

Inhalt

Vorwort	V
1 Ein kurzer Ausflug in die Geschichte	1
1.1 Vorbemerkung	1
1.2 Die Ursprünge	1
1.3 Vom siebzehnten Jahrhundert an	4
1.4 Das neunzehnte Jahrhundert	8
1.5 Das zwanzigste Jahrhundert	13
2 Die Wellenbewegung	19
2.1 Eindimensionale Wellen	20
2.1.1 Die Differentialgleichung einer Welle	24
2.2 Harmonische Wellen	28
2.3 Phase und Phasengeschwindigkeit	35
2.4 Das Superpositionsprinzip	40
2.5 Die komplexe Darstellung	43
2.6 Zeiger und die Addition von Wellen	46
2.7 Ebene Wellen	49
2.8 Die dreidimensionale Wellengleichung	57
2.9 Kugelwellen	59
2.10 Zylinderwellen	63
2.11 Verdrilltes Licht	65
Aufgaben	67
3 Theorie des Elektromagnetismus, Photonen und Licht	77
3.1 Die Grundgleichungen des Elektromagnetismus	78
3.1.1 Das faradaysche Induktionsgesetz	79
3.1.2 Der gaußsche Satz für das elektrische Feld	84
3.1.3 Der gaußsche Satz für das magnetische Feld	87
3.1.4 Das ampèresche Verkettungsgesetz	87
3.1.5 Die maxwellschen Gleichungen	92
3.2 Elektromagnetische Wellen	97
3.2.1 Transversalwellen	100
3.3 Energie und Impuls	104

3.3.1	Der Poynting-Vektor	104
3.3.2	Die Bestrahlungsstärke	109
3.3.3	Photonen	113
3.3.4	Strahlungsdruck und Impuls	124
3.4	Strahlung	128
3.4.1	Linear beschleunigte Ladungen	130
3.4.2	Synchrotronstrahlung	132
3.4.3	Elektrische Dipolstrahlung	135
3.4.4	Die Emission von Licht durch Atome	138
3.5	Licht in Materie	142
3.5.1	Dispersion	146
3.6	Das elektromagnetische Spektrum	158
3.6.1	Radiowellen	158
3.6.2	Mikrowellen	160
3.6.3	Infrarotstrahlung	162
3.6.4	Sichtbares Licht	164
3.6.5	Ultraviolettes Licht	167
3.6.6	Röntgenstrahlung	168
3.6.7	Gammastrahlung	170
3.7	Quantenfeldtheorie	170
	Aufgaben	173
4	Die Ausbreitung des Lichts	181
4.1	Einführung	181
4.2	Rayleigh-Streuung	182
4.2.1	Streuung und Interferenz	185
4.2.2	Die Transmission von Licht durch dichte Medien	187
4.2.3	Transmission und Brechungsindex	192
4.3	Reflexion	197
4.3.1	Das Reflexionsgesetz	199
4.4	Brechung	204
4.4.1	Das Brechungsgesetz	205
4.4.2	Das huygenssche Prinzip	217
4.4.3	Lichtstrahlen und Normalkongruenz	220
4.5	Das fermatsche Prinzip	222
4.6	Der elektromagnetische Ansatz	231
4.6.1	Wellen an einer Grenzfläche	231
4.6.2	Die fresnelschen Gleichungen	234
4.6.3	Interpretation der fresnelschen Gleichungen	239
4.7	Innere Totalreflexion	253
4.7.1	Die abklingende Welle	256
4.8	Optische Eigenschaften von Metallen	263

4.9	Alltägliche Aspekte der Wechselwirkung zwischen Licht und Materie	269
4.10	Die stokesche Behandlung der Reflexion und Brechung	279
4.11	Photonen, Wellen und Wahrscheinlichkeit	281
4.11.1	Quantenelektrodynamik	284
4.11.2	Photonen und die Gesetze der Reflexion und Brechung	287
	Aufgaben	288
5	Geometrische Optik	303
5.1	Einführung	303
5.2	Linsen	305
5.2.1	Asphärische Flächen	306
5.2.2	Brechung an Kugelflächen	310
5.2.3	Dünne Linsen	316
5.3	Blenden	349
5.3.1	Apertur- und Feldblenden	349
5.3.2	Eintritts- und Austrittspupillen	350
5.3.3	Das Öffnungsverhältnis und die Blendenzahl	356
5.4	Spiegel	359
5.4.1	Ebene Spiegel	360
5.4.2	Asphärische Spiegel	365
5.4.3	Sphärische Spiegel	368
5.5	Prismen	377
5.5.1	Dispersionsprismen	377
5.5.2	Reflexionsprismen	381
5.6	Faseroptik	386
5.6.1	Technologie der Glasfaserübertragung	393
5.7	Optische Systeme	407
5.7.1	Das Auge	408
5.7.2	Die Brille	414
5.7.3	Die Lupe	424
5.7.4	Okulare	428
5.7.5	Das Mikroskop	430
5.7.6	Die Kamera	433
5.7.7	Das Fernrohr	437
5.8	Wellenfrontumformung	452
5.8.1	Adaptive Optik	453
5.8.2	Phasenkonjugation	458
5.9	Gravitationslinsen	461
	Aufgaben	464
6	Geometrische Optik: Weiterführende Themen	481
6.1	Dicke Linsen und Linsensysteme	481
6.2	Strahlenverlaufsberechnung	488

6.2.1	Matrizenmethoden	490
6.3	Aberrationen	505
6.3.1	Monochromatische Aberrationen	506
6.3.2	Chromatische Aberrationen	528
6.4	GRIN-Systeme	538
6.5	Abschließende Bemerkungen	543
	Aufgaben	544
7	Superposition von Wellen	549
7.1	Die Addition von Wellen gleicher Frequenz	550
7.1.1	Die algebraische Methode	550
7.1.2	Die komplexe Methode	557
7.1.3	Zeigeraddition	558
7.1.4	Stehende Wellen	561
7.2	Die Addition von Wellen verschiedener Frequenz	570
7.2.1	Schwebungen	571
7.2.2	Gruppengeschwindigkeit	574
7.3	Anharmonische periodische Wellen	584
7.3.1	Fourierreihen	584
7.4	Nichtperiodische Wellen	603
7.4.1	Fourier-Integrale	606
7.4.2	Impulse und Wellenpakete	610
7.4.3	Die Kohärenzlänge	615
7.4.4	Diskrete Fourier-Transformation	620
	Aufgaben	632
8	Polarisation	643
8.1	Die Natur des polarisierten Lichts	643
8.1.1	Lineare Polarisation	644
8.1.2	Zirkulare Polarisation	648
8.1.3	Elliptische Polarisation	651
8.1.4	Natürliches Licht	654
8.1.5	Der Drehimpuls und das Photonenbild	655
8.2	Polarisatoren	657
8.2.1	Das malussche Gesetz	658
8.3	Dichroismus	660
8.3.1	Der Drahtgitterpolarisator	660
8.3.2	Dichroitische Kristalle	662
8.3.3	Das Polaroidfilter	663
8.4	Doppelbrechung	668
8.4.1	Kalkspat	670
8.4.2	Doppelbrechende Kristalle	677

8.4.3	Doppelbrechende Polarisatoren	683
8.5	Streuung und Polarisation	686
8.5.1	Polarisation durch Streuung	687
8.6	Polarisation durch Reflexion	689
8.6.1	Eine Anwendung der fresnelschen Gleichungen	693
8.7	Verzögerungsplättchen	696
8.7.1	Phasenplättchen und Rhomboeder	697
8.7.2	Kompensatoren	708
8.8	Zirkularpolarisatoren	709
8.9	Polarisation von polychromatischem Licht	711
8.9.1	Bandbreite und Kohärenzzeit einer polychromatischen Welle	711
8.9.2	Interferenzfarben	713
8.10	Optische Aktivität	714
8.10.1	Ein Modell	719
8.10.2	Optisch aktive Biomoleküle	721
8.11	Erzwungene optische Effekte – Optische Modulatoren	722
8.11.1	Photoelastizität	722
8.11.2	Der Faraday-Effekt	724
8.11.3	Der Kerr-Effekt und der Pockels-Effekt	727
8.12	Flüssigkristalle	731
8.13	Eine mathematische Beschreibung der Polarisation	735
8.13.1	Die stokeschen Parameter	736
8.13.2	Die Jones-Vektoren	739
8.13.3	Die Jones-Matrizen und die Mueller-Matrizen	742
	Aufgaben	745
9	Interferenz	759
9.1	Allgemeine Betrachtungen	760
9.1.1	Nahfeld / Fernfeld	766
9.2	Interferenzbedingungen	767
9.2.1	Zeitliche und räumliche Kohärenz	768
9.2.2	Die Fresnel-Arago-Gesetze	771
9.3	Interferometer mit Wellenfrontaufspaltung	772
9.3.1	Das youngsche Doppelspaltexperiment	773
9.4	Interferometer mit Amplitudenaufspaltung	794
9.4.1	Dielektrische Schichten – Zweistrahinterferenz	794
9.4.2	Spiegel-Interferometer	811
9.5	Typen und Lokalisierung von Interferenzmustern	823
9.6	Mehrstrahlinterferenz	826
9.6.1	Das Fabry-Perot-Interferometer	834
9.7	Anwendungen von Ein- und Mehrschichtfilmen	842
9.7.1	Mathematische Behandlung	843

9.7.2	Reflexmindernde Schichten	847
9.7.3	Periodische Mehrschichtsysteme	849
9.8	Anwendungen der Interferometrie	852
9.8.1	Streulichtinterferenz	852
9.8.2	Das Twyman-Green-Interferometer	856
9.8.3	Das rotierende Sagnac-Interferometer	857
9.8.4	Radarinterferometrie	859
	Aufgaben	863
10	Beugung	873
10.1	Einleitende Betrachtungen	873
10.1.1	Undurchsichtige Hindernisse	877
10.1.2	Fraunhofer- und Fresnelbeugung	879
10.1.3	Mehrere kohärente Oszillatoren	882
10.2	Fraunhoferbeugung	887
10.2.1	Beugung am Einzelspalt	887
10.2.2	Beugung am Doppelspalt	903
10.2.3	Beugung an vielen Spalten	909
10.2.4	Beugung an einer rechteckigen Öffnung	924
10.2.5	Beugung an einer kreisrunden Öffnung	929
10.2.6	Das Auflösungsvermögen abbildender Systeme	937
10.2.7	Der Besselstrahl nullter Ordnung	942
10.2.8	Das Beugungsgitter	945
10.3	Fresnelbeugung	960
10.3.1	Die freie Ausbreitung einer Kugelwelle	960
10.3.2	Die Vibrationskurve	966
10.3.3	Kreisförmige Öffnungen	968
10.3.4	Kreisförmige Hindernisse	978
10.3.5	Die fresnelsche Zonenplatte	981
10.3.6	Die fresnelschen Integrale und die Beugung am rechteckigen Loch	986
10.3.7	Die Cornu-Spirale	991
10.3.8	Fresnelbeugung am Spalt	997
10.3.9	Beugung am halbunendlichen, undurchsichtigen Schirm	1002
10.3.10	Beugung an einem schmalen Hindernis	1005
10.3.11	Das Prinzip von Babinet	1007
10.4	Die skalare Beugungstheorie von Kirchhoff	1009
10.5	Beugungswellen	1014
	Aufgaben	1016
11	Fourier-Optik	1029
11.1	Einleitung	1029
11.2	Fourier-Transformierte	1030

11.2.1	Eindimensionale Transformierte	1030
11.2.2	Zweidimensionale Transformierte	1035
11.2.3	Die diracsche Delta-Funktion	1041
11.3	Optische Anwendungen	1049
11.3.1	Zweidimensionale Bilder	1049
11.3.2	Lineare Systeme	1055
11.3.3	Das Faltungsintegral	1060
11.3.4	Fourier-Methoden in der Beugungstheorie	1077
11.3.5	Spektren und Korrelation	1085
11.3.6	Übertragungsfunktionen	1099
	Aufgaben	1109
12	Grundlagen der Kohärenztheorie	1117
12.1	Einführung	1117
12.2	Muster und Kohärenz	1121
12.2.1	Beugung und verschwindende Streifen	1127
12.3	Die Sichtbarkeit	1129
12.4	Die wechselseitige Kohärenzfunktion und der Kohärenzgrad	1138
12.4.1	Zeitliche und räumliche Kohärenz	1143
12.5	Kohärenz und Stellarinterferometrie	1146
12.5.1	Das Michelson-Stellarinterferometer	1146
12.5.2	Korrelationsinterferometrie	1151
	Aufgaben	1157
13	Moderne Optik	1163
13.1	Laser und Laserstrahlung	1163
13.1.1	Strahlungsenergie und Materie im Gleichgewicht	1164
13.1.2	Induzierte Emission	1172
13.1.3	Der Laser	1180
13.1.4	Fantastisches Licht	1206
13.2	Das Bild als räumliche Verteilung optischer Information	1214
13.2.1	Raumfrequenzen	1214
13.2.2	Die abbesche Bildentstehungstheorie	1219
13.2.3	Räumliche Filterung	1222
13.2.4	Phasenkontrast	1229
13.2.5	Die Dunkelfeld- und die Schlierenmethode	1235
13.3	Holografie	1238
13.3.1	Verfahren	1238
13.3.2	Entwicklungen und Anwendungen	1253
13.4	Nichtlineare Optik	1262
13.4.1	Optische Gleichrichtung	1264
13.4.2	Erzeugung von Harmonischen	1264

XVIII	<i>Inhalt</i>
13.4.3 Frequenzmischung	1268
13.4.4 Selbstfokussierung von Licht	1269
Aufgaben	1271
Anhang 1: Theorie des Elektromagnetismus	1281
Anhang 2: Kirchhoffsche Beugungstheorie	1287
Lösungen ausgewählter Aufgaben	1289
Literatur	1335
Sachverzeichnis	1343