

---

Kamprath-Reihe

Professor Dipl.-Phys. Gottfried Schröder  
Professor Dr. Hanskarl Treiber

# Technische Optik

Grundlagen und Anwendungen

9., erweiterte Auflage

Vogel Buchverlag

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> . . . . .	5	2.5.3	Astigmatismus und Bildfeldwölbung . . .	49
<b>Verwendete Größen und ihre Formelzeichen</b> . . . . .	10	2.5.4	Koma . . . . .	50
<b>Auswahl wichtiger Gleichungen</b> . . . . .	11	2.5.5	Verzeichnungsfehler . . . . .	50
<b>Zahlenbeispiele zur optischen Abbildung</b> . . . . .	12	2.5.6	Farbfehler . . . . .	51
<b>1 Lichtausbreitung und optische Abbildung</b> . . . . .	13	2.5.7	Achromate und ähnliche Bauelemente . . .	53
1.1 Licht . . . . .	13	2.6	Anwendung asphärischer Flächen . . . . .	54
1.2 Wellenoptik . . . . .	14	2.7	Bestimmung des Strahlenverlaufs im nicht paraxialen Gebiet . . . . .	57
1.3 Strahlenoptik . . . . .	15	2.7.1	Strahldurchrechnung . . . . .	57
1.4 Optische Abbildung . . . . .	17	2.7.2	Strahldurchzeichnung . . . . .	58
1.4.1 Definition der optischen Abbildung . . . . .	17	2.8	Reflexion und Reflexminderung . . . . .	59
1.4.2 Größen zur Beschreibung der Abbildung . . . . .	18	<b>3 Bündelbegrenzung</b> . . . . .	61	
1.4.2.1 Bezeichnungsregeln und Vorzeichensystem . . . . .	18	3.1	Wirkung der Blenden . . . . .	61
1.4.2.2 Definition der wichtigsten Größen . . . . .	19	3.2	Eigenschaften von Pupillen und Luken . . . . .	62
1.4.3 Paraxialgebiet . . . . .	20	3.3	Kenngrößen der Bündelbegrenzung . . . . .	65
1.4.4 Zeichnerische Bestimmung der Bildlage . . . . .	21	3.4	Feldlinsen und Kondensoren . . . . .	66
1.4.5 Abbildungsgleichungen . . . . .	22	<b>4 Strahlung, Lichtquellen und Empfänger</b> . . . . .	69	
<b>2 Abbildende Bauelemente</b> . . . . .	25	4.1	Beschreibung von Ausbreitung und Empfang optischer Strahlung . . . . .	69
2.1 Werkstoffe . . . . .	25	4.1.1	Strahlungsphysikalische Größen . . . . .	69
2.1.1 Optische Gläser . . . . .	25	4.1.2	Bewertung der Strahlung durch beliebige Empfänger . . . . .	70
2.1.2 Kristalle . . . . .	27	4.1.3	Lichttechnische Größen . . . . .	72
2.1.3 Kunststoffe . . . . .	27	4.1.4	Beschreibung des Strahlungsdurchgangs durch Medien . . . . .	73
2.2 Sphärische Flächen, Linsen, mehrstufige Systeme . . . . .	28	4.2	Lichtstrom, Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte bei der optischen Abbildung . . . . .	76
2.2.1 Eine sphärische Fläche . . . . .	28	4.2.1	Direkte Beleuchtung einer Empfängerfläche . . . . .	76
2.2.2 Durchrechnung einer Folge sphärischer Flächen . . . . .	29	4.2.2	Lichtstrom und Beleuchtungsstärke bei einstufiger Abbildung . . . . .	77
2.2.3 Linsen . . . . .	33	4.2.3	Beleuchtungsstärke-Abfall zum Feldrand . . . . .	78
2.2.4 Mehrstufige Systeme . . . . .	36	4.2.4	Bildleuchtdichte und geometrischer Fluß . . . . .	78
2.3 Planflächen, Planplatten, Reflexionsprismen und Strahlenteiler . . . . .	38	4.3	Lichtquellen . . . . .	80
2.3.1 Eine Planfläche . . . . .	38	4.3.1	Allgemeine Eigenschaften . . . . .	80
2.3.2 Planparallelplatte . . . . .	38	4.3.2	Glühlampen . . . . .	82
2.3.3 Planspiegelsysteme und Reflexionsprismen . . . . .	39	4.3.3	Entladungslampen . . . . .	85
2.3.4 Strahlenteiler . . . . .	43	4.3.4	Lumineszenzdioden . . . . .	86
2.4 Prismen mit Bündelablenkung durch Brechung . . . . .	44	4.3.5	Laser . . . . .	87
2.4.1 Bündelablenkung . . . . .	44	4.4	Auge . . . . .	90
2.4.2 Winkeldispersion . . . . .	45	4.4.1	Das Auge als abbildendes System . . . . .	90
2.4.3 Prismenkeile . . . . .	45	4.4.2	Das Auge als Strahlungsempfänger . . . . .	91
2.5 Abbildungsfehler . . . . .	46	4.4.3	Auflösungsvermögen . . . . .	92
2.5.1 Öffnungsfehler . . . . .	46	4.5	Lichtelektrische Empfänger . . . . .	93
2.5.2 Sinusbedingung . . . . .	48	4.5.1	Allgemeine Eigenschaften . . . . .	93

4.5.2	Eigenschaften verschiedener Empfängerarten . . . . .	93	6.7.2	Sucher . . . . .	148
4.5.3	Abbildung der Leuchtfläche auf die Empfängerfläche . . . . .	94	6.8	Mikroskope . . . . .	149
4.6	Fotoschichten . . . . .	95	6.8.1	Aufbau und Vergrößerung . . . . .	150
4.6.1	Allgemeine Eigenschaften . . . . .	95	6.8.2	Auflösungsvermögen und förderliche Vergrößerung . . . . .	151
4.6.2	Empfindlichkeit und Schwärzungskurve . . . . .	95	6.8.3	Beleuchtungsverfahren . . . . .	152
4.6.3	Auflösungsvermögen . . . . .	96	6.8.4	Objektive und Okulare . . . . .	153
			6.8.5	Weitere Hilfsmittel der technischen Mikroskope . . . . .	154
<b>5</b>	<b>Faseroptik und weitere Bauelemente</b> . . . . .	<b>97</b>	6.8.6	Elektronische Bildauswertung . . . . .	<b>155</b>
5.1	Faseroptik . . . . .	97			
5.1.1	Eigenschaften der Einzelfaser . . . . .	97	<b>7</b>	<b>Interferenz- und Spektralgeräte, Farben, Gitter, Holografie</b> . . . . .	<b>157</b>
5.1.2	Faserbündel zur Lichtleitung . . . . .	100	7.1	Lichtinterferenzen . . . . .	157
5.1.3	Geordnete Faserbündel zur Bildübertragung . . . . .	102	7.2	Längenmessung mit Interferenzen . . . . .	159
5.2	Bildschirme . . . . .	104	7.3	Oberflächenprüfung mit Interferenzen . . . . .	161
5.3	Filter und Farbteiler . . . . .	106	7.4	Spektralgeräte . . . . .	162
5.3.1	Absortionsfilter . . . . .	106	7.4.1	Übersicht, Auflösungsvermögen . . . . .	162
5.3.2	Fototropes Absorptionsglas . . . . .	108	7.4.2	Spektroskope, Spektrometer, Spektrografen . . . . .	164
5.3.3	Interferenzfilter und Farbteiler . . . . .	108	7.4.3	Monochromatoren und Spektralfotometer . . . . .	164
<b>6</b>	<b>Optische Instrumente</b> . . . . .	<b>111</b>	7.5	Farbmetrik und Farbmessung . . . . .	166
6.1	Vergrößerung und Auflösungsgrenze . . . . .	111	7.5.1	Grundlagen der Farbmetrik . . . . .	166
6.1.1	Vergrößerung optischer Instrumente . . . . .	111	7.5.2	Subtraktive und additive Farbmischung . . . . .	166
6.1.2	Durch Beugung bedingte Grenze des Auflösungsvermögens . . . . .	112	7.5.3	Kennzeichnung einer Farbe durch Maßzahlen . . . . .	167
6.2	Beleuchtungssysteme, Scheinwerfer . . . . .	113	7.5.4	Farbartdarstellung in der Farbtafel . . . . .	168
6.2.1	Übersicht über Beleuchtungssysteme . . . . .	115	7.5.5	Farbmeßverfahren . . . . .	169
6.2.2	Einzelheiten zum Kondensoraufbau . . . . .	117	7.6	Gitter . . . . .	170
6.2.3	Scheinwerfer . . . . .	118	7.6.1	Beugungsgitter . . . . .	170
6.3	Projektoren . . . . .	120	7.6.2	Weitere Anwendungen von Gittern . . . . .	171
6.3.1	Bildprojektoren . . . . .	120	7.6.3	Moiré-Verfahren . . . . .	172
6.3.2	Technische Kleinprojektoren . . . . .	122	7.7	Holografie . . . . .	173
6.3.3	Meßprojektoren . . . . .	123			
6.4	Fotografische Optik . . . . .	125	<b>8</b>	<b>Polarisation</b> . . . . .	<b>177</b>
6.4.1	Schärfentiefe . . . . .	125	8.1	Polarisationszustände . . . . .	177
6.4.2	Objektive für fotografische Geräte . . . . .	126	8.1.1	Übersicht . . . . .	177
6.4.3	Kinematografische Zeitraffung und Zeitdehnung . . . . .	130	8.1.2	Allgemeine Darstellung . . . . .	177
6.4.4	Aufnahme und Wiedergabe stereoskopischer Bilder . . . . .	132	8.1.3	Poincaré-Kugel . . . . .	179
6.5	Lupen und Okulare . . . . .	135	8.1.4	Stokes-Vektoren . . . . .	179
6.5.1	Vergrößerung und Bauarten der Lupen . . . . .	135	8.2	Polarisationsverfahren . . . . .	180
6.5.2	Okulare . . . . .	136	8.2.1	Übersicht; Reflexion . . . . .	180
6.6	Fernrohre . . . . .	138	8.2.2	Anisotrope Medien; Doppelbrechung . . . . .	180
6.6.1	Aufbau und Kenngröße . . . . .	138	8.2.3	Optische Aktivität . . . . .	183
6.6.2	Beobachtungsfernrohre . . . . .	139	8.3	Bauelemente der Polarisation . . . . .	183
6.6.3	Kollimatoren und Autokollimationsfernrohre . . . . .	140	8.3.1	Polarisatoren . . . . .	183
6.6.4	Fluchtfernrohre . . . . .	143	8.3.2	Verzögerungsplatten . . . . .	184
6.6.5	Weitere technische Fernrohre . . . . .	145	8.3.3	Anwendung der Viertelwellenplatte . . . . .	186
6.7	Entfernungsmesser und Sucher . . . . .	146	8.3.4	Depolarisatoren . . . . .	186
6.7.1	Entfernungsmesser . . . . .	146	8.4	Anwendungen der Polarisation . . . . .	187
			8.4.1	Spannungsoptik . . . . .	187
			8.4.2	Weitere Anwendungsbeispiele . . . . .	188

<b>9</b>	<b>Bestimmung einiger Daten</b>				
	<b>optischer Systeme</b>	191	(6.1.2)	Beugende Kreisblende	212
9.1	Krümmungsradien	191	(6.2)	Abbildungsfehler	212
9.2	Brennweiten	192	(6.3)	Messung der Bildqualität	213
9.3	Schnittweiten und Hauptpunktlagen	193	(7)	<b>Parameter von Licht- und Strahlungsquellen</b>	213
9.4	Pupillendurchmesser	194	(7.1)	Formelzeichen und Einheiten	213
9.5	Übertragungsfunktion optischer Systeme	195	(7.2)	Raumwinkel $\Omega$	214
	<b>Formelsammlung</b>	197	(7.3)	Radiometrische und fotometrische Größen und Einheiten	215
(1)	<b>Bezeichnungen in der Technischen Strahlenoptik nach DIN 1335</b>	197	(7.3.1)	Das Ten Times Law	216
(2)	<b>Vorzeichenfestlegung nach DIN 1335</b>	198	(7.3.2)	Radiometrie und Fotometrie	216
(3)	<b>Allgemeine Formeln</b>	200	(7.3.3)	Ausgangsleistung $\Phi$	216
(3.1)	Brechzahl $n$	200	(7.3.4)	Ausgangsleistung je Raumwinkel $I$	216
(3.2)	Lichtgeschwindigkeit	200	(7.3.5)	Ausgangsleistung je Raumwinkel und strahlende Flächeneinheit $L$	216
(3.3)	Abbé'sche Zahl	200	(7.3.6)	Eingangsleistung je Flächeneinheit $E$	217
(3.4)	Brechungsgesetz	200	(7.3.7)	Weitere radiometrische und fotometrische Größen	217
(3.5)	Reflexionsgesetz	201	(8)	<b>Eigenschaften optischer Systeme</b>	217
(3.6)	Reflexion an transparenten Medien	201	(8.1)	Objektivtypen	217
(3.7)	Transmission bei $k$ Flächen	202	(8.2)	Bildhelligkeit als Funktion der Objektweite	217
(3.8)	Verringerung des Reflexionsgrades durch Interferenzschichten	202	(8.3)	Helligkeitsverteilung in der Bildebene	218
(4)	<b>Abbildung im Gauß'schen Bereich</b>	203	(8.4)	Schärfentiefe	218
(4.1)	Brechende und reflektierende Einzelfläche	203	(9)	<b>Optische Instrumente</b>	219
(4.1.1)	Abbé'sche Invariante der Brechung	203	(9.1)	Vergrößerung	219
(4.1.2)	Brennweite	203	(9.2)	Lupe, Leseglas	219
(4.1.3)	Brennpunktbezogene Abbildung	203	(9.3)	Mikroskop	220
(4.1.4)	Abbildungsmaßstab $\beta'$	203	(9.4)	Fernrohr	220
(4.1.5)	Winkelverhältnis $\gamma'$	204	(9.5)	Fotoapparat, Camcorder	220
(4.1.6)	Tiefenmaßstab $\alpha'$	204	(9.6)	Spektralapparat	221
(4.2)	Folge brechender und reflektierender Einzelflächen	204	(9.6.1)	Gitterspektralapparat	221
(4.2.1)	Rekursionsformeln	204	(9.6.2)	Prismenspektralapparat	221
(4.3)	Optische Systeme	205	(10)	<b>Optoelektronik</b>	222
(4.3.1)	Optische Systeme mit Medien unterschiedlicher Brechzahl vor und nach dem System ( $n' \neq n$ )	205	(10.1)	Licht- und Strahlungsquellen	222
(4.3.2)	Optische Systeme mit Medien gleicher Brechzahl vor und nach dem System ( $n' = n$ )	206	(10.1.1)	Spektrale Verteilung	222
(4.4)	Optische Komponenten in Luft	207	(10.1.2)	Wirkungsgrad, Lichtausbeute	222
(4.4.1)	Dicke Linsen in Luft ( $n' = n = 1$ )	207	(10.1.3)	Räumliche Licht- und Strahlstärkeverteilung	222
(4.4.2)	Dünne Linsen in Luft	208	(10.1.4)	Polarisationsgrad	223
(4.4.3)	2 optische Systeme in Luft	208	(10.2)	Fotoempfänger	223
(4.4.4)	Afokale Systeme	209	(10.2.1)	Empfindlichkeit	223
(4.4.5)	Verminderung der Baulänge	209	(10.2.2)	Visuelle Bewertung	223
(4.4.6)	Systemkennwerte bei beliebiger Anzahl von Komponenten	210	(11)	<b>Näherungsformeln für die Berechnung von Linsendaten</b>	224
(5)	<b>Bündelbegrenzung</b>	210	(12)	<b>Bildkonstruktion</b>	226
(5.1)	Öffnung	210		<b>Abkürzungen aus der technischen Optik, Elektronik, Datentechnik</b>	228
(5.2)	Feld	211		<b>Wörterbuch der Fachbegriffe</b>	234
(6)	<b>Abbildungsqualität</b>	212		<b>Deutsch-Englisch</b>	234
(6.1)	Beugung	212		<b>Englisch-Deutsch</b>	256
(6.1.1)	Beugung am Spalt	212		<b>Literaturverzeichnis</b>	279
				<b>Auswahl einiger DIN-Normen</b>	283
				<b>Stichwortverzeichnis</b>	285