

Aus dem Physiologischen Institut der Universität Giessen
Direktor: Prof. Dr. Eberhard Koch

Das Raumsehvermögen im Unterdruck

Dissertation **zur Erlangung des Doktorgrades**

bei der Medizinischen Fakultät der
Ludwigs - Universität zu Giessen

Eingereicht von
Ernst Heinke
geboren in Berlin-Spandau

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Dekan: Prof. Dr. Alfred Brügge mann
Referent: Prof. Dr. Eberhard Koch
Tag der mündlichen Prüfung: 23 Oktober 1942

LUFTFAHRTMEDIZIN

HERAUSGEGEBEN UNTER MITWIRKUNG
VON STELLEN DER LUFTFAHRT

VON

L. BRAUER · H. REIN · H. STRUGHOLD

6. BAND

2./3. HEFT

Ernst Heinke:
Das Raumsehvermögen im Unterdruck

Sonderdruck aus 6. Bd., 2./3. Heft



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH 1942

ISBN 978-3-662-27707-2
DOI 10.1007/978-3-662-29197-9

ISBN 978-3-662-29197-9 (eBook)

Die Zeitschrift

„Luftfahrtmedizin“

wird nach Maßgabe des eingehenden Materials zwanglos in Heften herausgegeben, die zu einem Band von 20—25 Druckbogen zum Preise von RM 28.— vereinigt werden. Jährlich erscheinen 1—2 Bände.

Die Verfasser erhalten ein Honorar von RM 6.— für die Seite.

Es wird ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, daß mit der Annahme des Manuskriptes und seiner Veröffentlichung durch den Verlag das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder an den Verlag übergeht, und zwar bis zum 31. Dezember desjenigen Kalenderjahres, das auf das Jahr des Erscheinens folgt. Hieraus ergibt sich, daß grundsätzlich nur Arbeiten angenommen werden können, die vorher weder im Inland noch im Ausland veröffentlicht worden sind, und die auch nachträglich nicht anderweitig zu veröffentlichen der Autor sich verpflichtet.

Bei Arbeiten aus Instituten, Kliniken usw. ist eine Erklärung des Direktors oder eines Abteilungsleiters beizufügen, daß er mit der Publikation der Arbeit aus dem Institut bzw. der Abteilung einverstanden ist und den Verfasser auf die Aufnahmebedingungen aufmerksam gemacht hat.

Die Mitarbeiter erhalten von ihrer Arbeit zusammen 40 Sonderdrucke unentgeltlich. Weitere 160 Exemplare werden, falls bei Rücksendung der 1. Korrektur bestellt, gegen eine angemessene Entschädigung geliefert. Darüber hinaus gewünschte Exemplare müssen zum Bogennettopreise berechnet werden. **Mit der Lieferung von Dissertationsexemplaren befaßt sich der Verlag grundsätzlich nicht;** er stellt jedoch den Doktoranden den Satz zur Verfügung zwecks Anfertigung der Dissertationsexemplare durch die Druckerei.

Alle Manuskriptsendungen sind zu richten an:

Herrn Prof. Dr. L. Brauer, Wiesbaden, Wilhelminenstr. 45,

Herrn Prof. Dr. H. Rein, Göttingen, Physiologisches Institut der Universität
oder Herrn Prof. Dr. H. Strughold, Berlin NW 40, Scharnhorststr. 35, Luftfahrt-
medizinisches Forschungsinstitut.

Im Interesse der unbedingt gebotenen Sparsamkeit werden die Herren Verfasser gebeten, auf knappste Fassung ihrer Arbeiten und Beschränkung des Abbildungsmaterials auf das unbedingt erforderliche Maß bedacht zu sein. Dadurch wird es möglich, die Arbeiten in kürzester Frist zu veröffentlichen.

Springer-Verlag OHG., Berlin W 9, Linkstr. 22/24

Fernsprecher: 21 81 11.

Die Elektrogymnastik

Von Dipl.-Ing. Dr. techn. **Hans Nemeč**, Wien

Mit einem Geleitwort von Hofrat Professor Dr. **Josef Kowarschik**, Wien

Mit 28 Abbildungen im Text. VI, 91 Seiten. 1941. RM 5.70

Inhaltsübersicht: Allgemeiner Teil: **I. Der elektrische Strom im organischen Gewebe.** A. Die Ionisierung. B. Die elektrische Reizwirkung. C. Stromform und Reizwirkung. 1. Allgemeines. 2. Der konstante Gleichstrom. 3. Der Stromstoß. 4. Die Reizfolge. — **II. Der konstante Gleichstrom in der Lähmungsbehandlung.** — **III. Der Reizstrom in der Lähmungsbehandlung.** A. Die sensible Reizwirkung. B. Das Verhältnis der motorischen zur sensiblen Reizwirkung. 1. Die Regelmäßigkeit der Reizfolge. 2. Die Kurvenform der Stromstöße. 3. Die Zuführung des Stromes. C. Die verschiedenen Arten des Reizstromes. 1. Der unterbrochene galvanische Strom von rechteckiger Kurvenform. 2. Die Kondensatorentladung. 3. Der „sinusfaradische“ Strom. 4. Der faradische Strom. 5. Der Thyatron-Strom. D. Die elektrische Gymnastik. 1. Allgemeines. 2. Die physiologischen und therapeutischen Wirkungen. 3. Die Heilanzeigen. 4. Die Apparatechnik. — **Besonderer Teil: I. Die Untersuchung.** A. Die klinische Untersuchung. 1. Die Inspektion. 2. Die Funktionsprüfung. B. Die elektrische Untersuchung. 1. Die klassische Methode. 2. Die Chronaxiemesung. 3. Die Technik der elektrischen Untersuchung. — **II. Die Behandlung.** A. Allgemeines. 1. Die Lagerung und Vorbereitung des Kranken. 2. Die Wahl der Stromart. 3. Die Zuführung des Stromes. 4. Die Dauer und Wiederholung der Behandlung. B. Die besondere Behandlungstechnik. 1. Das Schultergelenk. 2. Das Ellbogengelenk. 3. Das Handgelenk und die Fingergelenke. 4. Typische Lähmungserscheinungen an der oberen Extremität. 5. Das Hüftgelenk. 6. Das Kniegelenk. 7. Das Fußgelenk und die Zehengelenke. 8. Typische Lähmungserscheinungen an der unteren Extremität. 9. Die Bauchmuskeln. 10. Die Hals- und Gesichtsmuskeln.

S P R I N G E R - V E R L A G W I E N

Bibliographie der Luftfahrtmedizin

Eine Zusammenstellung von Arbeiten
über Luftfahrtmedizin und Grenzgebiete bis Ende 1936

Von

Dr. med. **Ingeborg Schmidt**

Leiterin der Bücherei u. Assistentin am Luftfahrtmedizinischen
Forschungsinstitut des Reichsluftfahrtministeriums Berlin

VI, 136 Seiten. 1938. RM 14.—

Die Bibliographie der Luftfahrtmedizin enthält eine Zusammenstellung von Arbeitstiteln der Weltliteratur, beginnend mit den ersten Anfängen der Höhenphysiologie (1590, erste Beschreibung der Bergkrankheit) und abschließend mit den bis Ende 1936 erschienenen Arbeiten. Dadurch wird eine Orientierung über das gesamte Gebiet der Luftfahrtmedizin und ihrer Grenzgebiete ermöglicht. Um das Aufsuchen der Arbeiten in den umfangreicheren Abschnitten zu erleichtern, sind die bis zum Jahre 1910 erschienenen Arbeiten gesondert den neueren vorangestellt. Diese Zeit ist als Wendepunkt anzusehen, da sich die höhenphysiologischen Arbeiten mit dem Aufkommen des Prinzips „Schwerer als Luft“ betont auszurichten beginnen nach den Belangen der Luftfahrt und nicht mehr vorwiegend im Zeichen des Alpinismus stehen. Zu einer schnellen Orientierung über den Inhalt der Arbeiten ist in den meisten Fällen hinzugefügt, wo Referate darüber zu finden sind. Es ist geplant, der Bibliographie in bestimmten Zeitabschnitten Ergänzungen folgen zu lassen.

Inhaltsverzeichnis:

- I. Allgemeines. A. Hand- und Lehrbücher. B. Zeitschriften und Bibliographien. C. Verschiedenes: Übersichten, Geschichtliches, Institute und Organisationen. — II. Psychophysiologie des Fliegens. A. Übersichten und Verschiedenes. B. Sehorgan. C. Gehör. D. Gleichgewichtssystem, Raumorientierung u. a. E. Blindfliegen. Anhang: Flug durch Muskelkraft. — III. Höhenforschung. A. Luftdruck. Unterdruck. 1. Wirkungen. a) Übersichten und Verschiedenes. b) Blut. c) Atmung. d) Kreislauf. e) Verdauung, Stoffwechsel, Energiewechsel, innere und äußere Sekretion. f) Neuromuskulärer Apparat, Zentralnervensystem, autonomes Nervensystem. g) Sinnesorgane und psychische Funktionen. 2. Höhenfestigkeit, Höhenanpassung. 3. Therapie der Höhenwirkung. 4. Toxikologie. Anhang: Überdruck. B. Wind- und Kältewirkung, Kälteschutz. C. Strahlenwirkung und Strahlenschutz. — IV. Beschleunigungsforschung. A. Beschleunigung im Flugzeug und in der Zentrifuge. B. Fallschirmsprung. C. Luftkrankheit. — V. Unfälle, Berufsschäden, Lärmwirkung, Ermüdung, Fliegerkrankheit u. a. — VI. Fliegerauslese, Fliegertauglichkeit. — VII. Sanitätswesen, Hygiene der Luftfahrt.

Kunstglieder und orthopädische Hilfsmittel

Bearbeitet von

Dr. **Aloys Ansprenger**, Berlin,

Ober-Regierungs-Medizinalrat Dr. **Oscar Engelke**, Berlin

Dr. med. habil. **Erwin Schrader**, Kassel, Professor Dr. **Max zur Verth**, Hamburg

Herausgegeben von

Professor Dr. **Max zur Verth**

Hon. Professor an der Hansischen Universität Hamburg

Mit 254 Abbildungen. VI, 259 Seiten. 1941

RM 28.50; in Ganzleinen RM 30.—

Inhaltsübersicht:

A. Allgemeines. Von Professor Dr. M. zur Verth, Hamburg. Statistik. Gesetzliche Bestimmungen über die Gewährung orthopädischer Hilfsmittel. Werkstoffe. Die orthopädische Werkstatt. Physiologische Mechanik. Der kunstgliedgerechte Stumpf. Das stumpfgerechte Kunstglied. Anforderungen an das Kunstglied. Gesamtwert des Kunstgliedes. Kunstglieder und orthopädische Hilfsmittel in den Tropen. Bestellung, Lieferung, Abnahme, Instandhaltung und Pflege. Grundlagen der Preisgestaltung. Von Ober-Reg.-Med.-Rat Dr. O. Engelke, Berlin. — **B. Kunstbein.** Von Professor Dr. M. zur Verth, Hamburg. I. Grundlagen des Kunstbeinbaues. Stand und Gang. Statik und Mechanik des Kunstbeines. Messen und Aufbauen. Kunstbeinwerkstoffe. Paßteile und Halbfabrikate. Die wesentlichsten Stumpfformen an den unteren Gliedmaßen. — II. Kunstbeinversorgung. Erstausrüstung Frischamputierter mit Kunstbeinen. Stumpftrumpf. Kunstbeinschuh. Krücke, Lazarettbein, Behelfsbein. Die körperliche Schulung des Beinamputierten, insbesondere die Gehschule. — III. Die einzelnen Ersatzglieder am Bein. Ersatz bei Fußstümpfen. Unterschenkelbein. Oberschenkelbein. Hüftauslösungsbein. Ersatzglieder für Doppelbeinamputierte. Das Stelzbein. — **C. Künstliche Arme.** Von Dr. A. Ansprenger, Berlin. Grundlagen des Kunstarmbaues. Der Arbeitsarm. Der Schmuckarm. — **D. Orthopädische Hilfsmittel.** Von Dr. med. habil. E. Schrader, Kassel. — I. Allgemeine Grundlagen für den Bau orthopädischer Hilfsmittel. Voraussetzungen. Konstruktionsprinzipien. Technische Ausführung. — II. Spezielle orthopädische Hilfsmittel. Rumpf und Kopf. Obere Gliedmaßen. Untere Gliedmaßen. — Die Schuheinlage. Von Professor Dr. M. zur Verth, Hamburg. — **E. Orthopädische Schuhe.** Von Ober-Reg.-Med.-Rat Dr. O. Engelke, Berlin. Gesetzliche Grundlagen. Geschichtliches. Bestandteile und Merkmale. Die Schuhtypen. Pflege und Instandsetzung. — **F. Krankenfahrzeuge.** Von Ober-Reg.-Med.-Rat Dr. O. Engelke, Berlin. — Namen- und Sachverzeichnis.

Die Zahl der orthopädischer Hilfsmittel bedürftigen Verletzten ist in neuer Zeit infolge Krieg, gesteigertem Einsatz an Arbeit und Verkehr ungeahnt gestiegen. Die orthopädische Wissenschaft hat sich der Pflicht der erneuten Durcharbeit aller mit diesen Hilfsmitteln zusammenhängenden Fragen bisher schon mit besonderem Eifer unterzogen. In dem vorliegenden Werk treten die rein technisch-mechanischen Gesichtspunkte zurück. Im Vordergrund stehen ärztliche Gesichtspunkte der orthopädischen Konstruktion und Behandlung, die zugleich der Indikation dienen und die Grenzen der Möglichkeiten orthopädischer Apparate bestimmen. Dabei berücksichtigt die Arbeit besonders auch die konstruktiven Grundlagen. Sie geht überall aus von der physiologischen und pathologischen Mechanik. Es wird nur mathematisches Gefühl und physikalisches Verständnis vorausgesetzt. — Die Ausführungen wenden sich an den Orthopäden. Aber auch für den angehenden Orthopäden und den nicht rein handwerksmäßig arbeitenden Orthopädiemechaniker werden sie nützlich sein. Ein besonderer Erfolg wäre ihnen beschieden, wenn der Chirurg und Unfallchirurg sie beachten und die Nutzenanwendung aus ihnen ziehen würden. Das Buch soll dem Zustand ein Ziel setzen, daß erstere die schweren Schäden des Stützsystems chirurgisch behandeln, ohne gründliche Kenntnis der Nützlichkeit mechanischer Versorgung, letztere die Restzustände mechanisch versorgen ohne Einfluß auf ihre Behandlung.

S P R I N G E R - V E R L A G . B E R L I N

(Aus dem Physiologischen Institut der Universität Gießen.)

Das Raumsehvermögen im Unterdruck.

Von

Ernst Heinke

z. Z. San.-Feldw. d. Lw.

Mit 6 Textabbildungen.

(Eingegangen am 20. Mai 1941.)

Trotz der verschiedenen Untersuchungen im Unterdruck scheinen bisher keine Beobachtungen über Veränderungen des Raumsehens bei Sauerstoffmangel vorzuliegen. Der Grund hierfür kann in dem Fehlen einer quantitativen Untersuchungsmethode liegen. Nunmehr sind solche genauen Untersuchungen möglich, und zwar durch ein von *Koch* entwickeltes Raumsehprüfgerät, das eine quantitative Auswertung der Versuchsergebnisse ermöglicht. Zum allgemeinen Verständnis erscheint es angebracht, zunächst kurz auf das binokulare Tiefensehen und besonders auf die Bedeutung der Augenstellung einzugehen. Wir wissen, daß die Augenstellung auf nervösem Wege gesteuert wird (nach *Axenfeld*¹):

1. Durch den Willen.
2. Durch das vom Willen nicht unmittelbar abhängige Fusionsbestreben.
3. Durch den Muskeltonus, der teils reflektorisch bedingt, teils von der Aufmerksamkeit und dem jeweiligen Interesse für die Gesichtseindrücke abhängig ist.
4. Durch die Assoziation von Akkommodation und Konvergenz.
5. Durch Erregungen subcorticalen Ursprunges, die dem Augenmuskelkern vom Vestibularapparat zufließen, normalerweise aber durch die starken von den corticalen Zentren stammenden Erregungen verdeckt werden.

Das binokulare Tiefensehen steht im engen Zusammenhang mit dem Einsatz der motorischen Korrespondenz der Augen und dem der sensorischen Korrespondenz der Netzhäute (*Cords*³). Beim Menschen ist die sensorische Koppelung so eng, daß wir die Eindrücke beider Augen zu einem einheitlichen Bild verschmelzen (*Heringsches* Doppelauge). Ein fixierter Gegenstand, dessen Punkte sich auf korrespondierenden Netzhautstellen abbilden, wird somit einfach gesehen. Die auf nicht korrespondierende (disparate) Netzhautstellen fallenden Bilder von näheren oder entfernteren Gegenständen müßten eigentlich doppelt gesehen werden. Sie werden aber allgemein psychisch unterdrückt (physiologische Doppeltbilder). Bilden sich nun aber die Objekte auf querdisparaten Stellen ab, so tritt die sog. binokulare Tiefenwahrnehmung auf. Das Tiefensehen oder der allgemein räumliche und körperliche Eindruck wird deshalb allgemein auf diese Querdisparation zurückgeführt.

Die normale Ruhelage der Augen (Muskelgleichgewicht, Orthophorie) kann unter gewissen Bedingungen — unter Außerachtlassung pathologischer Vorgänge — gestört sein. Weichen die Augen von der Ruhelage ab, so erhalten wir das Bild des latenten Schielens (Heterophorie). Nach welcher Richtung die Abweichung erfolgt, ob im Sinne der Konvergenz (Esophorie), Divergenz

(Exophorie) oder Vertikaldivergenz, hängt dann außer vom Fusionszwang von mechanischen und nervösen Faktoren ab. Dieser Zustand tritt besonders bei Ermüdung oder anstrengender Naharbeit auf und kann vergesellschaftet sein mit Kopfschmerz, Übelkeit und Schwindel. Es ist dies das Bild der „muskulären Asthenopie“. Die Anstrengungen, die dabei unternommen werden, die Augen trotzdem richtig zu halten und der dabei auftretenden Doppelbilder Herr zu werden, wirken dann besonders störend und ermüdend. Beim binokularen Sehakt spielt aber auch die Akkommodation eine Rolle. So werden schon bei einseitiger Akkommodationsstörung verschwommene Bilder wahrgenommen. Diesen Zustand findet man bei Störungen im Akkommodationsapparat oder durch Insuffizienz der äußeren Augenmuskeln. Die Gegenstände erscheinen dann kleiner (Mikropsie). Es sind dies Symptome, die bei Ermüdungs- und Erschöpfungszuständen auftreten (akkommodative Asthenopie).

Daß Ermüdungszustände eine Wirkung auf die Augen und auf das binokulare Sehen insbesondere haben, beweisen *Dashevsky* und *Zaretzkaja*⁴, indem sie an 55,6% der Fälle einer Versuchsreihe eine Verminderung des binokularen Sehens bei Ermüdungserscheinungen der Augen beobachteten.

Zusammenfassend brauchen wir also zum guten Nahesehen und binokularen Tiefesehen (*Axenfeld*¹):

1. Eine gute optische Einstellung (Akkommodation).
2. Eine gute Konvergenz.
3. Eine gewisse nervöse Ausdauer.

Über das Verhalten der Augenfunktionen bei *Sauerstoffmangel* liegen bereits mehrere Untersuchungen vor.

*Velhagen*¹⁴, *Pol*¹¹ und *Furuya*⁶ berichten über das Nachlassen des Lichtsinnes, der Adaptionfähigkeit, der Sehschärfe und der Akkommodation schon in Höhen von 5—6000 m.

Weiter beobachtet *Velhagen*¹⁵ neben der Herabsetzung des Lichtsinnes auch Beeinträchtigung des Farbsehens bei vielen Menschen in größeren Höhen, ferner die Bildung eines grauen Schleiers vor den Augen. Infolge der Anstrengung und allgemeinen Ermüdung kommt es dann zu latenten Stellungsanomalien (Heterophorien), die manifest werden und zu Doppelbildern führen können. In anderen Versuchen stellte *Velhagen*¹⁶ folgendes fest:

„Wir müssen auch bedenken, daß schon in einigen tausend Meter Höhe das Muskelgleichgewicht durch den Einfluß des Sauerstoffmangels sich ändert und daß am Stäbchenphorometer gemessen mit zunehmender Höhe sich eine latente Esophorie ausbildet, einheitlich sowohl bei primären Esophoren als auch Exophoren. Diese Einwärtstendenz entspricht aber nicht einer besseren Konvergenz für die Nähe. Diese wird vielmehr insuffizient. Es kann sich also nicht um einen erhöhten Konvergenztonus handeln, sondern vielmehr um irgendwelche Vorgänge in den Muskeln selbst.“

Der gleichen Ansicht wie *Velhagen*¹⁴ ist auch *Pol*¹¹, der anfangs beim Aufstieg in der Unterdruckkammer eine Zunahme (Esophorie), allerdings später bei größeren Höhen eine Abnahme (Exophorie) des Augenmuskeltonus beobachtete.

In diesem Zusammenhang schreibt *Livingston*¹⁰ über Heterophorien, die sich im Erschöpfungszustand besonders bei Höhenfliegern, unter zeitweiligen heftigen Kopfschmerzen einstellen können. Von Untersuchungen über Zusammenhänge von Heterophorien und Tiefesehen berichtet *Litinsky*⁹, daß stärkere Grade von Heterophorien das Tiefesehen herabsetzen können.

Methodik.

Ausgehend von den Untersuchungen *Kochs* über das Raumsehvermögen wurde mit dem von ihm entwickelten Raumsehprüfgerät untersucht, in welcher Weise das Raumsehvermögen im Unterdruck verändert ist. Folgendes sei zum allgemeinen Verständnis über das neue Gerät gesagt (*Koch*⁸).

Der Prüfling sitzt vor einer geschwärzten Platte, in der sich für die beiden Augen ein rotes und ein grünes Gelatinefenster zwischen dünnen Gläsern befindet. Das von dieser Platte ausgehende 60 cm lange waagerechte Gestänge trägt einen verschiebbaren Kasten, in dem sich eine elektrische Lampe befindet, vor der eine Opalglasscheibe angebracht ist. Auf der Beschauerseite trägt der Lampenkasten eine Haltevorrichtung für eine Glasplatte (9×12 cm). Als Gegenstand wurde eine vierkantige Spitzpyramide gewählt, deren Halbbilder mittels Pinotypie auf einer photographischen Platte (9×12 cm) in den Farben rot und grün wiedergegeben wurden. Das Maß der Querverschiedenheit der Halbbilder ist der Abstand der beiden Schnittpunkte der Schräglinien. Zum Messen dient ein verstellbarer Zeiger auf dem rechten Gestänge, der mit einem Rad beliebig eingestellt werden kann. Der eingestellte Wert kann an einem am Rahmen befestigten Bandmaß von dem Versuchsleiter abgelesen werden. Es ist möglich, mit Hilfe der Querverschiedenheit der Halbbilder a , der Entfernung des Bildes vom Auge E und dem Augenabstand A einen Sollwert zu finden, der vom Prüfling eingestellt werden müßte. Gleichzeitig gibt uns die Größe der Abweichung des gemessenen Wertes vom Sollwert ein Maß für die Präzision der Einstellung des Prüflings. Um aber die Leistungsfähigkeit des Raumsehens zu erfassen, setzt man dem Prüfling verschiedene Farbbilder mit zunehmender Querverschiedenheit vor. Die Pyramidenhöhe h wächst dann zunehmend, bis es dem Prüfling nicht mehr gelingt, die Halbbilder zu einem räumlichen Sehen zu vereinigen. Dann ist die Leistungsgrenze beim Raumsehen des Prüflings erreicht.

Die besonderen Vorzüge des Gerätes liegen darin, daß 1. die Beurteilung sich nicht auf die bloßen Angaben der Versuchsperson stützt, sondern direkt vom Versuchsleiter (VL.) in Maßzahlen angegeben und abgelesen werden kann; 2. das Gerät eine Leistungsprobe ermöglicht, und zwar deshalb, weil man das Raumsehen des Prüflings durch Anbieten von Halbbildern mit verschiedenem Querabstand bis zur Leistungsgrenze beurteilen kann.

Im ganzen wurden 12 Versuche an 11 Versuchspersonen durchgeführt. Als Versuchspersonen stellten sich freiwillig 9 Medizinstudenten, zugleich Angehörige der Luftwaffenschülerkompanie (med.) Gießen, im Alter von 19 bis 24 Jahren, sowie zwei 17jährige Luftwaffenfreiwillige zur Verfügung. Diese 11 Versuchspersonen gingen alle aus einer Leistungs- und Präzisionsprüfung ihres Raumsehvermögens hervor, die *Weißig*¹³ vorher angestellt hatte. Die Versuchspersonen waren also schon gut mit dem *Kochs*chen Prüfgerät vertraut, und ihr gutes Raumsehvermögen war in Bodenhöhe sowohl hinsichtlich seines Umfangs als auch seiner Präzision genau bekannt. Die Untersuchungen selbst fanden in der Unterdruckkammer der Fliegeruntersuchungsstelle im Physiologischen Institut statt. Auf Grund von Erfahrungen eines Probeversuches wurde folgende *Versuchsanordnung* getroffen.

Die Aufstiegsgeschwindigkeit betrug 900 m/Min. Bei 5000 m wurden die ersten Versuche vorgenommen. Es wurden zunächst drei Versuchsreihen mit je 6 Messungen gemacht. Zwischen jeder Meßreihe trat eine Erholungspause von 1 Min. ein. Nach der dritten Meßreihe erfolgte der weitere Aufstieg auf 6000 m Höhe. Die Versuche wurden in gleicher Weise wie in 5000 m Höhe wiederholt. Das gleiche geschah in 7000 m Höhe, und die Versuche wurden dann bis zur Leistungsgrenze bzw. zum drohenden Kollaps der Versuchsperson meistens ununterbrochen durchgeführt. Der Versuchsperson war vor dem Versuch gesagt worden, möglichst gleichmäßig und genau einzustellen und durch das Wort „steht“ anzuzeigen, daß der Versuchsleiter den eingestellten Wert ablesen kann. Gleichzeitig wurde die Versuchsperson vom Versuchsleiter genau beobachtet, die eingestellten Werte notiert und durch Assistenz außerhalb der Kammer mit einer Stoppuhr zeitlich festgehalten. Dann verschob der Versuchsleiter die Zeigerstellung. Bei Kollapsgefahr wurde Sauerstoff gegeben und ein

sofortiger Abstieg eingeleitet. Dem Prüfling wurde während des ganzen Versuches die Querverschiedenheit geboten, dessen Halbbilder er in Bodenhöhe

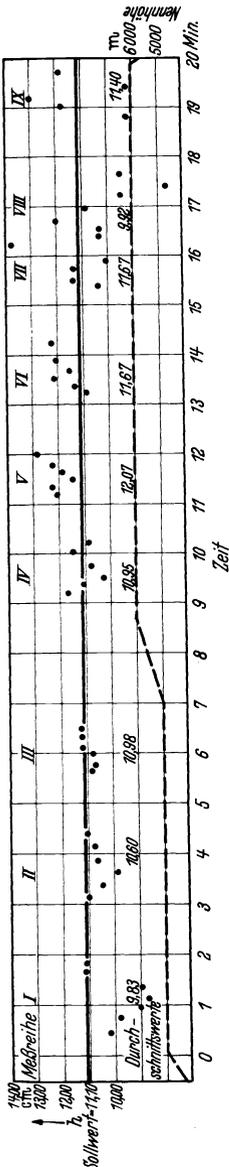


Abb. 1.

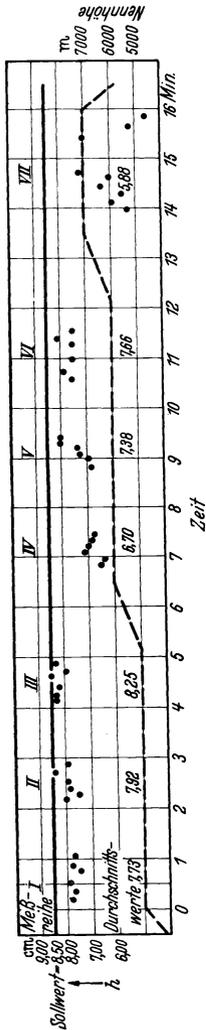


Abb. 2.

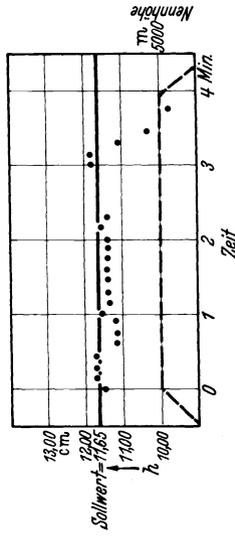


Abb. 3.

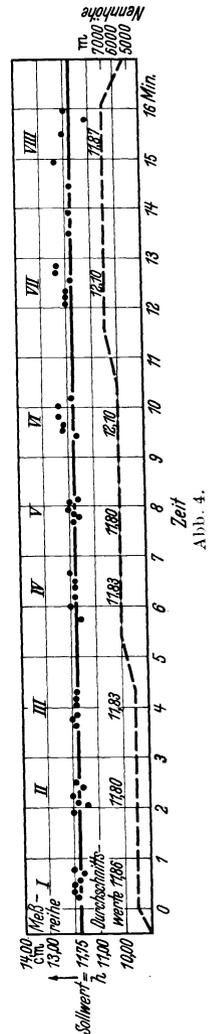


Abb. 4.

gerade noch zu einem räumlichen Sehen der Pyramide ohne Schwierigkeit (Versuche von Weißig¹³) vereinigen konnte.

Im folgenden sollen 6 charakteristische Fälle der 12 unternommenen Versuche beschrieben werden.

Fall 1. Aufstieg am 1. 3. 41. Versuchsperson R., 17 Jahre. Beruf Elektriker.

Protokoll (vgl. dazu Abb. 1). 5000 m: Schlechter Allgemeinzustand. Versuchsperson klagt über starke Kopfschmerzen. Die ersten 5 Messungen der 1. Meßreihe liegen weit unter dem Sollwert (s. I). 2. Meßreihe: Versuchsperson erholt sich zusehends. Meßwerte steigen (II).

Während der 3. Meßreihe sind die Kopfschmerzen völlig verschwunden. Zustand sehr gut. Meßwerte liegen gut (III). 6000 m: Während der 4. Meßreihe (IV) treten leichte Kopf- und Augenschmerzen auf. Werte streuen stark um den Sollwert. In den Pausen vor der 5. und 6. Meßreihe (V und VI) ist eine deutliche Euphorie der Versuchsperson zu bemerken. Versuchsperson unterhält sich zuversichtlich mit dem Versuchsleiter und spiegelt sich in einem Taschenspiegel. Allgemeinzustand gut (VI). Die Werte liegen jetzt weit über dem Sollwert. In der 14. Min. wird der Zustand bedenklich. Es scheint daher ratsam zu sein, nicht weiter zu steigen. Versuchsperson ist stark cyanotisch und müde (VII). (Gähnt.) Von der 16.—20. Min. werden fortlaufend Einstellungen getätigt. Die Werte schwanken sehr stark und liegen über und unter der Norm (VIII und IX). Klonisch-tonische Zuckungen. Sauerstoffgabe. Abstieg.

Fall 2. Aufstieg am 22. 2. 41. Versuchsperson S. 17 Jahre. Schüler.

Protokoll (vgl. dazu Abb. 2). 5000 m: Leichtes Unwohlsein. Druck auf den Magen bei Beginn der ersten Einstellungen (s. I). Besserung bis zur 3. Meßreihe (III). Meßmarken liegen anfangs unter den Sollwerten. Mit beginnender Besserung des Allgemeinzustandes Steigen der Werte. Bei der 3. Meßreihe liegen die Werte gut (III). 6000 m: Beginnendes Kopfweh, das nach der 5. Meßreihe nachläßt. Versuchsperson leicht euphorisch (V). Beginnende Cyanose und Tremor der Hände. Werte liegen im Durchschnitt tiefer als bei 5000 m. Sie steigen mit beginnender Erholung (VI), erreichen aber nicht mehr ganz die Höhe der 3. Meßreihe. 7000 m: Versuchsperson stark cyanotisch (VII). Versuchsperson muß ermahnt werden, weiter einzustellen, gähnt und leidet sehr unter den Erscheinungen des Sauerstoffmangels. Versuchsperson läßt zwischen den Einstellungen den Kopf hängen. Nach kurzem Anstieg der Werte klonisch-tonische Zuckungen. Abfall der Werte. Drohender Kollaps. Sauerstoffgabe. Abstieg.

Fall 3. Aufstieg am 17. 2. 41. Versuchsperson D. 24 Jahre. Medizinstudent.

Protokoll (vgl. dazu Abb. 3). 5000 m: Leichte Ohrenscherzen, die bald nachlassen. Versuchsperson beginnt dauernd einzustellen. Werte liegen gut. Bei Beginn der 4. Min. wird Versuchsperson plötzlich sehr blaß und zögernd in der Einstellung. Es werden noch drei Werte eingestellt, die immer mehr abfallen. Dann kommt es ganz plötzlich zum Kollaps (Frühkollaps). Sauerstoffgabe und Abstieg.

Fall 4. Aufstieg am 27. 2. 41. Versuchsperson B., 19 Jahre, Medizinstudent.

Protokoll (vgl. dazu Abb. 4). 5000 m: Versuchsperson verspürt leichten Druck in der Schläfengegend (I und II). Dieser Zustand dauert bis zum Ende der 2. Meßreihe an. Die Werte der 1. und 2. Meßreihe streuen leicht um den Sollwert. 3. Meßreihe ist sehr gut (III). 6000 m: Zustand ist leidlich bei beginnender Cyanose. Werte liegen anfangs gut (IV). Versuchsperson leicht euphorisch (V und VI). In der 6. Meßreihe steigen die Werte stärker über den Sollwert (VI). Versuchsperson beginnt zu gähnen. 7000 m: der Zustand der Versuchsperson beginnt sich zu verschlechtern (VII). Hände fangen an stark zu zittern. Versuchsperson gibt während der 8. Meßreihe das Wort „steht“ nicht mehr an, wenn er seine Messung beendet hat (VIII). Versuchsperson muß ständig zu neuen Messungen vom Versuchsleiter aufgefordert werden und ist jetzt stark euphorisch. Versuchsperson hält auch seinen Kopf nicht mehr ganz an den Apparat. Eine sehr große Abweichung der Werte ist bei der Versuchsperson nicht festzustellen. Die Werte liegen teils sehr gut. Sie streuen wenig um den Sollwert. Lediglich die zeitliche Aufeinanderfolge ist stark verzögert. Wegen drohenden Kollapses Sauerstoffgabe und Abstieg.

Fall 5. Aufstieg am 20. 2. 41. Versuchsperson L., 22 Jahre, Medizinstudent.

Protokoll (vgl. dazu Abb. 5). 5000 m: Keine Anzeichen von Beschwerden. Versuchsperson macht einen ruhigen Eindruck. Die Werte der 1. und 2. Meßreihe liegen sehr gut (I und II), während die Werte der 3. Meßreihe etwas höher liegen und mehr streuen (III). 6000 m: Versuchsperson klagt über Kopfdruck in der Temporalgegend, der später abnimmt. Dann Zustand gut. Die Werte der 4. und 5. Meßreihe liegen etwas über dem Durchschnitt und streuen leicht (IV—VI). Die 6. Meßreihe hat fast einen normalen Durchschnitt, jedoch streuen die Werte noch leicht nach oben. 7000 m: Zeichen starker Ermüdung (VII). Versuchsperson stark cyanotisch, leichter Tremor an den Händen. Versuchsperson muß, angehalten werden, Einstellungen vorzunehmen. Die Werte streuen sehr stark. Der Durchschnitt der eingestellten Werte liegt bei 9,6, also weit über der Norm (8,65). Auch hier stark verzögerte Einstellungszeit kurz vor dem Kollaps. Versuchsperson kollabiert. Sauerstoffgabe und Abstieg.

Zum Schluß sei noch ein weiterer Versuch erwähnt, der an einer Versuchsperson vorgenommen wurde, die sich als besonders höhenfest erwies. Die Versuchsanordnung war die gleiche wie schon beschrieben, nur mit dem Unterschied daß eine Meßreihe aus 5 Messungen mit 5 verschiedenen Halbbildern zunehmender Querverschiedenheit steigend bis zur oben erläuterten Grenze der Konvergenzmöglichkeit bestand. Dieser Versuch wurde besonders zur Prüfung der Konvergenzleistungen mit zunehmender Querverschiedenheit der Bilder angestellt.

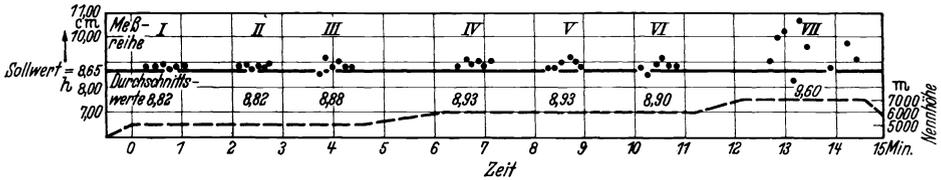


Abb. 5.

Fall 6. Aufstieg am 1.3.41. Versuchsperson F., 22 Jahre, Medizinstudent. Protokoll (vgl. Abb. 6). Die auf der Abbildung eingezeichneten Punkte stellen Durchschnittswerte der jeweiligen Höhen dar und sind bei 0 m von je 4 Werten, bei 5000 und 6000 m

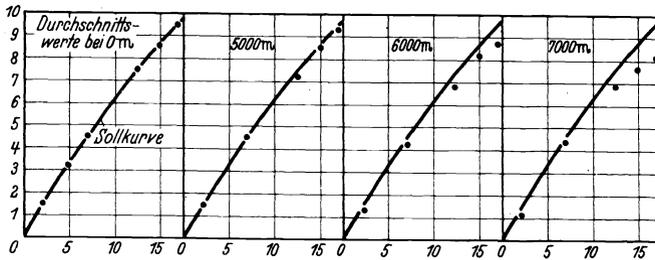


Abb. 6.

Höhe von je 3 Werten und bei 7000 m aus je 6 Werten der einzelnen gewonnenen Meßreihen errechnet worden. 5000 m: Allgemeinzustand der Versuchsperson sehr gut. 6000 m: Versuchsperson leicht cyanotisch. Zustand gut. Werte liegen mit zunehmender Querverschiedenheit unter dem Normalwert. 7000 m: Zustand der Versuchsperson gut. Leicht cyanotisch. Während der 8. und 9. Meßreihe auftretendes Unwohlsein mit starkem Druck in Temporalgegend. Die Werte der Halbbilder mit großer Querdisparation liegen sehr stark unter der Norm gestreut. Abbruch des Versuches. Sauerstoffgabe und Abstieg.

Es ist also als Ergebnis dieses Versuches mit zunehmender Höhe ein Abweichen der eingestellten Werte unter den des Sollwertes festzustellen.

Rückblick.

Bei allen 12 Versuchen wurde ein *Abweichen der Werte* im Unterdruck von den bei normaler Höhe gewonnenen festgestellt. Bei 7 Versuchspersonen (s. Fall 1, 2, 3 und 6) konnte man deutlich ein Abfallen und bei 2 Versuchspersonen (Fall 5) ein Ansteigen der Werte beobachten. 2 Versuchspersonen (Fall 4) ließen keine einheitliche Richtung der Abweichung erkennen. Diese streuten gleichmäßig nach oben und nach unten. Diese Änderung der Werte begann bei einigen Versuchspersonen schon in 5000 m Höhe und steigerte sich im zunehmenden Maße, bis zu einem regellosen Einstellen in 6000 und 7000 m Höhe, je nach dem Zustand der Versuchsperson in jeweiliger Höhe (Fall 1 und 2). Dieses ist zunächst als Mangel an Konzentration anzusehen. Wenn sich der Körper auf die Höhe

umstellt, nähern sich die Werte wieder dem Sollwert, und die Einstellungen werden dann wieder besser.

Als besonders gutes Beispiel sei Fall 2 erörtert. Hier fielen die Werte der 1. Meßreihe von 5000 und 6000 m stark, gleichzeitig stiegen sie mit der Erholung der Versuchsperson wieder an, und zwar in der 3. bzw. 6. Meßreihe. Bei 7000 m Höhe liegen die Anfangswerte am tiefsten. Die Versuchsperson kann aber nun nicht mehr den „toten Punkt“ überwinden; trotz kurzer scheinbarer Erholung bis zum 6. Wert der 7. Meßreihe fällt sie mit dem 7., 8. und 9. Wert völlig ab. Daraufhin kommt es dann zum Kollaps. Diese Erscheinungen muß man sich durch Sauerstoffmangel bedingt erklären, der sowohl die höheren Gehirnzentren (Konzentration) als auch die tieferen Zentren, die für den Tonus der Augenmuskeln verantwortlich sind (Akkommodation, Konvergenz) trifft.

Aus den Versuchsreihen *Velhagens*¹⁵ und *Pols*¹¹ wissen wir, daß man im allgemeinen mit dem Auftreten von *Esophorien* in größeren Höhen zu rechnen hat und daß nur wenige Fälle von *Exophorie* vorkommen. Daher müssen wir auf Grund unserer Versuche annehmen, daß das Abfallen der Werte, wie es der größte Teil unserer Versuchspersonen ebenfalls zeigte, durch eine auftretende *Esophorie* zu erklären ist. Im Gegensatz dazu beobachteten wir in nur 2 Fällen (Fall 1) beim Auftreten einer gewissen Hemmungslosigkeit oder *Euphorie* der Versuchsperson in Höhen von 5000 und 6000 m ein Steigen der Werte über den Sollwert für die Zeit dieses Zustandes. Da diese Beobachtung nur bei wenigen Versuchspersonen gemacht wurde, könnte man das Auftreten einer *Exophorie* als Erklärung angeben. Dieses entspräche auch den Untersuchungen von *Velhagen*¹⁵. Die *Exophorie* nun könnte ihrerseits auf Grund zentraler Enthemmung (*Euphorie*) hervorgerufen worden sein. Wenn wir nun oben sagten, daß eine *Esophorie* ein Absinken der Werte, eine *Exophorie* dagegen ein Steigen derselben zur Folge hätte, dann wäre dieses im folgenden dadurch zu erklären, daß sich bei einer Änderung der Konvergenz (*Heterphorie*) der Zustand der Mikropsie einstellen kann. So sagt *Dittler*⁵:

„Beim Sehen mit zwei Augen erhält man diese Erscheinung besonders deutlich bei der Lösung der Assoziation zwischen Konvergenz und Akkommodation, d. h. bei Beanspruchung der relativen Konvergenz- (bzw. Fusions-) und Akkommodationsbreite. Vor allem die Änderung der Konvergenz bei feststehender Akkommodation erweist sich in dieser Hinsicht als sehr wirksam, und zwar führt die Verstärkung der Konvergenz zur Makropsie. Beim Gebrauch stereoskopischer Apparate treten derartige Wirkungen unbeabsichtigt auf und sind wohl schwer zu vermeiden. Der Wechsel der Akkommodation bei gleichbleibender Konvergenz ergibt im Gegensatz zu dem Vorerwähnten nur geringfügige Effekte.“

Wir müssen daher obengenannten Konvergenzfaktor, den *Comberg*² schon beschrieb, zur Klärung der Abweichungen von den Sollwerten nach unten oder oben neben den im Unterdruck auftretenden *Heterophorien* in Betracht ziehen, zumal es sich bei uns um Versuche an einem Nahgerät handelt.

Die *Einstellungszeiten* sind bei Ankunft auf einer neuen Höhenstufe in der Regel länger als in Bodenhöhe. Nach der Umstellung des Körpers kehrt Versuchsperson wieder auf das normale Zeitmaß zurück. Bei starker Ermüdung in etwa 7000 m Höhe tritt durch Störung höherer Zentren (Tremor, klonusartige Zuckungen der Hände, mangelhafte Entschlußkraft, gestörtes Denkvermögen) eine bedeutende Verzögerung und Streuung der Einstellungen der einzelnen Werte ein. Nach erfolgtem Abstieg lag es zunächst nahe, die Versuchsperson selber zu fragen, was sie für Eindrücke bei dem Versuch gehabt hätte. Fast alle

sagten gleichmäßig aus, daß sie in 6000 bzw. 7000 m Höhe einen Schleier vor den Augen gesehen hätten. Eine Bestätigung der Beobachtungen *Velhagens*¹² und anderer. Ein Teil der Versuchspersonen beobachtete, daß sie bis zum Ende des Versuches trotzdem einen räumlichen Eindruck gehabt hätten (z. B. Fall 4). Weitere Versuchspersonen geben an, Doppelbilder gesehen und somit keinen räumlichen Eindruck mehr gehabt zu haben (z. B. Fall 1, 2 und 5). Dieser Zustand sei kurz vor dem Kollaps eingetreten. Er erstreckte sich aber nur über eine kurze Zeitspanne von etwa 2 Min. Es scheint daher ein völliges Gestörtsein des räumlichen Eindruckes im allgemeinen erst kurz vor dem Kollaps aufzutreten (Fall 3). Zwei Versuchspersonen konnten über ihre Empfindungen keine Angaben machen, da sie sehr schnell kollabierten (Fall 3). Es wird daher der Versuchsperson nicht mehr möglich sein, sich durch mangelnde Konvergenz oder Insuffizienz der Konvergenz (*Velhagen*¹⁴) einen räumlichen Eindruck unter diesen Bedingungen beim Betrachten der Halbbilder zu verschaffen. Die dabei auftretenden Doppelbilder stören dabei den Tiefendruck und können ihn ganz aufheben, wie es die starken Streuungen der Werte am Ende fast jeden Versuches zeigen. Das Ausmaß dieser Streuungen ist jedoch bei den einzelnen Versuchspersonen sehr verschieden (vgl. Fall 1 und 4).

Die Versuchsperson hat aber nicht allein, wie wir zeigten, mit den Schwierigkeiten der körperlichen Funktionen zu kämpfen. Mit den beginnenden körperlichen Erscheinungen des Sauerstoffmangels treten auch bald weitere psychische Störungen ein mit den Folgen der Kritiklosigkeit, des Willenmangels sowie der verminderten Konzentrationsfähigkeit, die in den Streuungen und Verzögerungen der Werte belegt sind. Es werden damit die Sinneswahrnehmungen und somit auch das räumliche Sehvermögen mit Zunahme der Höhenkrankheitssymptome verschlechtert und kurz vor einem Kollaps völlig aufgehoben sein. Das Nachlassen des räumlichen Sehens im Unterdruck ist also als Folge verschiedenster Ursachen aufzufassen.

Zusammenfassung.

1. Es wurden 12 Versuchspersonen, die über ein einwandfreies räumliches Sehvermögen verfügten (Untersuchungen von *Weißig*) in 12 Versuchen in der Unterdruckkammer in Höhen von 5000, 6000 und 7000 m untersucht.

2. Dabei konnten wir bei allen Versuchspersonen eine durch den Sauerstoffmangel hervorgerufene *Präzisionsabnahme* der eingestellten Werte (mangelnde Konzentration) feststellen.

3. Gleichzeitig trat eine *Abnahme* des *Umfanges* und der *Leistungsgrenze* ein, die durch die im Unterdruck beobachteten *Heterophorien* erklärt werden können.

4. Ferner konnte eine *Verlängerung* der *Einstellzeit* sowohl beim Erreichen einer neuen Höhenstufe als auch später mit eintretender Höhenkrankheit beobachtet werden.

5. Es sind die auftretenden Störungen in Abhängigkeit vom Allgemeinbefinden bzw. vom jeweiligen Grad der Höhenkrankheit zu bringen und durch mangelnde Konzentrationsfähigkeit (höhere Zentren) und durch Augenmuskelerkrankungen (tiefere Zentren) zu erklären. *Die Abweichungen* der Werte von der Norm sind geradezu als *Maß des jeweiligen Zustandes* anzusehen.

6. Das *Abfallen* der Werte in den meisten Fällen vor dem Kollaps läßt — im Einklang mit den Untersuchungen von *Velhagen* und *Pol* — auf eine *Esophorie* schließen, das *Steigen* der Werte dagegen auf eine *Exophorie*.

7. Auf Grund der Aussagen der Versuchsperson und der Beurteilung der gewonnenen Werte scheint mit Zunahme der Höhenkrankheitssymptome tatsächlich eine *qualitative Veränderung* des *Raumsehvermögens* im Unterdruck aufzutreten. Es ist durchaus wahrscheinlich, daß kurz vor einem Kollaps ein räumlicher Eindruck nicht mehr besteht.

Schrifttum.

- ¹ *Axenfeld*: Lehrbuch und Atlas der Augenheilkunde. Jena: Gustav Fischer 1923, 1935. — ² *Comberg*: Ber. 48. Versl ophthalm. Ges. Heidelberg 1930. — ³ *Cords*: Die „Physiologie der Augenbewegungen“ aus: Kurzes Handbuch der Ophthalmologie, herausgeg. von *Schieck* und *Brückner* Bd. 3, S. 454 u. 457. Berlin: Julius Springer 1930. — ⁴ *Dashevsky* u. *Zaretzkaja*: Trans. ukrain. ophthalm. Inst. 3, 153 (1935). Zit. nach Zbl. Ophthalm. 38, 326 (1932). — ⁵ *Dittler*: Die Physiologie des optischen Raumsinnes, aus: Kurzes Handbuch der Ophthalmologie, herausgeg. v. *Schieck* u. *Brückner*, Bd. 2, S. 441. 1932. Berlin: Springer 1932. — ⁶ *Furuya, G.*: Acta Soc. ophthalm. jap. 41, 42—49, 142—151, 544—549 (1937). Zit. Ber. Ges. Physiol. 103, 465, 466 (1938). — ⁷ *Koch, Eb.*: Luftfahrtmed. Abh. 3, 11 (1939). — ⁸ *Koch, Eb.*: Luftfahrtmed. 1941 (im Druck). — ⁹ *Litinsky*: Sovet. Vestn. Oftalm. 9, 661—673 (1936). Zit. Zbl. Ophthalm. 38, 327 (1937). — ¹⁰ *Livingston*: Brit. med. J. 1937, Nr 3999, 409—411. Zit. Zbl. Ophthalm. 39, 674 (1937). — ¹¹ *Pol*: Polski Przegl. Med. Lotn. 7, 162—168 (1938). — ¹² *Strughold*: Luftfahrtmed. 1, 286 (1936/37). — ¹³ *Weißig*: Luftfahrtmed. 1941 (im Druck). — ¹⁴ *Velhagen, jun. K.*: Dtsch. Mil.arzt 1, 207—211, 254 bis 260 (1936). Zit. Zbl. Ophthalm. 37, 515 (1937). — ¹⁵ *Velhagen*: Luftfahrtmed. 1, 344 bis 350 (1937). — ¹⁶ *Velhagen*: Sitzgsber. 2. Tagg märk. Augenärzte Berlin, 12. u. 13. Juni 1937. Ref. Klin. Mbl. Augenheilk. 99, 536 (1937).