

F. Pedrotti · L. Pedrotti · W. Bausch · H. Schmidt

Optik für Ingenieure

Grundlagen

4., bearbeitete Auflage

Mit 407 Abbildungen und 28 Tabellen

 Springer

Inhaltsverzeichnis

1	Was ist Licht?	1
2	Erzeugung und Messung von Licht	9
2.1	Elektromagnetisches Spektrum	9
2.2	Strahlungsphysikalische Größen (Radiometrie)	10
2.3	Lichttechnische Größen (Fotometrie)	16
2.4	Schwarzer Strahler (Hohlraumstrahler)	19
2.5	Optische Strahlungsquellen	22
2.6	Strahlungsdetektoren	31
3	Geometrische Optik	41
3.1	Huygensches Prinzip	43
3.2	Das Fermatsche Prinzip	47
3.3	Umkehrung des Lichtweges	51
3.4	Brechung an einer ebenen Grenzfläche	51
3.5	Abbildung durch ein optisches System	53
3.6	Brechung an einer sphärischen Fläche – Vorzeichenkonvention ...	58
3.7	Dünne Linsen	64
3.8	Krümmung von Wellenfronten und Brechwert von Linsen	70
3.9	Newtonsche Abbildungsgleichung für die Linse	72
3.10	Reflexion an ebenen Spiegeln	73
3.11	Reflexion an einer Kugeloberfläche	76
4	Matrixmethoden der paraxialen Optik	85
4.1	Die dicke Linse	85
4.2	Die Matrixmethode	90
4.3	Die Translationsmatrix	91
4.4	Die Brechungsmatrix	92
4.5	Die Reflexionsmatrix	94

4.6	Die Matrizen für dicke und dünne Linsen	95
4.7	Systemmatrix	97
4.8	Bedeutung der Elemente der Systemmatrix	100
4.9	Lage der Hauptpunkte eines optischen Systems	103
4.10	Beispiele zur Systemmatrix und den Hauptpunkten	107
4.11	Raytracing	109
5	Abbildungsfehler	115
5.1	Strahl- und Wellenaberrationen	116
5.2	Brechung an einer Kugelfläche (Seidelsche Näherung)	118
5.3	Sphärische Aberration/ Öffnungsfehler	124
5.4	Koma	128
5.5	Astigmatismus und Bildfeldwölbung	131
5.6	Verzeichnung	134
5.7	Chromatische Aberration/Farbfehler	137
6	Optische Instrumente	147
6.1	Blenden, Pupillen und Luken	147
6.1.1	Bildhelligkeit: Blenden und Pupillen	148
6.1.2	Hauptstrahl	151
6.1.3	Gesichtsfeld	153
6.2	Prismen	156
6.3	Die Kamera	170
6.4	Lupen und Okulare	176
6.5	Mikroskope	184
6.6	Fernrohre	191
7	Optik des Auges	205
7.1	Aufbau des Auges	206
7.2	Das Auge als optisches Instrument	208
7.3	Funktion des Auges	211
7.4	Augenfehler und ihre Korrektur	216
7.5	Lasertherapie	223
8	Wellengleichungen	233
8.1	Eindimensionale Wellengleichung	233
8.2	Harmonische Wellen	235
8.3	Komplexe Zahlen	239
8.4	Harmonische Wellen in komplexer Darstellung	242
8.5	Ebene Wellen	243
8.6	Kugelwellen	245
8.7	Elektromagnetische Wellen	245
8.7.1	Feldstärke und Geschwindigkeit	245

8.7.2	Maxwellsche Gleichungen	248
8.7.3	Intensität	250
8.8	Doppler-Effekt	253
9	Interferenz von Wellen	259
9.1	Superpositionsprinzip	260
9.2	Überlagerung gleichlaufender, gleichfrequenter Wellen	261
9.3	Kohärente und inkohärente Sender	267
9.4	Interferenz ebener Wellen beliebiger Frequenz und Richtung ...	268
9.5	Stehende Wellen	270
9.6	Interferenz „schräger“ Wellen	271
9.7	Phasen- und Gruppengeschwindigkeit	274
10	Lichtinterferenz	281
10.1	Zweistrahlinterferenz	282
10.2	Der Youngsche Doppelspalt-Versuch	286
10.3	Doppelspaltinterferenz mit virtuellen Quellen	291
10.4	Interferenz an dielektrischen Schichten	293
10.5	Interferenzen gleicher Dicke	299
10.6	Newton-Ringe	300
10.7	Dickenmessung mittels Interferenz	303
11	Optische Interferometrie	309
11.1	Das Michelson-Interferometer	310
11.2	Anwendungen des Michelson-Interferometers	314
11.3	Modifikationen des Michelson-Interferometers	316
11.4	Stokes-Beziehungen	318
11.5	Vielstrahlinterferenz an einer Planplatte	320
11.6	Fabry-Perot-Interferometer	323
11.7	Streifenprofil: Airy-Funktion	326
11.8	Auflösungsvermögen	328
11.9	Nutzbarer Spektralbereich	331
12	Kohärenz	337
12.1	Fourier-Reihen	337
12.2	Fourier-Integrale	343
12.3	Fourier-Analyse endlicher Wellenzüge	346
12.4	Zeitliche Kohärenz und natürliche spektrale Linienbreite	353
12.5	Teilkohärenz	354
12.6	Räumliche Kohärenz	361
12.7	Räumlicher Kohärenzbereich	363

13 Holografie	371
13.1 Konventionelle und holografische Fotografie	371
13.2 Hologramm einer Punktquelle	373
13.3 Hologramm eines ausgedehnten Gegenstandes	376
13.4 Eigenschaften des Hologramms	381
13.5 Weißlicht-Hologramme	381
13.6 Weitere Anwendungen der Holografie	383
14 Matrixbeschreibung der Polarisation	389
14.1 Beschreibung von polarisiertem Licht mit Jones-Vektoren	390
14.2 Matrizendarstellung von Polarisatoren	406
15 Erzeugung von polarisiertem Licht	421
15.1 Dichroismus: Polarisation durch selektive Absorption	421
15.2 Polarisation bei Reflexion an dielektrischen Oberflächen	425
15.3 Polarisation durch Streuung	428
15.4 Anisotropie der Brechzahl	432
15.5 Doppelbrechung	437
15.6 Optische Aktivität	442
15.7 Spannungsoptik	447
15.8 Polarisation durch Flüssigkristalle	449
16 Fraunhofer-Beugung	459
16.1 Beugung am Einzelspalt	461
16.2 Beugungsbedingte Strahldivergenz	466
16.3 Rechteck- und Kreisblenden	468
16.4 Auflösungsvermögen	472
16.5 Beugung am Doppelspalt	478
16.6 Gitterbeugung	482
17 Das Beugungsgitter	493
17.1 Die Gittergleichung	493
17.2 Nutzbarer Spektralbereich eines Gitters	495
17.3 Dispersion des Gitters	497
17.4 Auflösungsvermögen des Gitters	499
17.5 Gittertypen	501
17.6 Blaze-Technik für Gitter	504
17.7 Gitterkopien	509
17.8 Interferenzgitter (holografische Gitter)	510
17.9 Gitterinstrumente	512

18 Fresnel-Beugung	519
18.1 Fresnel-Kirchhoffsches Beugungsintegral	520
18.2 Kriterium für Fresnel-Beugung	524
18.3 Fresnel-Beugung an Kreisblenden	526
18.4 Fresnelsche Zonenplatte	529
18.5 Fresnel-Beugung an Rechteckaperturen	533
18.6 Die Cornu-Spirale	535
18.7 Anwendungen der Cornu-Spirale	538
18.8 Babinetsches Prinzip	546
19 Interferenz an Mehrfachschichten	553
19.1 Transfer-Matrix	554
19.2 Reflexion bei senkrechtem Einfall des Lichtes	559
19.3 Reflexminderung durch zwei Schichten	561
19.4 Reflexminderung durch drei Schichten	565
19.5 Hochreflektierende Schichten	566
20 Fresnelsche Gleichungen	573
20.1 Die Fresnelschen Formeln	573
20.2 Reflexion an optisch dichteren und dünneren Medien	579
20.2.1 Reflexion und Transmission bei $n < n'$	580
20.2.2 Reflexion und Transmission bei $n > n'$	583
20.3 Phasenänderung bei Reflexion	583
20.4 Energieerhaltung	589
20.5 Evaneszente Wellen	590
20.6 Komplexe Brechzahl	593
20.7 Metallreflexion	595
21 Grundlagen der Laser	601
21.1 Einsteins Quantentheorie der Strahlung	602
21.2 Wesentliche Komponenten des Lasers	609
21.3 Laserprinzip	613
21.4 Eigenschaften des Laserlichtes	618
21.4.1 Einfarbigkeit	618
21.4.2 Kohärenz	623
21.4.3 Strahldivergenz	626
21.4.4 Laserintensität	630
21.4.5 Fokussierbarkeit	633
21.5 Lasertypen	638

22	Eigenschaften von Laserstrahlen	641
22.1	Die dreidimensionale Wellengleichung und elektromagnetische Wellen	642
22.2	Fresnel-Näherung von Kugelwellen	643
22.3	Der Gaußsche Strahl	645
22.4	Strahltaille und Wellenfront des Gaußschen Strahls	648
22.5	Stabile und instabile Laserresonatoren	653
22.6	Laserstrahlausbreitung durch beliebige optische Systeme	655
22.7	Gaußsche Strahlen höherer Ordnung	665
23	Laseranwendungen	673
23.1	Laserwirkungen	674
23.2	Laser und Information	682
23.3	Gegenwärtige Entwicklungen	689
24	Faseroptik	693
24.1	Anwendungen	694
24.2	Optische Übertragungssysteme	694
24.3	Bandbreite und Übertragungsrate	698
24.4	Lichtausbreitung in Fasern	698
24.5	Erlaubte Moden	702
24.6	Dämpfung	705
24.7	Signalverzerrung	710
24.7.1	Modendispersion der Stufenindexfaser	710
24.7.2	Gradientenindexfaser und deren Modendispersion	712
24.7.3	Materialdispersion	713
24.7.4	Wellenleiterdispersion und maximale Bitraten	717
24.8	GRIN-Optik	719
24.9	Richtkoppler	723
25	Fourier-Optik	731
25.1	Optische Abbildung und Signalverarbeitung	732
25.1.1	Fraunhofer-Beugung und Fourier-Transformation	732
25.1.2	Ortsfrequenzanalyse	736
25.1.3	Optische Filterung	740
25.1.4	Optische Korrelation	742
25.1.5	Optische Abbildung als Faltung	746
25.1.6	Systembeschreibung mit Hilfe der Übertragungsfunktion ..	752
25.1.7	Modulationsübertragungsfunktion der perfekten Abbildung	755
25.2	Fourier-Spektroskopie	758

26 Nichtlineare Optik und Lichtmodulation	765
26.1 Nichtlineare Medien	766
26.2 Frequenzverdopplung	767
26.3 Frequenzmischung und Brechzahlmodulation	773
26.4 Der Pockels-Effekt	776
26.5 Der Kerr-Effekt	783
26.6 Faraday-Effekt	785
26.7 Akustooptische Effekte	788
26.8 Nichtlineare optische Phasenkongjugation	793
27 Optische Konstanten	803
27.1 Definition der optischen Konstanten	804
27.2 Mikroskopische Theorie der optischen Konstanten	808
27.3 Optische Konstanten der Dielektrika	815
27.3.1 Dispersion von Gläsern	815
27.3.2 Optische Konstanten der Ionenkristalle	818
27.4 Optische Eigenschaften der Metalle	821
27.5 Plasmafrequenz	824
Index	835