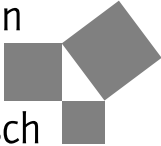


Handferngläser

Funktion, Leistung, Auswahl



Edition
Harri 
Deutsch 

Handferngläser

Funktion, Leistung, Auswahl

von

Holger Merlitz

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 57747

Autor:

Holger Merlitz arbeitet als Physikprofessor an der Universität Xiamen in China.

Er beschäftigt sich nebenberuflich mit dem Testen von Ferngläsern im Feldeinsatz, als Berater von Optikherstellern und wissenschaftlich mit der Verzeichnung und den damit verbundenen optischen Effekten.

Eine langjährige aktive Teilnahme an verschiedenen Internet-Diskussionsforen hat ihm die Fragen vor Augen geführt, die er in diesem Buch zu beantworten sucht.

Druck 5 4 3 2 1

ISBN 978-3-8085-5774-7

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2013 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten

<http://www.europa-lehrmittel.de>

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald;

Hintergrundbild © ping han – Fotolia.com, Fernglasbild © Swarovski Optik KG

Druck: Media-Print Informationstechnologie GmbH, 33100 Paderborn

Vorwort

Heute sind Ferngläser Allgemeingut – dabei erinnere ich mich noch an die Zeit, als nach dem zweiten Weltkrieg der Besitz eines Fernglases von den Besatzungsmächten dem Waffenbesitz gleich unter hohe Strafe gestellt war. Das Wissen um ihre Konstruktion ist inzwischen allgemein verfügbar.

Ferngläser sind Gebrauchsgegenstände.

Sie sind notwendige Ausrüstungsgegenstände für Militär, Seefahrer und Jäger, die, auf den Beobachtungsergebnissen basierend, lebensentscheidende Entschlüsse treffen. Hier bedarf es deshalb bei der Beschaffung einer sorgfältigen Auswahl nach Verwendungszweck und -ziel. Nur das Beste ist gut genug, um der Verantwortung des Nutzers gerecht werden zu können.

Ferngläser können auch nützliche Werkzeuge zur Erbauung an schönen Landschaften (Wanderer), Tieren (Birdwatcher, Safariteilnehmer), oder zur Himmelsbeobachtung (Astronom) sein. Sie machen Freude.

Ferngläser dienen auch der Eitelkeit, sie sind gesellschaftlich als den Träger auszeichnende Prestigeobjekte wirksam. Dagegen hilft kein Buch, auch dieses nicht, leider.

Die Vielfalt an Lösungsmöglichkeiten für verschiedene Aufgabenstellungen wie Vergrößerung, die eigentlich »Entfernungsverkleinerung« oder »Heranholfaktor« heißen sollte, Helligkeit, Handlichkeit (Gewicht, Balance, Form, materialbedingte Haptik) ist schier unendlich. Untereinander beeinflussen sie sich, sind häufig kontraproduktiv. Daraus folgt: Technische Lösungen sind immer Kompromisse. Zum Glück gibt es auch sehr gute.

Darüber hinaus haben Ferngläser noch viele andere Eigenschaften, die uns dieses Buch näher bringen wird. Beispiel: Die an in einer Entfernungsebene liegenden Objekten erkennbare Randunschärfe wird von Marketingleuten geißelt, statt als Gleitsichtbrilleneffekt für das Nahscharfsehen positiv dargestellt zu werden. Der Kunden-Nutzen wird einem Verkaufsargument geopfert: Nur der Sterngucker braucht ein geebnetes Bildfeld!

Dieses Buch, von einem Sachverständigen verfasst, erklärt verständlich die komplexen Zusammenhänge der Funktion einzelner Elemente eines Fernglases und macht seinen Leser so zum Kundigen. Es kann damit Kaufentscheidungen in die dem Verwendungszweck entsprechende Richtung lenken und Enttäuschungen durch Fehlinvestitionen vermeiden helfen. Damit richtet sich dieses Buch nicht nur an Verbraucher, sondern ebenso an den Handel (Kaufberater) als auch an die Industrie (Entwicklung, Marketing). Es ist von einem von der Ferngläser herstellenden Industrie unabhängigen Wissenschaftler geschrieben, der die Globalisierung sehr persönlich nimmt: er lehrt an einer chinesischen Universität. Das spricht für seine markenunabhängige Neutralität.

Börries von Breitenbuch,

Fernglasexperte und Sammler, Wennigsen, 30. 12. 2012

Danksagung

Dieses Buch ist nicht im Alleingang entstanden. Weite Teile des Inhalts sind das Resultat zahlloser Diskussionen des Autors mit anderen Fernglasfreunden und -fachleuten. Insbesondere hat das Internet mit seinen Diskussionsgruppen die Kommunikation zwischen Menschen unterschiedlichster Herkunft möglich gemacht. Der Autor ist daher den Betreibern und Teilnehmern diverser Diskussionsforen, insbesondere auf www.juelich-bonn.com, forum.astronomie.de, www.cloudynights.com und www.birdforum.net, zu tiefem Dank verpflichtet.

Für hilfreiche Beiträge zu diesem Buch möchte der Autor den folgenden Personen seinen besonderen Dank aussprechen: Peter Abrahams, Jochen Balla, Walter Besenmatter, Martin Birkmaier, Dominique Blach, Börries von Breitenbuch, Bill Cook, Jan van Daalen, Erich Grahmann, Beat Kohler, Albrecht Köhler, Stefan Korth, Henry Link, Stefan Merklein, Mathias Metz, Bernd Müller, Klaus Müscher, David W.J. Norton, Hermann Oldenburg, Arek Olech, Manfred Peperkorn, Andreas Perger, ferner dem »Rezensenten«, Daniel Rotter, John Russel, Frank Schäfer, Reinhard Schauerte, Hans Seeger, Berry Simon, Fan Tao, Volker Tautz, Hans Weigum, Andreas Werner, Heiko Wilkens und Ed Zarenski. Ein ganz besonderer Dank geht jedoch an Klaus Horn vom Verlag Europa-Lehrmittel, ohne dessen geduldige Mitarbeit dieses Buch nicht existieren würde.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	v
1 Einleitung	1
I Grundlagen zur Fernglastechnik	3
2 Die optische Abbildung	5
2.1 Licht im Vakuum	5
2.2 Brechungsgesetz	6
2.3 Brechzahl und Dispersion	8
2.4 Optische Gläser	9
2.5 Raytracing einer Linse	11
2.6 Abbildungsgleichung	14
2.7 Abbildungsfehler	17
2.7.1 Longitudinale chromatische Aberration	17
2.7.2 Sphärische Aberration	17
2.7.3 Bildfeldwölbung	18
2.7.4 Astigmatismus und Koma	20
2.7.5 Laterale chromatische Aberration	21
2.8 Optisches Design	21
3 Das Teleskop	23
3.1 Fernrohr Keplerscher Bauweise	23
3.1.1 Funktionsprinzip	23
3.1.2 Öffnungsverhältnis	24
3.1.3 Vergrößerung und Verzeichnung	25
3.1.4 Sehwinkel und Sehfeld	26
3.2 Fernrohr Galileischer Bauweise	27
3.3 Das virtuelle Bild, Schärfentiefe	28
3.4 Wellenoptik	31
3.4.1 Huygenssches Prinzip	31
3.4.2 Beugungsbedingte Auflösungsgrenze	31
3.4.3 Reflexmindernde Vergütungen	33

4 Umkehrsysteme	37
4.1 Porro-Systeme	37
4.1.1 Totalreflexion	37
4.1.2 Porro I	39
4.1.3 Porro II	40
4.1.4 Perger-System (Ein Beitrag von Dr. Andreas Perger)	42
4.2 Dachkantssysteme	43
4.2.1 Schmidt-Pechan-System	44
4.2.2 Abbe-König-System	46
4.2.3 Uppendahl-System	47
4.2.4 Spiegel-Prismen-Umkehrsysteme	48
4.2.5 Verspiegelungen	49
4.2.6 Phasenverschiebung und deren Korrektur	51
5 Anatomie des Fernglases	55
5.1 Objektive für Ferngläser	55
5.2 Okulare für Ferngläser	57
5.3 Fokussiermechanismen	61
5.3.1 Besonderheiten bei der Beobachtung im Nahbereich	64
5.4 Dimension des Strahlenbündels	64
5.4.1 Reduzierter Glasweg	65
5.4.2 Dimension des Zwischenbildes	66
5.4.3 Prismeneingangsweite	67
5.4.4 Fallbeispiel: 8x42 und 10x42	68
5.4.5 Fallbeispiel: 7x50 Weitwinkel	68
5.4.6 Fallbeispiel: 8x30 und 6x30 Weitwinkel	69
5.5 Blendensysteme	70
5.6 Abdichtung und Füllung eines Fernglases	72
II Optische Wahrnehmung	75
6 Das Auge	77
6.1 Das Auge als optisches Instrument	77
6.2 Gesichtsfeld	78
6.3 Pupillenweite	78
6.4 Akkommodationsbreite	80
6.5 Aberrationen des Auges	81
6.6 Die Photorezeptoren der Retina	83
6.7 Tages- und Nachtsehen	84
6.8 Dämmerungssehen: Stiles-Crawford-Effekt	86
6.9 Datenverarbeitung in der Retina	87

7	Wahrnehmungspsychologie	91
7.1	Wahrnehmungsgesetze	91
7.1.1	Riccoser Satz, Pipersche Regel und Weber-Fechnersches Gesetz	92
7.1.2	Wahrnehmungsgesetz von Berek	94
7.2	Farbwahrnehmung	96
7.3	Stereoskopische Tiefenwahrnehmung	98
7.3.1	Weitere Zugänge zur Tiefenwahrnehmung	99
7.4	Visueller Bildaufbau	100
7.5	Optischer Fluss	101
7.6	Visuelle Verzeichnung	103
8	Auge und Fernglas: Die Mensch-Maschine	107
8.1	Lichtstrom und Vergrößerung	107
8.2	Fernrohrleistung: Sehschärfe	109
8.3	Nutzleistung: Freihand vs. aufgelegt	111
8.4	Nutzleistung der Sichtungsschwelle	112
8.5	Nutzleistung im astronomischen Einsatz	115
8.6	Atmosphärische Einflüsse auf die Nutzleistung	117
8.7	Farbkontrast, Helligkeit und Farbsättigung	120
8.8	Schärfentiefe	121
8.9	Tiefenauflösung und Kulisseneffekt	123
8.10	Verzeichnung und Globuseffekt	125
8.11	Die Suche nach der optimalen Verzeichnung	126
8.12	Brille und Fernglas	129
III	Ferngläser in der Anwendung	133
9	Anwendungsprofile für Handferngläser	135
9.1	Die Generalisten	135
9.2	Ferngläser für Reise und Wanderung	136
9.3	Ferngläser für Nacht und Dämmerung	137
9.4	Handferngläser in der Astronomie	138
9.5	Militärferngläser	140
9.6	Ferngläser zur See	144
9.7	Ferngläser mit Bildstabilisierung	146
9.8	Die Kompakten	148
9.9	Operngläser	150
9.10	Digitalferngläser	151
10	Testen von Ferngläsern	153
10.1	Labortests	153

10.2	Der Schnelltest am Ladentisch	155
10.2.1	Der allererste Eindruck: Design, Haptik, Ergonomie	155
10.2.2	Check auf weitere Ausschluss-Kriterien	156
10.2.3	Bewertung der optischen Leistung	158
10.3	Testen im Feld	159
10.3.1	Streulichtresistenz	160
10.3.2	Geisterbilder	162
10.3.3	Randschärfe	165
10.3.4	Dämmerungsleistung	166
10.3.5	Chromatische Aberration	167
10.3.6	Ergonomie und Haptik	168
11	Kleine Kaufberatung	171
11.1	Was die Premiumklasse bietet	171
11.2	Die Mittelklasse: Suche nach dem Kompromiss	174
11.3	Schnäppchenjagd	177
11.4	Zehn Gebote zur Fernglaswahl	178
IV	Anhang	181
12	Zum Weiterlesen	183
12.1	Optik	183
12.2	Wahrnehmung	183
12.3	Ferngläser in der Praxis	183
12.4	Ferngläser, Historisches	183

Abbildungsverzeichnis

1.1	Übersicht der Handferngläser und ihre Anwendungsbereiche	1
2.1	Farbspektrum des sichtbaren Lichts mit Fraunhoferlinien.	5
2.2	Snelliussches Brechungsgesetz	6
2.3	Strahlenverlauf in einer Glasplatte	7
2.4	Optische Gläser (Schott-Katalog)	10
2.5	Reintransmission, BK7 und BaK4 HT	11
2.6	Strahlenverlauf: Plankonvexlinse	12
2.7	Plankonvexlinse, Detailansicht	13
2.8	Plankonvexlinse, umgekehrt	15
2.9	Zur Abbildungsgleichung	15
2.10	Sphärische Aberration	18
2.11	Strahlenverlauf zur Bildfeldwölbung	19
2.12	Bildfeldwölbung	20
2.13	Laterale chromatische Aberration	21
3.1	Keplersches Fernrohr	24
3.2	Verzeichnung: Kissenförmig und tonnenförmig	26
3.3	Galileisches Fernrohr	28
3.4	Schärfentiefe (Strahlenverlauf)	29
3.5	Huygenssches Prinzip	31
3.6	Airy Scheibchen und Rayleigh-Kriterium	32
3.7	Reflexminderung	33
4.1	Totalreflexion	38
4.2	Porro I (Strahlengang)	39
4.3	Asymmetrisches Porro I-Prisma	39
4.4	Zeiss (Oberkochen) 10x50	40
4.5	Porro II-Prisma (Strahlengang)	40
4.6	Porro II-Prisma (Foto)	41
4.7	Ross 10x50 Stepmur	41
4.8	Perger-Prisma (Strahlengang)	42
4.9	Schmidt-Pechan-Prisma (Strahlengang)	44
4.10	Schmidt-Pechan-Prismenblock	45
4.11	Abbe-König-Prisma (Strahlengang)	46
4.12	Abbe-König-Prismenblock	47

4.13	Uppendahl-Prisma (Strahlengang)	47
4.14	Hybrid-Umkehrsystem nach Ludewig und Schade	48
4.15	Zeiss (Jena) 6x18	49
4.16	Reflektivität, dielektrischer- vs. Silberbelag	50
4.17	Abbildungsfehler durch Phasenverschiebung	51
4.18	Geometrische Phase	52
4.19	Phasenkorrektur	52
5.1	Achromatisches Objektiv (Strahlengang)	55
5.2	Swift 8.5x44 Audubon ED	57
5.3	Kellner-Okular	58
5.4	Erfle-Okular	59
5.5	Nagler-Okular	60
5.6	Swarovski 10x42 EL WB (Schnittmodell)	60
5.7	Bildweite vs. Gegenstandsweite	61
5.8	Innenfokussierung (schematisch)	62
5.9	Zeiss 8x32 Victory (Schnittbild)	62
5.10	Zeiss 8x30 B Dialyt (Schnittbild)	63
5.11	Leitz 7x40 Trinovid (Schnittbild)	63
5.12	Reduzierter Glasweg	65
5.13	Prismenfernglas (Strahlengang)	67
5.14	Miyauchi 7x50 Binon	69
5.15	6x30 und 8x30 (Größenvergleich)	70
5.16	Blendensystem (Strahlengang)	71
5.17	Chinesisches 8x30 Militärfernglas	72
6.1	Auge (Modell)	77
6.2	Gesichtsfeld	78
6.3	Pupillenweite vs. Umgebungsleuchtdichte	80
6.4	Akkommodationsbreite vs. Alter	81
6.5	Chromatische Aberration (Auge)	82
6.6	Spektrale Empfindlichkeit (Auge)	83
6.7	Auflösung vs. Sehwinkel	85
6.8	Auflösung vs. Umgebungsleuchtdichte	86
6.9	Stiles-Crawford-Effekt	86
6.10	Konvergenz in der Retina	87
6.11	Laterale Inhibition	89
6.12	Machsche Streifen	89
7.1	Landoltring	92
7.2	Riccoscher Satz	93
7.3	Kontrastschwelle vs. Objektdurchmesser	95

7.4	Schwellenentfernung vs. Umgebungsleuchtdichte	95
7.5	Spektrale Intensitätsverteilung des Tageslichts	97
7.6	Parallaxe	98
7.7	Tiefenauflösung vs. Entfernung	99
7.8	Blickbewegungsverlauf	101
7.9	Optischer Fluss mit Expansionspunkt	102
7.10	Optischer Fluss, Rotationsbewegung	102
7.11	Helmholtz-Schachbrett	103
7.12	Visuelle Verzeichnung	104
8.1	Normalvergrößerung	107
8.2	Untervergrößerung	108
8.3	Übervergrößerung	108
8.4	Booster	109
8.5	Schärfenutzleistung vs. Vergrößerung	111
8.6	Kontrastschwellen-Nutzleistung (junger Beobachter)	114
8.7	Kontrastschwellen-Nutzleistung, Beobachter mittleren Alters	115
8.8	Grenzgröße von Sternen	116
8.9	Spektrale Transmission der Atmosphäre	118
8.10	Kowa 8.5x44 Prominar mit Objektivfilter	118
8.11	Transmissionskurven (Zeiss und Leica)	120
8.12	Nahpunkt vs. Vergrößerung	122
8.13	Schärfebereich vs. Fokussierentfernung	123
8.14	Tiefenauflösung, Zeiss (Oberkochen) 10x50	124
8.15	RISO-I 7x40 stereoskopisches Fernglas	124
8.16	Optischer Fluss bei tonnenförmiger Verzeichnung	125
8.17	Relative Sollverzeichnung	127
8.18	KOMZ BPO 7x30	128
8.19	Fernglasbeobachtung mit Brille	130
9.1	Swarovski 8.5x42 EL und EL WB	135
9.2	Nikon 8x30 EII	136
9.3	Leitz 7x35 Trinovid	137
9.4	Zeiss (Jena) 8x50 Nobilem Super	138
9.5	Fujinon 10x50 FMT-SX2	139
9.6	Zeiss (Jena) 7x40 EDF	140
9.7	Objektiv des EDF 7x40	141
9.8	Okular des EDF 7x40	141
9.9	Strichplatte des EDF 7x40	143
9.10	SARD 6x42 Mark 43	145
9.11	Docter 7x50 NAVIDOC	146
9.12	Canon 12x36 IS II	147

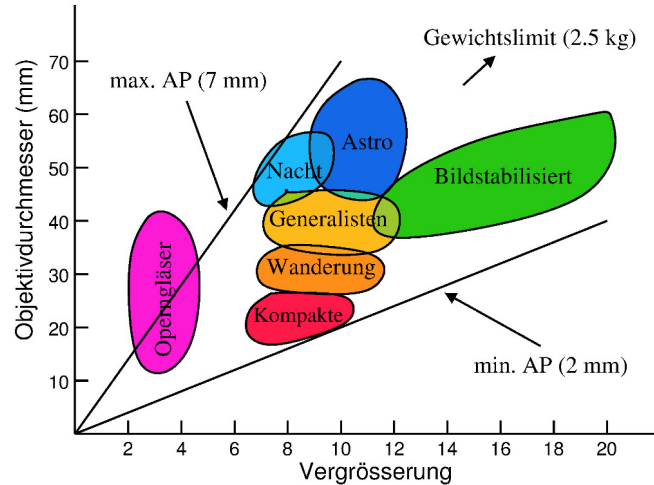
9.13	KOMZ 6x24 BPC	149
9.14	Leitz 6x24 Trinovid	149
9.15	Chinesisches 2.3x40 Opernglas	151
9.16	2.3x40 Opernglas (Schnittbild)	151
9.17	Sony Digitalfernglas	151
10.1	Unterwassertest	154
10.2	Ente im Wasser	156
10.3	Blick in den Objektivtubus	156
10.4	Vignettierung der Austrittspupille	158
10.5	Lichtspiele	159
10.6	Streulicht an Austrittspupillen	160
10.7	Fujinon 7x50 MTR	161
10.8	Waldrand	161
10.9	KOMZ BPO 7x30 (Strahlengang)	163
10.10	Hong Kong bei Nacht	164
10.11	Dämmerung am Ganesh Himal	167
10.12	Hochspannungsmasten	168
11.1	Leica 8x32 Ultravid HD	172
11.2	Zeiss 8x32 Victory FL	173
11.3	Swarovski 8x32 EL WB	174
11.4	Nikon 10x42 SE	174
11.5	Meopta 8x32 Meostar B1	175
11.6	Zeiss 7x42 Dialyt	176
11.7	Hensoldt 8x30 Fero-D 16	177
11.8	Asahi Pentax 8x40	178

1 Einleitung

Dieses Buch befasst sich mit der Technik, dem Leistungsvermögen und dem praktischen Einsatz von Handferngläsern. Dabei wird der Versuch unternommen, eine Brücke zu schlagen zwischen unterschiedlichen Fachbereichen wie der technischen Optik, der Physiologie des Auges und der Wahrnehmungspsychologie – die Fernglasbeobachtung ist ja nichts anderes als ein technisch unterstützter Wahrnehmungsvorgang, der als eine Mensch-Maschine-Wechselwirkung interpretiert werden kann.

Handferngläser umspannen den Vergrößerungsbe- reich zwischen 2x und 20x, sowie Objektivdurch- messer zwischen 15–70 mm (Abbildung 1.1). Be- grenzende Faktoren sind dabei der Durchmesser der Augenpupille, der zwischen 2 mm am Tage und 7 mm in der Nacht variiert, und die Muskulatur, die das sinnvoll nutzbare Gewicht einer freihändig gehaltenen Optik auf etwa 2.5 kg limitiert. Ferner verhindert die Handunruhe Vergrößerungen jenseits des 12-fachen, sofern nicht bildstabilisierte Optiken eingesetzt werden. In Kapitel 9 werden die Anwen- dungsprofile unterschiedlichster Handferngläser im Detail diskutiert.

Ein tiefgehendes Verständnis des Fernglases wäre undenkbar ohne ein minimales Hintergrundwissen zur Physik und Technik der optischen Abbildung. Dieses soll – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – in Kapitel 2 geboten werden. In der Kürze wäre es nicht möglich, eine Kurzabhandlung der techni- schen Optik zu liefern, und daher soll hier auf eine allzu formale Begriffsbildung zugunsten eines intuitiven Verständnisses des Abbildungsvorgangs verzich- tet werden. In den folgenden beiden Kapiteln zur Funktionsweise des Teleskops und der Umkehrsys- teme werden die Komponenten, die ein Fernglas ausmachen, in wichtigen Details diskutiert. Dabei



1.1

Übersicht der Handferngläser und ihre Anwendungsbereiche

werden auch Fragestellungen angesprochen, die in anderen Monografien zum Thema Fernglas meist zu kurz kommen, wie etwa die Schärfentiefe oder die Phasenkorrektur der Dachkantprismen. Auch die Eigenschaften des kürzlich entwickelten Perger-Umkehrsystems sowie der neuen HT-Gläser von Schott werden hier erstmals in allen Details vorge- stellt. Schließlich liefert das Kapitel 5 zur Anatomie des Fernglases die Synthese der technischen Kapitel, indem es das Zusammenspiel aller Komponenten miteinander analysiert.

Der zweite Teil des Buches befasst sich mit der visuellen Wahrnehmung, wobei zunächst die Funk- tionsweise des Auges als optisches Instrument, und anschließend die Retina in ihren Eigenschaften als Sensor sowie als erste Instanz der Informationsver- arbeitung behandelt werden. Das folgende Kapitel 7

diskutiert wichtige Grundlagen zur visuellen Wahrnehmung, die von Wahrnehmungspsychologen seit Jahrzehnten in mühevollen Veruchsreihen zusammengetragen werden. Dabei wird das mittlerweile 70 Jahre alte Wahrnehmungsgesetz von Max Berek, das sich mit den Sichtungsschwellen von Objekten befasst, ebenso diskutiert wie moderne Erkenntnisse zum visuellen Bildaufbau, zum optischen Fluss oder zur Verzeichnung des visuellen Raumes. Das Kapitel 8 behandelt schließlich die Kombination aus Fernglas und Beobachter: Die Mensch-Maschine. Es werden quantitative Ergebnisse zur Nutzleistung von Ferngläsern unter diversen Einsatzbedingungen, Formeln zur Schärfentiefe sowie zur stereoskopischen Tiefenauflösung hergeleitet. Erstmals wird auch eine Beschreibung des Globuseffekts vorgestellt, die quantitative Aussagen zur Wahl der optimalen Verzeichnung eines Handfernlasses unter Berücksichtigung seines Einsatzbereiches erlaubt.

Der dritte Teil dieses Buches ist der Fernglaspraxis gewidmet. Anwendungsprofile, Test und Kauf eines geeigneten Fernlasses werden im Detail diskutiert, wobei die Erkenntnisse aus früheren Kapiteln wertvolle Entscheidungshilfen liefern werden.

Dieses Buch richtet sich an den neugierigen Fernglasanwender, der sein Instrument besser zu verstehen sucht – etwa, um dessen Leistungsreserven voll ausschöpfen zu können, oder auch, um sich optimal auf eine anstehende Neuanschaffung vorzubereiten. Doch selbst mancher Spezialist, der einen Blick über den Tellerrand seiner Profession wagen möchte, dürfte in diesem Buch fündig werden: Der Konstrukteur, der mehr darüber erfahren möchte, was mit dem Strahlenbündel jenseits der Austrittspupille noch passiert, oder der Wahrnehmungspsychologe, der nach ernsthaften Anwendungsmöglichkeiten seiner Modelle in der Beobachtungspraxis Ausschau hält.

Quantitative Aussagen wären ohne die Sprache der Mathematik nicht möglich. Aus diesem Grunde wird in den folgenden Kapiteln, wann immer nötig, auch auf mathematische Formulierungen zurückgegriffen. Diese bewegen sich jedoch auf dem Niveau elementarer Funktionen, während auf höhere Mathematik konsequent verzichtet werden kann. Zudem wird auch derjenige Leser, der sich mit Formeln grundsätzlich nicht anzufreunden vermag, auf seine Kosten kommen: Sämtliche Ergebnisse werden analysiert und diskutiert, wichtige Formeln werden in zahlreichen Abbildungen grafisch dargestellt, sodass die entscheidenden Schlussfolgerungen auch nach dem Überspringen mathematischer Herleitungen zugänglich bleiben.

Zum Schluss bleibt die Hoffnung des Autors, dass es ihm gelungen sei, das Fernglas aus einer ungewohnten Perspektive darzustellen, und dass der Leser sein Verständnis um die technischen Zusammenhänge des Fernlasses und des Fernglassehens auf unterhaltsame, manchmal auch anspruchsvolle Weise vertiefen mag.

Teil I

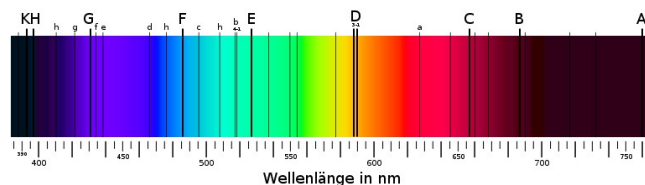
Grundlagen zur Fernglastechnik

2 Die optische Abbildung

In diesem Kapitel werden die Grundlagen zur optischen Abbildung erarbeitet. Selbstverständlich hegt es keinen Anspruch, ein Lehrbuch zur technischen Optik zu ersetzen – wer einen umfassenden Überblick zu diesem Thema sucht, der möge zusätzlich ein entsprechendes Fachbuch konsultieren¹⁾. Der in diesem Kapitel gebotene Stoffumfang ist so gewählt, dass er fundamentale und wichtige Grundlagen zur optischen Abbildung, soweit sie das Fernglas betreffen, vermittelt. Der hierfür gewählte Zugang ist ein naiver, und soll eher didaktisch als lexikografisch sein: Wir beginnen damit, zu analysieren, was mit einem Lichtstrahl beim Passieren einer Glasplatte geschieht. Später wird der kompliziertere Fall einer plankonvexen Linse behandelt. Es werden explizite Rechnungen an einfachen Fallbeispielen vorgeführt, und der interessierte Leser wird dazu ermutigt, selber Hand anzulegen, wann immer im Verlauf der Herleitungen aus Platzgründen einzelne Zwischenschritte ausgelassen werden müssen. Die Eigenschaften der Abbildung inklusive der Abbildungsfehler fallen uns dabei gewissermaßen in den Schoß, wodurch die in der Literatur oft anzutreffenden, unmotivierten und ermüdenden Auflistungen diverser Abbildungsfehler vermieden werden. Die Berechnungen sind keineswegs eine Voraussetzung für ein qualitatives Verständnis der Fakten, doch sollen sie dazu beitragen, Zusammenhänge tief an ihren Wurzeln zu erfassen, und dabei die Fähigkeit vermitteln, selbstständig und unabhängig über den gebotenen Stoff hinaus zu denken.

¹⁾ Empfehlenswert ist z. B. das Buch *Technische Optik* von G. Schröder und H. Treiber, Vogel Verlag, Würzburg.

2.1 Licht im Vakuum



2.1

Farbspektrum des sichtbaren Lichts mit Fraunhoferlinien.

Als Licht bezeichnet man elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen etwa 400 nm und 700 nm. Dieser sichtbare Bereich ist in Wirklichkeit nur ein sehr kleiner Teil eines viel breiteren elektromagnetischen Spektrums, das sich im kurzwelligeren Sektor über das UV (Ultraviolett) in den Röntgenbereich bis hin zur Gamma-Strahlung, und im langwelligeren über das IR (Infrarot), den Mikrowellen bis hin zu den Radiowellen fortsetzt. Die klassische Theorie der elektromagnetischen Strahlung wurde 1864 von Maxwell in Gestalt der nach ihm benannten Gleichungen aufgestellt, und deren moderne Inkarnation, die Quantenelektrodynamik, stammt aus den späten 1940er-Jahren.

Beiden Ansätzen zufolge erfährt das Licht im Vakuum keinerlei *Dispersion*, d. h. die *Wellenlänge* λ ist mit der *Frequenz* ν über eine Konstante c verknüpft,

$$\lambda \cdot \nu = c, \quad (2.1)$$

die als Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, $c = 2.997\,924\,58 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$, definiert ist²⁾.

²⁾ Einige der neueren Ansätze einer vereinheitlichten Quantengravitation liefern sehr wohl Hinweise auf eine mögliche

Das sichtbare Spektrum umfasst den Farbbereich zwischen dem kurzwelligen Violett bis hin zum langwelligen Rot. Zur Definition einzelner Wellenlängen benutzt man traditionell die *Fraunhoferlinien*, die der Optiker Fraunhofer³⁾ bei der Spektralzerlegung des Sonnenlichts erstmals um 1814 gesichtet hatte, von Wollaston⁴⁾ jedoch bereits 1802 beschrieben worden waren. Diese *Absorptionslinien* entstehen durch chemische Elemente, die in Spuren in den Atmosphären der Sonne und der Erde vorkommen. Passiert das Licht auf seinem Weg von der Sonne zur Erde diese Atmosphären, so werden die Elemente bei ganz spezifischen Frequenzen angeregt, in denen die Intensität des Lichts dann geschwächt erscheint: Die angeregten Ionen re-emittieren zwar Licht derselben Wellenlängen, aber in zufällige Richtungen, woraus die Abdunklung in Blickrichtung der Sonne resultiert. Da sich viele dieser Linien sehr einfach im Labor erzeugen lassen, eignen sie sich hervorragend zu Messzwecken und zur Kalibration von Instrumenten. Die wichtigsten Linien sind mit Buchstaben benannt, etwa die G-Linie des Eisens (430.790 nm), die D-Doppellinie des Natriums (588.997 nm und 589.594 nm) oder die C-Linie des Wasserstoffs (656.281 nm).

2.2 Brechungsgesetz

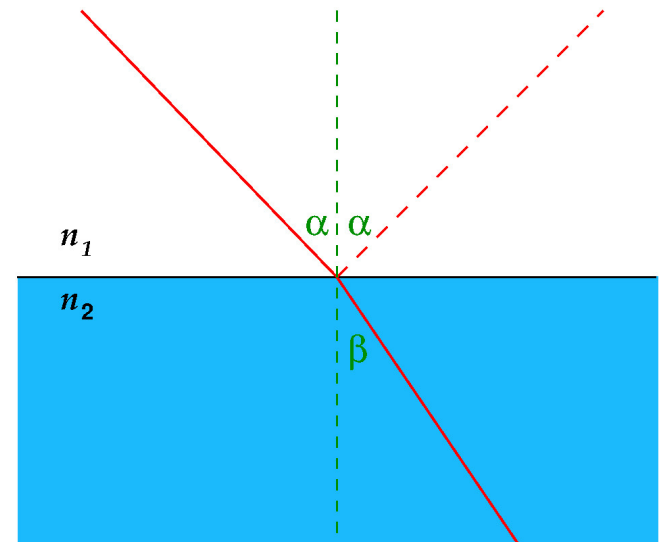
Die geometrische Optik ist ein Fachgebiet, das sich mit dem Verhalten von Licht in unterschiedlichen Medien beschäftigt. Man spricht deshalb von *geometrisch*, weil man hier von der Annahme ausgeht, das Licht als einen Strahl betrachten zu können, dessen Verlauf bestimmten geometrischen Gesetzen genügt. Dies ist bemerkenswert, denn Licht ist ja eine sehr komplexe elektromagnetische Schwingungserscheinung, deren Eigenschaften unter Verwendung

Vakuumdispersion, also Frequenzabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit, die jedoch, falls vorhanden, verschwindend gering ausfällt.

³⁾ Joseph von Fraunhofer, 1787–1826

⁴⁾ William Hyde Wollaston, 1766–1828

der sehr viel komplizierteren Maxwell'schen Feldgleichungen berechnet werden müssen. Die geometrische Optik funktioniert dennoch erstaunlich gut, was damit zu tun hat, dass die Wellenlängen des sichtbaren Lichts sehr viel kleiner sind als die optischen Bauelemente, mit denen wir im Alltag hantieren.



2.2

Ein Lichtstrahl (rot) beim Übergang zwischen Medien unterschiedlicher optischer Dichten. Es findet eine Brechung statt (durchgezogene Linie) sowie eine Reflexion (gestrichelte Linie).

Den Kern der geometrischen Optik bildet das Brechungsgesetz, das in Europa durch Arbeiten des Holländers Willebrord van Roijen Snell im frühen 17. Jahrhundert bekannt wurde und daher bis heute *Snelliussches Brechungsgesetz* genannt wird⁵⁾. Es liefert das Verhältnis zwischen Einfallswinkel und Ausfallswinkel der Lichtstrahlen an der Grenzfläche zweier Medien mit unterschiedlichen Brechzahlen n_1 und n_2 . Auf die Abbildung 2.2 bezogen erhält

⁵⁾ Das Gesetz war im persischen Raum bereits im 10. Jahrhundert bekannt, wie ein handschriftlicher Text von Abu Sad al-Ala ibn Sahl (um 940–1000) belegt.