

Vorwort zur 2. Auflage

Seit dem Erscheinen der ersten Auflage dieses Buches im Jahr 2009 haben sich Augenoptik und Optometrie nachhaltig weiterentwickelt. Der handwerkliche Teil dieses Berufes verliert zunehmend an Bedeutung. So sind nach Angaben der Bundesagentur für Arbeit mehr als zwei Drittel der klassischen Tätigkeiten eines Augenoptikers durch Automatisierung ersetzbar, was einem mittleren Substituierungspotenzial entspricht. Dank Künstlicher Intelligenz ist es heute möglich, unkomplizierte Brillen von der Bestimmung der erforderlichen Glasstärke, der Auswahl einer geeigneten Fassung, über die Zentrierung der Gläser bis hin zur Anfertigung der kompletten Brille über das Internet zu beziehen, ohne jemals einen stationären Augenoptiker aufgesucht zu haben. Mit Marketing allein lässt sich dieser Herausforderung nicht entgegenstellen. Der Zentralverband der Augenoptik und Optometrie (ZVA) formuliert dies in einem Strategiepapier wie folgt: „Bildlich gesprochen befindet sich die Augenoptik in einem Spannungsfeld zwischen Handel und Optometrie.“ Optometrische Dienstleistungen werden immer wichtiger. Der Einzug der Künstlichen Intelligenz in die Optometrie erweitert bereits heute das Spektrum möglicher Anwendungen in Bereiche, an die bei der Erstausgabe dieses Buches noch gar nicht zu denken war. Als Beispiel sei die Telemedizin angeführt, für die die Optometrie geradezu prädestiniert ist.

Der Wissenschaftsrat stellte bereits vor einigen Jahren fest, dass das „Gesundheitssystem [...] in den kommenden Jahren vor großen Herausforderungen“ steht¹. Dies hängt nicht allein mit der wachsenden Zahl älterer Menschen und ihren vielen Erkrankungen zusammen, sondern auch mit der Zunahme chronischer Erkrankungen bei jüngeren Menschen. Eine Entwicklung mit weitreichenden Auswirkungen auf das Gesundheitssystem sieht der Wissenschaftsrat auch in „dem medizinischen Fortschritt und der mit ihm verbundenen Erschließung neuer Möglichkeiten in der Diagnostik, [...] Prävention, Rehabilitation und Pflege“. Dies hat weitreichende Auswirkungen auf die „Arbeitsteilung im Gesundheitswesen. Erforderlich ist eine insgesamt stärker kooperativ organisierte Gesundheitsversorgung, in der die Angehörigen der Gesundheitsberufe [...] in einem gewissen Umfang auch bestimmte, vormals von Ärztinnen und Ärzten wahrgenommene Aufgaben übernehmen.“

Diagnostische Untersuchungen insbesondere in der Ophthalmologie, für die in der Vergangenheit langjähriges Lernen erforderlich war, können Dank Automatisierung, Künstlicher Intelligenz und Telemedizin in immer höheren Maße auch von nichtärztlichem Personal durchgeführt werden. Nichtärztliches Personal übernimmt heute „Aufgaben der Patientenedukation und Beratung [und] der Versorgung mit vermehrt technischer Unter-

¹ Wissenschaftsrat, Empfehlungen zu hochschulischen Qualifikationen für das Gesundheitswesen, Berlin 2012

stützung.“ Die Rolle des Augenoptikers/Optometrists für die Information und Beratung seiner Patienten hat das Bundesverfassungsgericht in seinem Screening-Urteil bereits im Jahr 2000 deutlich aufgezeigt.

Die zunehmende Komplexität des Handelns in der optometrischen Versorgung der Bevölkerung verlangt ein Handeln auf der Basis von wissenschaftlicher Erkenntnis und Evidenz. Hierzu soll das Buch einen Beitrag leisten. Es gliedert sich in drei größere Abschnitte, die den drei Tätigkeitsfeldern der Optometrie entsprechen. Nach einer allgemeinen Einführung in die wissenschaftlichen Grundlagen des Screenings werden zunächst Funktionsteste beschrieben. Neben der Refraktionsbestimmung, die auch in Zeiten moderner Entwicklungen immer noch das Fundament der Optometrie ist, sind dies die Untersuchung der Motilität der Augen, der Akkommodation und der Pupillenbewegungen. Funktionsprüfungen liefern – wie es ihr Name besagt – Aussagen über die Funktionsfähigkeit eines Organs. Eine Diagnose, welche Erkrankung bei einer Funktionsstörung vorliegen könnte, lässt sich mit Funktionsprüfungen nur selten stellen.

Das zweite wichtige Gebiet innerhalb der Optometrie ist die Prüfung von Sehfunktionen wie Sehschärfe, Farbsehen, Kontrast- und Blendempfindlichkeit, Gesichtsfeld oder Dämmerungssehen. Diese – folgt man den Formulierungen der Arbeitsrichtlinien für die Augenoptik – erweiterten Funktionsprüfungen sind das klassische Feld der Screeningteste. Als drittes und dank des medizini-

schen Fortschritts auch für die Optometrie immer wichtigere Tätigkeitsfeld ist die Prüfung des Gesundheitszustand des Auges zu nennen. Tonometrie, Spaltlampe und Ophthalmoskopie sind seit vielen Jahren etabliert in der Optometrie. Diese Verfahren erlauben es, den Gesundheitszustand des vorderen und hinteren Augenabschnitts direkt zu beurteilen. Moderne bildgebende Verfahren haben in den letzten Jahren die Diagnosemöglichkeiten stark erweitert. Das abschließende Kapitel 15 wurde neu in das Buch aufgenommen, um dieser technologischen Entwicklung Rechnung zu tragen. Dank Künstlicher Intelligenz lassen sich heute Diagnosen von Netzhauterkrankungen auch von nichtärztlichem Personal mit Sensitivitäten stellen, die die Sensitivität von Spezialisten mit langjähriger Erfahrung übertreffen.

Der Autor bedankt sich beim Geschäftsführer des DOZ-Verlags, Herrn Stephan Schenk, für die Möglichkeit, das Buch grundlegend neu zu gestalten und es nicht bei einigen „oberflächlichen“ Korrekturen zu belassen.

Andreas Berke
Köln, im Oktober 2020

Vorwort zur 1. Auflage

Als im Jahr 1996 das Buch „Screening – Prüfmethode der Optometrie“ erschien, galt Screening als ein Außenseiterthema, dem sich nur einige wenige besonders motivierte und häufig auch belächelte Augenoptiker/ Optometristen widmeten. Die juristische Auseinandersetzung um das Screening durch Augenoptiker hatte zu diesem Zeitpunkt erst ein Viertel ihrer langen und von Höhen und Tiefen, Erfolgen und Niederlagen geprägten Wegstrecke zurückgelegt. Ihren Höhepunkt erreichte diese juristische Kontroverse im Jahr 2000, als das Bundesverfassungsgericht sein wegweisendes Urteil zum optometrischen Screening sprach. Danach ist ein Verbot der Tonometrie und Perimetrie durch den Augenoptiker unvereinbar mit dem Grundgesetz. Die Berechtigung des Screenings durch Augenoptiker und Optometristen wird heute nicht mehr angezweifelt. Screening erfüllt in einem Gesundheitssystem, dessen Kosten kaum noch zu bändigen sind, einen nicht zu unterschätzenden ökonomischen Auftrag, der in Zukunft immer wichtiger werden wird. Der Wandel, den Screening in der öffentlichen Wahrnehmung erfahren hat, wird auch an veränderten Ausbildungsinhalten in den verschiedenen Ausbildungsinstitutionen zum Augenoptiker und Optometristen sichtbar. Biomedizinische Lehrinhalte sind heute selbstverständlich.

Die Akzeptanz des Screenings wurde auch durch den technologischen Fortschritt beflügelt. Neue Untersuchungsgeräte und Untersuchungsverfahren wurden entwickelt, die eine qualifizierte Untersuchung der Augen und

des Sehens auch ohne medizinisches Spezialwissen ermöglichen. Waren es zunächst Non-Contact-Tonometer und automatische Perimeter, die den Weg zu Augenoptikern und Optometristen gefunden haben, so stehen heute digitale Funduskameras und andere aufwändigere Geräte zur Verfügung.

Wir leben heute in einer Informationsgesellschaft; Information und Aufklärung sind wichtige Konzepte eines modernen Gesundheitswesens. Das Bundesverfassungsgericht ließ sich in seiner Urteilsbegründung zur Zulässigkeit der Tonometrie und Perimetrie auch von diesen Konzepten leiten. Durch das optometrische Screening wird *„ein Teil der problematischen Fälle bei solchen Personen aufgedeckt, die sich zuvor nicht veranlasst sahen, einen Augenarzt aufzusuchen. Bei den übrigen Personen stellt der Optiker zwar keine signifikante Normabweichung fest, weckt aber durch seine Belehrung bei den Betroffenen Problembewusstsein und fördert damit die Möglichkeiten der Früherkennung durch den Arzt.“* Die Rolle des Patienten im Gesundheitswesen hat sich gewandelt und wird sich weiterhin wandeln. Der Patient sieht sich zunehmend nicht länger als dulden-der Empfänger bestimmter diagnostischer und therapeutischer Dienstleistungen; er will an Entscheidungsprozessen beteiligt sein. Informationen über Gesundheit und Krankheit sind daher wichtige Forderungen, die der Patient an das Gesundheitswesen stellt. Informationen sollten „ein ausgewogenes und verständliches Bild der Optionen und möglichen Ergebnisse“ liefern (Holland et al., 2006).

Informationen sollen den Patienten aber auch in die Lage versetzen, eine Untersuchung oder Behandlung auf der Basis der zur Verfügung stehenden Informationen abzulehnen. Die Weltgesundheits-Organisation spricht in Anlehnung an den „informed consent“ vom „informed refusal“ (Holland et al., 2006).

Das vorliegende Buch will dem gestiegenen Interesse an Informationen entgegenkommen. Es steht nicht die Erklärung bestimmter Geräte oder spezieller Mess- und Prüfverfahren im Mittelpunkt; dies kann häufig durch das Studium der Bedienungsanleitung effizienter erfolgen. Screening ist auch mehr als nur das Drücken eines Gerätekнопfes, um ein bestimmtes Untersuchungsprogramm zu starten. Verantwortungsbewusstes Screening setzt Wissen um den Kontext, in dem das Screening eingeordnet ist, voraus. „Wissen ist das“, wie es der Historiker und Biologe Olaf Breidbach formuliert, „was uns befähigt, zu erkennen, was wir an Informationen nötig haben, was wir wann und wo nachzuschlagen haben, was wir offenlassen können und was es bedeutet, das eine oder andere Detail registriert zu haben. [...] Wissen ist interpretierte Information.“ (Breidbach, 2008) Das vorliegende Buch liefert Informationen über die anatomischen und physiologischen Grundlagen der wichtigsten optometrischen Screeningteste ebenso über die Ursachen von Auffälligkeiten, die mit diesen Testen aufgedeckt werden können. Die Folgen eines auffälligen (positiven) oder unauffälligen (negativen) Testergebnisses werden ebenso wie die

Grenzen und Beschränkungen der verschiedenen Teste diskutiert.

Screening ohne kontinuierliche Qualitätssicherung auf wissenschaftlicher Basis Grundlagen ist wertlos. Daher ist diesem Buch auch ein allgemeines Kapitel zum Screening vorangestellt, in dem die wichtigsten wissenschaftlichen Kriterien zur Qualitätssicherung zusammengefasst sind. Die Anforderungen an mathematische Kenntnisse beschränken sich jedoch auf ein Minimum.

Schließlich hat Screening auch eine ethische Komponente, die nicht unerwähnt bleiben darf. Jeder Test, sei es ein Screeningtest oder ein diagnostischer Test, birgt das Risiko des Irrtums in sich. Die Konsequenzen eines falschen Testergebnisses müssen dem Anbieter eines Tests klar sein. Er sollte sich möglicher psychischer Probleme für den Patienten bewusst sein, die aus einem positiven Testergebnis folgen können. Hier will das vorliegende Buch Denkanstöße zu einem verantwortungsbewussten Umgang mit dem Screening geben.

Andreas Berke
Köln, Januar 2009

Inhalt

Teil I: Prävention und Screening

1	Allgemeine Grundlagen des Screenings	1
1.1	Prävention	2
1.1.1	Primordialprävention	3
1.1.2	Primärprävention	3
1.1.3	Sekundärprävention	4
1.1.4	Tertiärprävention	4
1.2	Screening	5
1.2.1	Varianten des Screenings	6
1.2.2	Allgemeine Anforderungen an Screeningtests	6
1.2.3	Qualitätsbeurteilung eines Testverfahrens	11
1.3	Ergebnisse eines Screeningtests	14
1.3.1	Positive Testergebnisse	14
1.3.2	Negative Testergebnisse	15
1.3.3	Vierfeldertafel zur Darstellung der Testergebnisse	16
1.3.4	Abgrenzung von Screening und Diagnose	17
1.4	Validität eines Screeningtests	18
1.4.1	Prävalenz und Inzidenz	18
1.4.2	Sensitivität und Spezifität eines Screeningtests	20
1.4.3	Vorhersagewerte eines Screeningtests	22
1.4.4	Einfluss der Prävalenz auf die Vorhersagewerte	24
1.4.5	Konkordanzrate und Effizienz eines Testverfahrens	26
1.5	Trennfähigkeit eines Testverfahrens	27
1.5.1	Wahl des Grenzwertes	28
1.5.2	Trennfähigkeit eines Testverfahrens	29
1.5.3	Receiver-Operating-Characteristic (ROC)	31
1.6	Das Risikofaktor-Konzept	32
1.6.1	Risikofaktoren	33
1.6.2	Risiken	34
1.6.3	Das Chancen-Verhältnis oder Odds Ratio	36
1.6.4	Darstellung von Risiken	38

1.7	Ethische Aspekte des Screenings	40
1.8.	Screening und Funktionsteste	41
1.8.1	Optometrische Funktionsprüfungen	41
1.8.2	Optometrisches Screening	42

Teil II: Funktionsteste

2	Refraktion	45
2.1	Optische Grundlagen von Refraktionsänderungen	46
2.2	Screening der Fernpunktrefraktion	48
2.2.1	Skioskopie	48
2.2.2	Autorefraktometer und Photorefraktion	50
2.2.3	Wellenfrontaberrometer	51
2.2.4	Hornhauttopografie	51
2.3	Veränderungen des Brechwertes des Auges	52
2.3.1	Hornhaut	53
2.3.2	Linse	58
2.3.3	Ziliarkörper	61
2.4	Veränderte Lage der Lichtrezeptoren	66
2.4.1	Erkrankungen des Auges	67
2.4.2	Veränderungen in der Orbita	68
2.5	Operative Eingriffe	69
3	Untersuchung der Augenbewegungen	73
3.1	Lider und Kopfhaltung	74
3.1.1	Anatomische und physiologische Grundlagen	74
3.1.2	Untersuchung der Lider	75

3.1.3	Auffälligkeiten der Lider	75
3.1.4	Auffälligkeiten der Kopfhaltung	78
3.2	Anatomische und physiologische Grundlagen der Augenbewegungen	79
3.2.1	Neurophysiologische Grundlagen der Augenbewegungen	80
3.2.2	Die äußeren Augenmuskeln	84
3.3	Prüfung der Augenstellung und Augenbewegungen	89
3.3.1	Prüfung der Augenstellung mittels Reflexbilder	89
3.3.2	Prüfung der Augenbewegungen	91
3.3.3	Cover- und Uncover-Test	96
3.3.4	Motilitätstest	102
3.4	Störungen der Augenbewegungen	106
3.4.1	Supranukleäre Augenbewegungsstörungen	106
3.4.2	Paresen der okulomotorischen Hirnnerven	110
3.4.3	Erkrankungen der Augenmuskeln	117
3.4.4.	Mechanische Ursachen von Augenbewegungsstörungen	122
3.4.5	Auffälligkeiten der Augenbewegungen bei älteren Menschen	124
4	Pupille und Pupillenteste	127
4.1	Anatomische und physiologische Grundlagen	128
4.1.1	Iris	128
4.1.2	Innervation der Pupille	130
4.2	Untersuchung der Pupillen und der Pupillenfunktion	133
4.2.1	Orientierende Prüfung der Pupillenweite	133
4.2.2	Prüfung der Nahreaktion	133
4.2.3	Prüfung der Lichtreaktion	134
4.3	Auffälligkeiten der Pupillen	136
4.3.1	Senile Miosis	136
4.3.2	Störungen des sympathischen Nervensystems (Horner-Syndrom)	137
4.3.3	Störungen des parasympathischen Nervensystems	140
4.3.4	Amaurotische Pupillenstarre	142
4.3.5	Pharmakologische Pupillenstörungen	142
5	Akkommodation und Nahsehen	147
5.1	Anatomische Grundlagen der Akkommodation	148
5.1.1	Ziliarkörper	149
5.1.2	Zonulafasern	151
5.1.3	Innervation des Ziliarkörpers	151
5.1.4	Aderhaut	153
5.1.5	Augenlinse	153

5.2	Physiologische Grundlagen der Akkommodation	154
5.2.1	Der Akkommodationsstimulus	154
5.2.2	Akkommodationsruhelage	156
5.2.3	Neuromuskuläre Grundlagen der Akkommodation	157
5.2.4	Akkommodationsbedarf und Akkommodationserfolg	159
5.2.5	Kopplung von Akkommodation, Pupillenweite und Konvergenz (Nahtrias) ...	160
5.3	Entwicklung und Altersabhängigkeit der Akkommodation	161
5.4	Prüfung der Akkommodation	163
5.4.1	Subjektive Methoden	163
5.4.2	Objektive Methoden	165
5.4.3	Bewertung der Messergebnisse	167
5.5	Akkommodation, Presbyopie und Hyperopie	167
5.5.1	Hyperopie	168
5.5.2	Alterssichtigkeit	170
5.6	Anomalien der Nahakkommodation	172
5.6.1	Akkommodationsschwäche und Akkommodationsinsuffizienz	172
5.6.2	Akkommodationslähmung	173
5.6.3	Akkommodationsspasmus	177

Teil III: Erweiterte Funktionsteste

6	Sehschärfe	181
6.1	Sehschärfen	182
6.1.1	Punktsehschärfe	182
6.1.2	Auflösungssehschärfe	183
6.1.3	Lokalisationssehschärfe	184
6.1.4	Erkennungssehschärfe	184
6.1.5	Nahsehschärfe	185
6.1.6	Reihenvisus und Crowding	185
6.1.7	Dynamischer Visus	186
6.2	Physiologisch-optische Grundlagen der Sehschärfe	187
6.2.1	Entwicklung der Sehschärfe	187
6.2.2	Netzhaut und Sehschärfe	188
6.2.3	Leuchtdichte und Sehschärfe	190
6.2.4	Kontrast und Sehschärfe	191
6.2.5	Abbildungsfehler des Auges	191

6.3	Messung der Sehschärfe	195
6.3.1	Minimaler Auflösungswinkel: MAR	195
6.3.2	Snellen-Bruch	196
6.3.3	Geometrische Skalierung der Sehschärfe	196
6.3.4	Mittelwerte der Sehschärfe	197
6.3.5	Sehzeichen	197
6.3.6	Prüfentfernung	200
6.4	Abbruchkriterium und Ratewahrscheinlichkeit	201
6.4.1	Ratewahrscheinlichkeit	201
6.4.2	Abbruchkriterium	202
6.4.3	Reliabilität der Sehschärfe	203
6.5	Durchführung der Sehschärfebestimmung	204
6.5.1	ISO-Normen	204
6.5.2	Screening der Sehschärfe	205
6.5.3	Einblick- und Durchblickgeräte	205
6.6	Teste zur Bestimmung der Sehschärfe	205
6.6.1	Sehzeichen für Kinder	205
6.6.2	Sehteste für Erwachsene	206
6.6.3	Bildschirmteste	206
6.6.4	Objektive Sehschärfebestimmung	207
6.7	Sehschärfeverluste	209
6.7.1	Fehlsichtigkeit und Sehschärfe	210
6.7.2	Alter und Sehschärfe	211
6.7.3	Medientrübungen	212
6.7.4	Erkrankungen der Aderhaut	213
6.7.5	Erkrankungen der Netzhaut	214
6.7.6	Erkrankungen des Sehnervs	219
6.7.7	Nystagmus	221
6.8	Amblyopie und Amblyopie-Screening	222
6.8.1	Ursachen einer Amblyopie	223
6.8.2	Amblyopie-Screening bei Kindern	224
7	Stereosehen	227
7.1	Bedeutung der Tiefenwahrnehmung	228
7.1.1	Okulomotorische Tiefenreize	229
7.1.2	Monokulare Tiefenreize	229
7.2	Binokulare Tiefenreize	231
7.2.1	Netzhautkorrespondenz und Disparation	232
7.2.2	Panum-Raum und Panum-Bereich	233
7.2.3	Stereopsis	234
7.2.4	Anatomische Grundlagen der Stereopsis	241

7.2.5	Entwicklung des Stereosehens	243
7.3	Stereoteste	244
7.3.1	Bildtrennung und natürliches Sehen	244
7.3.2	Teste ohne Vorhalter	245
7.3.3	Polarisierte Teste	248
7.3.4	Anaglyphen-Verfahren	249
7.3.5	Stereoteste und Heterophorieprüfung	250
7.4	Auffälligkeiten des Stereosehens	251
7.4.1	Stereopsis und Refraktionsfehler	251
7.4.2	Stereopsis und Monovision	252
7.4.3	Strabismus und Amblyopie	254
7.4.4	Erkrankungen des Auges	254
7.5	Auswirkungen einer eingeschränkten Stereopsis	255
7.5.1	Stereopsis und Berufswahl	255
7.5.2	Auswirkung fehlender Stereopsis auf das tägliche Sehen	255
8	Farbensehen	257
8.1	Physiologische Grundlagen des Farbensehens	259
8.1.1	Farben	259
8.1.2	Theorien des Farbensehens	263
8.2	Angeborene Farbsinnstörungen	265
8.2.1	Klassifikation angeborener Farbsinnstörungen	266
8.2.2	Farbverwechslungen	267
8.2.3	Sehen mit angeborenen Farbsinnstörungen	269
8.2.4	Genetische Grundlagen angeborener Farbsinnstörungen	271
8.2.5	Komplette und inkomplette Achromatopsien	275
8.2.6	Physiologische Tritanopie der Foveola	277
8.3	Erworbene Farbsinnstörungen	278
8.3.1	Eigenschaften erworbener Farbsinnstörungen	278
8.3.2	Klassifizierung nach Verriest	279
8.3.3	Chromatopsien	281
8.4	Teste zur Prüfung des Farbensehens	282
8.4.1	Handlungsteste	283
8.4.2	Pseudoisochromatische Tafeln	285
8.4.3	Legeteste	291
8.4.4	Anomaloskope	298
8.4.5	Bildschirmverfahren	304
8.5	Beleuchtung	305
8.6	Testbatterien zur Prüfung des Farbensehens	306
8.7	Farbsinnstörungen	307
8.7.1	Anamnese	307

8.7.2	Farbsinnprüfung im Kindesalter	308
8.7.3	Altersabhängigkeit des Farbensehens	309
8.7.4	Straßenverkehr und Berufswahl	311
8.7.5	Medikamente und Farbsinnstörungen	312
8.7.6	Intoxikationen und Farbsinnstörungen	314
8.7.7	Erkrankungen der Netzhaut	316
8.7.8	Erkrankungen des Sehnervs	317
9	Kontrastempfindlichkeit	321
9.1	Physikalische und physiologische Grundlagen	322
9.1.1	Kontrast	323
9.1.2	Ortsfrequenz und rezeptive Felder	324
9.1.3	Kontrastempfindlichkeit	327
9.2	Kontrastteste	330
9.2.1	Kontrastteste mit Gittern	330
9.2.2	Kontrastteste mit Sehzeichen	332
9.2.3	Bildschirmteste	335
9.2.4	Bestimmung der Kontrastempfindlichkeit	336
9.3	Veränderungen der Kontrastempfindlichkeit	337
9.3.1	Entwicklung der Kontrastempfindlichkeit	337
9.3.2	Altern und Kontrastempfindlichkeit	338
9.3.3	Kontrastempfindlichkeit und Refraktionsfehler	339
9.3.4	Kontrastempfindlichkeit und Kontaktlinsen	340
9.3.5	Kontrastempfindlichkeit und Hornhaut	343
9.3.6	Kontrastempfindlichkeit und Augenlinse	347
9.3.7	Kontrastempfindlichkeit und Netzhaut	351
9.3.8	Neurologisch bedingte Veränderungen der Kontrastempfindlichkeit	354
10	Dämmerungssehen und Blendung	357
10.1	Helligkeit und Adaptation	358
10.1.1	Adaptationsleuchtdichten	358
10.1.2	Zeitliche Aspekte der Adaptation	359
10.1.3	Physiologische Grundlagen der Adaptation	361
10.2	Blendung	362
10.2.1	Formen der Blendung	363
10.2.2	Streulicht und Blendung	364
10.3	Dämmerungssehen	366
10.3.1	Duplizitätstheorie des Sehens	366
10.3.2	Sehen in der Dämmerung	366

10.4	Prüfung der Blendempfindlichkeit und des Dämmerungssehens	371
10.4.1	Prüfung der Blendempfindlichkeit	371
10.4.2	Prüfung des Dämmerungssehens	373
10.4.3	Prüfung der Nachtmyopie	374
10.5	Auffälligkeiten von Blendempfindlichkeit und Dämmerungssehen	375
10.5.1	Trübungen der Augenmedien	375
10.5.2	Pupille	380
10.5.3	Netzhauterkrankungen	382
10.6	Blendempfindlichkeit nach Lasik	385
11	Perimetrie	387
11.1	Physiologische Grundlagen der Perimetrie	388
11.1.1	Lichtunterschiedsempfindlichkeit (LUE)	388
11.1.2	Gesichtsfeldhügel	391
11.1.3	Altersabhängigkeit des Gesichtsfeldes	392
11.2	Anatomische Grundlagen der Perimetrie	394
11.2.1	Aderhaut und Netzhaut	394
11.2.2	Sehbahn	394
11.3	Orientierende Untersuchungen des Gesichtsfeldes	400
11.4	Automatische Perimetrie	402
11.4.1	Allgemeine Prinzipien der automatischen Perimetrie	402
11.4.2	Prüfpunktraster	403
11.4.3	Prüfstrategien	404
11.4.4	Geräteparameter	409
11.4.5	Kontrolle des Patienten	412
11.4.6	Artefakte und Fehlerquellen	413
11.4.7	Darstellung des Gesichtsfeldes	416
11.4.8	Interpretation des Gesichtsfeldbefundes	420
11.5	Kinetische Perimetrie	423
11.6	Frequenz-Verdoppelungs-Technologie	424
11.6.1	Physiologische Grundlagen	424
11.6.2	FDT-Perimeter	425
11.6.3	Matrix-Perimetrie	427
11.7	Gesichtsfeldausfälle	427
11.7.1	Klassifizierung der Gesichtsfeldausfälle	427
11.7.2	Trübungen der optischen Medien	429
11.7.3	Glaukom und Gesichtsfeldausfälle	429
11.7.4	Erkrankungen der Netzhaut	432
11.7.5	Neurologische Erkrankungen	439
11.7.6	Psychogene Gesichtsfeldausfälle	446
11.8	Gesichtsfeldausfälle im Alltag	447

11.8.1	Gesichtsfeldausfälle und Sehbehinderungen	447
11.8.2	Gesichtsfeld und Straßenverkehr	448

Teil IV: Gesundheitsteste des Auges

12	Tonometrie	451
12.1	Physiologische Grundlagen des Augeninnendrucks	452
12.1.1	Kammerwasserabfluss und Augeninnendruck	452
12.1.2	Augeninnendruck und Stabilität des Auges	454
12.1.3	Augeninnendruck und okuläre Perfusion	455
12.1.4	Physiologische Änderungen des Augeninnendrucks	456
12.1.5	Epidemiologie des Augeninnendrucks	461
12.2	Erkrankungen, Medikamente und Augeninnendruck	462
12.2.1	Erkrankungen des Auges und der Augenhöhle	462
12.2.2	Medikamente und Augeninnendruck	466
12.3	Messung des Augeninnendrucks	470
12.3.1	Messprinzipien der Tonometrie	471
12.3.2	Goldmann-Appplanationstonometrie	474
12.3.3	Non-Contact-Tonometrie	477
12.3.4	Rebound-Tonometrie	481
12.4	Tonometrie und Biomechanik der Hornhaut	483
12.4.1	Einfluss der zentralen Mittendicke der Hornhaut	483
12.4.2	Hornhauthysterese	484
12.4.3	Konturtonometrie	487
12.4.4	Corneal Visualisation Scheimpflug Technology (Corvis ST)	488
12.4.5	Tonometrie nach Lasik-Operationen	488
12.5	Anwendung der Tonometrie	490
12.6	Grenzen der Tonometrie	490
12.6.1	Tagedruckprofil	491
12.6.2	Falsch positive und falsch negative Ergebnisse der Tonometrie	491
12.6.3	Mittelbare Gefahren durch die Tonometrie	493
13	Ophthalmoskopie	495
13.1	Anatomie der Netzhaut	496

13.1.1	Topografie der Netzhaut	496
13.1.2	Blutgefäße der Netzhaut	500
13.2	Direkte Ophthalmoskopie	503
13.2.1	Optische Grundlagen der direkten Ophthalmoskopie	503
13.2.2	Aufbau eines direkten Ophthalmoskops	505
13.2.3	Untersuchung der Augenmedien und der Netzhaut	508
13.2.4	Funktionsprüfungen mit dem Ophthalmoskop	509
13.3	Indirekte Ophthalmoskopie	511
13.3.1	Optische Grundlagen der indirekten Ophthalmoskopie	512
13.3.2	Varianten der indirekten Ophthalmoskopie	514
13.4	Vergleich von direkter und indirekter Ophthalmoskopie	516
13.5	Ophthalmoskopie und Mydriasis	517
13.6	Ophthalmoskopisch sichtbare Auffälligkeiten der Netzhaut	518
13.6.1	Fleckförmige, gelblich-weiße Ablagerungen	518
13.6.2	Scharf begrenzte Netzhautdefekte	520
13.6.3	Unscharfe, weißliche Herde	522
13.6.4	Pigmentveränderungen	523
13.6.5	Makulaödeme	525
13.6.6	Veränderungen der Blutgefäße	528
13.6.7	Auffälligkeiten der Papille	533
13.6.8	Glaskörper und Makula	536
14	Die Spaltlampe als optometrisches Screening-Instrument	539
14.1	Optische Grundlagen der Spaltlampe	540
14.1.1	Spaltlampenbeleuchtung	540
14.1.2	Spaltlampenmikroskop	542
14.2	Untersuchungsmethoden und Beleuchtungsarten	542
14.2.1	Diffuse Beleuchtung	543
14.2.2	Direkte fokale Beleuchtung	543
14.2.3	Indirekte fokale Beleuchtung	545
14.2.4	Regrediente Beleuchtung	546
14.2.5	Sklerotische Streuung	547
14.3	Auffälligkeiten des vorderen Auges	548
14.3.1	Tränenfilm	548
14.3.2	Lider	550
14.3.3	Bindehaut	555
14.3.4	Hornhaut	561
14.3.5	Sklera und Episklera	568
14.3.6	Iris und Pupille	570
14.3.7	Augenlinse	577
14.3.8	Vorderkammer und Kammerwinkel	578

15	Bildgebende Verfahren in der Optometrie	581
15.1	Einführung	582
15.1.1	Abbildende versus bildgebende Verfahren	583
15.1.2	Modalitäten	584
15.1.3	Nachbearbeitung	585
15.2	Bildgebende Verfahren für den vorderen Augenabschnitt	589
15.2.1	Spaltlampe	589
15.2.2	Konfokale Mikroskopie	589
15.2.3	Scheimpflug-Fotografie	591
15.2.3	Optische Tomografie des vorderen Augenabschnitts (AS-OCT)	595
15.3	Bildgebende Verfahren für den hinteren Augenabschnitt	597
15.3.1	Indikation bildgebender Verfahren für den hinteren Augenabschnitt	597
15.3.2	Optische Grundlagen bildgebender Verfahren	602
15.3.3	Funduskamera	605
15.3.4	Scanning-Laser-Ophthalmoskopie	606
15.3.5	Optische Kohärenztomografie	610
15.4	Künstliche Intelligenz	617
15.4.1	Maschinelles Lernen	617
15.4.2	Künstliche Intelligenz in der Bildverarbeitung	618

Anhang

Mathematische Grundlagen des Screenings	623	
A.1	Wahrscheinlichkeit und Screening	624
A.1.1	Die Vierfeldertafel	625
A.1.2	Bedingte Häufigkeiten	626
A.1.3	Die Bayes'sche Formel	628
A.2	Anmerkungen zur Biostatistik	631
A.2.1	Kenngößen einer empirischen Verteilung	631
A.2.2	Normalverteilung	639
A.2.3	Mess- oder Beobachtungsfehler	643
	Literaturverzeichnis	645
	Abbildungsverzeichnis	650
	Sachregister	655