

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Grundbegriffe (W. Richter, A. Hebestreit)</b>	<b>17</b>
1.1	<i>Gegenstand der Messtechnik</i>	17
1.2	<i>Messtechnische Disziplinen, Aufgaben und Ziele</i>	18
1.2.1	Bezeichnungen	18
1.2.2	Strategische Ziele	20
1.2.3	Messtechnische Handlungen und Einrichtungen	22
1.3	<i>Größen und Einheiten</i>	24
1.3.1	Größen	25
1.3.2	Einheiten	25
1.4	<i>Messgrößenwandlung</i>	27
1.5	<i>Grundstrukturen</i>	30
1.6	<i>Weiterverarbeitung</i>	33
1.7	<i>Unifizierung und Schnittstellen</i>	35
1.7.1	Aufgabenunifizierung	35
1.7.2	Schnittstellen	35
1.8	<i>Signale</i>	36
1.8.1	Signalmerkmale	37
1.8.2	Signalwandlung	39
1.8.3	Abtastung und Analog/Digital-Umsetzung	41
1.8.4	Einheitssignale	42
1.9	<i>Kennfunktionen und Kennwerte</i>	44
1.9.1	Statische Kennfunktionen und Kennwerte	45
1.9.2	Dynamische Kennfunktionen und Kennwerte	46
1.9.3	Fehler	48
1.10	<i>Entwicklungstendenzen</i>	48
1.10.1	Historischer Rückblick	49
1.10.2	Ausblick	51
<b>2</b>	<b>Messen elektrischer Größen (G. Gruhn, A. Hebestreit)</b>	<b>53</b>
2.1	<i>Größen in Gleich- und Wechselspannungssystemen</i>	53
2.1.1	Gleichspannung und Gleichstrom	53
2.1.2	Wechselspannung und Wechselstrom	56
2.1.3	Grundschaltelemente	60
2.1.4	Wechselspannungen und Wechselströme im Dreiphasensystem	62
2.1.5	Impulsförmige und zufällige Spannungs- und Stromverläufe	65
2.1.6	Leistung	66
2.1.6.1	Wirkleistung	67
2.1.6.2	Blindleistung	69
2.1.6.3	Scheinleistung	70
2.1.6.4	Leistungsfaktor	71
2.1.7	Wirk- und Blindenergie	71
2.1.8	Größen des elektrischen und magnetischen Feldes	71
2.2	<i>Messwerke und Messgeräte</i>	73
2.2.1	Messung zeitlicher Verläufe	81
2.2.2	Messung von Gleichstrom und Gleichspannung	87
2.2.3	Messung des Quotienten zweier Gleichgrößen	89

2.2.4	Messung des Spitzenwertes	89
2.2.5	Messung des Gleichrichtwertes	90
2.2.6	Messung des Effektivwertes	91
2.2.7	Messung der Leistung	95
2.2.8	Messung der Energie	97
2.2.9	Messung der Frequenz	100
2.2.10	Messung des Phasenwinkels	101
2.2.11	Messung magnetischer Feldgrößen	103
2.2.12	Messung elektrischer Feldgrößen	104
2.2.13	Universalmessgeräte und Messplätze	104
2.2.14	Kenngrößen und Anwenderinformationen	106
2.3	<i>Messzubehör</i>	107
2.3.1	Normale	107
2.3.2	Messwiderstände	108
2.3.3	Spannungsteiler	108
2.3.4	Messwandler	110
2.3.5	Messumformer	112
2.4	<i>Messverfahren zur Messung elektrischer Größen</i>	114
2.4.1	Widerstand	115
2.4.2	Induktivität	117
2.4.3	Kapazität und Verlustfaktor	119
2.4.4	Spannung	121
2.4.5	Strom	123
2.4.6	Leistung	123
2.4.7	Energie	125
2.4.8	Phasenwinkel	126
2.4.9	Frequenz	126
2.4.10	Klirrfaktor	127
2.4.11	Formfaktor	127
2.4.12	Teilentladungen	127
2.5	<i>Analyse elektrischer Signale</i>	128
2.5.1	Harmonische Analyse	128
2.5.2	Fourier-Transformation	130
<b>3</b>	<b>Messen nichtelektrischer Größen</b>	<b>134</b>
3.1	<i>Temperatur (E. Schrüfer)</i>	134
3.1.1	Thermoelemente	134
3.1.2	Metall-Widerstandsthermometer	138
3.1.3	Heißeleiter	140
3.1.4	Kaltleiter	142
3.1.5	Silizium-Widerstandstemperatursensor	143
3.1.6	Silizium-Sperrschicht-Temperatursensor	144
3.1.7	Quarztemperatursensor	145
3.1.8	Faseroptisches Lumineszenzthermometer	146
3.1.9	Störung des Temperaturfeldes durch Berührungsthermometer	147
3.1.10	Thermosäule	148
3.1.11	Bolometer	149
3.1.12	Pyroelektrischer Temperatursensor	149
3.1.13	Strahlungspyrometer	152

3.2	<i>Druck (K. W. Bonfig)</i> . . . . .	153
3.2.1	Federelastische Druckmessgeräte . . . . .	154
3.2.2	Flüssigkeitsmanometer . . . . .	157
3.2.3	Druckmessumformer . . . . .	158
3.2.3.1	Druckmessumformer nach dem Dehnungsmessstreifen- (DMS-)Prinzip . . . . .	159
3.2.3.2	Druckmessumformer nach dem piezoresistiven Prinzip . . . . .	159
3.2.3.3	Druckmessumformer nach dem induktiven Prinzip . . . . .	162
3.2.3.4	Druckmessumformer nach dem kapazitiven Prinzip . . . . .	163
3.2.3.5	Druckmessumformer nach dem Prinzip der Resonanz- frequenzmessung . . . . .	165
3.2.3.6	Druckmessumformer nach dem piezoelektrischen Prin- zip . . . . .	166
3.2.3.7	Druckmessumformer mit Schwingquarzen . . . . .	167
3.2.3.8	Drucksensoren nach dem Prinzip der akustischen Oberflächenwellen . . . . .	167
3.2.4	Vakuumdruckmessung . . . . .	168
3.3	<i>Durchfluss (K. W. Bonfig)</i> . . . . .	169
3.3.1	Durchflussmessung durch energetische Beziehungen einer Strö- mung . . . . .	170
3.3.2	Volumenzähler . . . . .	173
3.3.3	Schwebekörper-Durchflussmessung . . . . .	175
3.3.4	Magnetisch-induktive Durchflussmessung (MID) . . . . .	177
3.3.5	Wirbelfrequenz-Durchflussmessung . . . . .	178
3.3.6	Laufzeitverfahren (Korrelation) . . . . .	181
3.3.7	Ultraschall-Durchflussmessung . . . . .	182
3.3.8	Massendurchflussmessung nach dem Coriolis-Prinzip . . . . .	185
3.3.9	Durchflussmessung auf thermischer Grundlage . . . . .	187
3.3.10	Geschwindigkeitsmessung nach dem Laser-Doppler-Verfahren . . . . .	189
3.4	<i>Füllstand und Grenzstand (K. W. Bonfig)</i> . . . . .	190
3.4.1	Verfahren mit Schwimmern und Tastplatten . . . . .	190
3.4.2	Kapazitive und konduktive Füllstandsmessung . . . . .	192
3.4.3	Füllstandsmessung mit thermischen Verfahren . . . . .	194
3.4.4	Füllstandsmessung mit radiometrischen Verfahren . . . . .	195
3.4.5	Füllstandsmessung mit Schall und Ultraschall . . . . .	196
3.4.6	Füllstandsmessung mit optischen Verfahren . . . . .	197
3.4.7	Füllstandsmessung mit Mikrowellen nach dem Radar-Prinzip . . . . .	198
3.4.8	Füllstandsmessung über Kraft- und Druckmessungen . . . . .	199
3.4.9	Weitere Methoden zur Grenzstandsüberwachung und zur Füll- standsmessung . . . . .	200
3.5	<i>Dichte (K. W. Bonfig)</i> . . . . .	201
3.5.1	Dichtemessung fester Stoffe . . . . .	202
3.5.1.1	Wägemethoden . . . . .	202
3.5.1.2	Auftriebsmethoden . . . . .	202
3.5.2	Dichtemessung von Flüssigkeiten . . . . .	203
3.5.2.1	Wägemethoden, kontinuierlich und diskontinuierlich . . . . .	203
3.5.2.2	Auftriebsmethoden, kontinuierlich und diskontinuier- lich . . . . .	204
3.5.2.3	Hydrostatische Dichtemessmethoden . . . . .	206

	3.5.2.4	Radiometrische Dichtemessmethoden . . . . .	207
	3.5.2.5	Resonanz- bzw. Schwingungsdichtemessmethoden . . . . .	207
	3.5.2.6	Spezielle Verfahren für die Dichtemessung . . . . .	208
3.5.3		Dichtemessung von Gasen . . . . .	208
	3.5.3.1	Wäge- und Auftriebsmethoden zur Gasdichtemessung . . . . .	208
	3.5.3.2	Ausström- und Schleuderverfahren für die Gasdichtemessung . . . . .	209
	3.5.3.3	Schwingungsmethoden für die Gasdichtemessung . . . . .	210
3.6		<i>Viskosität (K. W. Bonfig)</i> . . . . .	211
	3.6.1	Abhängigkeit der Viskosität von verschiedenen Einflussgrößen . . . . .	214
	3.6.2	Kapillarviskosimeter . . . . .	215
	3.6.3	Rotationsviskosimeter . . . . .	215
	3.6.4	Verschiebung zweier konzentrischer Zylinder . . . . .	216
	3.6.5	Kugelfallviskosimeter . . . . .	216
	3.6.6	Schwebekörperviskosimeter . . . . .	216
	3.6.7	Schwingungsviskosimeter . . . . .	216
3.7		<i>Oberflächenspannung (J. Hoffmann)</i> . . . . .	217
	3.7.1	Ringaufnehmer . . . . .	217
	3.7.2	Plattenaufnehmer . . . . .	218
3.8		<i>Messen mechanischer und geometrischer Größen (J. Hoffmann, W. Richter)</i> . . . . .	218
	3.8.1	Messen von Längen und Winkeln . . . . .	218
	3.8.1.1	Mechanische Verfahren . . . . .	219
	3.8.1.2	Induktive und kapazitive Verfahren . . . . .	220
	3.8.1.3	Optische Verfahren . . . . .	222
	3.8.1.4	Ultraschallverfahren . . . . .	226
	3.8.1.5	Winkelbestimmung . . . . .	227
	3.8.2	Positionsbestimmung . . . . .	228
	3.8.2.1	Optische Verfahren . . . . .	228
	3.8.2.2	Nichtoptische Verfahren . . . . .	229
	3.8.3	Messen von Dehnungen und daraus abgeleiteten Größen . . . . .	232
	3.8.3.1	Metall-Dehnungsmessstreifen . . . . .	234
	3.8.3.2	Halbleiter-Dehnungsmessstreifen . . . . .	235
	3.8.3.3	Anordnungen von Dehnungsmessstreifen . . . . .	236
	3.8.4	Messen von Kräften . . . . .	237
	3.8.5	Beschleunigungs- und Schwingungsmessung . . . . .	240
	3.8.6	Messung der Masse . . . . .	243
	3.8.7	Drehmomentmessung . . . . .	245
	3.8.8	Messen von Oberflächeneigenschaften fester Stoffe . . . . .	247
	3.8.8.1	Bestimmung von Gestaltabweichungen . . . . .	247
	3.8.8.2	Bestimmung der Härte . . . . .	249
	3.8.8.3	Bestimmung der Schichtdicke . . . . .	250
3.9		<i>Zeitmessung (H. Kopp)</i> . . . . .	251
	3.9.1	Zeitskalen . . . . .	251
	3.9.2	Zeitbasen . . . . .	252
	3.9.2.1	RC-Schaltungen . . . . .	252
	3.9.2.2	Kondensator-Konstantstromladung . . . . .	253
	3.9.2.3	LC-Oszillatoren . . . . .	254
	3.9.2.4	Quarzoszillatoren . . . . .	254

3.9.3	Zeitsignale von Funksendern	254
3.9.3.1	DCF77	255
3.9.3.2	GPS	255
3.10	Frequenzmessung (H. Kopp)	256
3.10.1	Bestimmung der Frequenz	256
3.10.2	Rückführung der Frequenz- auf die Zeitmessungen	256
3.10.3	Frequenzteiler, Frequenzvervielfachung	257
3.11	Drehzahl- und Winkellageerfassung (H. Kopp)	258
3.11.1	Optische Signalgeber	258
3.11.2	Induktive Signalgeber	259
3.11.3	Feldplatten- und Hall-Geber	260
3.11.4	Tachogenerator	261
3.11.5	Stroboskop	261
3.12	Konzentrations- und Analysenmesstechnik (J. Hoffmann)	261
3.12.1	Wichtige Grundprinzipien	262
3.12.1.1	Prinzip der Absorption	263
3.12.1.2	Prinzip der Reflexion	264
3.12.1.3	Prinzip der Emission	264
3.12.1.4	Prinzip der Chromatographie	265
3.12.2	Gas- und Flüssigkeitschromatographie	266
3.12.3	Massenspektroskopie	268
3.12.4	NMR-Spektroskopie	270
3.12.5	Röntgenfluoreszenzanalyse	271
3.12.6	Optische Analyseverfahren	274
3.12.6.1	UV/VIS-Spektroskopie	274
3.12.6.2	Flammenspektroskopie / AAS, AES	275
3.12.6.3	Funken-/Bogenspektroskopie	276
3.12.6.4	Fluoreszenzspektroskopie	277
3.12.6.5	Infrarot- und Raman-Spektroskopie	278
3.12.6.6	Refraktometrie	282
3.12.6.7	Polarimetrie	285
3.12.7	Kalorimetrie	286
3.12.8	Wärmeleitfähigkeitsmessung zur Gaskonzentrationsbestimmung	288
3.12.9	Wärmetönungsmessung	289
3.12.10	Flammenionisationsmessung	290
3.12.11	Sauerstoffmessung	291
3.12.11.1	Ringkammersauerstoffsensoren	291
3.12.11.2	Hitzdrahtsauerstoffsensoren	292
3.12.11.3	Magnetomechanische Geräte	293
3.12.11.4	Magnetopneumatische Geräte	294
3.12.11.5	Festkörper-Sauerstoffsensoren	295
3.12.12	Feuchtemessung	296
3.12.12.1	Aspirationshygrometer	297
3.12.12.2	LiCl-Hygrometer	298
3.12.12.3	Elektrolysehygrometer	299
3.12.12.4	Tauspiegelhygrometer	300
3.12.12.5	Kapazitive Feuchtesensoren	301
3.12.12.6	Haarhygrometer	301
3.12.12.7	Bistreifenhygrometer	302

	3.12.12.8 Neutronen-Feuchtesensor	303
	3.12.12.9 Weitere Feuchtesensoren	305
3.12.13	Konduktometrie	305
3.12.14	Potentiometrie	306
	3.12.14.1 pH-Wert-Sensoren	306
	3.12.14.2 Ionenselektive Sensoren	308
	3.12.14.3 Redoxpotentialensoren	309
3.12.15	Elektrodenkinetische Messverfahren	309
3.12.16	Partikelmesstechnik	310
	3.12.16.1 Mechanische Verfahren	312
	3.12.16.2 Optische Verfahren	313
	3.12.16.3 Sedimentationsverfahren	318
	3.12.16.4 Feldstörungsverfahren	322
	3.12.16.5 Akustische Verfahren	323
	3.12.16.6 Oberflächenbestimmungsverfahren	323
3.12.17	Probennahme und Probenteilung	324
3.13	<i>Messung ionisierender Strahlung (E. Schrifer)</i>	325
3.13.1	Größen und Einheiten	325
3.13.2	Detektoren für $\gamma$ -Strahlung	326
	3.13.2.1 Ionisationskammer	327
	3.13.2.2 Auslösezählrohr	327
	3.13.2.3 Szintillationszähler	328
	3.13.2.4 Halbleiter-Strahlungsdetektor	329
	3.13.2.5 Impulshöhenanalyse	330
3.13.3	Detektoren für $\beta$ -Strahlung	330
3.13.4	Detektoren für $\alpha$ -Strahlung	330
3.13.5	Neutronenflussmessung	331
	3.13.5.1 $\text{BF}_3$ -Zählrohr	332
	3.13.5.2 Borbelegte Ionisationskammer	332
	3.13.5.3 Spaltkammer	332
	3.13.5.4 Neutronen-Beta-Detektoren	333
3.13.6	Dosismessung	334
3.13.7	Integriertes Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität	335
3.14	<i>Messung optischer Größen (H. Kopp)</i>	336
3.14.1	Strahlungsphysikalisches und lichttechnisches Maßsystem	336
3.14.2	Empfänger zur Messung optischer Strahlung	338
	3.14.2.1 Fotowiderstände	339
	3.14.2.2 Fotodioden	340
	3.14.2.3 Fototransistoren	342
	3.14.2.4 Sekundärelektronenvervielfacher (SEV) und Kanal- elektronenvervielfacher (KEV)	343
	3.14.2.5 Charge Coupled Device (CCD)	344
	3.14.2.6 Lateraleffektdioden	345
	3.14.2.7 Breitbandige Strahlungsempfänger	345
	3.14.2.8 UV-Sensoren	346
3.14.3	Besonderheiten von Empfängern für Lichtmessungen	346
	3.14.3.1 $V(\lambda)$ -Anpassung	346
	3.14.3.2 Kosinusanpassung	347

3.14.4	Messung lichttechnischer Größen	348
3.14.4.1	Verfahren der Lichtschwächung	348
3.14.4.2	Beleuchtungsstärke	349
3.14.4.3	Leuchtdichte	351
3.14.4.4	Lichtstrom	352
3.14.4.5	Lichtstärke	354
3.14.4.6	Lichtstärkeverteilung	355
3.14.4.7	Farbmessungen	356
3.14.4.8	Lichttechnische Stoffkennzahlen	358
3.14.5	Fotometrische Normale	359
3.14.5.1	Fotometrische Strahlungsnormale	359
3.14.5.2	Fotometrische Empfängernormale	359
3.14.5.3	Fotometrische Reflexionsnormale	359
3.14.5.4	Normlichtarten	359
3.15	Messung akustischer Größen (G. Fuder)	359
3.15.1	Schalldruckpegel	360
3.15.1.1	Bewertete Schalldruckpegel	361
3.15.1.2	Addition von Schalldruckpegeln	364
3.15.1.3	Mittelwerte des Schalldruckpegels	365
3.15.2	Geräte zur Messung von Schalldruckpegeln	366
3.15.3	Beurteilung praktischer Schallsituationen	367
3.15.4	Lautstärkepegel und Lautheit	368
3.15.4.1	Ermittlung des Lautstärkepegels durch Hörvergleich	368
3.15.4.2	Lautheit	371
3.15.4.3	Berechnung von Lautstärkepegel und Lautheit	372
3.15.4.4	Vergleich der Kenngrößen Schalldruckpegel, Lautstärkepegel und Lautheit	373
3.15.5	Schalleistungspegel	374
3.15.6	Direkte Messung der Schallintensität	377
3.15.7	Akustische Nahfeld-Holografie	378
<b>4</b>	<b>Messelektronik</b>	<b>380</b>
4.1	Analoge Messelektronik (C. Lehmann)	380
4.1.1	Prinzipien der analogen Messwertverarbeitung	380
4.1.1.1	Strukturen und Komponenten von Messeinrichtungen	381
4.1.1.2	Prinzip der Rückkopplung	383
4.1.1.3	Varianten der elektrischen Anpassung	384
4.1.2	Systemkomponenten analoger Messgeräte	387
4.1.2.1	Tastköpfe	387
4.1.2.2	Sensoren in Brückenschaltungen	388
4.1.2.3	Messverstärker	393
4.1.2.4	Analoge Rechenschaltungen	408
4.1.2.5	Hilfsschaltungen für Messwandler	415
4.1.2.6	Analoge elektronische Schalter	421
4.1.2.7	Filter	425
4.2	Digitale Messelektronik (K. Urbanski)	430
4.2.1	Grundlagen der Digitaltechnik	430
4.2.1.1	Zuordnungssysteme	431
4.2.1.2	Boolesche Algebra	433

4.2.1.3	Logische Grundverknüpfungen	437
4.2.1.4	Minimieren von Schaltfunktionen	438
4.2.2	Kombinatorische Grundschaltungen	442
4.2.2.1	Code-Umsetzer	442
4.2.2.2	Zahlenkomparator	444
4.2.2.3	Multiplexer und Demultiplexer	445
4.2.2.4	Addierer	446
4.2.3	Sequentielle Grundschaltungen	448
4.2.3.1	Prinzipieller Aufbau einer sequentiellen Schaltung	448
4.2.3.2	Monostabile Kippstufen (Monoflops)	449
4.2.3.3	Bistabile Kippstufen (Flipflops)	449
4.2.3.4	Zähler	452
4.2.3.5	Register und Schieberegister	455
4.2.4	Eigenschaften digitaler integrierter Schaltkreise	457
4.2.5	Anwenderspezifische Bausteine (ASICs)	463
4.2.5.1	Fullcustom	464
4.2.5.2	Semicustom	464
4.2.5.3	Programmierbare Logik	465
4.2.6	Mikrocomputer-Schaltkreise	468
4.2.6.1	Struktur des Mikrocomputers	469
4.2.6.2	Mikroprozessoren	470
4.2.6.3	Schreib-/Lesespeicher (RAM)	471
4.2.6.4	Festwertspeicher (ROM)	475
4.2.6.5	Ein-/Ausgabe-Bausteine	476
4.2.6.6	Mikrocontroller	476
4.2.7	Messgeräte für die Logikanalyse	479
4.2.7.1	Logikprüfer	479
4.2.7.2	Logikanalysator	480
<b>5</b>	<b>Rechnerkopplung</b>	<b>482</b>
5.1	<i>Grundlagen und Begriffe (J. Hoffmann)</i>	482
5.1.1	A/D-Umsetzer	485
5.1.1.1	Parallel-A/D-Umsetzer	486
5.1.1.2	Sukzessive-Approximation-A/D-Umsetzer	487
5.1.1.3	Nachlauf-A/D-Umsetzer	488
5.1.1.4	Rampen-A/D-Umsetzer	489
5.1.1.5	Dual-Slope-A/D-Umsetzer	490
5.1.1.6	Charge-Balancing-A/D-Umsetzer	492
5.1.1.7	Delta-Sigma-Umsetzer	493
5.1.2	D/A-Umsetzer	495
5.1.2.1	Stromgewichtete D/A-Umsetzer	495
5.1.2.2	R-2R-D/A-Umsetzer	496
5.2	<i>Intelligente Sensorik (K. Urbanski)</i>	496
5.3	<i>Bussysteme in der Messtechnik (H. Kopp)</i>	500
5.3.1	Bus-Topologie	501
5.3.2	OSI-Schichtenmodell	502
5.3.3	Physikalische Schnittstellenstandards	503
5.3.3.1	RS232C	503
5.3.3.2	RS422	504
5.3.3.3	RS485	505



5.3.4	Datenübertragung . . . . .	505
5.3.4.1	Busse für serielle Übertragung . . . . .	505
5.3.4.2	Synchronisationsverfahren . . . . .	506
5.3.4.3	Bus-Zugriffsverfahren . . . . .	506
5.3.4.4	Bus-Protokolle . . . . .	507
5.3.4.5	Sicherung gegen Übertragungsfehler . . . . .	507
5.3.5	Messgerätebus IEEE488 . . . . .	508
5.3.5.1	IEEE STD 488.1 . . . . .	508
5.3.5.2	IEEE STD 488.2 . . . . .	509
5.3.6	Beispiele genormter Feldbussysteme . . . . .	509
5.3.7	Kopplungen unterschiedlicher Bussysteme (Gateways) . . . . .	509
5.3.8	Maßnahmen zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) . . . . .	511
<b>6</b>	<b>Ausgabegeräte (C. Lehmann) . . . . .</b>	<b>513</b>
6.1	<i>Digitale Anzeigeelemente . . . . .</i>	<i>513</i>
6.1.1	Optoelektronische Anzeigeelemente . . . . .	513
6.1.1.1	Binärsignal-Anzeige mit LED . . . . .	514
6.1.1.2	Quasi-analoge Anzeige . . . . .	514
6.1.1.3	Numerische Anzeige mit LCD . . . . .	515
6.1.1.4	Alphanumerische Anzeigen . . . . .	516
6.2	<i>Bildsichtgeräte . . . . .</i>	<i>517</i>
6.2.1	Farbbildröhren für Monitore . . . . .	517
6.2.1.1	Prinzipieller Aufbau . . . . .	518
6.2.1.2	Frequenzkennwerte . . . . .	518
6.2.1.3	Grundfunktionen der Grafikkarte . . . . .	520
6.2.2	LCD-Bildschirme . . . . .	521
6.3	<i>Drucker . . . . .</i>	<i>522</i>
6.3.1	Funktionsprinzipien im Überblick . . . . .	522
6.3.2	Kommunikations-Schnittstellen . . . . .	523
6.3.2.1	Centronics-Schnittstelle . . . . .	524
6.3.2.2	IEC-Bus-Schnittstelle . . . . .	525
6.3.2.3	Serielle Schnittstelle EIA-232 . . . . .	525
6.3.2.4	USB-Schnittstelle . . . . .	526
6.3.2.5	Firewire-Schnittstelle . . . . .	527
<b>7</b>	<b>Das Konzept Messfehler (J. Hoffmann, J. Biermann) . . . . .</b>	<b>528</b>
7.1	<i>Fehlerdefinition . . . . .</i>	<i>528</i>
7.2	<i>Fehlerarten . . . . .</i>	<i>529</i>
7.2.1	Quantisierungsfehler und digitaler Restfehler . . . . .	529
7.2.2	Statische Fehler . . . . .	531
7.2.3	Dynamische Fehler . . . . .	532
7.2.4	Systematische Fehler . . . . .	535
7.2.5	Zufällige Fehler . . . . .	536
7.3	<i>Trennung von systematischen und zufälligen Fehleranteilen . . . . .</i>	<i>536</i>
7.4	<i>Kennlinienkorrektur . . . . .</i>	<i>537</i>
7.4.1	Lineare Approximation . . . . .	538
7.4.2	Geradenapproximation . . . . .	539
7.4.3	Polynominterpolation . . . . .	541
7.4.4	Spline-Interpolation . . . . .	544
7.5	<i>Fehlerfortpflanzung . . . . .</i>	<i>546</i>

7.6	<i>Messbereich, Auflösung und Messgenauigkeit</i> . . . . .	547
7.7	<i>Auswertung von Messergebnissen</i> . . . . .	548
7.7.1	Der Begriff der Messreihe . . . . .	548
7.7.1.1	Schätzwerte und wahre Werte . . . . .	549
7.7.1.2	Mittelwert und Erwartungswert . . . . .	549
7.7.1.3	Stichprobenvarianz und Varianz . . . . .	550
7.7.1.4	Mittlerer Fehler der Einzelmessung . . . . .	550
7.7.1.5	Mittlerer Fehler des Mittelwertes . . . . .	552
7.7.1.6	Mittlerer Fehler der Standardabweichung . . . . .	554
7.7.1.7	Empirische Kovarianz und Korrelationskoeffizient . . . . .	555
7.7.2	Grafische Darstellung von Messergebnissen . . . . .	555
7.7.2.1	Histogramm und Verteilungsdichtefunktion . . . . .	555
7.7.2.2	Summenhäufigkeit und Verteilungsfunktion . . . . .	557
7.7.2.3	Weitere Darstellungsmöglichkeiten . . . . .	558
7.7.3	Regressionsrechnung . . . . .	558
7.7.3.1	Einfache lineare Regression . . . . .	559
7.7.3.2	Vertrauensintervalle für Regressionskoeffizient und -konstante . . . . .	561
7.7.3.3	Mehrfache lineare und nichtlineare Regression . . . . .	561
7.7.4	Tests . . . . .	562
7.7.4.1	Der $t$ -Test als einseitiges Problem . . . . .	564
7.7.4.2	Der $t$ -Test als zweiseitiges Problem . . . . .	564
7.7.4.3	Der $\chi^2$ -Streutest . . . . .	565
7.7.4.4	Der $t$ -Zweistichprobentest . . . . .	565
7.7.4.5	Der $F$ -Test . . . . .	566
7.7.5	Weitere Auswertungsmethoden . . . . .	566
<b>8</b>	<b>Das Konzept Messunsicherheit (F. Adunka)</b> . . . . .	<b>568</b>
8.1	<i>Messwertverteilungen</i> . . . . .	573
8.2	<i>Die Verteilungsfunktion der Ergebnisgröße</i> . . . . .	579
8.3	<i>Korrelierte Eingangsdaten</i> . . . . .	580
8.4	<i>Kritik an der Vorgehensweise nach dem GUM</i> . . . . .	585
8.5	<i>Vorgehensweise bei der Berechnung von Messunsicherheiten</i> . . . . .	586
8.5.1	Schematische Vorgehensweise nach EA-4/02 . . . . .	586
8.5.2	Angabe der Messunsicherheit . . . . .	587
8.5.3	Unsicherheitsangabe bei Digitalanzeigen . . . . .	587
8.6	<i>Weitere Beispiele</i> . . . . .	588
8.7	<i>Ergänzende Bemerkungen</i> . . . . .	595
<b>9</b>	<b>Einheiten und Umrechnungen (W. Richter, J. Hoffmann)</b> . . . . .	<b>597</b>
	<b>Formelzeichenverzeichnis</b> . . . . .	<b>617</b>
	<b>Verzeichnis englisch-deutscher Begriffe</b> . . . . .	<b>620</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	<b>628</b>
	<b>Sachwortverzeichnis</b> . . . . .	<b>655</b>