

Inhalt

Vorwort zur 3. Auflage	V
Vorwort zur 4. Auflage	VI

A. Theoretische Grundlagen 1

1. Grundlegende Begriffe und Definitionen	3
1.1 Wesen des Messens; Fundamental-Voraussetzungen	3
1.2 Normale und deren Einheiten	3
1.3 Idealisierendes Blockschema; allgemeine Begriffe	6
1.4 Meßverfahren	8
1.4.1 Direkte und indirekte Meßverfahren	8
1.4.2 Analoge und digitale Verfahren	9
1.4.3 Zeitlich kontinuierliche und diskontinuierliche Verfahren	10
1.4.4 Ausschlags- und Kompensationsverfahren	11
2. Meßfehler und Fehlerursachen	14
2.1 Repräsentativität, Repräsentativitätsfehler	14
2.2 Allgemeines Blockschema des fehlerbehafteten Meßsystems	14
2.2.1 Fehler, Korrektur	15
2.2.2 Rückwirkung des Meßvorganges auf die Meßgröße: Bürde	16
2.2.3 Superponierende äußere Störeinflüsse	16
2.2.4 Deformierende äußere Störeinflüsse	16
2.2.5 Innere Störeinflüsse	17
2.3 Fehler im Zusammenhang mit dem Meßvorgang	17
2.3.1 Einfluß der Einsatzbedingungen der Meßeinrichtung	17
2.3.2 Systematische und zufällige Fehler	17
2.3.3 Statische und dynamische Fehler	19
2.4 Fehler im Zusammenhang mit der Auswertung von Meßwerten	19
2.4.1 Quantisierung der Meßwerte, Ablesefehler	19
2.4.2 Zeitliche Diskretisierung durch die Auswertung	19
2.4.3 Fehler bedingt durch die Auswertehypothese	20
2.4.4 Fehlerfortpflanzung durch die Auswertung	21
2.5 Fehlercharakteristiken von Meßgeräten	21
2.5.1 Nullpunktunempfindlichkeit, Ansprechwert, Anlaufwert	21
2.5.2 Umkehrspanne, Hysterese, elastische Nachwirkung	21
2.5.3 Auflösung	22
2.5.4 Nullpunktstabilität	23
2.5.5 Meßunsicherheit, Fehlergrenzen	23
2.5.6 Linearität, Toleranzbänder	23
2.5.7 Güteklassen	24
3. Statische Meßfehler	26
3.1 Fehlerarten	26
3.2 Fehlererfassung	27
3.2.1 Zufällige Fehler der Einzelmessung	27
3.2.2 Zufällige Fehler von Mittelwerten	32
3.2.3 Systematische Fehler: Eichung	34

3.3	Fehlerfortpflanzung	35
3.3.1	Systematische Fehler	35
3.3.2	Zufällige Fehler	35
3.3.3	Fehlergrenzen	36
3.4	Auswerteverfahren im Zusammenhang mit statistischen Fehlern	37
3.4.1	Prüfung der Hypothese der Gauß-Verteilung	37
3.4.2	Ausreißer	39
3.4.3	Unterschiede von Mittelwerten	40
3.4.4	Lineare Regression	42
3.4.5	Lineare Korrelation	45
3.5	Möglichkeiten der automatischen Fehlerkorrektur	48
3.5.1	Prinzip der Störgrößenabschirmung	48
3.5.2	Prinzip der Fehlerkompensation	48
3.5.3	Prinzip der Rückführung	49
3.5.4	Prinzip der Signalfilterung	50
4.	Dynamische Meßfehler	52
4.1	Messen als Signalübertragungsprozeß	52
4.2	Signale und ihre mathematische Beschreibung	52
4.2.1	Klassierung von Signalen	52
4.2.2	Beschreibung deterministischer Signale im Zeitbereich	54
4.2.3	Beschreibung stochastischer Signale im Zeitbereich	55
4.2.4	Beschreibung periodischer Signale im Frequenzbereich	59
4.2.5	Beschreibung aperiodischer Signale im Frequenzbereich	61
4.2.6	Beschreibung stochastischer Signale im Frequenzbereich	64
4.2.7	Beschreibung von Signalen durch Impulsreihen	65
4.3	Übertragungsverhalten des Meßsystems und seine mathematische Beschreibung	68
4.3.1	Beschreibung des Übertragungsverhaltens durch die Differentialgleichung	68
4.3.2	Beschreibung des Übertragungsverhaltens durch Antwortfunktionen	69
4.3.3	Beschreibung des Übertragungsverhaltens durch die Übertragungsfunktion bzw. den Frequenzgang	71
4.3.4	Zusammenhang der Beschreibungsmittel des Übertragungsverhaltens	75
4.4	Dynamische Eigenschaften fundamentaler Meßsysteme	77
4.4.1	Meßsystem 1. Ordnung	77
4.4.2	Meßsystem 2. Ordnung	80
4.4.3	Meßsystem mit Totzeit	86
4.5	Dynamische Meßfehler	87
4.5.1	Definition des dynamischen Meßfehlers	87
4.5.2	Berechnung des dynamischen Meßfehlers	89
4.5.3	Dynamische Kenngrößen von Meßsystemen	92
4.5.4	Korrektur dynamischer Meßfehler	93
4.6	Dynamische Störwirkungen	95
4.6.1	Berechnung der durch dynamische Störwirkungen hervorgerufenen Fehler	95
4.6.2	Bekämpfung der dynamischen Störwirkungen	96
5.	Gesetzliche Grundlagen des Meßwesens	99
5.1	Einleitung	99
5.2	Das Internationale Einheitensystem (SI)	99
5.2.1	Basiseinheiten	99
5.2.2	Abgeleitete SI-Einheiten	100
5.3	Gesetzliche Vorschriften über Einheiten im Meßwesen	101
5.3.1	Gesetzliche SI-Einheiten	105
5.3.2	Weitere gesetzliche Einheiten	105

5.3.3	Gesetzliche Einheiten mit eingeschränktem Anwendungsbereich	106
5.3.4	Tabelle häufig verwendeter Einheiten	106
5.3.5	Umrechnung angelsächsischer Einheiten	112
5.4	Gesetzliche Vorschriften des Meß- und Eichwesens	118

B. Allgemeines zur Gerätetechnik

1.	Funktionselemente und Strukturen von Meßsystemen	123
1.1	Einleitung	123
1.2	Funktionselemente von Meßsystemen	123
1.3	Funktionsstrukturen von Meßsystemen	124
1.3.1	Grundstrukturen	124
1.3.2	Funktionsstrukturen „klassischer“ Meßsysteme	126
1.3.3	Funktionsstrukturen komplexer Meßsysteme	126
1.3.4	Funktionsstrukturen modellgestützter Meßsysteme	129
2.	Meßgrößenerfassung	132
2.1	Begriff der Meßgrößenerfassung	132
2.1.1	Erfassung einer repräsentativen Meßgröße	132
2.1.2	Möglichst fehlerfreie Erfassung dieser Meßgröße	132
2.1.3	Primäre Umwandlung der Meßgröße	133
2.2	Arten der Meßwertaufnahme	134
2.3	Primäre Umwandlungseffekte und Meßgrößenaufnehmer	135
2.3.1	Aufnehmer mit mechanischem Ausgang	135
2.3.2	Aufnehmer mit pneumatischem Ausgang	135
2.3.3	Sensoren mit elektronischem Analogausgang	135
2.3.4	Sensoren mit optischer Wirkung	155
2.4	Sensoren mit integrierter Signalelektronik und Digitalausgang	159
3.	Meßgrößenumformung	168
3.1	Grundlagen	168
3.1.1	Zielsetzung und Bedeutung	168
3.1.2	Begriffe	168
3.2	Verknüpfung von Eingangs- und Ausgangsgröße eines Meßgrößenumformers durch physikalische und physikalisch-chemische Effekte	171
3.2.1	Verknüpfungsmatrix	171
3.2.2	Umkehr der Wandlungsrichtung	171
3.2.3	Spezielle Anwendungen	174
3.3	Umformung nichtelektrischer Signale in elektrische	175
3.3.1	Mechanische Größen	175
3.3.2	Thermische Größen	180
3.3.3	Akustische Größen	182
3.4	Umformung elektrischer Signale	184
3.4.1	Umformung der Größenart elektrischer Signale	184
3.4.2	Umformung eines elektrischen Signals in eine andere Signalart	185
4.	Rechenschaltungen	188
4.1	Analoge Rechenschaltungen	188
4.1.1	Addierer und Subtrahierer	188
4.1.2	Multiplizierer und Dividierer	189

4.1.3	Radierer und Potenzierer	191
4.1.4	Differenzierer und Integrierer	192
4.2	Digitale Rechenschaltungen	196
4.2.1	Rechenoperationen mit Impulsfolgen und Frequenzsignalen	197
4.2.2	Kombinatorische Logikschaltungen	198
4.2.3	Rechenwerke	202
5.	Meßsignalverarbeitung	205
5.1	Allgemeines	205
5.1.1	Aufgaben und Bedeutung der Meßsignalverarbeitung	205
5.1.2	Entwicklungstrend	206
5.1.3	Signalanpassung	207
5.2	Getastete Signale und ihre Übertragung	210
5.2.1	Auswirkungen der Abtastung	210
5.2.2	Die Übertragungsfunktion digitaler Systeme	215
5.3	Filter	218
5.3.1	Analoge Filter	218
5.3.2	Digitale Filter	231
5.4	Signalverarbeitung durch Einzweckgeräte	249
5.4.1	Übersicht über Aufgaben und Lösungsmöglichkeiten	249
5.4.2	Geräte zur Messung von Amplitudenverteilungen	250
5.4.3	Geräte zur Bestimmung von Mittelungswerten	257
5.4.4	Frequenzanalyse	271
5.5	Meßsignal-Erfassung und -Verarbeitung mit Digitalrechnern	277
5.5.1	Übersicht	277
5.5.2	Die Meßkette für digitale Meßsignal-Verarbeitung	279
5.5.3	Prozeßrechner	290
5.5.4	Programme für Prozeßrechner	297
5.5.5	Möglichkeiten der Signalverarbeitung mit Prozeßrechnern	299
6.	Ausgabegeräte	313
6.1	Übersicht	313
6.2	Darstellung analoger Meßwerte	313
6.3	Darstellung digitaler Meßwerte	314
6.3.1	Mechanische Anzeigen	314
6.3.2	Optische Anzeigen	314
6.3.3	Optoelektronische Anzeigen	315
6.3.4	Intelligente Anzeigen	319
6.4	Datensichtgeräte	319
6.4.1	Informationsdarstellung durch Sichtgeräte	320
6.4.2	Technologie der Bildschirme	320
6.5	Meßwertausgabe durch Personal Computer (PC)	322
6.5.1	Hardware-Benutzerschnittstelle: Grafikbildschirme	322
6.5.2	Meßtechnische Hardware-Erweiterungen für PCs	323
6.5.3	Software-Benutzerschnittstelle	323
6.6	Meßwertausgabe in der industriellen Prozeßleittechnik	325
6.7	Meßwertdrucker	325
6.7.1	Typen- und Matrixdrucker	327
6.7.2	Zeichen- und Zeilendrucker	327
6.7.3	Anschlagende und nichtanschlagende Drucker	328
6.7.4	Übersicht verschiedener Druckertypen	328
6.8	Plotter	331
6.8.1	Flachbettplotter	331

6.8.2	Trommelplotter	331
6.9	Schreiber	331
6.9.1	Punkt- und Linienschreiber	332
6.9.2	Kompensationsschreiber	333
6.9.3	Übersicht der Schreibverfahren	333
6.9.4	Schreiber als intelligente Registriergeräte	334
6.10	Sprachausgabe	335
7.	Die Zuverlässigkeit von Meßsystemen	337
7.1	Die wichtigsten Größen der Zuverlässigkeitsrechnung und ihre Zusammenhänge	337
7.2	Die Zuverlässigkeit von Bauelementen	340
7.2.1	Die Ausfallrate	340
7.2.2	Die exponentielle Verteilung der Überlebenswahrscheinlichkeit	341
7.2.3	Ausfallkriterium	344
7.2.4	Beanspruchungen	345
7.2.5	Zuverlässigkeitsprüfungen	345
7.3	Einige Grundlagen der Verknüpfung von Wahrscheinlichkeiten	345
7.4	Zuverlässigkeit von Geräten und Systemen	346
7.4.1	Die Zuverlässigkeit einfacher Schaltungen	348
7.4.2	Die Zuverlässigkeit redundanter Schaltungen	349
7.4.3	Reparatur und Inspektion	351
7.4.4	Methoden zur Berechnung der Zuverlässigkeit vermaschter Systeme	352
7.5	Zuverlässigkeit von Rechnern	353
7.5.1	Zuverlässigkeit der Hardware	353
7.5.2	Zuverlässigkeit der Software	354
Register	361