

Inhaltsverzeichnis

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

1	Grundbegriffe	25
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

2	Messen elektrischer Größen	61
2.1	Größen in Gleich- und Wechselspannungssystemen (G. Gruhn, A. Hebestreit)	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 (G. Gruhn, A. Hebestreit)	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 (G. Gruhn, A. Hebestreit)	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 (G. Gruhn, A. Hebestreit)	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 (P. Bach)	109
2.6.2	Oszilloskope (R. Bach)	110
2.6.2.1	Oszilloskope der TDS1000/2000C-Serie	110
2.6.2.2	Die DPO-Gerätekasse	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	Störmessemfänger ESU	132
2.6.6	■ Signallgeneratoren (<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 Mehrtor-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-Sperrschiicht-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 Temperatursensoren (<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	Mehrach-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 Temperatursaufnehmer (<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 SENSYTERM 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 Glasmesskonus	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 Grenzstandüberwachung 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 Anwendungsbereiche	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	Schwingungsviskosimeter	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. Hoffmann)	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	Dehnmessstreifen (H. Neumann)	285
3.8.3.4.1	Dehnmessstreifen FAE-Serie	285
3.8.3.4.2	Dehnmessstreifen FSE-Serie	286
3.8.3.4.3	Dehnmessstreifen FSM-Serie	286
3.8.3.4.4	Halbleiter-Dehnmessstreifen SNB- und SP-Serie	287
3.8.4	Messen von Kräften (J. Hoffmann, W. Richter)	287
3.8.4.1	Kraftaufnehmer (J. Müller, 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 Miniaturausführung	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 (C. Berg)	302
3.8.6.3	Aufst- und Umgebungsbedingungen für Waagen (C. Berg)	303
3.8.6.4	Eichvorschriften für Waagen (C. Berg)	304
3.8.7	Drehmomentmessung (J. Hoffmann, W. Richter)	304
3.8.7.1	Drehmomentmesseinrichtungen (H. Schwegler)	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 (J. Hoffmann, W. Richter)	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 (H. Reich)	310
3.8.8.4.2	Weißlichtinterferenzmikroskop NewView (P. Kuschnir)	314
3.8.8.5	Härtemessgeräte	315
3.8.8.5.1	Härtemessgerät für Metalle UH250 (T. Bitterling)	315
3.8.8.5.2	Härtemessgeräte für Elastomere und Kunststoffe (R. Sautter)	316
3.8.8.6	Schichtdickenmessgeräte	318
3.8.8.6.1	Elektromagnetische Schichtdickenmessgeräte (U. Zahl)	318
3.8.8.6.2	Röntgenfluoreszenz-Schichtdickenmessgeräte ComPact 5, maXXi 5 (A. Wittkopp, F. Seitz)	321
3.9	Zeitmessung (H. Kopp)	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 (H. Kopp)	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 (J. Zrust)	326
3.11	Drehzahl- und Winkellage erfassung (H. Kopp)	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 (J. Zrust)	330
3.11.7	Sechsstelliger Multizähler OC 7111 (J. Zrust)	331
3.12	Konzentrations- und Analysenmesstechnik (J. Hoffmann)	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	Wellenlängendiffusive 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. TM (C. Deusen)	360
3.12.6.8.6	FTIR-Spektrometer Protege TM 460 E.S.P und 460 N (C. Deusen)	361
3.12.6.8.7	FTIR-Spektrometer Magna-IR [®] 560/760 E.S.P. (C. Deusen)	361
3.12.6.8.8	FTIR-Spektrometer Magna-IR [®] 860 E.S.P. TM (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. TM (C. Deusen)	363
3.12.6.8.12	Modulare Vielkanalspektrometer (J. Schlüter, 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	Ringkammersauerstoffsensor	377
3.12.11.2	Hitzdrahtsauerstoffsensor	378
3.12.11.3	Magnetomechanische Geräte	378
3.12.11.4	Magnetopneumatische Geräte	379
3.12.11.5	Festkörper-Sauerstoffsensor	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-Feuchtesensor	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	Bildanalysesystem 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-Korngrößenspektrometer Modell 3321 (<i>R. Köhler</i>)	415
3.12.16.2.5	Phasen-Doppler-Partikelgrößen- und -geschwindigkeitsmessgerät (<i>M. Stiegelmeyer</i>)	416
3.12.16.2.6	Photonenkorrelationsspektrometer 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. Schriener</i>)	427
3.13.1	Größen und Einheiten	427
3.13.2	Detektoren für γ -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 β -Strahlung	430
3.13.4	Detektoren für α -Strahlung	430
3.13.5	Neutronenflussmessung	431
3.13.5.1	BF_3 -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 β -Strahlung SB 40	435
3.13.8.4	Szintillationsmesskopf für γ -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 Lichtmessstechnik (R. Häring, D. Konjhodizic)	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 (G. Fuder)	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	Schallleistungspegel	466
3.15.6	Direkte Messung der Schallintensität	467
3.15.7	Akustische Nahfeld-Holografie	468
3.15.8	Messgeräte für akustische Größen (J. Schmitz)	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 (C. Lehmann)	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 (K. Urbanski)	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 Grundschaltungen	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 Grundschaltungen	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	Mehrrechte 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 χ^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 625

(W. Trentmann)	625
9.1	Hardware	625
9.1.1	Signalauflistung	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 (<i>T. Pfeifer</i>)	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 (<i>W. Richter, J. Hoffmann</i>)	695
12	Firmen und Einrichtungen mit Bezügen zur Messtechnik (<i>J. Hoffmann</i>)	708
13	Formelzeichenverzeichnis	750
14	Verzeichnis englisch-deutscher Begriffe und Abkürzungen	753
15	Literaturverzeichnis	761
16	Sachwortverzeichnis	787