
Inhaltsverzeichnis

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

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

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

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

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

3.12.12.7	Bistreifenhygrometer	302
3.12.12.8	Neutronen-Feuchtesensor	303
3.12.12.9	Weitere Feuchtesensoren	304
3.12.13	Konduktometrie	305
3.12.14	Potentiometrie	306
3.12.14.1	pH-Wert-Sensoren	306
3.12.14.2	Ionenselektive Sensoren	308
3.12.14.3	Redoxpotentialsensoren	309
3.12.15	Elektrodenkinetische Messverfahren	309
3.12.16	Partikelmesstechnik	310
3.12.16.1	Mechanische Verfahren	312
3.12.16.2	Optische Verfahren	313
3.12.16.3	Sedimentationsverfahren	318
3.12.16.4	Feldstörungsverfahren	322
3.12.16.5	Akustische Verfahren	323
3.12.16.6	Oberflächenbestimmungsverfahren	323
3.12.17	Probennahme und Probenteilung	324
3.13	<i>Messung ionisierender Strahlung (E. Schrüfer)</i>	325
3.13.1	Größen und Einheiten	325
3.13.2	Detektoren für γ -Strahlung	326
3.13.2.1	Ionisationskammer	327
3.13.2.2	Auslösezählrohr	327
3.13.2.3	Szintillationszähler	328
3.13.2.4	Halbleiter-Strahlungsdetektor	329
3.13.2.5	Impulshöhenanalyse	330
3.13.3	Detektoren für β -Strahlung	330
3.13.4	Detektoren für α -Strahlung	330
3.13.5	Neutronenflussmessung	331
3.13.5.1	BF ₃ -Zählrohr	332
3.13.5.2	Borbelegte Ionisationskammer	332
3.13.5.3	Spaltkammer	332
3.13.5.4	Neutronen-Beta-Detektoren	333
3.13.6	Dosismessung	334
3.13.7	Integriertes Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität	335
3.14	<i>Messung optischer Größen (H. Kopp)</i>	336
3.14.1	Strahlungsphysikalisches und lichttechnisches Maßsystem	336
3.14.2	Empfänger zur Messung optischer Strahlung	338
3.14.2.1	Fotowiderstände	339
3.14.2.2	Fotodioden	340
3.14.2.3	Fototransistoren	342
3.14.2.4	Sekundärelektronenvervielfacher (SEV) und Kanalelektronenvervielfacher (KEV)	343
3.14.2.5	Charge Coupled Device (CCD)	344
3.14.2.6	Lateraleffektdioden	345
3.14.2.7	Breitbandige Strahlungsempfänger	345
3.14.2.8	UV-Sensoren	346

3.14.3	Besonderheiten von Empfängern für Lichtmessungen	346
3.14.3.1	$V(\lambda)$ -Anpassung	346
3.14.3.2	Kosinusanpassung	347
3.14.4	Messung lichttechnischer Größen	348
3.14.4.1	Verfahren der Lichtschwächung	348
3.14.4.2	Beleuchtungsstärke	349
3.14.4.3	Leuchtdichte	351
3.14.4.4	Lichtstrom	352
3.14.4.5	Lichtstärke	354
3.14.4.6	Lichtstärkeverteilung	355
3.14.4.7	Farbmessungen	356
3.14.4.8	Lichttechnische Stoffkennzahlen	360
3.14.5	Fotometrische Normale	361
3.14.5.1	Fotometrische Strahlungsnormale	361
3.14.5.2	Fotometrische Empfängernormale	361
3.14.5.3	Fotometrische Reflexionsnormale	361
3.14.5.4	Normlichtarten	362
3.15	Messung akustischer Größen (G. Fuder)	362
3.15.1	Schalldruckpegel	362
3.15.1.1	Bewertete Schalldruckpegel	364
3.15.1.2	Addition von Schalldruckpegeln	366
3.15.1.3	Mittelwerte des Schalldruckpegels	367
3.15.2	Geräte zur Messung von Schalldruckpegeln	368
3.15.3	Beurteilung praktischer Schallsituationen	369
3.15.4	Lautstärkepegel und Lautheit	371
3.15.4.1	Ermittlung des Lautstärkepegels durch Hörvergleich	371
3.15.4.2	Lautheit	374
3.15.4.3	Berechnung von Lautstärkepegel und Lautheit	374
3.15.4.4	Vergleich der Kenngrößen Schalldruckpegel, Lautstärkepegel und Lautheit	376
3.15.5	Schalleistungspegel	376
3.15.6	Direkte Messung der Schallintensität	379
3.15.7	Akustische Nahfeld-Holografie	380
4	Messelektronik	383
4.1	Analoge Messelektronik (C. Lehmann)	383
4.1.1	Prinzipien der analogen Messwertverarbeitung	383
4.1.1.1	Strukturen und Komponenten von Messeinrichtungen	384
4.1.1.2	Prinzip der Rückkopplung	386
4.1.1.3	Varianten der elektrischen Anpassung	387
4.1.2	Systemkomponenten analoger Messgeräte	390
4.1.2.1	Tastköpfe	390
4.1.2.2	Sensoren in Brückenschaltungen	391
4.1.2.3	Messverstärker	396
4.1.2.4	Analoge Rechenschaltungen	411
4.1.2.5	Hilfsschaltungen für Messwandler	418
4.1.2.6	Analoge elektronische Schalter	424
4.1.2.7	Filter	428

4.2	Digitale Messelektronik (K. Urbanski)	433
4.2.1	Grundlagen der Digitaltechnik	433
4.2.1.1	Zuordnungssysteme	434
4.2.1.2	Boolesche Algebra	436
4.2.1.3	Logische Grundverknüpfungen	440
4.2.1.4	Minimieren von Schaltfunktionen	441
4.2.2	Kombinatorische Grundschaltungen	445
4.2.2.1	Code-Umsetzer	445
4.2.2.2	Zahlenkomparator	447
4.2.2.3	Multiplexer und Demultiplexer	448
4.2.2.4	Addierer	449
4.2.3	Sequentielle Grundschaltungen	451
4.2.3.1	Prinzipieller Aufbau einer sequentiellen Schaltung	451
4.2.3.2	Monostabile Kippstufen (Monoflops)	452
4.2.3.3	Bistabile Kippstufen (Flipflops)	452
4.2.3.4	Zähler	455
4.2.3.5	Register und Schieberegister	458
4.2.4	Eigenschaften digitaler integrierter Schaltkreise	460
4.2.5	Anwenderspezifische Bausteine (ASICs)	466
4.2.5.1	Fullcustom	467
4.2.5.2	Semicustom	467
4.2.5.3	Programmierbare Logik	468
4.2.6	Mikrocomputer-Schaltkreise	471
4.2.6.1	Struktur des Mikrocomputers	472
4.2.6.2	Mikroprozessoren	473
4.2.6.3	Schreib-/Lesespeicher (RAM)	474
4.2.6.4	Festwertspeicher (ROM)	478
4.2.6.5	Ein-/Ausgabe-Bausteine	479
4.2.6.6	Mikrocontroller	479
4.2.7	Messgeräte für die Logikanalyse	482
4.2.7.1	Logikprüfer	482
4.2.7.2	Logikanalysator	483
5	Rechnerkopplung	485
5.1	Grundlagen und Begriffe (J. Hoffmann)	485
5.1.1	A/D-Umsetzer	488
5.1.1.1	Parallel-A/D-Umsetzer	489
5.1.1.2	Sukzessive-Approximation-A/D-Umsetzer	490
5.1.1.3	Nachlauf-A/D-Umsetzer	491
5.1.1.4	Rampen-A/D-Umsetzer	492
5.1.1.5	Dual-Slope-A/D-Umsetzer	493
5.1.1.6	Charge-Balancing-A/D-Umsetzer	495
5.1.1.7	Delta-Sigma-Umsetzer	496
5.1.2	D/A-Umsetzer	498
5.1.2.1	Stromgewichtete D/A-Umsetzer	498
5.1.2.2	R-2R-D/A-Umsetzer	499
5.2	Intelligente Sensorik (K. Urbanski)	499
5.3	Bussysteme in der Messtechnik (H. Kopp)	503
5.3.1	Bus-Topologie	504
5.3.2	OSI-Schichtenmodell	505

5.3.3	Physikalische Schnittstellenstandards	506
5.3.3.1	RS232C	506
5.3.3.2	RS422	507
5.3.3.3	RS485	508
5.3.4	Datenübertragung	508
5.3.4.1	Busse für serielle Übertragung	508
5.3.4.2	Synchronisationsverfahren	509
5.3.4.3	Bus-Zugriffsverfahren	509
5.3.4.4	Bus-Protokolle	510
5.3.4.5	Sicherung gegen Übertragungsfehler	510
5.3.5	Messgerätebus IEEE488	511
5.3.5.1	IEEE STD 488.1	511
5.3.5.2	IEEE STD 488.2	512
5.3.6	Beispiele genormter Feldbussysteme	512
5.3.7	Kopplungen unterschiedlicher Bussysteme (Gateways)	512
5.3.8	Maßnahmen zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV)	514
6	Ausgabegeräte (C. Lehmann)	516
6.1	Digitale Anzeigeelemente	516
6.1.1	Optoelektronische Anzeigeelemente	516
6.1.1.1	Binärsignal-Anzeige mit LED	517
6.1.1.2	Quasi-analoge Anzeige	517
6.1.1.3	Numerische Anzeige mit LCD	518
6.1.1.4	Alphanumerische Anzeigen	519
6.2	Bildsichtgeräte	520
6.2.1	Farbbildröhren für Monitore	520
6.2.1.1	Prinzipieller Aufbau	521
6.2.1.2	Frequenzkennwerte	521
6.2.1.3	Grundfunktionen der Grafikkarte	523
6.2.2	LCD-Bildschirme	524
6.3	Drucker	525
6.3.1	Funktionsprinzipien im Überblick	525
6.3.2	Kommunikations-Schnittstellen	526
6.3.2.1	Centronics-Schnittstelle	527
6.3.2.2	IEC-Bus-Schnittstelle	528
6.3.2.3	Serielle Schnittstelle EIA-232	528
6.3.2.4	USB-Schnittstelle	529
6.3.2.5	Firewire-Schnittstelle	530
7	Das Konzept Messfehler (J. Hoffmann, J. Biermann)	531
7.1	Fehlerdefinition	531
7.2	Fehlerarten	532
7.2.1	Quantisierungsfehler und digitaler Restfehler	532
7.2.2	Statische Fehler	534
7.2.3	Dynamische Fehler	535
7.2.4	Systematische Fehler	538
7.2.5	Zufällige Fehler	539
7.3	Trennung von systematischen und zufälligen Fehleranteilen	539
7.4	Kennlinienkorrektur	540
7.4.1	Lineare Approximation	541

7.4.2	Geradenapproximation	542
7.4.3	Polynominterpolation	544
7.4.4	Spline-Interpolation	547
7.5	Fehlerfortpflanzung	549
7.6	Messbereich, Auflösung und Messgenauigkeit	550
7.7	Auswertung von Messergebnissen	551
7.7.1	Der Begriff der Messreihe	551
7.7.1.1	Schätzwerte und wahre Werte	552
7.7.1.2	Mittelwert und Erwartungswert	552
7.7.1.3	Stichprobenvarianz und Varianz	553
7.7.1.4	Mittlerer Fehler der Einzelmessung	553
7.7.1.5	Mittlerer Fehler des Mittelwertes	555
7.7.1.6	Mittlerer Fehler der Standardabweichung	557
7.7.1.7	Empirische Kovarianz und Korrelationskoeffizient	558
7.7.2	Grafische Darstellung von Messergebnissen	558
7.7.2.1	Histogramm und Verteilungsdichtefunktion	558
7.7.2.2	Summenhäufigkeit und Verteilungsfunktion	560
7.7.2.3	Weitere Darstellungsmöglichkeiten	561
7.7.3	Regressionsrechnung	561
7.7.3.1	Einfache lineare Regression	562
7.7.3.2	Vertrauensintervalle für Regressionskoeffizient und -konstante	564
7.7.3.3	Mehrfache lineare und nichtlineare Regression	564
7.7.4	Tests	565
7.7.4.1	Der t -Test als einseitiges Problem	567
7.7.4.2	Der t -Test als zweiseitiges Problem	567
7.7.4.3	Der χ^2 -Streutest	568
7.7.4.4	Der t -Zweistichprobentest	568
7.7.4.5	Der F -Test	569
7.7.5	Weitere Auswertungsmethoden	569
8	Das Konzept Messunsicherheit (<i>F. Adunka</i>)	571
8.1	Messwertverteilungen	576
8.2	Die Verteilungsfunktion der Ergebnisgröße	582
8.3	Korrelierte Eingangsdaten	583
8.4	Kritik an der Vorgehensweise nach dem GUM	588
8.5	Vorgehensweise bei der Berechnung von Messunsicherheiten	589
8.5.1	Schematische Vorgehensweise nach EA-4/02	589
8.5.2	Angabe der Messunsicherheit	590
8.5.3	Unsicherheitsangabe bei Digitalanzeigen	590
8.6	Weitere Beispiele	591
8.7	Ergänzende Bemerkungen	598
9	Einheiten und Umrechnungen (<i>W. Richter, J. Hoffmann</i>)	600
	Formelzeichenverzeichnis	620
	Verzeichnis englisch-deutscher Begriffe	623
	Literaturverzeichnis	631
	Sachwortverzeichnis	658