


Inhaltsverzeichnis

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

1	Grundbegriffe	27
1.1	Gegenstand der Messtechnik (<i>W. Richter</i>)	27
1.2	Messtechnische Disziplinen, Aufgaben und Ziele (<i>W. Richter</i>)	28
1.2.1	Bezeichnungen	28
1.2.2	Strategische Ziele	29
1.2.3	Messtechnische Handlungen und Einrichtungen	29
1.3	Größen und Einheiten (<i>W. Richter</i>)	31
1.3.1	Größen	31
1.3.2	Einheiten	32
1.4	Messgrößenwandlung (<i>W. Richter</i>)	33
1.5	Grundstrukturen (<i>W. Richter</i>)	35
1.6	Weiterverarbeitung (<i>W. Richter</i>)	37
1.7	Unifizierung und Schnittstellen (<i>W. Richter</i>)	38
1.7.1	Aufgabenunifizierung	38
1.7.2	Schnittstellen	38
1.8	Signale (<i>W. Richter</i>)	38
1.8.1	Signalmerkmale	39
1.8.2	Signalwandlung	41
1.8.3	Abtastung und Analog/Digital-Umsetzung	41
1.8.4	Einheitssignale	42
1.9	Kennfunktionen und Kennwerte (<i>W. Richter</i>)	44
1.9.1	Statische Kennfunktionen und Kennwerte	44
1.9.2	Dynamische Kennfunktionen und Kennwerte	45
1.9.3	Fehler	46
1.10	Entwicklungstendenzen (<i>W. Richter</i>)	46
1.10.1	Historischer Rückblick	46
1.10.2	Ausblick	48
1.11	Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) (<i>E. O. Göbel</i>)	50
1.11.1	PTB: Das Institut	50
1.11.2	Fachliche Ausrichtung	52
1.11.3	Grundlagen der Metrologie	53
1.11.4	Metrologie für die Wirtschaft	54
1.11.5	Metrologie für die Gesellschaft	55
1.11.6	Internationale Angelegenheiten	56
1.12	Der Deutsche Kalibrierdienst (DKD) (<i>W. Bosch</i>)	56
1.12.1	Kalibrierung und Rückführung: Grundlagen für die Arbeit des DKD	57
1.12.2	Organisationsstruktur des DKD, Akkreditierungskriterien und -verfahren	58
1.12.3	Kalibriermöglichkeiten im DKD	59
1.12.4	Internationale Zusammenarbeit	61

1.13	Die VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) (<i>D. Westerkamp</i>)	62
1.13.1	Die Struktur der GMA	62
1.13.2	Arbeitsergebnisse aus den Fachausschüssen	62
1.13.3	Kooperationen	63
2	Messen elektrischer Größen	64
2.1	Größen in Gleich- und Wechselspannungssystemen (<i>G. Gruhn</i>)	64
2.1.1	Gleichspannung und Gleichstrom	64
2.1.2	Wechselspannung und Wechselstrom	65
2.1.3	Grundschaltelemente	68
2.1.4	Wechselspannungen und Wechselströme im Dreiphasensystem	69
2.1.5	Impulsförmige und zufällige Spannungs- und Stromverläufe	71
2.1.6	Leistung	71
2.1.6.1	Wirkleistung	72
2.1.6.2	Blindleistung	73
2.1.6.3	Scheinleistung	74
2.1.6.4	Leistungsfaktor	74
2.1.7	Wirk- und Blindenergie	74
2.1.8	Größen des elektrischen und magnetischen Feldes	74
2.2	Messwerke und Messgeräte (<i>G. Gruhn</i>)	76
2.2.1	Messung zeitlicher Verläufe	83
2.2.2	Messung von Gleichstrom und Gleichspannung	85
2.2.3	Messung des Quotienten zweier Gleichgrößen	86
2.2.4	Messung des Spitzenwertes	86
2.2.5	Messung des Gleichrichtwertes	87
2.2.6	Messung des Effektivwertes	88
2.2.7	Messung der Leistung	90
2.2.8	Messung der Energie	91
2.2.9	Messung der Frequenz	92
2.2.10	Messung des Phasenwinkels	93
2.2.11	Messung magnetischer Feldgrößen	94
2.2.12	Messung elektrischer Feldgrößen	94
2.2.13	Universalmeßgeräte und Meßplätze	95
2.2.14	Kenngößen und Anwenderinformationen	95
2.3	Messzubehör (<i>G. Gruhn</i>)	96
2.3.1	Normale	96
2.3.2	Messwiderstände	97
2.3.3	Spannungsteiler	97
2.3.4	Messwandler	98
2.3.5	Messumformer	99
2.4	Messverfahren zur Messung elektrischer Größen (<i>G. Gruhn</i>)	99
2.4.1	Widerstand	100
2.4.2	Induktivität	101
2.4.3	Kapazität und Verlustfaktor	102
2.4.4	Spannung	103
2.4.5	Strom	105
2.4.6	Leistung	105
2.4.7	Energie	106
2.4.8	Phasenwinkel	107

2.4.9	Frequenz	107
2.4.10	Klirrfaktor	107
2.4.11	Formfaktor	107
2.4.12	Teilentladungen	108
2.5	Analyse elektrischer Signale (<i>G. Gruhn</i>)	108
2.5.1	Harmonische Analyse	108
2.5.2	Fourier-Transformation	109
2.6	Messgeräte für elektrische Größen	111
2.6.1	Spannungsmessgeräte (<i>S. Böttinger</i>)	111
2.6.1.1	Pegelmesser URV 35	111
2.6.1.2	Millivoltmeter URV 5	111
2.6.1.3	Millivoltmeter URV 55	112
2.6.2	Leistungsmessgeräte (<i>S. Böttinger</i>)	112
2.6.2.1	Leistungsmessgerät NRVS	112
2.6.2.2	Zweikanal-Leistungsmesser NRVD	113
2.6.2.3	Leistungs- und Reflexionsmessgerät NRT	114
2.6.2.4	Durchgangsleistungsmesser NAS	115
2.6.3	Automatische, programmierbare RCL-Messgeräte PM 6306 und PM 6304 (<i>R. Rueger</i>)	116
2.6.4	Digitalmultimeter der Serie Fluke 170 und 180 (<i>B. Appel</i>)	117
2.6.5	Oszilloskope (<i>R. Bach</i>)	117
2.6.5.1	Oszilloskope der TDS1000/2000-Serie	117
2.6.5.2	Die DPO-Gerätekategorie	118
2.6.5.3	Oszilloskope der Serie TDS 3000	119
2.6.5.4	WaveStar-Software für Oszilloskope	120
2.6.5.5	Die TDS5000-Serie	121
2.6.5.6	Das TDS6604-DSO	122
2.6.6	Digitalmultimeter für Strom-, Spannungs- und Frequenzmessungen (<i>S. Böttinger</i>)	122
2.6.6.1	Digitales Multimeter R6552	122
2.6.6.2	RMS-Voltmeter URE2, RMS/Peak-Voltmeter URE3	123
2.6.7	EMV-Messgeräte (<i>S. Böttinger</i>)	124
2.6.7.1	EMI-Messempefänger ESCS30	125
2.6.7.2	EMI-Messempefänger ESI	126
2.6.7.3	EMI-Messempefänger ESPC	127
2.6.7.4	EMI-Messempefänger ESHS 10, 30, ESVS 10, 30 und ESS	128
2.6.7.5	Messempefänger ESN, ESVN 20, 30, 40	130
2.6.7.6	Messempefänger ESVB	132
2.6.7.7	Messempefänger ESVD	133
2.6.8	Spektrum-Signalanalysatoren (<i>S. Böttinger</i>)	134
2.6.8.1	Hochleistungsanalysatoren für digitalen Mobilfunk und universelle Anwendungen	134
2.6.8.2	Signalanalysator FSIQ	137
2.6.8.3	Spektrumanalysatoren U3641, U3661	138
2.6.8.4	Spektrumanalysatoren R3x65A und R3x71A	139
2.6.8.5	Spektrumanalysatoren R3263, R3465, R3272	139
2.6.8.6	Spektrumanalysator R 3131	140
2.6.8.7	Audioanalysator UPL	141
2.6.8.8	Audioanalysator UPA	142

3	Messen nichtelektrischer Größen	143
3.1	Temperatur (<i>E. Schröfer</i>)	143
3.1.1	Thermoelemente	143
3.1.2	Metall-Widerstandsthermometer	145
3.1.3	Heißeleiter	146
3.1.4	Kaltleiter	147
3.1.5	Silicium-Widerstandstemperatursensor	148
3.1.6	Silicium-Sperrschicht-Temperatursensor	149
3.1.7	Quarztemperatursensor	149
3.1.8	Faseroptisches Lumineszenzthermometer	150
3.1.9	Störung des Temperaturfeldes durch Berührungsthermometer	150
3.1.10	Thermosäule	151
3.1.11	Bolometer	152
3.1.12	Pyroelektrischer Temperatursensor	152
3.1.13	Strahlungspyrometer	153
3.1.14	Berührende Temperaturaufnehmer (<i>J. Häring, P. Trageser</i>)	154
3.1.14.1	Gerades Thermoelement mit Spülgasanschluss	154
3.1.14.2	Absaug-Thermoelement	155
3.1.14.3	Mehrfach-Stufen-Thermometer	156
3.1.14.4	Thermoelement für Hochdruckanwendungen	157
3.1.14.5	Widerstandsthermometer für sterile Anwendungen	158
3.1.14.6	Thermometer zur Temperaturmessung in partikelbeladenen Gasen	158
3.1.14.7	Widerstandsthermometer für erhöhte hygienische Anforderungen	159
3.1.14.8	Widerstandsthermometer mit extrem kurzen Ansprechzeiten für sicherheitsrelevante Prozesse	160
3.1.14.9	Widerstandsthermometer in Lagerschalen und Gehäusen	161
3.1.14.10	Temperaturmessung mit Winkelthermoelementen	161
3.1.14.11	Temperaturmessung mit Thermoelementen in Turbinen	162
3.1.14.12	Rohrwandtemperaturmessung an Wärmetauscherrohren	163
3.1.14.13	Temperaturmessung mit Thermoelementen in Großdieselmotoren	164
3.1.15	Berührungslöse Temperaturaufnehmer (<i>J. Häring, P. Trageser</i>)	165
3.1.15.1	Infrarot-Temperaturmessung bei der Stahlproduktion	165
3.1.15.2	Infrarot-Temperaturmessung in der Glasindustrie und an Drehrohr- und Tunnelöfen	165
3.1.15.3	Handmessgerät SENSYTHERM IR-L	167
3.2	Druck (<i>K. W. Bonfig</i>)	168
3.2.1	Federelastische Druckmessgeräte	168
3.2.2	Flüssigkeitsmanometer	170
3.2.3	Druckmessumformer	171
3.2.3.1	Druckmessumformer nach dem Dehnmessstreifen-(DMS-)Prinzip	171
3.2.3.2	Druckmessumformer nach dem piezoresistiven Prinzip	171
3.2.3.3	Druckmessumformer nach dem induktiven Prinzip	173
3.2.3.4	Druckmessumformer nach dem kapazitiven Prinzip	173
3.2.3.5	Druckmessumformer nach dem Prinzip der Resonanzfrequenzmessung	174
3.2.3.6	Druckmessumformer nach dem piezoelektrischen Prinzip	175
3.2.3.7	Druckmessumformer mit Schwingquarzen	176
3.2.3.8	Drucksensoren nach dem Prinzip der akustischen Oberflächenwellen	176
3.2.4	Vakuumdruckmessung	176

3.2.5	Druckmessumformer (<i>H. Lamprecht</i>)	176
3.2.5.1	Druckmessumformer DMP 343	177
3.2.5.2	Druckmessumformer DMP 331/333	177
3.2.5.3	Druckmessumformer DMK 361	178
3.2.5.4	Druckmessumformer HMP 331, HART [®] -Protokoll	179
3.2.5.5	Differenzdruckmessumformer DMD 331	180
3.2.5.6	OEM-Druckmessumformer	180
3.3	Durchfluss (<i>K. W. Bonfig</i>)	181
3.3.1	Durchflussmessung durch energetische Beziehungen einer Strömung	181
3.3.2	Volumenzähler	183
3.3.3	Schwebekörper-Durchflussmessung	184
3.3.4	Magnetisch-induktive Durchflussmessung (MID)	185
3.3.5	Wirbelfrequenz-Durchflussmessung	186
3.3.6	Laufzeitverfahren (Korrelation)	188
3.3.7	Ultraschall-Durchflussmessung	188
3.3.8	Massendurchflussmessung nach dem Coriolis-Prinzip	190
3.3.9	Durchflussmessung auf thermischer Grundlage	191
3.3.10	Geschwindigkeitsmessung nach dem Laser-Doppler-Verfahren	192
3.3.11	Schwebekörper-Durchflussmessgeräte (<i>P. Komp, R. Haak, H. Bernard</i>)	193
3.3.11.1	Schwebekörper-Durchflussmesser mit Glasmesskonus	193
3.3.11.1.1	Schwebekörper-Durchflussmesser mit Glaskonus zum Messen kleiner Durchflussmengen (DK-Geräte)	194
3.3.11.1.2	Kunststoff-Schwebekörper-Durchflussmesser	194
3.3.11.2	Schwebekörper-Durchflussmesser mit Metallmesskonus	194
3.3.11.2.1	Schwebekörper-Durchflussmesser mit Metallkonus zum Messen kleiner Durchflussmengen (DK-Metall)	195
3.3.11.2.2	Schwebekörper-Durchflussmesser mit geführttem Schwebekörper (H-Geräte)	195
3.3.12	Magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte (<i>L. Schultheis</i>)	197
3.3.13	Wirbelfrequenz-Durchflussgerät Prowirl 77 (<i>F. Ohle</i>)	200
3.3.14	Ultraschall-Durchflussmessgeräte (<i>A. Boer</i>)	203
3.3.15	Durchflussmessgeräte nach dem Coriolis-Prinzip (<i>W. Drahm</i>)	206
3.3.16	Durchflussmessgeräte auf thermischer Grundlage (<i>H. J. Boer, P. Wagner</i>)	208
3.3.17	Strömungsgeschwindigkeitsmessgerät nach dem LD/A-Verfahren (<i>R. Schledde</i>)	211
3.3.18	Strömungsgeschwindigkeitsmessgerät nach dem PIV-Verfahren (<i>R. Schledde</i>)	211
3.4	Füllstand und Grenzstand (<i>K. W. Bonfig</i>)	212
3.4.1	Verfahren mit Schwimmern und Tastplatten	212
3.4.2	Kapazitive und konduktive Füllstandsmessung	214
3.4.3	Füllstandsmessung mit thermischen Verfahren	215
3.4.4	Füllstandsmessung mit radiometrischen Verfahren	215
3.4.5	Füllstandsmessung mit Schall und Ultraschall	216
3.4.6	Füllstandsmessung mit optischen Verfahren	217
3.4.7	Füllstandsmessung mit Mikrowellen nach dem Radar-Prinzip	217
3.4.8	Füllstandsmessung über Kraft- und Druckmessungen	218
3.4.9	Weitere Methoden zur Grenzstandsüberwachung und zur Füllstandsmessung	218
3.4.10	Schwimmer-Füllstandserfassung (<i>L. Klemmt, K. Soppelsa</i>)	219
3.4.11	Kapazitive und konduktive Füllstandsmessgeräte (<i>M. Krause</i>)	222
3.4.11.1	Kapazitive Füllstandsmessgeräte	222

3.4.11.1.1	Typische Anwendungsgebiete	222
3.4.11.1.2	Segmentierung	223
3.4.11.1.3	Einbauempfehlungen für kapazitive Sonden	224
3.4.11.2	Konduktive Füllstandsmessgeräte	224
3.4.11.2.1	Typische Anwendungen	224
3.4.11.2.2	Sondentypen	224
3.4.11.2.3	Einbauempfehlungen für konduktive Sonden	224
3.4.12	Schall- und Ultraschall-Füllstandsmessgeräte (<i>W. Schrank</i>)	225
3.4.12.1	Nivosonic-Messlinie	225
3.4.12.2	Prosonic-Messlinie	226
3.4.12.3	Kompaktgerät Prosonic T	227
3.4.13	Mikrowellen-Füllstandsmessgeräte (<i>G. Gritsch</i>)	228
3.4.13.1	Füllstand-Radar Micropilot M	228
3.4.13.2	Segmentierung	229
3.4.13.3	Füllstand-Radar Micropilot M mit Stabantenne: FMR231	230
3.4.13.4	Füllstand-Radar Micropilot M mit Hornantenne: FMR230	230
3.4.13.5	Füllstand-Radar Micropilot M mit Hornantenne: FMR240	231
3.4.13.6	Füllstand-Radar Micropilot M mit gekapselter Hornantenne: FMR244	231
3.4.13.7	Füllstand-Radar Micropilot M mit frontbündiger Antenne: FMR245	231
3.4.13.8	Generelle technische Daten für Micropilot M	232
3.4.14	Druck-Füllstandsmessgeräte LMP/LMK (<i>H. Lamprecht</i>)	232
3.4.14.1	Einschraubsonde LMP 331	232
3.4.14.2	Einschraubsonden LMK 351/LMK 361	233
3.4.14.3	Tauchsonde LMP 308	233
3.4.14.4	Tauchsonden LMK 358/LMK 858	234
3.5	Dichte (<i>K. W. Bonfig</i>)	234
3.5.1	Dichtemessung fester Stoffe	235
3.5.1.1	Wägemethoden	235
3.5.1.2	Auftriebsmethoden	235
3.5.2	Dichtemessung von Flüssigkeiten	236
3.5.2.1	Wägemethoden, kontinuierlich und diskontinuierlich	236
3.5.2.2	Auftriebsmethoden, kontinuierlich und diskontinuierlich	236
3.5.2.3	Hydrostatische Dichtemessmethoden	237
3.5.2.4	Radiometrische Dichtemessmethoden	238
3.5.2.5	Resonanz- bzw. Schwingungsdichtemessmethoden	238
3.5.2.6	Spezielle Verfahren für die Dichtemessung	239
3.5.3	Dichtemessung von Gasen	239
3.5.3.1	Wäge- und Auftriebsmethoden zur Gasdichtemessung	239
3.5.3.2	Ausström- und Schleuderverfahren für die Gasdichtemessung	239
3.5.3.3	Schwingungsmethoden für die Gasdichtemessung	240
3.5.4	Dichtemessgeräte für Flüssigkeiten (<i>J. Bahro</i>)	241
3.5.5	Dichtemessgeräte für Gase (<i>J. Bahro</i>)	244
3.6	Viskosität (<i>K. W. Bonfig</i>)	245
3.6.1	Abhängigkeit der Viskosität von verschiedenen Einflussgrößen	246
3.6.2	Kapillarviskosimeter	247
3.6.3	Rotationsviskosimeter	247
3.6.4	Verschiebung zweier konzentrischer Zylinder	247
3.6.5	Kugelfallviskosimeter	247

3.6.6	Schwebekörperviskosimeter	247
3.6.7	Schwingungsviskosimeter	248
3.6.8	Kapillarviskositätsmessgeräte (<i>J. Bahro</i>)	248
3.6.9	Rotationsviskositätsmessgeräte (<i>J. Bahro</i>)	250
3.7	Oberflächenspannung (<i>J. Hoffmann</i>)	252
3.7.1	Ringaufnehmer	252
3.7.2	Plattenaufnehmer	253
3.7.3	Oberflächentensiometer Sigma 70 (<i>T. Wagner</i>)	253
3.7.4	Tropfenvolumen- und Blasendruck-Tensiometer (<i>A. Hofmann</i>)	254
3.8	Messen mechanischer und geometrischer Größen (<i>J. Hoffmann, W. Richter</i>)	256
3.8.1	Messen von Längen und Winkeln	256
3.8.1.1	Mechanische Verfahren	256
3.8.1.2	Induktive und kapazitive Verfahren	257
3.8.1.3	Optische Verfahren	258
3.8.1.4	Ultraschallverfahren	260
3.8.1.5	Winkelbestimmung	261
3.8.1.6	Handmessmittel (<i>D. Winterling</i>)	261
3.8.1.6.1	Messschrauben	261
3.8.1.6.2	Fühlhebelmessgeräte	261
3.8.1.6.3	Feinzeiger	262
3.8.1.6.4	Digitale Messuhren	263
3.8.1.7	Universelles Form- und Verzahnungsmessgerät PRIMAR MX 4 (<i>R. Bartelt</i>)	264
3.8.1.8	Längenmess-Interferometer Serie ZMI (<i>A. Köhler</i>)	265
3.8.2	Positionsbestimmung (<i>J. Hoffmann, W. Richter</i>)	266
3.8.2.1	Optische Verfahren	266
3.8.2.2	Nichtoptische Verfahren	267
3.8.3	Messen von Dehnungen und daraus abgeleiteten Größen (<i>J. Hoffmann, W. Richter</i>)	269
3.8.3.1	Metall-Dehnmessstreifen	270
3.8.3.2	Halbleiter-Dehnmessstreifen	270
3.8.3.3	Anordnungen von Dehnmessstreifen	271
3.8.3.4	Dehnmessstreifen (<i>H. Neumann</i>)	271
3.8.3.4.1	Dehnmessstreifen FAE-Serie	271
3.8.3.4.2	Dehnmessstreifen FSE-Serie	272
3.8.3.4.3	Dehnmessstreifen FSM-Serie	273
3.8.3.4.4	Halbleiter-Dehnmessstreifen SNB- und SP-Serie	273
3.8.4	Messen von Kräften (<i>J. Hoffmann, W. Richter</i>)	274
3.8.4.1	Kraftaufnehmer (<i>J. Müter, L. Stenner</i>)	276
3.8.5	Beschleunigungs- und Schwingungsmessung (<i>J. Hoffmann, W. Richter</i>)	279
3.8.5.1	Vibrationsaufnehmer (<i>W. Dittmar, M. Vieten</i>)	280
3.8.5.1.1	Vibrationsaufnehmer zur Maschinenüberwachung	280
3.8.5.1.2	Vibrationsaufnehmer mit (4...20 mA)-Ausgang	281
3.8.5.1.3	Vibrationsaufnehmer mit zentrischer Bohrung	281
3.8.5.1.4	Vibrationsaufnehmer in Miniaturausführung	281
3.8.5.1.5	Vibrationsaufnehmer für extreme Temperaturen	282
3.8.5.1.6	Vibrationsaufnehmer für den Unterwassereinsatz	282
3.8.5.1.7	Vibrationsaufnehmer für triaxiale Messungen	283
3.8.5.1.8	16-Kanal-Versorgungseinheit, Serie 481	283

3.8.5.2	LD/A-Geschwindigkeitsmessgeräte für feste Oberflächen (<i>H. Selbach</i>)	283
3.8.6	Messung der Masse (<i>J. Hoffmann, W. Richter</i>)	285
3.8.6.1	Bauformen elektronischer Waagen (<i>C. Berg</i>)	287
3.8.6.1.1	Plattformwaagen	287
3.8.6.1.2	Ladentischwaagen	287
3.8.6.1.3	Präzisionswaagen	288
3.8.6.1.4	Analysen- und Mikrowaagen	288
3.8.6.1.5	Massekomparatoren	288
3.8.6.2	Häufige elektronische Zusatzfunktionen an Waagen (<i>C. Berg</i>)	289
3.8.6.3	Aufstell- und Umgebungsbedingungen für Waagen (<i>C. Berg</i>)	290
3.8.6.4	Eichvorschriften für Waagen (<i>C. Berg</i>)	290
3.8.7	Drehmomentmessung (<i>J. Hoffmann, W. Richter</i>)	291
3.8.7.1	Drehmomentmesseinrichtungen (<i>H. Schwegler</i>)	292
3.8.7.1.1	Drehmomentsensoren	292
3.8.7.1.2	Grundformen der Messkörper	292
3.8.7.1.3	Bauformen statischer DMS-Drehmomentsensoren	292
3.8.7.1.4	Bauformen rotierender DMS-Drehmomentsensoren	292
3.8.7.1.5	Mechanische Ankopplung von Drehmomentsensoren mittels Kupplungen	293
3.8.7.1.6	Ausgleichsverhalten von Kupplungen	293
3.8.7.1.7	Eigenresonanz einer Messstrecke	293
3.8.7.1.8	Messbereichsauslegung	293
3.8.7.1.9	Elektrische Daten	294
3.8.7.1.10	Elektrische Übertragungssysteme Rotor–Stator	294
3.8.8	Messen von Oberflächeneigenschaften fester Stoffe (<i>J. Hoffmann, W. Richter</i>)	295
3.8.8.1	Bestimmung von Gestaltabweichungen	295
3.8.8.2	Bestimmung der Härte	296
3.8.8.3	Bestimmung der Schichtdicke	296
3.8.8.4	Rauheitsmessgeräte	297
3.8.8.4.1	Mechanische Rauheitsmessgeräte (<i>H. Reich</i>)	297
3.8.8.4.2	Weißlichtinterferenzmikroskop NewView (<i>P. Kuschnir</i>)	299
3.8.8.5	Härtemessgeräte	300
3.8.8.5.1	Härtemessgerät für Metalle UH250 (<i>R. Prauss</i>)	300
3.8.8.5.2	Härtemessgeräte für Elastomere und Kunststoffe (<i>R. Sautter</i>)	301
3.8.8.6	Schichtdickenmessgeräte	303
3.8.8.6.1	Elektromagnetische Schichtdickenmessgeräte (<i>U. Zahl</i>)	303
3.8.8.6.2	Röntgenfluoreszenz-Schichtdickenmessgerät Xray ComPact (<i>A. Wittkopp, F. Seitz</i>)	306
3.9	Zeitmessung (<i>H. Kopp</i>)	307
3.9.1	Zeitskalen	307
3.9.2	Zeitbasen	308
3.9.2.1	RC-Schaltungen	308
3.9.2.2	Kondensator-Konstantstromladung	309
3.9.2.3	LC-Oszillatoren	309
3.9.2.4	Quarzoszillatoren	309
3.9.3	Zeitsignale von Funksendern	309
3.9.3.1	DCF77	309
3.9.3.2	GPS	310

3.10	Frequenzmessung (<i>H. Kopp</i>)	310
3.10.1	Bestimmung der Frequenz	310
3.10.2	Rückführung der Frequenz- auf die Zeitmessungen	311
3.10.3	Frequenzteiler, Frequenzvervielfachung	311
3.10.4	Sechsstelliger Dual-Frequenzzähler OC7166 (<i>J. Zrust</i>)	311
3.11	Drehzahl- und Winkellageerfassung (<i>H. Kopp</i>)	312
3.11.1	Optische Signalgeber	312
3.11.2	Induktive Signalgeber	313
3.11.3	Feldplatten- und Hall-Geber	314
3.11.4	Tachogenerator	314
3.11.5	Stroboskop	314
3.11.6	Sechsstelliger Quadraturzähler INF8-C (<i>J. Zrust</i>)	314
3.11.7	Sechsstelliger Multizähler OC 7111 (<i>J. Zrust</i>)	316
3.12	Konzentrations- und Analysenmesstechnik (<i>J. Hoffmann</i>)	317
3.12.1	Wichtige Grundprinzipien	317
3.12.1.1	Prinzip der Absorption	317
3.12.1.2	Prinzip der Reflexion	318
3.12.1.3	Prinzip der Emission	318
3.12.1.4	Prinzip der Chromatographie	319
3.12.2	Gas- und Flüssigkeitschromatographie	319
3.12.2.1	Gaschromatographen	320
3.12.2.1.1	Laborgaschromatograph (<i>C. Mladek</i>)	320
3.12.2.1.2	Prozessgas-Chromatographiesystem Vista II (<i>A. Morlath</i>)	323
3.12.2.2	Flüssigkeitschromatograph (<i>C. Mladek</i>)	324
3.12.3	Massenspektroskopie (<i>J. Hoffmann</i>)	326
3.12.3.1	Massenspektrometer (<i>C. Mladek</i>)	328
3.12.4	NMR-Spektroskopie (<i>J. Hoffmann</i>)	329
3.12.4.1	Digitales Fourier-Transform-Kernresonanz Spektrometer AVANCE (<i>G. J. Wolff</i>)	330
3.12.5	Röntgenfluoreszenzanalyse (<i>J. Hoffmann</i>)	331
3.12.5.1	Röntgenfluoreszenzspektrometer (<i>M. Haschke</i>)	333
3.12.5.1.1	Tischspektrometer	334
3.12.5.1.2	Laborspektrometer	334
3.12.5.1.3	Mikro-Fluoreszenz-Spektrometer	335
3.12.5.1.4	Wellenlängendispersive Spektrometer	336
3.12.6	Optische Analyseverfahren (<i>J. Hoffmann</i>)	336
3.12.6.1	UV/VIS-Spektroskopie	336
3.12.6.2	Flammenspektroskopie / AAS, AES	337
3.12.6.3	Funken-/Bogenspektroskopie	338
3.12.6.4	Fluoreszenzspektroskopie	338
3.12.6.5	Infrarot- und Raman-Spektroskopie	338
3.12.6.6	Refraktometrie	341
3.12.6.7	Polarimetrie	342
3.12.6.8	Optische Spektroskope	343
3.12.6.8.1	UV/VIS-Spektralfotometer Unicam UV1 und UV500 (<i>C. Deusen</i>)	343
3.12.6.8.2	AAS Unicam SOLAAR 969, 969 Z, 989 und 989 QZ (<i>C. Deusen</i>)	344
3.12.6.8.3	Sequenzielles AES-ICP-Spektrometer Atomscan Advantage (<i>C. Deusen</i>)	345
3.12.6.8.4	Simultanes AES-ICP-Spektrometer IRIS Advantage (<i>C. Deusen</i>)	345

3.12.6.8.5	FTIR-Spektrometer Avatar 360 E.S.P. TM (C. Deusen)	346
3.12.6.8.6	FTIR-Spektrometer Protege TM 460 E.S.P und 460 N (C. Deusen) . .	346
3.12.6.8.7	FTIR-Spektrometer Magna-IR [®] 560/760 E.S.P. (C. Deusen)	347
3.12.6.8.8	FTIR-Spektrometer Magna-IR [®] 860 E.S.P. TM (C. Deusen)	347
3.12.6.8.9	Nic-Plan-Infrarot-Mikroskop (C. Deusen)	348
3.12.6.8.10	FT-Raman-Modul (C. Deusen)	349
3.12.6.8.11	FT-Raman-Spektrometer 960 E.S.P. TM (C. Deusen)	349
3.12.6.8.12	Modulare Vielkanalspektrometer (J. Schlütter)	350
3.12.6.8.13	NDIR-Infrarot-Analysatormodul Uras 14 (A. Morlath)	351
3.12.6.9	Polarimeter POL S-2 (T. Wagner)	353
3.12.7	Kalorimetrie (J. Hoffmann)	353
3.12.7.1	Diskontinuierliches Kalorimeter (H. Pinhack)	354
3.12.7.2	Kontinuierliches Kalorimeter (T. Haug)	358
3.12.8	Wärmeleitfähigkeitsmessung zur Gaskonzentrationsbestimmung (J. Hoffmann) . .	359
3.12.8.1	Geräte zur Gaskonzentrationsbestimmung über die Wärmeleitfähig- keit (A. Morlath)	360
3.12.8.1.1	Wärmeleit-Analysatormodul Caldos 15	360
3.12.8.1.2	Wärmeleit-Analysatormodul Caldos 17	361
3.12.9	Wärmetönungsmessung (J. Hoffmann)	362
3.12.10	Flammenionisationsmessung (J. Hoffmann)	362
3.12.10.1	FID-Analysatormodul Multi-FID 14 (A. Morlath)	362
3.12.11	Sauerstoffmessung (J. Hoffmann)	363
3.12.11.1	Ringkammersauerstoffsensor	364
3.12.11.2	Hitzdrahtsauerstoffsensor	364
3.12.11.3	Magnetomechanische Geräte	364
3.12.11.4	Magnetopneumatische Geräte	365
3.12.11.5	Festkörper-Sauerstoffsensor	365
3.12.11.6	Sauerstoffmessgeräte (A. Morlath)	366
3.12.11.6.1	Sauerstoff-Analysatormodul Magnos 16	366
3.12.11.6.2	Sauerstoff-Analysatormodul Magnos 17	367
3.12.12	Feuchtemessung (J. Hoffmann)	368
3.12.12.1	Aspirationshygrometer	368
3.12.12.2	LiCl-Hygrometer	369
3.12.12.3	Elektrolysehygrometer	369
3.12.12.4	Tauspiegelhygrometer	370
3.12.12.5	Kapazitive Feuchtesensoren	370
3.12.12.6	Haarhygrometer	371
3.12.12.7	Bistreifenhygrometer	371
3.12.12.8	Neutronen-Feuchtesensor	371
3.12.12.9	Weitere Feuchtesensoren	372
3.12.12.10	Messgeräte für Feuchte und Taupunkt (R. Kolass)	372
3.12.12.10.1	Tauspiegelhygrometer DEWMET SD, DEWMET TD und DEWMET TDH	372
3.12.12.10.2	Präzisions-Tauspiegelhygrometer S4000, S4020, S4000RS und S4000TRS	374
3.12.12.10.3	Kapazitive Feuchtesensoren vom Typ Ceramic Moisture Sensor . . .	376
3.12.13	Konduktometrie (J. Hoffmann)	378
3.12.13.1	Leitwerthandmessgerät GMH3430 (A. Hinreiner)	379
3.12.14	Potentiometrie (J. Hoffmann)	381
3.12.14.1	pH-Wert-Sensoren	381

3.12.14.2	Ionenselektive Sensoren	382
3.12.14.3	Redoxpotenzialsensoren	382
3.12.14.4	pH-/Redox-/mV-/Temperaturmessgerät GMH 3530 (K. Zielinski)	383
3.12.15	Elektrodenkinetische Messverfahren (J. Hoffmann)	385
3.12.15.1	Elektrochemische Analysengeräte (U. Loyall)	386
3.12.16	Partikelmesstechnik (J. Hoffmann)	388
3.12.16.1	Mechanische Verfahren (J. Hoffmann)	389
3.12.16.1.1	Siebe und Siebmaschinen (W. Mutter)	389
3.12.16.2	Optische Verfahren (J. Hoffmann)	393
3.12.16.2.1	Bildanalysesystem CAMSIZER® (J. Pankratz)	396
3.12.16.2.2	Extinktions- und Trübungsmessgeräte (P. Seefeld)	398
3.12.16.2.3	Streulicht/Beugungsspektrometer Coulter LS 13320 (T. Schoofs)	399
3.12.16.2.4	Flugzeit-Korngrößenspektrometer AeroSizer/AeroDisperser (R. Köhler)	401
3.12.16.2.5	Phasen-Doppler-Partikelgrößen- und -geschwindigkeitsmessgerät (M. Stieglmeier)	401
3.12.16.2.6	Photonenkorrelationsspektrometer Coulter N5 (T. Schoofs)	403
3.12.16.3	Sedimentationsverfahren (J. Hoffmann)	403
3.12.16.3.1	Sedimentationsmessgerät LUMOSSED (H. Pitsch)	405
3.12.16.4	Feldstörungsverfahren (J. Hoffmann)	406
3.12.16.4.1	Coulter-Counter Multisizer 3 (T. Schoofs)	406
3.12.16.5	Akustische Verfahren (J. Hoffmann)	407
3.12.16.5.1	Ultraschallspektrometer OPUS/F (S. Röthele, W. Witt)	407
3.12.16.6	Oberflächenbestimmungsverfahren (J. Hoffmann)	408
3.12.16.6.1	BET-Oberflächenbestimmungsgerät Coulter SA 3100 (T. Schoofs)	408
3.12.17	Probennahme und Probenteilung (J. Hoffmann)	409
3.12.17.1	Einrichtungen zur Probenteilung (H. Pitsch)	410
3.12.17.1.1	Riffelteiler RT	410
3.12.17.1.2	Labordrehrohrteiler PK1000	410
3.12.17.1.3	Laborprobenteiler PT100	411
3.12.17.2	Einrichtungen zur Probenzuführung (S. Röthele, W. Witt)	412
3.12.17.2.1	Nassdispargiergerät QUIXEL	412
3.12.17.2.2	Trockendispargiergerät RODOS	412
3.12.17.3	TWISTER-in-line Probennahme (S. Röthele, W. Witt)	413
3.13	Messung ionisierender Strahlung (E. Schrüfer)	413
3.13.1	Größen und Einheiten	413
3.13.2	Detektoren für γ -Strahlung	414
3.13.2.1	Ionisationskammer	414
3.13.2.2	Auslösezählrohr	415
3.13.2.3	Szintillationszähler	415
3.13.2.4	Halbleiter-Strahlungsdetektor	416
3.13.2.5	Impulshöhenanalyse	416
3.13.3	Detektoren für β -Strahlung	416
3.13.4	Detektoren für α -Strahlung	417
3.13.5	Neutronenflussmessung	417
3.13.5.1	BF ₃ -Zählrohr	417
3.13.5.2	Borbelegte Ionisationskammer	417
3.13.5.3	Spaltkammer	418
3.13.5.4	Neutronen-Beta-Detektoren	418
3.13.6	Dosismessung	419

3.13.7	Integriertes Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität	420
3.13.8	Messgeräte für ionisierende Strahlung (<i>W. Bucher</i>)	420
3.13.8.1	Ionisationskammer KG 220 EEM	420
3.13.8.2	Neutronen-Ionisationskammern KNK 50 und KNU 50	420
3.13.8.3	Szintillationsmesskopf für β -Strahlung SB 40	421
3.13.8.4	Szintillationsmesskopf für γ -Strahlung SG 65M	422
3.13.8.5	Zählrohrdetektor ZG 50	422
3.13.8.6	Aerosol-Monitor AD 24	423
3.13.8.7	Digitale Signalverarbeitung für die Kernstrahlungsmesstechnik, System TK 250	423
3.14	Messung optischer Größen (<i>H. Kopp</i>)	424
3.14.1	Strahlungsphysikalisches und lichttechnisches Maßsystem	425
3.14.2	Empfänger zur Messung optischer Strahlung	425
3.14.2.1	Fotowiderstände	425
3.14.2.2	Fotodioden	427
3.14.2.3	Fototransistoren	429
3.14.2.4	Sekundärelektronenvervielfacher (SEV) und Kanalelektronenvervielfacher (KEV)	429
3.14.2.5	Charge Coupled Device (CCD)	430
3.14.2.6	Lateraleffektdioden	430
3.14.2.7	Breitbandige Strahlungsempfänger	430
3.14.2.8	UV-Sensoren	431
3.14.3	Besonderheiten von Empfängern für Lichtmessungen	431
3.14.3.1	$V(\lambda)$ -Anpassung	431
3.14.3.2	Kosinusanpassung	432
3.14.4	Messung lichttechnischer Größen	432
3.14.4.1	Verfahren der Lichtschwächung	432
3.14.4.2	Beleuchtungsstärke	433
3.14.4.3	Leuchtdichte	434
3.14.4.4	Lichtstrom	434
3.14.4.5	Lichtstärke	435
3.14.4.6	Lichtstärkeverteilung	436
3.14.4.7	Farbmessungen	436
3.14.4.8	Lichttechnische Stoffkennzahlen	437
3.14.5	Fotometrische Normale	438
3.14.5.1	Fotometrische Strahlungsnormale	438
3.14.5.2	Fotometrische Empfängernormale	438
3.14.5.3	Fotometrische Reflexionsnormale	438
3.14.5.4	Normlichtarten	438
3.14.6	Messgeräte für optische Größen (<i>Z. Özver-Krochmann, T. Q. Khanh</i>)	438
3.14.6.1	LUXMETER/RADIOMETER	438
3.14.6.1.1	RadioLux 111	438
3.14.6.1.2	Fotometer-Radiometer 211	440
3.14.6.2	Kugelfotometer	440
3.14.6.2.1	Geometrie	440
3.14.6.2.2	Hilfslampe	440
3.14.6.2.3	Kugelbeschichtung	441
3.14.6.2.4	Kugelgrößen und Konstruktion	441
3.14.6.2.5	Fotometerköpfe	442

3.14.6.2.6	Spektralanpassung	442
3.14.6.2.7	Räumliche Bewertung	442
3.14.6.2.8	Thermostatisierung	442
3.14.6.2.9	Farbmessungen	442
3.14.6.3	Goniofotometer	442
3.14.6.3.1	Leuchtenwender	442
3.14.6.3.2	Drehspiegel-Goniofotometer	446
3.14.6.4	Reflexions- und Transmissions-Messgerät	447
3.14.6.4.1	Messgrößen	447
3.14.6.4.2	Systemkomponenten	447
3.14.6.4.3	Ulbricht'sche Kugel	447
3.14.6.4.4	Die Beleuchtungseinrichtung	449
3.14.6.4.5	Beleuchtungseinrichtung für diffusen Lichteinfall mit Normlichtart A	449
3.15	Messung akustischer Größen (<i>G. Fuder</i>)	450
3.15.1	Schalldruckpegel	450
3.15.1.1	Bewertete Schalldruckpegel	451
3.15.1.2	Maximalwerte des Schalldruckpegels	452
3.15.1.3	Addition von Schalldruckpegeln	452
3.15.1.4	Mittelwerte des Schalldruckpegels	453
3.15.2	Geräte zur Messung von Schalldruckpegeln	453
3.15.3	Beurteilung praktischer Schallsituationen	454
3.15.4	Lautstärkepegel und Lautheit	455
3.15.4.1	Ermittlung des Lautstärkepegels durch Hörvergleich	455
3.15.4.2	Lautheit	457
3.15.4.3	Berechnung von Lautstärkepegel und Lautheit	457
3.15.4.4	Vergleichende Wertung der Kenngrößen Schalldruckpegel, Lautstärkepegel und Lautheit	458
3.15.5	Schallleistungspegel	458
3.15.6	Direkte Messung der Schallintensität	460
3.15.7	Akustische Nahfeldholografie	461
3.15.8	Messgeräte für akustische Größen (<i>J. Schmitz</i>)	461
3.15.8.1	Mikrofone	462
3.15.8.2	Kalibriergeräte	463
3.15.8.3	Handhaltbare, batteriebetriebene Schallpegelmesser	464
3.15.8.4	Messsysteme für Mehrkanalmessungen	466
3.15.8.5	Messsysteme für Schallfelduntersuchungen (Arraytechniken)	470
3.15.8.6	Lautstärkemessungen	471
4	Messelektronik	473
4.1	Analoge Messelektronik (<i>C. Lehmann</i>)	473
4.1.1	Prinzipien der analogen Messwertverarbeitung	473
4.1.1.1	Strukturen und Komponenten von Messeinrichtungen	473
4.1.1.2	Prinzip der Rückkopplung	474
4.1.1.3	Varianten der elektrischen Anpassung	475
4.1.2	Systemkomponenten analoger Messgeräte	477
4.1.2.1	Tastköpfe	477
4.1.2.2	Sensoren in Brückenschaltungen	478
4.1.2.3	Messverstärker	480
4.1.2.4	Analoge Rechenschaltungen	489
4.1.2.5	Hilfsschaltungen für Messwandler	493

	4.1.2.6	Analoge elektronische Schalter	497
	4.1.2.7	Filter	499
4.2		Digitale Messelektronik (<i>K. Urbanski</i>)	502
4.2.1		Grundlagen der Digitaltechnik	502
	4.2.1.1	Zuordnungssysteme	503
	4.2.1.2	Boole'sche Algebra	504
	4.2.1.3	Logische Grundverknüpfungen	506
	4.2.1.4	Minimieren von Schaltfunktionen	506
4.2.2		Kombinatorische Grundsaltungen	509
	4.2.2.1	Code-Umsetzer	509
	4.2.2.2	Zahlenkomparator	510
	4.2.2.3	Multiplexer und Demultiplexer	511
	4.2.2.4	Addierer	512
4.2.3		Sequenzielle Grundsaltungen	513
	4.2.3.1	Prinzipieller Aufbau einer sequenziellen Schaltung	513
	4.2.3.2	Monostabile Kippstufen (Monoflops)	514
	4.2.3.3	Bistabile Kippstufen (Flipflops)	514
	4.2.3.4	Zähler	516
	4.2.3.5	Register und Schieberegister	517
4.2.4		Eigenschaften digitaler integrierter Schaltkreise	519
4.2.5		Anwenderspezifische Bausteine (ASICs)	523
	4.2.5.1	Fullcustom	523
	4.2.5.2	Semicustom	523
	4.2.5.3	Programmierbare Logik	524
4.2.6		Mikrocomputer-Schaltkreise	526
	4.2.6.1	Struktur des Mikrocomputers	526
	4.2.6.2	Mikroprozessoren	527
	4.2.6.3	Schreib-/Lesespeicher (RAM)	528
	4.2.6.4	Festwertspeicher (ROM)	530
	4.2.6.5	Ein-/Ausgabe-Bausteine	531
	4.2.6.6	Mikrocontroller	531
4.2.7		Messgeräte für die Logikanalyse	532
	4.2.7.1	Logikprüfer	533
	4.2.7.2	Logikanalysator	533
5		Rechnerkopplung	535
5.1		Grundlagen und Begriffe (<i>J. Hoffmann</i>)	535
5.1.1		A/D-Umsetzer	537
	5.1.1.1	Parallel-A/D-Umsetzer	537
	5.1.1.2	Sukzessive-Approximation-A/D-Umsetzer	537
	5.1.1.3	Nachlauf-A/D-Umsetzer	538
	5.1.1.4	Rampen-A/D-Umsetzer	538
	5.1.1.5	Dual-Slope-A/D-Umsetzer	539
	5.1.1.6	Charge-Balancing-A/D-Umsetzer	540
	5.1.1.7	Delta-Sigma-Umsetzer	541
5.1.2		D/A-Umsetzer	542
	5.1.2.1	Stromgewichtete D/A-Umsetzer	542
	5.1.2.2	R - $2R$ -D/A-Umsetzer	542
5.2		Intelligente Sensorik (<i>K. Urbanski</i>)	543

5.3	Bussysteme in der Messtechnik (<i>H. Kopp</i>)	545
5.3.1	Bus-Topologie	546
5.3.2	OSI-Schichtenmodell	547
5.3.3	Physikalische Schnittstellenstandards	547
5.3.3.1	RS232C	547
5.3.3.2	RS422	548
5.3.3.3	RS485	548
5.3.4	Datenübertragung	548
5.3.4.1	Busse für serielle Übertragung	548
5.3.4.2	Synchronisationsverfahren	549
5.3.4.3	Bus-Zugriffsverfahren	549
5.3.4.4	Bus-Protokolle	549
5.3.4.5	Sicherung gegen Übertragungsfehler	549
5.3.5	Messgerätebus IEEE488	549
5.3.5.1	IEEE STD 488.1	550
5.3.5.2	IEEE STD 488.2	550
5.3.6	Beispiele genormter Feldbussysteme	550
5.3.7	Kopplungen unterschiedlicher Bussysteme (Gateways)	550
5.3.8	Maßnahmen zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV)	551
5.3.9	Einsatz von Bussystemen für Sensoren und Messgeräte (<i>W. Trentmann</i>)	552
5.3.9.1	IEEE488.2	552
5.3.9.2	USB	553
5.3.9.3	IEEE 1394	555
5.3.9.4	Ethernet und WLAN	556
5.3.9.5	Feldbusse	558
5.3.9.5.1	CAN-Bus	561
5.3.9.5.2	Interbus	562
5.3.9.5.3	DIN-Messbus	564
5.3.9.5.4	Profibus DP	564
5.3.9.5.5	Profibus PA	564
5.3.9.5.6	ASI	565
5.3.9.5.7	Bitbus	565
5.3.9.5.8	Intelligente Sensorschnittstellen	566
6	Ausgabegeräte (<i>C. Lehmann</i>)	567
6.1	Digitale Anzeigeelemente	567
6.1.1	Optoelektronische Anzeigeelemente	567
6.1.1.1	Binärsignal-Anzeige mit LED	567
6.1.1.2	Quasi-analoge Anzeige	568
6.1.1.3	Numerische Anzeige mit LCD	568
6.1.1.4	Alphanumerische Anzeigen	569
6.1.2	32-MB-Datenlogger zum Einbau (<i>A. Tuma</i>)	569
6.1.3	Programmierbarer Linearisator OC7010 LIN (<i>A. Tuma</i>)	569
6.2	Bildsichtgeräte	570
6.2.1	Farbbildröhren für Monitore	570
6.2.1.1	Prinzipieller Aufbau	570
6.2.1.2	Frequenzkennwerte	571
6.2.1.3	Grundfunktionen der Grafikkarte	571
6.2.2	LCD-Bildschirme	572

6.3	Drucker	573
6.3.1	Funktionsprinzipien im Überblick	573
6.3.2	Druckerschnittstellen	574
6.3.2.1	Centronics-Schnittstelle	574
6.3.2.2	IEC-Bus-Schnittstelle	574
6.3.2.3	Serielle Schnittstelle V.24/RS 232 C	575
6.3.2.4	USB-Schnittstelle	575
7	Das Konzept Messfehler (<i>J. Hoffmann, J. Biermann</i>)	576
7.1	Fehlerdefinition	576
7.2	Fehlerarten	576
7.2.1	Quantisierungsfehler und digitaler Restfehler	576
7.2.2	Statische Fehler	577
7.2.3	Dynamische Fehler	578
7.2.4	Systematische Fehler	580
7.2.5	Zufällige Fehler	580
7.3	Trennung von systematischen und zufälligen Fehleranteilen	581
7.4	Kennlinienkorrektur	581
7.4.1	Lineare Approximation	582
7.4.2	Geradenapproximation	582
7.4.3	Polynominterpolation	583
7.4.4	Spline-Interpolation	585
7.5	Fehlerfortpflanzung	586
7.6	Messbereich, Auflösung und Messgenauigkeit	587
7.7	Auswertung von Messergebnissen	587
7.7.1	Der Begriff der Messreihe	588
7.7.1.1	Schätzwerte und wahre Werte	588
7.7.1.2	Mittelwert und Erwartungswert	588
7.7.1.3	Stichprobenvarianz und Varianz	588
7.7.1.4	Mittlerer Fehler der Einzelmessung	589
7.7.1.5	Mittlerer Fehler des Mittelwertes	590
7.7.1.6	Mittlerer Fehler der Standardabweichung	590
7.7.1.7	Empirische Kovarianz und Korrelationskoeffizient	591
7.7.2	Grafische Darstellung von Messergebnissen	591
7.7.2.1	Histogramm und Verteilungsdichtefunktion	591
7.7.2.2	Summenhäufigkeit und Verteilungsfunktion	592
7.7.2.3	Weitere Darstellungsmöglichkeiten	593
7.7.3	Regressionsrechnung	593
7.7.3.1	Einfache lineare Regression	593
7.7.3.2	Vertrauensintervalle für Regressionskoeffizient und -konstante	594
7.7.3.3	Mehrfache lineare und nichtlineare Regression	595
7.7.4	Tests	595
7.7.4.1	Der t -Test als einseitiges Problem	596
7.7.4.2	Der t -Test als zweiseitiges Problem	596
7.7.4.3	Der χ^2 -Streutest	596
7.7.4.4	Der t -Zweistichprobentest	597
7.7.4.5	Der F -Test	597
7.7.5	Weitere Auswertungsmethoden	597

8	Das Konzept Messunsicherheit (F. Adunka)	599
8.1	Messwertverteilungen	602
8.2	Die Verteilungsfunktion der Ergebnisgröße	605
8.3	Korrelierte Eingangsdaten	606
8.4	Kritik an der Vorgehensweise nach dem GUM	608
8.5	Vorgehensweise bei der Berechnung von Messunsicherheiten	609
8.5.1	Schematische Vorgehensweise nach EA-4/02	609
8.5.2	Angabe der Messunsicherheit	609
8.5.3	Unsicherheitsangabe bei Digitalanzeigen	610
8.6	Weitere Beispiele	610
8.7	Ergänzende Bemerkungen	615
9	PC-Messtechnik und rechnergestützte Messwertverarbeitung	
	(W. Trentmann)	616
9.1	Hardware	616
9.1.1	Signalaufbereitung	617
9.1.2	A/D-Wandler-Karten	618
9.1.3	Aufbau von PC-Messwerterfassungs-Karten	619
9.1.4	Rechner-Bussysteme	623
9.1.5	Messwerterfassungssystem im Erweiterungsgehäuse	627
9.1.6	Anschluss von Messgeräten über externe PC-Schnittstellen	629
9.1.6.1	Messgeräte mit serieller Schnittstelle RS232	629
9.1.6.2	Messgeräte und Module mit paralleler Centronics-Schnittstelle	629
9.1.7	Vergleich verschiedener Bussysteme	630
9.1.8	Auswahlkriterien für Messwerterfassungs-Systeme	630
9.2	Software	631
9.2.1	Betriebssysteme	631
9.2.2	Programmierung in Standardsprachen	634
9.2.3	Visuelle Programmiersprachen	634
9.2.4	Grafische Programmierung	635
9.2.5	Schnittstellen – Kommunikation mit anderen Programmen	635
9.2.6	Software-Standards für die Kommunikation von Messgeräten	636
9.2.7	Link-Software	636
9.2.8	Softwarepakete für die Messwerterfassung	637
9.2.8.1	LabView	637
9.2.8.2	Agilent VEE Pro	639
9.2.8.3	DasyLab	640
9.2.8.4	DIAdem	641
9.2.8.5	TestPoint	642
9.2.8.6	DT Measure Foundry	643
9.2.8.7	ICONNECT	644
9.2.8.8	Computerbasierende Instrumente	645
9.3	Weiterverarbeitung der Messdaten	646
9.3.1	Mathematik- und Statistikpakete	646
9.3.2	Prozessvisualisierung	646
9.3.3	Fuzzy-Logik	646
9.3.4	Neuronale Netze	647

9.3.5	Bildverarbeitung	647
9.3.6	Data Mining	647
10	Qualitätsmanagement in der Fertigung (T. Pfeifer)	648
10.1	Normen und Richtlinien	649
10.2	Prüfplanung	650
10.2.1	Aufgaben der Prüfplanung	650
10.2.2	Aufbau und Inhalt eines Prüfplans	652
10.2.3	Datenbedarf bei der Prüfplanerstellung	653
10.2.4	Vorgehensweise bei der Prüfplanerstellung	653
10.3	Prüfdatenerfassung	658
10.3.1	Prüfarten und -methoden	658
10.3.2	Mess- und Prüftechnik	662
10.3.3	Rechnerunterstützte Datenerfassung	668
10.4	Prüfdatenauswertung	669
10.4.1	Aufbereitung, Verdichtung und Darstellung von Prüfdaten	670
10.4.2	Kennzahlen und Kennzahlensysteme in der Prüfdatenauswertung	673
10.4.3	Anwendung der Prüfdatenauswertung im Unternehmen	673
10.5	Prüfmittelmanagement	675
10.5.1	Prüfmittelplanung und -beschaffung, Eignungsprüfung	678
10.5.2	Prüfmittelverwaltung	679
10.5.3	Prüfmittelüberwachung	680
11	Einheiten und Umrechnungen (W. Richter)	684
12	Firmen und Einrichtungen mit Bezügen zur Messtechnik (J. Hoffmann)	697
13	Formelzeichenverzeichnis	739
14	Verzeichnis englisch-deutscher Begriffe und Abkürzungen	742
15	Literaturverzeichnis	750
16	Sachwortverzeichnis	777
	Sachwortverzeichnis	777