

Inhalt

Vorwort	V
1 Einleitung	1
2 Geometrische Optik	2
2.1 Lichtstrahlen, optische Abbildung	2
2.2 Fermat'sches Prinzip	3
2.3 Reflexion von Lichtstrahlen	4
2.3.1 Reflexion an ebenen Flächen	4
2.3.2 Reflexion an gekrümmten Flächen	6
2.4 Brechung des Lichts	10
2.4.1 Brechungsgesetz	10
2.4.2 Dispersion	12
2.4.3 Totalreflexion	15
2.4.4 Prismen	18
2.5 Brechung an gekrümmten Flächen	20
2.5.1 Asphärische Flächen	20
2.5.2 Kugelflächen	22
2.5.2.1 Vorzeichenkonvention in der technischen Optik	22
2.5.2.2 Brechung an einer Kugelfläche	23
2.6 Abbildung durch Linsen	26
2.6.1 Dünne Linsen	26
2.6.2 Dicke Linsen	36
2.6.3 Fresnel-Linsen	42
2.6.4 GRIN-Linsen	44

2.6.5	Linsen mit torischen Flächen	47
2.6.6	Linsensysteme	49
2.7	Matrixmethoden der Gauß'schen Optik	53
2.7.1	Matrizen zur Beschreibung der Strahlausbreitung	54
2.7.2	Matrizen für Linsen	57
2.7.3	Eigenschaften der Systemmatrix	61
2.7.4	Lage der Kardinalpunkte eines optischen Systems	64
2.7.5	Lage der Referenzebenen	70
2.8	Strahlbegrenzungen	71
2.8.1	Blenden und Pupillen	71
2.8.2	Kenngößen der Strahlenbegrenzung	75
2.8.3	Feldblenden und Luken	76
2.8.4	Feldlinsen und Kondensoren	80
2.9	Abbildungsfehler	82
2.9.1	Sphärische Aberration (Öffnungsfehler)	83
2.9.2	Koma (Asymmetriefehler)	89
2.9.3	Astigmatismus und Bildfeldwölbung	91
2.9.4	Verzeichnung	93
2.9.5	Chromatische Aberration (Farbfehler)	95
2.10	Optische Instrumente	98
2.10.1	Optik des menschlichen Auges	98
2.10.2	Lupen und Okulare	104
2.10.3	Mikroskope	110
2.10.4	Fernrohre	121
2.10.5	Fotoapparat	130
3	Radio- und Fotometrie	138
3.1	Strahlungsphysikalische Größen, Radiometrie	138
3.1.1	Grundlagen, Definitionen	138
3.1.2	Strahlungsfelder einfacher Geometrien	148
3.2	Erfassen und Transfer der Strahlung von Lampen und kegelförmig abstrahlenden Lichtquellen in optisch-analytischen Geräten	153
3.2.1	Abstrahl-Charakteristik verschiedener Lichtquellen	153

3.2.2	Technische Ausführung von Lampen für optisch-analytische Messgeräte	155
3.2.3	Ulbricht'sche Integrationskugel	159
3.3	Lichttechnische Größen, Fotometrie	162
3.4	Farbmetrik	167
4	Wellenoptik	180
4.1	Elektromagnetische Wellen	180
4.2	Polarisation des Lichts	185
4.2.1	Polarisationsformen	185
4.2.2	Mathematische Beschreibung des Polarisationszustands	187
4.2.3	Polarisationsoptische Komponenten	191
4.2.4	Optische Aktivität	201
4.2.5	Elektro- und magnetooptische Effekte	204
4.2.6	Anwendungen der Doppelbrechung	211
4.3	Lichtwellen an Grenzflächen	217
4.3.1	Fresnel'sche Gleichungen	217
4.3.2	Übergang vom optisch dünnen ins optisch dichte Medium	221
4.3.3	Übergang vom optisch dichten ins optisch dünne Medium	223
4.3.4	Wellen in absorbierenden Medien	231
4.4	Interferenz	240
4.4.1	Zweistrahl-Interferenz	240
4.4.2	Kohärenz	243
4.4.3	Gruppengeschwindigkeit	248
4.4.4	Interferenz einander schräg durchdringender Wellen	252
4.4.5	Stehende Wellen	253
4.4.6	Interferenzen an dielektrischen Schichten	256
4.4.7	Interferenzen an dielektrischen Vielfachschichten	264
4.4.8	Interferometer	271
4.4.9	Vielstrahlinterferenzen	274
4.5	Beugung	281
4.5.1	Huygens-Fresnel'sches Prinzip	281
4.5.2	Beugung am Spalt und an der Lochblende	283

4.5.3	Auflösungsvermögen beugungsbegrenzter Instrumente	287
4.5.4	Beugung am Gitter	293
4.6	Gauß'sche Strahlen	305
4.6.1	Feldverteilung im Gauß-Strahl	305
4.6.2	Laser-Resonatoren	309
4.6.3	Durchgang Gauß'scher Strahlen durch optische Komponenten . .	311
4.7	Holografie	316
4.7.1	Aufnahme eines Hologramms und Rekonstruktion des Bildes . .	317
4.7.2	Technische Anwendungen der Holografie	325
5	Quantenoptik	329
5.1	Lichtquanten	329
5.2	Welle-Teilchen-Dualismus	334
5.3	Absorption und Emission von Licht	336
5.4	Laser	341
5.4.1	Laserprinzip	341
5.4.2	Lasertypen	347
6	Optoelektronik	351
6.1	Halbleiter-Sender	352
6.1.1	Strahlungsemission aus Halbleitern	352
6.1.2	Lumineszenzdioden (LEDs)	354
6.1.3	Laserdioden (Injektionslaser)	362
6.2	Halbleiter-Detektoren	377
6.2.1	Strahlungsabsorption in Halbleitern	377
6.2.2	Gütekriterien von Detektoren	379
6.2.3	Fotowiderstand	381
6.2.4	Fotodiode	383
7	Führung von Licht in Lichtwellenleitern	392
7.1	Einleitung	392
7.2	Schichtwellenleiter	393
7.2.1	Strahlenbild	393
7.2.2	Wellenbild	396

7.3	Wellen in zylindrischen Fasern	398
7.3.1	Stufenindex-Faser	398
7.3.2	Einmodenfaser	405
7.3.3	Gradientenfaser	408
7.4	Dämpfung in Lichtwellenleitern	411
7.5	Dispersion im Lichtwellenleiter	416
7.5.1	Modendispersion	417
7.5.2	Chromatische Dispersion	422
7.6	Lichtleiter in praktischen Anwendungen	426
8	Beleuchtungstechnik	434
8.1	Einleitung	434
8.2	Lichttechnische Größen	435
8.3	Lichtquellen	439
8.3.1	Lampen	439
8.3.2	Leuchten	440
8.4	Optische Systeme zur Beleuchtung	441
8.4.1	Beleuchtung im Innenraum	441
8.4.2	Beleuchtung im Außenraum	447
8.4.3	Signalisation	453
8.4.4	Informationsträger	462
8.5	Simulation und Berechnungsprogramme	464
8.5.1	DIALux	464
8.5.2	ReluxSuite	466
8.5.3	Weitere Simulationssoftware für den Innenbereich	466
8.6	Spezielle Kapitel der Beleuchtungstechnik	467
8.6.1	Wirkung des Lichts auf den Menschen	467
8.6.2	Lichtverschmutzung	468
9	Lasieranwendungen	472
9.1	Laser in der Materialbearbeitung	473
9.1.1	Laserstrahlquellen	473
9.1.1.1	Festkörperlaser	473

9.1.1.2	Halbleiterlaser (Diodenlaser)	478
9.1.1.3	Gaslaser	479
9.1.2	Strahlqualität	482
9.1.3	Wechselwirkung Strahlung mit Materie	484
9.1.3.1	Energieströme und Wirkungsgrade	484
9.1.3.2	Einwirkdauer und Leistungsdichte	485
9.1.4	Laser-Materialbearbeitung	486
9.1.4.1	Aufwärmen zum Bearbeiten von Oberflächen	487
9.1.4.2	Schmelzen zur Behandlung von Oberflächen	488
9.1.4.3	Schmelzen zum Aufbauen und Laserformen (Urformen)	489
9.1.4.4	Wärmeleitschweißen (Schmelzen zum Fügen)	490
9.1.4.5	Tiefschweißen (Verdampfen zum Fügen)	491
9.1.4.6	Laserschneiden	491
9.1.4.7	Laserbohren	493
9.1.4.8	Lasermikrobearbeitung (Verdampfen zum Reinigen, Strukturieren und Abtragen)	494
9.2	Laser in der Kommunikationstechnik	495
9.2.1	Funktionsweise	495
9.2.2	Vor- und Nachteile	496
9.2.3	Anwendungen	497
9.3	Lasieranwendungen in Medizin und Biologie	500
9.3.1	Wechselwirkungen von Laserstrahlung mit Zellen und Gewebe	500
9.3.2	Lasieranwendungen in Diagnose und Therapie	502
9.3.3	Mikroskopische Lasieranwendungen	505
9.4	Laser bei den Konsumgütern	508
9.4.1	Laserdrucker und Laserkopierer	508
9.4.2	Laserscanner	511
9.4.3	Laserprojektor	512
9.5	Laser in der Unterhaltung	513
9.5.1	Technischer Aufbau	513
9.5.2	Projektion	515
9.5.3	Laservideo	517

9.5.4	Räumliche Strahleneffekte	517
9.5.5	Strahlensicherheit beim Audience Scanning	519
10	Optische Sensoren und Messtechnik	521
10.1	Eigenschaften optischer Sensoren	521
10.2	Optische Detektoren	522
10.2.1	Arbeit und Leistung von Lichtsignalen	522
10.2.2	Basis-Parameter von Detektoren	523
10.2.3	Fotoröhren, Fotomultiplier (PMT) und Sekundär-Elektronen-Vervielfacher (SEV oder SEM)	525
10.2.4	Mikrokanalplatte (MCP: Micro Channelplate)	527
10.2.5	Festkörperdetektoren	529
10.2.6	Planck'sche Strahlung, Hintergrundstrahlung	530
10.2.7	Flächendetektoren (Array, CCD und CMOS)	532
10.2.8	Arrays und NIR-Flächendetektoren	540
10.2.9	CCD mit Bildverstärkung	541
10.2.10	CMOS-Sensoren, Active Pixel Sensoren (APS)	542
10.3	Methoden der optischen Messtechnik	544
10.3.1	Schattenprojektion	544
10.3.2	Lasertriangulation	547
10.3.3	Streifenprojektion	551
10.3.4	Fotogrammetrie	553
10.3.5	Deflektometrie	559
10.3.6	Konfokale Sensorik	563
10.3.7	Lasertracking	566
10.3.8	Individualisierte optische Messtechnik	570
10.4	Messung physikalischer Größen	572
10.4.1	Geometrische Größen	572
10.4.1.1	Abstands- und Wegsensoren	572
10.4.1.2	Winkel und Drehbewegung	584
10.4.1.3	3D-Messtechnik	585
10.4.2	Objekterfassung	592
10.4.2.1	Lichtschranke, Lichttaster	592

10.4.2.2	Laserscanner	611
10.4.2.3	Optische Identifikation	615
10.4.3	Temperaturmessung	620
10.4.4	Fotometrie	622
10.4.5	Feuchtemessung	637
10.4.5.1	Messungen im Infrarotbereich (IR)	638
10.4.5.2	Messung im nahen Infrarotbereich (NIR)	639
10.4.5.3	Messung im ultravioletten Bereich (UV-Licht)	641
10.4.5.4	Messung mit Lichtwellenleitern	641
10.4.5.5	Diodenlaserspektrometer (TDL)	643
10.4.5.6	Messung von Wassertröpfchen (Flüssigphase)	644
10.5	Anwendungsgebiete in der Medizin und Biologie	645
10.5.1	Überblick der Nachweismethoden	645
10.5.2	Oberflächenplasmonen-Resonanz (SPR)	645
10.5.3	Interne Totalreflexionsfluoreszenz (TIRF)	647
10.5.4	Lumineszenzverfahren	648
10.5.5	Colorimetrie/Fotometrie	651
10.6	Optische Sensoren in der Chemie	653
10.6.1	Einleitung	653
10.6.2	Komponenten des optischen Sensors	656
10.6.3	Detektionsprinzipien	658
10.6.4	Ausgewählte Anwendungen	660
11	Optische Gerätetechnik	662
11.1	Einleitung	662
11.2	Fotokameras	663
11.2.1	Analoge Fotokamera	663
11.2.2	Digitale Fotokamera	666
11.2.3	Kamerachips	666
11.2.4	Bauformen digitaler Kameras	668
11.2.5	Besondere Anforderungen an digitale Kameras	673
11.2.6	Zusammenfassung	675
11.3	Fernoptische Geräte	676

11.4	Mikroskopie	684
11.4.1	Klassische Lichtmikroskopie	685
11.4.2	Verfahren zur Reduktion des Hintergrunds	687
11.4.3	Super Resolution Microscopy	690
11.5	Digitale Visualisierung	695
11.5.1	Displaytechnologien	695
11.5.2	Übersicht	695
11.5.3	Funktionsprinzip von LCD, OLED und E-Paper	697
11.5.4	Pixelansteuerung und elektro-optische Kurve	698
11.5.5	Zusammenfassung	700
11.5.6	Displays in optischen Geräten	700
11.5.7	Digitale Projektoren (Beamer)	700
11.5.8	Augmented Reality und Virtual Reality	701
11.5.9	Stereosysteme	704
11.5.10	Zusammenfassung	706
11.6	Optische Messgeräte	706
11.6.1	Interferometer	707
11.6.2	Shack-Hartmann-Sensoren	714
11.6.3	Autokollimatoren	715
11.6.4	Brechzahlmessung	717
11.7	Spektralapparate	718
11.7.1	Einleitung, Definitionen und Nomenklatur	718
11.7.2	Beugungsgitter	720
11.7.3	Dispersionsprismen	724
11.7.4	Filter	726
11.7.5	Polarisation	726
11.7.6	Spektrometer	728
11.7.7	Doppelspektrometer	735
11.7.8	Spektrometer für den tiefen UV- und Vakuum-UV-Bereich	736
11.7.9	Kompakte Spektrometer mit Lichtleiterkopplung	738
11.7.10	Spezielle Anforderungen der Lichtleiterkopplung	740
11.7.11	Transmissions-Spektrometer	741
11.7.12	Prismenspektrometer	741

11.7.13	Echellespektrometer	742
11.7.14	Hyperspektrale Spektrometer (Hyperspectral Imaging Spectroscopy)	742
11.7.15	Allgemeine Funktionen	743
11.8	Spektralfotometer	749
11.8.1	Einleitung, Definitionen und Nomenklatur	749
11.8.2	Absorptions- und Reflexions-Spektralfotometer	750
11.8.3	Lumineszenz-Spektroskopie: Fluoreszenz und Phosphoreszenz	755
11.8.4	Messmethoden für dynamische Lumineszenz – LifetimeMessung	759
11.8.5	Raman- und Brillouin-Spektralfotometrie	766
11.8.6	Spektrale Radiometrie	773
11.9	Optometrie	777
11.9.1	Geräte beim Augenoptiker	777
11.9.2	Geräte für die Augenheilkunde	783
11.10	Astronomische Teleskope	787
11.10.1	Einleitung	787
11.10.2	Bauformen	788
11.10.3	Amateurastronomie	789
11.10.4	Terrestrische Astronomie	791
11.10.5	Weltraumteleskope	793
12	Bildgebende Verfahren	798
12.1	Definition und Übersicht	798
12.2	Messprinzipien	800
12.3	Optische Verfahren	804
12.4	Abbildungskette und ihre Komponenten	806
12.5	Lichtquellen und Beleuchtung	807
12.6	Bildwiedergabe (Empfänger)	810
12.7	Optische Systeme nach Auflösung und Vergrößerung der optischen Abbildung	813
12.8	Objekttreue	818
12.9	Komplexität bildgebender Verfahren	821
12.10	Komplexität optischer Systeme	824

12.11	Rechenaufwand	825
12.12	Beispiele einiger bildgebender Verfahren	826
12.12.1	Computertomografie (CT) zur Werkstoffprüfung	826
12.12.2	Akustisches Mikroskop zur Untersuchung elektronischer Bauteile	828
13	Optikdesign und Simulation	830
13.1	Optikdesign	831
13.1.1	Einleitung	831
13.1.2	Apertur und Feld, Eintritts- und Austrittspupille	831
13.1.3	Bildfehler dritter Ordnung	836
13.1.4	Bewertung optischer Systeme	838
13.1.5	Optikdesign-Prozess	847
13.1.6	Optikdesign	850
13.1.7	Optimierung	866
13.1.8	Tolerierung	872
13.1.9	Spezielle Komponenten im Optik-Design	874
13.2	Optiksimulation	891
13.2.1	Einleitung	891
13.2.2	Streulichtsimulationen	892
13.2.3	Digitalisierung	900
13.2.4	Simulation äußerer Einflüsse	905
13.2.5	Wellenoptische Simulationen	907
14	Optische Phänomene	911
14.1	Definition und Erklärungsversuche	911
14.2	Geometrische Täuschungen	913
14.2.1	Längentäuschung	913
14.2.2	Krümmungstäuschung	914
14.2.3	Richtungstäuschung	914
14.2.4	Größentäuschung	915
14.3	Räumliche Täuschungen	915
14.3.1	Ambiguität	915
14.3.2	Perspektiventäuschung	918

14.4	Helligkeits- und Kontrasttäuschungen	920
14.5	Bewegungstäuschungen	921
14.6	Farbtäuschungen	922
14.7	Unmögliche Figuren, Objekte und Bilder	922
14.8	Ames-Raum	924
15	Optiknormen	927
Index	931