

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Grundbegriffe (W. Richter, A. Hebestreit)</b>	<b>8</b>
1.1	<i>Gegenstand der Messtechnik</i>	8
1.2	<i>Messtechnische Disziplinen, Aufgaben und Ziele</i>	9
1.2.1	Bezeichnungen	9
1.2.2	Strategische Ziele	11
1.2.3	Messtechnische Handlungen und Einrichtungen	13
1.3	<i>Größen und Einheiten</i>	15
1.3.1	Größen	16
1.3.2	Einheiten	16
1.4	<i>Messgrößenwandlung</i>	18
1.5	<i>Grundstrukturen</i>	21
1.6	<i>Weiterverarbeitung</i>	24
1.7	<i>Unifizierung und Schnittstellen</i>	26
1.7.1	Aufgabenunifizierung	26
1.7.2	Schnittstellen	26
1.8	<i>Signale</i>	27
1.8.1	Signalmerkmale	28
1.8.2	Signalwandlung	30
1.8.3	Abtastung und Analog/Digital-Umsetzung	32
1.8.4	Einheitssignale	33
1.9	<i>Kennfunktionen und Kennwerte</i>	35
1.9.1	Statische Kennfunktionen und Kennwerte	36
1.9.2	Dynamische Kennfunktionen und Kennwerte	37
1.9.3	Fehler	39
1.10	<i>Entwicklungstendenzen</i>	39
1.10.1	Historischer Rückblick	40
1.10.2	Ausblick	42
<b>2</b>	<b>Messen elektrischer Größen (G. Gruhn, A. Hebestreit)</b>	<b>44</b>
2.1	<i>Größen in Gleich- und Wechselspannungssystemen</i>	44
2.1.1	Gleichspannung und Gleichstrom	44
2.1.2	Wechselspannung und Wechselstrom	47
2.1.3	Grundschaltelemente	51
2.1.4	Wechselspannungen und Wechselströme im Dreiphasensystem	53
2.1.5	Impulsförmige und zufällige Spannungs- und Stromverläufe	56
2.1.6	Leistung	57
2.1.6.1	Wirkleistung	58
2.1.6.2	Blindleistung	60
2.1.6.3	Scheinleistung	61
2.1.6.4	Leistungsfaktor	62
2.1.7	Wirk- und Blindenergie	62
2.1.8	Größen des elektrischen und magnetischen Feldes	62
2.2	<i>Messwerke und Messgeräte</i>	64
2.2.1	Messung zeitlicher Verläufe	72
2.2.2	Messung von Gleichstrom und Gleichspannung	78
2.2.3	Messung des Quotienten zweier Gleichgrößen	80

2.2.4	Messung des Spitzenwertes	80
2.2.5	Messung des Gleichrichtwertes	81
2.2.6	Messung des Effektivwertes	82
2.2.7	Messung der Leistung	86
2.2.8	Messung der Energie	88
2.2.9	Messung der Frequenz	91
2.2.10	Messung des Phasenwinkels	92
2.2.11	Messung magnetischer Feldgrößen	94
2.2.12	Messung elektrischer Feldgrößen	95
2.2.13	Universalmeßgeräte und Meßplätze	95
2.2.14	Kenngößen und Anwenderinformationen	97
2.3	<i>Messzubehör</i>	98
2.3.1	Normale	98
2.3.2	Messwiderstände	99
2.3.3	Spannungsteiler	99
2.3.4	Messwandler	101
2.3.5	Messumformer	103
2.4	<i>Messverfahren zur Messung elektrischer Größen</i>	105
2.4.1	Widerstand	106
2.4.2	Induktivität	108
2.4.3	Kapazität und Verlustfaktor	110
2.4.4	Spannung	112
2.4.5	Strom	114
2.4.6	Leistung	114
2.4.7	Energie	116
2.4.8	Phasenwinkel	117
2.4.9	Frequenz	117
2.4.10	Klirrfaktor	118
2.4.11	Formfaktor	118
2.4.12	Teilentladungen	118
2.5	<i>Analyse elektrischer Signale</i>	119
2.5.1	Harmonische Analyse	119
2.5.2	Fourier-Transformation	121
<b>3</b>	<b>Messen nichtelektrischer Größen</b>	<b>125</b>
3.1	<i>Temperatur (E. Schrüfer)</i>	125
3.1.1	Thermoelemente	125
3.1.2	Metall-Widerstandsthermometer	129
3.1.3	Heißleiter	131
3.1.4	Kaltleiter	133
3.1.5	Silizium-Widerstandstemperatursensor	134
3.1.6	Silizium-Sperrschicht-Temperatursensor	135
3.1.7	Quarztemperatursensor	136
3.1.8	Faseroptisches Lumineszenzthermometer	137
3.1.9	Störung des Temperaturfeldes durch Berührungsthermometer	138
3.1.10	Thermosäule	139
3.1.11	Bolometer	140
3.1.12	Pyroelektrischer Temperatursensor	140
3.1.13	Strahlungspyrometer	143
3.2	<i>Druck (K. W. Bonfig)</i>	144

---

3.2.1	Federelastische Druckmessgeräte	145
3.2.2	Flüssigkeitsmanometer	148
3.2.3	Druckmessumformer	149
3.2.3.1	Druckmessumformer nach dem Dehnungsmessstreifen- (DMS-)Prinzip	150
3.2.3.2	Druckmessumformer nach dem piezoresistiven Prinzip	150
3.2.3.3	Druckmessumformer nach dem induktiven Prinzip	153
3.2.3.4	Druckmessumformer nach dem kapazitiven Prinzip	154
3.2.3.5	Druckmessumformer nach dem Prinzip der Resonanz- frequenzmessung	156
3.2.3.6	Druckmessumformer nach dem piezoelektrischen Prin- zip	157
3.2.3.7	Druckmessumformer mit Schwingquarzen	158
3.2.3.8	Drucksensoren nach dem Prinzip der akustischen Oberflächenwellen	158
3.2.4	Vakuumdruckmessung	159
3.3	<i>Durchfluss (K. W. Bonfig)</i>	160
3.3.1	Durchflussmessung durch energetische Beziehungen einer Strö- mung	161
3.3.2	Volumenzähler	164
3.3.3	Schwebekörper-Durchflussmessung	166
3.3.4	Magnetisch-induktive Durchflussmessung (MID)	168
3.3.5	Wirbelfrequenz-Durchflussmessung	169
3.3.6	Laufzeitverfahren (Korrelation)	172
3.3.7	Ultraschall-Durchflussmessung	173
3.3.8	Massendurchflussmessung nach dem Coriolis-Prinzip	176
3.3.9	Durchflussmessung auf thermischer Grundlage	178
3.3.10	Geschwindigkeitsmessung nach dem Laser-Doppler-Verfahren	180
3.4	<i>Füllstand und Grenzstand (K. W. Bonfig)</i>	181
3.4.1	Verfahren mit Schwimmern und Tastplatten	181
3.4.2	Kapazitive und konduktive Füllstandsmessung	183
3.4.3	Füllstandsmessung mit thermischen Verfahren	185
3.4.4	Füllstandsmessung mit radiometrischen Verfahren	186
3.4.5	Füllstandsmessung mit Schall und Ultraschall	187
3.4.6	Füllstandsmessung mit optischen Verfahren	188
3.4.7	Füllstandsmessung mit Mikrowellen nach dem Radar-Prinzip	189
3.4.8	Füllstandsmessung über Kraft- und Druckmessungen	190
3.4.9	Weitere Methoden zur Grenzstandsüberwachung und zur Füll- standsmessung	191
3.5	<i>Dichte (K. W. Bonfig)</i>	192
3.5.1	Dichtemessung fester Stoffe	193
3.5.1.1	Wägemethoden	193
3.5.1.2	Auftriebsmethoden	193
3.5.2	Dichtemessung von Flüssigkeiten	194
3.5.2.1	Wägemethoden, kontinuierlich und diskontinuierlich	194
3.5.2.2	Auftriebsmethoden, kontinuierlich und diskontinuier- lich	195
3.5.2.3	Hydrostatische Dichtemessmethoden	197
3.5.2.4	Radiometrische Dichtemessmethoden	198

	3.5.2.5	Resonanz- bzw. Schwingungsdichtemessmethoden . . .	198
	3.5.2.6	Spezielle Verfahren für die Dichtemessung . . . . .	199
3.5.3		Dichtemessung von Gasen . . . . .	199
	3.5.3.1	Wäge- und Auftriebsmethoden zur Gasdichtemessung	199
	3.5.3.2	Ausström- und Schleuderverfahren für die Gasdichte- messung . . . . .	200
	3.5.3.3	Schwingungsmethoden für die Gasdichtemessung . . .	201
3.6		<i>Viskosität (K. W. Bonfig)</i> . . . . .	202
	3.6.1	Abhängigkeit der Viskosität von verschiedenen Einflussgrößen .	205
	3.6.2	Kapillarviskosimeter . . . . .	206
	3.6.3	Rotationsviskosimeter . . . . .	206
	3.6.4	Verschiebung zweier konzentrischer Zylinder . . . . .	207
	3.6.5	Kugelfallviskosimeter . . . . .	207
	3.6.6	Schwebekörperviskosimeter . . . . .	207
	3.6.7	Schwingungviskosimeter . . . . .	207
3.7		<i>Oberflächenspannung (J. Hoffmann)</i> . . . . .	208
	3.7.1	Ringaufnehmer . . . . .	208
	3.7.2	Plattenaufnehmer . . . . .	209
3.8		<i>Messen mechanischer und geometrischer Größen (J. Hoffmann, W. Rich- ter)</i> . . . . .	209
	3.8.1	Messen von Längen und Winkeln . . . . .	209
		3.8.1.1 Mechanische Verfahren . . . . .	210
		3.8.1.2 Induktive und kapazitive Verfahren . . . . .	211
		3.8.1.3 Optische Verfahren . . . . .	213
		3.8.1.4 Ultraschallverfahren . . . . .	217
		3.8.1.5 Winkelbestimmung . . . . .	218
	3.8.2	Positionsbestimmung . . . . .	219
		3.8.2.1 Optische Verfahren . . . . .	219
		3.8.2.2 Nichtoptische Verfahren . . . . .	220
	3.8.3	Messen von Dehnungen und daraus abgeleiteten Größen . . . . .	223
		3.8.3.1 Metall-Dehnungsmessstreifen . . . . .	225
		3.8.3.2 Halbleiter-Dehnungsmessstreifen . . . . .	226
		3.8.3.3 Anordnungen von Dehnungsmessstreifen . . . . .	227
	3.8.4	Messen von Kräften . . . . .	228
	3.8.5	Beschleunigungs- und Schwingungsmessung . . . . .	231
	3.8.6	Messung der Masse . . . . .	234
	3.8.7	Drehmomentmessung . . . . .	236
	3.8.8	Messen von Oberflächeneigenschaften fester Stoffe . . . . .	238
		3.8.8.1 Bestimmung von Gestaltabweichungen . . . . .	238
		3.8.8.2 Bestimmung der Härte . . . . .	240
		3.8.8.3 Bestimmung der Schichtdicke . . . . .	241
3.9		<i>Zeitmessung (H. Kopp)</i> . . . . .	242
	3.9.1	Zeitskalen . . . . .	242
	3.9.2	Zeitbasen . . . . .	243
		3.9.2.1 RC-Schaltungen . . . . .	243
		3.9.2.2 Kondensator-Konstantstromladung . . . . .	244
		3.9.2.3 LC-Oszillatoren . . . . .	244
		3.9.2.4 Quarzoszillatoren . . . . .	245
	3.9.3	Zeitsignale von Funksendern . . . . .	245

---

3.9.3.1	DCF77	245
3.9.3.2	GPS	246
3.9.3.3	Galileo	247
3.10	<i>Frequenzmessung (H. Kopp)</i>	247
3.10.1	Bestimmung der Frequenz	247
3.10.2	Rückführung der Frequenz- auf die Zeitmessungen	247
3.10.3	Frequenzteiler, Frequenzvervielfachung	248
3.11	<i>Drehzahl- und Winkellageerfassung (H. Kopp)</i>	249
3.11.1	Optische Signalgeber	249
3.11.2	Induktive Signalgeber	250
3.11.3	Feldplatten- und Hall-Geber	251
3.11.4	Tachogenerator	252
3.11.5	Stroboskop	252
3.12	<i>Konzentrations- und Analysenmesstechnik (J. Hoffmann)</i>	252
3.12.1	Wichtige Grundprinzipien	253
3.12.1.1	Prinzip der Absorption	254
3.12.1.2	Prinzip der Reflexion	255
3.12.1.3	Prinzip der Emission	255
3.12.1.4	Prinzip der Chromatographie	256
3.12.2	Gas- und Flüssigkeitschromatographie	257
3.12.3	Massenspektroskopie	259
3.12.4	NMR-Spektroskopie	261
3.12.5	Röntgenfluoreszenzanalyse	262
3.12.6	Optische Analyseverfahren	265
3.12.6.1	UV/VIS-Spektroskopie	265
3.12.6.2	Flammenspektroskopie / AAS, AES	266
3.12.6.3	Funken-/Bogenspektroskopie	267
3.12.6.4	Fluoreszenzspektroskopie	268
3.12.6.5	Infrarot- und Raman-Spektroskopie	269
3.12.6.6	Refraktometrie	273
3.12.6.7	Polarimetrie	276
3.12.7	Kalorimetrie	277
3.12.8	Wärmeleitfähigkeitsmessung zur Gaskonzentrationsbestimmung	279
3.12.9	Wärmetönungsmessung	280
3.12.10	Flammenionisationsmessung	281
3.12.11	Sauerstoffmessung	282
3.12.11.1	Ringkammersauerstoffsensoren	282
3.12.11.2	Hitzdrahtsauerstoffsensoren	283
3.12.11.3	Magnetomechanische Geräte	284
3.12.11.4	Magnetopneumatische Geräte	285
3.12.11.5	Festkörper-Sauerstoffsensoren	286
3.12.12	Feuchtemessung	287
3.12.12.1	Aspirationshygrometer	288
3.12.12.2	LiCl-Hygrometer	289
3.12.12.3	Elektrolysehygrometer	290
3.12.12.4	Tauspiegelhygrometer	291
3.12.12.5	Kapazitive Feuchtesensoren	292
3.12.12.6	Haarhygrometer	292
3.12.12.7	Bistreifenhygrometer	293

3.12.12.8	Neutronen-Feuchtesensor	294
3.12.12.9	Weitere Feuchtesensoren	295
3.12.13	Konduktometrie	296
3.12.14	Potentiometrie	297
3.12.14.1	pH-Wert-Sensoren	297
3.12.14.2	Ionenselektive Sensoren	299
3.12.14.3	Redoxpotentialsensoren	300
3.12.15	Elektrodenkinetische Messverfahren	300
3.12.16	Partikelmesstechnik	301
3.12.16.1	Mechanische Verfahren	303
3.12.16.2	Optische Verfahren	304
3.12.16.3	Sedimentationsverfahren	309
3.12.16.4	Feldstörungsverfahren	313
3.12.16.5	Akustische Verfahren	314
3.12.16.6	Oberflächenbestimmungsverfahren	314
3.12.17	Probennahme und Probenteilung	315
3.13	Messung ionisierender Strahlung (E. Schröder)	316
3.13.1	Größen und Einheiten	316
3.13.2	Detektoren für $\gamma$ -Strahlung	317
3.13.2.1	Ionisationskammer	318
3.13.2.2	Auslösezählrohr	318
3.13.2.3	Szintillationszähler	319
3.13.2.4	Halbleiter-Strahlungsdetektor	320
3.13.2.5	Impulshöhenanalyse	321
3.13.3	Detektoren für $\beta$ -Strahlung	321
3.13.4	Detektoren für $\alpha$ -Strahlung	321
3.13.5	Neutronenflussmessung	322
3.13.5.1	BF <sub>3</sub> -Zählrohr	323
3.13.5.2	Borbelegte Ionisationskammer	323
3.13.5.3	Spaltkammer	323
3.13.5.4	Neutronen-Beta-Detektoren	324
3.13.6	Dosismessung	325
3.13.7	Integriertes Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität	326
3.14	Messung optischer Größen (H. Kopp)	327
3.14.1	Strahlungsphysikalisches und lichttechnisches Maßsystem	327
3.14.2	Empfänger zur Messung optischer Strahlung	329
3.14.2.1	Fotowiderstände	330
3.14.2.2	Fotodioden	331
3.14.2.3	Fototransistoren	333
3.14.2.4	Sekundärelektronenvervielfacher (SEV) und Kanal- elektronenvervielfacher (KEV)	334
3.14.2.5	Charge Coupled Device (CCD)	335
3.14.2.6	Lateraleffektdioden	336
3.14.2.7	Breitbandige Strahlungsempfänger	336
3.14.2.8	UV-Sensoren	337
3.14.3	Besonderheiten von Empfängern für Lichtmessungen	337
3.14.3.1	V( $\lambda$ )-Anpassung	337
3.14.3.2	Kosinusanpassung	338

3.14.4	Messung lichttechnischer Größen	339
3.14.4.1	Verfahren der Lichtschwächung	339
3.14.4.2	Beleuchtungsstärke	340
3.14.4.3	Leuchtdichte	342
3.14.4.4	Lichtstrom	343
3.14.4.5	Lichtstärke	345
3.14.4.6	Lichtstärkeverteilung	346
3.14.4.7	Farbmessungen	347
3.14.4.8	Lichttechnische Stoffkennzahlen	351
3.14.5	Fotometrische Normale	352
3.14.5.1	Fotometrische Strahlungsnormale	352
3.14.5.2	Fotometrische Empfängernormale	352
3.14.5.3	Fotometrische Reflexionsnormale	352
3.14.5.4	Normlichtarten	352
3.15	Messung akustischer Größen (G. Fuder)	353
3.15.1	Schalldruckpegel	353
3.15.1.1	Bewertete Schalldruckpegel	355
3.15.1.2	Addition von Schalldruckpegeln	357
3.15.1.3	Mittelwerte des Schalldruckpegels	358
3.15.2	Geräte zur Messung von Schalldruckpegeln	359
3.15.3	Beurteilung praktischer Schallsituationen	360
3.15.4	Lautstärkepegel und Lautheit	362
3.15.4.1	Ermittlung des Lautstärkepegels durch Hörvergleich	362
3.15.4.2	Lautheit	365
3.15.4.3	Berechnung von Lautstärkepegel und Lautheit	365
3.15.4.4	Vergleich der Kenngrößen Schalldruckpegel, Lautstärkepegel und Lautheit	367
3.15.5	Schalleistungspegel	367
3.15.6	Direkte Messung der Schallintensität	370
3.15.7	Akustische Nahfeld-Holografie	371
<b>4</b>	<b>Messelektronik</b>	<b>374</b>
4.1	Analoge Messelektronik (C. Lehmann)	374
4.1.1	Prinzipien der analogen Messwertverarbeitung	374
4.1.1.1	Strukturen und Komponenten von Messeinrichtungen	375
4.1.1.2	Prinzip der Rückkopplung	377
4.1.1.3	Varianten der elektrischen Anpassung	378
4.1.2	Systemkomponenten analoger Messgeräte	381
4.1.2.1	Tastköpfe	381
4.1.2.2	Sensoren in Brückenschaltungen	382
4.1.2.3	Messverstärker	387
4.1.2.4	Analoge Rechenschaltungen	402
4.1.2.5	Hilfsschaltungen für Messwandler	409
4.1.2.6	Analoge elektronische Schalter	415
4.1.2.7	Filter	419
4.2	Digitale Messelektronik (K. Urbanski)	424
4.2.1	Grundlagen der Digitaltechnik	424
4.2.1.1	Zuordnungssysteme	425
4.2.1.2	Boolesche Algebra	427
4.2.1.3	Logische Grundverknüpfungen	431

4.2.1.4	Minimieren von Schaltfunktionen	432
4.2.2	Kombinatorische Grundschaltungen	436
4.2.2.1	Code-Umsetzer	436
4.2.2.2	Zahlenkomparator	438
4.2.2.3	Multiplexer und Demultiplexer	439
4.2.2.4	Addierer	440
4.2.3	Sequentielle Grundschaltungen	442
4.2.3.1	Prinzipieller Aufbau einer sequentiellen Schaltung	442
4.2.3.2	Monostabile Kippstufen (Monoflops)	443
4.2.3.3	Bistabile Kippstufen (Flipflops)	443
4.2.3.4	Zähler	446
4.2.3.5	Register und Schieberegister	449
4.2.4	Eigenschaften digitaler integrierter Schaltkreise	451
4.2.5	Anwenderspezifische Bausteine (ASICs)	457
4.2.5.1	Fullcustom	458
4.2.5.2	Semicustom	458
4.2.5.3	Programmierbare Logik	459
4.2.6	Mikrocomputer-Schaltkreise	462
4.2.6.1	Struktur des Mikrocomputers	463
4.2.6.2	Mikroprozessoren	464
4.2.6.3	Schreib-/Lesespeicher (RAM)	465
4.2.6.4	Festwertspeicher (ROM)	469
4.2.6.5	Ein-/Ausgabe-Bausteine	470
4.2.6.6	Mikrocontroller	470
4.2.7	Messgeräte für die Logikanalyse	473
4.2.7.1	Logikprüfer	473
4.2.7.2	Logikanalysator	474
<b>5</b>	<b>Rechnerkopplung</b>	<b>476</b>
5.1	<i>Grundlagen und Begriffe (J. Hoffmann)</i>	476
5.1.1	A/D-Umsetzer	479
5.1.1.1	Parallel-A/D-Umsetzer	480
5.1.1.2	Sukzessive-Approximation-A/D-Umsetzer	481
5.1.1.3	Nachlauf-A/D-Umsetzer	482
5.1.1.4	Rampen-A/D-Umsetzer	483
5.1.1.5	Dual-Slope-A/D-Umsetzer	484
5.1.1.6	Charge-Balancing-A/D-Umsetzer	486
5.1.1.7	Delta-Sigma-Umsetzer	487
5.1.2	D/A-Umsetzer	489
5.1.2.1	Stromgewichtete D/A-Umsetzer	489
5.1.2.2	R-2R-D/A-Umsetzer	490
5.2	<i>Intelligente Sensorik (K. Urbanski)</i>	490
5.3	<i>Bussysteme in der Messtechnik (H. Kopp)</i>	494
5.3.1	Bus-Topologie	495
5.3.2	OSI-Schichtenmodell	496
5.3.3	Physikalische Schnittstellenstandards	497
5.3.3.1	RS232C	497
5.3.3.2	RS422	498
5.3.3.3	RS485	499
5.3.4	Datenübertragung	499

---

5.3.4.1	Busse für serielle Übertragung	499
5.3.4.2	Synchronisationsverfahren	500
5.3.4.3	Bus-Zugriffsverfahren	500
5.3.4.4	Bus-Protokolle	501
5.3.4.5	Sicherung gegen Übertragungsfehler	501
5.3.5	Messgerätebus IEEE488	502
5.3.5.1	IEEE STD 488.1	502
5.3.5.2	IEEE STD 488.2	503
5.3.6	Beispiele genormter Feldbussysteme	503
5.3.7	Kopplungen unterschiedlicher Bussysteme (Gateways)	503
5.3.8	Maßnahmen zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV)	505
<b>6</b>	<b>Ausgabegeräte (C. Lehmann)</b>	<b>507</b>
6.1	Digitale Anzeigeelemente	507
6.1.1	Optoelektronische Anzeigeelemente	507
6.1.1.1	Binärsignal-Anzeige mit LED	508
6.1.1.2	Quasi-analoge Anzeige	508
6.1.1.3	Numerische Anzeige mit LCD	509
6.1.1.4	Alphanumerische Anzeigen	510
6.2	Bildsichtgeräte	511
6.2.1	Farbbildröhren für Monitore	511
6.2.1.1	Prinzipieller Aufbau	512
6.2.1.2	Frequenzkennwerte	512
6.2.1.3	Grundfunktionen der Grafikkarte	514
6.2.2	LCD-Bildschirme	515
6.3	Drucker	516
6.3.1	Funktionsprinzipien im Überblick	516
6.3.2	Kommunikations-Schnittstellen	517
6.3.2.1	Centronics-Schnittstelle	518
6.3.2.2	IEC-Bus-Schnittstelle	519
6.3.2.3	Serielle Schnittstelle EIA-232	519
6.3.2.4	USB-Schnittstelle	520
6.3.2.5	Firewire-Schnittstelle	521
<b>7</b>	<b>Das Konzept Messfehler (J. Hoffmann, J. Biermann)</b>	<b>522</b>
7.1	Fehlerdefinition	522
7.2	Fehlerarten	523
7.2.1	Quantisierungsfehler und digitaler Restfehler	523
7.2.2	Statische Fehler	525
7.2.3	Dynamische Fehler	526
7.2.4	Systematische Fehler	529
7.2.5	Zufällige Fehler	530
7.3	Trennung von systematischen und zufälligen Fehleranteilen	530
7.4	Kennlinienkorrektur	531
7.4.1	Lineare Approximation	532
7.4.2	Geradenapproximation	533
7.4.3	Polynominterpolation	535
7.4.4	Spline-Interpolation	538
7.5	Fehlerfortpflanzung	540
7.6	Messbereich, Auflösung und Messgenauigkeit	541

7.7	<i>Auswertung von Messergebnissen</i> . . . . .	542
7.7.1	Der Begriff der Messreihe . . . . .	542
7.7.1.1	Schätzwerte und wahre Werte . . . . .	543
7.7.1.2	Mittelwert und Erwartungswert . . . . .	543
7.7.1.3	Stichprobenvarianz und Varianz . . . . .	544
7.7.1.4	Mittlerer Fehler der Einzelmessung . . . . .	544
7.7.1.5	Mittlerer Fehler des Mittelwertes . . . . .	546
7.7.1.6	Mittlerer Fehler der Standardabweichung . . . . .	548
7.7.1.7	Empirische Kovarianz und Korrelationskoeffizient . . . . .	549
7.7.2	Grafische Darstellung von Messergebnissen . . . . .	549
7.7.2.1	Histogramm und Verteilungsdichtefunktion . . . . .	549
7.7.2.2	Summenhäufigkeit und Verteilungsfunktion . . . . .	551
7.7.2.3	Weitere Darstellungsmöglichkeiten . . . . .	552
7.7.3	Regressionsrechnung . . . . .	552
7.7.3.1	Einfache lineare Regression . . . . .	553
7.7.3.2	Vertrauensintervalle für Regressionskoeffizient und -konstante . . . . .	555
7.7.3.3	Mehrfache lineare und nichtlineare Regression . . . . .	555
7.7.4	Tests . . . . .	556
7.7.4.1	Der $t$ -Test als einseitiges Problem . . . . .	558
7.7.4.2	Der $t$ -Test als zweiseitiges Problem . . . . .	558
7.7.4.3	Der $\chi^2$ -Streutest . . . . .	559
7.7.4.4	Der $t$ -Zweistichprobentest . . . . .	559
7.7.4.5	Der $F$ -Test . . . . .	560
7.7.5	Weitere Auswertungsmethoden . . . . .	560
<b>8</b>	<b>Das Konzept Messunsicherheit (F. Adunka)</b> . . . . .	<b>562</b>
8.1	Messwertverteilungen . . . . .	567
8.2	Die Verteilungsfunktion der Ergebnisgröße . . . . .	573
8.3	Korrelierte Eingangsdaten . . . . .	574
8.4	Kritik an der Vorgehensweise nach dem GUM . . . . .	579
8.5	Vorgehensweise bei der Berechnung von Messunsicherheiten . . . . .	580
8.5.1	Schematische Vorgehensweise nach EA-4/02 . . . . .	580
8.5.2	Angabe der Messunsicherheit . . . . .	581
8.5.3	Unsicherheitsangabe bei Digitalanzeigen . . . . .	581
8.6	Weitere Beispiele . . . . .	582
8.7	Ergänzende Bemerkungen . . . . .	589
<b>9</b>	<b>Einheiten und Umrechnungen (W. Richter, J. Hoffmann)</b> . . . . .	<b>591</b>
	<b>Formelzeichenverzeichnis</b> . . . . .	<b>611</b>
	<b>Verzeichnis englisch-deutscher Begriffe</b> . . . . .	<b>614</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	<b>622</b>
	<b>Sachwortverzeichnis</b> . . . . .	<b>649</b>