

Inhalt

Vorwort	V
Verwendete Symbole	XVI
1 Ein kurzer Ausflug in die Geschichte	1
1.1 Vorbemerkung	1
1.2 Die Ursprünge	1
1.3 Vom siebzehnten Jahrhundert an	3
1.4 Das neunzehnte Jahrhundert	6
1.5 Das zwanzigste Jahrhundert	11
2 Die Wellenbewegung	17
2.1 Eindimensionale Wellen	18
2.1.1 Die Differenzialgleichung einer Welle	22
2.2 Harmonische Wellen	25
2.3 Phase und Phasengeschwindigkeit	30
2.4 Das Superpositionsprinzip	34
2.5 Die komplexe Darstellung	36
2.6 Zeiger und die Addition von Wellen	39
2.7 Ebene Wellen	42
2.8 Die dreidimensionale Wellengleichung	47
2.9 Kugelwellen	49
2.10 Zylinderwellen	53
Aufgaben	55
3 Theorie des Elektromagnetismus, Photonen und Licht	63
3.1 Die Grundgleichungen der Theorie des Elektromagnetismus	64
3.1.1 Das faradaysche Induktionsgesetz	65
3.1.2 Der gaußsche Satz für das elektrische Feld	69
3.1.3 Der gaußsche Satz für das magnetische Feld	72
3.1.4 Das ampèresche Verkettungsgesetz	73
3.1.5 Die maxwellschen Gleichungen	77
3.2 Elektromagnetische Wellen	78
3.2.1 Transversalwellen	82
3.3 Energie und Impuls	85

3.3.1	Der Poynting-Vektor	85
3.3.2	Die Bestrahlungsstärke	89
3.3.3	Photonen	91
3.3.4	Strahlungsdruck und Impuls	100
3.4	Strahlung	104
3.4.1	Linear beschleunigte Ladungen	104
3.4.2	Synchrotronstrahlung	107
3.4.3	Elektrische Dipolstrahlung	110
3.4.4	Die Emission von Licht durch Atome	113
3.5	Licht in Materie	117
3.5.1	Dispersion	120
3.6	Das elektromagnetische Spektrum	129
3.6.1	Radiowellen	131
3.6.2	Mikrowellen	131
3.6.3	Infrarotstrahlung	133
3.6.4	Sichtbares Licht	135
3.6.5	Ultraviolettes Licht	137
3.6.6	Röntgenstrahlung	139
3.6.7	Gammastrahlung	140
3.7	Quantenfeldtheorie	141
	Aufgaben	144
4	Die Ausbreitung des Lichts	151
4.1	Einführung	151
4.2	Rayleigh-Streuung	152
4.2.1	Streuung und Interferenz	154
4.2.2	Die Fortpflanzung des Lichts in dichten Medien	157
4.2.3	Transmission und Brechungsindex	161
4.3	Reflexion	165
4.3.1	Das Reflexionsgesetz	167
4.4	Brechung	172
4.4.1	Das Brechungsgesetz	173
4.4.2	Das huygenssche Prinzip	179
4.4.3	Lichtstrahlen und Normalkongruenz	181
4.5	Das fermatsche Prinzip	182
4.6	Der elektromagnetische Ansatz	191
4.6.1	Wellen an einer Grenzfläche	191
4.6.2	Die fresnelschen Gleichungen	193
4.6.3	Interpretation der fresnelschen Gleichungen	198
4.7	Innere Totalreflexion	209
4.7.1	Die abklingende Welle	212
4.8	Optische Eigenschaften von Metallen	217
4.9	Alltägliche Aspekte der Wechselwirkung zwischen Licht und Materie	224
4.10	Die stokessche Behandlung der Reflexion und Brechung	231

4.11	Photonen, Wellen und Wahrscheinlichkeit	233
4.11.1	Quantenelektrodynamik	236
	Aufgaben	240
5	Geometrische Optik	253
5.1	Einführung	253
5.2	Linsen	255
5.2.1	Asphärische Flächen	255
5.2.2	Brechung an Kugelflächen	260
5.2.3	Dünne Linsen	264
5.3	Blenden	288
5.3.1	Apertur- und Feldblenden	288
5.3.2	Eintritts- und Austrittspupillen	289
5.3.3	Das Öffnungsverhältnis und die Blendenzahl	291
5.4	Spiegel	293
5.4.1	Ebene Spiegel	294
5.4.2	Asphärische Spiegel	298
5.4.3	Sphärische Spiegel	301
5.5	Prismen	308
5.5.1	Dispersionsprismen	308
5.5.2	Reflexionsprismen	312
5.6	Faseroptik	317
5.6.1	Technologie der Glasfaserübertragung	323
5.7	Optische Systeme	331
5.7.1	Das Auge	331
5.7.2	Die Brille	337
5.7.3	Die Lupe	345
5.7.4	Okulare	349
5.7.5	Das Mikroskop	351
5.7.6	Die Kamera	354
5.7.7	Das Fernrohr	359
5.8	Wellenfrontumformung	370
5.8.1	Adaptive Optik	371
5.8.2	Phasenkonjugation	376
5.9	Gravitationslinsen	379
	Aufgaben	382
6	Geometrische Optik: Weiterführende Themen	397
6.1	Dicke Linsen und Linsensysteme	397
6.2	Strahlenverlaufsberechnung	403
6.2.1	Matrizenmethoden	405
6.3	Aberrationen	414
6.3.1	Monochromatische Aberrationen	415
6.3.2	Chromatische Aberrationen	438

6.4	Gradient-Index-Systeme	448
6.5	Abschließende Bemerkungen	453
	Aufgaben	453
7	Überlagerung von Wellen	457
7.1	Die Addition von Wellen gleicher Frequenz	458
7.1.1	Die algebraische Methode	458
7.1.2	Die komplexe Methode	465
7.1.3	Zeigeraddition	466
7.1.4	Stehende Wellen	469
7.2	Die Addition von Wellen verschiedener Frequenz	477
7.2.1	Schwebungen	477
7.2.2	Gruppengeschwindigkeit	481
7.3	Anharmonische periodische Wellen	492
7.3.1	Fourierreihen	492
7.4	Nichtperiodische Wellen	502
7.4.1	Fourier-Integrale	502
7.4.2	Impulse und Wellenpakete	506
7.4.3	Die Kohärenzlänge	511
7.4.4	Diskrete Fourier-Transformation	515
	Aufgaben	521
8	Polarisation	529
8.1	Die Natur des polarisierten Lichts	529
8.1.1	Lineare Polarisation	530
8.1.2	Zirkulare Polarisation	532
8.1.3	Elliptische Polarisation	533
8.1.4	Natürliches Licht	536
8.1.5	Der Drehimpuls und das Photonenbild	537
8.2	Polarisatoren	539
8.2.1	Das malussche Gesetz	540
8.3	Dichroismus	542
8.3.1	Der Drahtgitterpolarisator	542
8.3.2	Dichroitische Kristalle	543
8.3.3	Das Polaroidfilter	544
8.4	Doppelbrechung	547
8.4.1	Kalkspat	549
8.4.2	Doppelbrechende Kristalle	556
8.4.3	Doppelbrechende Polarisatoren	558
8.5	Streuung und Polarisation	560
8.5.1	Polarisation durch Streuung	562
8.6	Polarisation durch Reflexion	564
8.6.1	Eine Anwendung der fresnelschen Gleichungen	568
8.7	Phasenschieber	570

8.7.1	Phasenplättchen und Rhomboeder	570
8.7.2	Kompensatoren	577
8.8	Zirkularpolarisatoren	579
8.9	Polarisation von polychromatischem Licht	580
8.9.1	Bandbreite und Kohärenzzeit einer polychromatischen Welle	580
8.9.2	Interferenzfarben	582
8.10	Optische Aktivität	583
8.10.1	Ein Modell	588
8.10.2	Optisch aktive Biomoleküle	590
8.11	Erzwungene optische Effekte – Optische Modulatoren	591
8.11.1	Photoelastizität	591
8.11.2	Der Faraday-Effekt	593
8.11.3	Der Kerr-Effekt und der Pockels-Effekt	596
8.12	Flüssigkristalle	600
8.13	Eine mathematische Beschreibung der Polarisation	605
8.13.1	Die stokesschen Parameter	605
8.13.2	Die jonesschen Vektoren	608
8.13.3	Die jonesschen und die Mueller-Matrizen	611
	Aufgaben	615
9	Interferenz	627
9.1	Allgemeine Betrachtungen	628
9.2	Interferenzbedingungen	635
9.2.1	Zeitliche und räumliche Kohärenz	635
9.2.2	Die Fresnel-Arago-Gesetze	638
9.3	Interferometer mit Wellenfrontaufspaltung	639
9.3.1	Das youngsche Doppelspaltexperiment	639
9.4	Interferometer mit Amplitudenaufspaltung	650
9.4.1	Dielektrische Schichten – Zweistrahlint interferenz	651
9.4.2	Spiegel-Interferometer	662
9.5	Typen und Lokalisierung von Interferenzmustern	671
9.6	Mehrstrahlinterferenz	674
9.6.1	Das Fabry-Perot-Interferometer	682
9.7	Anwendungen von Ein- und Mehrschichtfilmen	690
9.7.1	Mathematische Behandlung	691
9.7.2	Reflexmindernde Schichten	695
9.7.3	Periodische Mehrschichtsysteme	697
9.8	Anwendungen der Interferometrie	700
9.8.1	Streulichtinterferenz	700
9.8.2	Das Twyman-Green-Interferometer	704
9.8.3	Das rotierende Sagnac-Interferometer	705
9.8.4	Radarinterferometrie	707
	Aufgaben	711

10	Beugung	719
10.1	Einleitende Betrachtungen	719
10.1.1	Das Fresnel-Huygens-Prinzip	720
10.1.2	Undurchsichtige Hindernisse	723
10.1.3	Fraunhofer- und Fresnelbeugung	726
10.1.4	Mehrere kohärente Oszillatoren	728
10.2	Fraunhoferbeugung	733
10.2.1	Beugung am Einzelspalt	733
10.2.2	Beugung am Doppelspalt	740
10.2.3	Beugung an vielen Spalten	745
10.2.4	Beugung an einer rechteckigen Öffnung	751
10.2.5	Beugung an einer kreisrunden Öffnung	756
10.2.6	Das Auflösungsvermögen abbildender Systeme	763
10.2.7	Der Besselstrahl nullter Ordnung	767
10.2.8	Das Beugungsgitter	769
10.3	Fresnelbeugung	783
10.3.1	Die freie Ausbreitung einer Kugelwelle	783
10.3.2	Die Vibrationskurve	790
10.3.3	Kreisförmige Öffnungen	792
10.3.4	Kreisförmige Hindernisse	797
10.3.5	Die fresnelsche Zonenplatte	799
10.3.6	Die fresnelschen Integrale und die Beugung am rechteckigen Loch	803
10.3.7	Die Cornu-Spirale	807
10.3.8	Fresnelbeugung am Spalt	813
10.3.9	Beugung am halbumendlichen, undurchsichtigen Schirm	817
10.3.10	Beugung an einem schmalen Hindernis	819
10.3.11	Das Prinzip von Babinet	821
10.4	Die skalare Beugungstheorie von Kirchhoff	823
10.5	Beugungswellen	828
	Aufgaben	831
11	Fourier-Optik	839
11.1	Einleitung	839
11.2	Fourier-Transformierte	840
11.2.1	Eindimensionale Transformierte	840
11.2.2	Zweidimensionale Transformierte	844
11.2.3	Die diracsche Delta-Funktion	850
11.3	Optische Anwendungen	858
11.3.1	Lineare Systeme	858
11.3.2	Das Faltungsintegral	863
11.3.3	Fourier-Methoden in der Beugungstheorie	872
11.3.4	Spektren und Korrelation	880
11.3.5	Übertragungsfunktionen	891
	Aufgaben	900

12	Grundlagen der Kohärenztheorie	905
12.1	Einführung	905
12.2	Die Sichtbarkeit	909
12.3	Die wechselseitige Kohärenzfunktion und der Kohärenzgrad	917
12.3.1	Zeitliche und räumliche Kohärenz	922
12.4	Kohärenz und Stellarinterferometrie	924
12.4.1	Das Michelson-Stellarinterferometer	924
12.4.2	Korrelationsinterferometrie	927
	Aufgaben	933
13	Moderne Optik	937
13.1	Laser und Laserstrahlung	937
13.1.1	Strahlungsenergie und Materie im Gleichgewicht	938
13.1.2	Induzierte Emission	945
13.1.3	Der Laser	951
13.1.4	Das Wunder Laserlicht	970
13.2	Das Bild als räumliche Verteilung optischer Information	978
13.2.1	Raumfrequenzen	978
13.2.2	Die abbescche Bildentstehungstheorie	982
13.2.3	Räumliche Filterung	985
13.2.4	Phasenkontrast	993
13.2.5	Die Dunkelfeld- und die Schlierenmethode	999
13.3	Holographie	1002
13.3.1	Verfahren	1002
13.3.2	Entwicklungen und Anwendungen	1017
13.4	Nichtlineare Optik	1024
13.4.1	Optische Gleichrichtung	1026
13.4.2	Erzeugung von Harmonischen	1027
13.4.3	Frequenzmischung	1030
13.4.4	Selbstfokussierung von Licht	1032
	Aufgaben	1032
Anhang 1: Theorie des Elektromagnetismus		1041
1	Die maxwellschen Gleichungen in differenzieller Form	1041
2	Elektromagnetische Wellen	1042
Anhang 2: Kirchhoffsche Beugungstheorie		1047
Lösungen ausgewählter Aufgaben		1049
Literatur		1099
Sachverzeichnis		1107