

# Handbuch der Messtechnik

Bearbeitet von  
Jörg Hoffmann

4., neu bearbeitete Auflage 2012. Buch. 816 S. Hardcover

ISBN 978 3 446 42736 5

Format (B x L): 17,9 x 24,7 cm

Gewicht: 1621 g

[Weitere Fachgebiete > Technik > Technische Instrumentierung > Mess- und Automatisierungstechnik](#)

Zu [Leseprobe](#) und [Sachverzeichnis](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

  
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung [beck-shop.de](http://beck-shop.de) ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.



## Inhaltsverzeichnis

Handbuch der Messtechnik

ISBN: 978-3-446-42736-5

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-42736-5>

sowie im Buchhandel.

# Inhaltsverzeichnis

► *Hinweis:* Die mit „|“ gekennzeichneten Abschnitte enthalten Gerätevorstellungen.

<b>1</b>	<b>Grundbegriffe</b>	<b>25</b>
1.1	Gegenstand der Messtechnik ( <i>W. Richter, A. Hebestreit</i> )	25
1.2	Messtechnische Disziplinen, Aufgaben und Ziele ( <i>W. Richter, A. Hebestreit</i> )	26
1.2.1	Bezeichnungen	26
1.2.2	Strategische Ziele	27
1.2.3	Messtechnische Handlungen und Einrichtungen	27
1.3	Größen und Einheiten ( <i>W. Richter, A. Hebestreit</i> )	29
1.3.1	Größen	29
1.3.2	Einheiten	30
1.4	Messgrößenwandlung ( <i>W. Richter, A. Hebestreit</i> )	31
1.5	Grundstrukturen ( <i>W. Richter, A. Hebestreit</i> )	33
1.6	Weiterverarbeitung ( <i>W. Richter, A. Hebestreit</i> )	35
1.7	Unifizierung und Schnittstellen ( <i>W. Richter, A. Hebestreit</i> )	36
1.7.1	Aufgabenunifizierung	36
1.7.2	Schnittstellen	36
1.8	Signale ( <i>W. Richter, A. Hebestreit</i> )	36
1.8.1	Signalmerkmale	37
1.8.2	Signalwandlung	39
1.8.3	Abtastung und Analog/Digital-Umsetzung	39
1.8.4	Einheitssignale	40
1.9	Kennfunktionen und Kennwerte ( <i>W. Richter, A. Hebestreit</i> )	42
1.9.1	Statische Kennfunktionen und Kennwerte	42
1.9.2	Dynamische Kennfunktionen und Kennwerte	43
1.9.3	Fehler	44
1.10	Entwicklungstendenzen ( <i>W. Richter, A. Hebestreit</i> )	44
1.10.1	Historischer Rückblick	44
1.10.2	Ausblick	45
1.11	Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) ( <i>E. O. Göbel</i> )	47
1.11.1	PTB: Das Institut	47
1.11.2	Fachliche Ausrichtung	49
1.11.3	Grundlagen der Metrologie	49
1.11.4	Metrologie für die Wirtschaft	51
1.11.5	Metrologie für die Gesellschaft	52
1.11.6	Internationale Angelegenheiten	53
1.12	Akkreditierte Kalibrierlaboratorien ( <i>W. Bosch, P. Ulbig</i> )	53
1.12.1	Kalibrierung und messtechnische Rückführung: Grundlagen für die Arbeit	54
1.12.2	Metrologische Infrastruktur, Akkreditierungskriterien und -verfahren	55
1.12.3	Kalibriermöglichkeiten	56
1.12.4	Internationale Zusammenarbeit	58
1.13	Die VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) ( <i>D. Westerkamp</i> )	59
1.13.1	Die Struktur der GMA	59
1.13.2	Arbeitsergebnisse aus den Fachausschüssen	60
1.13.3	Kooperationen	60

<b>2</b>	<b>Messen elektrischer Größen</b>	<b>61</b>
2.1	Größen in Gleich- und Wechselspannungssystemen ( <i>G. Gruhn, A. Hebestreit</i> )	61
2.1.1	Gleichspannung und Gleichstrom	61
2.1.2	Wechselspannung und Wechselstrom	62
2.1.3	Grundschaltelemente	64
2.1.4	Wechselspannungen und Wechselströme im Dreiphasensystem	66
2.1.5	Impulsförmige und zufällige Spannungs- und Stromverläufe	67
2.1.6	Leistung	68
2.1.6.1	Wirkleistung	68
2.1.6.2	Blindleistung	69
2.1.6.3	Scheinleistung	70
2.1.6.4	Leistungsfaktor	70
2.1.7	Wirk- und Blindenergie	70
2.1.8	Größen des elektrischen und magnetischen Feldes	71
2.2	Messwerke und Messgeräte ( <i>G. Gruhn, A. Hebestreit</i> )	72
2.2.1	Messung zeitlicher Verläufe	78
2.2.2	Messung von Gleichstrom und Gleichspannung	82
2.2.3	Messung des Quotienten zweier Gleichgrößen	83
2.2.4	Messung des Spitzenwertes	83
2.2.5	Messung des Gleichrichtwertes	84
2.2.6	Messung des Effektivwertes	85
2.2.7	Messung der Leistung	87
2.2.8	Messung der Energie	88
2.2.9	Messung der Frequenz	89
2.2.10	Messung des Phasenwinkels	90
2.2.11	Messung magnetischer Feldgrößen	91
2.2.12	Messung elektrischer Feldgrößen	92
2.2.13	Universalmessgeräte und Messplätze	92
2.2.14	Kenngrößen und Anwenderinformationen	93
2.3	Messzubehör ( <i>G. Gruhn, A. Hebestreit</i> )	93
2.3.1	Normale	93
2.3.2	Messwiderstände	94
2.3.3	Spannungsteiler	94
2.3.4	Messwandler	95
2.3.5	Messumformer	96
2.4	Messverfahren zur Messung elektrischer Größen	98
2.4.1	Widerstand	98
2.4.2	Induktivität	100
2.4.3	Kapazität und Verlustfaktor	101
2.4.4	Spannung	102
2.4.5	Strom	103
2.4.6	Leistung	103
2.4.7	Energie	104
2.4.8	Phasenwinkel	105
2.4.9	Frequenz	105
2.4.10	Klirrfaktor	105
2.4.11	Formfaktor	105
2.4.12	Teilentladungen	106
2.5	Analyse elektrischer Signale ( <i>G. Gruhn, A. Hebestreit</i> )	106
2.5.1	Harmonische Analyse	106
2.5.2	Fourier-Transformation	107
2.6	Messgeräte für elektrische Größen	109
2.6.1	Digitalmultimeter der Serie TX ( <i>P. Bach</i> )	109
2.6.2	Oszilloskope ( <i>R. Bach</i> )	110
2.6.2.1	Oszilloskope der TDS1000/2000C-Serie	110
2.6.2.2	Die DPO-Geräteklasse	111
2.6.2.3	Oszilloskope der Serie TDS3000C	112
2.6.2.4	WaveStar-Software für Oszilloskope	113

2.6.3	Automatische, programmierbare RCL-Messgeräte PM 6306 und PM 6304 ( <i>R. Rueger</i> )	114
2.6.4	Spannungs-, Leistungs- und Frequenzmessgeräte ( <i>P. Mühlbauer</i> )	115
2.6.4.1	Leistungsmessgerät R&S NRP2	115
2.6.4.2	Zweikanal-Leistungsmessgerät NRVD	115
2.6.4.3	Leistungs- und Reflexionsmessgerät NRT	124
2.6.4.4	Durchgangsleistungsmessgerät NAS	126
2.6.4.5	Pegelmessgerät URV35	127
2.6.4.6	Millivoltmessgerät URV55	129
2.6.5	EMV-Messgeräte ( <i>P. Mühlbauer</i> )	130
2.6.5.1	EMV-Messempfänger ESL	130
2.6.5.2	Störmessempfänger ESU	132
2.6.6	Signalgeneratoren ( <i>P. Mühlbauer</i> )	133
2.6.6.1	Vektorsignalgenerator SMU200A	133
2.6.6.2	Vektorsignalgenerator SMBV100A	134
2.6.6.3	Signalgenerator SMA100A	135
2.6.6.4	Mikrowellen-Signalgenerator SMF100A	136
2.6.6.5	Frequenzvervielfacher SMZ	137
2.6.7	Spektrumanalysatoren ( <i>P. Mühlbauer</i> )	138
2.6.7.1	Handheld-Spektrumanalysator FSH4/FSH8	138
2.6.7.2	High-End-Spektrumanalysator FSU	141
2.6.7.3	Echtzeit-Spektrumanalysator FSVR	143
2.6.7.4	Signalquellenanalysator FSUP	145
2.6.8	Audioanalysator UPV ( <i>P. Mühlbauer</i> )	146
2.6.9	Netzwerkanalysatoren ( <i>P. Mühlbauer</i> )	149
2.6.9.1	Vektor-Netzwerkanalysator ZNB	149
2.6.9.2	Vektor-Netzwerkanalysator ZVA	150
2.6.9.3	Mehrter-Netzwerkanalysator ZVT8/20	152

### 3 Messen nichtelektrischer Größen 154

3.1	Temperatur ( <i>E. Schrüfer</i> )	154
3.1.1	Thermoelemente	154
3.1.2	Metall-Widerstandsthermometer	156
3.1.3	Heißleiter	157
3.1.4	Kaltleiter	158
3.1.5	Silicium-Widerstandstemperatursensor	159
3.1.6	Silicium-Sperrschicht-Temperatursensor	160
3.1.7	Quarztemperatursensor	160
3.1.8	Faseroptisches Lumineszenzthermometer	161
3.1.9	Störung des Temperaturfeldes durch Berührungsthermometer	161
3.1.10	Thermosäule	162
3.1.11	Bolometer	163
3.1.12	Pyroelektrischer Temperatursensor	163
3.1.13	Strahlungspyrometer	164
3.1.14	Berührende Temperaturnehmter ( <i>H. Ilgner</i> )	165
3.1.14.1	Gerades Thermoelement mit Spülgasanschluss	165
3.1.14.2	Absaug-Thermoelement	166
3.1.14.3	Mehrfach-Stufen-Thermometer	166
3.1.14.4	Thermoelement für Hochdruckanwendungen	168
3.1.14.5	Widerstandsthermometer für sterile Anwendungen	168
3.1.14.6	Thermometer zur Temperaturmessung in partikelbeladenen Gasen	169
3.1.14.7	Widerstandsthermometer für erhöhte hygienische Anforderungen	170
3.1.14.8	Widerstandsthermometer mit extrem kurzen Ansprechzeiten für sicherheitsrelevante Prozesse	170
3.1.14.9	Widerstandsthermometer in Lagerschalen und Gehäusen	171
3.1.14.10	Temperaturmessung mit Winkelthermoelementen	172
3.1.14.11	Temperaturmessung mit Thermoelementen in Turbinen	172

	3.1.14.12	Rohrwandtemperaturmessung an Wärmetauscherrohren	173
	3.1.14.13	Temperaturmessung mit Thermoelementen in Großdieselmotoren	174
3.1.15		Berührungslose Temperaturaufnehmer ( <i>H. Ilgner</i> )	175
	3.1.15.1	Infrarot-Temperaturmessung bei der Stahlproduktion	175
	3.1.15.2	Infrarot-Temperaturmessung in der Glasindustrie und an Drehrohr- und Tunnelöfen	176
	3.1.15.3	Handmessgerät SENSYTHERM TIR-H1	177
3.2		Druck ( <i>K. W. Bonfig</i> )	178
	3.2.1	Federelastische Druckmessgeräte	178
	3.2.2	Flüssigkeitsmanometer	180
	3.2.3	Druckmessumformer	181
	3.2.3.1	Druckmessumformer nach dem Dehnungsmessstreifen- (DMS-)Prinzip	181
	3.2.3.2	Druckmessumformer nach dem piezoresistiven Prinzip	181
	3.2.3.3	Druckmessumformer nach dem induktiven Prinzip	183
	3.2.3.4	Druckmessumformer nach dem kapazitiven Prinzip	183
	3.2.3.5	Druckmessumformer nach dem Prinzip der Resonanzfrequenzmessung	185
	3.2.3.6	Druckmessumformer nach dem piezoelektrischen Prinzip	185
	3.2.3.7	Druckmessumformer mit Schwingquarzen	186
	3.2.3.8	Drucksensoren nach dem Prinzip der akustischen Oberflächenwellen	186
	3.2.4	Vakuumdruckmessung	186
	3.2.5	Druckmessumformer ( <i>H. Lamprecht</i> )	187
	3.2.5.1	Druckmessumformer DMP 343	187
	3.2.5.2	Druckmessumformer DMP 331/333	187
	3.2.5.3	Druckmessumformer DMK 361	188
	3.2.5.4	Druckmessumformer HMP 331, HART®-Protokoll	189
	3.2.5.5	Differenzdruckmessumformer DMD 331	190
	3.2.5.6	OEM-Druckmessumformer	190
3.3		Durchfluss ( <i>K. W. Bonfig</i> )	191
	3.3.1	Durchflussmessung durch energetische Beziehungen einer Strömung	191
	3.3.2	Volumenzähler	193
	3.3.3	Schwebekörper-Durchflussmessung	194
	3.3.4	Magnetisch-induktive Durchflussmessung (MID)	195
	3.3.5	Wirbelfrequenz-Durchflussmessung	196
	3.3.6	Laufzeitverfahren (Korrelation)	197
	3.3.7	Ultraschall-Durchflussmessung	198
	3.3.8	Massendurchflussmessung nach dem Coriolis-Prinzip	199
	3.3.9	Durchflussmessung auf thermischer Grundlage	201
	3.3.10	Geschwindigkeitsmessung nach dem Laser-Doppler-Verfahren	202
	3.3.11	Schwebekörper-Durchflussmessgeräte ( <i>P. Komp, R. Haak, H. Bernard</i> )	202
	3.3.11.1	Schwebekörper-Durchflussmesser mit Glaskonus	202
	3.3.11.1.1	Schwebekörper-Durchflussmesser mit Glaskonus zum Messen kleiner Durchflussmengen (DK-Geräte)	203
	3.3.11.1.2	Kunststoff-Schwebekörper-Durchflussmesser	204
	3.3.11.2	Schwebekörper-Durchflussmesser mit Metallmesskonus	204
	3.3.11.2.1	Schwebekörper-Durchflussmesser mit Metallkonus zum Messen kleiner Durchflussmengen (DK-Metall)	205
	3.3.11.2.2	Schwebekörper-Durchflussmesser mit geführtem Schwebekörper (H-Geräte)	205
	3.3.12	Magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte ( <i>D. Tschopp</i> )	207
	3.3.13	Wirbelfrequenz-Durchflussmessgeräte ( <i>T. Kunimünch</i> )	211
	3.3.14	Ultraschall-Durchflussmessgeräte ( <i>A. Boer</i> )	214
	3.3.15	Coriolis-Durchflussmessgeräte ( <i>W. Drahm</i> )	217
	3.3.16	Coriolis-Durchflussregler in Kompaktbauweise ( <i>P. Wagner</i> )	220
	3.3.17	Durchflussmessgeräte auf thermischer Grundlage ( <i>P. Wagner</i> )	220
	3.3.18	Strömungsgeschwindigkeitsmessgerät nach dem LDA-Verfahren ( <i>R. Schledde</i> )	224
	3.3.19	Strömungsgeschwindigkeitsmessgerät nach dem PIV-Verfahren ( <i>R. Schledde</i> )	224

3.4	Füllstand und Grenzstand ( <i>K. W. Bonfig</i> ) .....	225
3.4.1	Verfahren mit Schwimmern und Tastplatten .....	225
3.4.2	Kapazitive und konduktive Füllstandsmessung .....	226
3.4.3	Füllstandsmessung mit thermischen Verfahren .....	228
3.4.4	Füllstandsmessung mit radiometrischen Verfahren .....	228
3.4.5	Füllstandsmessung mit Schall und Ultraschall .....	229
3.4.6	Füllstandsmessung mit optischen Verfahren .....	229
3.4.7	Füllstandsmessung mit Mikrowellen nach dem Radar-Prinzip .....	230
3.4.8	Füllstandsmessung über Kraft- und Druckmessungen .....	230
3.4.9	Weitere Methoden zur Grenzstandsüberwachung und zur Füllstandsmessung .....	231
3.4.10	Schwimmer-Füllstandserfassung ( <i>L. Klemmt, K. Soppelsa</i> ) .....	231
3.4.11	Kapazitive und konduktive Füllstandsmessgeräte ( <i>M. Krause</i> ) .....	234
3.4.11.1	Kapazitive Füllstandsmessgeräte .....	234
3.4.11.1.1	Typische Anwendungsgebiete .....	234
3.4.11.1.2	Segmentierung .....	235
3.4.11.1.3	Einbauempfehlungen für kapazitive Sonden .....	236
3.4.11.2	Konduktive Füllstandsmessgeräte .....	236
3.4.11.2.1	Typische Anwendungen .....	237
3.4.11.2.2	Sondentypen .....	237
3.4.11.2.3	Einbauempfehlungen für konduktive Sonden .....	237
3.4.12	Schall- und Ultraschall-Füllstandsmessgeräte ( <i>W. Schrank</i> ) .....	237
3.4.12.1	Ultraschall-Füllstandsmessgeräte der Familie Prosonic .....	237
3.4.12.2	Prosonic-S-Messlinie .....	237
3.4.12.3	Prosonic-M-Messlinie .....	238
3.4.13	Mikrowellen-Füllstandsmessgeräte ( <i>S. Zühlke</i> ) .....	239
3.4.13.1	Füllstand-Radar Micropilot M .....	239
3.4.13.2	Segmentierung .....	239
3.4.13.3	Füllstand-Radar Micropilot M mit Stabantenne: FMR231 .....	241
3.4.13.4	Füllstand-Radar Micropilot M mit Hornantenne: FMR230 .....	241
3.4.13.5	Füllstand-Radar Micropilot M mit Hornantenne: FMR240 .....	242
3.4.13.6	Füllstand-Radar Micropilot M mit gekapselter Hornantenne: FMR244 .....	242
3.4.13.7	Füllstand-Radar Micropilot M mit frontbündiger Antenne: FMR245 .....	242
3.4.13.8	Füllstand-Radar Micropilot M für Schüttgüter: FMR250 .....	243
3.4.13.9	Generelle technische Daten für Micropilot M .....	243
3.4.14	Druck-Füllstandsmessgeräte LMP/LMK ( <i>H. Lamprecht</i> ) .....	243
3.4.14.1	Einschraubsonde LMP 331 .....	244
3.4.14.2	Einschraubsonden LMK 351/LMK 361 .....	244
3.4.14.3	Tauchsonde LMP 308 .....	244
3.4.14.4	Tauchsonden LMK 358/LMK 858 .....	245
3.5	Dichte ( <i>K. W. Bonfig</i> ) .....	246
3.5.1	Dichtemessung fester Stoffe .....	246
3.5.1.1	Wägemethoden .....	246
3.5.1.2	Auftriebsmethoden .....	246
3.5.2	Dichtemessung von Flüssigkeiten .....	247
3.5.2.1	Wägemethoden, kontinuierlich und diskontinuierlich .....	247
3.5.2.2	Auftriebsmethoden, kontinuierlich und diskontinuierlich .....	248
3.5.2.3	Hydrostatische Dichtemessmethoden .....	248
3.5.2.4	Radiometrische Dichtemessmethoden .....	249
3.5.2.5	Resonanz- bzw. Schwingungsdichtemessmethoden .....	249
3.5.2.6	Spezielle Verfahren für die Dichtemessung .....	250
3.5.3	Dichtemessung von Gasen .....	250
3.5.3.1	Wäge- und Auftriebsmethoden zur Gasdichtemessung .....	250
3.5.3.2	Ausström- und Schleuderverfahren für die Gasdichtemessung .....	251
3.5.3.3	Schwingungsmethoden für die Gasdichtemessung .....	251
3.5.4	Dichtemessgeräte für Flüssigkeiten ( <i>U. Schank</i> ) .....	252
3.5.5	Konzentrationsmessgeräte mithilfe von Dichte und Ultraschall ( <i>U. Schank</i> ) .....	255
3.5.6	Dichtemessgeräte für Gase ( <i>U. Schank</i> ) .....	257
3.6	Viskosität ( <i>K. W. Bonfig</i> ) .....	258
3.6.1	Abhängigkeit der Viskosität von verschiedenen Einflussgrößen .....	259

3.6.2	Kapillarviskosimeter .....	260
3.6.3	Rotationsviskosimeter .....	260
3.6.4	Verschiebung zweier konzentrischer Zylinder .....	260
3.6.5	Kugelfallviskosimeter .....	260
3.6.6	Schwebekörperviskosimeter .....	260
3.6.7	Schwingungviskosimeter .....	261
3.6.8	Kapillarviskosimeter (A. Müller) .....	261
3.6.9	Rotationsviskosimeter (A. Müller) .....	263
3.7	Oberflächenspannung (J. Hoffmann) .....	265
3.7.1	Ringaufnehmer .....	266
3.7.2	Plattenaufnehmer .....	266
3.7.3	Tensiometer Sigma 700/701 (T. Wagner, J. Weiss) .....	266
3.7.4	Tropfenvolumen- und Blasendruck-Tensiometer (A. Hofmann) .....	267
3.8	Messen mechanischer und geometrischer Größen (J. Hoffmann, W. Richter) .....	269
3.8.1	Messen von Längen und Winkeln .....	269
3.8.1.1	Mechanische Verfahren .....	269
3.8.1.2	Induktive und kapazitive Verfahren .....	270
3.8.1.3	Optische Verfahren .....	271
3.8.1.4	Ultraschallverfahren .....	273
3.8.1.5	Winkelbestimmung .....	274
3.8.1.6	Handmessmittel (D. Winterling) .....	274
3.8.1.6.1	Digitaler Messschieber 16 EWR .....	274
3.8.1.6.2	Digitale Bügelmessschraube 40 EWR .....	274
3.8.1.6.3	Mechanische Feinzeiger Millimess .....	276
3.8.1.6.4	Digitale Messuhren MarCator 1086 R .....	277
3.8.1.7	Universelles Form- und Verzahnungsmessgerät GMX 600 (R. Bartelt) ..	277
3.8.1.8	Längenmess-Interferometer Serie ZMI (A. Köhler) .....	279
3.8.2	Positionsbestimmung (J. Hoffmann, W. Richter) .....	280
3.8.2.1	Optische Verfahren .....	280
3.8.2.2	Nichtoptische Verfahren .....	281
3.8.3	Messen von Dehnungen und daraus abgeleiteten Größen (J. Hoffmann, W. Richter) ..	283
3.8.3.1	Metall-Dehnungsmessstreifen .....	283
3.8.3.2	Halbleiter-Dehnungsmessstreifen .....	284
3.8.3.3	Anordnungen von Dehnungsmessstreifen .....	284
3.8.3.4	Dehnungsmessstreifen (H. Neumann) .....	285
3.8.3.4.1	Dehnungsmessstreifen FAE-Serie .....	285
3.8.3.4.2	Dehnungsmessstreifen FSE-Serie .....	286
3.8.3.4.3	Dehnungsmessstreifen FSM-Serie .....	286
3.8.3.4.4	Halbleiter-Dehnungsmessstreifen SNB- und SP-Serie .....	287
3.8.4	Messen von Kräften (J. Hoffmann, W. Richter) .....	287
3.8.4.1	Kraftaufnehmer (J. Müter, L. Stenner) .....	289
3.8.5	Beschleunigungs- und Schwingungsmessung (J. Hoffmann, W. Richter) .....	292
3.8.5.1	Vibrationsaufnehmer (W. Dittmar, M. Vieten) .....	294
3.8.5.1.1	Vibrationsaufnehmer zur Maschinenüberwachung .....	294
3.8.5.1.2	Vibrationsaufnehmer mit (4...20 mA)-Ausgang .....	294
3.8.5.1.3	Vibrationsaufnehmer mit zentrischer Bohrung .....	294
3.8.5.1.4	Vibrationsaufnehmer in Miniaturlausführung .....	295
3.8.5.1.5	Vibrationsaufnehmer für extreme Temperaturen .....	295
3.8.5.1.6	Vibrationsaufnehmer für den Unterwassereinsatz .....	295
3.8.5.1.7	Vibrationsaufnehmer für triaxiale Messungen .....	296
3.8.5.1.8	16-Kanal-Versorgungseinheit, Serie 481 .....	296
3.8.5.2	LDA-Geschwindigkeitsmessgeräte für feste Oberflächen (H. Selbach) ..	296
3.8.6	Messung der Masse (J. Hoffmann, W. Richter) .....	298
3.8.6.1	BaufORMen elektronischer Waagen (C. Berg) .....	300
3.8.6.1.1	Plattformwaagen .....	300
3.8.6.1.2	Ladentischwaagen .....	301
3.8.6.1.3	Präzisionswaagen .....	301
3.8.6.1.4	Analysen- und Mikrowaagen .....	301
3.8.6.1.5	Massekomparatoren .....	302



3.8.6.2	Häufige elektronische Zusatzfunktionen an Waagen ( <i>C. Berg</i> )	302
3.8.6.3	Aufstell- und Umgebungsbedingungen für Waagen ( <i>C. Berg</i> )	303
3.8.6.4	Eichvorschriften für Waagen ( <i>C. Berg</i> )	304
3.8.7	Drehmomentmessung ( <i>J. Hoffmann, W. Richter</i> )	304
3.8.7.1	Drehmomentmesseinrichtungen ( <i>H. Schwegler</i> )	305
3.8.7.1.1	Drehmomentsensoren	305
3.8.7.1.2	Grundformen der Messkörper	305
3.8.7.1.3	Bauformen statischer DMS-Drehmomentsensoren	305
3.8.7.1.4	Bauformen rotierender DMS-Drehmomentsensoren	305
3.8.7.1.5	Mechanische Ankopplung von Drehmomentsensoren mittels Kupplungen	306
3.8.7.1.6	Ausgleichsverhalten von Kupplungen	306
3.8.7.1.7	Eigenresonanz einer Messstrecke	306
3.8.7.1.8	Messbereichsauslegung	307
3.8.7.1.9	Elektrische Daten	307
3.8.7.1.10	Elektrische Übertragungssysteme Rotor-Stator	307
3.8.8	Messen von Oberflächeneigenschaften fester Stoffe ( <i>J. Hoffmann, W. Richter</i> )	308
3.8.8.1	Bestimmung von Gestaltabweichungen	308
3.8.8.2	Bestimmung der Härte	309
3.8.8.3	Bestimmung der Schichtdicke	309
3.8.8.4	Rauheitsmessgeräte	310
3.8.8.4.1	Mechanische Rauheitsmessgeräte ( <i>H. Reich</i> )	310
3.8.8.4.2	Weißlichtinterferenzmikroskop NewView ( <i>P. Kuschnir</i> )	314
3.8.8.5	Härtemessgeräte	315
3.8.8.5.1	Härtemessgerät für Metalle UH250 ( <i>T. Bitterling</i> )	315
3.8.8.5.2	Härtemessgeräte für Elastomere und Kunststoffe ( <i>R. Sautter</i> )	316
3.8.8.6	Schichtdickenmessgeräte	318
3.8.8.6.1	Elektromagnetische Schichtdickenmessgeräte ( <i>U. Zahl</i> )	318
3.8.8.6.2	Röntgenfluoreszenz-Schichtdickenmessgeräte ComPact 5, maXXi 5 ( <i>A. Wittkopp, F. Seitz</i> )	321
3.9	Zeitmessung ( <i>H. Kopp</i> )	323
3.9.1	Zeitskalen	323
3.9.2	Zeitbasen	323
3.9.2.1	RC-Schaltungen	323
3.9.2.2	Kondensator-Konstantstromladung	324
3.9.2.3	LC-Oszillatoren	324
3.9.2.4	Quarzoszillatoren	324
3.9.3	Zeitsignale von Funksendern	325
3.9.3.1	DCF77	325
3.9.3.2	GPS	325
3.10	Frequenzmessung ( <i>H. Kopp</i> )	325
3.10.1	Bestimmung der Frequenz	326
3.10.2	Rückführung der Frequenz- auf die Zeitmessungen	326
3.10.3	Frequenzteiler, Frequenzvervielfachung	326
3.10.4	Sechsstelliger Dual-Frequenzzähler OC7166 ( <i>J. Zrust</i> )	326
3.11	Drehzahl- und Winkellageerfassung ( <i>H. Kopp</i> )	328
3.11.1	Optische Signalgeber	328
3.11.2	Induktive Signalgeber	328
3.11.3	Feldplatten- und Hall-Geber	329
3.11.4	Tachogenerator	329
3.11.5	Stroboskop	329
3.11.6	Sechsstelliger Quadraturzähler INF8-C ( <i>J. Zrust</i> )	330
3.11.7	Sechsstelliger Multizähler OC 7111 ( <i>J. Zrust</i> )	331
3.12	Konzentrations- und Analysenmesstechnik ( <i>J. Hoffmann</i> )	332
3.12.1	Wichtige Grundprinzipien	332
3.12.1.1	Prinzip der Absorption	333
3.12.1.2	Prinzip der Reflexion	333

3.12.1.3	Prinzip der Emission	333
3.12.1.4	Prinzip der Chromatographie	334
3.12.2	Gas- und Flüssigkeitschromatographie	334
3.12.2.1	Gaschromatographen	335
3.12.2.1.1	Laborgaschromatograph (C. Mladek)	335
3.12.2.1.2	Prozessgas-Chromatographen PGC2000 (T. Weyrauch)	338
3.12.2.2	Flüssigkeitschromatograph (C. Mladek)	339
3.12.3	Massenspektroskopie (J. Hoffmann)	341
3.12.3.1	Massenspektrometer (C. Mladek)	343
3.12.4	NMR-Spektroskopie (J. Hoffmann)	344
3.12.4.1	Digitales Fourier-Transform-Kernresonanz Spektrometer AVANCE (G. J. Wolff)	345
3.12.5	Röntgenfluoreszenzanalyse (J. Hoffmann)	346
3.12.5.1	Röntgenfluoreszenzspektrometer (M. Haschke)	348
3.12.5.1.1	Tischspektrometer	348
3.12.5.1.2	Laborspektrometer	349
3.12.5.1.3	Mikro-Fluoreszenz-Spektrometer	350
3.12.5.1.4	Wellenlängendispersive Spektrometer	351
3.12.6	Optische Analyseverfahren (J. Hoffmann)	351
3.12.6.1	UV/VIS-Spektroskopie	351
3.12.6.2	Flammenspektroskopie / AAS, AES	352
3.12.6.3	Funken-/Bogenspektroskopie	352
3.12.6.4	Fluoreszenzspektroskopie	353
3.12.6.5	Infrarot- und Raman-Spektroskopie	353
3.12.6.6	Refraktometrie	355
3.12.6.7	Polarimetrie	357
3.12.6.8	Optische Spektroskope	358
3.12.6.8.1	UV/VIS-Spektralfotometer Unicam UV1 und UV500 (C. Deusen)	358
3.12.6.8.2	AAS Unicam SOLAAR 969, 969 Z, 989 und 989 QZ (C. Deusen)	358
3.12.6.8.3	Sequenzielles AES-ICP-Spektrometer Atomscan Advantage (C. Deusen)	359
3.12.6.8.4	Simultanes AES-ICP-Spektrometer IRIS Advantage (C. Deusen)	360
3.12.6.8.5	FTIR-Spektrometer Avatar 360 E.S.P. <sup>TM</sup> (C. Deusen)	360
3.12.6.8.6	FTIR-Spektrometer Protege <sup>TM</sup> 460 E.S.P und 460 N (C. Deusen)	361
3.12.6.8.7	FTIR-Spektrometer Magna-IR <sup>®</sup> 560/760 E.S.P (C. Deusen)	361
3.12.6.8.8	FTIR-Spektrometer Magna-IR <sup>®</sup> 860 E.S.P. <sup>TM</sup> (C. Deusen)	362
3.12.6.8.9	Nic-Plan-Infrarot-Mikroskop (C. Deusen)	362
3.12.6.8.10	FT-Raman-Modul (C. Deusen)	363
3.12.6.8.11	FT-Raman-Spektrometer 960 E.S.P. <sup>TM</sup> (C. Deusen)	363
3.12.6.8.12	Modulare Vielkanalspektrometer (J. Schlütter, P. Pieper)	364
3.12.6.8.13	NDIR-Infrarot-Analysatormodul Uras26 (T. Weyrauch)	366
3.12.6.9	Polarimeter POL S-2 (T. Wagner)	367
3.12.7	Kalorimetrie (J. Hoffmann)	367
3.12.7.1	Diskontinuierliches Kalorimeter (H. Pinhack)	368
3.12.7.2	Kontinuierliches Kalorimeter (T. Haug)	372
3.12.8	Wärmeleitfähigkeitsmessung zur Gaskonzentrationsbestimmung (J. Hoffmann)	373
3.12.8.1	Geräte zur Gaskonzentrationsbestimmung über die Wärmeleitfähigkeit (T. Weyrauch)	374
3.12.8.1.1	Wärmeleit-Analysatormodul Caldos25	374
3.12.8.1.2	Wärmeleit-Analysatormodul Caldos27	374
3.12.9	Wärmetönungsmessung (J. Hoffmann)	375
3.12.10	Flammenionisationsmessung (J. Hoffmann)	376
3.12.10.1	FID-Analysatormodul MultiFID14 (T. Weyrauch)	376

3.12.11	Sauerstoffmessung ( <i>J. Hoffmann</i> )	377
3.12.11.1	Ringkammersauerstoffsensoren	377
3.12.11.2	Hitzdrahtsauerstoffsensoren	378
3.12.11.3	Magnetomechanische Geräte	378
3.12.11.4	Magnetopneumatische Geräte	379
3.12.11.5	Festkörper-Sauerstoffsensoren	379
3.12.11.6	Sauerstoffmessgeräte ( <i>T. Weyrauch</i> )	380
3.12.11.6.1	Sauerstoff-Analysatormodul Magnos206	380
3.12.11.6.2	Sauerstoff-Analysatormodul Magnos27	381
3.12.11.6.3	Sauerstoffspuren-Analysatorenmodul ZO23	381
3.12.12	Feuchtemessung ( <i>J. Hoffmann</i> )	382
3.12.12.1	Aspirationshygrometer	383
3.12.12.2	LiCl-Hygrometer	383
3.12.12.3	Elektrolysehygrometer	384
3.12.12.4	Tauspiegelhygrometer	384
3.12.12.5	Kapazitive Feuchtesensoren	384
3.12.12.6	Haarhygrometer	385
3.12.12.7	Bistreifenhygrometer	385
3.12.12.8	Neutronen-Feuchtesensoren	386
3.12.12.9	Weitere Feuchtesensoren	386
3.12.12.10	Messgeräte für Feuchte und Taupunkt ( <i>R. Kolass</i> )	387
3.12.12.10.1	Tauspiegelhygrometer DEWMET SD, DEWMET TD und DEWMET TDH	387
3.12.12.10.2	Präzisions-Tauspiegelhygrometer S4000, S4020, S4000RS und S4000TRS	388
3.12.12.10.3	Kapazitive Feuchtesensoren vom Typ Ceramic Moisture Sensor	390
3.12.13	Konduktometrie ( <i>J. Hoffmann</i> )	392
3.12.13.1	Leitfähigkeitshandmessgerät GMH3430 ( <i>A. Hinreiner</i> )	393
3.12.14	Potentiometrie	395
3.12.14.1	pH-Wert-Sensoren	395
3.12.14.2	Ionenselektive Sensoren	396
3.12.14.3	Redoxpotentialsensoren	396
3.12.14.4	pH-/Redox-/mV-/Temperaturmessgerät GMH 3530 ( <i>K. Zielinski</i> )	397
3.12.15	Elektrodenkinetische Messverfahren ( <i>J. Hoffmann</i> )	399
3.12.15.1	Elektrochemische Analysengeräte ( <i>U. Loyall</i> )	400
3.12.16	Partikelmesstechnik ( <i>J. Hoffmann</i> )	402
3.12.16.1	Mechanische Verfahren ( <i>J. Hoffmann</i> )	403
3.12.16.1.1	Siebe und Siebmaschinen ( <i>W. Mutter</i> )	403
3.12.16.2	Optische Verfahren ( <i>J. Hoffmann</i> )	407
3.12.16.2.1	Bildanalyse-System CAMSIZER® ( <i>J. Pankratz</i> )	411
3.12.16.2.2	Extinktions- und Trübungsmessgeräte ( <i>P. Seefeld</i> )	412
3.12.16.2.3	Streulicht/Beugungsspektrometer Coulter LS 13320 ( <i>T. Schoofs</i> )	414
3.12.16.2.4	Flugzeit-Korngrößen-Spektrometer Modell 3321 ( <i>R. Köhler</i> )	415
3.12.16.2.5	Phasen-Doppler-Partikelgrößen- und -geschwindigkeitsmessgerät ( <i>M. Stieglmeier</i> )	416
3.12.16.2.6	Photonenkorrelations-Spektrometer Coulter N5 ( <i>T. Schoofs</i> )	417
3.12.16.3	Sedimentationsverfahren ( <i>J. Hoffmann</i> )	418
3.12.16.4	Feldstörungsverfahren ( <i>J. Hoffmann</i> )	419
3.12.16.4.1	Coulter-Counter Multisizer 3 ( <i>T. Schoofs</i> )	420
3.12.16.5	Akustische Verfahren ( <i>J. Hoffmann</i> )	421
3.12.16.5.1	Ultraschallspektrometer OPUS ( <i>S. Röthele, W. Witt</i> )	421
3.12.16.6	Oberflächenbestimmungsverfahren ( <i>J. Hoffmann</i> )	422
3.12.16.6.1	BET-Oberflächenbestimmungsgerät Coulter SA 3100 ( <i>T. Schoofs</i> )	422

3.12.17	Probennahme und Probenteilung ( <i>J. Hoffmann</i> )	423
3.12.17.1	Einrichtungen zur Probenteilung ( <i>H. Pitsch</i> )	424
3.12.17.1.1	Riffelteiler RT	424
3.12.17.1.2	Labordrehrohrteiler PK1000	424
3.12.17.1.3	Laborprobenteiler PT100	425
3.12.17.2	Einrichtungen zur Probenzuführung ( <i>S. Röthele, W. Witt</i> )	425
3.12.17.2.1	Nassdispergiergerät QUIXEL	425
3.12.17.2.2	Trockendispergiergerät RODOS	426
3.12.17.3	TWISTER-in-line Probennahme ( <i>S. Röthele, W. Witt</i> )	426
3.13	Messung ionisierender Strahlung ( <i>E. Schrüfer</i> )	427
3.13.1	Größen und Einheiten	427
3.13.2	Detektoren für $\gamma$ -Strahlung	428
3.13.2.1	Ionisationskammer	428
3.13.2.2	Auslösezählrohr	428
3.13.2.3	Szintillationszähler	429
3.13.2.4	Halbleiter-Strahlungsdetektor	429
3.13.2.5	Impulshöhenanalyse	430
3.13.3	Detektoren für $\beta$ -Strahlung	430
3.13.4	Detektoren für $\alpha$ -Strahlung	430
3.13.5	Neutronenflussmessung	431
3.13.5.1	BF <sub>3</sub> -Zählrohr	431
3.13.5.2	Borbelegte Ionisationskammer	431
3.13.5.3	Spaltkammer	431
3.13.5.4	Neutronen-Beta-Detektoren	432
3.13.6	Dosismessung	432
3.13.7	Integriertes Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität	433
3.13.8	Messgeräte für ionisierende Strahlung ( <i>W. Bucher</i> )	433
3.13.8.1	Ionisationskammer KG 220 EEM	433
3.13.8.2	Neutronen-Ionisationskammern KNK 50 und KNU 50	434
3.13.8.3	Szintillationsmesskopf für $\beta$ -Strahlung SB 40	435
3.13.8.4	Szintillationsmesskopf für $\gamma$ -Strahlung SG 65M	435
3.13.8.5	Zählrohrdetektor ZG 50	436
3.13.8.6	Aerosol-Monitor AD 24	436
3.13.8.7	Digitale Signalverarbeitung für die Kernstrahlungsmesstechnik, System TK 250	437
3.14	Messung optischer Größen ( <i>H. Kopp</i> )	438
3.14.1	Strahlungsphysikalisches und lichttechnisches Maßsystem	438
3.14.2	Empfänger zur Messung optischer Strahlung	440
3.14.2.1	Fotowiderstände	440
3.14.2.2	Fotodioden	441
3.14.2.3	Fototransistoren	442
3.14.2.4	Sekundärelektronenvervielfacher (SEV) und Kanalelektronenvervielfacher (KEV)	443
3.14.2.5	Charge Coupled Device (CCD)	443
3.14.2.6	Lateraleffektdioden	444
3.14.2.7	Breitbandige Strahlungsempfänger	444
3.14.2.8	UV-Sensoren	444
3.14.3	Besonderheiten von Empfängern für Lichtmessungen	444
3.14.3.1	$V(\lambda)$ -Anpassung	445
3.14.3.2	Kosinusanpassung	445
3.14.4	Messung lichttechnischer Größen	445
3.14.4.1	Verfahren der Lichtschwächung	445
3.14.4.2	Beleuchtungsstärke	446
3.14.4.3	Leuchtdichte	447
3.14.4.4	Lichtstrom	448
3.14.4.5	Lichtstärke	449
3.14.4.6	Lichtstärkeverteilung	449

3.14.4.7	Farbmessungen	450
3.14.4.8	Lichttechnische Stoffkennzahlen	451
3.14.5	Fotometrische Normale	451
3.14.5.1	Fotometrische Strahlungsnormale	451
3.14.5.2	Fotometrische Empfängernormale	451
3.14.5.3	Fotometrische Reflexionsnormale	451
3.14.5.4	Normlichtarten	451
3.14.6	Messgeräte der Lichtmesstechnik ( <i>R. Häring, D. Konjhodzic</i> )	452
3.14.6.1	Spektralradiometer	452
3.14.6.1.1	Scannende Spektralradiometer SP320(D)	453
3.14.6.1.2	Array-Spektralradiometer CAS 140CT	453
3.14.6.2	Photometer (Digilux 9500)	454
3.14.6.3	Ulbrichtkugel (ISP-Serie)	454
3.14.6.4	Goniophotometer	455
3.14.6.5	Leuchtdichte- und Farbmesskamera (LumiCam 1300 Color)	456
3.15	Messung akustischer Größen ( <i>G. Fuder</i> )	457
3.15.1	Schalldruckpegel	458
3.15.1.1	Bewertete Schalldruckpegel	459
3.15.1.2	Addition von Schalldruckpegeln	460
3.15.1.3	Mittelwerte des Schalldruckpegels	460
3.15.2	Geräte zur Messung von Schalldruckpegeln	461
3.15.3	Beurteilung praktischer Schallsituationen	462
3.15.4	Lautstärkepegel und Lautheit	462
3.15.4.1	Ermittlung des Lautstärkepegels durch Hörvergleich	463
3.15.4.2	Lautheit	464
3.15.4.3	Berechnung von Lautstärkepegel und Lautheit	465
3.15.4.4	Vergleich der Kenngrößen Schalldruckpegel, Lautstärkepegel und Lautheit	466
3.15.5	Schalleistungspegel	466
3.15.6	Direkte Messung der Schallintensität	467
3.15.7	Akustische Nahfeld-Holografie	468
3.15.8	Messgeräte für akustische Größen ( <i>J. Schmitz</i> )	469
3.15.8.1	Mikrofone	470
3.15.8.2	Kalibriergeräte	470
3.15.8.3	Handhaltbare, batteriebetriebene Schallpegelmesser	471
3.15.8.4	Messsysteme für Mehrkanalmessungen	473
3.15.8.5	Messsysteme für Schallfelduntersuchungen (Mikrofon-Arraytechniken)	477
3.15.8.6	Lautstärkemessungen	479

## 4 Messelektronik 481

4.1	Analoge Messelektronik ( <i>C. Lehmann</i> )	481
4.1.1	Prinzipien der analogen Messwertverarbeitung	481
4.1.1.1	Strukturen und Komponenten von Messeinrichtungen	481
4.1.1.2	Prinzip der Rückkopplung	482
4.1.1.3	Varianten der elektrischen Anpassung	483
4.1.2	Systemkomponenten analoger Messgeräte	485
4.1.2.1	Tastköpfe	485
4.1.2.2	Sensoren in Brückenschaltungen	485
4.1.2.3	Messverstärker	488
4.1.2.4	Analoge Rechenschaltungen	497
4.1.2.5	Hilfsschaltungen für Messwandler	500
4.1.2.6	Analoge elektronische Schalter	504
4.1.2.7	Filter	506
4.2	Digitale Messelektronik ( <i>K. Urbanski</i> )	509
4.2.1	Grundlagen der Digitaltechnik	509
4.2.1.1	Zuordnungssysteme	510
4.2.1.2	Boolesche Algebra	511

4.2.1.3	Logische Grundverknüpfungen	513
4.2.1.4	Minimieren von Schaltfunktionen	513
4.2.2	Kombinatorische Grundsaltungen	516
4.2.2.1	Code-Umsetzer	516
4.2.2.2	Zahlenkomparator	517
4.2.2.3	Multiplexer und Demultiplexer	518
4.2.2.4	Addierer	519
4.2.3	Sequentielle Grundsaltungen	519
4.2.3.1	Prinzipieller Aufbau einer sequenziellen Schaltung	520
4.2.3.2	Monostabile Kippstufen (Monoflops)	520
4.2.3.3	Bistabile Kippstufen (Flipflops)	520
4.2.3.4	Zähler	522
4.2.3.5	Register und Schieberegister	524
4.2.4	Eigenschaften digitaler integrierter Schaltkreise	525
4.2.5	Anwenderspezifische Bausteine (ASICs)	529
4.2.5.1	Fullcustom	530
4.2.5.2	Semicustom	530
4.2.5.3	Programmierbare Logik	530
4.2.6	Mikrocomputer-Schaltkreise	532
4.2.6.1	Struktur des Mikrocomputers	533
4.2.6.2	Mikroprozessoren	533
4.2.6.3	Schreib-/Lesespeicher (RAM)	534
4.2.6.4	Festwertspeicher (ROM)	536
4.2.6.5	Ein-/Ausgabe-Bausteine	537
4.2.6.6	Mikrocontroller	537
4.2.7	Messgeräte für die Logikanalyse	539
4.2.7.1	Logikprüfer	539
4.2.7.2	Logikanalysator	539

## 5

**Rechnerkopplung** **541**

5.1	Grundlagen und Begriffe ( <i>J. Hoffmann</i> )	541
5.1.1	A/D-Umsetzer	543
5.1.1.1	Parallel-A/D-Umsetzer	543
5.1.1.2	Sukzessive-Approximation-A/D-Umsetzer	544
5.1.1.3	Nachlauf-A/D-Umsetzer	544
5.1.1.4	Rampen-A/D-Umsetzer	545
5.1.1.5	Dual-Slope-A/D-Umsetzer	545
5.1.1.6	Charge-Balancing-A/D-Umsetzer	546
5.1.1.7	Delta-Sigma-Umsetzer	547
5.1.2	D/A-Umsetzer	548
5.1.2.1	Stromgewichtete D/A-Umsetzer	548
5.1.2.2	R-2R-D/A-Umsetzer	548
5.2	Intelligente Sensorik ( <i>K. Urbanski</i> )	549
5.3	Bussysteme in der Messtechnik ( <i>H. Kopp</i> )	552
5.3.1	Bus-Topologie	552
5.3.2	OSI-Schichtenmodell	553
5.3.3	Physikalische Schnittstellenstandards	553
5.3.3.1	RS232C	553
5.3.3.2	RS422	554
5.3.3.3	RS485	554
5.3.4	Datenübertragung	554
5.3.4.1	Busse für serielle Übertragung	554
5.3.4.2	Synchronisationsverfahren	555
5.3.4.3	Bus-Zugriffsverfahren	555
5.3.4.4	Bus-Protokolle	555
5.3.4.5	Sicherung gegen Übertragungsfehler	555
5.3.5	Messgerätebus IEEE488	555
5.3.5.1	IEEE STD 488.1	556
5.3.5.2	IEEE STD 488.2	556

5.3.6	Beispiele genormter Feldbussysteme .....	556
5.3.7	Kopplungen unterschiedlicher Bussysteme (Gateways) .....	556
5.3.8	Maßnahmen zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) .....	557
5.3.9	Einsatz von Bussystemen für Sensoren und Messgeräte ( <i>W. Trentmann</i> ) .....	558
5.3.9.1	IEEE488.2 .....	558
5.3.9.2	USB .....	559
5.3.9.3	IEEE 1394 .....	561
5.3.9.4	Ethernet und WLAN .....	562
5.3.9.5	LXI (LAN extensions for instrumentation) .....	564
5.3.9.6	Feldbusse .....	565
5.3.9.6.1	CAN-Bus .....	568
5.3.9.6.2	Interbus .....	569
5.3.9.6.3	DIN-Messbus .....	570
5.3.9.6.4	Profibus DP .....	571
5.3.9.6.5	Profibus PA .....	571
5.3.9.6.6	ASI .....	571
5.3.9.6.7	Bitbus .....	572
5.3.9.6.8	Profinet .....	573
5.3.9.6.9	Intelligente Sensorschnittstellen .....	574

**6** **Ausgabegeräte** (*C. Lehmann*) ..... **576**

6.1	Digitale Anzeigeelemente .....	576
6.1.1	Optoelektronische Anzeigeelemente .....	576
6.1.1.1	Binärsignal-Anzeige mit LED .....	576
6.1.1.2	Quasi-analoge Anzeige .....	576
6.1.1.3	Numerische Anzeige mit LCD .....	577
6.1.1.4	Alphanumerische Anzeigen .....	578
6.1.2	32-MB-Datenlogger zum Einbau ( <i>A. Tuma</i> ) .....	578
6.1.3	Programmierbarer Linearisator OC7010 LIN ( <i>A. Tuma</i> ) .....	578
6.2	Bildsichtgeräte .....	579
6.2.1	Farbbildröhren für Monitore .....	579
6.2.1.1	Prinzipieller Aufbau .....	579
6.2.1.2	Frequenzkennwerte .....	580
6.2.1.3	Grundfunktionen der Grafikkarte .....	580
6.2.2	LCD-Bildschirme .....	581
6.3	Drucker .....	582
6.3.1	Funktionsprinzipien im Überblick .....	582
6.3.2	Kommunikations-Schnittstellen .....	582
6.3.2.1	Centronics-Schnittstelle .....	583
6.3.2.2	IEC-Bus-Schnittstelle .....	583
6.3.2.3	Serielle Schnittstelle EIA-232 .....	584
6.3.2.4	USB-Schnittstelle .....	584
6.3.2.5	Firewire-Schnittstelle .....	585

**7** **Das Konzept Messfehler** (*J. Hoffmann, J. Biermann*) ..... **586**

7.1	Fehlerdefinition .....	586
7.2	Fehlerarten .....	586
7.2.1	Quantisierungsfehler und digitaler Restfehler .....	586
7.2.2	Statische Fehler .....	587
7.2.3	Dynamische Fehler .....	588
7.2.4	Systematische Fehler .....	590
7.2.5	Zufällige Fehler .....	590
7.3	Trennung von systematischen und zufälligen Fehleranteilen .....	590
7.4	Kennlinienkorrektur .....	591
7.4.1	Lineare Approximation .....	591
7.4.2	Geradenapproximation .....	592
7.4.3	Polynominterpolation .....	593
7.4.4	Spline-Interpolation .....	595

7.5	Fehlerfortpflanzung	595
7.6	Messbereich, Auflösung und Messgenauigkeit	597
7.7	Auswertung von Messergebnissen	597
7.7.1	Der Begriff der Messreihe	597
7.7.1.1	Schätzwerte und wahre Werte	598
7.7.1.2	Mittelwert und Erwartungswert	598
7.7.1.3	Stichprobenvarianz und Varianz	598
7.7.1.4	Mittlerer Fehler der Einzelmessung	598
7.7.1.5	Mittlerer Fehler des Mittelwertes	599
7.7.1.6	Mittlerer Fehler der Standardabweichung	600
7.7.1.7	Empirische Kovarianz und Korrelationskoeffizient	601
7.7.2	Grafische Darstellung von Messergebnissen	601
7.7.2.1	Histogramm und Verteilungsdichtefunktion	601
7.7.2.2	Summenhäufigkeit und Verteilungsfunktion	602
7.7.2.3	Weitere Darstellungsmöglichkeiten	602
7.7.3	Regressionsrechnung	603
7.7.3.1	Einfache lineare Regression	603
7.7.3.2	Vertrauensintervalle für Regressionskoeffizient und -konstante	604
7.7.3.3	Mehrfache lineare und nichtlineare Regression	604
7.7.4	Tests	604
7.7.4.1	Der $t$ -Test als einseitiges Problem	605
7.7.4.2	Der $t$ -Test als zweiseitiges Problem	606
7.7.4.3	Der $\chi^2$ -Streutest	606
7.7.4.4	Der $t$ -Zweistichprobentest	606
7.7.4.5	Der $F$ -Test	606
7.7.5	Weitere Auswertungsmethoden	607

## 8 Das Konzept Messunsicherheit (F. Adunka) 608

8.1	Messwertverteilungen	611
8.2	Die Verteilungsfunktion der Ergebnisgröße	614
8.3	Korrelierte Eingangsdaten	615
8.4	Kritik an der Vorgehensweise nach dem GUM	618
8.5	Vorgehensweise bei der Berechnung von Messunsicherheiten	618
8.5.1	Schematische Vorgehensweise nach EA-4/02	618
8.5.2	Angabe der Messunsicherheit	619
8.5.3	Unsicherheitsangabe bei Digitalanzeigen	619
8.6	Weitere Beispiele	619
8.7	Ergänzende Bemerkungen	623

## 9 PC-Messtechnik und rechnergestützte Messwertverarbeitung (W. Trentmann) 625

9.1	Hardware	625
9.1.1	Signalaufbereitung	626
9.1.2	A/D-Umsetzer-Karten	628
9.1.3	Aufbau von PC-Messwerterfassungs-Karten	628
9.1.4	Rechner-Bussysteme	632
9.1.5	Messwerterfassungssystem im Erweiterungsgehäuse	636
9.1.6	Anschluss von Messgeräten über externe PC-Schnittstellen	638
9.1.6.1	Messgeräte mit serieller Schnittstelle RS232	638
9.1.6.2	Messgeräte und Module mit paralleler Centronics-Schnittstelle	638
9.1.7	Vergleich verschiedener Bussysteme	638
9.1.8	Auswahlkriterien für Messwerterfassungs-Systeme	638
9.2	Software	639
9.2.1	Betriebssysteme	639
9.2.2	Programmierung in Standardsprachen	643
9.2.3	Visuelle Programmiersprachen	643
9.2.4	Grafische Programmierung	644
9.2.5	Schnittstellen – Kommunikation mit anderen Programmen	644



9.2.6	Software-Standards für die Kommunikation von Messgeräten	645
9.2.7	Link-Software	646
9.2.8	Softwarepakete für die Messwerterfassung	646
9.2.8.1	LabView	647
9.2.8.2	Agilent VEE Pro	649
9.2.8.3	DasyLab	650
9.2.8.4	DIAdem	651
9.2.8.5	TestPoint	653
9.2.8.6	DT Measure Foundry	654
9.2.8.7	ICONNECT	655
9.2.8.8	Computerbasierende Instrumente	656
9.3	Weiterverarbeitung der Messdaten	657
9.3.1	Mathematik- und Statistikpakete	657
9.3.2	Prozessvisualisierung	657
9.3.3	Fuzzy-Logik	657
9.3.4	Neuronale Netze	658
9.3.5	Bildverarbeitung	658
9.3.6	Data Mining	658

**10 Qualitätsmanagement in der Fertigung** (T. Pfeifer) . . . . . **659**

10.1	Normen und Richtlinien	660
10.2	Prüfplanung	661
10.2.1	Aufgaben der Prüfplanung	661
10.2.2	Aufbau und Inhalt eines Prüfplans	663
10.2.3	Datenbedarf bei der Prüfplanerstellung	664
10.2.4	Vorgehensweise bei der Prüfplanerstellung	664
10.3	Prüfdatenerfassung	669
10.3.1	Prüfarten und -methoden	669
10.3.2	Mess- und Prüftechnik	672
10.3.3	Rechnerunterstützte Datenerfassung	679
10.4	Prüfdatenauswertung	680
10.4.1	Aufbereitung, Verdichtung und Darstellung von Prüfdaten	680
10.4.2	Kennzahlen und Kennzahlensysteme in der Prüfdatenauswertung	683
10.4.3	Anwendung der Prüfdatenauswertung im Unternehmen	684
10.5	Prüfmittelmanagement	685
10.5.1	Prüfmittelplanung und -beschaffung, Eignungsprüfung	689
10.5.2	Prüfmittelverwaltung	690
10.5.3	Prüfmittelüberwachung	690

**11 Einheiten und Umrechnungen** (W. Richter, J. Hoffmann) . . . . . **695**

**12 Firmen und Einrichtungen mit Bezügen zur Messtechnik** (J. Hoffmann) . **708**

**13 Formelzeichenverzeichnis** . . . . . **750**

**14 Verzeichnis englisch-deutscher Begriffe und Abkürzungen** . . . . . **753**

**15 Literaturverzeichnis** . . . . . **761**

**16 Sachwortverzeichnis** . . . . . **787**