

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 Dachkantensysteme | 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 |

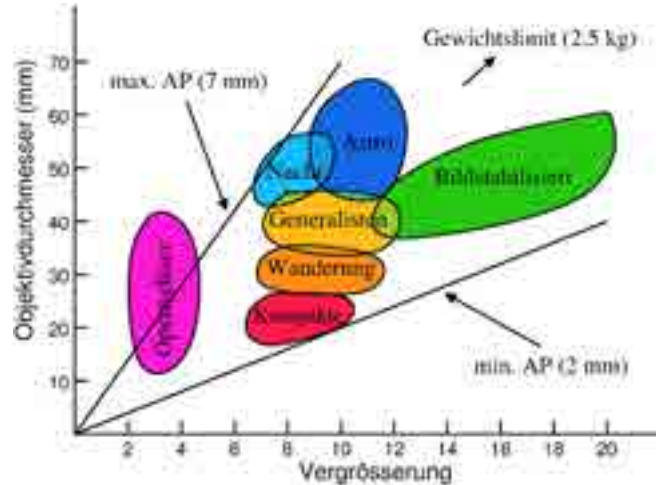
| | | |
|-------|--|-----|
| 9.13 | KOMZ 6x24 BPC | 149 |
| 9.14 | Leitz 6x24 Trinovid | 149 |
| 9.15 | Chinesisches 2.3x40 Opernglas | 151 |
| 9.16 | 2.3x40 Opernglas (Schnittbild) | 151 |
| 9.17 | Sony Digitalfernglas | 151 |
| | | |
| 10.1 | Unterwassertest | 154 |
| 10.2 | Ente im Wasser | 156 |
| 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 Objektivdurchmesser zwischen 15–70 mm (Abbildung 1.1). Begrenzende 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 Anwendungsprofile 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 technischen Optik zu liefern, und daher soll hier auf eine allzu formale Begriffsbildung zugunsten eines intuitiven Verständnisses des Abbildungsvorgangs verzichtet werden. In den folgenden beiden Kapiteln zur Funktionsweise des Teleskops und der Umkehrsysteme 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 vorgestellt. 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 Funktionsweise des Auges als optisches Instrument, und anschließend die Retina in ihren Eigenschaften als Sensor sowie als erste Instanz der Informationsverarbeitung 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 Handfernglases unter Berücksichtigung seines Einsatzbereiches erlaubt.

Der dritte Teil dieses Buches ist der Fernglaspraxis gewidmet. Anwendungsprofile, Test und Kauf eines geeigneten Fernglases 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 Fernglases und des Fernglassehens auf unterhaltsame, manchmal auch anspruchsvolle Weise vertiefen mag.

Teil I

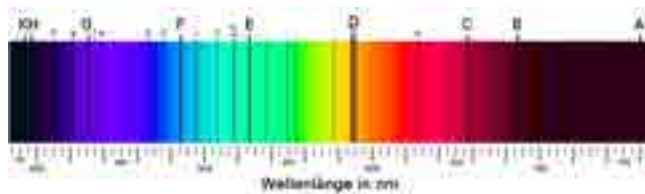
Grundlagen zur Fernglastechnik

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

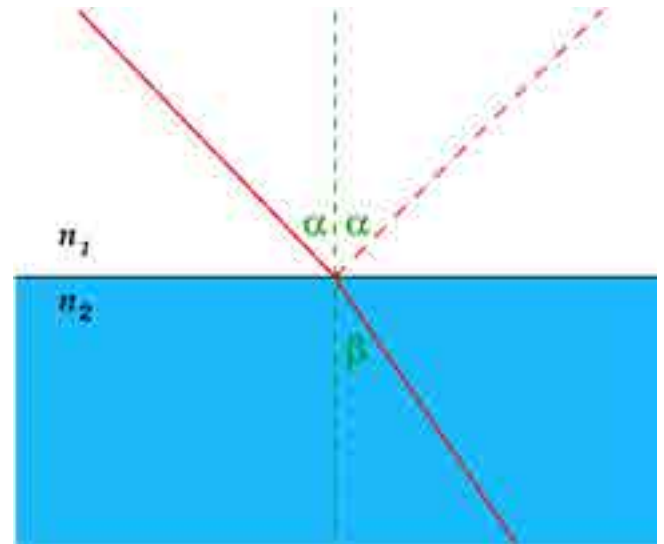
Die geometrische Optik ist ein Fachgebiet, das sich mit dem Verhalten von Licht in unterschiedlichen Medien beschäftigt. Man spricht deshalb von *geometrisch*, weil man hier von der Annahme ausgeht, das Licht als einen Strahl betrachten zu können, dessen Verlauf bestimmten geometrischen Gesetzen genügt. 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 Austrittswinkel 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.