

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Grundbegriffe in der Messtechnik</b>                | <b>1</b>  |
| 1.1      | Messgrößen und Messsysteme                             | 1         |
| 1.1.1    | Rückwirkungen in Messsystemen                          | 2         |
| 1.1.2    | Wechselwirkungen in der Systemtechnik                  | 4         |
| 1.2      | Erfassen einer Messgröße                               | 5         |
| 1.2.1    | Konkretisierung der Messaufgabe                        | 5         |
| 1.2.2    | Einteilung der verschiedenen Messverfahren             | 6         |
| 1.2.3    | Analoge Messmethoden                                   | 6         |
| 1.3      | Signale für den Informationsaustausch                  | 10        |
| 1.3.1    | Begriffsbestimmung und Übersicht                       | 10        |
| 1.3.2    | Signalarten (Hauptgruppen)                             | 11        |
| 1.3.3    | Messsignalumformung                                    | 11        |
| 1.4      | Messwertverarbeitung und Ausgabe der Messwerte         | 14        |
| 1.4.1    | Allgemeines  | 14        |
| 1.4.2    | Messdatenverarbeitung                                  | 15        |
| 1.5      | Grundbegriffe in der Messtechnik                       | 15        |
| 1.5.1    | Zusammenstellung von messtechnischen Begriffen         | 15        |
| <b>2</b> | <b>Das neue Internationale Einheitensystem (SI)</b>    | <b>25</b> |
| 2.1      | Begriffserklärung                                      | 25        |
| 2.2      | SI-Basiseinheiten                                      | 26        |
| 2.2.1    | SI-Vorsätze für Maßeinheiten                           | 27        |
| 2.2.2    | Abgeleitete SI-Einheiten                               | 28        |
| 2.2.3    | Einheiten für Verhältnisgrößen                         | 32        |
| 2.3      | Vorbereitung der Einführung des „revidierten SI“       | 33        |
| 2.3.1    | Naturkonstanten zur Darstellung der Einheiten          | 33        |
| 2.3.2    | Auswirkungen auf die Messung elektrischer Größen       | 33        |
| 2.3.3    | Überblick über die Neudefinition der SI-Basiseinheiten | 34        |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| <b>3</b> | <b>Elementare Fehlerrechnung</b>   | 41 |
| 3.1      | Definition des Messfehlers   | 41 |
| 3.2      | Fehlerarten  | 42 |
| 3.2.1    | Systematische Fehler   | 43 |
| 3.2.2    | Zufällige Fehler   | 43 |
| 3.3      | Wahrscheinlichkeitsverteilungen  | 43 |
| 3.3.1    | Verteilungsarten   | 44 |
| 3.4      | Rechnerische Erfassung zufälliger Fehler   | 46 |
| 3.5      | Praxisgerechte Ermittlung der Messfehler   | 49 |
| <b>4</b> | <b>Vorbereitung, Ausführung und Auswertung von Messaufgaben mit analogen und digitalen Messgeräten</b> | 55 |
| 4.1      | Aufgaben und Ziele des Qualitätsmanagements  | 56 |
| 4.2      | Auswahl, Beschaffung und Einteilung der Mess- und Prüfmittel   | 56 |
| 4.2.1    | Vorbereitung der Messaufgabe durch Optimierung der Prüfmittel  | 57 |
| 4.2.2    | Einteilung der Messgeräte  | 57 |
| 4.3      | Fehlerkenngrößen für Messgeräte  | 61 |
| 4.3.1    | Bewertungskriterien des statischen Verhaltens für Mess- und Prüfgeräte                                 | 62 |
| 4.3.2    | Messbereichserweiterung – Spannungsmessung   | 65 |
| 4.3.3    | Messbereichserweiterung – Strommessung   | 66 |
| 4.4      | Digitale Messwertverarbeitung  | 66 |
| 4.4.1    | Digitale Signale   | 66 |
| 4.4.2    | Messprinzip  | 67 |
| 4.4.3    | Weitere Verfahren  | 68 |
| 4.5      | Digitalmultimeter  | 68 |
| 4.5.1    | Allgemeines  | 68 |
| 4.5.2    | Funktionsprinzip   | 69 |
| 4.5.3    | Anwendungsgebiet   | 70 |
| 4.5.4    | Zusatzfehler und Herkunftsbereiche in der digitalen Messtechnik  | 70 |
| 4.6      | Messung von Gleich- und Wechselgrößen  | 75 |
| 4.6.1    | Messtechnische Hinweise zur Messung von Gleichspannung und Gleichstrom                                 | 75 |
| 4.6.2    | Kenngrößen sinusförmiger Wechselgrößen   | 76 |
| 4.6.3    | Präzise Messung von Wechselspannung und Wechselstrom   | 78 |
| 4.6.4    | Messtechnische Hinweise zur Bestimmung von Wechselgrößen   | 78 |
| 4.6.5    | Digitale Widerstandsmessung  | 79 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>5 Sensoren zur Sicherstellung geeigneter Umgebungsbedingungen für Messprozesse</b> | 81  |
| 5.1 Einflussfaktoren auf den Messprozess  | 82  |
| 5.2 Wechselwirkung zwischen Messobjekt und Messgerät                                  | 82  |
| 5.3 Einfluss von Temperatur, Strömung und Feuchte auf den Messprozess                 | 83  |
| 5.4 Wandlung nichtelektrischer in elektrische Größen                                  | 84  |
| 5.5 Sensorelemente für die Temperaturmessung  | 85  |
| 5.5.1 Konventionelle Ausführungsformen der Widerstandsthermometer                     | 85  |
| 5.5.2 Physikalische Grundlagen  | 86  |
| 5.5.3 Genauigkeitsklassen für Widerstandsthermometer                                  | 87  |
| 5.5.4 Thermoelemente  | 87  |
| 5.5.5 NTC-Widerstände (Heißleiter)  | 90  |
| 5.5.6 Feuchtesensoren   | 92  |
| 5.5.7 Strömungssensoren   | 95  |
| <b>6 Störeinflüsse auf Messstromkreise und in der Datenübertragung</b>                | 97  |
| 6.1 Allgemeines   | 97  |
| 6.2 Einkopplungsarten auf elektrische und elektronische Stromkreise                   | 98  |
| 6.2.1 Galvanische Kopplung  | 99  |
| 6.2.2 Kapazitive Kopplung   | 99  |
| 6.2.3 Induktive Kopplung  | 101 |
| 6.2.4 Wellen- und Strahlungsbeeinflussung   | 102 |
| 6.3 Störspannungsunterdrückung  | 102 |
| 6.3.1 Gleichtakt- und Gegentaktstörungen  | 102 |
| 6.3.2 Gleichtakt-Gegentakt-Umwandlung   | 104 |
| 6.3.3 Störeinflüsse auf Leitungen   | 106 |
| <b>7 Datenübertragung in der Messtechnik</b>  | 107 |
| 7.1 Allgemeines   | 107 |
| 7.2 Digitale Schnittstellen zur Datenübertragung                                      | 108 |
| 7.2.1 Serielle Schnittstellen   | 109 |
| 7.2.2 Parallele Schnittstellen  | 110 |
| 7.3 Störfaktoren  | 110 |
| 7.3.1 Störfaktoren von außen  | 110 |
| 7.3.2 Störfaktoren von innen  | 111 |
| 7.4 Datenfernübertragung  | 111 |
| 7.5 Datensicherung im Messwesen   | 112 |
| 7.5.1 Schutz der Messdaten  | 112 |
| 7.5.2 Verfahren zur Fehlererkennung   | 113 |
| 7.5.3 Datensicherung bei Programmunterbrechungen                                      | 115 |

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>8 Wichtige Elemente des Prüfmittelmanagements zur Sicherstellung von Produkt- und Prozessqualität</b> | 117 |
| 8.1 QM-Elemente in der Überwachungsphase   | 117 |
| 8.1.1 Referenzbedingungen für Mess- und Prüfräume  | 118 |
| 8.1.2 Prüfräume für Kalibrieraufgaben  | 119 |
| 8.2 Dokumentation und Auswertung von Messergebnissen   | 121 |
| 8.2.1 Dokumentation  | 121 |
| 8.3 Auswertung der Gesamtmessunsicherheit  | 122 |
| 8.3.1 Erweiterte Messunsicherheit  | 122 |
| 8.3.2 Kalibrierscheine (2 Beispiele aus der Praxis)  | 123 |
| 8.4 Die Behandlung fehlerhafter Prüfmittel   | 134 |
| 8.5 Durch Automatisierungslösungen zu höherer Effektivität und Genauigkeit in der Messtechnik            | 136 |
| 8.5.1 Qualitätsmanagement in der heutigen Praxis   | 136 |
| 8.5.2 Anforderungen und Ziele für die Zukunft  | 136 |
| <b>Literatur</b>   | 139 |
| <b>Stichwortverzeichnis</b>  | 141 |