

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>1</b>  | <b>Grundbegriffe</b>  | <b>27</b>  |
| <b>2</b>  | <b>Messen elektrischer Größen</b>                               | <b>64</b>  |
| <b>3</b>  | <b>Messen nichtelektrischer Größen</b>                          | <b>147</b> |
| <b>4</b>  | <b>Messelektronik</b>   | <b>483</b> |
| <b>5</b>  | <b>Rechnerkopplung</b>  | <b>545</b> |
| <b>6</b>  | <b>Ausgabegeräte</b>  | <b>580</b> |
| <b>7</b>  | <b>Das Konzept Messfehler</b>                                   | <b>589</b> |
| <b>8</b>  | <b>Das Konzept Messunsicherheit</b>                             | <b>612</b> |
| <b>9</b>  | <b>PC-Messtechnik und rechnergestützte Messwertverarbeitung</b> | <b>629</b> |
| <b>10</b> | <b>Qualitätsmanagement in der Fertigung</b>                     | <b>662</b> |
| <b>11</b> | <b>Einheiten und Umrechnungen</b>                               | <b>698</b> |
| <b>12</b> | <b>Firmen und Einrichtungen mit Bezügen zur Messtechnik</b>     | <b>711</b> |
| <b>13</b> | <b>Formelzeichenverzeichnis</b>                                 | <b>753</b> |
| <b>14</b> | <b>Verzeichnis englisch-deutscher Begriffe und Abkürzungen</b>  | <b>756</b> |
| <b>15</b> | <b>Literaturverzeichnis</b>                                     | <b>764</b> |
| <b>16</b> | <b>Sachwortverzeichnis</b>                                      | <b>791</b> |

# Inhaltsverzeichnis

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

|          |  |    |
|----------|--|----|
| <b>1</b> | <b>Grundbegriffe</b> .....   | 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        |
| <b>2</b> | <b>Messen elektrischer Größen</b>   | <b>64</b> |
| 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   | Kenngrößen 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    | Digitalmultimeter der Serie TX ( <i>R. Bach</i> )                                     | 111        |
| 2.6.2    | Oszilloskope ( <i>R. Bach</i> )   | 112        |
| 2.6.2.1  | Oszilloskope der TDS1000/2000-Serie   | 112        |
| 2.6.2.2  | Die DPO-Geräteklasse  | 113        |
| 2.6.2.3  | Oszilloskope der Serie TDS 3000   | 114        |
| 2.6.2.4  | WaveStar-Software für Oszilloskope  | 114        |
| 2.6.3    | Automatische, programmierbare RCL-Messgeräte PM 6306 und PM 6304 ( <i>R. Rueger</i> ) | 115        |
| 2.6.4    | Spannungs-, Leistungs- und Frequenzmessgeräte ( <i>P. Mühlbauer</i> )                 | 116        |
| 2.6.4.1  | Leistungsmessgerät NRP  | 116        |
| 2.6.4.2  | Leistungsmessgerät NRVS   | 119        |
| 2.6.4.3  | Zweikanal-Leistungsmessgerät NRVD   | 119        |
| 2.6.4.4  | Leistungs- und Reflexionsmessgerät NRT  | 121        |
| 2.6.4.5  | Durchgangsleistungsmessgerät NAS  | 122        |
| 2.6.4.6  | Pegelmessgerät URV35  | 124        |
| 2.6.4.7  | Millivoltmessgerät URV55  | 125        |
| 2.6.4.8  | RMS-Voltmeter URE2 und RMS/Peak-Voltmeter URE3  | 126        |
| 2.6.5    | EMV-Messgeräte ( <i>P. Mühlbauer</i> )  | 128        |
| 2.6.5.1  | Funkstörmessempfänger ESPI 3/7  | 128        |
| 2.6.5.2  | EMI Test Empfänger ESCI   | 131        |
| 2.6.6    | Signalgeneratoren ( <i>P. Mühlbauer</i> )   | 134        |
| 2.6.6.1  | Vektorsignalgenerator SMU200A   | 134        |
| 2.6.6.2  | Mikrowellensignalgenerator SMR 50/60  | 136        |
| 2.6.7    | Spektrumanalysatoren ( <i>P. Mühlbauer</i> )  | 137        |
| 2.6.7.1  | Handheld-Spektrumanalysator FSH3/FSH6   | 137        |
| 2.6.7.2  | High-End-Spektrumanalysator FSU   | 138        |
| 2.6.7.3  | Signalquellenanalysator FSUP  | 141        |
| 2.6.8    | Audioanalysator UPV ( <i>P. Mühlbauer</i> )   | 142        |
| 2.6.9    | Netzwerkanalysatoren ( <i>P. Mühlbauer</i> )  | 143        |
| 2.6.9.1  | Vektorieller Netzwerkanalysator ZVA   | 143        |
| 2.6.9.2  | Mehrort- Netzwerkanalysator ZVT8  | 145        |
| <b>3</b> | <b>Messen nichtelektrischer Größen</b>  | <b>147</b> |
| 3.1      | Temperatur ( <i>E. Schrüfer</i> )   | 147        |
| 3.1.1    | Thermoelemente  | 147        |
| 3.1.2    | Metall-Widerstandsthermometer   | 149        |
| 3.1.3    | Heißeleiter   | 150        |
| 3.1.4    | Kaltleiter  | 151        |
| 3.1.5    | Silicium-Widerstandstemperatursensor  | 152        |
| 3.1.6    | Silicium-Sperrschicht-Temperatursensor  | 153        |
| 3.1.7    | Quarztemperatursensor   | 153        |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| 3.1.8     | Faseroptisches Lumineszenzthermometer   | 154 |
| 3.1.9     | Störung des Temperaturfeldes durch Berührungsthermometer                                  | 154 |
| 3.1.10    | Thermosäule   | 155 |
| 3.1.11    | Bolometer   | 156 |
| 3.1.12    | Pyroelektrischer Temperatursensor   | 156 |
| 3.1.13    | Strahlungs-pyrometer  | 157 |
| 3.1.14    | Berührende Temperaturaufnehmer ( <i>H. Ilgner</i> )                                       | 158 |
| 3.1.14.1  | Gerades Thermoelement mit Spülgasanschluss  | 158 |
| 3.1.14.2  | Absaug-Thermoelement  | 159 |
| 3.1.14.3  | Mehrfach-Stufen-Thermometer   | 160 |
| 3.1.14.4  | Thermoelement für Hochdruckenwendungen  | 161 |
| 3.1.14.5  | Widerstandsthermometer für sterile Anwendungen  | 162 |
| 3.1.14.6  | Thermometer zur Temperaturmessung in partikelbeladenen Gasen                              | 162 |
| 3.1.14.7  | Widerstandsthermometer für erhöhte hygienische Anforderungen                              | 163 |
| 3.1.14.8  | Widerstandsthermometer mit extrem kurzen Ansprechzeiten für sicherheitsrelevante Prozesse | 164 |
| 3.1.14.9  | Widerstandsthermometer in Lagerschalen und Gehäusen                                       | 165 |
| 3.1.14.10 | Temperaturmessung mit Winkelthermoelementen   | 165 |
| 3.1.14.11 | Temperaturmessung mit Thermoelementen in Turbinen   | 166 |
| 3.1.14.12 | Rohrwandtemperaturmessung an Wärmetauscherrohren  | 167 |
| 3.1.14.13 | Temperaturmessung mit Thermoelementen in Großdieselmotoren                                | 168 |
| 3.1.15    | Berührungslose Temperaturaufnehmer ( <i>H. Ilgner</i> )                                   | 169 |
| 3.1.15.1  | Infrarot-Temperaturmessung bei der Stahlproduktion  | 169 |
| 3.1.15.2  | Infrarot-Temperaturmessung in der Glasindustrie und an Drehrohr- und Tunnelöfen           | 169 |
| 3.1.15.3  | Handmessgerät SENSYTHERM TIR-H1   | 171 |
| 3.2       | Druck ( <i>K. W. Bonfig</i> )   | 172 |
| 3.2.1     | Federelastische Druckmessgeräte   | 172 |
| 3.2.2     | Flüssigkeitsmanometer   | 174 |
| 3.2.3     | Druckmessumformer   | 175 |
| 3.2.3.1   | Druckmessumformer nach dem Dehnmessstreifen-(DMS-)Prinzip                                 | 175 |
| 3.2.3.2   | Druckmessumformer nach dem piezoresistiven Prinzip  | 175 |
| 3.2.3.3   | Druckmessumformer nach dem induktiven Prinzip   | 177 |
| 3.2.3.4   | Druckmessumformer nach dem kapazitiven Prinzip  | 177 |
| 3.2.3.5   | Druckmessumformer nach dem Prinzip der Resonanzfrequenzmessung                            | 178 |
| 3.2.3.6   | Druckmessumformer nach dem piezoelektrischen Prinzip                                      | 179 |
| 3.2.3.7   | Druckmessumformer mit Schwingquarzen  | 180 |
| 3.2.3.8   | Drucksensoren nach dem Prinzip der akustischen Oberflächenwellen                          | 180 |
| 3.2.4     | Vakuumdruckmessung  | 180 |
| 3.2.5     | Druckmessumformer ( <i>H. Lamprecht</i> )   | 180 |
| 3.2.5.1   | Druckmessumformer DMP 343   | 181 |
| 3.2.5.2   | Druckmessumformer DMP 331/333   | 181 |
| 3.2.5.3   | Druckmessumformer DMK 361   | 182 |
| 3.2.5.4   | Druckmessumformer HMP 331, HART®-Protokoll  | 183 |
| 3.2.5.5   | Differenzdruckmessumformer DMD 331  | 184 |
| 3.2.5.6   | OEM-Druckmessumformer   | 184 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| 3.3        | Durchfluss ( <i>K. W. Bonfig</i> )   | 185 |
| 3.3.1      | Durchflussmessung durch energetische Beziehungen einer Strömung                                | 185 |
| 3.3.2      | Volumenzähler  | 187 |
| 3.3.3      | Schwebekörper-Durchflussmessung  | 188 |
| 3.3.4      | Magnetisch-induktive Durchflussmessung (MID)   | 189 |
| 3.3.5      | Wirbelfrequenz-Durchflussmessung   | 190 |
| 3.3.6      | Laufzeitverfahren (Korrelation)  | 192 |
| 3.3.7      | Ultraschall-Durchflussmessung  | 192 |
| 3.3.8      | Massendurchflussmessung nach dem Coriolis-Prinzip  | 194 |
| 3.3.9      | Durchflussmessung auf thermischer Grundlage  | 195 |
| 3.3.10     | Geschwindigkeitsmessung nach dem Laser-Doppler-Verfahren                                       | 197 |
| 3.3.11     | Schwebekörper-Durchflussmessgeräte ( <i>P. Komp, R. Haak, H. Bernard</i> )                     | 197 |
| 3.3.11.1   | Schwebekörper-Durchflussmesser mit Glasmesskonus   | 197 |
| 3.3.11.1.1 | Schwebekörper-Durchflussmesser mit Glaskonus zum Messen kleiner Durchflussmengen (DK-Geräte)   | 198 |
| 3.3.11.1.2 | Kunststoff-Schwebekörper-Durchflussmesser  | 198 |
| 3.3.11.2   | Schwebekörper-Durchflussmesser mit Metallmesskonus   | 198 |
| 3.3.11.2.1 | Schwebekörper-Durchflussmesser mit Metallkonus zum Messen kleiner Durchflussmengen (DK-Metall) | 199 |
| 3.3.11.2.2 | Schwebekörper-Durchflussmesser mit geführtem Schwebekörper (H-Geräte)                          | 199 |
| 3.3.12     | Magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte ( <i>L. Schultheis</i> )                             | 201 |
| 3.3.13     | Wirbelfrequenz-Durchflussgerät Prowirl 77 ( <i>F. Ohle</i> )                                   | 204 |
| 3.3.14     | Ultraschall-Durchflussmessgeräte ( <i>A. Boer</i> )  | 207 |
| 3.3.15     | Durchflussmessgeräte nach dem Coriolis-Prinzip ( <i>W. Drahm</i> )                             | 210 |
| 3.3.16     | Coriolis-Durchflussregler in Kompaktbauweise (Reihe Cori-Flow)                                 | 212 |
| 3.3.17     | Durchflussmessgeräte auf thermischer Grundlage ( <i>H. J. Boer, P. Wagner</i> )                | 212 |
| 3.3.18     | Strömungsgeschwindigkeitsmessgerät nach dem LDA-Verfahren ( <i>R. Schledde</i> )               | 216 |
| 3.3.19     | Strömungsgeschwindigkeitsmessgerät nach dem PIV-Verfahren ( <i>R. Schledde</i> )               | 217 |
| 3.4        | Füllstand und Grenzstand ( <i>K. W. Bonfig</i> )   | 217 |
| 3.4.1      | Verfahren mit Schwimmern und Tastplatten   | 217 |
| 3.4.2      | Kapazitive und konduktive Füllstandsmessung  | 219 |
| 3.4.3      | Füllstandsmessung mit thermischen Verfahren  | 220 |
| 3.4.4      | Füllstandsmessung mit radiometrischen Verfahren  | 220 |
| 3.4.5      | Füllstandsmessung mit Schall und Ultraschall   | 221 |
| 3.4.6      | Füllstandsmessung mit optischen Verfahren  | 222 |
| 3.4.7      | Füllstandsmessung mit Mikrowellen nach dem Radar-Prinzip                                       | 222 |
| 3.4.8      | Füllstandsmessung über Kraft- und Druckmessungen   | 223 |
| 3.4.9      | Weitere Methoden zur Grenzstandsüberwachung und zur Füllstandsmessung                          | 223 |
| 3.4.10     | Schwimmer-Füllstandserfassung ( <i>L. Klemmt, K. Soppelsa</i> )                                | 224 |
| 3.4.11     | Kapazitive und konduktive Füllstandsmessgeräte ( <i>M. Krause</i> )                            | 227 |
| 3.4.11.1   | Kapazitive Füllstandsmessgeräte  | 227 |
| 3.4.11.1.1 | Typische Anwendungsgebiete   | 227 |
| 3.4.11.1.2 | Segmentierung  | 228 |
| 3.4.11.1.3 | Einbauempfehlungen für kapazitive Sonden   | 229 |
| 3.4.11.2   | Konduktive Füllstandsmessgeräte  | 229 |
| 3.4.11.2.1 | Typische Anwendungen   | 229 |
| 3.4.11.2.2 | Sondentypen  | 229 |
| 3.4.11.2.3 | Einbauempfehlungen für konduktive Sonden   | 229 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 3.4.12   | ■ Schall- und Ultraschall-Füllstandsmessgeräte ( <i>W. Schrank</i> )                | 230 |
| 3.4.12.1 | ■ Ultraschall-Füllstandsmessgeräte der Familie Prosonic                             | 230 |
| 3.4.12.2 | ■ Prosonic-S-Messlinie  | 230 |
| 3.4.12.3 | ■ Prosonic-M-Messlinie  | 231 |
| 3.4.13   | ■ Mikrowellen-Füllstandsmessgeräte ( <i>A. Mayr</i> )                               | 231 |
| 3.4.13.1 | ■ Füllstand-Radar Micropilot M  | 231 |
| 3.4.13.2 | ■ Segmentierung   | 232 |
| 3.4.13.3 | ■ Füllstand-Radar Micropilot M mit Stabantenne: FMR231                              | 233 |
| 3.4.13.4 | ■ Füllstand-Radar Micropilot M mit Hornantenne: FMR230                              | 234 |
| 3.4.13.5 | ■ Füllstand-Radar Micropilot M mit Hornantenne: FMR240                              | 234 |
| 3.4.13.6 | ■ Füllstand-Radar Micropilot M mit gekapselter Hornantenne:<br>FMR244               | 234 |
| 3.4.13.7 | ■ Füllstand-Radar Micropilot M mit frontbündiger Antenne: FMR245                    | 235 |
| 3.4.13.8 | ■ Füllstand-Radar Micropilot M für Schüttgüter: FMR250                              | 235 |
| 3.4.13.9 | ■ Generelle technische Daten für Micropilot M                                       | 235 |
| 3.4.14   | ■ Druck-Füllstandsmessgeräte LMP/LMK ( <i>H. Lamprecht</i> )                        | 236 |
| 3.4.14.1 | ■ Einschraubsonde LMP 331   | 236 |
| 3.4.14.2 | ■ Einschraubsonden LMK 351/LMK 361  | 237 |
| 3.4.14.3 | ■ Tauchsonde LMP 308  | 237 |
| 3.4.14.4 | ■ Tauchsonden LMK 358/LMK 858   | 237 |
| 3.5      | Dichte ( <i>K. W. Bonfig</i> )  | 238 |
| 3.5.1    | Dichtemessung fester Stoffe   | 239 |
| 3.5.1.1  | ■ Wägemethoden  | 239 |
| 3.5.1.2  | ■ Auftriebsmethoden   | 239 |
| 3.5.2    | Dichtemessung von Flüssigkeiten   | 239 |
| 3.5.2.1  | ■ Wägemethoden, kontinuierlich und diskontinuierlich                                | 239 |
| 3.5.2.2  | ■ Auftriebsmethoden, kontinuierlich und diskontinuierlich                           | 240 |
| 3.5.2.3  | ■ Hydrostatische Dichtemessmethoden   | 241 |
| 3.5.2.4  | ■ Radiometrische Dichtemessmethoden   | 242 |
| 3.5.2.5  | ■ Resonanz- bzw. Schwingungsdichtemessmethoden                                      | 242 |
| 3.5.2.6  | ■ Spezielle Verfahren für die Dichtemessung   | 242 |
| 3.5.3    | Dichtemessung von Gasen   | 242 |
| 3.5.3.1  | ■ Wäge- und Auftriebsmethoden zur Gasdichtemessung                                  | 243 |
| 3.5.3.2  | ■ Ausström- und Schleuderverfahren für die Gasdichtemessung                         | 243 |
| 3.5.3.3  | ■ Schwingungsmethoden für die Gasdichtemessung                                      | 244 |
| 3.5.4    | ■ Dichtemessgeräte für Flüssigkeiten ( <i>U. Schank</i> )                           | 244 |
| 3.5.5    | ■ Konzentrationsmessgeräte mithilfe von Dichte und Ultraschall ( <i>U. Schank</i> ) | 248 |
| 3.5.6    | ■ Dichtemessgeräte für Gase ( <i>U. Schank</i> )                                    | 249 |
| 3.6      | Viskosität ( <i>K. W. Bonfig</i> )  | 251 |
| 3.6.1    | ■ Abhängigkeit der Viskosität von verschiedenen Einflussgrößen                      | 252 |
| 3.6.2    | ■ Kapillarviskosimeter  | 252 |
| 3.6.3    | ■ Rotationsviskosimeter   | 253 |
| 3.6.4    | ■ Verschiebung zweier konzentrischer Zylinder                                       | 253 |
| 3.6.5    | ■ Kugelfallviskosimeter   | 253 |
| 3.6.6    | ■ Schwebekörperviskosimeter   | 253 |
| 3.6.7    | ■ Schwingungviskosimeter  | 253 |
| 3.6.8    | ■ Kapillarviskosimeter ( <i>A. Müller</i> )   | 253 |
| 3.6.9    | ■ Rotationsviskosimeter ( <i>A. Müller</i> )  | 256 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| 3.7       | Oberflächenspannung ( <i>J. Hoffmann</i> )   | 258 |
| 3.7.1     | Ringaufnehmer  | 258 |
| 3.7.2     | Plattenaufnehmer   | 259 |
| 3.7.3     | Tensiometer Sigma 700/701 ( <i>T. Wagner, J. Weiss</i> )                               | 259 |
| 3.7.4     | Tropfenvolumen- und Blasendruck-Tensiometer ( <i>A. Hofmann</i> )                      | 260 |
| 3.8       | Messen mechanischer und geometrischer Größen ( <i>J. Hoffmann, W. Richter</i> )        | 262 |
| 3.8.1     | Messen von Längen und Winkeln  | 262 |
| 3.8.1.1   | Mechanische Verfahren  | 262 |
| 3.8.1.2   | Induktive und kapazitive Verfahren   | 262 |
| 3.8.1.3   | Optische Verfahren   | 264 |
| 3.8.1.4   | Ultraschallverfahren   | 266 |
| 3.8.1.5   | Winkelbestimmung   | 266 |
| 3.8.1.6   | Handmessmittel ( <i>D. Winterling</i> )  | 267 |
| 3.8.1.6.1 | Digitale Messschieber 16 EW  | 267 |
| 3.8.1.6.2 | Digitale Bügelmessschraube 40 EW   | 267 |
| 3.8.1.6.3 | Mechanische Feinzeiger Millimes  | 268 |
| 3.8.1.6.4 | Digitale Messuhren MarCator 1086, Ziffernschrittwert 0,01 mm                           | 269 |
| 3.8.1.7   | Universelles Form- und Verzahnungsmessgerät PRIMAR MX 4<br>( <i>R. Bartelt</i> )       | 270 |
| 3.8.1.8   | Längenmess-Interferometer Serie ZMI ( <i>A. Köhler</i> )                               | 272 |
| 3.8.2     | Positionsbestimmung ( <i>J. Hoffmann, W. Richter</i> )                                 | 273 |
| 3.8.2.1   | Optische Verfahren   | 273 |
| 3.8.2.2   | Nichtoptische Verfahren  | 274 |
| 3.8.3     | Messen von Dehnungen und daraus abgeleiteten Größen ( <i>J. Hoffmann, W. Richter</i> ) | 275 |
| 3.8.3.1   | Metall-Dehnmessstreifen  | 276 |
| 3.8.3.2   | Halbleiter-Dehnmessstreifen  | 277 |
| 3.8.3.3   | Anordnungen von Dehnmessstreifen   | 277 |
| 3.8.3.4   | Dehnmessstreifen ( <i>H. Neumann</i> )   | 278 |
| 3.8.3.4.1 | Dehnmessstreifen FAE-Serie   | 278 |
| 3.8.3.4.2 | Dehnmessstreifen FSE-Serie   | 279 |
| 3.8.3.4.3 | Dehnmessstreifen FSM-Serie   | 279 |
| 3.8.3.4.4 | Halbleiter-Dehnmessstreifen SNB- und SP-Serie  | 280 |
| 3.8.4     | Messen von Kräften ( <i>J. Hoffmann, W. Richter</i> )                                  | 280 |
| 3.8.4.1   | Kraftaufnehmer ( <i>J. Müter, L. Stenner</i> )   | 282 |
| 3.8.5     | Beschleunigungs- und Schwingungsmessung ( <i>J. Hoffmann, W. Richter</i> )             | 285 |
| 3.8.5.1   | Vibrationsaufnehmer ( <i>W. Dittmar, M. Vieten</i> )                                   | 287 |
| 3.8.5.1.1 | Vibrationsaufnehmer zur Maschinenüberwachung   | 287 |
| 3.8.5.1.2 | Vibrationsaufnehmer mit (4...20 mA)-Ausgang  | 287 |
| 3.8.5.1.3 | Vibrationsaufnehmer mit zentrischer Bohrung  | 288 |
| 3.8.5.1.4 | Vibrationsaufnehmer in Miniaturlausführung   | 288 |
| 3.8.5.1.5 | Vibrationsaufnehmer für extreme Temperaturen   | 288 |
| 3.8.5.1.6 | Vibrationsaufnehmer für den Unterwassereinsatz   | 289 |
| 3.8.5.1.7 | Vibrationsaufnehmer für triaxiale Messungen  | 289 |
| 3.8.5.1.8 | 16-Kanal-Versorgungseinheit, Serie 481   | 290 |
| 3.8.5.2   | LDA-Geschwindigkeitsmessgeräte für feste Oberflächen<br>( <i>H. Selbach</i> )          | 290 |
| 3.8.6     | Messung der Masse ( <i>J. Hoffmann, W. Richter</i> )                                   | 292 |
| 3.8.6.1   | BaufORMen elektronischer Waagen ( <i>C. Berg</i> )                                     | 293 |
| 3.8.6.1.1 | Plattformwaagen  | 293 |
| 3.8.6.1.2 | Ladentischwaagen   | 294 |



|            |  |     |
|------------|--|-----|
| 3.8.6.1.3  | Präzisionswaagen   | 294 |
| 3.8.6.1.4  | Analysen- und Mikrowaagen  | 295 |
| 3.8.6.1.5  | Massekomparatoren  | 295 |
| 3.8.6.2    | Häufige elektronische Zusatzfunktionen an Waagen ( <i>C. Berg</i> )                            | 296 |
| 3.8.6.3    | Aufstell- und Umgebungsbedingungen für Waagen ( <i>C. Berg</i> )                               | 296 |
| 3.8.6.4    | Eichvorschriften für Waagen ( <i>C. Berg</i> )   | 297 |
| 3.8.7      | Drehmomentmessung ( <i>J. Hoffmann, W. Richter</i> )   | 297 |
| 3.8.7.1    | Drehmomentmesseinrichtungen ( <i>H. Schwegler</i> )  | 298 |
| 3.8.7.1.1  | Drehmomentsensoren   | 298 |
| 3.8.7.1.2  | Grundformen der Messkörper   | 298 |
| 3.8.7.1.3  | Bauformen statischer DMS-Drehmomentsensoren  | 299 |
| 3.8.7.1.4  | Bauformen rotierender DMS-Drehmomentsensoren   | 299 |
| 3.8.7.1.5  | Mechanische Ankopplung von Drehmomentsensoren mittels Kupplungen                               | 299 |
| 3.8.7.1.6  | Ausgleichsverhalten von Kupplungen   | 300 |
| 3.8.7.1.7  | Eigenresonanz einer Messstrecke  | 300 |
| 3.8.7.1.8  | Messbereichsauslegung  | 300 |
| 3.8.7.1.9  | Elektrische Daten  | 300 |
| 3.8.7.1.10 | Elektrische Übertragungssysteme Rotor–Stator   | 300 |
| 3.8.8      | Messen von Oberflächeneigenschaften fester Stoffe ( <i>J. Hoffmann, W. Richter</i> )           | 301 |
| 3.8.8.1    | Bestimmung von Gestaltabweichungen   | 301 |
| 3.8.8.2    | Bestimmung der Härte   | 302 |
| 3.8.8.3    | Bestimmung der Schichtdicke  | 303 |
| 3.8.8.4    | Rauheitsmessgeräte   | 303 |
| 3.8.8.4.1  | Mechanische Rauheitsmessgeräte ( <i>H. Reich</i> )   | 303 |
| 3.8.8.4.2  | Weißlichtinterferenzmikroskop NewView ( <i>P. Kuschnir</i> )                                   | 307 |
| 3.8.8.5    | Härtemessgeräte  | 308 |
| 3.8.8.5.1  | Härtemessgerät für Metalle UH250 ( <i>T. Bitterling</i> )                                      | 308 |
| 3.8.8.5.2  | Härtemessgeräte für Elastomere und Kunststoffe ( <i>R. Sautter</i> )                           | 310 |
| 3.8.8.6    | Schichtdickenmessgeräte  | 312 |
| 3.8.8.6.1  | Elektromagnetische Schichtdickenmessgeräte ( <i>U. Zahl</i> )                                  | 312 |
| 3.8.8.6.2  | Röntgenfluoreszenz-Schichtdickenmessgeräte ComPact 5, maXXi 5 ( <i>A. Wittkopp, F. Seitz</i> ) | 315 |
| 3.9        | Zeitmessung ( <i>H. Kopp</i> )   | 316 |
| 3.9.1      | Zeitskalen   | 316 |
| 3.9.2      | Zeitbasen  | 316 |
| 3.9.2.1    | RC-Schaltungen   | 317 |
| 3.9.2.2    | Kondensator-Konstantstromladung  | 317 |
| 3.9.2.3    | LC-Oszillatoren  | 318 |
| 3.9.2.4    | Quarzoszillatoren  | 318 |
| 3.9.3      | Zeitsignale von Funksendern  | 318 |
| 3.9.3.1    | DCF77  | 318 |
| 3.9.3.2    | GPS  | 319 |
| 3.10       | Frequenzmessung ( <i>H. Kopp</i> )   | 319 |
| 3.10.1     | Bestimmung der Frequenz  | 319 |
| 3.10.2     | Rückführung der Frequenz- auf die Zeitmessungen  | 319 |
| 3.10.3     | Frequenzteiler, Frequenzvervielfachung   | 319 |
| 3.10.4     | Sechsstelliger Dual-Frequenzzähler OC7166 ( <i>J. Zrust</i> )                                  | 320 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| 3.11        | Drehzahl- und Winkellageerfassung ( <i>H. Kopp</i> )                                   | 321 |
| 3.11.1      | Optische Signalgeber   | 321 |
| 3.11.2      | Induktive Signalgeber  | 322 |
| 3.11.3      | Feldplatten- und Hall-Geber  | 322 |
| 3.11.4      | Tachogenerator   | 323 |
| 3.11.5      | Stroboskop   | 323 |
| 3.11.6      | Sechsstelliger Quadraturzähler INF8-C ( <i>J. Zrust</i> )                              | 323 |
| 3.11.7      | Sechsstelliger Multizähler OC 7111 ( <i>J. Zrust</i> )                                 | 324 |
| 3.12        | Konzentrations- und Analysenmesstechnik ( <i>J. Hoffmann</i> )                         | 325 |
| 3.12.1      | Wichtige Grundprinzipien   | 325 |
| 3.12.1.1    | Prinzip der Absorption   | 326 |
| 3.12.1.2    | Prinzip der Reflexion  | 327 |
| 3.12.1.3    | Prinzip der Emission   | 327 |
| 3.12.1.4    | Prinzip der Chromatographie  | 327 |
| 3.12.2      | Gas- und Flüssigkeitschromatographie   | 328 |
| 3.12.2.1    | Gaschromatographen   | 329 |
| 3.12.2.1.1  | Laborgaschromatograph ( <i>C. Mladek</i> )   | 329 |
| 3.12.2.1.2  | Prozessgas-Chromatographen PGC2000 ( <i>T. Weyrauch</i> )                              | 332 |
| 3.12.2.2    | Flüssigkeitschromatograph ( <i>C. Mladek</i> )   | 332 |
| 3.12.3      | Massenspektroskopie ( <i>J. Hoffmann</i> )   | 335 |
| 3.12.3.1    | Massenspektrometer ( <i>C. Mladek</i> )  | 336 |
| 3.12.4      | NMR-Spektroskopie ( <i>J. Hoffmann</i> )   | 338 |
| 3.12.4.1    | Digitales Fourier-Transform-Kernresonanz Spektrometer AVANCE<br>( <i>G. J. Wolff</i> ) | 339 |
| 3.12.5      | Röntgenfluoreszenzanalyse ( <i>J. Hoffmann</i> )                                       | 340 |
| 3.12.5.1    | Röntgenfluoreszenzspektrometer ( <i>M. Haschke</i> )                                   | 342 |
| 3.12.5.1.1  | Tischspektrometer  | 342 |
| 3.12.5.1.2  | Laborspektrometer  | 343 |
| 3.12.5.1.3  | Mikro-Fluoreszenz-Spektrometer   | 344 |
| 3.12.5.1.4  | Wellenlängendispersive Spektrometer  | 344 |
| 3.12.6      | Optische Analyseverfahren ( <i>J. Hoffmann</i> )                                       | 345 |
| 3.12.6.1    | UV/VIS-Spektroskopie   | 345 |
| 3.12.6.2    | Flammenspektroskopie / AAS, AES  | 345 |
| 3.12.6.3    | Funken-/Bogenspektroskopie   | 346 |
| 3.12.6.4    | Fluoreszenzspektroskopie   | 346 |
| 3.12.6.5    | Infrarot- und Raman-Spektroskopie  | 347 |
| 3.12.6.6    | Refraktometrie   | 349 |
| 3.12.6.7    | Polarimetrie   | 351 |
| 3.12.6.8    | Optische Spektroskope  | 351 |
| 3.12.6.8.1  | UV/VIS-Spektralfotometer Unicam UV1 und UV500 ( <i>C. Deusen</i> )                     | 351 |
| 3.12.6.8.2  | AAS Unicam SOLAAR 969, 969 Z, 989 und 989 QZ ( <i>C. Deusen</i> )                      | 352 |
| 3.12.6.8.3  | Sequenzielles AES-ICP-Spektrometer Atomscan Advantage<br>( <i>C. Deusen</i> )          | 353 |
| 3.12.6.8.4  | Simultanes AES-ICP-Spektrometer IRIS Advantage ( <i>C. Deusen</i> )                    | 354 |
| 3.12.6.8.5  | FTIR-Spektrometer Avatar 360 E.S.P. <sup>TM</sup> ( <i>C. Deusen</i> )                 | 354 |
| 3.12.6.8.6  | FTIR-Spektrometer Protege <sup>TM</sup> 460 E.S.P und 460 N ( <i>C. Deusen</i> )       | 355 |
| 3.12.6.8.7  | FTIR-Spektrometer Magna-IR <sup>®</sup> 560/760 E.S.P. ( <i>C. Deusen</i> )            | 355 |
| 3.12.6.8.8  | FTIR-Spektrometer Magna-IR <sup>®</sup> 860 E.S.P. <sup>TM</sup> ( <i>C. Deusen</i> )  | 356 |
| 3.12.6.8.9  | Nic-Plan-Infrarot-Mikroskop ( <i>C. Deusen</i> )                                       | 357 |
| 3.12.6.8.10 | FT-Raman-Modul ( <i>C. Deusen</i> )  | 357 |

|              |  |     |
|--------------|--|-----|
| 3.12.6.8.11  | FT-Raman-Spektrometer 960 E.S.P. <sup>TM</sup> (C. Deusen)                       | 358 |
| 3.12.6.8.12  | Modulare Vielkanalspektrometer (J. Schlütter)                                    | 358 |
| 3.12.6.8.13  | NDIR-Infrarot-Analysatormodul Uras26 (T. Weyrauch)                               | 360 |
| 3.12.6.9     | Polarimeter POL S-2 (T. Wagner)  | 361 |
| 3.12.7       | Kalorimetrie (J. Hoffmann)   | 362 |
| 3.12.7.1     | Diskontinuierliches Kalorimeter (H. Pinhack)                                     | 363 |
| 3.12.7.2     | Kontinuierliches Kalorimeter (T. Haug)   | 367 |
| 3.12.8       | Wärmeleitfähigkeitsmessung zur Gaskonzentrationsbestimmung (J. Hoffmann)         | 368 |
| 3.12.8.1     | Geräte zur Gaskonzentrationsbestimmung über die Wärmeleitfähigkeit (T. Weyrauch) | 368 |
| 3.12.8.1.1   | Wärmeleit-Analysatormodul Caldos25   | 368 |
| 3.12.8.1.2   | Wärmeleit-Analysatormodul Caldos27   | 369 |
| 3.12.9       | Wärmetönungsmessung (J. Hoffmann)  | 370 |
| 3.12.10      | Flammenionisationsmessung (J. Hoffmann)  | 370 |
| 3.12.10.1    | FID-Analysatormodul MultiFID14 (T. Weyrauch)                                     | 371 |
| 3.12.11      | Sauerstoffmessung (J. Hoffmann)  | 372 |
| 3.12.11.1    | Ringkammersauerstoffsensoren   | 372 |
| 3.12.11.2    | Hitzdrahtsauerstoffsensoren  | 372 |
| 3.12.11.3    | Magnetomechanische Geräte  | 373 |
| 3.12.11.4    | Magnetopneumatische Geräte   | 373 |
| 3.12.11.5    | Festkörper-Sauerstoffsensoren  | 374 |
| 3.12.11.6    | Sauerstoffmessgeräte (T. Weyrauch)   | 374 |
| 3.12.11.6.1  | Sauerstoff-Analysatormodul Magnos206   | 374 |
| 3.12.11.6.2  | Sauerstoff-Analysatormodul Magnos27  | 375 |
| 3.12.11.6.3  | Sauerstoffspuren-Analysatorenmodul ZO23  | 376 |
| 3.12.12      | Feuchtemessung (J. Hoffmann)   | 377 |
| 3.12.12.1    | Aspirationshygrometer  | 377 |
| 3.12.12.2    | LiCl-Hygrometer  | 378 |
| 3.12.12.3    | Elektrolysehygrometer  | 378 |
| 3.12.12.4    | Tauspiegelhygrometer   | 379 |
| 3.12.12.5    | Kapazitive Feuchtesensoren   | 379 |
| 3.12.12.6    | Haarhygrometer   | 380 |
| 3.12.12.7    | Bistreifenhygrometer   | 380 |
| 3.12.12.8    | Neutronen-Feuchtesensoren  | 380 |
| 3.12.12.9    | Weitere Feuchtesensoren  | 381 |
| 3.12.12.10   | Messgeräte für Feuchte und Taupunkt (R. Kolass)                                  | 381 |
| 3.12.12.10.1 | Tauspiegelhygrometer DEWMET SD, DEWMET TD und DEWMET TDH                         | 381 |
| 3.12.12.10.2 | Präzisions-Tauspiegelhygrometer S4000, S4020, S4000RS und S4000TRS               | 383 |
| 3.12.12.10.3 | Kapazitive Feuchtesensoren vom Typ Ceramic Moisture Sensor                       | 385 |
| 3.12.13      | Konduktometrie (J. Hoffmann)   | 387 |
| 3.12.13.1    | Leitfähigkeitshandmessgerät GMH3430 (A. Hinreiner)                               | 388 |
| 3.12.14      | Potentiometrie (J. Hoffmann)   | 390 |
| 3.12.14.1    | pH-Wert-Sensoren   | 390 |
| 3.12.14.2    | Ionenselektive Sensoren  | 391 |
| 3.12.14.3    | Redoxpotenzialsensoren   | 391 |
| 3.12.14.4    | pH-/Redox-/mV-/Temperaturmessgerät GMH 3530 (K. Zielinski)                       | 392 |
| 3.12.15      | Elektrodenkinetische Messverfahren (J. Hoffmann)                                 | 394 |
| 3.12.15.1    | Elektrochemische Analysengeräte (U. Loyall)                                      | 395 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| 3.12.16     | Partikelmesstechnik ( <i>J. Hoffmann</i> )   | 397 |
| 3.12.16.1   | Mechanische Verfahren ( <i>J. Hoffmann</i> )   | 398 |
| 3.12.16.1.1 | ■ Siebe und Siebmaschinen ( <i>W. Mutter</i> )   | 399 |
| 3.12.16.2   | Optische Verfahren ( <i>J. Hoffmann</i> )  | 402 |
| 3.12.16.2.1 | ■ Bildanalyse-System CAMSIZER® ( <i>J. Pankratz</i> )  | 406 |
| 3.12.16.2.2 | ■ Extinktions- und Trübungsmessgeräte ( <i>P. Seefeld</i> )                                  | 407 |
| 3.12.16.2.3 | ■ Streulicht/Beugungsspektrometer Coulter LS 13320 ( <i>T. Schoofs</i> )                     | 409 |
| 3.12.16.2.4 | ■ Flugzeit-Korngrößenspektrometer AeroSizer/AeroDisperser<br>( <i>R. Köhler</i> )            | 410 |
| 3.12.16.2.5 | ■ Phasen-Doppler-Partikelgrößen- und -geschwindigkeitsmessgerät<br>( <i>M. Stieglmeier</i> ) | 410 |
| 3.12.16.2.6 | ■ Photonenkorrelationsspektrometer Coulter N5 ( <i>T. Schoofs</i> )                          | 412 |
| 3.12.16.3   | Sedimentationsverfahren ( <i>J. Hoffmann</i> )   | 412 |
| 3.12.16.3.1 | ■ Sedimentationsmessgerät LUMOSSED ( <i>H. Pitsch</i> )                                      | 414 |
| 3.12.16.4   | Feldstörungsverfahren ( <i>J. Hoffmann</i> )   | 415 |
| 3.12.16.4.1 | ■ Coulter-Counter Multisizer 3 ( <i>T. Schoofs</i> )   | 415 |
| 3.12.16.5   | Akustische Verfahren ( <i>J. Hoffmann</i> )  | 416 |
| 3.12.16.5.1 | ■ Ultraschallspektrometer OPUS/F ( <i>S. Röthele, W. Witt</i> )                              | 416 |
| 3.12.16.6   | Oberflächenbestimmungsverfahren ( <i>J. Hoffmann</i> )                                       | 417 |
| 3.12.16.6.1 | ■ BET-Oberflächenbestimmungsgerät Coulter SA 3100 ( <i>T. Schoofs</i> )                      | 417 |
| 3.12.17     | Probennahme und Probenteilung ( <i>J. Hoffmann</i> )   | 418 |
| 3.12.17.1   | ■ Einrichtungen zur Probenteilung ( <i>H. Pitsch</i> )                                       | 419 |
| 3.12.17.1.1 | ■ Riffelteiler RT  | 419 |
| 3.12.17.1.2 | ■ Labordrehrohrteiler PK1000   | 419 |
| 3.12.17.1.3 | ■ Laborprobenteiler PT100  | 420 |
| 3.12.17.2   | ■ Einrichtungen zur Probenzuführung ( <i>S. Röthele, W. Witt</i> )                           | 421 |
| 3.12.17.2.1 | ■ Nassdispergiergerät QUIXEL   | 421 |
| 3.12.17.2.2 | ■ Trockendispergiergerät RODOS   | 421 |
| 3.12.17.3   | ■ TWISTER-in-line Probennahme ( <i>S. Röthele, W. Witt</i> )                                 | 422 |
| 3.13        | Messung ionisierender Strahlung ( <i>E. Schrüfer</i> )                                       | 422 |
| 3.13.1      | Größen und Einheiten   | 422 |
| 3.13.2      | Detektoren für $\gamma$ -Strahlung   | 423 |
| 3.13.2.1    | ■ Ionisationskammer  | 423 |
| 3.13.2.2    | ■ Auslösezählrohr  | 424 |
| 3.13.2.3    | ■ Szintillationszähler   | 424 |
| 3.13.2.4    | ■ Halbleiter-Strahlungsdetektor  | 425 |
| 3.13.2.5    | ■ Impulshöhenanalyse   | 425 |
| 3.13.3      | Detektoren für $\beta$ -Strahlung  | 425 |
| 3.13.4      | Detektoren für $\alpha$ -Strahlung   | 426 |
| 3.13.5      | Neutronenflussmessung  | 426 |
| 3.13.5.1    | ■ BF <sub>3</sub> -Zählrohr  | 426 |
| 3.13.5.2    | ■ Borbelegte Ionisationskammer   | 426 |
| 3.13.5.3    | ■ Spaltkammer  | 427 |
| 3.13.5.4    | ■ Neutronen-Beta-Detektoren  | 427 |
| 3.13.6      | Dosismessung   | 428 |
| 3.13.7      | Integriertes Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität           | 429 |
| 3.13.8      | ■ Messgeräte für ionisierende Strahlung ( <i>W. Bucher</i> )                                 | 429 |
| 3.13.8.1    | ■ Ionisationskammer KG 220 EEM   | 429 |
| 3.13.8.2    | ■ Neutronen-Ionisationskammern KNK 50 und KNU 50   | 429 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| 3.13.8.3   | Szintillationsmesskopf für $\beta$ -Strahlung SB 40                               | 430 |
| 3.13.8.4   | Szintillationsmesskopf für $\gamma$ -Strahlung SG 65M                             | 431 |
| 3.13.8.5   | Zählrohrdetektor ZG 50  | 431 |
| 3.13.8.6   | Aerosol-Monitor AD 24   | 432 |
| 3.13.8.7   | Digitale Signalverarbeitung für die Kernstrahlungsmesstechnik,<br>System TK 250   | 432 |
| 3.14       | Messung optischer Größen ( <i>H. Kopp</i> )                                       | 433 |
| 3.14.1     | Strahlungsphysikalisches und lichttechnisches Maßsystem                           | 434 |
| 3.14.2     | Empfänger zur Messung optischer Strahlung   | 434 |
| 3.14.2.1   | Fotowiderstände   | 434 |
| 3.14.2.2   | Fotodioden  | 436 |
| 3.14.2.3   | Fototransistoren  | 438 |
| 3.14.2.4   | Sekundärelektronenvervielfacher (SEV) und Kanalelektronenver-<br>vielfacher (KEV) | 438 |
| 3.14.2.5   | Charge Coupled Device (CCD)   | 439 |
| 3.14.2.6   | Lateraleffektdioden   | 439 |
| 3.14.2.7   | Breitbandige Strahlungsempfänger  | 439 |
| 3.14.2.8   | UV-Sensoren   | 440 |
| 3.14.3     | Besonderheiten von Empfängern für Lichtmessungen                                  | 440 |
| 3.14.3.1   | $V(\lambda)$ -Anpassung   | 440 |
| 3.14.3.2   | Kosinusanpassung  | 441 |
| 3.14.4     | Messung lichttechnischer Größen   | 441 |
| 3.14.4.1   | Verfahren der Lichtschwächung   | 441 |
| 3.14.4.2   | Beleuchtungsstärke  | 442 |
| 3.14.4.3   | Leuchtdichte  | 443 |
| 3.14.4.4   | Lichtstrom  | 443 |
| 3.14.4.5   | Lichtstärke   | 444 |
| 3.14.4.6   | Lichtstärkeverteilung   | 445 |
| 3.14.4.7   | Farbmessungen   | 445 |
| 3.14.4.8   | Lichttechnische Stoffkennzahlen   | 446 |
| 3.14.5     | Fotometrische Normale   | 447 |
| 3.14.5.1   | Fotometrische Strahlungsnormale   | 447 |
| 3.14.5.2   | Fotometrische Empfängernormale  | 447 |
| 3.14.5.3   | Fotometrische Reflexionsnormale   | 447 |
| 3.14.5.4   | Normlichtarten  | 447 |
| 3.14.6     | Messgeräte für optische Größen ( <i>Z. Özver-Krochmann, T. Q. Khanh</i> )         | 447 |
| 3.14.6.1   | LUXMETER/RADIOMETER   | 447 |
| 3.14.6.1.1 | RadioLux 111  | 447 |
| 3.14.6.1.2 | Fotometer-Radiometer 211  | 449 |
| 3.14.6.2   | Kugelfotometer  | 449 |
| 3.14.6.2.1 | Geometrie   | 449 |
| 3.14.6.2.2 | Hilfslampe  | 449 |
| 3.14.6.2.3 | Kugelbeschichtung   | 450 |
| 3.14.6.2.4 | Kugelgrößen und Konstruktion  | 450 |
| 3.14.6.2.5 | Fotometerköpfe  | 451 |
| 3.14.6.2.6 | Spektralanpassung   | 451 |
| 3.14.6.2.7 | Räumliche Bewertung   | 451 |
| 3.14.6.2.8 | Thermostatisierung  | 451 |
| 3.14.6.2.9 | Farbmessungen   | 451 |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 3.14.6.3   | Goniofotometer  | 451        |
| 3.14.6.3.1 | Leuchtenwender  | 451        |
| 3.14.6.3.2 | Drehspiegel-Goniofotometer  | 455        |
| 3.14.6.4   | Reflexions- und Transmissions-Messgerät                                 | 456        |
| 3.14.6.4.1 | Messgrößen  | 456        |
| 3.14.6.4.2 | Systemkomponenten   | 456        |
| 3.14.6.4.3 | Ulbricht'sche Kugel   | 456        |
| 3.14.6.4.4 | Die Beleuchtungseinrichtung   | 458        |
| 3.14.6.4.5 | Beleuchtungseinrichtung für diffusen Lichteinfall mit Normlichtart A    | 458        |
| 3.15       | Messung akustischer Größen ( <i>G. Fuder</i> )                          | 459        |
| 3.15.1     | Schalldruckpegel  | 459        |
| 3.15.1.1   | Bewertete Schalldruckpegel  | 460        |
| 3.15.1.2   | Maximalwerte des Schalldruckpegels                                      | 461        |
| 3.15.1.3   | Addition von Schalldruckpegeln  | 461        |
| 3.15.1.4   | Mittelwerte des Schalldruckpegels                                       | 462        |
| 3.15.2     | Geräte zur Messung von Schalldruckpegeln                                | 462        |
| 3.15.3     | Beurteilung praktischer Schallsituationen                               | 463        |
| 3.15.4     | Lautstärkepegel und Lautheit  | 464        |
| 3.15.4.1   | Ermittlung des Lautstärkepegels durch Hörvergleich                      | 464        |
| 3.15.4.2   | Lautheit  | 466        |
| 3.15.4.3   | Berechnung von Lautstärkepegel und Lautheit                             | 466        |
| 3.15.4.4   | Vergleich der Kenngrößen Schalldruckpegel, Lautstärkepegel und Lautheit | 467        |
| 3.15.5     | Schalleistungspegel   | 467        |
| 3.15.6     | Direkte Messung der Schallintensität                                    | 469        |
| 3.15.7     | Akustische Nahfeldholografie  | 470        |
| 3.15.8     | Messgeräte für akustische Größen ( <i>J. Schmitz</i> )                  | 470        |
| 3.15.8.1   | Mikrofone   | 471        |
| 3.15.8.2   | Kalibriergeräte   | 472        |
| 3.15.8.3   | Handhaltbare, batteriebetriebene Schallpegelmesser                      | 473        |
| 3.15.8.4   | Messsysteme für Mehrkanalmessungen                                      | 475        |
| 3.15.8.5   | Messsysteme für Schallfelduntersuchungen (Mikrofon-Array-techniken)     | 479        |
| 3.15.8.6   | Lautstärkemessungen   | 481        |
| <b>4</b>   | <b>Messelektronik</b>   | <b>483</b> |
| 4.1        | Analoge Messelektronik ( <i>C. Lehmann</i> )                            | 483        |
| 4.1.1      | Prinzipien der analogen Messwertverarbeitung                            | 483        |
| 4.1.1.1    | Strukturen und Komponenten von Messeinrichtungen                        | 483        |
| 4.1.1.2    | Prinzip der Rückkopplung  | 484        |
| 4.1.1.3    | Varianten der elektrischen Anpassung                                    | 485        |
| 4.1.2      | Systemkomponenten analoger Messgeräte                                   | 487        |
| 4.1.2.1    | Tastköpfe   | 487        |
| 4.1.2.2    | Sensoren in Brückenschaltungen  | 488        |
| 4.1.2.3    | Messverstärker  | 490        |
| 4.1.2.4    | Analoge Rechenschaltungen   | 499        |
| 4.1.2.5    | Hilfsschaltungen für Messwandler  | 503        |
| 4.1.2.6    | Analoge elektronische Schalter  | 507        |
| 4.1.2.7    | Filter  | 509        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.2      | Digitale Messelektronik ( <i>K. Urbanski</i> )     | 512        |
| 4.2.1    | Grundlagen der Digitaltechnik                      | 512        |
| 4.2.1.1  | Zuordnungssysteme                                  | 513        |
| 4.2.1.2  | Boole'sche Algebra                                 | 514        |
| 4.2.1.3  | Logische Grundverknüpfungen                        | 516        |
| 4.2.1.4  | Minimieren von Schaltfunktionen                    | 516        |
| 4.2.2    | Kombinatorische Grundschaltungen                   | 519        |
| 4.2.2.1  | Code-Umsetzer                                      | 519        |
| 4.2.2.2  | Zahlenkomparator                                   | 520        |
| 4.2.2.3  | Multiplexer und Demultiplexer                      | 521        |
| 4.2.2.4  | Addierer   | 522        |
| 4.2.3    | Sequenzielle Grundschaltungen                      | 523        |
| 4.2.3.1  | Prinzipieller Aufbau einer sequenziellen Schaltung | 523        |
| 4.2.3.2  | Monostabile Kippstufen (Monoflops)                 | 524        |
| 4.2.3.3  | Bistabile Kippstufen (Flipflops)                   | 524        |
| 4.2.3.4  | Zähler   | 526        |
| 4.2.3.5  | Register und Schieberegister                       | 527        |
| 4.2.4    | Eigenschaften digitaler integrierter Schaltkreise  | 529        |
| 4.2.5    | Anwenderspezifische Bausteine (ASICs)              | 533        |
| 4.2.5.1  | Fullcustom   | 533        |
| 4.2.5.2  | Semicustom   | 533        |
| 4.2.5.3  | Programmierbare Logik                              | 534        |
| 4.2.6    | Mikrocomputer-Schaltkreise                         | 536        |
| 4.2.6.1  | Struktur des Mikrocomputers                        | 536        |
| 4.2.6.2  | Mikroprozessoren                                   | 537        |
| 4.2.6.3  | Schreib-/Lesespeicher (RAM)                        | 538        |
| 4.2.6.4  | Festwertspeicher (ROM)                             | 540        |
| 4.2.6.5  | Ein-/Ausgabe-Bausteine                             | 541        |
| 4.2.6.6  | Mikrocontroller                                    | 541        |
| 4.2.7    | Messgeräte für die Logikanalyse                    | 542        |
| 4.2.7.1  | Logikprüfer  | 543        |
| 4.2.7.2  | Logikanalysator                                    | 543        |
| <b>5</b> | <b>Rechnerkopplung</b>                             | <b>545</b> |
| 5.1      | Grundlagen und Begriffe ( <i>J. Hoffmann</i> )     | 545        |
| 5.1.1    | A/D-Umsetzer                                       | 547        |
| 5.1.1.1  | Parallel-A/D-Umsetzer                              | 547        |
| 5.1.1.2  | Sukzessive-Approximation-A/D-Umsetzer              | 547        |
| 5.1.1.3  | Nachlauf-A/D-Umsetzer                              | 548        |
| 5.1.1.4  | Rampen-A/D-Umsetzer                                | 548        |
| 5.1.1.5  | Dual-Slope-A/D-Umsetzer                            | 549        |
| 5.1.1.6  | Charge-Balancing-A/D-Umsetzer                      | 550        |
| 5.1.1.7  | Delta-Sigma-Umsetzer                               | 551        |
| 5.1.2    | D/A-Umsetzer                                       | 552        |
| 5.1.2.1  | Stromgewichtete D/A-Umsetzer                       | 552        |
| 5.1.2.2  | R-2R-D/A-Umsetzer                                  | 552        |
| 5.2      | Intelligente Sensorik ( <i>K. Urbanski</i> )       | 553        |
| 5.3      | Bussysteme in der Messtechnik ( <i>H. Kopp</i> )   | 555        |
| 5.3.1    | Bus-Topologie                                      | 556        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 5.3.2     | OSI-Schichtenmodell   | 557        |
| 5.3.3     | Physikalische Schnittstellenstandards                                       | 557        |
| 5.3.3.1   | RS232C  | 557        |
| 5.3.3.2   | RS422   | 558        |
| 5.3.3.3   | RS485   | 558        |
| 5.3.4     | Datenübertragung  | 558        |
| 5.3.4.1   | Busse für serielle Übertragung  | 558        |
| 5.3.4.2   | Synchronisationsverfahren   | 559        |
| 5.3.4.3   | Bus-Zugriffsverfahren   | 559        |
| 5.3.4.4   | Bus-Protokolle  | 559        |
| 5.3.4.5   | Sicherung gegen Übertragungsfehler  | 559        |
| 5.3.5     | Messgerätebus IEEE488   | 559        |
| 5.3.5.1   | IEEE STD 488.1  | 560        |
| 5.3.5.2   | IEEE STD 488.2  | 560        |
| 5.3.6     | Beispiele genormter Feldbussysteme  | 560        |
| 5.3.7     | Kopplungen unterschiedlicher Bussysteme (Gateways)                          | 560        |
| 5.3.8     | Maßnahmen zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV)                     | 561        |
| 5.3.9     | Einsatz von Bussystemen für Sensoren und Messgeräte ( <i>W. Trentmann</i> ) | 562        |
| 5.3.9.1   | IEEE488.2   | 562        |
| 5.3.9.2   | USB   | 563        |
| 5.3.9.3   | IEEE 1394   | 565        |
| 5.3.9.4   | Ethernet und WLAN   | 566        |
| 5.3.9.5   | LXI (LAN extensions for instrumentation)                                    | 568        |
| 5.3.9.6   | Feldbusse   | 569        |
| 5.3.9.6.1 | CAN-Bus   | 572        |
| 5.3.9.6.2 | Interbus  | 573        |
| 5.3.9.6.3 | DIN-Messbus   | 574        |
| 5.3.9.6.4 | Profibus DP   | 575        |
| 5.3.9.6.5 | Profibus PA   | 575        |
| 5.3.9.6.6 | ASI   | 576        |
| 5.3.9.6.7 | Bitbus  | 576        |
| 5.3.9.6.8 | Profinet  | 577        |
| 5.3.9.6.9 | Intelligente Sensorschnittstellen   | 579        |
| <b>6</b>  | <b>Ausgabegeräte (<i>C. Lehmann</i>)</b>                                    | <b>580</b> |
| 6.1       | Digitale Anzeigeelemente  | 580        |
| 6.1.1     | Optoelektronische Anzeigeelemente   | 580        |
| 6.1.1.1   | Binärsignal-Anzeige mit LED   | 580        |
| 6.1.1.2   | Quasi-analoge Anzeige   | 581        |
| 6.1.1.3   | Numerische Anzeige mit LCD  | 581        |
| 6.1.1.4   | Alphanumerische Anzeigen  | 582        |
| 6.1.2     | 32-MB-Datenlogger zum Einbau ( <i>A. Tuma</i> )                             | 582        |
| 6.1.3     | Programmierbarer Linearisator OC7010 LIN ( <i>A. Tuma</i> )                 | 582        |
| 6.2       | Bildsichtgeräte   | 583        |
| 6.2.1     | Farbbildröhren für Monitore   | 583        |
| 6.2.1.1   | Prinzipieller Aufbau  | 583        |
| 6.2.1.2   | Frequenzkennwerte   | 584        |
| 6.2.1.3   | Grundfunktionen der Grafikkarte   | 584        |
| 6.2.2     | LCD-Bildschirme   | 585        |



|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 6.3      | Drucker   | 586        |
| 6.3.1    | Funktionsprinzipien im Überblick                                  | 586        |
| 6.3.2    | Kommunikations-Schnittstellen                                     | 587        |
| 6.3.2.1  | Centronics-Schnittstelle  | 587        |
| 6.3.2.2  | IEC-Bus-Schnittstelle   | 587        |
| 6.3.2.3  | Serielle Schnittstelle V.24/RS 232 C                              | 588        |
| 6.3.2.4  | USB-Schnittstelle   | 588        |
| 6.3.2.5  | Firewire-Schnittstelle  | 588        |
| <b>7</b> | <b>Das Konzept Messfehler</b> ( <i>J. Hoffmann, J. Biermann</i> ) | <b>589</b> |
| 7.1      | Fehlerdefinition  | 589        |
| 7.2      | Fehlerarten   | 589        |
| 7.2.1    | Quantisierungsfehler und digitaler Restfehler                     | 589        |
| 7.2.2    | Statische Fehler  | 590        |
| 7.2.3    | Dynamische Fehler   | 591        |
| 7.2.4    | Systematische Fehler  | 593        |
| 7.2.5    | Zufällige Fehler  | 593        |
| 7.3      | Trennung von systematischen und zufälligen Fehleranteilen         | 594        |
| 7.4      | Kennlinienkorrektur   | 594        |
| 7.4.1    | Lineare Approximation   | 595        |
| 7.4.2    | Geradenapproximation  | 595        |
| 7.4.3    | Polynominterpolation  | 596        |
| 7.4.4    | Spline-Interpolation  | 598        |
| 7.5      | Fehlerfortpflanzung   | 599        |
| 7.6      | Messbereich, Auflösung und Messgenauigkeit                        | 600        |
| 7.7      | Auswertung von Messergebnissen                                    | 600        |
| 7.7.1    | Der Begriff der Messreihe   | 601        |
| 7.7.1.1  | Schätzwerte und wahre Werte                                       | 601        |
| 7.7.1.2  | Mittelwert und Erwartungswert                                     | 601        |
| 7.7.1.3  | Stichprobenvarianz und Varianz                                    | 601        |
| 7.7.1.4  | Mittlerer Fehler der Einzelmessung                                | 602        |
| 7.7.1.5  | Mittlerer Fehler des Mittelwertes                                 | 603        |
| 7.7.1.6  | Mittlerer Fehler der Standardabweichung                           | 603        |
| 7.7.1.7  | Empirische Kovarianz und Korrelationskoeffizient                  | 604        |
| 7.7.2    | Grafische Darstellung von Messergebnissen                         | 604        |
| 7.7.2.1  | Histogramm und Verteilungsdichtefunktion                          | 604        |
| 7.7.2.2  | Summenhäufigkeit und Verteilungsfunktion                          | 605        |
| 7.7.2.3  | Weitere Darstellungsmöglichkeiten                                 | 606        |
| 7.7.3    | Regressionsrechnung   | 606        |
| 7.7.3.1  | Einfache lineare Regression                                       | 606        |
| 7.7.3.2  | Vertrauensintervalle für Regressionskoeffizient und -konstante    | 607        |
| 7.7.3.3  | Mehrfache lineare und nichtlineare Regression                     | 608        |
| 7.7.4    | Tests   | 608        |
| 7.7.4.1  | Der $t$ -Test als einseitiges Problem                             | 609        |
| 7.7.4.2  | Der $t$ -Test als zweiseitiges Problem                            | 609        |
| 7.7.4.3  | Der $\chi^2$ -Streutest   | 609        |
| 7.7.4.4  | Der $t$ -Zweistichprobentest                                      | 610        |
| 7.7.4.5  | Der $F$ -Test   | 610        |
| 7.7.5    | Weitere Auswertungsmethoden                                       | 610        |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| <b>8</b> | <b>Das Konzept Messunsicherheit</b> ( <i>F. Adunka</i> )        | 612 |
| 8.1      | Messwertverteilungen  | 615 |
| 8.2      | Die Verteilungsfunktion der Ergebnisgröße                       | 618 |
| 8.3      | Korrelierte Eingangsdaten                                       | 619 |
| 8.4      | Kritik an der Vorgehensweise nach dem GUM                       | 622 |
| 8.5      | Vorgehensweise bei der Berechnung von Messunsicherheiten        | 622 |
| 8.5.1    | Schematische Vorgehensweise nach EA-4/02                        | 622 |
| 8.5.2    | Angabe der Messunsicherheit                                     | 623 |
| 8.5.3    | Unsicherheitsangabe bei Digitalanzeigen                         | 623 |
| 8.6      | Weitere Beispiele   | 624 |
| 8.7      | Ergänzende Bemerkungen  | 628 |
| <b>9</b> | <b>PC-Messtechnik und rechnergestützte Messwertverarbeitung</b> |     |
|          | ( <i>W. Trentmann</i> )   | 629 |
| 9.1      | <b>Hardware</b>   | 629 |
| 9.1.1    | Signalaufbereitung  | 630 |
| 9.1.2    | A/D-Wandler-Karten  | 632 |
| 9.1.3    | Aufbau von PC-Messwerterfassungs-Karten                         | 632 |
| 9.1.4    | Rechner-Bussysteme  | 636 |
| 9.1.5    | Messwerterfassungssystem im Erweiterungsgehäuse                 | 640 |
| 9.1.6    | Anschluss von Messgeräten über externe PC-Schnittstellen        | 642 |
| 9.1.6.1  | Messgeräte mit serieller Schnittstelle RS232                    | 642 |
| 9.1.6.2  | Messgeräte und Module mit paralleler Centronics-Schnittstelle   | 642 |
| 9.1.7    | Vergleich verschiedener Bussysteme                              | 642 |
| 9.1.8    | Auswahlkriterien für Messwerterfassungs-Systeme                 | 642 |
| 9.2      | <b>Software</b>   | 643 |
| 9.2.1    | Betriebssysteme   | 643 |
| 9.2.2    | Programmierung in Standardsprachen                              | 646 |
| 9.2.3    | Visuelle Programmiersprachen                                    | 646 |
| 9.2.4    | Grafische Programmierung  | 647 |
| 9.2.5    | Schnittstellen – Kommunikation mit anderen Programmen           | 647 |
| 9.2.6    | Software-Standards für die Kommunikation von Messgeräten        | 648 |
| 9.2.7    | Link-Software   | 649 |
| 9.2.8    | Softwarepakete für die Messwerterfassung                        | 649 |
| 9.2.8.1  | LabView   | 649 |
| 9.2.8.2  | Agilent VEE Pro   | 652 |
| 9.2.8.3  | DasyLab   | 653 |
| 9.2.8.4  | DIAdem  | 654 |
| 9.2.8.5  | TestPoint   | 655 |
| 9.2.8.6  | DT Measure Foundry  | 656 |
| 9.2.8.7  | ICONNECT  | 657 |
| 9.2.8.8  | Computerbasierende Instrumente                                  | 658 |
| 9.3      | <b>Weiterverarbeitung der Messdaten</b>                         | 660 |
| 9.3.1    | Mathematik- und Statistikpakete                                 | 660 |
| 9.3.2    | Prozessvisualisierung   | 660 |
| 9.3.3    | Fuzzy-Logik   | 660 |
| 9.3.4    | Neuronale Netze   | 660 |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 9.3.5     | Bildverarbeitung  | 661        |
| 9.3.6     | Data Mining   | 661        |
| <b>10</b> | <b>Qualitätsmanagement in der Fertigung (T. Pfeifer)</b>                  | <b>662</b> |
| 10.1      | Normen und Richtlinien  | 663        |
| 10.2      | Prüfplanung   | 664        |
| 10.2.1    | Aufgaben der Prüfplanung  | 664        |
| 10.2.2    | Aufbau und Inhalt eines Prüfplans   | 666        |
| 10.2.3    | Datenbedarf bei der Prüfplanerstellung                                    | 667        |
| 10.2.4    | Vorgehensweise bei der Prüfplanerstellung                                 | 667        |
| 10.3      | Prüfdatenerfassung  | 672        |
| 10.3.1    | Prüfarten und -methoden   | 672        |
| 10.3.2    | Mess- und Prüftechnik   | 676        |
| 10.3.3    | Rechnerunterstützte Datenerfassung  | 682        |
| 10.4      | Prüfdatenauswertung   | 683        |
| 10.4.1    | Aufbereitung, Verdichtung und Darstellung von Prüfdaten                   | 684        |
| 10.4.2    | Kennzahlen und Kennzahlensysteme in der Prüfdatenauswertung               | 687        |
| 10.4.3    | Anwendung der Prüfdatenauswertung im Unternehmen                          | 687        |
| 10.5      | Prüfmittelmanagement  | 689        |
| 10.5.1    | Prüfmittelplanung und -beschaffung, Eignungsprüfung                       | 692        |
| 10.5.2    | Prüfmittelverwaltung  | 693        |
| 10.5.3    | Prüfmittelüberwachung   | 694        |
| <b>11</b> | <b>Einheiten und Umrechnungen (W. Richter)</b>                            | <b>698</b> |
| <b>12</b> | <b>Firmen und Einrichtungen mit Bezügen zur Messtechnik (J. Hoffmann)</b> | <b>711</b> |
| <b>13</b> | <b>Formelzeichenverzeichnis</b>   | <b>753</b> |
| <b>14</b> | <b>Verzeichnis englisch-deutscher Begriffe und Abkürzungen</b>            | <b>756</b> |
| <b>15</b> | <b>Literaturverzeichnis</b>   | <b>764</b> |
| <b>16</b> | <b>Sachwortverzeichnis</b>  | <b>791</b> |