtnisform auf die Größenschätzung ausüben kann, scheint es mir richtiger, daß ich mich im folgenden an das Ergebnis der messenden Versuche an einfachen Strichen halte.

FISCHER (275) hatte schon, ohne es näher anzuführen, vermutet, daß die Besonderheiten der subjektiven Winkelschätzung mit der zentrischen Schrumpfung des Sehfeldes zusammenhängen könnten. In der Tat würde

sich ein solcher Zusammenhang ergeben, wenn die Schrumpfung des Sehfeldes in der radiären und in der tangentialen Richtung in den verschiedenen Quadranten einander nicht proportional wären. Nehmen wir z. B. an, die vier gleich weit vom Fixationspunkt  $o$  entfernten Punkte  $a, b, c, d$  der Fig. 74 würden vom Auge an die Stellen  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  lokalisiert,



Winkel  $aob$  und  $cod$  nicht mehr als solche, sondern als stumpfe Winkel erscheinen, sie würden also in ihrer Größe überschätzt werden. Nun weichen aber  $\alpha$  von  $a$  und  $\beta$  von  $b$  tangential nach entgegengesetzten Richtungen ab, es muß also dazwischen eine Richtung  $ko$  geben, in der die zentrische Schrumpfung ohne seitliche Verlagerung erfolgt. Das gleiche gilt für die übrigen Quadranten des Gesichtsfeldes, in den Richtungen  $lo, mo$  und  $no$ . In diesen Richtungen verschieben sich daher die Punkte  $k, l, m$  und  $n$  rein

radiär nach  $x, \lambda, \mu$  und  $\nu$ , und die Winkel  $kol$  und  $mon$  erscheinen auch subjektiv als rechte. In den Zwischenlagen, z. B. auch in der vertikalen und horizontalen Richtung, wird sich aber die Disproportionalität zwischen tangentialer und radiärer Streckenschätzung überall auch in der Winkelschätzung erkennbar machen, und zu einer Netzhautinkongruenz führen, die in dem angezogenen Beispiele etwa der in HELMHOLTZ' rechtem Auge entsprechen würde.

Freilich gibt das Schema zunächst den ganz einfachen Fall wieder, in dem der Umschlag periodisch nach je  $90^\circ$  erfolgt und die Maxima der Ablenkung dazwischen als gleich angenommen werden. Beides braucht nicht der Fall zu sein, wie es oben für die Augen von FISCHER und BIHLER beschrieben wurde, und dem entsprechend müßte natürlich auch das Schema abgeändert werden. Man erkennt ferner, daß sich daraus dann auch der auf den ersten Blick so befremdliche Befund einer scheinbaren Knickung der geraden Linie im Fixationspunkt ergibt, wenn nämlich  $\alpha, \beta, \gamma$  und  $\delta$  so liegen, daß die Winkel  $\alpha o \beta$  und  $\gamma o \delta$  einander nicht mehr gleich sind. Ist der Übergang in der Größenschätzung von einem zum anderen Quadranten über den Fixationspunkt hinweg ein ganz allmählicher, so resultiert daraus nicht eine scheinbare Knickung, sondern eine scheinbare Krümmung der geraden Linie.

Fassen wir die eben besprochenen Tatsachen allgemein zusammen, so ergibt sich aus ihnen eine gegen die Peripherie zu allmählich zunehmende

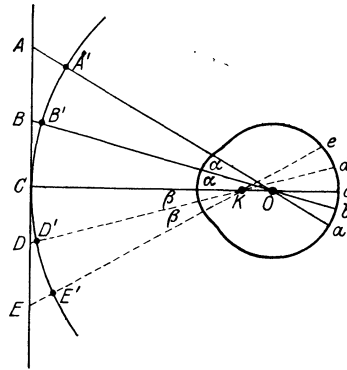
Verkleinerung des subjektiven Sehfeldes gegenüber dem objektiven Gesichtsfelde in der tangentialen Richtung, und eine stärkere zentrische Schrumpfung des ersteren gegenüber dem letzteren in radiärer Richtung. Beide Abweichungen erfolgen nicht nach allen Richtungen im Gesichtsfelde gleichmäßig. Vielmehr ist die radiäre Schrumpfung in der vertikalen Richtung meist stärker, als in der horizontalen, innerhalb der vertikalen Richtung nach unten zu stärker, als nach oben zu, innerhalb der horizontalen Richtung nach außen hin stärker, als nach innen. Doch kommen hierin außerordentlich mannigfaltige individuelle Schwankungen vor. Aus einer Inkongruenz der radiären und tangentialen Schrumpfung kann sich ferner eine in den verschiedenen Quadranten des Gesichtsfeldes periodisch abwechselnde Unter- bzw. Überschätzung der rechten Winkel ergeben, die ebenfalls individuellen Schwankungen unterliegt, und von der »Netzhautinkongruenz« eine spezielle Folge ist.

Für die Verschiedenheit der Größenschätzung in den verschiedenen Quadranten des Gesichtsfeldes kommen mehrere Erklärungsmöglichkeiten in Betracht. Zunächst wäre daran zu denken, daß sie vielleicht rein dioptrisch bedingt sein könnte. Es wäre demnach zuerst die Vorfrage zu erörtern, ob denn gleich langen und gleich weit vom Auge entfernten Strecken auf allen Teilen der Netzhaut gleich große Bilder entsprechen.

Nehmen wir zunächst an, die Abbildung auf der Netzhaut werde überall durch die Größe des Knotenpunktswinkels bestimmt, der Knotenpunkt liege ferner für die zentralen und exzentrischen Teile der Netzhaut an derselben Stelle, und er fiel außerdem mit dem Krümmungsmittelpunkt  $O$  in Fig. 75 der kugelig gekrümmten Netzhaut zusammen, so würden wir von einem und demselben Objekt überall

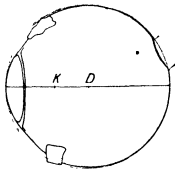
gleich große Netzhautbilder erhalten, wenn wir es längs einer Kugelschale — von der  $A'B'CD'E'$  in Fig. 74 einen Schnitt darstellt — verschieben, deren Krümmungsmittelpunkt mit dem Knotenpunkt zusammenfielen. Denn in Fig. 74 entsprechen den unter sich gleichen Kreisbogen  $A'B = B'C$  auch auf der Netzhaut gleich große Bogen  $ab = bc$ , und auch in  $A'$ ,  $B'$  oder  $C$  senkrecht zur Papierfläche liegende gleich große Strecken würden auf der Netzhaut gleich groß abgebildet. Abweichungen von diesen Voraussetzungen bewirken, daß gleich großen Objekten in den verschiedenen Teilen des Gesichtsfeldes nicht mehr gleich große Netzhautbilder entsprechen. Nun fallen zunächst der Krümmungsmittelpunkt der Netzhaut und der Knoten-

Fig. 75.



punkt nicht zusammen, denn nach den Angaben der Anatomen muß man sich den Bulbus in eine Kugel eingeschrieben denken, die den Kornealscheitel und den hinteren Bulbuspol berührt, und deren Zentrum daher in der Mitte des Sagittaldurchmessers des Bulbus, etwa 12 mm hinter dem Kornealscheitel anzunehmen ist. Um die Übereinstimmung dieser Annahme

Fig. 76.



der von WEISS (293) mit dem Zeichenapparat gezeichneten horizontalen Kontur eines emmetropen Auges von einer erwachsenen Person rot den einhüllenden Kreis gezogen, und man sieht, daß in diesem Falle tatsächlich der hintere Bulbusabschnitt sehr genau mit der Kugelgestalt übereinstimmt, deren Zentrum in der Mitte des Sagittaldurchmessers des Bulbus liegt. Nehmen wir den letzteren zu 24 mm und die Dicke der Sklera gleichmäßig zu 2 mm an, so würde demnach der Radius der kugeligen Netzhautfläche 10 mm betragen, und das

Zentrum der Kugel läge 5 mm hinter dem Knotenpunkt. Daraus würde sich rein geometrisch, wenn die Knotenpunktconstruction richtig wäre, eine Verkleinerung der Netzhautbilder gleich groß und gleich weit vom Knotenpunkt entfernter Strecken auf der Netzhautperipherie ergeben, die sich aus den angeführten Daten auch berechnen ließe. In Fig. 74 sind die Bogen  $CD'$  und  $D'E'$  gleich groß, auf der Netzhaut ist der Bogen  $cd$  größer als  $de$ , und ebenso werden gleich große in den Punkten  $C$ ,  $D'$  und  $E'$  senkrecht zur Papierfläche liegende Strecken auf der Netzhaut verschieden groß abgebildet, in  $c$  größer als in  $d$ , in  $d$  größer als in  $e$ . Nun ist freilich auch diese Konstruktion aus verschiedenen Gründen noch nicht genügend exakt, und wir können die Netzhautbildgröße im indirekten Sehen überhaupt noch nicht genau berechnen. Immerhin wird eine Abnahme der Netzhautbildgröße gegen die Peripherie hin im allgemeinen wohl bestehen bleiben. Nun weicht aber die Gestalt des hinteren Bulbusabschnittes in vielen Fällen sehr merklich von der Kugelgestalt ab. Meist ist der quere Durchmesser des Bulbus kleiner, als der vertikale, so daß der hintere Bulbusabschnitt eine seitlich zusammengepreßte Form erhält, und man ihn entfernt mit der Kalotte eines dreiachsigen Ellipsoids vergleichen kann. Allerdings brauchten dessen Achsen nicht genau horizontal und vertikal zu sein und auch sonst könnten mannigfache Abweichungen von diesem Schema vorkommen. Es wäre nun außerordentlich verlockend, daraufhin die obigen Überlegungen noch weiter auszudehnen, und auch die individuell so außerordentlich variablen Unterschiede in der Größenschätzung nach den verschiedenen Richtungen hin abgesehen von anderweitig bedingten leichten Verzeichnungen der Netzhautbilder durch die regionär verschiedene Krümmung und Ausbauchung der Netzhaut zu er-

klären. Insbesondere ließen sich daraus auch die zyklischen Schwankungen in der Schätzung von Winkeln auf die einfachste Weise ableiten. Endlich würde, da die Anomalien im Bau des hinteren Bulbusabschnitts doch wohl auf entwicklungsmechanische Ursachen zurückzuführen wären, die mit der Funktion des Auges in keiner Weise zusammenhängen, auch die Grundlage für das Verständnis der aus der Funktion ganz unbegreiflichen Mannigfaltigkeit dieser Anomalien gegeben.

Leider schweben alle diese Vermutungen vorläufig in der Luft. Schon FICK (273), der zuerst die Möglichkeit erörtert hatte, daß die Unterschätzung der horizontalen gegenüber den vertikalen Strecken auf ungleicher Krümmung des hinteren Bulbusabschnittes beruhe, hat diese Annahme wieder fallen gelassen, weil bei den gegebenen Dimensionen der Krümmungsunterschied erst bei Gesichtswinkeln über  $4^\circ$  im Sinne einer Verkleinerung des Netzhautbildes in der Richtung des stärker gekrümmten Meridians wirkt, bei kleineren Winkeln gerade umgekehrt. Vor allem aber ist es fraglich, ob die Unregelmäßigkeiten im Bau des hinteren Bulbusabschnittes genügend groß sind, um so beträchtliche Unterschiede in der Netzhautbildgröße zu veranlassen, wie sie zur Erklärung der Unterschiede in der Größenschätzung nach den verschiedenen Richtungen hin notwendig wären. Endlich läßt die äußere Gestalt des ausgeschnittenen Bulbus keinen sicheren Rückschluß auf die Gestalt des Bulbus *in situ* zu, weil im letzteren Falle noch der Druck der äußeren Augenmuskeln hinzukommt.

Allgemein ist dabei ferner zu betonen, daß der Nachweis einer ungleich großen Abbildung auf den verschiedenen Teilen der Netzhaut nur auf anatomische bzw. dioptrische Gründe gestützt, aus der ungleichen Größenschätzung selbst aber keineswegs abgeleitet werden kann. Das wäre nur dann möglich, wenn die Voraussetzung zuträfe, daß gleich großen Netzhautbildern auch auf allen Teilen der Netzhaut gleiche scheinbare Größe entspricht. Das steht aber durchaus nicht von vornherein fest. Im Gegenteil hatte schon E. H. WEBER (294, S. 528) darauf hingewiesen, daß auf der Haut die Größe der »Empfindungskreise« einen Einfluß auf die scheinbare Größe ausübt, indem diese geringer wird, wenn die Größe der Empfindungskreise zunimmt, und er hatte etwas Ähnliches auch für das Auge angedeutet (vgl. VOLKMANN, 13, S. 66 ff., 71). Zwar kann dieser Einfluß nicht soweit gehen, daß die scheinbare Größe der Größe der Empfindungskreise umgekehrt proportional ist, denn sonst müßte ja die scheinbare Größe auf der Netzhautperipherie um das Mehrfache geringer sein, als in der Mitte der Netzhaut. Aber der von E. H. WEBER (292) angestellte Zirkelversuch an der Haut (zwei Zirkelspitzen erscheinen auf Hautflächen mit feiner Unterschiedsempfindlichkeit für Lagen weiter voneinander entfernt, als auf Hautflächen mit geringerer Unterschiedsempfindlichkeit) legt doch die Vermutung nahe, daß ähnliche Verhältnisse auch für das Auge nicht ganz von

der Hand zu weisen sind. An der Haut sind diese Verhältnisse neuerdings durch FITT (275a) genauer untersucht worden. Es zeigte sich, daß an Hautstellen mit großer Unterschiedsschwelle des Ortssinns in der Tat eine gleich große Strecke kleiner geschätzt werde, als an solchen mit kleiner Schwelle, und zwar werden diese Verschiedenheiten durch den Unterschied in der Lebhaftigkeit und Deutlichkeit der Tastempfindungen verursacht. Je größer diese ist, desto größer werden gleich lange Strecken mit dem Tastsinn geschätzt. Es läge nahe, dies auch auf das Auge zu übertragen, denn die Lebhaftigkeit und Deutlichkeit indirekt gesehener Strecken ist ja viel geringer, als die der direkt gesehenen, und bei den Einstellungsversuchen selbst hat man häufig den subjektiven Eindruck, daß man die indirekt gesehenen Strecken deswegen so groß macht, weil man sie ganz verwaschen sieht. Objektiv läßt sich indessen auch diese Vermutung nicht belegen. Wäre sie im Auge streng erfüllt, so müßte man die Streckenlänge um so mehr unterschätzen, je geringer die Sehschärfe der exzentrischen Netzhautstelle wäre, auf der sie abgebildet werden, also beim gleichen Grade der Exzentrizität am meisten nach oben, etwas weniger nach unten, in diesen beiden Richtungen aber bedeutend mehr, als nach innen, am wenigsten nach außen (vgl. die Sehschärfekurven von WERTHEIM, Fig. 46 auf S. 49). Das stimmt mit dem oben angeführten Ergebnis in meinen Augen wohl im allgemeinen, aber durchaus nicht in jeder Einzelheit überein. Obwohl ich z. B. die größere Undeutlichkeit der Strecke im oberen Teil des Gesichtsfeldes gegenüber der unteren deutlich merke, unterschätze ich doch gerade umgekehrt die untere etwas mehr, als die obere<sup>1)</sup>. Es könnte also selbst dann, wenn die Undeutlichkeit des Gesichtseindrucks einen Einfluß auf die Größenschätzung ausüben würde, diese nicht der allein bestimmende Faktor sein<sup>2)</sup>.

Zu dem Angeführten kommt endlich noch hinzu, daß wir den oben schon erörterten Einfluß, den die Gestaltauffassung auf die scheinbare Größe im indirekten Sehen nimmt, nicht sicher abschätzen können. Solange aber alle diese Dinge nicht völlig klargestellt sind, werden wir uns vorläufig darauf beschränken müssen, einfach beschreibend die Größenverhältnisse im objektiven ebenen Gesichtsfeld mit denen im subjektiven ebenen Sehfeld zu vergleichen, lediglich die zentrische Schrumpfung des letzteren gegenüber dem ersteren und ihr ungleiches Verhalten nach den verschiedenen Richtungen des Gesichtsfeldes hin zu konstatieren. Wenn HILLEBRAND (246)

1) Der mittlere variable Fehler betrug in meinen Versuchen bei den Einstellungen oben 2,03 mm, unten 4,65 mm, innen 4,55 mm, außen 4,51 mm. Seine Größe folgt also durchaus der Bestimmtheit der Größenschätzung, wie sie aus der Sehschärfe zu erschließen ist.

2) Wohl aber wäre es möglich, daß durch die Undeutlichkeit des Gesichtseindrucks der ausgleichende Einfluß der Gedächtnisform auf die Größenschätzung herabgesetzt wird. So ließe es sich erklären, daß dieser Einfluß im indirekten Sehen offenbar geringer ist, als im direkten.

im Anschluß an HERING das Ergebnis des KUNDTschen Teilungsversuches auf eine angeborene ungleiche Verteilung der Raumwerte auf der Netzhaut nach der nasalen und temporalen Seite hin zurückführt und TSCHERMAK (12) dies auch auf die Ungleichheit der Größenschätzung nach den übrigen Richtungen hin ausdehnt, so ist damit ganz allgemein zum Ausdruck gebracht, daß diese Ungleichheiten von vornherein in der Organisation des Sehorgans gegeben und nicht etwa erst durch irgendwelche Erfahrungsmotive sekundär erworben worden sind.

Im Gegensatz zu dieser Auffassung wurde von verschiedenen Seiten der Versuch gemacht, Erfahrungsmotive als die Ursache der Unterschiede der Größenschätzung auf den verschiedenen Teilen der Netzhaut nachzuweisen. Hier ist in erster Linie die Erklärung anzuführen, die HELMHOLTZ aus der Übereinstimmung zwischen den scheinbar geraden Richtungen des indirekten Sehens und den Projektionen der Richtkreise des Blickfeldes herleitete. Er ging dabei von der Annahme aus, daß wir unser Urteil über die Richtungen im indirekten Sehen durch den Vergleich mit den Richtungen im direkten Sehen erwerben. Wenn wir ein Objekt  $a$  zuerst indirekt sehen und ihm dann den Blick zuwenden, so erhalten wir nach HELMHOLTZ neben dem Vergleich der Form und scheinbaren Größe auch eine Vergleichung der Richtung des zunächst indirekt und dann direkt gesehenen Objekts  $a$  mit einem zuerst direkt gesehenen Objekt  $b$ , d. h. »es wird wahrgenommen werden, welche Linien beider Objekte sich auf denselben Meridianen der Netzhaut abbilden«. Nehmen wir an, was ja in der Regel auch ziemlich zutrifft, daß die Ausgangsstellung, von der wir zur Blickwendung ausgehen, die Primärstellung ist, so werden wir durch gehäufte derartige Vergleiche »kennen lernen können, welche Richtungen in den seitlichen Teilen des Sehfeldes übereinstimmen mit den durch den Fixationspunkt gezogenen Linien, und diese Übereinstimmung wird sich als Regel so feststellen, wie sie stattfindet, wenn der Fixationspunkt auch Hauptblickpunkt ist, d. h. sämtliche Linienelemente ein und derselben Richtlinie werden im Sehfelde übereinstimmende Richtung zu haben scheinen«. Zwar trete diese Bestimmung der Linien gleicher Richtung in Widerspruch zu den Bestimmungen der scheinbaren Größe beim Vergleich direkt und indirekt gesehener Objekte. Wir berücksichtigten aber bei diesen Vergleichen mehr die übereinstimmende Richtung der Linien als die Größe der Objekte, was wohl damit zusammenhänge, daß wir bei den undeutlichen und verwaschenen Bildern des indirekten Sehens die Richtung von Linien noch ziemlich genau erkennen, wenn die Form und Größe des Objekts nur noch sehr ungenau erkannt wird.

Nehmen wir die Voraussetzungen für diese Erklärung vorerst als richtig an, so könnte man zunächst einwenden, daß die Projektionen der Richtkreise des kugeligen Sehfeldes nicht immer genau mit den scheinbaren

Geraden des indirekten Sehens zusammenfallen. Bei kleinen Unstimmigkeiten wäre das freilich kein ganz stichhaltiger Einwand. Denn das LISTINGSche Gesetz der Augenbewegungen, aus dem die besonderen Eigenschaften der Richtkreise abgeleitet wurden, ist ja nur ein allgemeines Schema, von dem es im einzelnen, insbesondere gegen die Grenzen des Blickfeldes zu zahlreiche kleine Abweichungen gibt. Auch wenn man diese Abweichungen vom LISTINGSchen Gesetz beim Erwachsenen nicht in Übereinstimmung fände mit den Abweichungen der scheinbaren Geraden des indirekten Sehens von den Projektionen der Richtkreise, so würde das noch nicht viel besagen. Denn man kann dann immer noch annehmen, daß wir unsere Erfahrungen über die Richtungen im indirekten Sehen in frühester Kindheit gesammelt haben, und seither könnten sich ja die Augenbewegungen infolge von Wachstumsverschiebungen am Bulbus und der Orbita geändert haben. Freilich müßte dann hinzugefügt werden, daß diese späteren Änderungen keinen Einfluß auf unsere optischen Wahrnehmungen mehr genommen haben. Wenn allerdings die Abweichungen vom HELMHOLTZschen Muster so groß sind, wie in GUILLERYs und meinen Messungen, dann ist auch diese Annahme nicht mehr ausreichend.

Noch wichtiger ist ein Einwand von BOURDON (3, S. 407). Dieser Autor macht darauf aufmerksam, daß sich die Krümmung der scheinbaren Geraden des indirekten Sehens sogar in immer zunehmendem Maße auch auf Gebiete des Gesichtsfeldes erstreckt, die mit dem direkten Blick gar nicht mehr erreicht werden können, für welche also ein Vergleich zwischen direktem und indirektem Sehen nicht möglich ist. Dazu kommt, daß wir beim ungezwungenen Sehen größere Drehungen des Auges ganz vermeiden, das wirklich von uns ausgenutzte Blickfeld also viel kleiner ist, als es nach der Beweglichkeit der Augen sein könnte. Wollte man also die Annahme von HELMHOLTZ konsequent durchführen, so müßte man sagen, daß die Erfahrung der Retina keine lokalisierte sei, sondern sich in dem einmal eingeschlagenen Sinne über die durch den Gebrauch gegebenen Grenzen hinaus weiter nach der Peripherie fortsetze. Das entspricht aber kaum mehr der eigentlichen Hypothese von HELMHOLTZ.

Am größten ist aber ein anderes Bedenken. Wenn wirklich die Erfahrung infolge Vergleichens der nacheinander direkt und indirekt gesehenen Richtungen maßgebend sein sollte, dann müßte man doch eigentlich erwarten, daß die gekrümmten Linien, die wir indirekt als Gerade sehen, auch gerade bleiben, wenn wir unsern Blick auf sie hinwenden. Denn wenn man den Blick einer seitlich gelegenen Hyperbel des HELMHOLTZschen Musters entlang führt, so verschiebt sich der jeweils direkt gesehene Teil der Linie dem LISTINGSchen Gesetz entsprechend immer auf demselben Meridian der Netzhaut, verhält sich demnach gerade so, wie eine durch den Fixationspunkt verlaufende Gerade, deren Teile, wenn man sie mit



dem Blick verfolgt, sich ebenfalls immer auf dem gleichen Meridian verschieben. Aus diesem Hingleiten über einzelne Teile einer geraden Linie über stets gleiche Netzhautstellen ergibt sich ja nach HELMHOLTZ eben der Geradheitseindruck (siehe oben S. 160). Daraus aber wäre doch wohl zunächst zu folgern, daß die Hyperbeln, wenn man nach ihnen hinblickt, gleichfalls als gerade Linien erscheinen müßten. Das ist aber nach HELMHOLTZ nicht der Fall, vielmehr erkennt man die Krümmung der seitlich gelegenen Felderreihen, sobald man den Blick nach ihnen hinwendet, und damit ist meiner Ansicht nach das ganze Erklärungsprinzip in seinem Fundament durchbrochen.

Ein weiterer Versuch, insbesondere die spezifischen Unterschiede der Größenschätzung nach oben und unten, sowie nach innen und außen genetisch zu erklären, rührt von WUNDT her (144; 15a, Bd. 2, S. 594 ff.), der annahm, sie beruhten auf ungleichen Spannungsempfindungen bei der Bewegung des Bulbus nach den verschiedenen Seiten hin, insbesondere auf einer leichteren Beweglichkeit jedes Auges nasalwärts und nach unten. Wir brauchen hier gar nicht weiter auf die prinzipielle Seite der Frage einzugehen, die wir schon oben S. 85 ff. erörtert haben, denn die Ansicht WUNDTs läßt sich auch durch die hier vorliegenden Tatsachen selbst widerlegen. Gegen sie spricht schon die Angabe FEILCHENFELDS (272), daß bei ihm die Überschätzung der nasalen Hälften horizontaler Strecken gegenüber den temporalen bei bewegtem Blick geradezu ins Gegenteil umschlug, und die Beobachtung von HICKS und RIVERS (280), daß die Überschätzung der vertikalen gegenüber horizontalen Strecken bei Momentanexposition ebenso groß ist, wie bei längerer Betrachtung, und daß im letzteren Falle das Urteil nur unsicherer wird. Auch ist die Annahme WUNDTs nicht mit den individuellen Unterschieden der Schätzungen nach rechts und links, oben und unten bei verschiedenen Personen zu vereinbaren, und sie versagt ganz, wenn die Überschätzung der vertikalen gegenüber den horizontalen Strecken, wie in gewissen von VALENTINE (290) beobachteten Fällen, in den beiden Augen einer und derselben Person verschieden groß ist, oder wie bei KUNDT und mir der Teilungsversuch in beiden Augen ungleich ausfällt<sup>1)</sup>.

---

1) Im letzteren Falle könnte man freilich einen Ausweg darin suchen, daß man erklärte, es handle sich nicht um die gemeinschaftliche Innervation beider Augen, sondern um die mehr oder weniger leichte Innervation jedes Auges für sich. Ich ließ deshalb den KUNDTschen Teilungsversuch von einem Patienten mit Abduzenslähmung ausführen, der beim Tastversuch den typischen groben Fehler machte, fand aber bei ihm auch wieder bloß einen Teilungsfehler, der sich innerhalb der normalen engen Grenzen hielt. Auch sonst ist mir nicht bekannt, daß der Teilungsfehler bei Abduzenslähmung abnorm hoch gefunden worden wäre. Vielmehr fand auch LÖSER (283a), welcher den Teilungsversuch von einem Patienten mit linksseitiger Hemianopsie anstellen ließ, der gleichzeitig am linken Auge eine Abduzensparese besaß, keinen Unterschied zwischen dem Fehler des gelähmten und des nicht

FEILCHENFELD (272) suchte die Überschätzung der nasalen Hälfte einer horizontalen und der oberen Hälfte einer vertikalen Strecke auf die Asymmetrie des einäugigen Gesichtsfeldes zurückzuführen. Neben dem temporalen Ende der halbierten Strecke sehe man einen viel größeren Rest des Gesichtsfeldes als neben dem nasalen Ende, das sich viel näher an die Gesichtsfeldgrenze heran erstreckt. Ganz ebenso wäre die Einschränkung des Gesichtsfeldes nach oben die Ursache für die Überschätzung der oberen gegenüber der unteren Hälfte einer vertikalen Strecke. Indes könnte der Einfluß der Gesichtsfeldgrenze höchstens als ein sekundärer Faktor eingeschätzt werden<sup>1)</sup>, denn der anomale Ausfall des KUNDTschen Teilungsversuchs an den Augen von FISCHER und MÜNSTERBERG stimmt durchaus nicht zur Annahme FEILCHENFELDS. Auch hat VALENTINE (291) bezüglich der Überschätzung vertikaler gegenüber horizontalen Strecken gezeigt, daß sie bei binokularem Sehen keineswegs größer wird, als beim Sehen mit einem Auge, was man doch aus der Erweiterung des binokularen Gesichtsfeldes gegenüber dem monokularen erwarten würde, wenn FEILCHENFELDS (auch von KÜLPE diskutierte) Vermutung richtig wäre.

Hemianopiker überschätzen bei der Halbierung einer Strecke jenen Teil derselben beträchtlich, der nach der Seite des Defekts zu liegt (AXENFELD, 265; LIEPMANN und KALMUS, 283; BEST, 267). Freilich tritt dieser Halbierungsfehler beim Hemianopiker durchaus nicht immer auf (vgl. POPPELREUTER, 44 a, S. 142 ff.), ja er fällt bei frischen Verletzungen in der Mehrzahl der Fälle und auch sonst sehr oft gerade umgekehrt aus, wie gewöhnlich — atypischer Fehler nach BEST (267b). Er wird ferner bei häufiger Wiederholung der Versuche immer kleiner, besonders wenn der Patient selbst auf ihn aufmerksam wird. POPPELREUTER betrachtet den Fehler nicht als durch eine Störung der »Größenwahrnehmung«, sondern entsprechend seiner oben S. 152 erwähnten Staffelungshypothese als durch eine »Insuffizienz der Auffassung den an sich empfundenen Größen gegenüber« bedingt. BEST hingegen führt ihn ebenso, wie FEILCHENFELD, vorwiegend auf die Unterschätzung exzentrisch abgebildeter Strecken zurück, weil der Hemianopiker, um die ganze Strecke überschauen zu können, das gegen den Defekt hin gerichtete Ende derselben fixieren muß, und daher beim Hal-

---

gelähmten Auges. Die Innervationsstärke der Augenmuskeln ist eben nicht für die relative Lokalisation der Endpunkte einer Strecke gegeneinander, sondern bloß für die absolute Lokalisation der ganzen Strecke entscheidend, und alle Deutungsversuche der Streckentäuschungen aus Augenbewegungen beruhen auf einer Verwechslung der relativen mit der absoluten Lokalisation.

1) Wenn das Ergebnis des Teilungsversuches nach den verschiedenen Richtungen des Gesichtsfeldes hin bei manchen Personen mit der Zeit wechselt, wie dies DEGENKOLB (270, 271) angibt, so könnten, vorausgesetzt, daß das Ergebnis durch gehäufte Versuche genügend sichergestellt ist, noch andere Nebenfaktoren, die unbeachtet geblieben sind, mit in Frage kommen.

bierungsversuch eine vom Zentrum ausgehende Strecke mit einer mehr exzentrisch gelegenen verglichen wird. Der atypische Fehler könne entweder durch Nichtsehen des gegen die blinde Seite hin gerichteten Endteils der Strecke vorgetäuscht werden, oder er beruhe — bei Hemiambyopie — auf einer stark erhöhten zentrischen Schrumpfung des Sehfeldes infolge Schädigung der zugehörigen Sehsphäre. An den geschädigten Stellen nehme das Gewicht der Sehelemente für die Lokalisation ab. BEST vergleicht dies damit, daß, wie auch schon LOHMANN annahm, »die zentralen Sehelemente entsprechend ihrer dichteren Anordnung und höheren Wertigkeit beim Augenmaß ein größeres Gewicht haben, als die peripheren«. Wie wir oben S. 184 sahen, ist dieser Zusammenhang allerdings nicht sicher. Ich würde es daher vorziehen, von vornherein lediglich auf die Tätigkeit eines höher gelegenen Zentrums zu rekurrieren, in welchem die von der Peripherie anlangenden Erregungen — noch nicht »Wahrnehmungen« oder »empfundene Größen«, wie dies POPPELREUTER annimmt — sekundär verarbeitet werden, so daß sie in modifizierter Form zum Bewußtsein gelangen, ähnlich, wie dies auf der folgenden Seite und später (S. 197) für andere Fälle ausgeführt ist. Insbesondere möchte ich darauf hinweisen, daß schon eine mangelhafte Gestaltauffassung die zentrische Schrumpfung des Sehfeldes erhöhen kann, weil bei verringerter Wirkung der Gedächtnisform die oben beschriebene Ausgleichung der perspektivischen Verkürzung der seitlichen Teile des ebenen Gesichtsfeldes sehr herabgesetzt sein wird.

Zur Erklärung der Überschätzung der nach oben zu gelegenen Teilstrecken im Gesichtsfeld gegenüber den nach unten zu liegenden ist öfter auch der Umstand herangezogen worden, daß unter den gewöhnlichen Verhältnissen des Sehens die tiefer gelegenen Teile des Gesichtsfeldes von uns näher liegenden Gegenständen erfüllt sind, die nach oben liegenden Teile aber weiter von uns entfernte Gegenstände enthalten. Deshalb sei es uns zur Gewohnheit geworden, die oben liegenden Gegenstände weiter von uns weg, die unten liegenden näher an uns heran zu lokalisieren, womit gleichzeitig ein Größerschätzen der oberen und ein Kleinersehen der unteren Gegenstände verbunden sei. FÖRSTER, 276; HELMHOLTZ, I, S. 800; HERING, R., S. 572; FRÖHLICH, 278; FILEHNE, 274 a; JAENSCH, 9 a, S. 200 ff. Es ist schwer, die Bedeutung dieses Momentes, das uns später in anderem Zusammenhange nochmals beschäftigen wird, richtig abzuschätzen. Jedenfalls ist die Möglichkeit eines derartigen Einflusses von Erfahrungsmotiven auf die Größenschätzung nach den verschiedenen Richtungen des Gesichtsfeldes hin ohne weiteres zuzugeben. Es würde sich auch hier wieder um analoge Vorgänge handeln, wie wir sie bei der Lehre von der Gestaltauffassung wiederholt eingehend besprochen haben. So erklärt es sich wahrscheinlich auch aus dem Einfluß der Gedächtnisform, daß die Überschätzung der vertikalen gegenüber den horizontalen Strecken bei verschiedenen Figuren verschieden stark

hervortritt, wie dies oben S. 159 näher ausgeführt wurde<sup>1)</sup>. Ganz direkt hat aber ferner WINCH (293a) angegeben, daß die Überschätzung der Vertikalen gegenüber der Horizontalen bei Schulkindern unter dem Einfluß des Zeichenunterrichts, d. h. also mit zunehmender Vertrautheit mit dem wirklichen Größenverhältnisse, allmählich abnimmt. Auf den ersten Blick scheint dies in einem unlöslichen Widerspruch zu stehen mit der Angabe von VALENTINE (290), daß dasselbe Phänomen bei Erwachsenen durch Übung gesteigert werden kann. Der Widerspruch ließe sich beheben, wenn wir die Verschiedenheit der Lokalisation nach den verschiedenen Richtungen des Gesichtsfeldes als das Primäre, in der Anlage ursprünglich Gegebene, auffassen, das durch die Erfahrung den wirklich vorhandenen Größenverhältnissen angepaßt, gewissermaßen richtiggestellt werden kann<sup>2)</sup>. Ist dies — beim Erwachsenen — einmal erfolgt, und gelingt es dann der Versuchsperson umgekehrt, durch Wiedereinstellung auf die ursprüngliche unbefangene Auffassung den Einfluß der Erfahrung wieder zurückzudrängen, so kommt die primäre Lokalisationsweise wieder zum Vorschein. Auch nach dieser Auffassung, die ich allerdings nur mit Vorbehalt andeuten möchte, würde jedenfalls wieder folgen, daß die Lokalisationsdifferenz, weil sie gerade bei jugendlichen Personen (nach RIVERS [245] auch bei unzivilisierten Völkern) am stärksten ist, auf einer angeborenen Einrichtung des Sehorgans beruht. Darin liegt aber die große theoretische Bedeutung derselben. Sie bildet, wie schon TSCHERMAK (12) ausgeführt hat, eine starke Stütze für die Annahme einer in der ursprünglichen Organisation des Sehorgans gegebenen charakteristischen Lokalisationsweise der Einzelelemente des somatischen Sehfeldes.

### 11. Die Ausfüllung des blinden Flecks.

Unter den peripheren Netzhautstellen erfordert eine Gegend wegen ihrer Eigenart eine besondere Besprechung, nämlich der blinde Fleck und seine nächste Umgebung. Beim binokularen Sehen ergänzen sich die Bilder beider Augen gegenseitig in der Weise, daß die Eindrücke der korrespondierenden Stellen des zweiten Auges gerade in die Lücke des Gesichtsfeldes des anderen hineinpassen und sie ausfüllen. Warum aber bemerken wir den blinden Fleck auch dann nicht, wenn wir das eine Auge verdecken? Daß dies beim gewöhnlichen Sehen nicht der Fall ist, darüber

1) SCHUMANN (249b, S. 49) wollte die Überschätzung der vertikalen gegenüber horizontalen Konturen sogar ganz auf solche Vorgänge der Gestaltauffassung zurückführen.

2) Mit Rücksicht auf die Ausführungen von HILLEBRAND (246a) muß betont werden, daß es sich hierbei nicht um einen Einfluß des bloßen Wissens um die richtigen Größenverhältnisse handeln kann, sondern daß eine Änderung der inneren Einstellung (Disposition) des Sehorgans eintreten müßte.

brauchten wir uns nicht weiter zu wundern, denn unsere Aufmerksamkeit wird ja, wie HELMHOLTZ ausführt, nur auf neu auftauchende oder sonstwie ungewöhnliche Erscheinungen des indirekten Sehens hingelenkt, die Erscheinungen am blinden Fleck bieten aber der Aufmerksamkeit keinen hinreichenden Anlaß dazu. Es wäre also vor allem zu fragen, warum wir die Lücke auch im Versuch bei gespannt daraufhin gerichteter Aufmerksamkeit nicht merken. Daß daran nicht die Unbestimmtheit der Lokalisation im indirekten Sehen schuld ist, ist selbstverständlich, denn wir bemerken ja das Verschwinden eines einzelnen farbigen Flecks, den wir auf die Stelle des blinden Flecks bringen, bei genügender Aufmerksamkeit ganz gut, während wir auf einer ganz einfarbigen Fläche oder auf einer solchen, die mit regelmäßig angeordneten, voneinander wenig unterscheidbaren Einheiten bedeckt ist, z. B. an einer Druckschrift oder einem sonstigen gleichförmigen Muster, keinen Ausfall sehen. Dieser wird im allgemeinen erst dann merklich, wenn die Größe der Details und ihr Abstand voneinander so groß ist, daß die Sehschärfe in der Umgebung des blinden Flecks hinreicht, um sie voneinander gesondert wahrzunehmen (LANDOLT, 299).

Man hat, um die Unmerklichkeit der Lücke auf gleichförmigem Grunde zu erklären, vielfach angenommen, daß der Stelle des blinden Flecks überhaupt keine Gesichtsempfindungen entsprechen<sup>1)</sup>. Man sehe hier, wie HELMHOLTZ (I, S. 577) es ausdrückt, im strengen Sinne des Wortes nichts, ebenso wie wir etwa hinter uns nichts sehen. Daß dies nicht zutrifft, ergibt sich aber schon aus der von vielen Autoren beobachteten entoptischen Sichtbarkeit des blinden Flecks. Man kann ihn als dunkle Scheibe, die von einem hellen Hof umgeben ist, sehen, wenn man im Dunkeln bruske Ab- und Adduktionsbewegungen der Augen ausführt. Ferner wird er bei Druck auf das Auge, bei elektrischer Durchströmung desselben und unter den Bedingungen, bei denen die PURKYNJESCHE Aderfigur auftritt, sichtbar. Insbesondere kann man ihn im ersten Augenblick sehen, wenn man nach kurzem Augenschluß auf eine gleichmäßig beleuchtete Fläche hinblickt, und zwar gelingt die Beobachtung sowohl monokular, wie binokular. Der blinde Fleck erscheint hierbei als eine dunkle Scheibe, die von einem hellen Hof umgeben ist, der sich gegen die Scheibe hin scharf abgrenzt, in die weitere Umgebung aber mit allmählicher Abschattierung übergeht. Die Erscheinung verschwindet jedoch ganz so, wie die Netzhautaderfigur, infolge der rasch einsetzenden Lokaladaptation schon nach Bruchteilen einer Sekunde<sup>2)</sup>. Sie kann aber, wie CHARPENTIER (296), TSCHERMAK (34) und BRÜCKNER (294) (vgl. auch KÖLLNER, 298) fanden, bei neuerlichem Lidschluß in ein flüch-

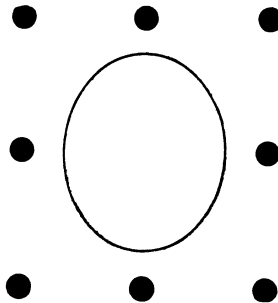
1) So besonders scharf MACH (10 a, S. 32), der aber seine Ansicht angesichts der neueren Beobachtungen zurücknahm.

2) Die Literatur über alle diese meist von mehreren Autoren bestätigten Beobachtungen findet man bei BRÜCKNER (294).

tiges negatives Nachbild, das die Form einer hellen Scheibe besitzt, übergehen. Die entoptische Sichtbarkeit des blinden Flecks beweist, daß der Stelle des blinden Flecks zwar ein Ausfall im peripheren Empfangsapparat, aber keine zentrale Lücke im somatischen Sehfeld entspricht. An die ihm entsprechende Stelle des Sehfelds werden tatsächlich Gesichtsempfindungen lokalisiert.

Wenn aber der Stelle des blinden Flecks nachweisbar ein Gebiet des somatischen Sehfeldes mit eigener Lokalisationsfähigkeit zugehört, dann ist auch die Meinung von WITTICHS (302) widerlegt, die Ausfüllung des blinden Flecks erfolge in der Weise, daß die Farbe der Umgebung mit ihren Raumwerten sich gewissermaßen über die Lücke hinwegschöbe, etwa so, wie nach dem von HERING gebrauchten Bilde eine Lücke in einer Kautschukplatte durch Dehnung ihrer Ränder ausgefüllt werden kann. Wenn diese Ansicht zuträfe, müßten die einander gegenüberliegenden Stellen des Randes

Fig. 77.

A  
+

des blinden Flecks mit ihren Raumwerten unmittelbar aneinander anschließen, d. h. wenn wir ein kleines Objekt dicht an den einen Rand des blinden Flecks brächten und ein zweites ebensolches Objekt hart an den gegenüberliegenden Rand des blinden Flecks, so müßten diese beiden Objekte unmittelbar nebeneinander zu liegen scheinen. In der Tat haben FERREE und RAND (296 a) behauptet, daß dies der Fall sei. Ich kann aber bei der Nachprüfung ihrer Versuche eine scheinbare Berührung oder Vereinigung der beiden kleinen Objekte, auch wenn ich sie dicht an den Rand des blinden Flecks heranbringe, nicht beobachten. Allerdings habe ich und noch ein Beobachter den deutlichen Eindruck, daß die auf den äußersten Rändern des blinden Flecks liegenden Gegenstände einander etwas genähert erscheinen. Man kann dies Verhalten mit der in Fig. 77 wiedergegebenen Anordnung nach v. WITTICH noch deutlicher wahrnehmen. Man bringe die Figur unter steter Fixation der Marke A in eine solche Entfernung vom rechten Auge, daß die vertikale Ellipse ungefähr auf die Gegend des

blinden Flecks fällt<sup>1)</sup>, und der mediale Rand desselben möglichst dicht rechts vom mittelsten Punkt der linken Vertikalreihe liegt. Dann sehe ich die linke Vertikalreihe ebenso wie v. WITTICH und LOHMANN (299 a) nicht gerade, sondern der mittlere Punkt derselben erscheint etwas nach rechts gegen den blinden Fleck zu verschoben. (An den anderen Reihen des Rechtecks ist mir die Abweichung von der geraden Richtung nicht sicher.) VOLKMANN (300) und HELMHOLTZ sahen die Reihen — von den gewöhnlichen Verziehungen im peripheren Gesichtsfeld abgesehen — gerade. FUNKE (297) gibt an, er sehe die linke Vertikalreihe gerade, wenn er sie mit einer mitten zwischen dem Fixationspunkt *A* und ihr gezogenen geraden vertikalen Linie vergleiche, sonst aber sehe er sie gebogen, wie v. WITTICH. Diese verschiedenen Angaben weisen auf individuelle Unterschiede hin, deren Ursache noch nicht feststeht. WUNDT bemerkt gelegentlich (144, S. 9), die angeführte Krümmung gerader Linien an der Grenze des blinden Flecks pflege man bei Kurzsichtigen zu finden. Das würde für meine Augen und die eines anderen myopischen Beobachters, der die Verziehung ebenso sieht, stimmen. Entscheidend wären natürlich nur Versuchsreihen an zahlreichen Individuen. Obwohl ich nun die Heranziehung eines am Rande des blinden Flecks liegenden Punktes gegen den letzteren hin ganz deutlich wahrnehme, ist diese doch lange nicht so stark, daß sie eine Ausfüllung des blinden Flecks bewirken könnte. Wenn die Angabe von FERREE und RAND zuträfe, müßte ferner der mittlere Punkt der linken Vertikalreihe, wenn man die Figur etwas vom Auge entfernte und wieder näherte, gegenüber dem oberen und unteren Punkt beträchtliche Scheinbewegungen ausführen, entsprechend der halben Breite des blinden Flecks. Davon bemerkt man aber ebenfalls nichts. Auch lassen sich die Angaben von FERREE und RAND mit den Beobachtungen von BRÜCKNER und anderen über die Sichtbarkeit des blinden Flecks nicht vereinen<sup>2)</sup>. Ich glaube daher, daß mein Unvermögen, die Angaben von FERREE und RAND zu bestätigen, nicht auf mangelhafte Beobachtungsfähigkeit in der Netzhautperipherie zurückzuführen ist.

Zu den Gesichtsempfindungen, die an der Stelle des blinden Flecks auftreten, tragen jedenfalls die korrespondierenden Stellen des zweiten Auges mit bei — Beweise dafür hat KÖLLNER (298) erbracht —, aber der dunkle Kreis, den man bei der Öffnung eines Auges an der Stelle des

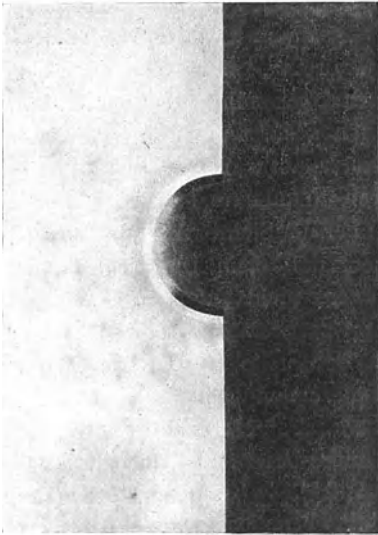
1) Da die Form des blinden Flecks individuelle Variationen aufweist, ist seine Grenze in der Figur nur schematisch angedeutet. Der schematische Umriß soll bloß als Anhalt dafür dienen, wo der blinde Fleck ungefähr liegt. Man kann beim Nähern und Entfernen der Figur vom Auge bald den rechten, bald den linken Rand der Ellipse zum Verschwinden bringen.

2) LOHMANN (299 a) hält dies zwar für möglich, indessen nur auf Grund von Spezialannahmen, deren Zulässigkeit fraglich ist. Aber auch LOHMANN hat Angaben von WERNER (301), die denen von FERREE und RAND ähnlich lauten, nicht voll bestätigen können.

blinden Flecks wahrnimmt, rührt doch nicht ausschließlich von den Regungen des geschlossenen anderen Auges her. Vielmehr machen es verschiedene Erscheinungen sicher, daß dabei sehr wesentlich auch der Simultankontrast mitwirkt (das Nähere vgl. man bei BRÜCKNER, 294). Wenn freilich der dunkle Kreis, der nach dem Öffnen des Auges an der Stelle des blinden Flecks auftritt, infolge der Lokaladaptation verschwunden ist, und die gleichmäßig helle Fläche bei der Betrachtung mit einem Auge auch an dieser Stelle genau ebenso aussieht, wie die Umgebung, dann ist es doch so, daß sich die Regungen der umgebenden Teile des somatischen Sehfeldes über den dem blinden Fleck entsprechenden Bezirk hin ausgebreitet haben. Sie behalten dabei zwar ihre farbige Qualität, nehmen aber die Raumwerte des blinden Flecks an, sie müssen also eine ihnen gleichsinnige Mitregung der dem blinden Fleck entsprechenden Teile des somatischen Sehfeldes ausgelöst haben.

Um über die Gesetzmäßigkeit, nach denen diese Mitregung abläuft, Aufschluß zu erhalten, kann man statt einer ganz gleichmäßig gefärbten Fläche eine halb weiße und halb schwarze zu den Versuchen benutzen.

Fig. 78.



Stellt man das Auge so ein, daß die gerade Grenzlinie des weißen und schwarzen Teils der Fläche über den blinden Fleck hinwegzieht, so sieht man, wie BRÜCKNER (294) fand, im ersten Augenblick an der Stelle des blinden Flecks eine Ausbuchtung der einen Farbe gegen die andere hin, und zwar ist es in der Regel die auf dem zentraleren, gegen die Makula hin gerichteten Teile der Netzhaut abgebildete Farbe, die sich über den blinden Fleck ausbreitet. Lag also der Fixationspunkt auf dem weißen Teil der Fläche und wurde der schwarze Teil exzentrisch abgebildet, so entstand eine weiße Ausbuchtung; lag der Fixationspunkt auf dem Schwarz und wurde das Weiß exzentrisch abgebildet, so zeigte sich eine schwarze Aus-

buchtung wie sie in Fig. 78 für das linke Auge angegeben ist. Am Rande derselben waren Erscheinungen des Grenzkontrastes zu sehen: der helle Ring und die dunklere Korona um die schwarze Scheibe in der Figur. Ferner war oft der äußerste temporale Teil der Ausbuchtung etwas undeutlicher, wie es ebenfalls in der Figur angedeutet ist, und manch-



mal trat auch in der Mitte derselben eine hellere Stelle auf. Diese anfängliche Erscheinung ist sehr flüchtig, sie hält in BRÜCKNERS Auge bei zentraler Abbildung des Schwarz nur etwa 4', bei zentraler Lage des Weiß nur einen Moment an. Ich sehe sie nur unter den günstigsten Umständen, wenn die schwarze Fläche gegen die Makula zu abgebildet wird, bei der mäßigen Dunkeladaption etwa eines sehr trüben Tages und passend herabgesetzter Beleuchtung ganz vorübergehend. Wenn sie verschwunden ist, folgt ein Dauerzustand, in dem man nicht recht angeben kann, wie die Grenze an der Stelle des blinden Flecks aussieht. So sagt HELMHOLTZ (I, S. 576): »Wunderlich ist dabei, aber charakteristisch für das Wesen der Erscheinung, daß ich nirgends eine Lücke zwischen dem weißen und schwarzen Felde sehe, obgleich ich erkenne, daß ich an einer Stelle die Begrenzungslinie nicht sehen kann, daß sich zwischen das Schwarze und Weiße nichts einschleibt, und ich doch nicht angeben kann, wo und wie geformt die Grenze sei.« Leichter bemerkt man, wie HELMHOLTZ hervorhebt, die Lücke in der Kontur einer Kreisfläche. Hier kann man ziemlich genau angeben, wieviel von der Kreiskontur fehlt, und ist es noch viel auffälliger, daß man an der Stelle des blinden Flecks nichts über die Begrenzung der Fläche zu sagen weiß.

Wenn nun schon bei so einfachen Versuchen die Beobachtung recht schwierig ist, so ist es begreiflich, daß bei komplizierteren Objekten die Aussagen der verschiedenen Autoren über das, was sie zu sehen meinen, weit auseinandergehen. Ein viel untersuchter Fall ist die Ergänzung eines Kreuzes, dessen vertikaler Balken in seiner Farbe wesentlich verschieden ist vom horizontalen (vgl. die Abbildung bei HELMHOLTZ, I, S. 575). VOLKMANN und v. WITTICH sahen, wenn die Kreuzungsstelle auf den blinden Fleck fiel, meist den horizontalen Balken des Kreuzes ununterbrochen hindurchziehen, seltener den vertikalen. AUBERT (4, S. 257) konnte trotz vielfacher Wiederholung der Versuche nicht angeben, was er an der Stelle des blinden Flecks eigentlich wahrnimmt. HELMHOLTZ war sich schließlich bei diesem Versuche ganz bestimmt bewußt, daß er die Kreuzungsstelle nicht wahrnehmen konnte.

Bei den Schwierigkeiten, welche die Beobachtungen über die Ausfüllung des blinden Flecks wegen seiner exzentrischen Lage darbietet, war es nun äußerst interessant, Patienten mit negativen Skotomen, bei denen der Defekt auf einer mehr zentral gelegenen Stelle der Netzhaut liegt, auf die Ausfüllung desselben zu untersuchen. Von früher her liegt darüber meines Wissens nur eine kurze Bemerkung von WUNDT vor (15a, Bd. 2, S. 539), an dessen rechtem Auge nach einer Chorioiditis ein genau der Makula entsprechendes zentrales Skotom von 4°—5° Durchmesser zurückgeblieben ist. An diesem zentralen blinden Fleck bemerkt WUNDT »sehr deutlich die Ausfüllung mit dem gleichförmigen Licht der Umgebung, während

dagegen mit dem Hereinreichen irgendwelcher näher differenzierter Bilder, Teilen geometrischer Figuren, Druckschriften u. dgl., das Bild an der Grenze der blinden Stelle scharf abbricht«. In der letzten Zeit sind ferner Versuche von POPPELREUTER (11 a, S. 149 ff.) hinzugekommen, der an einem Falle mit ausgedehntem paramakulärem Skotom im Tachistoskop einfache Figuren, wie z. B. Quadrate, kurze Zeit derart exponierte, daß ein Teil ihres Bildes in das Gebiet des Skotoms hineinfiel. Der Patient sah das Quadrat vollständig, mit einer »diffusen, unbestimmbaren Dunkelheit« an der Stelle des Skotoms. »Diese Dunkelheit ist aber nur bei tachistoskopischer Exposition vorhanden, in längerem Betrachten bei ruhiger Fixation dagegen nicht. Ebenso wie es bei den geübten Beobachtern des normalen blinden Flecks der Fall ist, sah der Patient bei durchgehenden schwarzen Konturen ein unbestimmtes Hellersein, bei dunklen ein unbestimmtes Dunklersein.« Ähnliche Versuche führte POPPELREUTER auch an Hemianopikern aus. Meist ergänzten sie eine im Tachistoskop kurze Zeit sichtbare Kreisfläche, die zur einen Hälfte ins hemianopische Gebiet hineinfiel, zu einem Vollkreis, nur wurde er im letzteren Gebiete häufig »nicht so deutlich gesehen«, wie auf der normalen Netzhaut.

Soweit sich aus der kurzen Beschreibung POPPELREUTERS Schlüsse ziehen lassen, scheint es sich in diesen Fällen in der Tat, wie er annimmt, um jenen Vorgang gehandelt zu haben, den wir als ergänzende Reproduktion bei der Besprechung der Gestaltauffassung schon behandelt haben. Auf die Tätigkeit der »Phantasie«, welche die Lücke im blinden Fleck so schließt, wie es sich aus der Form der umgebenden Netzhautbilder am einfachsten und wahrscheinlichsten ergibt, hatten schon E. H. WEBER (292) und VOLKMANN (300) die Ausfüllung auch des normalen blinden Flecks zurückgeführt. In der Tat paßt das, was wir oben über die ergänzende Reproduktion sagten, auch zu den hier beschriebenen Vorgängen. Das Übersehen einer fehlenden Einzelheit, insbesondere bei der kurzen Exposition im Tachistoskop, die individuellen Unterschiede im Grade der Ergänzung, endlich das Gewahrwerden, daß »man eigentlich nichts sieht«, beim Hinlenken der Aufmerksamkeit auf die Lücke, sind einander in beiden Fällen durchaus analog. Begünstigt wird dieses Spiel der Phantasie beim normalen blinden Fleck offenbar durch die geringe Eindringlichkeit der exzentrischen Netzhautbilder, die das Bemerkten der Lücke auch bei gespanntester Aufmerksamkeit so ungemein erschwert, während beim zentralen Skotom, also an der Stelle größter Eindringlichkeit der Netzhautbilder, wie aus den Angaben von WUNDT zu schließen ist, die Ausfüllung der Lücke an Konturen durch die Phantasie geradezu unmöglich ist.

Wenn nun trotzdem auch in diesem Falle das Skotom durch die Farbe der Umgebung ausgefüllt wird, so muß zum Spiel der ergänzenden Reproduktion noch etwas anderes hinzukommen. Dieses andere ist aber aus den

Versuchen von BRÜCKNER zu erschließen. Es besteht in der Miterregung der dem blinden Fleck entsprechenden Zentraltteile des Sehorgans durch eine Art physiologischer Irradiation, wie sie bereits von PLATEAU (siehe oben S. 13) angenommen worden war. BRÜCKNER hat schon auf die Analogie dieses Vorganges mit jenen Fällen gegenseitiger Beeinflussung zweier gleichzeitiger Hautreize hingewiesen, über die wir oben S. 100 berichtet haben. Wir hatten dort auseinandergesetzt, daß dies der Spezialfall eines allgemeineren Gesetzes ist, das wir auch noch bei den Temperatur- und Geschmacksempfindungen und in verschiedenen Fällen bei den Farbeempfindungen nachweisen können, und daß es sich dabei um einen Prozeß handelt, der ebenso wie der Simultankontrast viel tiefer in der Organisation des Sehorgans wurzelt, als die Gestaltwahrnehmung. Wenn wir daher bei der Ausfüllung des blinden Flecks ein Zusammenwirken der physiologischen Irradiation und der Gestaltwahrnehmung annehmen, so stellen wir uns auch hier wieder auf denselben Standpunkt, den wir oben einnahmen, als wir den Einfluß der Erfahrung auf die Größenschätzung in verschiedenen Richtungen des Gesichtsfeldes besprachen: Wir supponieren einen auf angeborener Anlage beruhenden Vorgang in einer niederen Sphäre des Sehorgans — die physiologische Irradiation —, die von der übergeordneten Stelle, in deren Organisation die Gestaltauffassung begründet ist, benützt und entsprechend modifiziert wird.

Es ist freilich nicht zu verkennen, daß es sich speziell bei den Versuchen von BRÜCKNER um recht verwickelte Vorgänge handelt, die sich auch nach der eben dargelegten Auffassung noch nicht in allen Einzelheiten klar entwirren lassen. Zunächst mischen sich deutlich auch die Regungen vom zweiten geschlossenen Auge mit ein. Das geht aus der längeren Dauer und der größeren Deutlichkeit der schwarzen gegenüber der kürzeren Dauer und geringeren Deutlichkeit der weißen Ausbuchtung hervor. Am lebhaftesten aber merkt man, wenn man den Versuch selbst ausführt, wie eine starke Weißerregung in der Umgebung des blinden Flecks des offenen Auges das Auftreten der schwarzen Ausbuchtung unterdrückt, während die letztere durch herabgesetzte Beleuchtung und mäßige Dunkeladaptation des offenen Auges, sobald man auch an anderen Stellen des Gesichtsfeldes die Verdunkelung durch die Regungen des geschlossenen Auges merkt, stark begünstigt wird. Daß man aber auch im letzteren Falle nicht die ganze Erscheinung auf die Regungen des anderen Auges zurückführen darf, das ist nach der Analogie aus dem Auftreten der weißen bzw. in anderen Versuchen einer buntfarbigen Ausbuchtung zu erschließen, die, wenn auch nur für kurze Zeit, die Regungen vom anderen Auge zu unterdrücken vermögen. Es handelt sich also um einen Wettstreit zwischen den Regungen des zweiten und der Irradiation vom gleichen Auge, in denen schließlich die letztere Sieger bleibt. Einen solchen Streit der Regungen beider Augen

an der Stelle des blinden Flecks hatte übrigens schon VOLKMANN (300) beschrieben. Ein analoger Wettstreit besteht ferner zwischen der Irradiation der zentralen und weiter peripher abgebildeten Farbe. Daß die erstere dabei meist zunächst das Übergewicht hat, dürfte durch ihre größere Eindringlichkeit bedingt sein. Daß sich später ihr Gebiet nur ungefähr gleich weit in den blinden Fleck hinein erstreckt, wie der der peripheren Farbe, muß man wohl auf den modifizierenden Einfluß der Gestaltwahrnehmung zurückführen. Noch nicht genügend geklärt ist die Rolle des Simultan-contrastes und der Lokaladaption bei diesen Versuchen. Indessen gehört die Erörterung dieser Fragen kaum mehr in die Lehre vom Raumsinn hinein.

Schließlich wäre hier noch auf die normalen kleinen Skotome hinzuweisen, die seit den Untersuchungen von COCCIUS und AUBERT und FÖRSTER (vgl. AUBERT, 1, S. 258) auf der Netzhaut bekannt sind. Warum wir auch diese für gewöhnlich nicht merken, ergibt sich nach dem Gesagten von selbst. Hier wird wegen ihrer Kleinheit die physiologische Irradiation noch viel stärker wirksam sein, als an der Papilla nervi optici.

---

## Literatur.

Um das Literaturverzeichnis nicht zu umfangreich zu machen und trotzdem mit seiner Hilfe das Aufsuchen der Gesamtliteratur zu ermöglichen, habe ich überall dort, wo die Literatur über eine Frage bereits an einer anderen leicht zugänglichen Stelle zusammengefaßt ist, mich darauf beschränkt, auf diese Übersicht hinzuweisen, und im übrigen bloß jene Werke und Abhandlungen angeführt, auf die im Text Bezug genommen wurde, oder die in den zitierten Übersichten nicht erwähnt waren. Bei Abhandlungen, die mir nicht erreichbar waren, habe ich die Stelle, nach der sie zitiert sind, oder wo man einen Bericht über sie findet, angegeben. Die während des Krieges erschienene Literatur ist mir natürlich nicht vollständig bekannt geworden.

Von allgemeinen Übersichten möchte ich besonders hervorheben die von A. König in der 2. Auflage von Helmholtz Physiologischer Optik mit außerordentlicher Sorgfalt durchgeführte, nach großen Kapiteln geordnete Literaturzusammenstellung. Sehr wertvoll sind ferner die in der Zeitschr. f. Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane<sup>1)</sup> erscheinenden Jahresübersichten über die gesamte psychologische und sinnesphysiologische Literatur, darunter auch die physiologische Optik. Eine analoge Jahresbibliographie ist auch der »Psychological Review« beigelegt.

Von den grundlegenden Darstellungen wird

1. v. Helmholtz' Handbuch der physiologischen Optik im Text zitiert mit der Zahl der Auflage in römischen Ziffern: I (1856—1866); II (1885 bis 1896); III, mit Zusätzen von Gullstrand, Nagel und v. Kries (1909—1914).

---

<sup>1)</sup> Diese Zeitschrift erscheint seit dem 40. Bande in zwei Abteilungen, deren Bände besonders numeriert werden: Abt. 1: Z. f. Psychologie; Abt. 2: Z. f. Sinnesphysiologie. Diese werden im folgenden Verzeichnis zitiert unter der Abkürzung: »Z. f. Psycho.« und »Z. f. Sinnesphysiol.« ohne Beifügung der Abteilungsnummer,

2. Herings Darstellung des Raumsinns des Auges und der Augenbewegungen in Hermanns Handb. d. Physiologie (1880) wird zitiert: Hering (R.).

Alle übrigen Werke sind zitiert nach den fortlaufenden Nummern des folgenden Verzeichnisses.

### Werke allgemeinen Inhalts.

1. Aubert, H., Physiologie der Netzhaut. Breslau, Morgenstern. 1865.
2. Derselbe, Physiologische Optik. Dieses Handb. 1. Aufl. II. 1876.
3. Bourdon, B., La perception visuelle de l'espace. Paris, Schleicher frères. 1903.
4. Bühler, K., Die Gestaltwahrnehmungen. I. Stuttgart, Spemann. 1913.
5. Ebbinghaus und Dürr, Grundzüge der Psychologie. Leipzig, Veit. I, 3. Aufl. 1911; II, 1.—3. Aufl. 1913.
6. Fröbes, J., Lehrbuch der experimentellen Psychologie. I. Freiburg i. B., Herder. 1917.
7. Hering, E., Beiträge zur Physiologie. Leipzig, Engelmann. 1864—4.
8. Hofmann, F. B., Untersuchungsmethoden für den Raumsinn des Auges. Tigerstedts Handb. d. physiol. Methodik. III. 1909.
- 8a. Derselbe, Die Lehre vom Raumsinn des Doppelauges. *Ergebn. d. Physiol.* XV. S. 238. 1915.
9. Jaensch, E. R., Zur Analyse der Gesichtswahrnehmungen. *Z. f. Psychol. Erg.-Bd. IV.* Leipzig, Barth. 1909.
- 9a. Derselbe, Über die Wahrnehmung des Raumes. *Ebenda. Erg.-Bd. VI.* 1911.
10. James, W., *The principles of psychology.* London. 1891.
- 10a. Mach, E., Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen. 7. Aufl. Jena, Fischer. 1918.
11. Pikler, J., Sinnesphysiologische Untersuchungen. Leipzig, Barth. 1917.
- 11a. Poppelreuter, W., Die psychischen Schädigungen durch Kopfschuß usw. Bd. I: Die Störungen der niederen und höheren Schleistungen durch Verletzungen des Okzipitalhirns. Leipzig, Voss. 1917.
12. Tschermak, A., Über die Grundlagen der optischen Lokalisation nach Höhe und Breite. *Ergebn. d. Physiol.* IV. Abt. 2. S. 317. 1905.
13. Volkmann, A., Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik. Leipzig, Breitkopf & Härtel. 1863.
14. Witasek, St., Psychologie der Raumwahrnehmung des Auges. Heidelberg, Winter. 1910.
15. Wundt, W., Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung. Leipzig und Heidelberg. 1862. Auch abschnittsweise in *Z. f. rat. Med.* (3), IV, S. 229; VII. S. 279 u. 321; XII. S. 145; XIV. S. 1; XV. S. 104 (1858—1862).
- 15a. Derselbe, Grundzüge der physiologischen Psychologie. 6. Aufl. Leipzig, Engelmann. 1908—1911.
16. Zoth, O., Augenbewegungen und Gesichtswahrnehmungen. Nagels Handb. d. Physiologie. III. 1905.

### Einleitung.

17. Fechner, G. Th., *Elemente der Psychophysik.* 2. Aufl. Leipzig, Breitkopf & Härtel. 1889. (1. Aufl. 1860.)
18. Fischer, O., Über Makropsie und deren Beziehungen zur Mikrographie, sowie über eine eigentümliche Störung der Lichtempfindung. *Monatsschr. f. Psychiatrie u. Neurol.* XIX. S. 290. 1906.
19. Derselbe, Ein weiterer Beitrag zur Klinik und Pathogenese der hysterischen Dysmegalopsie. *Ebenda.* XXI. S. 1. 1907.
20. Hofmann, H., Untersuchungen über den Empfindungsbegriff. *Arch. f. d. ges. Psychol.* XXVI. S. 1. 1913.

21. Liebscher, K., Über einen Fall von künstlich hervorgerufenem »halbseitigen Ganser nebst einem Beitrage zur Kenntniss der hysterischen Dismegalopsie. Jahrb. f. Psychiatrie u. Neurol. XXVIII. S. 113. 1907.
22. von Máday, St., Psychologie des Pferdes und der Dressur. Berlin, Parey. 1912.
23. Pick, A., Weiterer Beitrag zur Lehre von der Mikrographie. Wiener klin. Wochenschr. 1905. S. 7.
24. Sittig, O., Zur Kasuistik der Dismegalopsie. Monatsschr. f. Psychiatrie u. Neurol. XXXIII. S. 361. 1913.

### Irradiation.

Die Literatur über Irradiation ist wiederholt sehr eingehend zusammengestellt worden, so durch Plateau (29 und 30); bis zum Jahre 1892 durch A. König in der Literaturübersicht zur 2. Auflage von Helmholtz' physiologischer Optik; bis zum Jahre 1902 durch A. Tschermak (31). Ich habe mich daher hier auf die Zitate der im Text erwähnten bzw. anderswo übersehener Abhandlungen beschränkt.

25. Altmann, R., Zur Theorie der Bilderzeugung. His' Arch. f. Anat. 1880. S. 111.
26. Hering, E., Über Irradiation. Hermanns Handb. d. Physiol. III. Teil 2. S. 441. 1880.
27. Lehmann, A., Versuch einer Erklärung des Einflusses des Gesichtswinkels auf die Auffassung von Licht und Farbe, bei direktem Sehen. Pflügers Arch. XXXVI. S. 580. 1885.
28. Mach, E., Über die physiologische Wirkung räumlich verteilter Lichtreize. Sitz.-Ber. d. Wiener Akad. Math.-naturw. Kl. LIV. Abt. 2. S. 393. 1866.
29. Plateau, J., Mémoire sur l'irradiation. Nouv. Mém. de l'acad. roy. de Bruxelles. XI. 1838. Auch in Poggendorffs Annalen. Erg.-Bd. I. S. 79, 193, 405. 1838.
30. Derselbe, Sur les couleurs accidentelles ou subjectives. Bull. de l'acad. roy. de Belgique. 2. série. XLII. p. 535 et 684. 1876.
31. Tschermak, A., Über Kontrast und Irradiation. Ergebn. d. Physiol. II. Abt. 2. S. 726. 1903.

### Das Auflösungsvermögen des Auges.

Ausführliche Literaturübersicht bei Löhner (70) und bei Pergens (74).

32. Asher, L., Über das Grenzgebiet des Licht- und Raumsinnes. Z. f. Biol. XXXV. S. 394. 1897.
33. Aubert und Förster, Beiträge zur Kenntniss des indirekten Sehens. I. Über den Raumsinn der Retina. v. Graefes Arch. III, 2. S. 4. 1857.
34. Bergmann, C., Anatomisches und Physiologisches über die Netzhaut des Auges. Z. f. rat. Med. (3), II. S. 83. 1858.
35. Best, F., Über die Grenzen der Sehschärfe. Ber. ophthalm. Ges. Heidelberg. XXVIII. S. 129. 1904.
36. Bielschowsky, A., Über die monokuläre Diplopie ohne physikalische Grundlage nebst Bemerkungen über das Sehen Schielender. v. Graefes Arch. XLVI. S. 143.
37. Bloom, S. und Garten, S., Vergleichende Untersuchung der Sehschärfe des hell- und des dunkel-adaptierten Auges. Pflügers Arch. LXXII. S. 372. 1898.
38. du Bois-Reymond, C., Scheinheit und kleinster Sehinkel. v. Graefes Arch. XXXII, 3. S. 1. 1886.
39. Buttman, H., Untersuchungen über Sehschärfe. Diss. Freiburg i. B. 1896.
40. Cobb, P. W., The influence of illumination of the eye on visual acuity. Amer. Journ. Physiol. XXIX. p. 76. 1911.

41. Derselbe, Influence of pupillary diameter on visual acuity. Amer. Journ. Physiol. XXXVI. p. 333.
42. Cohn, H., Einige Vorversuche über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Helligkeit. Festschr. f. Förster. Arch. f. Augenheilk. XXXI. Ergänz.-Heft. S. 193. 1895.
- 42a. Derselbe, Die Sehleistung der Helgoländer und der auf Helgoland stationierten Mannschaften der kaiserlichen Marine. Deutsche med. Wochenschrift 1896. S. 698.
43. Derselbe, Untersuchungen über die Sehleistungen der Ägypter. Berliner klin. Wochenschr. 1898. S. 453.
- 43a. Derselbe, Die Sehleistungen von 50 000 Breslauer Schulkindern. Breslau, Schottländer. 1899.
44. Dobrowolsky, W. und Gaine, A., Über die Sehschärfe (Formsinn) an der Peripherie der Netzhaut. Pflügers Arch. XII. S. 411. 1876.
45. Dor, H., Beiträge zur Elektrotherapie der Augenkrankheiten. v. Graefes Arch. f. Ophth. XIX, 3. S. 316. 1873.
46. Exner, S., Studien auf dem Grenzgebiete des lokalisierten Sehens. Pflügers Arch. LXXIII. S. 117. 1898.
47. Fick, A. E., Über Stäbchen- und Zapfensehschärfe nach Versuchen von F. Koester. v. Graefes Arch. XLV. S. 336. 1898.
48. Groenouw, Über die Sehschärfe der Netzhautperipherie und eine neue Untersuchungsmethode derselben. Arch. f. Augenheilk. XXVI. S. 85. 1893.
49. Guillery, H., Ein Vorschlag zur Vereinfachung der Sehproben. Arch. f. Augenheilk. XXIII. S. 323. 1894.
50. Derselbe, Nochmals meine Sehproben. Ebenda. XXVI. S. 80. 1893.
51. Derselbe, Einiges über den Formensinn. Ebenda. XXVIII. S. 263. 1894.
52. Derselbe, Vergleichende Untersuchungen über Raum-, Licht- und Farbensinn in Zentrum und Peripherie der Netzhaut. Z. f. Psychol. XII. S. 243. 1896.
53. Derselbe, Über die Empfindungskreise der Netzhaut. Pflügers Arch. LXVIII. S. 120. 1897.
54. Derselbe, Bemerkungen über Raum- und Lichtsinn. Z. f. Psychol. XVI. S. 264. 1898. Polemik gegen Asher. XXXII.
55. Derselbe, Bemerkungen über zentrale Sehschärfe. Arch. f. Augenheilk. XXXVII. S. 153. 1898.
56. Derselbe, Weitere Untersuchungen zur Physiologie des Formensinns. Arch. f. Augenheilk. LI. S. 209. 1903.
57. Derselbe, Zur Erörterung der Sehschärfeprüfung. Ebenda. LIII. S. 148. 1905.
58. Heß, C., Über einheitliche Bestimmung und Bezeichnung der Sehschärfe. Kommiss.-Bericht d. Intern. Congr. f. Augenheilk. in Neapel. Arch. f. Augenheilk. LXIII. S. 325. 1909.
59. Hummelsheim, E., Über den Einfluß der Pupillenweite auf die Sehschärfe bei verschiedener Intensität der Beleuchtung. v. Graefes Arch. XLV. S. 357. 1898.
60. Jacobson, Malte, Über die Erkennbarkeit optischer Figuren bei gleichem Netzhautbild und verschiedener scheinbarer Größe. Z. f. Psychol. LXXVII. S. 1. 1916.
61. Kirschmann, A., Über die Erkennbarkeit geometrischer Figuren und Schriftzeichen im indirekten Sehen. Arch. f. Psychol. XIII. S. 332. 1908.
62. König, A., Die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität. Sitzungsber. d. Berliner Akad. S. 559. 1897.
63. Koester, F., Über Stäbchen- und Zapfensehschärfe. Zentralbl. f. Physiol. IX. S. 433. 1896.

64. Koster, W., Zur Kenntnis der Mikropie und der Makropie. v. Graefes Arch. f. Ophth. XLII, 3. S. 134. 1896.
65. v. Kries, Über die Abhängigkeit zentraler und peripherer Sehschärfe von der Lichtstärke. Zentralbl. f. Physiol. VIII. S. 694. 1895.
66. Köhl, A., Eine Erweiterung des Riccöschen Satzes über die Beziehung zwischen Lichtempfindlichkeit und Größe des gereizten Netzhautbezirkes der Fovea. Z. f. Biol. LX. S. 481. 1913.
67. Laan, H. A., Over gezichtsscherpte en hare bepaling. Onderzoek. Physiol. Labor. Utrecht. 5. Reihe. Teil III, 1. p. 123. 1901.
68. Laurens, H., Über die räumliche Unterscheidungsfähigkeit beim Dämmersehen. Z. f. Sinnesphysiol. XLVIII. S. 233. 1914.
69. Löhlein, W. und Gebb, H., Zur Frage der Sehschärfebestimmung. Arch. f. Augenheilk. LXV. S. 69 u. 189. 1910.
70. Löhner, L., Die Sehschärfe des Menschen und ihre Prüfung. Wien, Deuticke. 1912.
71. Merkulowitsch, Über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität in verschiedenen spektralen Teilen. Inaug.-Diss. Petersburg. Zit. nach Jahresber. f. Ophth. 1910.
72. Oguchi, C., Experimentelle Studien über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität und der praktische Wert des Photometers von Höri. v. Graefes Arch. LXVI. S. 455. 1907.
73. Pauli, R., Untersuchungen über die Helligkeit und den Beleuchtungswert farbiger und farbloser Lichter. Z. f. Biol. LX. S. 311. 1913.
74. Pergen E., Recherches sur l'acuité visuelle. Annal. d'oculist. CXXXV. p. 117, 294, 402, 475. 1906. CXXXVI. p. 123, 204. 1906. CXXXVIII. p. 185. 1907. CXL. p. 188, 430. 1908. CXLIII. p. 358. 1910. CXLIV. p. 26. 1910. CXLVII. p. 117, 148, 342. 1912. CXLIX. p. 201. 1913.
75. Derselbe, Über Faktoren, welche das Erkennen von Sehproben beeinflussen. Arch. f. Augenheilk. XLIII. S. 144. 1904.
76. Derselbe, Analyse der Landoltschen C-Figur zur Messung der Sehschärfe. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XL, 2. S. 311. 1902.
77. Derselbe, Über das Erkennen von C-Figuren bei verschiedenen Durchmesser und konstanter Öffnung. Ebenda. XL<sup>1</sup>, 2. S. 112. 1903.
78. Derselbe, Untersuchungen über das Sehen. Z. f. Augenheilk. IX. S. 256. 1903.
79. Derselbe, Recherches sur l'acuité visuelle. Ann. d'Oculist. CXXXVI. p. 461. 1906.
80. Derselbe, Dasselbe. Ebenda. CXXXVII. p. 202. 1907.
81. Posch, A., Über Sehschärfe und Beleuchtung. Arch. f. Augenheilk. V. S. 14. 1876.
82. Riccò, A., Relazione fra il minimo angolo visuale e l'intensità luminosa. Ann. d'Ottalm. VI. p. 373. 1877. Auszug daraus: Über die Beziehungen zwischen dem kleinsten Sehwinkel und der Lichtintensität. Zentralbl. f. prakt. Augenheilk. S. 122. 1877.
83. Rice, Visual acuity with lights of different colours and intensities. Arch. of Psychol. No. 20. p. 59. 1912. Zit. nach Z. f. Psychol. LXV. S. 224. 1913.
84. Rivers, Reports of the Cambridge Anthropol. Exped. to Torres Straits. II. Vision. Teil I. Cambridge. 1904. (Zit. nach Fritsch, 103.)
- 84a. Derselbe, Acuité visuelle des peuples civilisés et des sauvages. Ann. d'oculist. CXXXII. p. 455. 1904.
85. Ruppert, L., Ein Vergleich zwischen dem Distinktionsvermögen und der Bewegungsempfindlichkeit der Netzhautperipherie. Z. f. Sinnesphysiol. XLII. S. 409. 1908.
86. Schadow, G., Die Lichtempfindlichkeit der peripheren Netzhautteile im Verhältnis zu deren Raum- und Farbensinn. Pflügers Arch. XIX. S. 439. 1879.



87. Schanz, F., Apparat zur Beobachtung der Fluoreszenz am eigenen Auge und der Beeinträchtigung der Sehschärfe durch das Fluoreszenzlicht. Ber. 38. Vers. d. Ophthal. Ges. S. 376. 1912.
- 87a. Seggel, Über den Einfluß der Beleuchtung auf die Sehschärfe und die Entstehung von Kurzsichtigkeit. Münchener med. Woch. S. 4044 u. 4044. 1897.
88. Siemens, W., Über die Abhängigkeit der elektrischen Leitungsfähigkeit des Selens von Wärme und Licht. Wiedemanns Annal. d. Physik. II. S. 524. 1877.
89. Snellen, H., Letterproeven to bepaling der gezichtsscherpte. Utrecht. 1862. Ausgabe: holländisch, deutsch, englisch, französisch, italienisch.
90. Derselbe, Notes on vision and retinal perception. Ophthalm. Rev. p. 164. 1896.
91. Thorner, W., Die Grenze der Sehschärfe. Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XLVIII, 4. S. 671. 1910.
92. Uhthoff, W., Über das Abhängigkeitsverhältnis der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität. v. Graefes Arch. XXXII, 4. S. 474. 1886.
93. Derselbe, Weitere Untersuchungen über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Intensität sowie von der Wellenlänge im Spektrum. Ebenda. XXXVI, 4. S. 33. 1890.
94. Derselbe, Über die kleinsten wahrnehmbaren Gesichtswinkel in den verschiedenen Teilen des Spektrums. Z. f. Psychol. I. S. 455. 1890.
95. Werthheim, Th., Über die indirekte Sehschärfe. Z. f. Psychol. VII. S. 477. 1894.
96. Wolffberg, Analytische Studien an Buchstaben und Zahlen zum Zweck ihrer Verwertung für Sehschärfepfungen. v. Graefes Arch. LXXVII. S. 409. 1910.
97. Derselbe, Beitrag zur Sehschärfepfungen nach Snellen. v. Graefes Arch. XC. S. 249. 1915.
98. Worth, Claud., Squint. Bale & Danielsson. London. 1903.

### Die Feinheit des optischen Raumsinns und ihre Beziehung zu den Elementen des Perzeptionsapparates.

99. Bergmann, C., Können die Zäpfchen der Fovea centralis retinae Seheinheiten sein? Z. f. rat. Med. (3), XXIII. S. 145. 1865.
100. Best, Über die Grenze der Erkennbarkeit von Lageunterschieden. Arch. f. Ophth. LI. S. 453. 1900.
101. v. Fleischl, E., Die Verteilung der Sehnervenfasern über die Zapfen der menschlichen Netzhaut. Wiener Sitzber. Math.-naturw. Kl. LXXXVII. 3. Abt. S. 246. 1883. (Ges. Werke, S. 173.)
102. v. Frey, M., Physiologie der Sinnesorgane der menschlichen Haut. Ergebn. d. Physiol. XIII. S. 95. 1913.
- 102a. Derselbe, Leitung und Ausbreitung der Erregung in den Nervenbahnen des Drucksinns. Z. f. Biol. LIX. S. 560. 1913.
103. Fritsch, G., Über Bau und Bedeutung der Area centralis des Menschen. Berlin, Reimer. 1908. Vgl. auch Zentralbl. f. Physiol. XXIV. S. 796. 1910. Ferner: Vergleichende Untersuchungen der Fovea centralis des Menschen (Vorl. Mitt.). Anatom. Anz. XXX. S. 462. 1907.
104. Heine, L., Demonstration des Zapfenmosaiks der menschlichen Fovea. Ber. d. Ophth. Ges. Heidelberg. 29. Vers. S. 265. 1904.
105. Hensen, V., Über das Sehen in der Fovea centralis. Virchows Arch. XXXIX. S. 475. 1867.
106. Hering, E., Über die Grenzen der Sehschärfe. Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss. Leipzig. Math.-Physik. Kl. LI. S. 46. 1899.

107. Klein, Fr., Das Wesen des Reizes. II. Engelmanns Arch. f. Physiol. S. 440. 1905.
- 107a. Derselbe, Das Eigenlicht der Netzhaut, seine Erscheinungsformen, seine blindmachende und bildfälschende Wirkung. Ebenda. S. 191. 1911.
108. Salzer, Über die Anzahl der Sehnervenfasern und der Retinalzapfen im Auge des Menschen. Sitzber. d. Wiener Akad. LXXXI. 3. Abt. S. 7. 1884.
109. Schoute, G. J., Wahrnehmungen mit einem einzelnen Zapfen der Netzhaut. Z. f. Psychol. XIX. S. 251. 1898.
110. Stratton, G. M., A new determination of the minimum visible and its bearing on localization and binocular depth. Psychol. Rev. VII. p. 429. 1900.
111. Derselbe, Visible motion and the space threshold. Psychol. Rev. IX. p. 433. 1902.
112. v. Volkmann, W., Zur Entscheidung der Frage: ob die Zapfen der Netzhaut als Raumelemente beim Sehen fungieren. Reichert u. duBois' Arch. S. 395. 1865.
113. Weber, E. H., Über den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge. Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss. Math.-naturw. Kl. S. 85. Jahrg. 1852.
114. Wülfig, Über den kleinsten Gesichtswinkel. Z. f. Biol. XXIX. S. 199. 1892.

#### Vergleich von Richtungen und Winkeln.

115. Bihler, W., Beiträge zur Lehre vom Augenmaß für Winkel. Diss. Freiburg. 1896. Vgl. auch die Besprechung von Witasek. Z. f. Psychol. XIV. S. 391.
116. Guillery, Messende Untersuchungen über den Formensinn. Pflügers Arch. LXXV. S. 466. 1899.
117. Jastrow, J., On the judgment of angles and position of lines. Amer. Journ. of Psychol. V. p. 214. 1893.
118. Mach, E., Über das Sehen von Lagen und Winkeln durch die Bewegung des Auges. Sitzber. d. Wiener Akad. Math.-naturw. Kl. XLIII. Abt. 2. S. 215. 1861.
119. Richter und Wamser, Experimentelle Untersuchung der beim Nachzeichnen von Strecken und Winkeln entstehenden Größenfehler. Z. f. Psychol. XXXV. S. 321. 1904.

#### Augenmaß.

120. Baldwin und Shaw, Memory for square size. Psychol. Rev. II. p. 236. 1895.
121. Binet, A., La perception des longueurs et des nombres chez quelques enfants. Rev. philos. XXX. p. 68. 1890.
122. Binet, A. und Henri, V., Recherches sur le développement de la mémoire visuelle des enfants. Rev. philos. XXXVII. p. 348. 1894.
123. Binnefeld, M., Experimentelle Untersuchungen über die Bedeutung der Bewegungsempfindungen des Auges bei Vergleichung von Streckengrößen im Hellen und im Dunkeln. Arch. f. Psychol. XXXVII. S. 129. 1918.
- 123a. Boas, F., Über eine neue Form des Gesetzes der Unterschiedsschwelle. Pflügers Arch. XXVI. S. 493. 1881.
- 123b. Bolton, F. E., The effect of contour upon estimations of area. Amer. Journ. of Psychol. IX. p. 178. 1898.
124. Chodin, Ist das Weber-Fechnersche Gesetz auf das Augenmaß anwendbar? Arch. f. Ophth. XXIII, 4. S. 92. 1877.

425. Fechner, G. Th., In Sachen der Psychophysik. Leipzig, Breitkopf & Härtel. 1877.
- 425 a. Derselbe, Revision der Hauptpunkte der Psychophysik. Leipzig. 1882.
426. Fischer, R., Größenschätzungen im Sehfelde. v. Graefes Arch. f. Ophth. XXXVII. Abt. 1. S. 97. 1894.
427. Giering, H., Das Augenmaß bei Schulkindern. Z. f. Psychol. XXXIX. S. 42. 1905.
428. Guillery, Über das Augenmaß der seitlichen Netzhautteile. Z. f. Psychol. X. S. 83. 1896.
- 428 a. Haberlandt, L., Studien zur optischen Orientierung im Raume und zur Präzision der Erinnerung an Elemente desselben. Z. f. Sinnesphysiol. XLIV. S. 231. 1910.
429. Hegelmaier, Über das Gedächtnis für Linearanschauungen. Arch. f. physiol. Heilk. Jahrg. IX. S. 844. 1852.
- 429 a. Hering, E., Zur Lehre von der Beziehung zwischen Leib und Seele. I. Mitteilung. Über Fechners psychophysisches Gesetz. Sitzber. d. Wiener Akad. LXXII. Abt. 3. S. 310. 1876.
430. Higier, H., Experimentelle Prüfung der psychophysischen Methoden im Bereiche des Raumsinnes der Netzhaut. Wundts Philos. Studien. VII. S. 232. 1892.
434. v. Kries, J., Beiträge zur Lehre vom Augenmaß. Festschrift f. H. v. Helmholtz. S. 175. 1894.
432. Laub, Über das Verhältnis der ebenmerklichen zu den übermerklichen Unterschieden auf dem Gebiete des optischen Raumsinnes. Arch. f. d. ges. Psychol. XII. S. 312. 1908.
433. Leeser, O., Über Linien- und Flächenvergleichung. Z. f. Psychol. LXXIV. S. 1. 1915.
- 433 a. Marx, E., Untersuchungen über Fixation unter verschiedenen Bedingungen. Z. f. Sinnesphysiol. XLVII. S. 79. 1913.
434. McCrea und Pritchard, The validity of the psychophysical law for the estimation of surface-magnitudes. Amer. Journ. of Psychol. VIII. p. 494. 1897.
435. Merkel, J., Die Methode der mittleren Fehler, experimentell begründet durch Versuche aus dem Gebiete des Raummaßes. Wundts Philos. Studien. IX. S. 53, 176 u. 400. 1893/4.
- 435 a. Müller, G. E. und Schumann, Fr., Über die psychologischen Grundlagen der Vergleichung gehobener Gewichte. Pflügers Arch. XLV. S. 37. 1889.
- 435 b. Müller, G. E., Die Gesichtspunkte und Tatsachen der psychophysischen Methodik. Ergebn. d. Physiol. II. Abt. 2. S. 267. 1903.
436. Münsterberg, H., Augenmaß. Beiträge zur experimentellen Psychologie. H. 2. S. 125. Freiburg, Mohr. 1889.
- 436 a. Quantz, The influence of the color of surfaces on our estimation of their magnitude. Amer. Journ. of Psychol. VII. p. 26. 1895.
437. Raehlmann und Witkowski, Über atypische Augenbewegungen. duBois' Arch. f. Physiol. p. 454. 1877.
- 437 a. Sachs, M. und Wlassak, R., Die optische Lokalisation der Medianebene. Z. f. Psychol. XXII. S. 23. 1899.
- 437 b. Warren und Shaw, Further experiments on memory for square size. Psychol. Rev. II. p. 239. 1895.
438. Witasek, St., Versuche über das Vergleichen von Winkelverschiedenheiten. Z. f. Psychol. XI. S. 321. 1896.
- 438 a. Wolfe, Some judgements on the size of familiar objects. Amer. Journ. of Psychol. IX. p. 137. 1898.

**Das Formensehen.**

139. Cerulli, Marskanäle und Mondkanäle. *Astronom. Nachr.* CXLVI. S. 135.  
Zitiert nach Stumpf (261. S. 75).
- 139 a. v. Fleischl, E., Physiologisch-optische Notizen. *Sitzber. d. Wiener Akad. Math.-naturw. Kl. 3. Abt.* LXXXVI. S. 8. 1882. Auch *Ges. Schriften.* S. 136.
140. Goldstein, K. und Gelb, A., Psychologische Analysen hirnpathologischer Fälle auf Grund von Untersuchungen Hirnverletzter. I. Zur Psychologie des optischen Wahrnehmungs- und Erkennungsvorganges. *Z. f. Neurol. u. Psychiatrie.* XLI. S. 1. 1918.
- 140 a. Hensen, V., Über eine Einrichtung der Fovea centralis retinae, welche bewirkt, daß feinere Distanzen als solche, die dem Durchmesser eines Zapfens entsprechen, noch unterschieden werden können. *Virchows Arch.* XXXIV. S. 404. 1865.
- 140 b. Newcomb, The optical and psychological principles involved in the interpretation of the so called canals of Mars. *Astrophysic. Journ.* XXVI. p. 1. 1907. Zitiert nach Stumpf (261. S. 74).
- 140 c. Seyfert, R., Über die Auffassung einfachster Raumformen. *Wundts Philos. Studien.* XIV. S. 350. 1898.
- 140 d. Siemerling, Ein Fall von sogenannter Seelenblindheit nebst anderweitigen zerebralen Symptomen. *Arch. f. Psychiatrie.* XXI. S. 284. 1890.

**Gestaltwahrnehmung und Metamorphopsien.**

141. v. Ehrenfels, Ch., Über »Gestaltqualitäten«. *Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos.* XIV. S. 249. 1890.
- 141 a. Friedenwald, H., Über die durch korrigierende Gläser hervorgerufene binokulare Metamorphopsie. *Arch. f. Augenheilk.* XXVI. S. 362. 1892.
142. Gelb, A., Theoretisches über »Gestaltqualitäten«. *Z. f. Psychol.* LVIII. S. 1. 1914.
- 142 a. Koffka, K., Zur Grundlegung der Wahrnehmungspsychologie. *Z. f. Psychol.* LXXIII. S. 11. 1915.
- 142 b. La Rosa, Einige neue Erscheinungen über das Sehen der astigmatischen und normalen Augen und ihre Erklärung. *Arch. f. Augenheilk.* LXIV. S. 28. 1909.
- 142 c. Linke, P. F., Grundfragen der Wahrnehmungslehre. München. Reinhardt. 1918.
143. Lippincott, J. A., Über die durch korrigierende Gläser hervorgerufene binokulare Metamorphopsie. *Arch. f. Augenheilk.* XXIII. S. 96. 1891.
- 143 a. Wolffberg, Störungen des perspektivischen Sehens durch binokular korrigierende Zylindergläser. *Wochenschr. f. Ther. u. Hygiene d. Auges.* 1916. *Zit. nach Z. f. Psychol.* LXXIX. S. 272. 1918.
144. Wundt, W., Zur Theorie der räumlichen Wahrnehmungen. *Philos. Studien.* XIV. S. 1. 1898.

**Die geometrisch-optischen Täuschungen.**

145. Auerbach, F., Erklärung der Brentanoschen optischen Täuschung. *Z. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* VII. S. 452. 1894.
146. Baldwin, J. M., The effect of size-contrast upon judgments of position in the retinal field. *Psychol. Rev.* II. p. 244. 1895.
147. Benussi, V., Über den Einfluß der Farbe auf die Größe der Zöllnerschen Täuschung. *Z. f. Psychol.* XXIX. S. 264 u. 385. 1902.
148. Derselbe, Zur Psychologie des Gestalterfassens. In: *Meinongs Untersuchungen zur Gegenstandstheorie und Psychologie.* S. 303. Leipzig, Barth. 1904.

449. Derselbe, Experimentelles über Vorstellungsinadäquatheit. a) Z. f. Psychol. XLII. S. 22. 1906. b) Ebenda, XLV. S. 188. 1907.
450. Derselbe, Über »Aufmerksamkeitsrichtung« beim Raum- und Zeitvergleich. Ebenda. LI. S. 73. 1909.
451. Derselbe, Gesetze der inadäquaten Gestaltauffassung usw. Arch. f. d. ges. Psychol. XXXII. S. 396. 1914.
452. Derselbe, Die Gestaltwahrnehmungen. Z. f. Psychol. LXIX. S. 256. 1914.
453. Benussi-Liel, Die verschobene Schachbrettfigur. Meinongs Unters. z. Gegenstandstheorie u. Psychol. S. 449. 1904.
454. Berettoni, V., Illusioni ottico-geometriche. Zitiert nach Z. f. Psychol. XLV. S. 284. 1907.
455. van Biervliet, J. J., Nouvelles mesures des illusions visuelles chez les adultes et les enfants. Rev. philos. XLI. p. 169. 1896.
456. Binet, A., La mesure des illusions visuelles chez les enfants. Rev. philos. XL. p. 11. 1893.
457. Blatt, P., Optische Täuschungen und Metakontrast. Pflügers Arch. CXLII. S. 396. 1911.
458. Blix, M., Die sogenannte Poggendorffsche optische Täuschung. Skandin. Arch. f. Physiol. XIII. S. 193. 1902.
459. Botti, L., Ein Beitrag zur Kenntnis der variablen geometrisch-optischen Streckentäuschungen. Arch. f. d. ges. Psychol. VI. S. 306. 1905.
460. Derselbe, Ricerche sperimentali sulle illusioni ottico-geometriche. Memorie d. R. Accad. d. Scienze di Torino. Serie II. LX. 1909. — Sur les illusions optico-géométriques. Arch. ital. d. biologie. LIII. p. 165. 1910.
461. Brentano, F., Über ein optisches Paradoxon. Z. f. Psych. III. S. 349. 1892; V. S. 61. 1893.
462. Derselbe, Zur Lehre von den optischen Täuschungen. Z. f. Psych. VI. S. 1. 1893.
463. Burmester, E., Beitrag zur experimentellen Bestimmung geometrisch-optischer Täuschungen. Z. f. Psychol. XII. S. 355. 1896.
464. Cameron, E. H. u. Steele, W. M., The Poggendorff illusion. Psychol. Rev. Monogr. Suppl. VII. p. 83. 1905.
465. Cook, H. D., Die taktile Schätzung von ausgefüllten und leeren Strecken. Arch. f. d. ges. Psychol. XVI. S. 418. 1910.
466. Cuiquet, L., De la vision chez le tout jeune enfant. Ann. d'Ocul. LXVI. p. 117. 1871.
467. Delboeuf, Note sur certaines illusions d'optique; Essai d'une théorie psychophysique sur la manière dont l'œil apprécie les distances, les angles et les grandeurs. Bullet. de l'acad. roy de Belgique. (2), XIX. p. 195. 1865. Seconde note sur des nouvelles ill. d'opt. Ebenda, (2), XX. p. 70. 1865.
468. Derselbe, Sur une nouvelle illusion d'optique. Ebenda. (3), XXIV. p. 545. 1893 u. Rev. scientif. LI. p. 238. 1893.
469. Dresslar, F. B., A new illusion of touch and an explanation for the illusion of displacement of certain cross lines in vision. Americ. Journ. of psychol. VI. p. 274. 1894.
470. Dunlap, K., The effect of imperceptible shadows on the judgment of distance. Psychol. Rev. VII. p. 435. 1900.
471. Ebbinghaus, H., Die geometrisch-optischen Täuschungen. Bericht über d. 1. Kongr. f. exp. Psychol. Leipzig, Barth. S. 22. 1904.
472. Einthoven, W., Eine einfache physiologische Erklärung für verschiedene geometrisch-optische Täuschungen. Arch. f. d. ges. Physiol. LXXI, 7. 1898. Auch in het Physiologisch Laboratorium te Leiden. 2. R. III. p. 133 u. Arch. néerl. des sciences phys. et natur. Série 2. III. p. 103. 1899.

173. Elschnig, A., Über Gesichtstäuschungen. Schrift. d. Vereins z. Verbr. naturw. Kenntn. in Wien. XLIII. S. 61. 1903.
174. Filehne, W., Die geometrisch-optischen Täuschungen als Nachwirkungen der im körperlichen Sehen erworbenen Erfahrung. Z. f. Psychol. XVII. S. 15. 1898.
175. Derselbe, Über eine dem Brentano-Müller-Lyerschen Paradoxon analoge Täuschung im räumlichen Sehen. Rubners Arch. f. Physiol. S. 273. 1914.
176. Fraser, J., A new visual illusion of direction. Brit. Journ. of Physiol. II. p. 397. 1908.
177. Giese, F., Untersuchungen über die Zöllnersche Täuschung. Wundts Psychol. Studien. IX. S. 405. 1914.
178. Hasseroth, W., Gesichtspunkte zu einer experimentellen Analyse geometrisch-optischer Täuschungen. Arch. f. Psychol. XXVIII. S. 336. 1913.
179. Heymans, L., Quantitative Untersuchungen über das »optische Paradoxon«. Z. f. Psychol. IX. S. 221. 1896.
180. Derselbe, Quantitative Untersuchungen über die Zöllnersche und die Loebische Täuschung. Ebenda. XIV. S. 404. 1897.
181. Höfler, Krümmungskontrast. Z. f. Psychol. X. S. 99. 1894.
182. Holtz, W., Über einige Augentäuschungen beim Anblick geometrischer Figuren. Wiedemanns Annalen d. Physik. X. S. 158. 1880.
183. Derselbe, Über den unmittelbaren Größeneindruck bei künstlich erzeugten Augentäuschungen. Nachr. v. d. Göttinger Ges. d. Wiss. S. 496. 1893.
184. Jaensch, E., Über Täuschungen des Tastsinns. Z. f. Psychol. LXI. S. 280 u. 382. 1906.
185. Judd, C. H., A study of geometrical illusions. Psychol. Rev. VI. p. 244. 1899.
186. Derselbe, Practice and its effects on the perception of illusions. Ebenda. IX. p. 27. 1902.
187. Derselbe, The Müller-Lyer illusion. Psychol. Rev. Monogr. Suppl. VII. p. 55. 1905.
188. Derselbe u. Courten, The Zöllner illusion. Ebenda. p. 412. 1905.
189. Kiesow, F., Über einige geometrisch-optische Täuschungen. Arch. f. d. ges. Psychol. VI. S. 289. 1906.
190. Knox, H. W., On the quantitative determination of an optical illusion. Americ. Journ. of psychol. VI. p. 413. 1894.
191. Laska, W., Über einige optische Urteilstäuschungen. du Bois Arch. S. 326. 1890.
192. Lautenbach, Die geometrisch-optischen Täuschungen und ihre psychologische Bedeutung. Z. f. Hypnot. VIII. S. 28 u. 292. 1899. (Nur Literaturzusammenstellung.)
193. Lehmann, A., Die Irradiation als Ursache geometrisch-optischer Täuschungen. Arch. f. d. ges. Physiol. CIII. S. 84. 1904.
194. Lewis, E. O., The effect of practice on the perception of the Müller-Lyer illusion. Brit. Journ. of Psychol. II. p. 294. 1908.
195. Derselbe, Confluxion and contrast effects in the Müller-Lyer illusion. Brit. Journ. of Psychol. III. p. 21. 1909.
196. Derselbe, The illusion of filled and unfilled space. Brit. Journ. of Psychol. V. p. 36. 1912.
197. Lipps, Th., Die geometrisch-optischen Täuschungen. Z. f. Psychol. XII. S. 39 u. 275. 1896.
198. Derselbe, Raumästhetik und geometrisch-optische Täuschungen. Leipzig, Barth. 1897.
199. Derselbe, Raumästhetik und geometrisch-optische Täuschungen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. XVIII. S. 405. 1898.
200. Derselbe, Zur Verständigung über die geometrisch-optischen Täuschungen. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. d. Sinnesorg. XXXVIII. S. 241. 1905.

201. Loeb, J., Über den Nachweis von Kontrasterscheinungen im Gebiete der Raumempfindungen des Auges. *Pflügers Arch.* LX. S. 509. 1895.
202. Müller-Lyer, F. C., Optische Urteilstäuschungen. *du Bois Arch. Suppl.* S. 263. 1889.
203. Derselbe, Zur Lehre von den optischen Täuschungen. Über Kontrast und Konfluxion. *Z. f. Psychol.* IX. S. 4. 1896. Ebenda. X. S. 421. 1896.
204. Münsterberg, H., Die verschobene Schachbrettfigur. *Z. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* XV. S. 184. 1897.
205. Oppel, J. J., Über geometrisch-optische Täuschungen. *Jahresber. d. physikal. Vereins Frankfurt a. M.* S. 37. 1854—1855.
- 206 a u. b. Derselbe, Nachlese zu den geometrisch-optischen Täuschungen. Ebenda. S. 47. 1856/57. u. S. 26. 1860/61.
207. Pearce, H. J., Experimental observations upon normal motor suggestibility. *Psychol. Rev.* IX. p. 329. 1902.
208. Derselbe, Über den Einfluß von Nebenreizen auf die Raumwahrnehmung. *Arch. f. d. ges. Psychol.* I. S. 31. 1903.
209. Derselbe, The law of attraction in relation to some visual and tactual illusions. *Psychol. Rev.* XI. p. 143. 1904.
210. Pierce, A. H., The illusion of the Kindergarten patterns. *Psychol. Rev.* V. p. 233. 1898. Wieder abgedruckt in der folgenden Schrift.
211. Derselbe, Studies in auditory and visual space perception. New-York, Logmans, Green Co. 1904.
- 211a. Piéron, H., L'illusion de Müller-Lyer et son double mécanisme. *Rev. philos.* LXXI. p. 245. 1914.
212. Polimanti, O., Etude de quelques nouvelles illusions optiques géométriques. *Journ. de psychol. norm. et pathol.* X. p. 43. 1913. *Zit. n. Z. f. Psychol.* LXIX. S. 372.
213. Pozzo, M., Deviazione dall' orizzontale nei disegni die serie di linee rette oblique. *Riv. di Psicol.* VIII. p. 200. 1912. *Zit. n. Z. f. Psychol.* LXV. S. 232. 1913.
214. Reichel, C., Über den Größenkontrast. *Inaug.-Diss.* Breslau. 1899.
215. Rivers, Observations on the senses of the Todas. *Brit. Journ. of Psychol.* I. p. 321. 1905.
216. Robertson, A., »Geometric-optical« illusions in touch. *Psychol. Rev.* IX. p. 549. 1902.
217. Schoute, G. J., Geometrisch-optische Täuschungen. *Zeitschr. f. Augenheilk.* III. S. 375. 1900.
218. Schwirtz, P., Das Müller-Lyersche Paradoxon in der Hypnose. *Arch. f. d. ges. Psychol.* XXXII. S. 339. 1914.
219. Schumann, F., Beiträge zur Analyse der Gesichtswahrnehmungen. a) *Z. f. Psychol.* XXIII. S. 4. b) XXIV. S. 4. c) XXX. S. 244 u. 324. d) XXXVI. S. 161.
220. Seashore, C. E., and Williams, M. C., An illusion of length. *Psychol. Rev.* VII. p. 592. 1900.
221. Seashore, Carter, Farnum and Lies, The effect of practice on normal illusions. *Psychol. Rev. Monogr. Suppl.* IX. p. 403. 1908.
222. Smith, W. G., A study of some correlations of the Müller-Lyer visual illusion and allied phenomena. *Brit. Journ. of Physiol.* II. p. 16. 1906.
223. Smith and Sowton, Observations on spatial contrast and confluence in visual perception. *Brit. Journ. of Psychol.* II. p. 196. 1907.
224. Smith and Milne, The influence of margins on the bisection of a line. *Brit. Journ. of Psychol.* III. p. 78. 1909.
225. Smith, Kennedy-Fraser and Nicolson, Dasselbe. Additional experiments. Ebenda. V. p. 331. 1912.
226. Sobeski, M., Über Täuschungen des Tastsinnes. *Diss.* Breslau. 1903. *Zit. nach Z. f. Psychol.* XXXVIII. S. 324. 1905.

227. Stademann, H., Beitrag zur Theorie der geometrisch-optischen Täuschungen. Festschr. d. phys.-med. Ges. zu Würzburg. S. 493. 1899.
228. Stilling, I., Die Müller-Lyersche Täuschung. Zeitschr. f. Augenheilk. IV. S. 207. 1900.
- 228a. Stratton, G. M., Symmetry, linear illusions and the movements of the eye. Psychol. Rev. XIII. p. 81. 1906.
229. Thiéry, Über geometrisch-optische Täuschungen. Wundts Philos. Studien. XI. S. 307 u. 603. 1895. XII. S. 67. 1896.
230. v. Tschermak, A., Über Simultankontrast auf verschiedenen Sinnesgebieten. Pflügers Arch. CXXII. S. 98. 1908.
231. Witasek, St., Über die Natur der geometrisch-optischen Täuschungen. Z. f. Psychol. XIX. S. 84. 1899.
232. Wundt, W., Die geometrisch-optischen Täuschungen. Abh. d. sächs. Ges. d. Wiss. Math.-phys. Klasse. XXVI. S. 55. 1898.
- 232a. Derselbe, Die Projektionsmethode und die geometrisch-optischen Täuschungen. Psychol. Studien. II. S. 493. 1907.
233. v. Zehender, W., Über geometrisch-optische Täuschungen. Z. f. Psychol. XX. S. 65. 1899.
234. Zöllner, F., Über eine neue Art von Pseudoskopie. Poggendorffs Annalen d. Physik. CX. S. 500. 1860.
- 234a. Derselbe, Über die Abhängigkeit pseudoskopischer Ablenkung paralleler Linien von dem Neigungswinkel der sie durchschneidenden Querlinien. Ebenda. CXIV. S. 587. 1864.

#### **Einfluß der Erfahrung auf die Lokalisation nach Höhe und Breite.**

235. Albertotti, J., Un cas de cataracte congénitale opéré par Mr. le Prof. Reymond sur un homme âgé de 24 ans. Arch. ital. de Biol. VI. p. 344. 1884. Zit. nach Hermanns Jahresber. d. Physiol. S. 494. 1884.
- 235a. Becher, E., Gehirn und Seele. Heidelberg. 1911.
- 235b. Derselbe, Über physiologische und psychistische Gedächtnishypothesen. Arch. f. Psychol. XXXV. S. 125. 1916.
236. Berger, H., Beiträge zur feineren Anatomie der Großhirnrinde. Monatsschr. f. Psych. u. Neurol. S. 405. 1899.
- 236a. du Bois-Reymond, E., Leibnizsche Gedanken in der neueren Naturwissenschaft. Festrede. Berlin 1871.
237. v. Brücke, E. Th., Über eine neue optische Täuschung. Z. f. Physiol. XX. S. 737. 1907.
- 237a. Donders, F. C., Die Projektion der Gesichterscheinungen nach den Richtungslinien. Arch. f. Ophth. XVII, 2. S. 1. 1871.
238. Dufour, M., Guérison d'un aveugle-né. Lausanne, Cobraz. 1876.
- 238a. Derselbe, Sur l'expérience des sens. Bull. Soc. méd. de la Suisse Romande. 1880. Zit. nach Hermanns Jahresbericht f. Physiol. 1880.
239. Exner, S., Zur Kenntnis von der Wechselwirkung der Erregungen im Zentralnervensystem. Pflügers Arch. XXVIII. S. 487. 1882.
240. Derselbe, Entwurf zu einer physiologischen Erklärung der psychischen Erscheinungen. I. Wien, Deuticke. 1894.
241. Derselbe, Zur Kenntnis des zentralen Sehaktes. Z. f. Psychol. XXXVI. S. 194. 1904.
- 241a. Franke, V., Das Sehenlernen eines 26jährigen, intelligenten Blindgeborenen. Deutschmanns Beiträge z. Augenheilk. II. S. 473. 1894.
242. Franz, Memoir of the case of a gentleman born blind and successfully operated upon in the 18<sup>th</sup> year of his age, with physiological observations and experiments. Philos. Transact. I. p. 59. 1844.
243. Goldscheider, A., Über die Neuronschwelle. du Bois Arch. f. Physiol. S. 148. 1898.



244. Hering, E., Über die spezifischen Energien des Nervensystems. *Lotos*. N. F. V. S. 113. Prag 1884.
245. Derselbe, Zur Theorie der Nerventätigkeit. Leipzig, Veit. 1899.
- 245 a. Derselbe, Antwortrede bei Überreichung der Graefe-Medaille. Bericht über d. 33. Vers. d. Ophth. Ges. in Heidelberg. S. 17. 1906.
246. Hillebrand, F., Die Stabilität der Raumwerte auf der Netzhaut. *Z. f. Psychol.* V. S. 1. 1893.
- 246 a. Derselbe, Ewald Hering. Ein Gedenkwort der Psychophysik. Berlin. Springer. 1918.
247. v. Hippel, Beobachtungen an einem mit doppelseitigem Katarakt geborenen, erfolgreich operierten Kinde. *Arch. f. Ophth.* XXI, 2. S. 104. 1875.
248. Köhler, W., Über unbemerkte Empfindungen und Urteilstäuschungen. *Z. f. Psychol.* LXVI, 1. S. 51. 1913.
- 248 a. v. Kries, J., Über die materiellen Grundlagen der Bewußtseinserscheinungen. Programm der Universität Freiburg i. B. 1898.
249. Latta, Notes on a case of successful operation for congenital cataract in an adult. *Brit. Journ. of Psychol.* I. p. 135. 1905.
250. Le Prince, A., Education de la vision chez un aveugle-né. *Journ. de psychol. nom. et path.* XII. S. 46. 1915. Zit. nach *Z. f. Psychol.* LXXVII.
- 250 a. Lipps, Th., *Psychologische Studien*. 2. Aufl. Leipzig 1905.
- 250 b. Locke, J., Essay concerning human understanding. Deutsche Übersetzung von C. Winkler. Philos. Bibliothek. LXXV. Leipzig, Meiner. 1911—13.
251. Lotze, *Medizinische Psychologie oder Physiologie der Seele*. Leipzig 1852.
252. Martin, Zur Begründung und Anwendung der Suggestionmethode in der Normalpsychologie. *Arch. f. Psychol.* X. S. 321. 1907.
253. Miner, J. B., A case of vision acquired in adult life. *Psych. Rev. Monogr. Suppl.* VI, 5. 1905. Zit. nach *Z. f. Psychol.* XLIV. S. 244.
- 253 a. Pick, A., Historische Notiz zur Empfindungslehre nebst Bemerkungen bezüglich ihrer Verwertung. *Z. f. Psychol.* LXXXVI. S. 232. 1915.
- 253 b. Poppelreuter, W., Über den Versuch einer Revision der psychophysiologischen Lehre von der elementaren Assoziation und Reproduktion. *Monatsschr. f. Psychiatrie.* XXXVII. 1914 u. Diss. Berlin.
254. Schanz, F., Über das Sehenlernen blindgeborener und später mit Erfolg operierter Menschen. *Z. f. Augenheilk.* XII. S. 753. 1904.
255. Schlodtmann, W., Ein Beitrag zur Lehre von der optischen Lokalisation bei Blindgeborenen. *Arch. f. Ophth.* LIV. S. 256. 1902.
256. Semon, R., Die mnemischen Empfindungen in ihren Beziehungen zu den Originalempfindungen. Leipzig 1909.
257. Seydel, F., Ein Beitrag zum Wiedersehenlernen Blindgewordener. *Klin. Monatsbl. f. Augenheilk.* I. S. 197. 1902.
258. Stratton, G. M., Eye-movements and the aesthetics of visual form. *Wundts Philos. Studien.* XX. S. 336. 1902.
259. Stumpf, C., Über den psychologischen Ursprung der Raumvorstellung. Leipzig, Hirzel. 1873.
260. Derselbe, *Tonpsychologie*. Leipzig, Hirzel. I. 1883 u. II. 1890.
261. Derselbe, *Empfindung und Vorstellung*. *Abh. d. Berliner Akad. d. Wiss. Phil.-hist. Klasse.* Nr. 1. 1918.
262. Sundberg, C. G., Über die Blickbewegung und die Bedeutung des indirekten Sehens für das Blicken. *Skandin. Arch. f. Physiol.* XXXV. S. 1. 1917.
263. Uhthoff, Untersuchungen über das Sehenlernen eines siebenjährigen Blindgeborenen. Beiträge z. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. *Festschr. f. Helmholtz.* S. 113. Leipzig, Voss. 1891.
264. Derselbe, Weitere Beiträge zum Sehenlernen blindgeborener und später mit Erfolg operierter Menschen usw. *Z. f. Psychol.* XIV. S. 197. 1897.
- 264 a. Wirth, W., Die Probleme der psychologischen Studien von Theodor Lipps. *Arch. f. Psychol.* XIV. S. 217. 1909.

**Die Verteilung der Raumwerte auf der Einzelnetzhaut.**

265. Axenfeld, D., Eine einfache Methode Hemianopsie zu studieren. *Neurolog Zentralbl.* S. 437. 1894.
266. Berthold, E., Über die Bewegungen des kurzsichtigen Auges. v. Graefes *Arch. f. Ophth.* XI, 3. S. 107. 1865.
267. Best, F., Zur topischen Diagnose der Hemianopsie. *Münchener med. Wochenschrift.* 57. Jahrg. S. 1789. 1910.
- 267 a. Derselbe, Die Bedeutung der Hemianopsie für die Untersuchung des optischen Raumsinnes. *Pflügers Arch.* CXXXVI. S. 248. 1910.
- 267 b. Derselbe, Hemianopsie und Seelenblindheit bei Hirnverletzungen. *Arch. f. Ophth.* XCIII. S. 49. 1917.
268. Buck, A. F., Observations on the overestimation of vertical as compared with horizontal lines. *Contrib. to Philos. Univers. of Chicago.* II, 2. p. 7. 1899. *Zit. nach Tschermak* (12).
269. Darwin and Rivers, A method of measuring a visual illusion. *Journ. of Physiol.* XXVIII. p. 11. 1902.
270. Degenkolb, K., Über Augenmaßbestimmungen. 17. Vers. mitteldeutscher *Neurol. Neurol. Zentralbl.* S. 1343. 1911.
271. Derselbe, Die Raumschauung und das Raumgangfeld. *Ebenda.* S. 409, 491, 560, 626, 691, 753 u. 820. 1913.
272. Feilchenfeld, H., Über die Größenschätzung im Sehfeld. *Arch. f. Ophth.* LIII. S. 401. 1901. *Referat darüber in Z. f. Psychol.* XXX. S. 149. 1902 von Czsellitzer.
273. Fick, A., De errore quodam optico asymmetria bulbi effecto. *Inaug.-Diss. Marburg* 1851. *Ges. Schriften.* III. S. 281.
274. Filehne, W., Über die Betrachtung der Gestirne mittels Rauchgläser und über die verkleinernde Wirkung der Blickerhebung. *Rubners Arch. f. Physiol.* S. 523. 1910.
275. Fischer, R., Weitere Größenschätzungen im Sehfelde. *Arch. f. Ophth.* XXXVII. Abt. 3. S. 55. 1891.
- 275 a. Fitt, A. B., Größenauffassung durch das Auge und den ruhenden Tastsinn. *Arch. f. Psychol.* XXXII. S. 420. 1914.
276. Förster, *Ophthalmologische Beiträge.* Berlin, Enslin. *Zit. nach Jaensch* (9a).
277. Frank, M., Beobachtungen betreffs der Übereinstimmung der Hering-Hillebrandschen Horopterabweichung und des Kundtschen Teilungsversuches. *Pflügers Arch.* CIX. S. 62. 1905.
278. Fröhlich, B., Unter welchen Umständen erscheinen Doppelbilder in ungleichem Abstand vom Beobachter. v. Graefes *Arch. f. Ophth.* XLI, 4. S. 134. 1895.
279. Helmholtz, H., Über die Bewegungen des menschlichen Auges. *Verhandl. d. naturhist.-med. Vereins zu Heidelberg.* III. S. 62. 1863.
280. Hicks and Rivers, The illusion of compared horizontal and vertical lines. *Brit. Journ. of Psychol.* II. p. 244. 1908.
281. Küster, F., Die Direktionskreise des Blickfeldes. *Arch. f. Ophth.* XXII. Abt. 1. S. 149. 1876.
282. Kundt, A., Untersuchungen über Augenmaß und optische Täuschungen. *Poggendorffs Ann.* CXX. S. 118. 1863.
283. Liepmann, H., und Kalmus, E., Über eine Augenmaßstörung bei Hemianopikern. *Berliner klin. Wochenschr.* S. 838. 1900.
- 283 a. Loeser, Über eine eigenartige Kombination von Abduzensparese und Hemianopsie, zugleich ein Beitrag zur Theorie einer Augenmaßstörung bei Hemianopikern. *Arch. f. Augenheilk.* XLV. S. 39. 1902.
284. Morrey, C. B., Die Präzision der Blickbewegung und der Lokalisation an der Netzhautperipherie. *Z. f. Psychol.* XX. S. 317. 1899.

285. v. Recklinghausen, F., Netzhautfunktionen. Arch. f. Ophth. V, 2. S. 127. 1859.
286. Derselbe, Zur Theorie des Sehens. Poggendorffs Ann. d. Physik. CX. S. 65. 1859. (Auszug aus dem vorigen mit Korrektur.)
287. Stevens, H. C., Peculiarities of peripheral vision. Psychol. Review. XV. S. 69. 1908.
288. v. Tschermak, A., Strecktäuschungsapparat. Arch. f. d. ges. Physiol. CXIX. S. 34. 1907.
289. Valentine, C. W., Psychological theory of the horizontal-vertical illusion. Brit. Journ. of Physiol. V. p. 8. 1912.
290. Derselbe, The effect of astigmatism on the horizontal-vertical illusion, and a suggested theory of the illusion. Ebenda. V. p. 308. 1912.
291. Weber, E. H., Artikel »Der Tastsinn und das Gemeingefühl« in Wagners Handwörterb. d. Physiol. III. Abt. 2. S. 481. 1846. Abgedruckt in Ostwalds Klass. d. exakt. Wiss. Nr. 149.
292. Derselbe, Über den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge. Verhandl. d. Sächs. Ges. d. Wiss. Math.-physik. Klasse. S. 85. 1852.
293. Weiß, L., Über das Wachstum des menschlichen Auges und über die Veränderung der Muskelinsertionen am wachsenden Auge. Anat. Hefte. I. Abt. VIII. S. 191. 1897.
- 293 a. Winch, The vertical-horizontal illusion in school-children. Brit. Journ. of Psychol. II. p. 220. 1907.

#### Die Ausfüllung des blinden Fleckes.

294. Brückner, A., Über die Sichtbarkeit des blinden Fleckes. Pflügers Arch. CXXXVI. S. 610. 1910. (Vorläufige Mitteilung im Bericht über die 36. Vers. d. Ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 230. 1910.)
295. Derselbe, Zur Lokalisation einiger Vorgänge in der Sehenssubstanz. Pflügers Arch. CXLII. S. 241. 1911.
296. Charpentier, Visibilité de la tache aveugl. Compt. rend. CXXVI. p. 1634.
- 296 a. Ferree, C. F., and Rand, G., The spatial values of the visual field immediately surrounding the blind spot and the question of the associative filling in of the blind spot. Amer. Journ. of Physiol. XXIX. p. 398. 1912.
- 296 b. Fick, A., und du Bois-Reymond, Über die unempfindliche Stelle der Netzhaut im menschlichen Auge. Müllers Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 396. 1853.
297. Funke, Zur Lehre vom blinden Fleck. Bericht d. Naturf. Ges. in Freiburg i. B. III. Heft 3. 1863. Zit. nach Helmholtz.
298. Köllner, H., Der blinde Fleck im binokularen Sehfeld. Arch. f. Augenheilk. LXXI. S. 306. 1912.
299. Landolt, M., Beobachtungen über die Wahrnehmbarkeit des blinden Fleckes. Arch. f. Augenheilk. LV. S. 108. 1906.
- 299 a. Lohmann, W., Der blinde Fleck in seinen Beziehungen zu den Raumwerten der Netzhaut. Arch. f. Augenheilk. LXXXI. S. 183. 1916.
300. Volkmann, A. W., Über einige Gesichtspheänomene, welche mit dem Vorhandensein eines unempfindlichen Fleckes im Auge zusammenhängen. Bericht d. Sächs. Ges. d. Wiss. S. 27. 1853.
301. Werner, H., Untersuchungen über den blinden Fleck. Pflügers Arch. CLIII. S. 475. 1913.
302. v. Wittich, Studien über den blinden Fleck. v. Graefes Arch. f. Ophth. IX, 3. S. 1. 1863.

- Syphilis und Auge.** Von Prof. Dr. Josef Igersheimer, Oberarzt an der Universitäts-Augenklinik zu Göttingen. Mit 150 zum Teil farbigen Textfiguren. 1919. Preis M. 54.—; gebunden M. 61.—
- Grundriß der Augenheilkunde für Studierende.** Von Prof. Dr. F. Schieck, Geheimer Medizinalrat, Direktor der Universitäts-Augenklinik in Halle a. S. Mit 105 zum Teil farbigen Textfiguren. 1919. Preis M. 9.—; gebunden M. 11.40
- Cytologische Studien am menschlichen Auge.** Von Prof. Dr. A. Brückner, Oberarzt an der Universitäts-Augenklinik in Berlin. Mit 199 Figuren auf 12 Tafeln. 1919. Preis M. 28.—
- Leseproben für die Nähe** aus der Universitäts-Augenklinik Bern. Von Dr. med. Rudolf Birkhäuser, Augenarzt in Basel. Mit einem Vorwort von Prof. Dr. A. Siegrist-Bern. 1911. Gebunden Preis M. 4.80
- Ein neuer Weg zur Herstellung von Leseproben (Sehproben) für die Nähe.** Von Dr. med. Rudolf Birkhäuser, Augenarzt in Basel. Mit 14 Tafeln. 1919. Preis M. 7.—
- Die Lepra des Auges.** Klinische Studien. Von Dr. med. Lyder Borthen, Augenarzt in Thronhjem-Norwegen. Mit pathologisch-anatomischen Untersuchungen von Dr. H. P. Lie, dirigierendem Arzt des Lepra-Hospitals in Bergen-Norwegen. Mit 17 Textfiguren, 15 Lichtdruck- und 9 chromolithographischen Tafeln. 1899. Preis M. 24.—
- Einführung in die medizinische Optik.** Von Dr. A. Gleichen, Regierungsrat, Mitglied des Patentamtes, Privatdozent an der Technischen Hochschule zu Berlin. Mit 102 Figuren im Text. 1904. Preis M. 7.—
- 26 Stereokopen-Bilder zur Prüfung auf binokulares Sehen und zu Übungen für Schielende.** Von Dr. W. Hausmann. Mit einführenden Bemerkungen von Prof. Dr. med. Bielschowsky, Marburg. Dritte, verbesserte und vermehrte Auflage. 1913. Preis M. 2.60
- Die Sehstörungen bei Schußverletzungen der kortikalen Sehspähre.** Von Dr. Tatsuji Inouye aus Tokio. Nach Beobachtungen an Verwundeten der letzten japanischen Kriege. Mit 39 Figuren im Text und 2 Tafeln. 1909. Preis M. 6.—
- Diagnostik der Bewegungsstörungen der Augen.** Von Dr. med. E. Landolt in Paris. Mit 1 Tafel und 23 Figuren im Text. 1907. Gebunden Preis M. 3.60
- Die Entstehung der Entzündung und die Wirkung der entzündungserregenden Schädlichkeiten nach vorzugsweise am Auge angestellten Untersuchungen.** Von Dr. Theodor Leber, o. ö. Prof. der Augenheilkunde an der Universität Heidelberg. Mit 8 lithographischen Tafeln und 2 Holzschnitten. 1891. Preis M. 30.—
- Analytische Studien an Buchstaben und Zahlen zum Zwecke ihrer Verwertung für Sehschärfe-Prüfungen.** Von San.-Rat Dr. L. Wolfberg, Augenarzt in Breslau. Mit 17 Figuren im Text und 7 Tafeln zur Sehschärfe-Prüfung. 1911. Preis M. 4.—
- Bilderbuch zur Sehschärfe-Prüfung von Kindern und Analphabeten.** Von San.-Rat Dr. L. Wolfberg. Zweite Auflage. 1914. Kartoniert Preis M. 3.—
- 
-