

Dieter Meschede

Optik, Licht und Laser

2., überarbeitete und erweiterte Auflage



Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

Prof. Dr. rer. nat. Dieter Meschede

Studium in Hannover, Köln, Boulder, Co (USA) und München von 1973 bis 1984. Postdoc und Assistant Professor an der Yale University, New Haven, Ct (USA) von 1984 bis 1987. Von 1988 bis 1990 Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching. Professor für Experimentalphysik in Hannover von 1990 bis 1994 und seit 1994 in Bonn.

C 13 a / 138



2007 092

1. Auflage 1999

2., überarbeitete und erweiterte Auflage Dezember 2005

Alle Rechte vorbehalten

© B. G. Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2005

Lektorat: Ulrich Sandten / Kerstin Hoffmann

Der B. G. Teubner Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.
www.teubner.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: Ulrike Weigel, www.CorporateDesignGroup.de
Druck und buchbinderische Verarbeitung: Strauss Offsetdruck, Mörlenbach
Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.
Printed in Germany

ISBN 3-519-13248-6

Inhalt

1	Lichtstrahlen	1
1.1	Lichtstrahlen in menschlicher Erfahrung	1
1.2	Strahlenoptik	2
1.3	Reflexion	2
1.4	Brechung	3
1.5	Fermatsches Prinzip	5
1.6	Prismen	9
1.7	Lichtstrahlen in Glasfasern	12
1.8	Linse und Hohlspiegel	17
1.9	Matrizenoptik	20
1.10	Strahlenoptik und Teilchenoptik	28
2	Wellenoptik	35
2.1	Elektromagnetische Strahlungsfelder	35
2.2	Wellentypen	44
2.3	Gauß-Strahlen	48
2.4	Polarisation	59
2.5	Beugung	62
3	Lichtausbreitung in Materie	83
3.1	Dielektrische Grenzflächen	83
3.2	Komplexe Brechzahl	90
3.3	Lichtwellenleiter	94
3.4	Funktionstypen von Fasern	104
3.5	Photonische Materialien	105

3.6	Lichtpulse in dispersiven Materialien	117
3.7	Anisotrope optische Materialien	128
3.8	Optische Modulatoren	136
4	Abbildungen	149
4.1	Das menschliche Auge	150
4.2	Lupen und Okulare	151
4.3	Mikroskope	153
4.4	Teleskope	160
4.5	Linsen: Bauformen und Fehler	165
5	Kohärenz und Interferometrie	177
5.1	Youngs Doppelspalt	177
5.2	Kohärenz und Korrelation	178
5.3	Der Doppelspaltversuch	182
5.4	Michelson-Interferometer: Longitudinale Kohärenz	188
5.5	Fabry-Perot-Interferometer	194
5.6	Optische Resonatoren	201
5.7	Dünne optische Schichten	207
5.8	Holographie	210
5.9	Speckelmuster	215
6	Licht und Materie	219
6.1	Klassische Strahlungswechselwirkung	220
6.2	Zwei-Niveau-Atome	231
6.3	Stimulierte und spontane Strahlungsprozesse	242
6.4	Inversion und Verstärkung	246
7	Laser	253
7.1	Die Klassiker: Helium-Neon-Laser	256
7.2	Modenselektion im HeNe-Laser	259
7.3	Spektrale Eigenschaften des HeNe-Lasers	264
7.4	Anwendungen des HeNe-Lasers	267

Inhalt		IX
7.5	Andere Gaslaser	267
7.6	Molekülgas-Laser	271
7.7	Die Arbeitspferde: Festkörper-Laser	276
7.8	Ausgewählte Festkörperlaser	280
7.9	Durchstimmbare Laser mit vibronischen Zuständen	288
8	Laserdynamik	297
8.1	Grundzüge einer Lasertheorie	297
8.2	Laser-Ratengleichungen	304
8.3	Schwellenlose Laser und Mikrolaser	308
8.4	Laserrauschen	312
8.5	Gepulste Laser	321
9	Halbleiter-Laser	335
9.1	Halbleiter	335
9.2	Optische Eigenschaften von Halbleitern	338
9.3	Heterostruktur-Laser	348
9.4	Dynamische Eigenschaften von Halbleiterlasern	358
9.5	Laserdioden – Diodenlaser – Lasersysteme	365
9.6	Hochleistungs-Laserdioden	368
10	Sensoren für Licht	373
10.1	Kenngrößen optischer Detektoren	374
10.2	Schwankungen optoelektrischer Meßgrößen	379
10.3	Photonenrauschen und Nachweisgrenzen	381
10.4	Thermische Detektoren	387
10.5	Quantensensoren I: Photomultiplier	389
10.6	Quantensensoren II: Halbleitersensoren	394
10.7	Positions- und Bildsensoren	399
11	Laserspektroskopie	405
11.1	Laserinduzierte Fluoreszenz	405
11.2	Absorption und Dispersion	406

11.3	Die Breite von Spektrallinien	408
11.4	Doppler-freie Spektroskopie	415
11.5	Transiente Phänomene	421
11.6	Lichtkräfte	428
12	Grundzüge der Quantenoptik	443
12.1	Hat das Licht Quantencharakter?	443
12.2	Quantisierung des elektromagnetischen Feldes	445
12.3	Spontane Emission	447
12.4	Schwache Kopplung und starke Kopplung	455
12.5	Resonanzfluoreszenz	458
12.6	Lichtfelder in der Quantenoptik	467
12.7	Zwei-Photonen-Optik	477
12.8	Verschränkte Photonen	481
13	Nichtlineare Optik I: Optische Mischprozesse	491
13.1	Anharmonische geladene Oszillatoren	491
13.2	Nichtlineare Suszeptibilität 2. Ordnung	493
13.3	Wellenausbreitung in nichtlinearen Medien	499
13.4	Frequenzverdopplung	502
13.5	Summen- und Differenzfrequenz	515
14	Nichtlineare Optik II: Vierwellenmischung	523
14.1	Frequenzverdreifachung in Gasen	524
14.2	Nichtlineare Brechzahl – der optische Kerr-Effekt	525
14.3	Selbstphasenmodulation	534
A	Mathematik für die Optik	537
A.1	Spektralzerlegung schwankender Meßgrößen	537
A.2	Poynting-Theorem	543
B	Ergänzungen zur Quantenmechanik	544
B.1	Zeitliche Entwicklung eines Zweizustandssystems	544
B.2	Dichtematrix-Formalismus	545

Inhalt	XI
B.3 Zustandsdichten	546
Literaturverzeichnis	549