

LEHRBUCH DER PHYSIOLOGIE

IN ZUSAMMENHÄNGENDEN EINZELDARSTELLUNGEN

UNTER MITARBEIT EINER
REIHE VON FACHMÄNNERN

HERAUSGEGEBEN VON

WILHELM TRENDELENBURG †
UND
ERICH SCHÜTZ

WILHELM TRENDELENBURG †

DER GESICHTSSINN

ZWEITE AUFLAGE

BEARBEITET VON

MANFRED MONJÉ · INGENBORG SCHMIDT · ERICH SCHÜTZ



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1961

DER GESICHTSSINN
GRUNDZÜGE DER PHYSIOLOGISCHEN OPTIK

VON

WILHELM TRENDELENBURG †

IN ZWEITER AUFLAGE BEARBEITET VON

MANFRED MONJÉ

PROF. DR. MED. DR. PHIL.
LEHRSTUHL
FÜR ANGEWANDTE PHYSIOLOGIE
AN DER UNIVERSITÄT KIEL

INGEBORG SCHMIDT

PROF. DR. MED.
DIVISION OF OPTOMETRY
INDIANA UNIVERSITY
BLOOMINGTON, INDIANA, U.S.A.

ERICH SCHÜTZ

PROF. DR. MED.
PHYSIOLOGISCHES INSTITUT
DER UNIVERSITÄT MÜNSTER (WESTF.)

MIT 160 ABBILDUNGEN IM TEXT UND 3 FARBTAFELN



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1961

ISBN 978-3-662-22086-3 ISBN 978-3-662-22085-6 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-22085-6

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.
Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet, dieses
Buch oder Teile daraus auf photomechanischem Wege (Photokopie, Mikrokopie)
zu vervielfältigen

Copyright 1943 by Springer-Verlag OHG. in Berlin
© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1961

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag OHG., Berlin · Göttingen · Heidelberg 1961.
Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1961

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw.
in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der
Annahme, daß solche Namen im Sinn der Warenzeichen- und Markenschutz-
Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt
werden dürften

DEM ANDENKEN AN
WILHELM TRENDELENBURG
GEWIDMET

Vorwort zur zweiten Auflage

Das Erscheinen der zweiten Auflage der „Physiologie des Gesichtssinns“, mit der WILHELM TRENDELENBURG diese „Lehrbuchreihe der Physiologie in zusammenfassenden Einzeldarstellungen“ 1943 selbst eröffnete, hat sich leider erheblich verzögert. 1946 verstarb WILHELM TRENDELENBURG, und so war es ihm selbst nicht mehr vergönnt, die bald vergriffene erste Auflage seines vorzüglichen Werkes selbst neu zu bearbeiten. Die Ungunst der Zeitverhältnisse ermöglichte erst ziemlich spät, die Neubearbeitung in Angriff zu nehmen, zu der sich die Unterzeichneten, darunter zwei Schüler WILHELM TRENDELENBURGS, zusammenschlossen. Es war ein besonders günstiger Umstand, daß Frau Prof. I. SCHMIDT seit Kriegsende als Fachvertreter für Physiologische Optik in den USA arbeitet. Dadurch war es uns möglich, die schon seit 1939 nur schwer erreichbare neuere amerikanische Literatur eingehend zu berücksichtigen. Herrn Prof. MÜLLER-LIMMROTH vom Physiologischen Institut in Münster, von dem kürzlich im gleichen Verlag eine umfassende Monographie der „Elektrophysiologie des Gesichtssinns“ erschien, schulden wir besonderen Dank für seine Mitarbeit an dem Kapitel über die elektrischen Vorgänge am Auge. Die Herausgeber bemühten sich bei der Abfassung dieser Neuauflage, den Charakter des Buches im Sinne WILHELM TRENDELENBURGS zu wahren und an der äußeren Einteilung des Buches möglichst wenig zu ändern; sie waren bestrebt, mit der gleichen Sorgfalt vorzugehen, die WILHELM TRENDELENBURG darauf verwendet hätte, wenn es ihm vergönnt gewesen wäre, die zweite Auflage selbst zu besorgen. Durch die seit 1939 erschienene umfangreiche Literatur waren allerdings weitgehende Ergänzungen erforderlich, z. B. bei Fragen des Flüssigkeitswechsels im Auge, der Sehpurpurchemie, der Akkommodation, des Tiefensehens usw. Neu hinzugefügt wurden Abschnitte über die Geschichte der Brille, über Nachtmyopie, Konvergenzbewegungen, Aniseikonie u. a. und in Hinblick auf das gesteigerte Interesse für Fragen des Schnellverkehrs, insbesondere auch der Astronautik, ein Kapitel über Sehschärfe für bewegte Objekte und über Latenzzeiten des Sehvorgangs.

Zitate älterer Autoren wurden soweit wie möglich belassen, um u. a. zu zeigen — was auch im Sinne W. TRENDELENBURGS gewesen wäre —, wie viele Gedanken schon früh ausgesprochen worden sind und wie viele mit weniger zureichenden technischen Hilfsmitteln gewonnene Erkenntnisse jetzt unter Anwendung moderner Methoden ihre Bestätigung gefunden haben. Man denke nur an die Sehpurpurabsorptionskurven von TRENDELENBURG und die Bestimmung der Energieschwellen von v. KRIES.

Wir hoffen, daß es gelungen ist, aus der Fülle der Literatur diejenigen Erkenntnisse herausgestellt zu haben, die in einem wissenschaftlichen Lehrbuch über den Gesichtssinn Aufnahme finden sollten, und wir würden uns freuen, wenn, um mit W. TRENDELENBURG zu sprechen, die jüngere Generation von Physiologen und Ophthalmologen daraus weitere Anregung erhalten würde, das Gebiet der Physiologie des Gesichtssinns in Wissenschaft und Unterricht zu pflegen und zu fördern.

Dem Verlag Springer danken wir für die ausgezeichnete Ausstattung des Buches.

Im Dezember 1960

M. MONJÉ, I. SCHMIDT, E. SCHÜTZ

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Einteilung | 1 |
| I. Der Strahlengang im Auge (Dioptrik) | 1 |
| A. Allgemeines und Vergleichendes | 1 |
| B. Formerhaltung und Schutz des Auges | 2 |
| C. Gesetze der dioptrischen Abbildung | 7 |
| 1. Strahlenvereinigung im einfachen optischen System | 8 |
| 2. Zusammengesetzte optische Systeme | 10 |
| D. Das Auge als zusammengesetztes optisches System | 12 |
| 1. Die optischen Konstanten des Auges | 12 |
| 2. Die Kardinalpunkte des Auges | 15 |
| 3. Das reduzierte Auge | 16 |
| 4. Die Brechkraft des ganzen Auges und seiner Teilsysteme | 17 |
| E. Hilfseinrichtungen des dioptrischen Apparates des Auges | 18 |
| 1. Iris und Irisbewegung | 18 |
| 2. Die Akkommodation | 24 |
| a) Beobachtung der Veränderungen am Auge | 24 |
| b) Mechanismus der Akkommodation | 27 |
| c) Maß der Akkommodation | 31 |
| 3. Giftwirkungen auf Akkommodation und Irisbewegung | 37 |
| F. Die Refraktionsanomalien | 37 |
| 1. Einteilung | 37 |
| 2. Kurzsichtigkeit und Übersichtigkeit | 38 |
| 3. Die Akkommodation bei Refraktionsanomalien | 40 |
| 4. Brillenlehre | 40 |
| 5. Zur Geschichte der Brille | 45 |
| G. Der Augenspiegel | 46 |
| 1. Beleuchtung und Abbildung der Netzhaut | 46 |
| 2. Schattenprobe | 50 |
| H. Abweichungen von der punktförmigen Strahlenvereinigung | 53 |
| 1. Chromatische Abweichung | 53 |
| 2. Sphärische Abweichung | 55 |
| 3. Astigmatismus | 55 |
| a) Regelmäßiger Astigmatismus | 55 |
| b) Unregelmäßiger Astigmatismus | 59 |
| 4. Abweichung bei schrägem Strahlenaufall (schiefe Incidenz) | 59 |
| 5. Abweichung durch Mängel der Zentrierung | 60 |
| 6. Abweichung durch Beugung des Lichtes | 60 |
| 7. Irradiation | 61 |
| 8. Fehler in der Durchsichtigkeit der Medien | 62 |
| Entoptische Wahrnehmungen | 62 |
| J. Der Ort der Reizaufnahme in der Netzhaut | 63 |

| | |
|--|-----|
| II. Die Gesichtsempfindungen | 66 |
| A. Die Wirkung von Strahlungen verschiedener Wellenlänge, sowie von inadäquaten Reizen, und ihre Beziehung zur Mannigfaltigkeit der Empfindungen | 66 |
| 1. Adäquate Reizung | 67 |
| a) Sichtbarkeitsgrenzen des Spektrums | 67 |
| b) Strahlungen und zugeordnete Empfindungen | 69 |
| c) Umstimmungen | 72 |
| 2. Inadäquate Reizung | 74 |
| B. Die Farbenempfindungen in ihren Beziehungen zueinander | 76 |
| C. Die Farbenmischung | 83 |
| 1. Das Wesen und die Methodik der Farbenmischung | 83 |
| 2. Die Ergebnisse der Farbenmischung | 86 |
| 3. Darstellung der Tatsachen der Farbenmischung durch eine Schwerpunktskonstruktion (Farbendreieck) | 92 |
| D. Angeborene Formen von abweichendem Farbensinn | 96 |
| 1. Die teilweise Farbenblindheit (Dichromasie) | 96 |
| a) Prot- und Deuteranopie (sogenannte Rot- und Grünblindheit) | 97 |
| b) Tritanopie (Violettblindheit, Blaublindheit) | 102 |
| c) Abhängigkeit von der Feldgröße | 102 |
| d) Bezeichnungen — Geschichtliches | 103 |
| e) Die subjektive Beschaffenheit der Empfindungen der Dichromaten | 104 |
| 2. Der anomale Farbensinn | 105 |
| a) Prot- und Deuteranomalie | 105 |
| b) Tritanomalie | 109 |
| c) Abhängigkeit von der Feldgröße | 110 |
| 3. Die Häufigkeit der angeborenen Abweichungen des Farbensinnes | 110 |
| 4. Besonderheiten des zentralen und peripheren Farbensehens beim Normalen | 110 |
| 5. Farbentafel bei abweichendem Farbensinn | 113 |
| 6. Vererbung der angeborenen Farbenfehlsichtigkeiten | 114 |
| E. Die Theorien des normalen und abweichenden Farbensinnes | 117 |
| F. Das Nachtsehen und seine Beziehungen zum Tagessehen | 127 |
| 1. Die Empfindlichkeitssteigerung im Dunkeln | 127 |
| 2. Örtliche Unterschiede der Empfindlichkeit der Netzhaut Adaptation der Fovea | 133 |
| 3. Nachtwerte der Spektralstrahlungen | 136 |
| 4. Nachtmyopie | 138 |
| 5. Tageswerte der Spektralstrahlungen — Technische Lichtmessung | 139 |
| a) Tageswerte | 139 |
| b) Technische Lichtmessung | 143 |
| 6. Wechsel zwischen Tages- und Nachtsehen | 147 |
| 7. Theoretisches über die Erscheinungen des Nachtsehens | 148 |
| a) Grundzüge der Duplizitätstheorie | 149 |
| b) Praktische Folgerung (Adaptationsbrille) | 154 |
| c) Neuere Ergebnisse über den Sehpurpur und offene Fragen | 155 |
| α) Chemische Eigenschaften, Regeneration | 155 |
| β) Absorptionskurve | 159 |
| γ) Lichtwirkung | 165 |
| d) Wirkung inadäquater Reize bei Dunkeladaptation | 167 |
| 8. Zapfensehstoffe | 168 |
| 9. Angeborene totale Farbenblindheit | 173 |
| a) Zapfenblindheit (Tagblindheit, Nyktalopie) | 173 |
| b) Zapfenfarbenblindheit | 175 |
| 10. Angeborene Nachtblindheit (Hemeralopie) | 175 |
| 11. Erworbene Nachtblindheit | 177 |

| | |
|--|-----|
| G. Erworbene Störungen des Farbensinnes | 177 |
| 1. Erworbene Rotgrünblindheit | 178 |
| 2. Erworbene Blaugelbblindheit | 179 |
| 3. Erworbene totale Farbenblindheit | 180 |
| 4. Farbsehen von Weiß | 180 |
| 5. Teilfarbenblindheit durch Blendung | 181 |
| 6. Einwirkung der Höhenluft | 182 |
| H. Objektive Lichtwirkungen | 182 |
| 1. Photochemische und chemische Vorgänge | 182 |
| 2. Morphologische Änderungen | 183 |
| 3. Elektrische Vorgänge | 185 |
| a) Das Ruhepotential des Auges | 185 |
| b) Das Elektretinogramm | 188 |
| c) Aktionspotentiale der Sehbahn | 202 |
| α) Der Sehnerv | 202 |
| β) Die Sehzentren | 207 |
| J. Zeitliche und örtliche Beziehungen der Erregungs- und Empfindungsvorgänge zum Reiz | 213 |
| 1. Zeitbeziehungen | 213 |
| a) Empfindungs(latenz)zeit | 213 |
| b) Nachbilder nach kurzdauernder Reizung | 215 |
| c) Nachbilder bei etwas längerer Reizdauer | 216 |
| 2. Ortsbeziehungen | 218 |
| K. Unterscheidungsfähigkeit | 222 |
| 1. Zeitliche Unterscheidungsfähigkeit für Lichtreize | 223 |
| a) Zeitabstand der Reize | 223 |
| b) Zeitschwelle für Einzelreize | 226 |
| 2. Unterscheidung von Reizstärken | 227 |
| a) Unterschiedsempfindlichkeit | 227 |
| b) Absolute Schwellenempfindlichkeit | 230 |
| 3. Unterscheidung von Reizarten (homogene Strahlungen) | 234 |
| 4. Unterscheidung von Sättigungsabstufungen | 236 |
| L. Vergleichend-Physiologisches über den Farbensinn | 237 |
| 1. Farbensinn bei Säugetieren, insbesondere Affen | 237 |
| 2. Farbensinn bei den Kulturvölkern des Altertums und bei Naturvölkern sowie dem Eiszeitmenschen | 240 |
| 3. Farbensinn beim Kleinkind | 242 |
| III. Die Gesichtswahrnehmungen | 242 |
| A. Einleitung | 242 |
| B. Allgemeine räumliche Anordnung des Wahrgenommenen | 244 |
| 1. Das Gesichtsfeld | 244 |
| 2. Die Sehschärfe | 249 |
| a) Punktsehschärfe | 249 |
| b) Noniussehschärfe | 252 |
| c) Sichtbarkeit einzelner Linien | 253 |
| d) Sehschärfe in der Netzhautperipherie | 253 |
| e) Abhängigkeit der Sehschärfe von Beleuchtung, Adaptation, Blendung, Dunst | 254 |
| f) Ein- und beidäugige Sehschärfe | 258 |
| g) Sichtbarkeit kleinster Punkte | 258 |
| h) Sehschärfe und Bildschärfe | 258 |
| i) Sehschärfe in Abhängigkeit von der Wellenlänge der abbildenden Strahlen | 260 |
| k) Sehschärfe für bewegte Objekte | 261 |
| l) Bewegungssehschärfe | 261 |
| m) Vergleichendes über Sehschärfe | 262 |

| | |
|--|-----|
| n) Klinische Sehschärfeprüfung | 263 |
| o) Bezugspunkte für den Gesichtswinkel. Benennungen. | 265 |
| C. Die Augenbewegungen | 266 |
| 1. Das Blicken (Fixieren) | 266 |
| 2. Das Blickfeld | 268 |
| 3. Das Auge und die Augenmuskeln | 269 |
| 4. Die Mechanik der Augenbewegungen | 270 |
| a) Das Kugelgelenk | 270 |
| b) Der Drehpunkt des Auges und die Drehachsen seiner Muskeln | 270 |
| 5. Die Gesetze der Augenbewegungen | 274 |
| a) Benennungen | 274 |
| b) Gesetz der binokularen Gemeinschaft (Assoziation) | 275 |
| c) DONDERS' Gesetz der konstanten Orientierung | 276 |
| d) LISTINGS Gesetz | 277 |
| e) Regel der beiderseits gleichen Innervation | 283 |
| 6. Verlauf der willkürlichen Augenbewegungen | 283 |
| 7. Unwillkürliche Augenbewegungen | 286 |
| 8. Konvergenzbewegungen | 289 |
| 9. Augen- und Kopfbewegungen | 290 |
| 10. Latenzzeiten beim Sehen und ihre praktische Bedeutung | 291 |
| D. Die Richtungswahrnehmung | 292 |
| 1. Grundtatsachen | 292 |
| 2. Die Richtungswahrnehmung bei ruhendem Auge | 293 |
| a) Die Richtungswahrnehmung für einfach gesehene Raumpunkte (binokulares Einfachsehen). | 294 |
| b) Die Richtungswahrnehmung für doppelt gesehene Raumpunkte (binokulares Doppeltsehen) | 298 |
| c) Gelegentliche und pathologische Doppelwahrnehmungen | 301 |
| 3. Die Richtungswahrnehmung bei bewegtem Auge | 303 |
| E. Die Entfernungswahrnehmung | 305 |
| 1. Hilfsmittel der einäugigen Entfernungswahrnehmung | 305 |
| a) Scheinbare Größe (Sehgröße) | 305 |
| b) Linienüberschneidung | 306 |
| c) Perspektivische Verkürzung | 306 |
| d) Verteilung von Licht und Schatten | 307 |
| e) Luftperspektive | 307 |
| f) Bildanordnung | 308 |
| g) Akkommodation | 308 |
| h) Bewegungen | 308 |
| 2. Beidäugige Entfernungswahrnehmung | 309 |
| a) Absolute und relative Entfernungswahrnehmung | 309 |
| b) Bedeutung der beidäugigen Bildverschiedenheit (WHEATSTONE) | 310 |
| c) Der Augenabstand | 310 |
| d) Die Stereoskopie | 311 |
| e) Einwände gegen WHEATSTONES Auffassung | 314 |
| f) Genauigkeit der binokularen Tiefenwahrnehmung | 315 |
| g) Erweiterung des Augenabstandes (Telestereoskop) | 319 |
| h) Tiefenwahrnehmung und Doppelwahrnehmung | 322 |
| i) Aniseikonie | 323 |
| k) Die Bedeutung der Parallaxe für die „absolute“ Tiefenwahrnehmung | 325 |
| l) Vergleichendes über Tiefenwahrnehmung | 328 |
| m) Besonderheiten des stereoskopischen Sehens | 329 |
| α) Die Orthoskopie | 330 |
| β) Die Pseudoskopie (WHEATSTONE). | 331 |
| γ) Das Modellraumbild | 332 |
| δ) Monokulare Stereoskopie und monokulare Entfernungswahrnehmung | 332 |
| ϵ) Stereoskopische Projektion | 334 |

| | | |
|----|--|-----|
| ζ) | Messende Stereoskopie | 334 |
| η) | Farbenstereoskopie, stereoskopischer Glanz, Wettstreit, binokulare Farbenmischung | 335 |
| θ) | Stereoeffekt und Stereophotometrie | 337 |
| n) | Die binokularen Instrumente | 339 |
| α) | Prismenfernrohre | 339 |
| β) | Binokulare Lupen und Mikroskope, binokularer Augenspiegel | 340 |
| γ) | Entfernungsmeßgeräte | 341 |
| F. | Wahrnehmung und Wirklichkeit | 343 |
| 1. | Richtungsbeziehungen | 344 |
| 2. | Größenbeziehungen | 346 |
| 3. | Entfernungsbeziehungen | 350 |
| 4. | Bewegungsbeziehungen | 354 |
| 5. | Geometrisch-optische Täuschungen | 359 |
| 6. | Augenmaß | 362 |
| G. | Allgemeines und Theoretisches aus dem Gebiet der Gesichtswahrnehmungen | 364 |
| | Literaturverzeichnis | 373 |
| | Namenverzeichnis | 418 |
| | Sachverzeichnis | 429 |
| | Anhang: Tafel I—III | |