

Auge – Brille – Refraktion

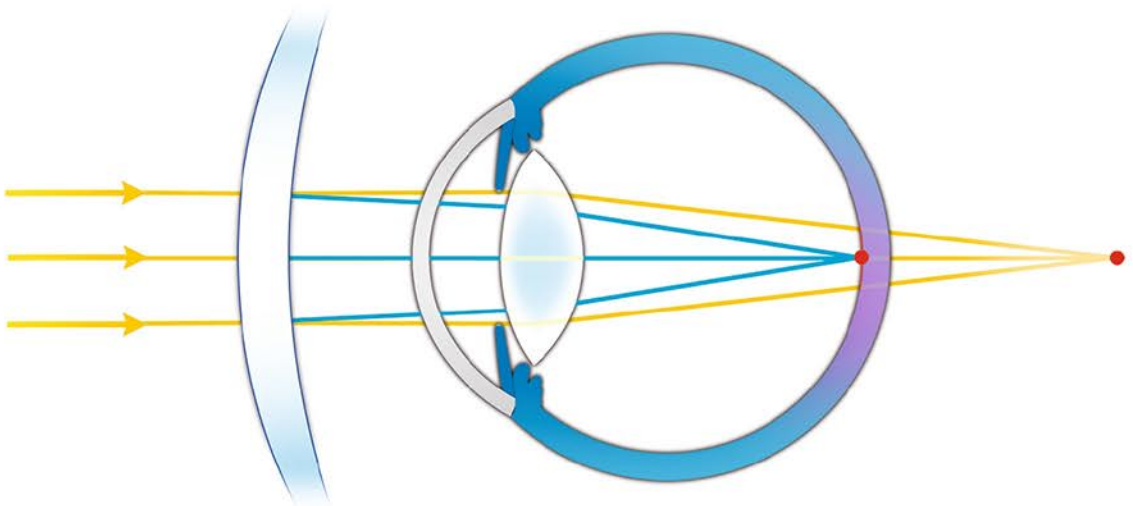
Schober-Kurs: verstehen – lernen – anwenden

Bernhard Lachenmayr
Dieter Friedburg
Annemarie Buser

 Online-Version in der eRef

Mitbegründet von
Erwin Hartmann

5., vollständig überarbeitete
Auflage



Auge – Brille – Refraktion

Schober-Kurs: verstehen – lernen – anwenden

Bernhard Lachenmayr
Dieter Friedburg
Annemarie Buser

5., vollständig überarbeitete Auflage

243 Abbildungen

Georg Thieme Verlag
Stuttgart • New York

Impressum

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Ihre Meinung ist uns wichtig! Bitte schreiben Sie uns unter

www.thieme.de/service/feedback.html



Wichtiger Hinweis: Wie jede Wissenschaft ist die Medizin ständigen Entwicklungen unterworfen. Forschung und klinische Erfahrung erweitern unsere Erkenntnisse, insbesondere was Behandlung und medikamentöse Therapie anbelangt. Soweit in diesem Werk eine Dosierung oder eine Applikation erwähnt wird, darf der Leser zwar darauf vertrauen, dass Autoren, Herausgeber und Verlag große Sorgfalt darauf verwandt haben, dass diese Angabe dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes entspricht.

Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag jedoch keine Gewähr übernommen werden. **Jeder Benutzer ist angehalten**, durch sorgfältige Prüfung der Beipackzettel der verwendeten Präparate und gegebenenfalls nach Konsultation eines Spezialisten festzustellen, ob die dort gegebene Empfehlung für Dosierungen oder die Beachtung von Kontraindikationen gegenüber der Angabe in diesem Buch abweicht. Eine solche Prüfung ist besonders wichtig bei selten verwendeten Präparaten oder solchen, die neu auf den Markt gebracht worden sind. **Jede Dosierung oder Applikation erfolgt auf eigene Gefahr des Benutzers.** Autoren und Verlag appellieren an jeden Benutzer, ihm etwa auffallende Ungenauigkeiten dem Verlag mitzuteilen.

© 2016 Georg Thieme Verlag KG
Rüdigerstr. 14
70469 Stuttgart
Deutschland
www.thieme.de

Printed in Germany

Redaktion: Gabriele Gaßmann, Stuttgart
Zeichnungen: Harald Kröhn, München; Roland Geyer, Weilerswist
Umschlaggestaltung: Thieme Verlagsgruppe
Umschlaggrafik: Martina Berge, Stadtbergen; verwendete Fotos von © fpic-Fotolia.com
Satz: Sommer Media GmbH & Co.KG, Feuchtwangen
Druck: Grafisches Centrum Cuno, Calbe

Geschützte Warennamen (Warenzeichen ®) werden nicht immer besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen oder die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die abgebildeten Personen haben in keiner Weise etwas mit der Krankheit zu tun.

ISBN 978-3-13-139555-9

1 2 3 4 5 6

Auch erhältlich als E-Book:
eISBN (PDF) 978-3-13-157305-6
eISBN (epub) 978-3-13-204655-9

Vorwort zur 5. Auflage

Wenngleich sich an den sachlichen und fachlichen Abläufen der Refraktionsbestimmung keine substanziellen Änderungen ergeben haben, so ist doch eine komplette Überarbeitung des Buches v. a. aus didaktischen Gründen notwendig geworden. Die Hauptarbeit hierzu haben Frau Prof. Buser und Herr Prof. Friedburg verrichtet, wofür ich mich ganz herzlich bedanken möchte. Ich hoffe, dass das

Buch weiterhin gute Dienste in der Ausbildung und der praktischen Tätigkeit der Augenärztinnen und Augenärzte leistet.

München, im Juni 2016

Prof. Dr. Dr. B. Lachenmayr

Vorwort zur 4., überarbeiteten Auflage

Nachdem das Büchlein „Auge – Brille – Refraktion“ zu einem ständigen und lebhaften Interesse vor allem bei Augenärztinnen und Augenärzten in Ausbildung, aber auch bei länger im Fach tätigen Kolleginnen und Kollegen geführt hat, haben wir einige Ergänzungen und Modifikationen durchgeführt. Wir haben uns dabei auf wichtige technische Details beschränkt. Die Grundintention des Büchleins ist nach wie vor das Vermitteln der grundlegenden Kenntnisse der Refraktionsbestimmung prinzipiell in manueller Form. Jede Augenärztin, jeder Augenarzt muss die objektive und subjektive Refraktionsbestimmung in manueller Form (im Schlaf) beherrschen, auch in Zeiten, in denen die objektive Refraktionsbestimmung fast nur noch mit Automaten durchgeführt wird. Gerade bei Kindern und bei schlecht kooperierenden Patienten ist die Skiaskopie ein unschätzbares Hilfsmittel, um schnell, effizient und nichtinvasiv Kenntnisse über die Refraktion des Auges zu erlangen. Nicht zuletzt bei Narkoseuntersuchungen, wie sie gelegentlich bei Kindern erforderlich sind, ist dies das einzige Mittel, um zu einer vernünftigen Refraktionsbestimmung zu gelangen. Daher müssen die manuellen Techniken an erster Stelle stehen und erst an zweiter Stelle folgen die automatischen Prüfverfahren. Aus diesem Grund wurden auch bei der jetzigen Neuauflage das Buches die automatischen Refraktometer nur am Rande behandelt und keine technischen Details aufgeführt.

Auch der subjektive Abgleich, der der objektiven Refraktion folgt, sollte zunächst in der elementaren manuellen Technik mit Probierbrille und manuellem Phoropter erlernt werden. Erst wenn die Grundprinzipien verstanden sind, macht es Sinn, auf den automatischen Phoropter mit all seinen Vorzügen zu wechseln, beispielsweise mit einem Simultan-Kreuzzylindertest. Die Refraktionsbestimmung ist und bleibt ein „Handwerk“, das erlernt werden muss, trotz aller Fortschritte in den automatischen Messverfahren – und wird es auch immer bleiben. Wir hoffen, dass die Leserinnen und Leser der jetzt 4., überarbeiteten Auflage ausreichend aktuelle Informationen über Refraktionsbestimmung, Brillenglasmaterialien und andere Gebiete der augenärztlichen Tätigkeit, beispielsweise die Fahreignungsbegutachtung, finden. Mein besonderer Dank gilt Frau Augenoptikermeisterin Ramona Maibaum, Mitarbeiterin in meiner Praxis, die mir aktuelle Informationen zu Brillenglasmaterialien (Kapitel 4.2), zu den unterschiedlichen Glastypen (Kapitel 4.4) und zum Thema der Gewichtsreduktion bei hohen Brechwerten (Kapitel 4.5) beschafft hat.

München, im Herbst 2005

Prof. Dr. Dr. Bernhard Lachenmayr

Anschriften

Prof. Dr. rer. biol. hum. Annemarie **Buser**
Hochschule Aalen
Studiengang Augenoptik/Hörakustik
Anton-Huber-Str. 23
73430 Aalen
Deutschland

Prof. Dr. med. Dieter **Friedburg**
Carl-Schurz-Str. 9
47803 Krefeld
Deutschland

Prof. Dr. med. Dr. med. habil. Bernhard **Lachenmayr**
Facharzt für Augenheilkunde
Neuhauser Str. 23
80331 München
Deutschland

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	11
	<i>B. Lachenmayr</i>	
2	Physiologische Optik	12
2.1	Ophthalmologische Optik	12
	<i>A. Buser</i>	
2.1.1	Einführung	12
2.1.2	Geometrische Optik, Snellius- Brechungsgesetz	12
2.1.3	Optische Abbildung durch Prismen	13
2.1.4	Sphärische Linsen	14
2.1.5	Zylinderlinsen	17
2.1.6	Prismatische Nebenwirkung	19
2.2	Sehschärfe	20
	<i>B. Lachenmayr</i>	
2.2.1	Sehschärfekriterien	20
2.2.2	Wodurch wird die Sehschärfe des Auges bestimmt?	21
2.2.3	Sehschärfe und Visus	22
2.2.4	Sehschärfe als Funktion der Adaptationsleuchtdichte	23
2.2.5	Sehschärfe als Funktion der Exzentrität	23
2.2.6	Sehschärfe als Funktion der Fehlrefraktion	24
2.2.7	Messung der Sehschärfe	25
2.2.8	Normgerechte Sehschärfeproofung .	26
2.3	Akkommodation	27
	<i>B. Lachenmayr</i>	
2.3.1	Einführung	27
2.3.2	Anatomie und Physiologie	27
2.3.3	Äußere und innere Akkommodation	28
2.3.4	Dynamik der Akkommodation	29
2.3.5	Ruhelage der Akkommodation	29
2.3.6	Fernpunkt, Einstellpunkt und Nahpunkt	30
2.3.7	Akkommodationsaufwand – Akkommodationserfolg	31
2.3.8	Duane-Kurve	34
2.4	Nachtmyopie und Nachtpresbyopie	34
	<i>E. Hartmann, B. Lachenmayr</i>	
2.4.1	Einführung	34
2.4.2	Ursache der Nachtmyopie	35
2.4.3	Häufigkeit der Nachtmyopie	36
2.4.4	Bestimmung der Nachtmyopie	36
2.4.5	Korrektur der Nachtmyopie	36
2.4.6	Instrumentenmyopie	36
2.4.7	Nachtpresbyopie	37
3	Objektive Refraktionsbestimmung	38
3.1	Manuelle Refraktometrie	38
	<i>B. Lachenmayr</i>	
3.1.1	Einführung	38
3.1.2	Optometer-Prinzip	38
3.1.3	Fokussierrefraktometer	39
3.1.4	Koinzidenzrefraktometer	40
3.2	Automatische Refraktometer . . .	42
	<i>B. Lachenmayr</i>	
3.2.1	Einführung	42
3.2.2	Messprinzipien	42
3.2.3	Handgehaltene Refraktometer.	43
3.2.4	Genauigkeit und Zuverlässigkeit. . .	43
3.3	Skioskopie	43
	<i>D. Friedburg</i>	
3.3.1	Einführung	43
3.3.2	Optische Grundlagen	44
3.3.3	Ausführung der Strich-Skioskopie. .	48

4	Subjektive Refraktionsbestimmung	55		
4.1	Einführung	55	4.6.2	Definition.
	<i>B. Lachenmayr</i>		4.6.3	Bedeutung der Anisometropie aus ophthalmologisch optischer Sicht .
4.1.1	Refraktion	55	4.6.4	Klinische Bedeutung der Anisometropie
4.1.2	Refraktionsdefizit	55	4.6.5	Aniseikonie oder geometrisch optischer Bildgrößenunterschied?.
4.1.3	Arten der Fehlsichtigkeit: Myopie, Hyperopie, Astigmatismus	55	4.6.6	Möglichkeiten der Bildgrößenbeeinflussung
4.1.4	Hauptebenen und Knotenpunkte ..	57		
4.1.5	Gullstrand-Auge	59		
4.1.6	Hornhautscheitelabstand	59		
4.1.7	Ablauf der Refraktionsbestimmung	60		
4.1.8	Probierbrille und Refraktionsmessgläser	61	4.7	Die Bestimmung und Verordnung von Nahbrillen.
4.1.9	Manuelle Phoropteren	61		<i>D. Friedburg</i>
4.1.10	Automatische Phoropteren	62	4.7.1	Einführung.
4.2	Sphäre und Kreuzzylinder	62	4.7.2	Bestimmung des Nahzusatzes
	<i>D. Friedburg, A. Buser</i>		4.7.3	Ablauf der standardisierten Additionsbestimmung
4.2.1	Einführung.	62	4.7.4	Alternative Untersuchungsmethoden
4.2.2	Optische Grundlagen	63	4.7.5	Verordnung der Nahaddition
4.2.3	Praktischer Ablauf des monokularen subjektiven Abgleichs	66	4.7.6	Welche Brille soll man für die Nähe empfehlen?
4.2.4	Subjektive Refraktionsbestimmung ohne Kenntnis objektiver Werte ..	69	4.8	Heterophorie.
4.3	Alternative Refraktionsverfahren	69		<i>D. Friedburg</i>
	<i>A. Buser, E. Hartmann</i>		4.8.1	Physiologische Vorbemerkungen ..
4.4	Sphärischer Feinabgleich	72	4.8.2	Klinik der Heterophorie
	<i>A. Buser, B. Lachenmayr</i>		4.9	Stellenwert der Prismenkorrektur im Rahmen der Schielbehandlung
4.4.1	Einführung.	72		<i>D. Friedburg</i>
4.4.2	Sukzessivverfahren	72	4.9.1	Optik des Prismas
4.4.3	Simultanverfahren: Rot-Grün-Abgleich	73	4.9.2	Prismen in der Schielbehandlung ..
4.4.4	Simultanverfahren: Kreuzzylinder und Strichfigur	74	4.9.3	Nachteile der Prismenkorrektur ..
4.5	Binokularabgleich	74	4.10	Asthenopische Beschwerden und Brille
	<i>A. Buser, B. Lachenmayr</i>			<i>D. Friedburg</i>
4.5.1	Einführung.	74	4.10.1	Einführung.
4.5.2	Durchführung des Binokularabgleichs unter Nebelung	77	4.10.2	Optische Asthenopie
4.5.3	Durchführung des Binokularabgleichs ohne Nebelung.	78	4.10.3	Akkommodative Asthenopie.
4.5.4	Trageversuch	79	4.10.4	Vergenz-bedingte Asthenopie
4.6	Anisometropie	79	4.10.5	Sensorische Asthenopie
	<i>D. Friedburg, A. Buser</i>		4.10.6	Führungsaugae
4.6.1	Einführung.	79		

5	Brille	104		
5.1	Optik und Abbildungsfehler	104	5.4	Einstärkengläser, Prismengläser, Mehrstärken- und Gleitsichtgläser
	<i>B. Lachenmayr</i>			<i>A. Buser, B. Lachenmayr</i>
5.1.1	Einführung.....	104	5.4.1	Einführung.....
5.1.2	Sphärische Aberration (Öffnungsfehler).....	104	5.4.2	Einstärkengläser.....
5.1.3	Chromatische Aberration (Farbfehler).....	105	5.4.3	Einstärkengläser mit prismatischer Wirkung.....
5.1.4	Astigmatismus schiefer Bündel....	106	5.4.4	Bifokal- und Trifokalgläser.....
5.1.5	Bildfeldwölbung.....	108	5.4.5	Gleitsichtgläser.....
5.1.6	Koma.....	108		
5.1.7	Verzeichnung.....	109	5.5	Gläser für hohe Hyperopie und Myopie
5.1.8	Korrekturmöglichkeiten der Abbildungsfehler von Brillengläsern.....	109		<i>A. Buser, B. Lachenmayr</i>
5.2	Brillenglasmaterialien	109	5.5.1	Einführung.....
	<i>A. Buser, B. Lachenmayr</i>		5.5.2	Gewichtsreduktion.....
5.2.1	Einführung.....	109	5.5.3	Gesichtsfeld und Blickfeld.....
5.2.2	Brechungsindex n	109	5.5.4	Mess- und Gebrauchswert.....
5.2.3	Abbe-Zahl v	110	5.5.5	Scheitelbrechwert und Hornhautscheitelabstand.....
5.2.4	Reflexionsgrad ρ	110	5.6	Kinderbrille
5.2.5	UV-Transmission.....	111		<i>B. Lachenmayr</i>
5.2.6	Dichte ρ	112	5.6.1	Wann ist eine Korrektur erforderlich?.....
5.2.7	Verschleißfestigkeit.....	112	5.6.2	Wie sollte die objektive Refraktion ermittelt werden?.....
5.2.8	Bruchfestigkeit.....	112	5.6.3	Zentrierung: $MA = PD$
5.2.9	Welches Material soll Verwendung finden?.....	113	5.6.4	Gewichtsreduktion: Kunststoff und kleiner Scheibendurchmesser.....
5.3	Zentrierung und Sitz der Brille ..	114	5.6.5	Entspiegelung, Tönung: In der Regel nein!.....
	<i>B. Lachenmayr</i>		5.6.6	Kindgerechte Fassungen.....
5.3.1	Einführung.....	114	5.7	Scheitelbrechwertmesser
5.3.2	Optischer Augendrehpunkt Z'	114		<i>B. Lachenmayr</i>
5.3.3	Drehpunktforderung.....	115	5.7.1	Messprinzip.....
5.3.4	Bezugspunktforderung.....	115	5.7.2	Manuelle Scheitelbrechwertmesser
5.3.5	Brillenglaszentrierung in der Praxis	115	5.7.3	Messung von Einstärkengläsern ohne prismatische Wirkung.....
5.3.6	Prismatische Abweichung bei Dezentrierung.....	116	5.7.4	Messung von Zwei- und Mehrstärkengläsern.....
5.3.7	Zulässige prismatische Abweichung bei Dezentrierung.....	116	5.7.5	Messung von prismatischen Gläsern.....
5.3.8	Bestimmung von Mittenabstand und Pupillendistanz.....	117	5.7.6	Messung von Gleitsichtgläsern....
5.3.9	Zentrierung der Nahbrille.....	118	5.7.7	Automatische Scheitelbrechwertmesser.....
5.3.10	Weitere Toleranzen für die Brillenfertigung.....	118		
5.3.11	DIN EN ISO 21 987.....	119		
5.3.12	Schlussbetrachtung.....	119		

5.8	Getönte Gläser, Lichtschutzgläser, Entspiegelung	141	5.9.2	Definition von Sehbehinderung ...	146
	<i>E. Hartmann</i>		5.9.3	Was ist für ein „normales Sehen“ erforderlich?	147
5.8.1	Einführung.....	141	5.9.4	Lesen: eine Folge von Sakkaden ...	147
5.8.2	Filtergläser.....	141	5.9.5	Sehbehinderung durch Störungen der optischen Medien	148
5.8.3	Sonnenschutzgläser	142	5.9.6	Sehbehinderung durch neuronale Defekte	149
5.8.4	Phototrope Gläser	143	5.9.7	Möglichkeiten der Rehabilitation ..	149
5.8.5	Arbeitsschutzgläser	143	5.9.8	Ausblick	153
5.8.6	Entspiegelung	144			
5.9	Vergößernde Sehilfen.	145			
	<i>B. Lachenmayr</i>				
5.9.1	Einführung.....	145			
6	Sonstiges	154			
6.1	Funktionsprüfung bei Medientrübungen	154	6.3	Prüfung des Farbensehens.	161
	<i>B. Lachenmayr</i>			<i>B. Lachenmayr</i>	
6.1.1	Einführung.....	154	6.3.1	Einführung.....	161
6.1.2	„Potentielle Sehschärfe“.....	154	6.3.2	Farbraum: Farbton, Sättigung und Helligkeit	161
6.1.3	Einfache psychophysische Testverfahren	154	6.3.3	Theorien des Farbensehens.....	163
6.1.4	Entoptische Phänomene	155	6.3.4	Hereditäre Farbsinnstörungen ...	164
6.1.5	Stenopäische Visusprüfung.....	156	6.3.5	Erworbene Farbsinnstörungen ...	164
6.1.6	Optisch robuste Prüfkriterien.....	156	6.3.6	Farbkonfusionstests	164
6.1.7	Maxwell-Abbildung mit punktförmiger Apertur	157	6.3.7	Anomaloskope.....	166
6.1.8	Interferometrische Verfahren.....	157	6.3.8	Welche Farbttests sollte sich der Augenarzt für seine Praxis anschaffen?	168
6.1.9	Elektrophysiologische Verfahren ..	158	6.4	Stereosehen.....	168
6.1.10	Ausblick	158		<i>B. Lachenmayr</i>	
6.2	Funktionsprüfung bei Simulation und Aggravation.	158	6.4.1	Einführung.....	168
	<i>B. Lachenmayr</i>		6.4.2	Fusion.....	168
6.2.1	Einführung.....	158	6.4.3	Netzhautkorrespondenz	168
6.2.2	Tricks, Beobachtung des Patienten.	159	6.4.4	Horopter.....	169
6.2.3	Binokulartests	159	6.4.5	Panumareal und Panumraum.....	171
6.2.4	Binokulare Verwechslungstests ...	160	6.4.6	Stereowinkel	172
6.2.5	Monokulare Tests.....	160	6.4.7	Klinische Verfahren zur Prüfung des Stereosehens	172
			6.4.8	Binokularer Wettstreit.....	173
			6.4.9	Führungsauge	174
			6.4.10	Monokulare Tiefenwahrnehmung .	174
7	Literatur	176			
	Sachverzeichnis	179			

1 Einführung

B. Lachenmayr

Basis einer jeden Refraktionsbestimmung ist die objektive Ermittlung der Brechkraft des Auges, wobei „objektiv“ bedeutet, dass keine Mitwirkung vonseiten des Patienten erfolgt. Die derzeit gängigen Verfahren der objektiven Refraktionsbestimmung (manuelle und automatische Refraktometrie, Skiaskopie) werden daher ausführlich dargestellt. Es sei darauf hingewiesen, dass es trotz der Entwicklung von immer besseren automatischen Refraktometern für jeden Augenarzt unerlässlich ist, die Skiaskopie perfekt zu erlernen, da die Skiaskopie nicht nur Informationen über das Vorliegen eines Refraktionsfehlers liefert, sondern vielfältige weitergehende Schlüsse über den Zustand der optischen Medien erlaubt, die mit einem Automaten nicht erfasst werden können.

Nach der Durchführung einer objektiven Refraktionsbestimmung folgt bei Vorliegen eines Refraktionsfehlers der subjektive Abgleich. Das am häufigsten verwendete Verfahren ist die Kreuzzylinder-methode. Aus Gründen der Vollständigkeit wird auf das Zylindernebelverfahren hingewiesen, das in manchen Fällen zur Anwendung kommt. Besonders Augenmerk soll im Rahmen der subjektiven Refraktionsbestimmung auf den monokularen und binokularen Feinabgleich gelegt werden, um spätere Probleme beim Tragen der Korrektur zu vermeiden. Spezielle Probleme bei Anisometropie und Aniseikonie sowie der Themenbereich der Nahbrillenbestimmung werden eingehend besprochen.

Neben der objektiven und subjektiven Refraktionsbestimmung werden grundlegende Informa-

tionen über die physiologische Optik einschließlich Sehschärfe und Akkommodation gegeben. Ausführlich wird auf die verschiedenen Aspekte der Brille, der Brillenglasherstellung und -veredelung eingegangen. In diesem Zusammenhang wird auch der Themenbereich der vergrößernden Sehhilfen angeschnitten, wobei der interessierte Leser hier bezüglich Detailfragen auf die weiterführende Literatur verwiesen wird.

Es sei betont, dass das vorliegende Büchlein kein Lehrbuch sein soll oder kann, nicht zuletzt wegen des begrenzten Umfangs. Vielmehr soll es in kurzer und prägnanter Form einen raschen Überblick über die angesprochenen Zusammenhänge liefern. So finden sich für den interessierten Leser vielfältige Verweise auf die weiterführende Literatur. Im übrigen stehen die Autoren gerne und jederzeit sowohl im Rahmen der Kurse, als auch außerhalb der Kursveranstaltungen für Fragen, Anregungen und Diskussionen zur Verfügung.

Der Leser sei darauf hingewiesen, dass die bisherigen Ausgaben dieses Buches ein Kapitel zum Thema „Fahreignungsbegutachtung“ enthalten haben. Da sich die rechtlichen Vorgaben ständig ändern, mussten mittlerweile diverse Neuauflagen der Empfehlungsschrift der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft und des Berufsverbandes der Augenärzte zur Fahreignungsbegutachtung herausgegeben werden. Der interessierte Leser sei daher auf die entsprechende Literatur Empfehlungsschrift von DOG und BVA [18] verwiesen.

2 Physiologische Optik

2.1 Ophthalmologische Optik

A. Buser

2.1.1 Einführung

Die Refraktionsbestimmung dient zur Messung der Brechkraft des Auges. Einheit der Brechkraft ist die Dioptrie [dpt] als Reziprokwert der Brennweite in Metern [m]. Die Refraktion des Auges ist der Kehrwert der in Metern gemessenen Entfernung des Fernpunktes vom Auge (Fernpunktrefraktion). Refraktionsbestimmung im engeren Sinne bedeutet, den optischen Zahlenwert für eine Sehhilfe zu finden, im Allgemeinen für ein Brillenglas, durch das ein Auge für einen unendlich fernen Punkt rechsichtig wird, d.h. seine maximal mögliche Sehschärfe erreicht. Hierzu finden ausschließlich optische Hilfsmittel Anwendung. Jedes Auge wird zunächst einzeln refraktioniert, wobei man sich aber darüber im Klaren sein muss, dass die so gefundenen Refraktionswerte für die beiden Einzelaugen nicht notwendigerweise die beste Korrektur für das Binokularsehen sind. Es muss also zwischen der besten optischen Korrektur und der besten

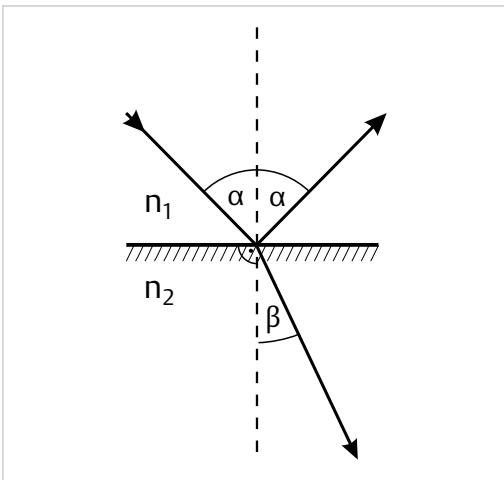


Abb. 2.1 Snellius-Brechungsgesetz. Der von links oben auf die Grenzfläche treffende Strahl wird zum Teil reflektiert (nach rechts oben), zum Teil gebrochen (nach rechts unten). Die Brechungsindizes der Medien sind mit n_1 und n_2 bezeichnet. Im vorliegenden Fall ist $n_2 > n_1$ (Brechung zum Lot hin). Einfallswinkel = Reflexionswinkel = α , Brechungswinkel = β .

physiologischen Korrektur unterschieden werden. Da die Refraktion des Einzelauges ein rein optischer Prozess ist, sei eine kurze Einführung in die Optik vorausgeschickt.

2.1.2 Geometrische Optik, Snellius-Brechungsgesetz

Die geometrische Optik wird durch das Brechungsgesetz bestimmt, das um das Jahr 1600 von Snellius entdeckt wurde. Es besagt, dass ein Lichtstrahl, der von einem optisch dünneren Medium, z.B. Luft, in ein optisch dichteres Medium, z.B. Wasser, einfällt und schräg auf die Grenzfläche auftrifft, seine Richtung ändert und zum Lot hin gebrochen wird. ► Abb. 2.1 zeigt schematisch die Verhältnisse, es gilt:

Formel 1

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta$$

- α = Einfallswinkel
- β = Austrittswinkel
- n_1 = Brechzahl des optisch dünneren Mediums
- n_2 = Brechzahl des optisch dichteren Mediums

Beim Übergang in optisch dünneres Medium werden Lichtstrahlen vom Lot weggebrochen. Die Brechung erfolgt aufgrund der unterschiedlichen Lichtgeschwindigkeiten in den Medien, je dichter das Medium, desto geringer die Lichtgeschwindigkeit. Das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeiten im Vakuum zur der in dem jeweiligen Medium ist der Brechungsindex oder die Brechzahl n .

Formel 2

$$n_{\text{Medium}} = \frac{c_{\text{Vakuum}}}{c_{\text{Medium}}}$$

- n = Brechzahl des Mediums
- c_{Vakuum} = Lichtgeschwindigkeit im Vakuum
- c_{Medium} = Lichtgeschwindigkeit im Medium

Die Brechzahl für Wasser liegt bei ca. 1,3, für einfaches Brillenkonglas bei ca. 1,5 und für Diamant bei ca. 2,4. Es sei hier schon festgehalten, dass der

Wert der Brechzahl von der Wellenlänge des Lichtes abhängt: Je kürzer die Wellenlänge, desto höher der Brechungsindex. Blaues Licht wird demnach stärker gebrochen als rotes Licht. Dieses Phänomen bezeichnet man als **Dispersion**.

2.1.3 Optische Abbildung durch Prismen

Optische Bauelemente wie Spiegel, Prismen oder Linsen ändern die Richtung der Strahlen, die von einem Objektpunkt O ausgehen, derart, dass dieser in einen Bildpunkt B abgebildet wird. Die ► Abb. 2.2a zeigt dies für ein einfaches optisches Bauelement, für das Prisma.

In einem Prisma wird der Lichtstrahl im Allgemeinen zweimal gebrochen, zum einen beim Eintritt in das Prisma zum Lot hin, zum anderen beim

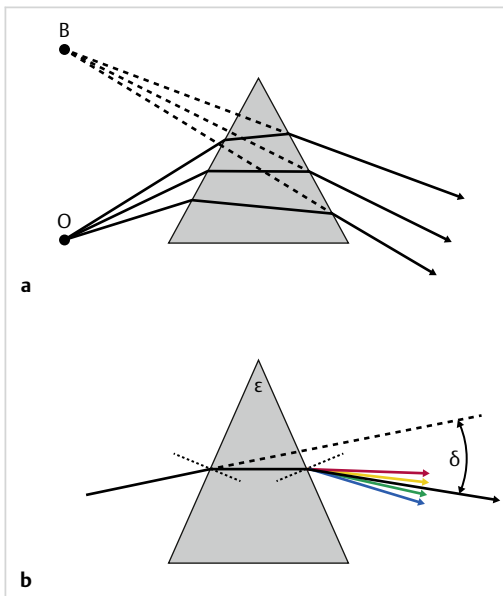


Abb. 2.2 Strahlenbrechung bei Prismen.

- a Abbildung eines (nahe gelegenen) Objektpunktes O durch ein starkes Prisma in den Bildpunkt B. Die Strahlen werden an beiden Grenzflächen des Prismas derart abgelenkt, als kämen sie vom Bildpunkt B.
- b Die Brechung an den Grenzflächen erfolgt nach dem Brechungsgesetz: An der Eintrittsfläche werden Lichtstrahlen zum Lot hin, an der Austrittsfläche vom Lot weg gebrochen. Ein Prisma mit dem Winkel ϵ lenkt Lichtstrahlen um einen Winkel δ um die Basis herum ab. Da die Brechzahl n von der Wellenlänge abhängt, wird weißes Licht in seine Spektralfarben zerlegt. (Hier übertrieben dargestellt.)

Austritt aus dem Prisma vom Lot weg. Die Stärke der jeweiligen Brechung ist durch das Snelliussche Brechungsgesetz gegeben. Die dritte Seite eines Prismas, durch die das Licht weder ein- noch austritt, bezeichnet man als Basis. Ein Prisma lenkt einen Lichtstrahl zur Basis hin um einen Winkel δ ab. Wegen der Wellenlängenabhängigkeit der Brechzahl werden unterschiedliche Spektralfarben unterschiedlich stark gebrochen, ein Prisma kann weißes Licht in seine Spektralfarben zerlegen (► Abb. 2.2b).

Die Ablenkung δ aus der ursprünglichen Richtung hängt ab von der Brechzahl n und vom Prismenwinkel ϵ zwischen Ein- und Austrittsfläche. Bei stärkeren Prismen ist die Ablenkung des Weiteren davon abhängig, unter welchem Winkel der Lichtstrahl auf das Prisma fällt. Bei symmetrischem Durchgang – der einfallende Strahl hat den gleichen Winkel zur Eingangsfläche wie der austretende zur Ausgangsfläche, im Prisma verläuft dann der Strahl parallel zur Basis – lenken Prismen minimal ab. Diese minimale Ablenkung wird in der technischen Optik üblicherweise bei der Bezeichnung der Prismen verwendet. In der Augenoptik und Ophthalmologie gelten jedoch die auf Messgläsern angegebene Wirkung für den Fall, dass der Lichtstrahl im Raum senkrecht zur Rückfläche der Prismen verläuft. Daraus folgt, dass **Prismen mit der Rückfläche frontoparallel gehalten** werden müssen, nur dann gilt die angegebene Wirkung. Sie kann als Ablenkwinkel in Grad quantifiziert werden, wie es in der Orthoptik oft der Fall ist. In der Augenoptik ist es allerdings gebräuchlicher, die Ablenkung in cm gemessen in 1 m Abstand von der Austrittsfläche anzugeben (► Abb. 2.3).

Wird der Lichtstrahl in 1 m Abstand beispielsweise um 5 cm abgelenkt, so entspricht das einer prismatischen Wirkung von 5 cm/m (früher benutzte man hierfür den Ausdruck Prismendioptrie [pdpt]). Die Umrechnungen lauten: 1 cm/m entspricht $0,57^\circ$ oder 1° entspricht $1,75 \text{ cm/m}$.

In der ophthalmologischen Diagnostik werden Prismen als Einzelprismen (z. B. im Gläserkasten), zusammengefasst als Prismenleiste oder als Folienprismen nach dem Fresnel-Prinzip verwendet (► Abb. 2.4). Prismen können in Brillengläser eingeschliffen und mit sphärischen oder zylindrischen Wirkungen kombiniert werden. Ein rein sphärisches/zylindrisches Brillenglas hat außerhalb der optischen Achse, d. h. bei seitlichem Blick, bereits eine ablenkende Wirkung, die als prisma-

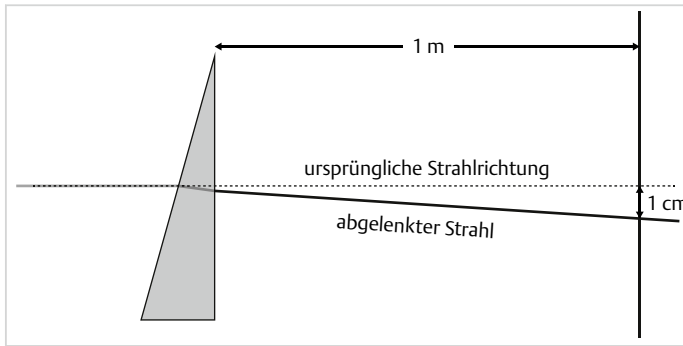


Abb. 2.3 Prismenwirkung. In der Augenoptik wird die prismatische Wirkung durch die Ablenkung in cm in einem Abstand von 1 m vom Prisma angegeben. Die Einheit ist cm/m . Das Prisma ist dabei so im Strahlengang anzuordnen, dass der Lichtstrahl im Raum vor dem Prisma senkrecht zur augenseitigen Fläche verläuft.

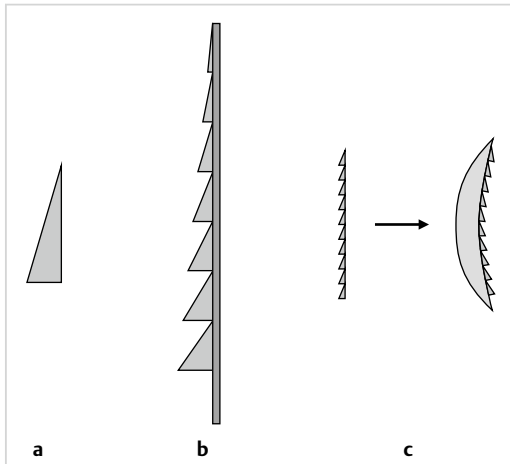


Abb. 2.4 Verschiedene Prismen.
a Einzelprisma.
b Prismenleiste mit variablen Prismenstärken.
c Folienprisma, das auf ein Brillenglas geklebt werden kann.

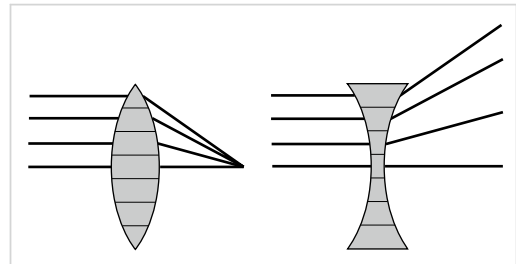


Abb. 2.5 Linsen als aneinandergereihte Prismen. Sowohl eine Sammellinse (links) als auch eine Zerstreuungslinse (rechts) kann man sich schematisch aus einzelnen kleinen Prismen zusammengesetzt denken, deren Ablenkung von der Mitte zum Rand der Linse zunimmt. Im Fall der Sammellinse erfolgt Brechung zur optischen Achse des Systems hin, im Fall der Zerstreuungslinse erfolgt Brechung von der optischen Achse des Systems weg.

tische Nebenwirkung bezeichnet wird (Kap. 2.1.6 und Kap. 5.4.3).

2.1.4 Sphärische Linsen Flächenbrechwert, Brechwert, Brennweite

Spricht man von einer abbildenden Optik allgemein, so meint man in der Regel keine Prismen, sondern Linsen.

Es ist nun ganz einfach, sich Linsen aus Prismen zusammengesetzt zu denken (► Abb. 2.5). Eine Sammellinse oder Pluslinse besteht am Rand aus einem deutlich erkennbaren Prisma, die näher an der optischen Achse liegenden Teile stellen jedoch auch Prismen dar, bei denen lediglich die Spitzen

abgeschnitten sind. Die Zerstreuungslinse oder Minuslinse besteht ebenfalls aus Prismen mit abgeschnittenen Spitzen, die umgekehrt stehen wie bei der Sammellinse. Allgemein gilt, dass Pluslinsen die Eigenschaft haben, parallel einfallendes Licht in einem reellen Punkt, dem Brennpunkt zu vereinigen, während Minuslinsen parallel einfallendes Licht zerstreuen, so als ob es von einem virtuellen Brennpunkt herkäme. Reelle Brennpunkte kann man beispielsweise mit einem Blatt Papier auffangen (Brennglas), virtuelle Brennpunkte dagegen nicht.

Für eine sphärisch gekrümmte Grenzfläche mit dem Krümmungsradius r_{Fl} , die 2 Medien mit den Brechzahlen n und n' voneinander trennt, ist der Flächenbrechwert D_{Fl} folgendermaßen definiert (► Abb. 2.6):

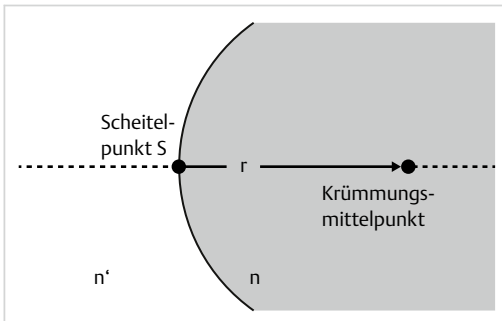


Abb. 2.6 Definition des Flächenbrechwertes. Der Flächenbrechwert einer sphärischen Fläche wird bestimmt durch den Unterschied der Brechzahlen (n' und n) und durch den vom Scheitelpunkt zum Krümmungsmittelpunkt gerichteten Krümmungsradius (r).

Formel 3

$$D_{FL} = \frac{n - n'}{r_{FL}}$$

- D_{FL} = Brechwert der sphärischen Grenzfläche [dpt]
- n' = Brechzahl des Materials vor der Grenzfläche
- n = Brechzahl des Materials hinter der Grenzfläche
- r_{FL} = Krümmungsradius der Grenzfläche [m]

Der Radius ist in diesem Zusammenhang eine gerichtete Größe vom Scheitelpunkt ausgehend zum Krümmungsmittelpunkt, nach rechts in Lichtrichtung positiv, nach links negativ gewertet. Konvexe Flächen haben daher positive Flächenbrechwerte, konkave Flächen negative.

Die Brechkraft D der gesamten Linse ist im Wesentlichen durch Summe der beiden Flächenbrechwerte von Vorder- und Rückfläche gegeben, bei dicken Linsen ist ein Korrekturterm zu berücksichtigen. Die Linsenbrechkraft kann nach der Gullstrand-Formel berechnet werden:

Formel 4

$$D = D_1 + D_2 - \frac{d}{n} \cdot D_1 \cdot D_2$$

- D_1 = Brechwert der Linsenvorderfläche [dpt]
- D_2 = Brechwert der Linsenrückfläche [dpt]
- d = Mittendicke der Linse [m]
- n = Brechzahl des Linsenmaterials

Je größer also die Brechzahl und je kleiner der Radius, d. h. je stärker die Fläche gekrümmt ist, desto größer ist der Brechwert. Das bedeutet wiederum, dass ein **starker Brechwert** nur durch **hohe Brechzahlen** des verwendeten Materials oder/und durch **starke Durchbiegung** erzielt werden kann. Da zu stark durchgebogene Brillengläser nicht ästhetisch sind (Froschaugeneffekt), benutzt man für starke optische Wirkungen hochbrechende Gläser, also Gläser mit hoher Brechzahl, die allerdings den Nachteil haben, dass aufgrund der stärkeren Dispersion in der Peripherie oft Farbsäume auftreten (Kap. 5.5).

Die **Brennweite** f einer Linse in Luft ist als der Kehrwert des Brechwertes D definiert:

Formel 5

$$f = \frac{1}{D}$$

- f = Brennweite der Linse [m]
- D = Brechwert der Linse [dpt]

Befindet sich vor und hinter der Linse das gleiche Medium, sind objektseitige Brennweite und bildseitige Brennweite gleich. Befinden sich jedoch vor und hinter der Linse Medien mit unterschiedlichen Brechzahlen, so unterscheiden sich objektseitige und bildseitige Brennweite. Dies ist z. B. beim Auge der Fall, wo die abbildenden Medien von Luft bzw. vom Glaskörper begrenzt werden oder bei der Kontaktlinse (Luft, Tränenflüssigkeit). Bei einem Brillenglas in Luft sind objektseitige und bildseitige Brennweite gleich.

Hauptebenen

Die Brennweiten beziehen sich auf gedachte Ebenen, die objektseitige bzw. bildseitige Hauptebene, und ist gleich dem Abstand des Brennpunktes von dieser Hauptebene. Bei sehr dünnen Linsen fallen die beiden Hauptebenen zu einer zusammen. Mit Hilfe dieser „einen“ Hauptebene lässt sich die Abbildung eines Gegenstandes durch eine Linse einfach konstruieren: Von einem Objektpunkt O ausgehende, zur optischen Achse parallele Strahlen werden an der Hauptebene gebrochen und verlaufen dann durch den Brennpunkt F , Brennstrahlen durch F werden Parallelstrahlen und Mittelstrahlen durch F werden Parallelstrahlen und Mittelstrahlen bleiben erhalten. Im Schnittpunkt aller Strahlen hinter der Hauptebene befindet sich der

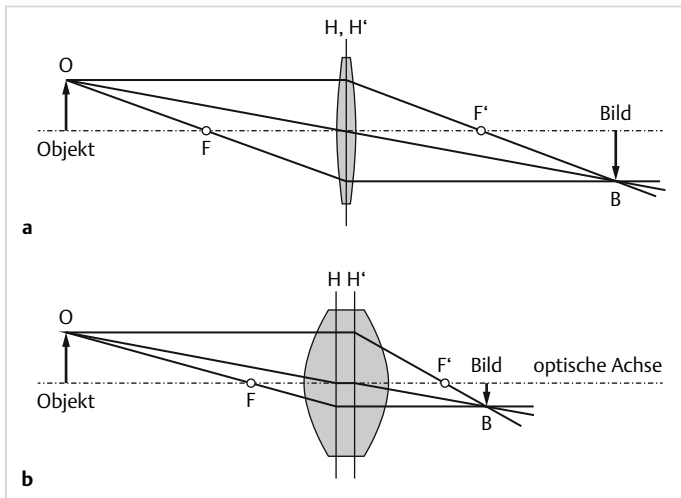


Abb. 2.7 Geometrisch-optische Bildkonstruktion. F bzw. F' kennzeichnen den objektseitigen bzw. bildseitigen Brennpunkt.

- a Bei einer dünnen Linse, bei der beide Hauptebenen zusammenfallen.
- b Bei einer dicken Linse mit 2 Hauptebenen (Details siehe Text).

zugehörige Bildpunkt B (► Abb. 2.7a). Dicke Linsen besitzen dagegen 2 Hauptebenen, die bei symmetrischen Linsen ($r_1 = r_2$) symmetrisch zur Linsenmitte liegen. Ihr Abstand ist umso größer, je dicker die Linse und je stärker ihr Brechwert ist. Die Konstruktion der Abbildung erfolgt ähnlich derjenigen mit einer Hauptebene, die Strahlen enden an den jeweiligen Hauptebenen und werden zwischen den beiden Hauptebenen parallel zur optischen Achse durchgezogen (► Abb. 2.7b, Kap. 4.1.4).

Die Stärkenangabe eines Brillen- oder Refraktionsglases entspricht dem bildseitigen Scheitelbrechwert S'. In ► Tab. 2.1 ist die Terminologie zusammengefasst.

Tab. 2.1 Brennweite und Schnittweite

Bezugsebene	Abstand Brennpunkt – Bezugsebene	Bezeichnung der Wirkung
Hauptebene	Brennweite f	Brechwert D
Scheitelpunkt	Schnittweite s	Scheitelbrechwert S

Schnittweite, Scheitelbrechwert

Aus praktischen Gründen arbeitet man in der Brillenoptik nicht mit den Hauptebenen, deren Lage meist unbekannt ist, sondern man verwendet den vorderen bzw. hinteren Brillenglasscheitel als Bezugspunkt. Der Abstand des objektseitigen/bildseitigen Brennpunkts vom jeweiligen Glasscheitel wird als objektseitige/bildseitige Schnittweite bezeichnet. Der Scheitelbrechwert eines Brillenglases ist als Kehrwert der objektseitigen/bildseitigen Schnittweite definiert:

Formel 6

$$S = \frac{1}{s} \text{ bzw. } S' = \frac{1}{s'}$$

- S = objektseitiger Scheitelbrechwert [dpt]
- s = objektseitige Schnittweite [m]
- S' = bildseitiger Scheitelbrechwert [dpt]
- s' = bildseitige Schnittweite [m]

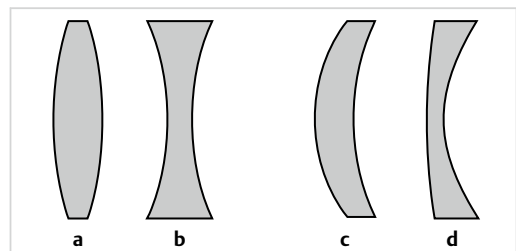


Abb. 2.8 Bilinsen und Menisken. Bei Bilinsen (a, b) liegen die Krümmungsmittelpunkte von objekt- und bildseitiger Fläche auf unterschiedlichen Seiten des optischen Systems. Bei Menisken (c, d), wie sie für Brillengläser Verwendung finden, liegen beide Krümmungsmittelpunkte auf der gleichen Seite des optischen Systems.

- a Pluslinse.
- b Minuslinse.
- c Pluslinse.
- d Minuslinse.

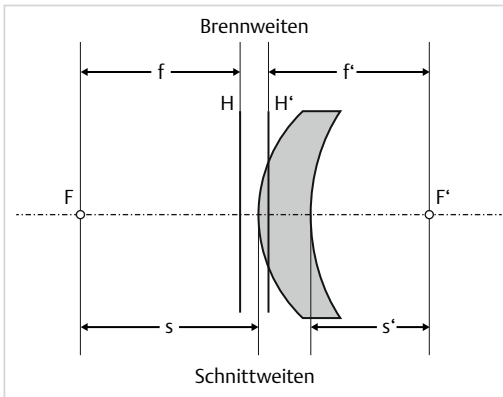


Abb. 2.9 Brennweiten und Schnittweiten bei einer Meniskuslinse. Bei Meniskuslinsen können die Hauptebenen außerhalb der Linse liegen. Folge ist, dass Brennweiten (f und f') und Schnittweiten (s und s') erheblich differieren können. Dies bedeutet, dass sich Brechwert und Scheitelbrechwert unterscheiden.

Bisher wurden sphärische Linsen stets als Bikonvex- oder als Bikonkavlinen behandelt, wie sie z. B. in ► Abb. 2.8 unter a und b dargestellt sind. Brillengläser entsprechen aber in Wirklichkeit den Formen c und d in ► Abb. 2.8. Diese spezielle Form, die man als Meniskus bezeichnet, wird deshalb verwendet, weil damit Abbildungsfehler, vor allem der Astigmatismus schiefer Bündel (Kap. 5.1.4) relativ gering gehalten werden kann. Bei Menisken liegen die Hauptebenen nicht symmetrisch

zur Linsenmitte, sondern sind in Richtung zur stärker gekrümmten Fläche hin verschoben. Sie können bei stark durchgebogenen Linsen sogar außerhalb der Linse liegen. Folge davon ist, dass Brennweite und Schnittweite und damit auch Brechkraft und Scheitelbrechwert u. U. erheblich differieren (► Abb. 2.9). Es besteht zudem ein Unterschied zwischen objektseitigem und bildseitigem Scheitelbrechwert, so dass es nicht gleichgültig ist, mit welcher Seite ein Brillenglas auf den Scheitelbrechwertmesser gelegt wird: Beim Ausmessen von Brillengläsern muss stets die augenseitige Fläche auf die Auflage gelegt werden (Kap. 5.7).

2.1.5 Zylinderlinsen

Im Gegensatz zu sphärischen Linsen, deren Krümmungsradius rotationssymmetrisch ist, sind Planzylinderlinsen nur in einer Richtung gekrümmt. Man unterscheidet Plus- und Minuszylinder, wobei in der ophthalmologischen Optik in der Regel mit Minuszylindern gearbeitet wird. Zylinderlinsen besitzen anstelle eines Brennpunktes eine Brennlinie. ► Abb. 2.10 zeigt ein Parallelstrahlenbündel durch einen Pluszylinder (links) und einen Minuszylinder (rechts): Bündelquerschnitte parallel zur Zylinderachse, werden nicht abgelenkt (► Abb. 2.10, oben); Bündelquerschnitte, die senkrecht zur Zylinderachse angeordnet sind, werden in einem Brennpunkt vereinigt (► Abb. 2.10, unten). Denkt man sich eine ganze Reihe solcher

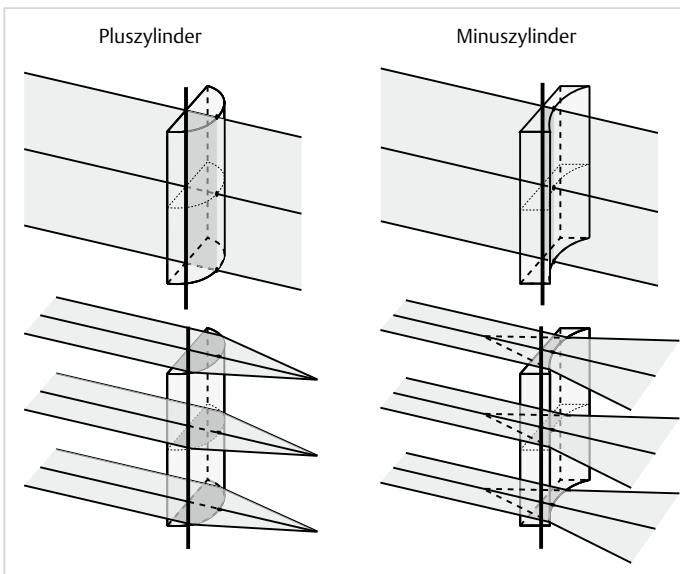


Abb. 2.10 Abbildung durch Zylinderlinsen. In Richtung der Achse des Zylinders erfolgt keine Ablenkung (oben), es liegt also keine brechende Wirkung vor. Senkrecht zur Zylinderachse erfolgt eine Brechung (unten). Dies veranschaulicht, dass Achse und Wirkung stets senkrecht zueinander liegen.

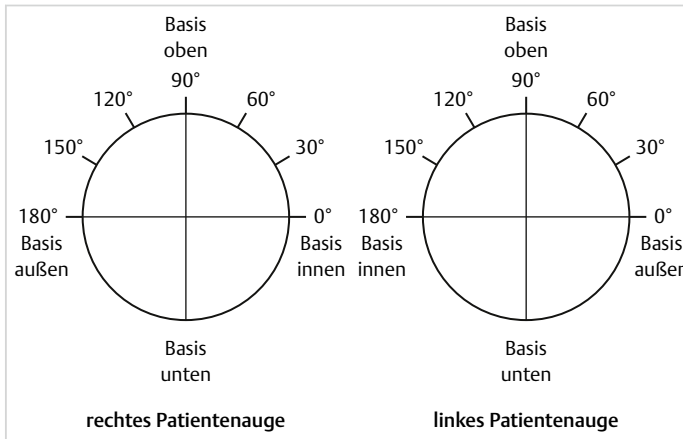


Abb. 2.11 TABO-Schema. Das TABO-Schema dient zur Kennzeichnung der Achse zylindrischer Gläser und der Basislage prismatischer Gläser.

Bündel, die senkrecht zur Zylinderachse ausgerichtet sind, übereinander, so ordnen sich die Brennpunkte zu einer Brennlinie an. Die **Wirkung** eines Zylinders ist also stets **senkrecht zu seiner Achse!** Für Minuszylinder gilt entsprechend, dass parallel einfallendes Licht so gebrochen wird, als ob es von einer virtuellen Brennlinie herkäme.

Ein Planzylinder wird durch Angabe seiner Brechkraft, dem Zylinderwert, und durch seine Achse bezeichnet. Die Bezeichnung der Achslage von Zylindern erfolgt in der Augenoptik nach dem TABO-Schema, TABO steht für Technischer Ausschuss für Brillenoptik (► Abb. 2.11). Ein Planzylinder cyl +3,00 A20° hat in 20° keine Wirkung, senkrecht dazu in 110° die Wirkung +3,00 dpt. Die Brechkräfte in diesen beiden Schnitten, in Achse und senkrecht dazu, werden als Hauptschnittwirkungen bezeichnet. Diese können tabellarisch (► Tab. 2.2) oder auch zeichnerisch (► Abb. 2.12) angegeben werden.

Torische Brillengläser zur Korrektur regulärer astigmatischer Fehlsichtigkeiten besitzen in 2 zueinander senkrechten Richtungen unterschiedliche Brennweiten. Sie sind als Kombination einer sphärischen Linse und einer Zylinderlinse aufzufassen und besitzen anstelle eines Brennpunktes 2 zueinander senkrechte Brennlinien in unterschiedlichen Abständen von der Linse. Die Wirkung einer solchen sphärozyklindrischen Kombination wird durch die Angabe der Brechkräfte der beteiligten Linsen charakterisiert, z.B. sph -3,50 cyl -1,00 A75°. Die Sphäre wirkt in allen Richtungen mit -3,50 dpt, der Planzylinder wirkt nur in 165° mit -1,00 dpt (► Tab. 2.3, ► Abb. 2.12).

Die gleiche Gesamtwirkung in diesem Beispiel lässt sich aber auch mit der Kombination einer

Tab. 2.2 Hauptschnittwirkungen eines Planzylinders cyl +3,00 A20°

Hauptschnitt in	20°	110°
Wirkung	0,00 dpt	+3,00 dpt

Tab. 2.3 Tabellarische Darstellung der Hauptschnittwirkungen einer sphärozyklindrischen Kombination von sph -3,50 cyl -1,00 A75°

Hauptschnitt in	75°	165°
Wirkung Sphäre	-3,50 dpt	-3,50 dpt
Wirkung Zylinder	0,00 dpt	-1,00 dpt
Gesamtwirkung	-3,50 dpt	-4,50 dpt

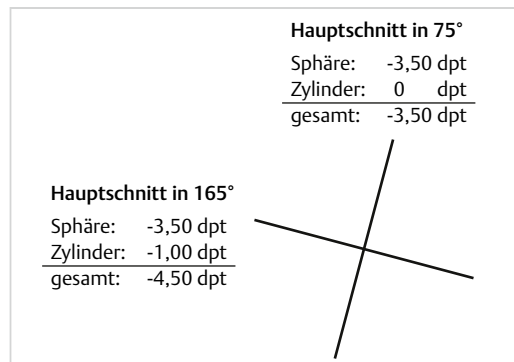


Abb. 2.12 Hauptschnittwirkungen einer sphärozyklindrischen Kombination. Zeichnerische Darstellung der Hauptschnittwirkungen einer sphärozyklindrischen Kombination von sph -3,50 cyl -1,00 A75°.

sphärischen Linse der Brechkraft sph -4,50 dpt mit einem Planzylinder von +1,00 dpt in Achse 165° erzielen: sph -4,50 cyl +1,00 A165°. Beide