

Inhalt

Vorwort zur 8. Auflage	V
Vorwort zur 7. Auflage	VI
Autorenverzeichnis	XXIII
1 Optische Grundbegriffe	3
<i>Martin Löffler-Mang</i>	
1.1 Wellenausbreitung	5
1.2 Optische Medien	5
1.3 Brechung, Reflexion und Totalreflexion	6
1.4 Prinzip von Fermat	8
1.5 Interferenz und Beugung	9
1.6 Gauß-Strahlen	14
1.7 Polarisation	17
2 Bewertung der Strahlung	25
<i>Dietrich Gall (†), Jürgen P. Weißhaar</i>	
2.1 Licht und Spektrum	27
2.2 Licht- und strahlungsphysikalische Größen	30
2.2.1 Lichttechnische Größen	30
2.2.2 Lichttechnische Stoffkennzahlen	35
2.2.3 Bewertete, strahlungsphysikalische und photonentechnische Größen	37
2.3 Farbbewertung	39
2.3.1 Niedere Farbmeterik	39
2.3.2 Farbmischungen und -transformationen	42
2.3.3 Höhere Farbmeterik (Farbempfindungsmeterik)	45

2.4	Licht-, Strahlungs- und Farbmessung	47
2.4.1	Spektrale und räumliche Bewertung durch Sensoren	47
2.4.2	Messung von lichttechnischen Größen (Photometrie)	48
3	Optische Werkstoffe und Herstellungsverfahren von optischen Bauelementen	55
	<i>Jens Bliedtner</i>	
3.1	Optische Werkstoffe	57
3.1.1	Mineralische Gläser	57
3.1.2	Kunststoffe (organische Gläser)	58
3.1.3	Kristalle und Sonderwerkstoffe	60
3.2	Ausgewählte Werkstoffeigenschaften	62
3.2.1	Optische Eigenschaften	62
3.2.2	Chemische Eigenschaften	65
3.2.3	Mechanische Eigenschaften	67
3.3	Spiegelwerkstoffe	72
3.4	Fertigungsverfahren für optische Bauelemente	74
3.4.1	Urformen von mineralischen Gläsern	74
3.4.1.1	Fertigung von Gobs und Presslingen	74
3.4.1.2	Blockglasfertigung	75
3.4.2	Urformen von organischen Gläsern	75
3.4.2.1	Gießen	76
3.4.2.2	Spritzgießen	77
3.4.2.3	Heißprägen	78
3.5	Umformen mineralischer Gläser	79
3.5.1	Pressen	80
3.5.2	Faserherstellung	82
3.6	Trennen von mineralischen Gläsern und Kristallen	83
3.6.1	Zerteilen/Zurichten	83
3.6.2	Schleifen	84
3.6.3	Polieren	87
3.6.4	Ultrapräzisionszerspanung mit geometrisch bestimmter Schneide	89
3.7	Beschichtungsverfahren	92
3.8	Ausgewählte Fertigungstechnologien für optische Bauelemente	96
3.8.1	Plane und prismatische Bauteile	97
3.8.2	Displaygläser	97
3.8.3	Sphärische Linsen	99
3.8.4	Asphärische Bauelemente	100
3.8.5	Freiformoptische Bauelemente	101

4	Optische Abbildung	107
	<i>Norbert Aldiek</i>	
4.1	Grundlagen	109
4.1.1	Begriffe	109
4.1.2	Vorzeichenregel	110
4.1.3	Kardinalelemente eines optischen Systems: Brennpunkte, Hauptpunkte und Knotenpunkte	111
4.1.4	Abbildungsmaßstab und Vergrößerung	112
4.2	Matrizenformalismus	113
4.2.1	Translationsmatrix	113
4.2.2	Brechungsmatrix	113
4.2.3	Reflexionsmatrix	114
4.3	Abbildungsgleichungen	115
4.3.1	Allgemeines Bezugssystem	115
4.3.2	Scheitelpunkte als Bezugssystem	116
4.3.3	Wechsel auf andere Bezugssysteme	116
4.3.4	Brennpunkte als Bezugssystem	117
4.3.5	Hauptpunkte als Bezugssystem	117
4.3.6	Scheimpflugbedingung	118
4.3.7	Zeichnerische Bildkonstruktion	119
4.4	Begrenzung der Strahlengänge	119
4.4.1	Aperturblende und Pupillen	119
4.4.2	Feldblende und Luken	121
4.4.3	Vignettierung	122
4.5	Abbildungsfehler	123
4.6	Schärfentiefe	134
4.7	Abbildung Gaußscher Strahlen	136
5	Bauelemente auf der Basis von Reflexion und Brechung	143
	<i>Norbert Aldiek</i>	
5.1	Paraxiale und vollständige Durchrechnung einer Flächenfolge	145
5.1.1	Paraxiale Durchrechnung	145
5.1.2	Vektorielle Strahldurchrechnung (raytracing)	146
5.2	Sphärische Linsen	149
5.3	Spiegel	152
5.4	Systeme mit mehreren Gliedern	155
5.5	Bauelemente mit asphärischen Flächen	157
5.6	Planplatten	165
5.7	Reflexionsprismen	167

5.8	Strahlteiler	173
5.9	Dispersions- und Ablenkprismen, Keile	175
5.10	Normung und Zeichnungsangaben	178
6	Strahlungsquellen und Empfänger	185
	<i>Martin Löffler-Mang, Dieter Lang</i>	
6.1	Allgemeine Eigenschaften von Strahlungsquellen	187
6.2	Glühlampen und Entladungslampen	189
6.3	Leuchtdioden	193
6.4	Laser und Laserdioden	196
6.5	Allgemeine Eigenschaften von Empfängern	202
6.6	Lichtelektrische Empfänger	204
6.7	Das menschliche Auge	207
6.8	Nicht visuelle Wirkung von Licht	212
6.8.1	Neue Photorezeptoren im Auge	213
6.8.2	Biologische Rhythmen	215
6.8.3	Wirkungsmechanismen	216
6.8.4	Folgerungen für Lichtquellen	216
6.8.5	Normen	220
6.8.6	Human Centric Lighting (HCL)	224
6.8.7	Photobiologische Sicherheit	226
7	Filter und dünne Schichten	233
	<i>Markus Michler</i>	
7.1	Optische Dünnschichten	235
7.1.1	Materialsysteme	235
7.1.1.1	Metalle	235
7.1.1.2	Dielektrika	235
7.1.2	Beschichtungsverfahren	236
7.2	Das Konzept der äquivalenten Brechzahl	238
7.2.1	Viertelwellenschichten ($\lambda/4$ -Schicht; QWOT)	238
7.2.2	Die äquivalente Brechzahl einer Viertelwellenschicht (n_{1e})	239
7.2.3	Die äquivalente Brechzahl eines Systems mit m Viertelwellenschichten (n_{me})	240
7.3	Schichtsysteme zur Reflexminderung	240
7.3.1	Die Einsicht-AR (das Q-Design)	240
7.3.2	Die Zweischicht-AR (das QQ-Design)	241

7.4	Schichtsysteme zur Reflexionserhöhung	242
7.4.1	Metallische Reflektoren	243
7.4.2	Verbesserte Metallspiegel (enhanced metal mirrors)	243
7.4.3	Dielektrische Hochreflektorsysteme (HR)	244
7.4.4	Rugate-Spiegel	245
7.5	Spektrale Eigenschaften und Kenngrößen optischer Filter	247
7.6	Absorptionsfilter	251
7.6.1	Farbglasfilter	253
7.6.2	Organische Filter	254
7.6.3	Flüssigkeitsfilter – Flüssigkeiten in Küvetten	256
7.7	Interferenzfilter	256
7.7.1	Dielektrische Kantenfilter (Langpass-/Kurzpassfilter)	257
7.7.1.1	Beispiel: Gelbfilter (Langpassfilter)	257
7.7.1.2	Beispiel: Zyanfilter (Kurzpassfilter)	258
7.7.2	Dielektrische breitbandige Bandpassfilter	259
7.7.3	Schmalbandige Bandpassfilter (Fabry-Perot-Filter)	259
7.7.3.1	Das Fabry-Perot-Etalon	259
7.7.3.2	Dünnschicht-Fabry-Perot-Schmalbandfilter	260
8	Mechanische Bauelemente	265
	<i>Thomas Thöniß, Matthias Ulrich</i>	
8.1	Fassen optischer Komponenten	267
8.1.1	Axiales Klemmen rotationssymmetrischer Bauteile	267
8.1.2	Radiale Federklemmung	270
8.1.3	Klemmen von Planplatten und prismatischen Bauteilen	271
8.1.4	Gratfassungen	272
8.1.5	Fassen mit radial federnden Ringen	273
8.1.6	Kleben	273
8.1.7	Löten	274
8.2	Montage optischer Systeme	275
8.2.1	Passspielmontage	275
8.2.2	Justierkleben	279
8.2.3	Justierdrehen	280
8.2.4	Systemjustage	282
8.3	Falschlicht in optischen Systemen	282
8.3.1	Entstehung und Unterdrückung von Falschlicht	283
8.3.2	Bauelemente zur Reduzierung von Falschlicht	284
8.4	Mechanische Aufbausysteme für optische Komponenten	286
8.4.1	Schienensysteme	286
8.4.2	Profilsysteme	286
8.4.3	Käfig- und Stangensysteme	288
8.4.4	Tubussysteme	288
8.4.5	Tischaufbausysteme	289

8.5	Optische Tische	290
8.5.1	Aufbau von optischen Tischen	291
8.5.2	Dämpfungselemente	292
8.6	Positionierelemente	293
8.6.1	Linearversteller	293
8.6.2	Fokussier- und Zoommechanik	295
8.6.3	Kippversteller	296
9	Beleuchtung in optischen Geräten und Projektoren, Beleuchtungssysteme	301
	<i>Christoph Schierz, Karsten Lindig, Gottfried Schröder (†)</i>	
9.1	Grundlagen der Beleuchtungstechnik	303
9.2	Kondensoren und Objektive	305
9.3	Bildwände; Retroreflektoren	307
9.4	Projektoraufbau	311
9.5	Projektoren für technische Anwendungen	314
9.6	Spezielle Beleuchtungseinrichtungen; Scanner	317
9.7	Scheinwerfer	322
10	Optische Beobachtungsinstrumente	329
	<i>Norbert Aldiek, Martin Löffler-Mang, Gottfried Schröder (†)</i>	
10.1	Lupen	331
10.2	Grundlagen der Brillenoptik	333
10.3	Fernrohre	336
10.4	Objektive und Okulare für Teleskope	341
10.5	Bildleitung durch enge Rohre und Öffnungen	344
10.6	Datenbrillen	346
10.6.1	Mikrodisplays	346
10.6.2	Optische Architektur für Datenbrillen	347
11	Mikroskopie	355
	<i>Rolf Wartmann, Lothar Schreiber</i>	
11.1	Grundlagen des Mikroskops	357
11.2	Mikroskop-Beleuchtung und Beobachtungsverfahren	361
11.2.1	Hellfeldbeleuchtung	362

11.2.2	Dunkelfeldbeleuchtung	363
11.3	Objektive und Okulare für Mikroskope	364
11.3.1	Mikroskop-Objektiv-Typen	364
11.3.2	Okulare für den direkten Mikroskop-Einblick	367
11.4	Spezielle Mikroskopie-Verfahren (Auswahl)	368
11.4.1	Phasenkontrast	368
11.4.2	Differentieller Interferenzkontrast (DIC)	369
11.4.3	Fluoreszenz-Mikroskopie	371
11.4.4	Konfokale Mikroskop-Verfahren	372
11.4.5	Ultra-Mikroskop und Überauflösung	373
11.5	Mikroskope und Ausrüstungen	375
11.5.1	Mikroskop-Stative	375
11.5.2	Kamera-Schnittstellen	375
11.6	Digital-Mikroskope	376
11.7	Stereomikroskope	379
11.7.1	Stereomikroskop nach Greenough	379
11.7.2	Stereomikroskop als Fernrohr-Typ	380
11.7.3	Stereoskopische Mikroskop-Bilder mit Pupillen-Shutter	380
12	Optoelektronische Sensorik	385
	<i>Jürgen Bretschneider, Markus Keinath, Martin Löffler-Mang</i>	
12.1	Spektrale Sensoren	387
12.1.1	Thermische Detektoren	387
12.1.2	Quantendetektoren aus Halbleitermaterial	391
12.1.3	InGaAs-Halbleiterdetektoren	393
12.1.4	Silizium-Halbleiterdetektoren	394
	12.1.4.1 CCD-Sensoren	394
	12.1.4.2 Bildartefakte bei CCD-Aufnahmen	398
	12.1.4.3 CMOS-Sensoren	399
12.2	Sensoren für Flächenbild- und Zeilenkameras	404
12.2.1	Sensorgrößen und -formate	405
12.2.2	Sensorauflösung und Bildwiederholrate (Framerate)	405
12.2.3	Farbsensoren	407
12.2.4	Rolling Shutter und Global Shutter (CMOS)	408
12.2.5	Ausleseverfahren bei CCD-Sensoren – Interlaced und Progressive Scan	409
12.2.6	Sensoren für Zeilenkameras	410
12.3	Lichtschrankensysteme	412
12.3.1	Rauchmelder	412
12.3.2	Trübungsmessung	412
12.3.3	Nebelsensor	414
12.3.4	PARSIVEL	417
12.4	Triangulationssensor	419

13	Optische Übertragungsfunktion und Bildgüte	427
	<i>Martin Buchholz</i>	
13.1	Optische Übertragungsfunktion	429
13.2	Bestimmung der Modulationsübertragungsfunktion	436
13.3	Auflösungsvermögen und Gütezahl	439
14	Interferometrie	445
	<i>Andreas Ettemeyer</i>	
14.1	Grundlagen von Interferometern	447
14.1.1	Zweistrahlinterferenz	447
14.1.2	Bestimmung der Phase	448
14.1.3	Demodulation	449
14.1.3.1	Zeitliche Demodulation	449
14.1.3.2	Örtliche Demodulation	450
14.1.4	Kontrast eines Interferometers	450
14.1.4.1	Intensitätsverhältnis	450
14.1.4.2	Polarisation	451
14.1.4.3	Zeitliche (longitudinale) Kohärenz	451
14.1.4.4	Räumliche Kohärenz	451
14.1.4.5	Mechanische Einflüsse	452
14.1.5	Mehrstrahlinterferenz	452
14.2	Ausführungsformen von Interferometern	454
14.2.1	Michelson-Interferometer	454
14.2.2	Twyman-Green-Interferometer	455
14.2.2.1	Messen ebener Flächen	456
14.2.2.2	Messung sphärischer Flächen	457
14.2.2.3	Messung von Asphären	458
14.2.3	Fizeau-Interferometer	459
14.2.4	Mach-Zehnder-Interferometer	459
14.2.5	Scher-Interferometer (Shear Interferometer)	460
14.2.6	Schräglicht-Interferometer	462
14.2.7	Point-Diffraction-Interferometer	463
14.2.8	Weißlicht-Interferometer	464
14.2.9	Fabry-Perot-Interferometer	464
15	Diffraktive Optiken	471
	<i>Steffen Reichel</i>	
15.1	Grundlagen diffraktiver Optiken	473
15.1.1	Fraunhofer-Beugung am Einzelspalt	473
15.1.2	Das Beugungsgitter	474
15.1.3	Einzelspalt und Gitter als mikrostrukturierte Oberfläche	477
15.1.4	Die Blazetechnik	478
15.1.5	Binäre Optik als eine Realisierung von Oberflächenstrukturen	479
15.2	Diffraktive Linse – die Fresnelzonenlinse	481

15.3	Diffraktive optische Elemente	482
15.4	Anwendung von diffraktiven Optiken	483
15.4.1	Fresnelzonenlinse	483
15.4.2	Laserstrahlformung mittels DOE	486
16	Spektralgeräte	491
	<i>Wilfried Neumann, René Heine</i>	
16.1	Allgemeine Grundlagen der optischen Spektroskopie	493
16.1.1	Baugruppen für ein optisches Spektrometrie-System	493
16.2	Prinzipieller Aufbau optischer Spektrometer	494
16.3	Beugungsgitter	495
16.3.1	Die Herstellung von Beugungsgittern	495
16.3.2	Gitterfunktionen	496
16.3.2.1	Generelle Anmerkungen zur Gitterfunktion	497
16.3.3	Wellenlängen- und Polarisationsverhalten von Beugungsgittern	497
16.3.4	Grundversionen von Dispersionsgittern	498
16.4	Dispensionsprisma	499
16.5	Filter	500
16.6	Spektrometer-Konzepte	501
16.6.1	Littrow-Aufbau	501
16.6.2	Ebert-Fastie-Spektrometer	503
16.6.2.1	Doppelpass-Spektrometer	503
16.6.3	Czerny-Turner-Spektrometer	504
16.6.4	Doppelspektrometer	505
16.6.5	Spektrometer für das tiefe UV/Vakuum-UV	506
16.6.6	Prismen-Spektrometer	508
16.6.7	Kompakte faseroptisch beleuchtete Spektrometer	508
16.6.8	Flexible Multifunktionsspektrometer	508
16.7	Die optische Kopplung von Spektrometern	509
16.7.1	Einkopplung per Transferoptik	510
16.7.1.1	Der Raumwinkel der Quelle ist größer als der Raumwinkel der Lichtsammlung	510
16.7.1.2	Einkopplung von Quellen, deren Abstrahlwinkel schlanker ist als die Öffnung des Spektrometers	511
16.7.1.3	Einkopplung von Lichtleitern und Querschnittswandlern	511
16.8	Leistungsparameter und Abbildungsfehler	512
16.8.1	Aberrationen und deren Korrektur	513
16.8.2	Dispersion, Bandbreite und Auflösung	514
16.8.2.1	Die spektrale Bandbreite von Monochromatoren	514
16.8.2.2	Die Beugungsgrenze	514
16.8.2.3	Definition der Auflösung optischer Spektrometer	515
16.8.2.4	Die spektrale Bandbreite von Spektrographen	515
16.8.3	Störungen, Streulicht, Falschlicht, Signaldynamik	516

16.9	Spektrometrie	518
16.9.1	Breitbandige Lichtquellen	518
16.9.2	Strahlführung und Lichtleiter	519
16.9.3	Detektoren	519
16.9.3.1	SEV/PMT und Szintillatoren	519
16.9.3.2	Mikrokanalplatten-Bildverstärker	520
16.9.3.3	Einzelpunkt-Festkörper-Detektoren	521
16.9.3.4	Registrierende Messungen (Scanning Spectrometry)	522
16.9.4	Spektrographen-Messungen (Parallel Spectrometry)	523
16.9.5	Bildgebende Verfahren (Imaging Spectroscopy)	523
16.9.5.1	Die Technologien von CCD und CMOS (APS)	523
16.9.6	Strahlführung und Ausleseverfahren multispektraler Systeme	524
16.9.6.1	Auslesen eines Full-Frame-CCD	525
16.9.6.2	CCD mit interner Verstärkung: EM-CCD	527
16.9.6.3	CMOS- oder APS-Sensoren	527
16.9.6.4	CCD mit MCP-Bildverstärker	527
16.9.6.5	Optimierter Spektrograph für Imaging Spectroscopy	528
16.9.7	Hyperspektrale Messungen	528
16.9.7.1	Registrierende hyperspektrale Messtechnik	528
16.9.7.2	Hyperspektrale Flächenmessungen	530
17	Polarisationsoptik	537
	<i>Alexander Hornberg</i>	
17.1	Polarisationszustände	539
17.1.1	Polarisationsellipse	539
17.1.2	Klassifizierung der Polarisationszustände	543
17.1.2.1	Zirkulare Polarisation	543
17.1.2.2	Lineare Polarisation	543
17.1.2.3	Elliptische Polarisation	543
17.1.3	Jones-Vektoren	543
17.1.3.1	Zirkular polarisierte Welle	544
17.1.3.2	Linear polarisierte Welle	544
17.1.3.3	Elliptisch polarisierte Welle	544
17.1.4	Poincaré-Kugel	545
17.1.5	Partiell polarisiertes Licht	547
17.2	Polarisationsoptische Bauteile	549
17.2.1	Polarisatoren	549
17.2.2	Eigenzustände eines Polarisators	551
17.2.3	Spektraleigenschaften der Intensitätsmatrix	552
17.2.3.1	Abschätzungen der Intensität	553
17.2.3.2	Polarzerlegung der Jones-Matrix	555
17.2.4	Drehung von Polarisatoren	556
17.2.5	Normale Polarisatoren	557
17.2.5.1	Pauli-Algebra für Jones-Matrizen	558
17.2.5.2	Stokes-Parameter des Ausgangszustands	558
17.2.6	Polarisatoren	560
17.2.6.1	Idealer Polarisator	560
17.2.6.2	Realer Polarisator	561
17.2.7	Verzögerer	562
17.2.7.1	Zirkularer Verzögerer	562

17.2.7.2	Linearer Verzögerer	563
17.3	Physik der Polarisatoren	565
17.3.1	Polarisationseigenschaften von Flächen	565
17.3.1.1	Jones-Matrix der Fläche	565
17.3.1.2	Reflexions- und Transmissionsgrad	567
17.3.1.3	Verhalten am optisch dichteren Medium	567
17.3.1.4	Verhalten am optisch dünneren Medium	568
17.3.2	Kristalloptiken	570
17.3.2.1	Materialgesetze optisch anisotroper Werkstoffe	570
17.3.2.2	Phasenverzögerungsplatten	572
17.3.2.3	Wellengleichung	573
17.3.2.4	Dispersionsrelation	574
17.3.2.5	Geometrische Interpretation	575
17.3.2.6	Uniaxiale Kristalle	576
17.3.2.7	Reflexion und Brechung an einer Ebene	577
17.3.2.8	Polarisationsprismen	580
17.3.3	Dünnschichtpolarisatoren	582
17.3.4	Gitterpolarisatoren	582
17.3.5	Nanopartikel-Polarisatoren	584
17.3.6	Folienpolarisatoren	585
17.3.7	Optische Aktivität von Kristallen und Flüssigkeiten	586
17.3.8	Faradayrotator als Phasenmodulator	587
18	Lichtwellenleiter: Faseroptik, Integrierte Optik, Sensorik	593
	<i>Markus Michler</i>	
18.1	Grundbegriffe der Wellenleiteroptik	595
18.1.1	Das Prinzip der Lichtführung	595
18.1.2	Die numerische Apertur	595
18.1.3	Geführte Wellenleitermoden	596
18.1.4	Dämpfung und Dispersion	599
18.1.4.1	Die Dämpfungskonstante	599
18.1.4.2	Absorption und Streuung in Quarzglas	599
18.1.4.3	Extrinsische Effekte	600
18.1.4.4	Werkstoffe für Polymerfasern	600
18.1.4.5	Dispersion	601
18.2	Lichtführung in optischen Fasern	602
18.2.1	Stufen- und Gradientenindexfasern	602
18.2.2	Moden in Glasfasern	604
18.3	Fasertypen	606
18.3.1	Multimodefasern	606
18.3.2	Singlemodefasern	607
18.3.3	Polarisationserhaltende Fasern	610
18.3.4	Double-Clad-Fasern	611
18.3.5	Multicore-Fasern	611
18.4	Faserbündel	612
18.4.1	Verlustmechanismen in Faserbündeln	612
18.4.2	Abstrahlcharakteristik von Faserbündeln	613

18.4.3	Ungeordnete Faserbündel	613
18.4.4	Geordnete Faserbündel/Faseroptische Bildleiter	614
18.5	Integriert-optische Wellenleiter	616
18.5.1	Technologien der integrierten Optik	617
18.5.2	Passive integriert-optische Komponenten	618
18.5.3	Aktive integriert-optische Komponenten	621
18.6	Lichtwellenleitersensoren	622
18.6.1	Grundprinzip faseroptischer Sensoren	623
18.6.2	Intensitätsänderung als Sensorprinzip	624
18.6.3	Phasenänderung als Sensorprinzip	625
18.6.4	Polarisationsänderung als Sensorprinzip	626
18.6.5	Wellenlängenverschiebung als Sensorprinzip	627
19	Kameratechnik und digitale Bildverarbeitung	631
	<i>Jürgen Bretschneider, Henning Haider, Markus Keinath</i>	
19.1	Analoge und digitale Standards der Kamerainterfaces	633
19.1.1	Analoge Schnittstellen	633
19.1.2	Digitale parallele Schnittstelle RS-422 und LVDS	634
19.1.3	Camera Link	635
19.1.4	Camera Link HS	636
19.1.5	CoaXPress	636
19.1.6	FireWire (IEEE 1394)	637
19.1.7	Gigabit Ethernet	640
19.1.8	USB 2.0	642
19.1.9	USB 3.0	642
19.1.10	Tabellarischer Vergleich der Schnittstellen	643
19.2	Aufbau einer digitalen Kamera, Kamerafunktionen	645
19.2.1	Vergleichende Betrachtungen: Consumerkameras versus Industriekamera	645
19.2.2	Frontend mit Mount	646
19.2.3	Blockdiagramm einer IEEE 1394b-Farbkamera	648
19.2.4	Erklärung des Datenpfades und der Funktionen	649
19.2.5	Sondermodelle digitaler Kameras	655
19.3	Kamerarauschen und EMVA 1288-Standard	656
19.3.1	Rauschquellen	656
19.3.1.1	Photonen-Schrotrauschen (Photon Shot Noise)	656
19.3.1.2	Dunkelstrom-Schrotrauschen (Dark Current Shot Noise)	656
19.3.1.3	Dark Current Nonuniformity (DSNU)	656
19.3.1.4	Photo Response Nonuniformity (PRNU)	657
19.3.1.5	Fixed-Pattern Noise (FPN)	657
19.3.1.6	Reset Noise	657
19.3.1.7	1/f-Noise (Amplifier Noise)	657
19.3.1.8	Quantization Noise	657
19.3.1.9	Noise Floor (Grundrauschen)	657
19.3.2	Dynamic Range (DNR, Kontrastumfang)	657
19.3.3	Signal to Noise Ratio (SNR, Signal-Rauschabstand)	658
19.3.4	EMVA 1288-Standard	658

19.4	Ansteuerung über den PC und Software Interfaces	663
19.4.1	Steuerung der Bildaufnahme	663
19.4.2	Pixeldaten	665
19.4.3	Driver Software (Software Development Kit)	665
19.4.4	Kamera API (AVT FirePackage)	666
19.4.5	GenICam-Standard	667
19.4.6	Bildverarbeitungsbibliotheken (Third-Party Software)	668
19.5	Auswahl einer geeigneten Kamera und Einsatzfälle	668
19.5.1	Komponenten eines Bildverarbeitungssystems	668
19.5.2	Auswahlkriterien für eine Kamera	669
19.5.3	Sichtfeld (FOV) und Auflösung	670
19.5.4	Bilddatenrate, Bildwiederholrate und Bandbreite der Schnittstelle	671
19.5.5	Aufgabenstellungen in der industriellen Bildverarbeitung	672
20	Bildgebende Verfahren	677
	<i>Martin Gerken, Harry Schlemmer</i>	
20.1	Video-Kamerasysteme	679
20.1.1	Prinzipieller Aufbau	679
20.1.2	Übersicht der Spektralbereiche	679
20.1.3	Eigenschaften der Strahlquelle	679
20.1.4	Einfluss der Atmosphäre	681
20.1.5	Optische Gläser	682
20.1.5.1	Transmissionseigenschaften	682
20.1.5.2	Dispersionsverhalten	683
20.1.5.3	Antireflexbeschichtung	683
20.1.6	Bildsensoren	684
20.1.6.1	Sensoren für den visuellen Spektralbereich	684
20.1.6.2	Sensoren mit interner Verstärkung	685
20.1.6.3	Sensoren für den NIR- und SWIR-Bereich	685
20.1.7	Anwendungen	686
20.1.7.1	Überwachung im Nahfeld	686
20.1.7.2	Zoomsysteme für weiträumige Überwachung	686
20.1.7.3	Multispektrale Systeme	687
20.1.7.4	Ausblick und Trends	688
20.2	Wärmebilderzeugung	689
20.2.1	Einführung	689
20.2.2	Bildgebungsprozess	690
20.2.3	Eigenschaften der Wärmestrahlung	691
20.2.4	Atmosphärische Transmission	692
20.2.5	Infraroptik	692
20.2.5.1	Optische Materialien für das Infrarot	693
20.2.5.2	Thermische Änderungen der Brechkraft	694
20.2.5.3	Asphärische und diffraktive Oberflächen	694
20.2.6	Gekühlte und ungekühlte Infrarotdetektoren	695
20.2.6.1	Gekühlte Infrarotdetektoren	695
20.2.6.2	Ungekühlte Infrarotdetektoren	698
20.2.6.3	Vergleich von gekühlten und ungekühlten Detektoren	698
20.2.7	Spezielle Probleme der Wärmebildgeräte	699
20.2.7.1	Dunkelkammerproblem	699

20.2.7.2	Detektorinhomogenität	699
20.2.7.3	Narziss-Effekt	701
20.2.8	Bewertung von Wärmebildgeräten	701
20.2.9	Typische Anwendungen der Wärmebildgeräte	702
20.2.9.1	Aufklärung und Überwachung	702
20.2.9.2	Thermografie	703
21	Holografie	707
	<i>Andreas Ettemeyer</i>	
21.1	Grundlagen der Holografie	709
21.1.1	Einführung	709
21.1.2	Hologrammaufnahme	709
21.1.3	Hologrammrekonstruktion	710
21.2	Klassische Holografie	711
21.2.1	Off-Axis-Hologramm	711
21.2.2	Reflexions-Hologramm	712
21.2.3	Bildebenen-Hologramm	713
21.2.4	Regenbogen-Hologramm	713
21.2.5	Holografische Interferometrie	715
21.3	Digitale Holografie	716
21.3.1	Aufbau eines digitalen Holografie-Mikroskops	716
21.3.2	Numerische Hologrammrekonstruktion	717
21.3.3	Objektrekonstruktion	717
21.3.4	Mehrwellenlängen-Holografie	719
21.3.5	Anwendungen	720
21.3.5.1	Reflexionsmessung	720
21.3.5.2	Transmissionsmessungen	721
21.4	Speckle-Interferometrie	721
21.4.1	Empfindlichkeitsvektor	722
21.4.2	Oberflächenmessung mit Speckle-Interferometrie	723
21.4.3	Verformungsmessung mit Speckle-Interferometrie	723
21.4.4	Bestimmung der in-plane-Verformung	725
22	Gradientenoptik	729
	<i>Bernhard Messerschmidt</i>	
22.1	Grundlagen der Gradientenoptik	731
22.2	Herstellungsverfahren	733
22.3	GRIN-Linsen in Applikationen	734

23 Lasermesstechnik	743
<i>Martin Löffler-Mang</i>	
23.1 Laser-Doppler-Velocimetrie	745
23.1.1 Interferenzstreifenmodell	745
23.1.2 Doppler-Modell	746
23.1.3 Frequenzshift und mehrere Geschwindigkeitskomponenten	748
23.1.4 Anwendungsbeispiele	749
23.2 Phasen-Doppler-Partikelanalyse	751
23.2.1 Qualitatives Modell	751
23.2.2 Quantitatives Modell	752
23.2.3 Systemaufbau	754
23.2.4 Messvolumenkorrektur	754
23.2.5 Anwendungsbeispiele	756
23.2.6 Stromdichte und Konzentration	757
Stichwortverzeichnis	761