

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	IX
<b>1 Licht als elektromagnetische Welle .....</b>	<b>1</b>
1.1 Das elektromagnetische Feld .....	3
1.2 Die Wellengleichung .....	6
1.3 Ausbreitungsgeschwindigkeit .....	10
1.3.1 Phasengeschwindigkeit .....	10
1.3.2 Gruppengeschwindigkeit .....	11
1.3.3 Strahlgeschwindigkeit .....	13
1.4 Energietransport .....	14
1.4.1 Intensität .....	15
1.4.2 Energieaustausch Feld/Materie .....	17
1.4.3 Energietransport: ebene Wellen .....	18
1.4.4 Energietransport: inhomogene Wellen .....	19
1.5 Polarisationszustände des Lichts .....	21
1.5.1 Jones-Formalismus .....	22
1.5.2 Polarisationsoptische Komponenten .....	24
1.5.3 Transformation von Jones-Vektoren und -Matrizen .....	31
1.5.4 Elliptisch polarisierte Zustände .....	34
1.5.5 Poincaré-Kugel .....	36
Referenzen und weiterführende Literatur .....	39
<b>2 Ebene Wellen in Materie .....</b>	<b>41</b>
2.1 Übergang zwischen verschiedenen Medien .....	42
2.1.1 Phasenanpassung .....	42
2.1.2 Periodisch modulierte Grenzflächen .....	45
2.1.3 Reflexions- und Transmissionskoeffizienten .....	47
2.1.4 Reflektivität und Transmissivität .....	51
2.1.5 Totalreflexion .....	55

2.2	Ausbreitungsindex und Absorption .....	59
2.2.1	Lineares Oszillator-Modell .....	60
2.2.2	Absorption und Reflexion .....	63
2.2.3	Freies Elektronengas-Modell der Metalle .....	67
2.2.4	Kramers-Kronig-Beziehungen .....	70
2.3	Wellenausbreitung in anisotropen Medien .....	73
2.3.1	Transformation von Tensoren .....	74
2.3.2	Ordentliche und außerordentliche Wellen .....	79
2.3.3	Elektrooptische Modulatoren .....	92
2.3.4	Flüssigkristall-Bauelemente .....	95
2.4	Spezielle Ausbreitungseffekte .....	98
2.4.1	Optische Aktivität .....	98
2.4.2	Magnetooptischer Faraday-Effekt .....	100
2.4.3	Wellenausbreitung in bewegten Medien .....	104
	Referenzen und weiterführende Literatur .....	106
<b>3</b>	<b>Optische Strahlen und Impulse .....</b>	<b>109</b>
3.1	Strahlausbreitung .....	109
3.1.1	Paraxiale Wellengleichung .....	109
3.1.2	Gauß-Strahlen .....	110
3.1.3	Charakteristische Parameter .....	117
3.1.4	Optische Elemente im Gauß-Strahl .....	119
3.1.5	ABCD-Matrixformalismus .....	129
3.1.6	Hermite-Gauß-Strahlen .....	138
3.2	Fourier-Optik .....	140
3.2.1	Transferfunktion .....	141
3.2.2	Zweidimensionale Impulsantwort .....	144
3.2.3	Fourier-Transformation durch Fernfeld-Ausbreitung .....	146
3.2.4	Fourier-Transformation durch eine Sammellinse .....	147
3.2.5	Einlinsensystem mit Pupille .....	149
3.2.6	Spektrometer .....	152
3.3	Impulsausbreitung .....	154
3.3.1	Impulscharakterisierung .....	155
3.3.2	Dispersive Ausbreitungseffekte .....	158
3.3.3	Nichtlineare Ausbreitungseffekte .....	167
3.3.4	Kombination nichtlinearer und dispersiver Effekte .....	172
	Referenzen und weiterführende Literatur .....	174
<b>4</b>	<b>Interferenz .....</b>	<b>177</b>
4.1	Zweistrahlint interferenz .....	177
4.1.1	Interferenz durch Wellenfront-Teilung .....	179
4.1.2	Interferenz durch Amplituden-Teilung .....	180
4.1.3	S-Matrix .....	185
4.2	Vielstrahlinterferenz .....	188
4.2.1	Optische Liniengitter .....	190
4.2.2	Fabry-Perot-Interferometer .....	192

4.2.3	T-Matrix . . . . .	196
4.2.4	Dielektrische Vielschichtsysteme . . . . .	199
4.2.5	Laser-Speckles und Photon-'Bunching' . . . . .	204
4.3	Resonatoren . . . . .	208
4.3.1	Sphärische Spiegel-Resonatoren . . . . .	210
4.3.2	Elektromagnetische Zustandsdichte . . . . .	215
4.4	Kohärenz . . . . .	216
4.4.1	Zeitliche Kohärenz . . . . .	216
4.4.2	Räumliche Kohärenz . . . . .	221
	Referenzen und weiterführende Literatur . . . . .	223
<b>5</b>	<b>Dielektrische Wellenleiter . . . . .</b>	<b>225</b>
5.1	Planarer Wellenleiter . . . . .	226
5.1.1	Eigenmoden . . . . .	227
5.1.2	Transversales Modenprofil . . . . .	231
5.1.3	Wellenleiterdispersion . . . . .	233
5.2	Glasfaser-Wellenleiter . . . . .	234
5.2.1	Gradientenindex-Glasfaser-Wellenleiter . . . . .	235
5.2.2	Stufenindex-Glasfaser-Wellenleiter . . . . .	237
5.2.3	Verluste und Dispersion . . . . .	243
5.3	Wellenleiterintegrierte Optik . . . . .	248
5.3.1	Wellenleiterkoppler . . . . .	249
5.3.2	Schalter und Filter . . . . .	257
5.3.3	Kopplungskoeffizient . . . . .	259
5.3.4	Wellenleitergitter . . . . .	260
5.3.5	Wellenleiter-Interferometer und -Modulatoren . . . . .	270
5.3.6	Aktive Wellenleiterkomponenten . . . . .	273
	Referenzen und weiterführende Literatur . . . . .	276
<b>6</b>	<b>Wechselwirkung Licht/Materie . . . . .</b>	<b>277</b>
6.1	Atomare Systeme . . . . .	277
6.1.1	Störungsrechnung . . . . .	279
6.1.2	Periodische Störung . . . . .	281
6.1.3	Goldene Regel von Fermi . . . . .	282
6.1.4	Wirkungsquerschnitt . . . . .	285
6.1.5	Homogene Linienverbreiterung . . . . .	287
6.1.6	Inhomogene Linienverbreiterung . . . . .	289
6.2	Ratengleichungen . . . . .	291
6.2.1	Spontane Emission . . . . .	292
6.2.2	Absorption und stimulierte Emission . . . . .	295
6.2.3	Lichtverstärkung durch stimulierte Emission . . . . .	297
6.3	Sättigungseffekte . . . . .	302
6.3.1	Sättigung der Verstärkung . . . . .	302
6.3.2	Sättigung der Absorption . . . . .	303
6.3.3	Sättigung und Linienform . . . . .	305
6.3.4	Absorption und Verstärkung von Lichtimpulsen . . . . .	306

6.4	Optische Wechselwirkung mit Halbleitern	309
6.4.1	Intrinsische Halbleiter	309
6.4.2	Energie-Eigenzustände	311
6.4.3	Dotierung	312
6.4.4	Rekombination	313
6.4.5	Optische Übergänge in Halbleitern	315
6.4.6	Zustandsdichten	317
6.4.7	(Quasi)-Fermi-Verteilung	321
6.4.8	<i>Quantum wells, -wires und -dots</i>	331
6.4.9	Ladungsträger-induzierte Ausbreitungsindexänderung	335
	Referenzen und weiterführende Literatur	336
<b>7</b>	<b>Optische Oszillatoren</b>	<b>337</b>
7.1	Stationäres Verhalten	338
7.1.1	Vier-Niveau-Ratengleichungen	338
7.1.2	Laser-Kennlinie	340
7.1.3	Drei-Niveau-Laser	345
7.2	Frequenz- und Zeitverhalten von Lasern	346
7.2.1	Viellinien- und Einzellinienbetrieb	346
7.2.2	Modenauswahl	347
7.2.3	Theoretische Linienbreite	350
7.2.4	Relaxationsoszillationen und Gewinnmodulation	350
7.3	Gepulste Laser	354
7.3.1	Verstärkungs-Schalten	354
7.3.2	Güte-Schalten	356
7.3.3	Modenverkopplung	359
7.4	Atomare und molekulare Laser	364
7.4.1	Atomare Festkörper-Laser	366
7.4.2	Gas-Laser	371
7.5	Halbleiterlaser	374
7.5.1	Homostruktur-Laser	374
7.5.2	Heterostruktur-Laser	378
7.5.3	Ausführungsformen und Betriebseigenschaften	380
7.6	Free electron laser	388
7.6.1	Undulator	388
7.6.2	‘Spontane’ Emission	390
7.6.3	Kopplung Elektron-Lichtfeld, Verstärkung	391
	Referenzen und weiterführende Literatur	395
<b>8</b>	<b>Nichtlineare Optik und Akustooptik</b>	<b>397</b>
8.1	Nichtlineare Suszeptibilität	397
8.2	Frequenzmischung in nichtlinearen Medien	400
8.3	Anharmonischer Oszillator	405
8.4	Nichtlineare Prozesse zweiter Ordnung	408
8.4.1	Frequenzverdopplung	408
8.4.2	Phasenanpassung	413

8.4.3	Intensitäts-Autokorrelation	417
8.4.4	Parametrische Verstärkung	419
8.4.5	Parametrische Frequenzkonversion	425
8.5	Nichtlineare Prozesse dritter Ordnung	426
8.5.1	Frequenzverdreifung	426
8.5.2	Optischer Kerr-Effekt	428
8.5.3	Zwei-Photon Absorption	431
8.5.4	Parametrische Verstärkung	432
8.5.5	Raman-Verstärkung	436
8.5.6	Brillouin-Verstärkung	438
8.5.7	Phasenkonjugation	442
8.6	Elektrooptische Effekte	447
8.6.1	Linearer elektrooptischer Effekt	448
8.6.2	Quadratischer elektrooptischer Effekt	450
8.6.3	Feldinduzierte Frequenzverdopplung	451
8.7	Akustooptik	452
8.7.1	Akustooptische Bragg-Streuung	454
8.7.2	Raman-Nath-Streuung	458
	Referenzen und weiterführende Literatur	461
<b>9</b>	<b>Geometrische Optik</b>	<b>463</b>
9.1	Trajektorien und Eikonal	463
9.1.1	Fermat-Prinzip	464
9.1.2	Eikonal	465
9.1.3	Eikonaloptik als Grenzfall der Wellenoptik	466
9.1.4	Trajektorien im homogenen, isotropen Raum	466
9.1.5	Grenzfläche zwischen Halbräumen	467
9.2	Matrixoptik	467
9.2.1	Transfermatrix	468
9.2.2	Elementare ABCD-Matrizen	469
9.2.3	Systemmatrix	472
9.2.4	Beziehung zur q-Transformation	474
9.2.5	Dünne Linse	474
9.3	Linsensysteme	477
9.3.1	Fokale Systeme	477
9.3.2	Afokale Systeme	482
9.4	Optische Instrumente	483
9.4.1	Kamera	483
9.4.2	Lupe und Okular	492
9.4.3	Teleskop	493
9.4.4	Mikroskop	495
9.5	Hamilton-Optik	497
9.5.1	Phasenraum	497
9.5.2	Transfermatrix im Phasenraum	498
9.5.3	Lagrange-Invariante und Abbe-Sinusbedingung	500

---

Referenzen und weiterführende Literatur .....	502
<b>10 Photodetektion .....</b>	<b>503</b>
10.1 Thermische Detektoren .....	504
10.2 Photoelektrische Detektoren .....	505
10.2.1 Das Photonen-Konzept .....	507
10.2.2 Photomultiplier-Röhren .....	508
10.2.3 Halbleiter-Photodioden .....	512
10.2.4 Photoleiter .....	518
10.3 Detektor Kenngrößen .....	520
10.4 Lichtmesstechnik .....	521
10.4.1 Bestrahlungsstärke .....	521
10.4.2 Strahldichte .....	521
10.4.3 Spektrale Strahldichte .....	527
10.5 Radiometrie und Photometrie .....	529
10.5.1 Augenempfindlichkeit .....	529
10.5.2 Colorimetrie .....	531
10.6 Photonenstatistik .....	535
10.6.1 Thermisches Licht .....	535
10.6.2 Kohärentes Licht .....	537
10.6.3 Fluktuationen .....	538
10.6.4 Bit-Fehlerrate .....	539
Referenzen und weiterführende Literatur .....	540
<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>541</b>