

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Grundlagen .....</b>	<b>1</b>
1.1	Geometrische Optik.....	1
1.1.1	Lichtstrahlen .....	1
1.1.2	Reflexion des Lichts .....	2
1.1.3	Brechung des Lichts.....	4
1.1.4	Abbildung durch Linsen .....	9
1.1.5	Matrixmethoden der paraxialen Optik .....	16
1.2	Wellenoptik .....	23
1.2.1	Elektromagnetische Wellen .....	23
1.2.2	Polarisation .....	28
1.2.3	Interferenz.....	36
1.3	Radio- und Fotometrie .....	56
1.3.1	Strahlungsphysikalische Größen.....	57
1.3.2	Lichttechnische Größen .....	60
1.4	Quantennatur des Lichts.....	61
1.4.1	Photonen .....	61
1.4.2	Schwarzer Strahler .....	63
1.4.3	Laser.....	66
1.5	Halbleiter-Lichtquellen .....	70
1.5.1	Strahlende Rekombination.....	70
1.5.2	Lumineszenzdioden .....	73
1.5.3	Halbleiter-Laser .....	77
1.6	Halbleiter-Detektoren.....	91
1.6.1	Absorption in Halbleitern .....	91
1.6.2	Fotoleiter .....	93
1.6.3	Fotodioden .....	93
1.7	Literatur.....	104
<b>2</b>	<b>Fertigung optischer Komponenten und Systeme.....</b>	<b>105</b>
2.1	Übersicht .....	105
2.2	Klassische Bearbeitung .....	107
2.2.1	Übersicht.....	107
2.2.2	Formen (Trennen, Schleifen, Diamantdrehen).....	108
2.2.3	Glätten.....	111
2.2.4	Messtechnik .....	115

2.3	Abformen .....	116
2.3.1	Übersicht .....	116
2.3.2	Glas abformen (Blankpressen).....	117
2.3.3	Kunststoff abformen .....	119
2.3.4	Messtechnik .....	120
2.4	Strukturierung .....	121
2.4.1	Diffraktive Optik.....	121
2.4.2	Lithografie .....	122
2.4.3	Abformen.....	123
2.4.4	Messtechnik .....	123
2.5	Beschichtung .....	123
2.5.1	Prinzip.....	123
2.5.2	Herstellung optischer Komponenten.....	124
2.5.3	Bedampfen mit PVD-Verfahren .....	125
2.5.4	Sputter-Technologie.....	126
2.5.5	Abscheiden organmetallischer Lösungen .....	127
2.5.6	Messtechnik .....	128
<b>3</b>	<b>Optische Nachrichtenübertragung .....</b>	<b>129</b>
3.1	Einführung.....	129
3.2	Glasfasern.....	131
3.2.1	Dämpfung in Glasfasern .....	133
3.2.2	Dispersionen in Glasfasern .....	137
3.2.3	Typenklassen von Glasfasern .....	146
3.3	Optische Sender und Empfänger.....	148
3.4	Faseroptische Übertragungssysteme .....	153
3.4.1	Direktübertragungssysteme.....	153
3.4.2	Kohärente Übertragungssysteme .....	157
3.4.3	Faserverstärker.....	160
3.4.4	Solitonübertragung.....	162
3.4.5	Optische Übertragung auf der Fernebene im Ortsnetz und im LAN- bzw. Metrobereich.....	165
3.5	Literatur.....	173
<b>4</b>	<b>Sensoren.....</b>	<b>175</b>
4.1	Optische Sensoren .....	175
4.2	Lichtschranken und Lichttaster .....	175
4.2.1	Einweg-Lichtschranken .....	176
4.2.2	Lichtgitter.....	177
4.2.3	Reflexions-Lichtschranken .....	179
4.2.4	Reflexions-Lichttaster .....	183
4.2.5	Lichtleiter-Lichtschranken und -Lichttaster.....	186
4.2.6	Kontrasttaster .....	188
4.2.7	Lumineszenztaster.....	189
4.2.8	Farbsensoren .....	190

4.3	Distanzsensoren.....	191
4.3.1	Triangulations-Sensoren .....	192
4.3.2	Pulslaufzeit-Sensoren.....	193
4.3.3	Phasenkorrelations-Sensoren .....	194
4.4	Laserscanner.....	197
4.4.1	Funktionsprinzip des Laserscanners .....	197
4.4.2	Barcode-Scanner .....	204
4.4.3	Laser-Radar.....	209
4.5	Kamerasensoren .....	214
4.5.1	1-D-Sensoren .....	216
4.5.2	2-D-Sensoren .....	218
4.5.3	3-D-Sensoren .....	219
4.6	Optische Sensoren für spezielle Anwendungen .....	223
4.6.1	Staubkonzentrationsmessung.....	224
4.6.2	Gaskonzentrationsmessung.....	229
4.7	Literatur.....	231
<b>5</b>	<b>Optische Messtechnik.....</b>	<b>233</b>
5.1	Abstandsmessung.....	233
5.1.1	Triangulation.....	234
5.1.2	Inkrementalgeber .....	236
5.1.3	Interferometer .....	238
5.2	Formmessung .....	239
5.2.1	Schattenwurfverfahren .....	239
5.2.2	Streifenprojektion .....	241
5.2.3	Weißlichtinterferometrie.....	243
5.3	Verformungsmessung mit der Holografischen Interferometrie.....	245
5.4	Spannungs-, Dehnungs-, Kraftmessung .....	248
5.4.1	Spannungsoptische Verfahren.....	248
5.4.2	Speckle-Pattern-Interferometrie (ESPI).....	249
5.4.3	Faseroptische Sensorik (FOS) zur Spannungs- und Dehnungsmessung .....	249
5.5	Schwingungsmessung .....	252
5.5.1	Laser-Doppler-Vibrometer .....	252
5.5.2	Holografische Interferometrie und Speckle-Pattern-Interferometrie.....	255
5.6	Temperaturmessung .....	256
5.7	Feuchtemessung .....	260
5.8	Farbmessung.....	260
5.9	Interferometrische Submikrometer-Messtechnik in der Automobilindustrie .....	263
5.9.1	Stand und Entwicklung der Messtechnik.....	263
5.9.2	Weißlichtinterferometrie (WLI).....	264

5.9.3	Weißlichtinterferometrie mit Sonderoptiken .....	266
5.9.4	Weißlicht-Heterodyn-Interferometer (WHI).....	272
5.9.5	Rückführung der Weißlichtinterferometrie auf amtliche Normale.....	278
5.10	Zusammenfassung und Ausblick .....	280
5.11	Literatur.....	281
<b>6</b>	<b>Produktionstechnik .....</b>	<b>283</b>
6.1	Übersicht .....	283
6.1.1	Laserstrahlquellen .....	283
6.1.2	Strahlqualität .....	287
6.1.3	Fertigungsverfahren und Materialien .....	290
6.2	Urformen .....	291
6.2.1	Selektives Laser-Sintern (SLS).....	291
6.2.2	Selektives Laser-Schmelzen (SLM: Selective Laser Melting) .....	292
6.3	Umformen .....	293
6.4	Trennen .....	294
6.4.1	Schneiden.....	294
6.4.2	Bohren und Abtragen .....	298
6.5	Fügen.....	298
6.5.1	Schweißen.....	298
6.5.2	Löten .....	304
6.6	Beschichten .....	305
6.7	Stoffeigenschaften ändern .....	307
6.7.1	Härten.....	307
6.7.2	Umschmelzen.....	308
6.7.3	Polieren .....	309
6.8	Markieren und Beschriften.....	309
6.9	Strukturieren und Mikrobearbeiten .....	311
6.10	Produktentwicklung mit Laser .....	313
6.11	Literatur.....	316
<b>7</b>	<b>Beleuchtungstechnik.....</b>	<b>317</b>
7.1	Einleitung .....	317
7.2	Lichttechnische Größen.....	318
7.3	Optische Systeme zur Beleuchtung.....	320
7.3.1	Beleuchtungssystem aus Lichtquellen und Reflektor .....	320
7.3.2	Beleuchtungssystem aus Lichtquelle und Linse ....	322
7.3.3	Arbeitsplatzleuchte .....	322
7.3.4	Kraftfahrzeug-Frontbeleuchtung.....	326
7.3.5	Operationsleuchten (OP-Leuchten) .....	328
7.3.6	Lichtleiter für Beleuchtung .....	331

7.4	Optische Systeme zur Signalisation .....	333
7.4.1	Straßenverkehrsignal (Ampel) .....	333
7.4.2	Fahrzeug-Signalleuchten.....	335
7.5	Optische Systeme für Informationsträger.....	336
7.5.1	Beleuchtetes Bedienelement .....	336
7.5.2	Lichtleiter zur Hinterleuchtung von Displays .....	338
7.5.3	Lichtleiter zur Hinterleuchtung von Statusanzeigen.....	339
7.6	Simulation in der Beleuchtungstechnik.....	340
7.6.1	Simulationsprogramme für Entwicklung optischer Systeme .....	340
7.6.2	Modellbildung für die optische Simulation .....	342
7.6.3	Auswertungen der optischen Simulation .....	348
7.7	Literatur.....	349
<b>8</b>	<b>Fotovoltaik.....</b>	<b>351</b>
8.1	Wirkungsweise der Solarzelle .....	351
8.2	Wirkungsgrad .....	355
8.3	Technologie .....	357
8.4	Literatur.....	359
<b>9</b>	<b>Optische Technologien in Medizin und Life Sciences .....</b>	<b>361</b>
9.1	Spektroskopie .....	361
9.1.1	Absorptionsspektroskopie.....	363
9.1.2	Fluoreszenzspektroskopie .....	364
9.1.3	Molekülschwingungsspektroskopie .....	368
9.1.4	Beispiele weiterer spektroskopischer Methoden.....	370
9.2	Streuung von Licht .....	371
9.2.1	Remissionsfotometrie zur Bestimmung von Glucose .....	372
9.2.2	Durchflusszytometrie .....	373
9.2.3	Optische Kohärenztomographie.....	374
9.3	Optische Mikroskopie .....	375
9.3.1	Übersicht.....	375
9.3.2	Auflösung, Schärfentiefe und förderliche Vergrößerung .....	376
9.3.3	Köhler'sche Beleuchtung und Kontrastverstärkung .....	377
9.3.4	Fluoreszenzmikroskopie .....	379
9.3.5	Laser-Scanning-Mikroskopie.....	380
9.3.6	Laserpinzette und Laser-Mikromanipulation.....	382
9.3.7	Operationsmikroskopie .....	384
9.4	Endoskopie .....	384
9.4.1	Einführung .....	384
9.4.2	Endoskopie-System.....	385

---

9.4.3	Endoskopische Bildgebung.....	388
9.4.4	Ausführungsformen medizinischer Endoskope .....	391
9.5	Laseranwendungen in der Medizin .....	394
9.5.1	Einführung .....	394
9.5.2	Wirkungsmechanismen.....	395
9.5.3	Laseranwendungen .....	397
9.6	Literatur.....	403
<b>10</b>	<b>Gebrauchsgüter .....</b>	<b>405</b>
10.1	Bildaufnahme .....	406
10.1.1	Analoge Fotokamera.....	406
10.1.2	Digitale Fotokamera .....	407
10.1.3	Handycam und Webcam.....	407
10.1.4	Camcorder.....	409
10.1.5	Flachbettscanner, Fotokopierer, Fax .....	410
10.2	Vergrößerungsgeräte .....	412
10.2.1	Mikroskop.....	412
10.2.2	Lupe .....	413
10.2.3	Teleskop.....	415
10.3	Bildwiedergabe .....	417
10.3.1	Analoge Projektoren .....	417
10.3.2	Digitale Projektoren.....	418
10.3.3	Head Mounted Devices (HMD) und Head Up Displays (HUD).....	421
10.3.4	Zusammenfassung .....	422
<b>11</b>	<b>Bildaufnahme und -wiedergabe.....</b>	<b>423</b>
11.1	Halbleiterbildsensoren und digitale Kameras.....	423
11.1.1	Geometrische Eigenschaften eines Bildsensors.....	423
11.1.2	CCD-Sensor .....	427
11.1.3	Architektur eines CCD.....	434
11.1.4	Eigenschaften eines CCD-Imagers .....	438
11.2	Kamera-User-Interface.....	447
11.3	Bildverarbeitung.....	448
11.3.1	Elementare Eigenschaften digitaler Bilder .....	449
11.3.2	Punktoperationen .....	450
11.3.3	Nachbarschaftsoperation.....	453
11.3.4	Diskrete Fourier-Transformation .....	457
11.4	Bildwiedergabe – Displays.....	463
11.4.1	Flüssigkristall-Displays.....	464
11.4.2	OLED-Displays .....	474
11.5	Literatur.....	478

<b>12 Augenschutz und Augensicherheit.....</b>	<b>479</b>
12.1 Notwendigkeit für Augenschutz.....	480
12.1.1 Aufbau des Auges.....	480
12.1.2 Optische Strahlung - Begriffsbestimmung.....	482
12.1.3 Expositionsgrenzwerte.....	483
12.1.4 Lichttransmission und Grenzwerte bei der Prüfung von Augenschutzprodukten.....	484
12.2 Varianten im Augenschutz.....	485
12.2.1 Schutz vor mechanischer Gefährdungen.....	486
12.2.2 Chemische Gefährdungen.....	487
12.2.3 Thermische Gefährdungen.....	487
12.2.4 Biologische Gefährdungen.....	487
12.2.5 Elektrische Gefährdungen.....	488
12.2.6 Arten von Augen- und Gesichtsschutz.....	488
12.2.7 Komponenten eines Augenschutzgerätes und Einsatzfelder.....	488
12.2.8 Schutz vor optischer Strahlung.....	489
12.3 Zwei besondere Arten von Augen- und Gesichtsschutz.....	490
12.3.1 Automatische Schweißerschutzfilter.....	490
12.3.2 Laserschutzfilter.....	492
12.4 Das Regelwerk - Konformität und Normung im Augenschutz.....	496
12.4.1 Gesetzesgrundlage Richtlinie und GPSG.....	496
12.4.2 CE-Zeichen.....	498
12.4.3 GS-Zeichen / DIN-Qualitätszeichen.....	499
12.5 Normung Augenschutz.....	500
12.5.1 Europäisch harmonisierte Normen.....	500
12.5.2 BGI Informationen und Regeln.....	501
12.5.3 Kennzeichnung von Augenschutzgeräten.....	502
12.5.4 Kennzeichnung von Sichtscheiben und Filterscheiben.....	502
12.5.5 Schutzstufen.....	502
12.5.6 Optische Klasse.....	503
12.5.7 Mechanische Festigkeit.....	503
12.5.8 Andere Anforderungen.....	504
12.5.9 Kennzeichnung von Tragkörpern.....	504
12.5.10 Kennzeichnung von vollständigen Augenschutzgeräten.....	508
12.5.11 Benutzung von Augenschutzgeräten.....	508
12.6 Literatur.....	508
<b>Index.....</b>	<b>511</b>