

# INHALT

## Teil 1: Theoretische Grundlagen

<b>1.1.</b>	<b>Grundlegende Begriffe und Definitionen</b>	
1.1.1.	Wesen des Messens; Fundamental-Voraussetzungen	3
1.1.2.	Normale und deren Einheiten	3
1.1.2.1.	Länge	3
1.1.2.2.	Masse	4
1.1.2.3.	Zeit	4
1.1.2.4.	Temperatur	4
1.1.2.5.	Elektrische Stromstärke	6
1.1.2.6.	Lichtstärke	6
1.1.2.7.	Stoffmenge	6
1.1.3.	Idealisiertes Blockschema; allgemeine Begriffe	6
1.1.4.	Meßverfahren	8
1.1.4.1.	Direkte und indirekte Meßverfahren	8
1.1.4.2.	Analoge und digitale Meßverfahren	9
1.1.4.3.	Zeitlich kontinuierliche und diskontinuierliche Verfahren	10
1.1.4.4.	Ausschlags- und Kompensationsverfahren	11
<b>1.2.</b>	<b>Meßfehler und Fehlerursachen</b>	
1.2.1.	Repräsentativität der Meßgrößen	13
1.2.1.1.	Repräsentativität von Ersatzmeßwerten	13
1.2.1.2.	Repräsentativität bezüglich der Auswertung	13
1.2.2.	Allgemeines Blockschema des fehlerbehafteten Meßsystems	13
1.2.2.1.	Fehler, Korrektion	14
1.2.2.2.	Rückwirkung des Meßvorganges auf die Meßgröße: Bürde	14
1.2.2.3.	Superponierende äußere Störungen	15
1.2.2.4.	Deformierende äußere Störungen	15
1.2.2.5.	Innere Störungen	15
1.2.3.	Fehler im Zusammenhang mit dem Meßvorgang	16
1.2.3.1.	Einfluß der Einsatzbedingungen der Meßeinrichtung	16
1.2.3.2.	Systematische und zufällige Fehler	16
1.2.3.3.	Statische und dynamische Fehler	17
1.2.4.	Fehler im Zusammenhang mit der Auswertung von Meßwerten	18
1.2.4.1.	Quantisierung der Meßwerte, Ablesefehler	18
1.2.4.2.	Zeitliche Diskretisierung durch die Auswertung	18
1.2.4.3.	Fehler bedingt durch die Auswertehypothesen	19
1.2.4.4.	Fehlerfortpflanzung durch die Auswertung	19
1.2.5.	Fehlercharakteristiken von Meßgeräten	20
1.2.5.1.	Nullpunktsunempfindlichkeit, Ansprechwert, Anlaufwert	20
1.2.5.2.	Umkehrspanne, Hysterese, elastische Nachwirkung	20
1.2.5.3.	Auflösung	21
1.2.5.4.	Nullpunktstabilität	21
1.2.5.5.	Meßunsicherheit, Fehlergrenzen	22
1.2.5.6.	Linearität, Toleranzbänder	22
1.2.5.7.	Güteklassen	23

<b>1.3.</b>	<b>Statische Meßfehler</b>	
1.3.1.	Fehlerarten	24
1.3.2.	Fehlererfassung	24
1.3.2.1.	Zufällige Fehler der Einzelmessung	24
1.3.2.2.	Zufällige Fehler von Mittelwerten	30
1.3.2.3.	Systematische Fehler; Eichung	31
1.3.3.	Fehlerfortpflanzung	32
1.3.3.1.	Systematische Fehler	32
1.3.3.2.	Zufällige Fehler	33
1.3.3.3.	Fehlergrenzen	34
1.3.4.	Auswerteverfahren im Zusammenhang mit statistischen Fehlern	34
1.3.4.1.	Prüfung der Hypothese der Gauß-Verteilung	34
1.3.4.2.	Ausreißer	36
1.3.4.3.	Unterschiede von Mittelwerten	37
1.3.4.4.	Lineare Regression	38
1.3.4.5.	Lineare Korrelation	42
1.3.5.	Möglichkeiten der automatischen Fehlerkorrektur	44
1.3.5.1.	Prinzip der Störgrößenabschirmung	44
1.3.5.2.	Prinzip der Fehlerkompensation	45
1.3.5.3.	Prinzip der Rückführung	46
<b>1.4.</b>	<b>Dynamische Fehler</b>	
<b>1.4.1.</b>	Messen als Signalübertragungsprozeß	48
1.4.2.	Signale und ihre mathematische Beschreibung	48
1.4.2.1.	Klassierung von Signalen	48
1.4.2.2.	Beschreibung deterministischer Signale im Zeitbereich	49
1.4.2.3.	Beschreibung stochastischer Signale im Zeitbereich	51
1.4.2.4.	Beschreibung periodischer Signale im Frequenzbereich	53
1.4.2.5.	Beschreibung aperiodischer Signale im Frequenzbereich	56
1.4.2.6.	Beschreibung stochastischer Signale im Frequenzbereich	59
1.4.2.7.	Beschreibung von Signalen durch Impulsreihen	61
1.4.3.	Übertragungsverhalten des Meßsystems und seine mathematische Beschreibung	64
1.4.3.1.	Beschreibung des Übertragungsverhaltens durch die Differentialgleichung	64
1.4.3.2.	Beschreibung des Übertragungsverhaltens durch Antwortfunktion	65
1.4.3.3.	Beschreibung des Übertragungsverhaltens durch die Übertragungsfunktion bzw. den Frequenzgang	66
1.4.3.4.	Zusammenhang der Beschreibungsmittel des Übertragungsverhaltens	70
1.4.4.	Dynamische Eigenschaften fundamentaler Meßsysteme	71
1.4.4.1.	Meßsystem 1. Ordnung	71
1.4.4.2.	Meßsystem 2. Ordnung	74
1.4.4.3.	Meßsystem mit Totzeit	80
1.4.5.	Dynamische Meßfehler	81
1.4.5.1.	Definition des dynamischen Meßfehlers	81
1.4.5.2.	Berechnung des dynamischen Meßfehlers	82
1.4.5.3.	Dynamische Kenngrößen von Meßsystemen	85
1.4.5.4.	Korrektur dynamischer Meßfehler	87
1.4.6.	Dynamische Störwirkungen	88
1.4.6.1.	Berechnung der durch dynamische Störwirkungen hervorgerufenen Fehler	89
1.4.6.2.	Bekämpfung der dynamischen Störwirkungen	90

<b>1.5.</b>	<b>Gesetzliche Grundlagen des Meßwesens</b>	
1.5.1.	Einleitung . . . . .	93
1.5.2.	Das Internationale Einheitensystem (SI) . . . . .	93
1.5.2.1.	Basiseinheiten . . . . .	93
1.5.2.2.	Abgeleitete SI-Einheiten . . . . .	94
1.5.2.3.	Dezimale Vielfache und Teile von Einheiten . . . . .	96
1.5.3.	Gesetzliche Vorschriften über Einheiten im Meßwesen . . . . .	96
1.5.3.1.	Gesetzliche SI-Einheiten . . . . .	97
1.5.3.2.	Weitere gesetzliche Einheiten . . . . .	98
1.5.3.3.	Gesetzliche Einheiten mit eingeschränktem Anwendungsbereich . . . . .	99
<b>1 5,4.</b>	<b>Gesetzliche Vorschriften über das Meß- und Eichwesen . . . . .</b>	<b>99</b>

## Teil 2: Allgemeines zur Gerätetechnik

<b>2.1.</b>	<b>Fundamentale Funktionen eines Meßsystems</b>	
2.1.1.	Begriff des Funktionsblockes . . . . .	105
2.1.2.	Wichtige Funktionsblöcke eines Meßsystems . . . . .	105
2.1.2.1.	Meßgrößenerfassung . . . . .	106
2.1.2.2.	Meßgrößenumformung und Verstärkung . . . . .	106
2.1.2.3.	Rechenoperationen . . . . .	106
2.1.2.4.	Meßwertverarbeitung . . . . .	106
2.1.2.5.	Meßwertausgabe . . . . .	106
2.1.3.	Rückwirkungen zwischen Funktionsblöcken . . . . .	107
<b>2.2.</b>	<b>Meßgrößenerfassung</b>	
2.2.1.	Begriff der Meßgrößenerfassung . . . . .	110
2.2.1.1.	Erfassung einer repräsentativen Meßgröße . . . . .	110
2.2.1.2.	Möglichst fehlerfreie Erfassung dieser Meßgröße . . . . .	110
2.2.1.3.	Primäre Umwandlung der Meßgröße . . . . .	111
2.2.2.	Arten der Meßwertfassung . . . . .	112
2.2.3.	Primäre Umwandlungseffekte und Meßgrößenaufnehmer . . . . .	112
2.2.3.1.	Aufnehmer mit mechanischem Ausgang . . . . .	112
2.2.3.2.	Aufnehmer mit pneumatischem Ausgang . . . . .	112
2.2.3.3.	Aufnehmer mit elektronischem Ausgang . . . . .	113
2.2.3.3.1.	Aktive Aufnehmer . . . . .	113
2.2.3.3.1.1.	Piezoelektrische Aufnehmer . . . . .	113
2.2.3.3.1.2.	Elektrodynamische Aufnehmer . . . . .	115
2.2.3.3.1.3.	Thermoelemente . . . . .	115
2.2.3.3.1.4.	Fotoelemente . . . . .	116
2.2.3.3.2.	Passive Aufnehmer . . . . .	116
2.2.3.3.2.1.	Aufnehmer mit ohmschen Widerständen . . . . .	116
2.2.3.3.2.2.	Aufnehmer nach induktivem Prinzip . . . . .	124
2.2.3.3.2.3.	Aufnehmer nach kapazitivem Prinzip . . . . .	126
<b>2.3.</b>	<b>Meßgrößenumformung und Meßwertverstärkung</b>	
2.3.1.	. . . . .	130
2.3.1.1.	Zielsetzung und Bedeutung . . . . .	130
2.3.1.2.	Begriffe . . . . .	130
2.3.2.	Verknüpfung von Eingangs- und Ausgangsgröße eines Meßgrößenumformers durch physikalische und physikalisch-chemische Effekte . . . . .	131

2.3.2.1.	Verknüpfungsmatrix . . . . .	131
2.3.3.	Umformung nichtelektrischer Signale in elektrische . . . . .	137
2.3.3.1.	Mechanische Größen . . . . .	137
2.3.3.2.	Thermische Größen . . . . .	140
2.3.3.3.	Akustische Größen . . . . .	142
2.3.4.	Umformung elektrischer Signale . . . . .	144
2.3.4.1.	Umformung von elektrischen Meßgrößen einer bestimmten Art in solche einer anderen . . . . .	144
2.3.4.2.	Umformung eines elektrischen Signals in eine andere Signalart . . . . .	145
<b>2.4.</b>	<b>Rechenoperationen</b>	
2.4.1.	Analoge Rechenverfahren . . . . .	147
2.4.1.1.	Addition, Subtraktion . . . . .	147
2.4.1.1.1.	Elektronische Addition und Subtraktion . . . . .	147
2.4.1.1.2.	Pneumatische Verfahren der Addition und Subtraktion . . . . .	148
2.4.1.2.	Multiplikation, Division . . . . .	148
2.4.1.2.1.	Elektronische Verfahren . . . . .	148
2.4.1.2.2.	Pneumatische Verfahren . . . . .	149
2.4.1.3.	Potenzieren, Radizieren . . . . .	150
2.4.1.3.1.	Elektronische Verfahren . . . . .	150
2.4.1.3.2.	Pneumatische Verfahren . . . . .	152
2.4.1.4.	Differentiation, Integration . . . . .	153
2.4.1.4.1.	Elektronische Verfahren . . . . .	153
2.4.1.4.2.	Pneumatische Verfahren . . . . .	154
2.4.2.	Digitale Rechenverfahren . . . . .	155
2.4.2.1.	Digitale Addition und Subtraktion . . . . .	156
2.4.2.1.1.	Addition und Subtraktion nach dem Zählverfahren . . . . .	156
2.4.2.1.2.	Addition und Subtraktion mittels logischer Ver- knüpfungsglieder . . . . .	156
2.4.2.2.1.	Multiplikation und Division mittels Zählverfahren . . . . .	159
2.4.2.2.2.	Multiplikation und Division mittels logischer Ver- knüpfungen . . . . .	160
<b>2.5.</b>	<b>Meßsignalverarbeitung</b>	
2.5.1.	Allgemeines . . . . .	163
2.5.1.1.	Aufgaben und Bedeutung der Meßsignalverarbeitung . . . . .	163
2.5.1.2.	Entwicklungstrend . . . . .	164
2.5.1.3.	Signalanpassung . . . . .	164
2.5.2.	Signalverarbeitung durch Einzweckgeräte . . . . .	167
2.5.2.1.	Übersicht über Aufgaben und Lösungsmöglichkeiten . . . . .	167
2.5.2.2.	Geräte zur Messung von Amplitudenverteilungen . . . . .	168
2.5.2.2.1.	Allgemeines . . . . .	168
2.5.2.2.2.	Anwendungen . . . . .	168
2.5.2.2.3.	Begriffe und Definitionen . . . . .	168
2.5.2.2.4.	Graphische Ermittlung einer Amplitudenverteilung . . . . .	169
2.5.2.2.5.	Meßverfahren . . . . .	170
2.5.2.2.6.	Spezielle Verteilungen im Amplitudenbereich . . . . .	172
2.5.2.2.7.	Verbundverteilungen . . . . .	173
2.5.2.2.8.	Fehler bei der Bestimmung von Verteilungen . . . . .	174
2.5.2.3.	Geräte zur Bestimmung von Mittelwerten . . . . .	175
2.5.2.3.1.	Zeitmittelwerte . . . . .	175
2.5.2.3.2.	Ensemblemittelwerte . . . . .	182
2.5.2.3.3.	Verbundmittelwerte . . . . .	185

2.5.2.3.4.	Mittelwertfunktionen (Korrelationsfunktionen)	185
2.5.2.4.	Filter	189
2.5.2.4.1.	Allgemeines	189
2.5.2.4.2.	Anwendungsbereiche, Aufgaben und Einsatz	190
2.5.2.4.3.	Ideale, idealisierte und reale Filterfunktionen	190
2.5.2.4.4.	Grenzfrequenz und Bandbreite	191
2.5.2.4.5.	Filterkombinationen	191
2.5.2.4.6.	Fütertypen	192
2.5.2.4.7.	Passive und aktive Filter	193
2.5.2.4.8.	Filterrealisationen	194
2.5.2.5.	Frequenzanalyse	194
2.5.2.5.1.	Allgemeines	194
2.5.2.5.2.	Filtermethoden	195
2.5.2.5.3.	Rechenmethoden (FFT)	198
<b>2.5.3.</b>	<b>Meßsignal-Verarbeitung mit Prozeßrechnern</b>	<b>200</b>
2.5.3.1.	Übersicht	200
2.5.3.2.	Meßsignal-Anpassung	201
2.5.3.2.1.	Signalübertragung	202
2.5.3.2.2.	Abtastung	203
2.5.3.2.3.	Öffnungszeit	204
2.5.3.2.4.	Multiplexer	204
2.5.3.2.5.	Quantisierung	205
2.5.3.2.6.	Analog/Digital-Wandler	206
2.5.3.2.7.	Anti-Aliasing-Filter	211
2.5.3.3.	Prozeßrechner-Hardware	211
2.5.3.3.1.	Rechnertypen	213
2.5.3.3.2.	Pheripheriegeräte	215
2.5.3.4.	Programmierung eines Prozeßrechners	217
2.5.3.4.1.	Programmiersprachen	217
2.5.3.4.2.	Das Betriebssystem	218
2.5.3.4.3.	Anwenderprogramme	219
2.5.3.4.4.	Bibliotheksprogramme/Utilities	219
2.5.3.5.	Möglichkeiten der Signalverarbeitung mit Prozeßrechnern	220
2.5.3.5.1.	Voraussetzungen und Grenzen des Prozeßrechner-Einsatzes	220
2.5.3.5.2.	Überprüfung und Korrektur von Meßsignalen	221
2.5.3.5.3.	Spezielle Verfahren und Möglichkeiten beim Prozeßrechner-Einsatz	222
2.5.3.5.4.	Signalanalyse, digitale Filterung, Rechenverfahren	224
2.5.3.5.5.	Überwachung, Steuerung und Regelung von Prozessen	228
<b>2.6.</b>	<b>Ausgabegeräte</b>	
2.6.1.	Analoge Ausgabegeräte	230
2.6.1.1.	Anzeigende Geräte	230
2.6.1.2.	Punkt Schreiber	231
2.6.1.3.	Linienreiber	231
2.6.1.4.	Kompensationsschreiber	231
2.6.2.	Digitale Ausgabegeräte	232
2.6.2.1.	Zahlensichtgeräte	232
2.6.2.1.1.	Mechanische Zahlensichtgeräte	232
2.6.2.1.2.	Optische Zahlensichtgeräte	233
2.6.2.1.3.	Elektronische Zahlensichtgeräte	234
2.6.2.2.	Digital-Analog-Umsetzer (DAU)	235
2.6.2.2.1.	Digital-Analog-Umsetzer mit gestuftem Spannungsteiler	235

2.6.2.2.2.	Digital-Analog-Umsetzer mit gestuften Teilströmen . . . . .	235
2.6.2.2.3.	Digital-Analog-Umsetzer mit Widerstandskettenleiter . . . . .	236
2.6.2.3.	Lochstreifenausgabe . . . . .	236
2.6.2.4.	Meßwertdrucker . . . . .	237
2.6.2.5.	Elektronenstrahl-Sichtgeräte . . . . .	238
<b>2.7.</b>	<b>Automatisierung von Meßvorgängen</b>	
2.7.1.	Begriffsdefinition . . . . .	241
2.7.2.	Aufgaben und Ziele der Automatisierung . . . . .	242
2.7.3.	Mittel der Automatisierung . . . . .	243
2.7.4.	Umfang des in die Automatisierung einbezogenen Meßsystems . . . . .	247
<b>2.8.</b>	<b>Die Zuverlässigkeit von Meßsystemen</b>	
2.8.1.	Die wichtigsten Größen der Zuverlässigkeitsrechnung und ihre Zusammenhänge . . . . .	252
2.8.2.	Die Zuverlässigkeit von Bauelementen . . . . .	255
2.8.2.1.	Die Ausfallrate . . . . .	255
2.8.2.2.	Die exponentielle Verteilung der Überlebenswahrscheinlichkeit . . . . .	255
2.8.2.3.	Ausfallkriterien . . . . .	257
2.8.2.4.	Beanspruchungen . . . . .	259
2.8.3.	Einige Grundlagen der Verknüpfung von Wahrscheinlichkeiten . . . . .	259
2.8.4.	Zuverlässigkeit von Geräten und Systemen . . . . .	260
2.8.4.1.	Die Zuverlässigkeit einfacher Schaltungen . . . . .	263
2.8.4.2.	Die Zuverlässigkeit redundanter Schaltungen . . . . .	264
2.8.4.3.	Reparatur und Inspektion . . . . .	265
2.8.4.4.	Methoden zur Berechnung der Zuverlässigkeit ver- maschter Systeme . . . . .	267

### Teil 3: Meßverfahren und Meßgeräte

<b>3.1.</b>	<b>Messung elektrischer Größen</b>	
3.1.1.	Grundlagen für das Messen elektrischer Größen . . . . .	273
3.1.1.1.	Maß-Systeme und Einheiten . . . . .	273
3.1.1.2.	Definitionen bei periodischen elektrischen Größen . . . . .	274
3.1.1.3.	Leistungsdefinitionen . . . . .	279
3.1.1.4.	Frequenzgang und Anstiegszeiten bei Momentanwertmessung . . . . .	280
3.1.1.5.	Frequenzgang bei Mittelwert- und Effektivwertmessung . . . . .	280
3.1.2.	Klassische elektrische Meßverfahren und Meßgeräte . . . . .	281
3.1.2.1.	Anzeigen von Strom, Spannung, Leistung, Energie und Frequenz . . . . .	281
3.1.2.1.1.	Proportionale Instrumente, linearer Mittelwert . . . . .	281
3.1.2.1.2.	Quadratbildende Instrumente, quadratischer Mittelwert . . . . .	283
3.1.2.1.3.	Produktbildende Instrumente . . . . .	285
3.1.2.1.4.	Diverseinstrumente . . . . .	287
3.1.2.1.5.	Gleichrichterinstrumente . . . . .	288
3.1.2.1.6.	Verfahren zur Kompensation des Eigenverbrauchs . . . . .	289
3.1.2.1.7.	Genauigkeit und Fehler . . . . .	289
3.1.2.1.8.	Symbolische Bezeichnung von Meßwerken . . . . .	290
3.1.2.2.	Direkte Registrierung von elektrischen Größen . . . . .	290
3.1.2.3.	Elektrische Meßwandler . . . . .	293

3.1.2.4.	Widerstands- und Impedanzmessung . . . . .	295
3.1.2.4.1.	Widerstandsmessung . . . . .	295
3.1.2.4.2.	Eigenschaften und Darstellung von Impedanzen . . . . .	296
3.1.2.4.3.	Impedanzmessung . . . . .	297
3.1.2.4.4.	Messung von Erdungswiderständen . . . . .	298
3.1.2.5.	Messung elektromagnetischer Feldgrößen . . . . .	298
3.1.2.6.	Messungen in Drehstromnetzen . . . . .	299
3.1.3.	Elektronische Meßverfahren und Meßgeräte . . . . .	300
3.1.3.1.	Elektronische Meßverstärker . . . . .	301
3.1.3.2.	Elektronenstrahloszillographen . . . . .	306
3.1.3.3.	Elektronische anzeigende Geräte . . . . .	314
3.1.3.3.1.	Spannungsmessung . . . . .	315
3.1.3.3.2.	Zähler und Frequenzmessung . . . . .	315
3.1.4.	Eichung von elektrischen Meßgeräten . . . . .	315
3.1.5.	Reduktion systematischer Meßfehler . . . . .	316
3.1.5.1.	Fehler infolge Belastung des Meßortes . . . . .	317
3.1.5.2.	Fehler infolge ungeeigneter Signale am Meßgeräteeingang . . . . .	317
3.1.5.3.	Fehler infolge Einwirkung von Fremdfeldern auf Meßgeräte . . . . .	319
3.1.5.4.	Einstreuung von Fremdfeldern und Fremdsignalen auf Meßleitungen . . . . .	319
<b>3.2.</b>	<b>Zeit und Zeitmessung</b>	
3.2.1.	Einführung . . . . .	322
3.2.2.	Die Zeiteinheiten . . . . .	322
3.2.3.	Zeitmessung, Uhren . . . . .	323
3.2.3.1.	Der Aufbau von Uhren . . . . .	323
3.2.3.2.	Kenngrößen . . . . .	327
<b>3.3.</b>	<b>Ereigniszählung</b>	
3.3.1.	Einleitung . . . . .	328
3.3.2.	Allgemeine Betriebsbedingungen . . . . .	328
3.3.3.	Zählimpulse und Impulsgeber . . . . .	328
3.3.3.1.	Zählimpulse und Pulsgeber für elektromechanische Zähler . . . . .	328
3.3.3.2.	Zählimpulse und Pulsgeber für elektronische Zähler . . . . .	330
3.3.4.	Mechanische Zähler . . . . .	330
3.3.5.	Elektromechanische Zähler . . . . .	331
3.3.5.1.	Summenzähler . . . . .	331
3.3.5.2.	Differenzzähler . . . . .	333
3.3.5.3.	Aus Einzeldekaden aufgebaute Zähler . . . . .	333
3.3.5.4.	Registrierende Zählgeräte . . . . .	334
3.3.6.	Pneumatische Zähler . . . . .	334
3.3.7.	Elektronische Zähler . . . . .	335
3.3.7.1.	Einzelsummenzähler . . . . .	335
3.3.7.2.	Zählerbausteine . . . . .	337
3.3.7.3.	Differenzzähler . . . . .	337
<b>3.4.</b>	<b>Messung von Längen und daraus abgeleiteten Größen</b>	
<b>3.4.1.</b>	<b>Längen- und Wegmessung . . . . .</b>	<b>339</b>
3.4.1.1.	Wahl der Meßmethode . . . . .	339
3.4.1.2.	Dicken- und Flächengewichtsmessung . . . . .	339
3.4.1.2.1.	Dicken- und Flächengewichtsmessung mit ionisierender Strahlung . . . . .	339
3.4.1.2.2.	Dicken- und Flächengewichtsmessung durch mechanische Abtastung . . . . .	347

<del>3.4.1.</del>	Sonstige Meßverfahren zur Dicken-und Flächengewichtsmessung ..	348
<del>3.4.1.3.</del>	Schichtdickenmessung .....	349
<del>3.4.1.3.1</del>	Schichtdickenmessung mit ionisierender Strahlung .....	349
<del>3.4.1.3.2</del>	Schichtdickenmessung durch mechanische Abtastung .....	352
<del>3.4.1.3.3</del>	Sonstige Meßverfahren zur Schichtdickenmessung .....	352
<del>3.4.1.4.</del>	Breitenmessung .....	352
<del>3.4.1.4.1</del>	Breitenmessung durch optisch elektronische Kantenabtastung .....	352
<del>3.4.1.4.2</del>	Sonstige Meßverfahren zur Breitenmessung .....	356
<del>3.4.1.5.</del>	Längen-und Wegmessung .....	357
<del>3.4.1.5.1</del>	Längenmessung durch optisch elektronische Kantenabtastung .....	357
<del>3.4.1.5.2</del>	Längenmessung nach der Rastermethode .....	357
<del>3.4.1.5</del>	Sonstige Meßverfahren zur Längen-und Wegmessung .....	358
<del>3.4.1.6.</del>	Durchmesserermessung .....	359
<del>3.4.1.6.1</del>	Durchmesserermessung durch optische elektronische Abtastung .....	359
<del>3.4.1.6.2</del>	Durchmesserermessung nach dem Intensitätsvergleichsverfahren .....	360
<del>3.4.1.6</del>	Sonstige Meßverfahren zur Durchmesserermessung .....	361
<b>3.4.2.</b>	Messung des Flüssigkeitsstandes .....	364
<del>3.4.2.1.</del>	Einleitung .....	364
<del>3.4.2.2.</del>	Mechanische Verfahren .....	365
<del>3.4.2.2.1</del>	Verfahren mit Schwimmern .....	365
<del>3.4.2.2.2</del>	Verfahren mit Tastplatten .....	366
<del>3.4.2.2.3.</del>	Elektromechanische Verfahren .....	366
<del>3.4.2.2.3.1</del>	Widerstandsmessverfahren .....	366
<del>3.4.2.2.3.2.</del>	Meßverfahren mit Drehmelder .....	366
<del>3.4.2.2.3</del>	Schrittschaltverfahren .....	366
<del>3.4.2.2.3.4</del>	Impulstelegrammverfahren .....	367
<del>3.4.2.2.3.5.</del>	Niveau-Anzeige mit magnetischer Durchführung der Schwimmer- bewegung .....	367
<del>3.4.2.2.3.6</del>	Niveau-Anzeige mit induktiver Durchführung der Schwimmer- bewegung .....	368
<del>3.4.2.2.3.7</del>	Wertung .....	369
<del>3.4.2.2.4</del>	Flüssigkeitsstandmessung durch Verändern von Gleich- und Wechselstromwiderständen .....	369
<del>3.4.2.2.4.1</del>	Kapazitive Füllstandsmessung .....	369
<del>3.4.2.2.4.2</del>	Leitfähigkeitsmeßmethode .....	371
<del>3.4.2.2.5</del>	Hydrostatische und pneumatische Verfahren .....	372
<del>3.4.2.2.5.1</del>	Anwendungsbereiche .....	372
<del>3.4.2.2.5.2</del>	Physikalische Grundlagen .....	372
<del>3.4.2.2.5.3</del>	Wertung .....	373
<del>3.4.2.2.6</del>	Ultraschallmethode .....	373
<del>3.4.2.2.6.1</del>	Anwendungsbereiche .....	373
<del>3.4.2.2.6.2</del>	Physikalische Grundlagen .....	373
<del>3.4.2.2.6.3</del>	Messung des Füllstandes .....	374
<del>3.4.2.2.6.4</del>	Wertung .....	374
<del>3.4.2.2.7</del>	Füllstandsmessung mit radioaktiven Isotopen .....	374
<del>3.4.2.2.7.1</del>	Anwendungsbereiche .....	374
<del>3.4.2.2.7.2</del>	Physikalische Grundlagen .....	375
<del>3.4.2.2.7.3</del>	Messung des Füllstandes .....	376
<del>3.4.2.2.7.4</del>	Wertung .....	376
<del>3.4.2.2.8</del>	Weitere Methoden zur Füllstandsmessung .....	377
<del>3.4.2.2.8.1</del>	Messung von Flüssigkeitsständen durch Temperaturmessung .....	377
<del>3.4.2.2.8.2</del>	Messung von Füllständen mit Kraftmeßdosen .....	377
<del>3.4.2.2.8.3</del>	Messung von Füllständen mit Mikrowellen nach dem Radar-Prinzip .....	378
<del>3.4.2.2.8.4</del>	Messung von Füllständen mit einem Verdrängungskörper .....	379

3.4.2.8.5.	Standmessung über Schau- und Standgläser . . . . .	379
<b>3.4.3.</b>	<b>Dehnungsmessung</b> . . . . .	<b>381</b>
3.4.3.1.	Elektrische Meßverfahren . . . . .	385
3.4.3.1.1.	Dehnungsmeßstreifen . . . . .	385
3.4.3.1.1.1.	Dehnungsmeßstreifen mit metallischem Meßgitter . . . . .	387
3.4.3.1.1.2.	Halbleiter-Dehnungsmeßstreifen . . . . .	393
3.4.3.1.1.3.	Aufgedampfte DMS . . . . .	399
3.4.3.1.2.	Längenänderungsaufnehmer mit elektrischem System . . . . .	400
3.4.3.1.2.1.	Ohmsche Systeme . . . . .	400
3.4.3.1.2.2.	Induktive Systeme . . . . .	400
3.4.3.1.3.	Dehnungs- und Längenänderungsaufnehmer nach dem Schwingsaiten- verfahren . . . . .	401
3.4.3.2.	Mechanische Meßverfahren . . . . .	402
3.4.3.2.1.	Längenänderungsaufnehmer mit Hebelzeiger . . . . .	403
3.4.3.2.2.	Längenänderungsaufnehmer mit Torsionsbandsystem . . . . .	404
3.4.3.2.3.	Setzdehnungsaufnehmer . . . . .	404
3.4.3.2.4.	Längenänderungsaufnehmer mit mechanisch-optischem System . . . . .	405
3.4.3.3.	Übersichtsverfahren . . . . .	405
3.4.3.3.1.	Das Reißlackverfahren . . . . .	406
3.4.3.3.1.1.	Aufschmelzbare Harze . . . . .	406
3.4.3.3.1.2.	Lösungsmittelhaltige Lacke . . . . .	406
3.4.3.3.1.3.	Keramische Überzüge . . . . .	407
3.4.3.3.2.	Spannungsoptische Oberflächenschichtverfahren . . . . .	408
3.4.4.	Drehzahlmessung, Geschwindigkeitsmessung . . . . .	410
3.4.4.1.	Drehzahlmessung . . . . .	410
3.4.4.1.1.	Allgemeiner Überblick über Drehzahlmeßgeräte . . . . .	411
3.4.4.1.2.	Mechanische Drehzahlmesser . . . . .	411
3.4.4.1.3.	Elektrische Drehzahlmesser . . . . .	413
3.4.4.1.3.1.	Elektrische Drehzahlmesser, Aufnehmer angekuppelt . . . . .	414
3.4.4.1.3.2.	Elektrische Drehzahlmesser, berührungslose Abtastung . . . . .	414
3.4.4.2.	Geschwindigkeitsmessung . . . . .	414
3.4.5.	Messung mechanischer Schwingungen . . . . .	416
3.4.5.1.	Begriffsbestimmung der mechanischen Schwingungen . . . . .	416
3.4.5.2.	Theoretische Grundlagen der Meßwertaufnehmer für mechanische Schwingungen . . . . .	416
3.4.5.2.1.	Bewegungsaufnehmer . . . . .	417
3.4.5.2.1.1.	Relativbewegungs-Aufnehmer . . . . .	417
3.4.5.2.1.2.	Ab solutbewegungs-Aufnehmer . . . . .	418
3.4.5.2.2.	Kraftgrößenaufnehmer . . . . .	421
3.4.5.3.	Mechanische Schwingungsmeßgeräte . . . . .	421
3.4.5.3.1.	Prinzip der mechanischen Schwingungsmessung . . . . .	421
3.4.5.3.2.	Meßgeräte für gradlinige Schwingungen . . . . .	422
3.4.5.3.3.	Meßgeräte für Drehschwingungen . . . . .	422
3.4.5.4.	Elektrische Schwingungsmeßgeräte . . . . .	422
3.4.5.4.1.	Prinzip der elektrischen Schwingungsmessung . . . . .	422
3.4.5.4.2.	Elektrische Meßwertaufnehmer . . . . .	422
3.4.5.4.2.1.	Bewegungsaufnehmer für gradlinige Schwingungen . . . . .	424
3.4.5.4.2.2.	Bewegungsaufnehmer für Drehschwingungen . . . . .	429
3.4.5.4.2.3.	Kraftgrößenaufnehmer . . . . .	430
<b>3.5.</b>	<b>Messung von Kräften und daraus abgeleiteten Größen</b>	
3.5.1.	Kraftmessung . . . . .	432
3.5.1.1.	Allgemeiner Überblick über Kraftaufnehmer . . . . .	432

3.5.1.2.	Kritische Gesichtspunkte beim Einsatz von Kraftaufnehmern . . . .	433
3.5.1.3.	Elektrische Kraftaufnehmer . . . . .	436
3.5.1.3.1.	DMS-Kraftaufnehmer . . . . .	436
3.5.1.3.2.	Induktive Kraftaufnehmer . . . . .	439
3.5.1.3.3.	Magnetoelastische Kraftaufnehmer . . . . .	440
3.5.1.3.4.	Piezoelektrische Kraft auf nehmer . . . . .	441
3.5.1.3.5.	Schwingsaiten-Kraftaufnehmer . . . . .	442
3.5.1.4.	Mechanische Kraftaufnehmer . . . . .	442
3.5.1.5.	Hydraulische Kraftaufnehmer . . . . .	444
3.5.2.	Messen von Drehmoment, mechanischer Arbeit und mechanischer Leistung . . . . .	445
3.5.2.1.	Drehmomentmessung . . . . .	445
3.5.2.1.1.	Allgemeiner Überblick über das Messen des Drehmomentes . . . .	445
3.5.2.1.2.	Drehmomentaufnehmer . . . . .	446
3.5.2.1.2.1.	DM S-Drehm omentaaf nehmer . . . . .	446
3.5.2.1.2.2.	Induktive Drehmomentaufnehmer . . . . .	448
3.5.2.1.2.3.	Magnetoelastische Drehmomentaufnehmer . . . . .	449
3.5.2.1.2.4.	Schwingsaiten-Drehmomentaufnehmer . . . . .	450
3.5.2.1.2.5.	Piezoelektrische Drehmomentaufnehmer . . . . .	451
3.5.2.1.3.	Drehmomentprüf stände . . . . .	451
3.5.2.1.4.	Drehmomentmessung mit Hilfe von Dehnungsmeßstreifen (DMS) ..	452
3.5.2.2.	Messung der mechanischen Arbeit (Energie) . . . . .	452
3.5.2.2.1.	Allgemeiner Überblick über das Messen mechanischer Arbeit . . . .	453
3.5.2.3.	Messung der mechanischen Leistung . . . . .	453
3.5.2.3.1.	Allgemeiner Überblick über das Messen mechanischer Leistung . . . .	454
<b>3.6.</b>	<b>Messung von Massen und daraus abgeleiteten Größen</b>	
<b>3.6.1.</b>	<b>Wägung</b> . . . . .	456
3.6.1.1.	Masse und deren Verkörperung für die Meßtechnik . . . . .	456
3.6.1.1.1.	Masse, Gewichtskraft . . . . .	456
3.6.1.1.2.	Massenverkörperungen . . . . .	456
3.6.1.2.	Waagen, Wägeprinzipien . . . . .	459
3.6.1.2.1.	Allgemeines . . . . .	459
3.6.1.2.2.	Wägeprinzipien . . . . .	459
3.6.1.2.3.	Wichtige meßtechnische Eigenschaften von Waagen . . . . .	459
3.6.1.2.4.	Wägemethoden . . . . .	461
3.6.1.2.5.	Baugruppen von Waagen . . . . .	462
3.6.1.2.6.	Waagenarten . . . . .	468
<b>3.6.2.</b>	<b>Durchflußmessung</b> . . . . .	488
3.6.2.1.	Volumetrische Meßverfahren . . . . .	488
3.6.2.1.1.	Übersicht . . . . .	488
3.6.2.1.2.	Volumenzähler mit festen Meßkammerwänden (Auslaufzähler) . . . .	489
3.6.2.1.3.	Volumenzähler mit beweglichen Meßkammerwänden (Verdrängungszähler) . . . . .	489
3.6.2.1.4.	Volumenzähler mit Meßflügeln (Turbinenzähler) . . . . .	493
3.6.2.1.5.	Vergleich der Volumenzähler . . . . .	497
3.6.2.2.	Wirkdruckverfahren . . . . .	498
3.6.2.2.1.	Grundlagen . . . . .	498
3.6.2.2.2.	Düsen . . . . .	501
3.6.2.2.3.	Blenden . . . . .	502
3.6.2.2.4.	Vergleich Düse - Blende . . . . .	502
3.6.2.2.5.	Sonderbauformen . . . . .	503
3.6.2.2.6.	Druckverluste von Drosselgeräten . . . . .	504

3.6.2.2.7.	Fehlermöglichkeiten bei genormten Drosselgeräten und deren Beseitigung . . . . .	505
3.6.2.2.8.	Staudruckverfahren . . . . .	506
3.6.2.2.9.	Durchflußmeßverfahren mit Stauscheibe . . . . .	507
3.6.2.2.10.	Auswirkung von Dichteänderungen des Meßmediums auf das Meßergebnis . . . . .	508
3.6.2.3.	Durchflußmessung aus dem Druckabfall in geraden Rohren . . . . .	508
3.6.2.4.	Durchflußmessung aus der Kraft auf angeströmte Körper . . . . .	510
3.6.2.4.1.	Schwebekörper — Durchflußmesser . . . . .	510
3.6.2.4.2.	Der Federscheibendurchflußmesser . . . . .	511
3.6.2.4.3.	Klappenmesser . . . . .	511
3.6.2.5.	Höhendifferenzverfahren . . . . .	512
3.6.2.5.1.	Venturikanalmesser . . . . .	512
3.6.2.5.2.	Überfallwehr . . . . .	512
3.6.2.6.	Impfverfahren mit Chemikalien und radioaktiven Substanzen . . . . .	513
3.6.2.6.1.	Salzlösungsverfahren nach van Allen . . . . .	513
3.6.2.6.2.	Salzlösungs-Vergleichsverfahren (Intensitätsmethode) . . . . .	513
3.6.2.6.3.	Durchflußmessung nach dem Isotopenverfahren (Laufzeitmessung) . . . . .	514
3.6.2.7.	Durchflußmessung auf thermischer Grundlage . . . . .	514
3.6.2.7.1.	Hitzdrahtmethode . . . . .	514
3.6.2.7.2.	Geschwindigkeitsmessung mittels Thermosonden . . . . .	515
3.6.2.7.3.	Strömungsgeschwindigkeit mittels Kaltleiter . . . . .	516
3.6.2.8.	Magnetisch-induktive Durchflußmessung . . . . .	517
3.6.2.8.1.	Grundlagen . . . . .	517
3.6.2.8.2.	Magnetisch-induktive Durchflußmessung mit Wechselfeld . . . . .	518
3.6.2.8.3.	Magnetisch-induktive Durchflußmessung mit geschaltetem Gleichfeld . . . . .	518
3.6.2.8.4.	Auswertung des Meßeffektes . . . . .	520
3.6.2.8.5.	Bewertung der magnetisch-induktiven Durchflußmessung . . . . .	520
3.6.2.8.6.	Anwendungsgebiete . . . . .	521
3.6.2.8.7.	Magnetisch-induktive Durchflußmessung in offenen Rechteckgerinnen . . . . .	521
3.6.2.9.	Ultraschall-Strömungsmessung . . . . .	522
3.6.2.9.1.	Prinzip der Ultraschall-Strömungsmessung . . . . .	522
3.6.2.9.2.	Prinzipielle Meßmöglichkeiten . . . . .	523
3.6.2.10.	Weitere Durchflußmeßverfahren . . . . .	525
3.6.2.10.1.	Wirbel - Durchflußmesser . . . . .	525
3.6.2.10.2.	Schwingkörper-Durchflußmesser . . . . .	527
3.6.2.10.3.	Durchflußmessung mit Hilfe von Kernresonanz . . . . .	527
3.6.2.10.4.	Geschwindigkeitsmessung mittels Laser . . . . .	528
3.6.3.	Dichtemessung . . . . .	530
3.6.3.1.	Einführung . . . . .	530
3.6.3.2.	Dichte fester Stoffe . . . . .	531
3.6.3.2.1.	Wägemethoden . . . . .	531
3.6.3.2.2.	Auftriebsmethoden . . . . .	531
3.6.3.3.	Dichte von Flüssigkeiten . . . . .	532
3.6.3.3.1.	Diskontinuierliche Meßverfahren . . . . .	532
3.6.3.3.2.	Kontinuierliche Dichtemessung . . . . .	533
3.6.3.4.	Dichte von Gasen . . . . .	537
3.6.3.4.1.	Wägemethoden . . . . .	537
3.6.3.4.2.	Strömungsmethoden . . . . .	538
3.6.3.4.3.	Indirekte Dichtemessung . . . . .	540

<b>3.7.</b>	<b>Messung hydrostatischer und hydrodynamischer Größen</b>	
<b>3.7.1.</b>	<b>Druck-, Druckdifferenz- und Vakuum-Messung</b>	541
3.7.1.1.	Allgemeines über Druckmessung	541
3.7.1.1.1.	Druckeinheiten	541
3.7.1.1.2.	Druckmeßverfahren	541
3.7.1.1.3.	Besondere Bauarten	542
3.7.1.2.	Flüssigkeitsmanometer und-Barometer	544
3.7.1.2.1.	Manometrische Flüssigkeiten	544
3.7.1.2.2.	Vertikalrohrmanometer	544
3.7.1.2.3.	Schräghrohrmanometer	545
3.7.1.3.	Druckwaagen und Kolbenmanometer	546
3.7.1.3.1.	Bauarten	546
3.7.1.3.2.	Gewichtsbelastete Kolbenmanometer	547
3.7.1.3.3.	Federbelastete Kolbenmanometer	548
3.7.1.3.4.	Geräte mit Sperrflüssigkeit	548
3.7.1.4.	Federmanometer	549
3.7.1.4.1.	Eigenschaften von Federwerkstoffen, Besondere Werkstoffe	549
3.7.1.4.2.	Röhrenfedern, Bourdonfedern	549
3.7.1.4.3.	Plattenfedern, Membranfedern	553
3.7.1.4.4.	Kapselfedern, Aneroidbarometer	556
3.7.1.4.5.	Wellrohr- und Balgfedermanometer	557
3.7.1.5.	Sonstige mechanische Manometer	557
3.7.1.5.1.	Gaskompressionsmanometer, Mc.Leod-Manometer	557
3.7.1.5.2.	Bleibend verformte Druckgeber	558
3.7.1.5.3.	Reibungs- und Radiometervakuummeter	558
3.7.1.6.	Wärmeleitungsmanometer	559
3.7.1.6.1.	Piranivakuummeter	559
3.7.1.6.2.	Thermoelektrische Vakuummeter	559
3.7.1.6.3.	Halbleitervakuummeter (Thermistoren)	559
3.7.1.7.	Elektrische Manometer	559
3.7.1.7.1.	Widerstandsmanometer	559
3.7.1.7.2.	Druckempfindliche Transistoren (Pitrans)	560
3.7.1.7.3.	Magnetostriktive Druckmesser	560
3.7.1.7.4.	Piezoelektrische Druckmesser	560
3.7.1.7.5.	Ionisationsmanometer	561
3.7.1.7.6.	Partialdruckmeßgeräte	561
3.7.2.	Messung der Strömungsgeschwindigkeit	564
3.7.2.1.	Messung der örtlichen Strömungsgeschwindigkeit	564
3.7.2.1.1.	Mechanische Verfahren	564
3.7.2.1.2.	Pneumatische Verfahren	566
3.7.2.1.3.	Elektrothermische und magnetische Meßverfahren	570
3.7.2.2.	Messung der Strömungsrichtung	571
3.7.2.2.1.	Mechanische Strömungsrichtungsmesser	571
3.7.2.2.2.	Pneumatische Strömungsrichtungsmesser	572
3.7.2.2.3.	Elektrothermische Strömungsrichtungsmesser	574
3.7.2.3.	Messung von Geschwindigkeitsschwankungen	574
3.7.2.3.1.	Hitzdrahtsonden	574
3.7.2.3.2.	Koronasonden	574
<b>3.7.3.</b>	<b>Viskosimetrie</b>	576
3.7.3.1.	Definitionen der Meßgrößen	576
3.7.3.2.	Abhängigkeit der Viskosität von verschiedenen Einflußgrößen	577
3.7.3.3.	Meßverfahren und Geräte	579
3.7.3.4.	Fehlerquellen	586

3.7.3.4.1.	Mit der Meßflüssigkeit zusammenhängende Fehler . . . . .	586
3.7.3.4.2.	Vom Instrument abhängige Fehler . . . . .	586
<b>3.8.</b>	<b>Thermometrie</b>	
3.8.1.	Einführung . . . . .	588
3.8.2.	Reproduktion der Temperaturskala . . . . .	589
3.8.2.1.	Temperaturskalen und Einheiten . . . . .	589
3.8.2.2.	Fixpunkte . . . . .	590
3.8.2.3.	Thermostate . . . . .	591
3.8.3.	Berührungsthermometrie . . . . .	592
3.8.3.1.	Mechanische Berührungsthermometer . . . . .	592
3.8.3.1.1.	Metallausdehnungsthermometer . . . . .	592
3.8.3.1.2.	Flüssigkeitsthermometer . . . . .	594
3.8.3.1.3.	Gasthermometer . . . . .	600
3.8.3.1.4.	Sonderformen mechanischer Berührungsthermometer . . . . .	601
3.8.3.2.	Elektrische Berührungsthermometer . . . . .	602
3.8.3.2.1.	Widerstandsthermometer . . . . .	603
3.8.3.2.2.	Thermoelemente . . . . .	608
3.8.3.2.3.	Sonderformen elektrischer Berührungsthermometer . . . . .	614
3.8.3.3.1.	Wärmeableitfehler bei Berührungsthermometern . . . . .	615
3.8.3.3.2.	Dynamische Fehler bei Berührungsthermometern . . . . .	616
3.8.4.	Strahlungsthermometrie . . . . .	619
3.8.4.1.	Theoretische Grundlagen . . . . .	619
3.8.4.2.	Strahlungsthermometer . . . . .	622
3.8.4.2.1.	Spektralpyrometer . . . . .	623
3.8.4.2.2.	Band- und Gesamtstrahlungs-pyrometer . . . . .	627
3.8.4.3.	Eichung von Strahlungsthermometern . . . . .	628
3.8.4.4.	Meßanordnung bei Strahlungsthermometern . . . . .	629
3.8.4.5.	Dynamik von Strahlungsthermometern . . . . .	631
3.8.4.6.	Anwendung von Strahlungsthermometern . . . . .	632
<b>3.9.</b>	<b>Messung kalorischer Größen</b>	
3.9.1.	Begriffe, Einheiten, Dimensionen . . . . .	634
3.9.2.	Wärmemenge (Kalorimetrie) . . . . .	634
3.9.2.1.	Allgemeines . . . . .	634
3.9.2.2.	Kalorimeterbauarten . . . . .	635
3.9.2.2.1.	Flüssigkeitskalorimeter . . . . .	635
3.9.2.2.2.	Metallkalorimeter . . . . .	636
3.9.2.3.	Kalorimetrische Methoden . . . . .	636
3.9.2.3.1.	Messung bei konstanten Umgebungsverhältnissen . . . . .	636
3.9.2.3.2.	Adiabatische Methode . . . . .	637
3.9.2.3.3.	Kompensationsmethode . . . . .	637
3.9.2.4.	Verbrennungskalorimeter . . . . .	638
3.9.2.4.1.	Verbrennungskalorimeter für feste und flüssige Stoffe . . . . .	638
3.9.2.4.2.	Verbrennungskalorimeter für gasförmige Stoffe . . . . .	639
3.9.2.5.	Messung und Auswertung . . . . .	641
3.9.2.5.1.	Meßgeräte . . . . .	641
3.9.2.5.2.	Wärmekapazität . . . . .	641
3.9.2.5.3.	Wärmeverluste . . . . .	641
3.9.2.5.4.	Versuchsdurchführung . . . . .	642
3.9.2.5.5.	Versuchsauswertung . . . . .	643
3.9.2.5.6.	Genauigkeit, Fehler . . . . .	643

3.9.3.	Wärmestrom, Wärmestromdichte . . . . .	643
3.9.3.1.	Physikalische Grundlagen . . . . .	643
3.9.3.2.	Meßverfahren . . . . .	643
<u>3.9.3.2.1</u>	Wärmestrommessung bei Wärmeleitung . . . . .	643
<u>3.9.3.2.2</u>	Wärmestrommessung bei Wärmedurchgang (Wärmeübergang plus Wärmeleitung). . . . .	644
3.9.3.2.3.	Wärme Strommessung in strömenden Medien.....	645
<u>3.9.3.2.4</u>	Wärmestrommessung bei Wärmestrahlung . . . . .	647
<u>3.9.3.2.5</u>	Sonderformen der Wärmestrommessung . . . . .	648
3.10.	<b>Messung von Konzentration bzw. Zusammensetzung</b>	
3.10.1.	<b>Probeentnahme, Probenaufbereitung</b> . . . . .	650
3.10.1.1.	Problemlose Probenentnahme aus homogenem Gas oder Flüssigkeit unter unkritischen Bedingungen von Druck, Temperatur und Konzentration. . . . .	652
3.10.1.2.	Probenentnahme für homogene Gase und Flüssigkeiten unter extremen Bedingungen von Druck, Temperatur oder Konzentration. . . . .	653
3.10.1.3.	Probenentnahme von Gas-Flüssig- oder Gas-Fest-Gemischen. . . . .	653
3.10.1.4.	Probenentnahme und -aufbereitung an mehrphasigen Systemen unter zugleich extremen physikalischen und chemischen Bedingungen . . . . .	654
3.10.1.5.	Fehler der Probenentnahme unter normalen Bedingungen von Druck, Temperatur, Konzentration und Zeit . . . . .	656
3.10.1.6.	Geräte, Bauteile (Literaturauswahl). . . . .	657
3.10.1.7.	Kosten und Nutzen der kritisch kontrollierten Probenentnahme und -aufbereitung . . . . .	657
<b>3.10.2.</b>	<b>Verschiedene physikalische Methoden zur Gasanalyse.</b>	659
3.10.2.1.	Wärmeleitfähigkeitsmessung . . . . .	659
3.10.2.2.	Paramagnetische Sauerstoffmessung. . . . .	669
3.10.2.2.1	Thermomagnetische Geräte. . . . .	671
3.10.2.2.2	Magnetomechanische Geräte. . . . .	675
3.10.2.2.3	Magnetopneumatische Geräte. . . . .	678
3.10.2.3.	Wärmetönungsmessung. . . . .	681
3.10.2.3.1	Wärmetönungsgeräte mit Verbrennungskammer. . . . .	682
3.10.2.3.2	Wärmetönungsgeräte mit katalytisch wirksamen Drähten. . . . .	684
3.10.2.4.	Flammenionisationsmessung. . . . .	691
<b>3.10.3.</b>	<b>Optische Methoden.</b> . . . . .	696
3.10.3.1.	Einführung . . . . .	696
3.10.3.2.	Refraktometrie und Interferometrie. . . . .	697
3.10.3.2.1	Brechungszahl. . . . .	697
3.10.3.2.2	Anwendung der Refraktometrie. . . . .	699
3.10.3.2.3	Prinzipien der Refraktometer. . . . .	700
3.10.3.2.4	Technische Refraktometer. . . . .	701
3.10.3.3.	Polarmetrie. . . . .	704
3.10.3.3.1	Grundlagen . . . . .	704
3.10.3.3.2	Störende Einflüsse bei polarimetrischen Messungen. . . . .	706
3.10.3.3.3	Spezifische Drehung und Biot'sches Gesetz. . . . .	707
3.10.3.3.4	Polarimetrische Prinzipien . . . . .	708
3.10.3.3.5	Polarimetrische Anordnung . . . . .	709
<b>3.10.3.4.</b>	<b>Spektralphotometrie</b> . . . . .	713
3.10.3.4.1	Grundlagen, Definitionen. . . . .	713
3.10.3.4.2	Meßprinzip, Bauteile. . . . .	714
3.10.3.4.3	Emission. . . . .	717
3.10.3.4.4	Absorptions-Photometrie. . . . .	719

3.10.3.4.5.	Flammenphotometrie . . . . .	721
3.10.3.4.6.	Lumineszenz . . . . .	722
3.10.3.4.7.	Lichtstreuung . . . . .	724
3.10.3.4.8.	Reflexion, Glanz, Farbmessung . . . . .	725
<b>3.10.3.5.</b>	<b>Infrarot- und Ramanspektroskopie</b> . . . . .	<b>731</b>
3.10.3.5.1.	Infrarotspektroskopie . . . . .	731
3.10.3.5.2.	Ramanspektroskopie . . . . .	741
<b>3.10.4.</b>	<b>Feuchte-Messung</b> . . . . .	<b>744</b>
3.10.4.1.	Die Physik feuchter Luft . . . . .	744
3.10.4.2.	Der Wassergehalt fester und flüssiger Stoffe . . . . .	748
3.10.4.3.	Die Auswahl des Meßverfahrens . . . . .	750
3.10.4.4.	Die Luftfeuchtemeßverfahren . . . . .	752
3.10.4.5.	Die Materialfeuchtemeßverfahren . . . . .	756
<b>3.10.5.</b>	<b>Gaschromatographie</b> . . . . .	<b>759</b>
3.10.5.1.	Einleitung . . . . .	759
3.10.5.2.	Prinzip eines Gaschromatographen . . . . .	759
3.10.5.2.1.	Erklärung der gaschromatographischen Trennung . . . . .	760
3.10.5.2.2.	Gaschromatographische Kenngrößen und Beziehungen . . . . .	761
3.10.5.3.	Technischer Aufbau eines Betriebsgaschromatographen . . . . .	766
3.10.5.3.1.	Probengeber . . . . .	766
3.10.5.3.2.	Trennsäule . . . . .	767
3.10.5.3.3.	Detektoren . . . . .	771
3.10.5.4.	Automatisierungseinrichtungen eines Betriebsgaschromatographen . . . . .	773
3.10.5.5.	Analytische Auslegung eines Betriebsgaschromatographen . . . . .	776
<b>3.10.6.</b>	<b>Elektrolytische Leitfähigkeitsmessung</b> . . . . .	<b>777</b>
3.10.6.1.	Theoretische Grundlagen . . . . .	777
3.10.6.2.	Meßtechnik . . . . .	779
3.10.6.2.1.	Meßzellen und Meßwertgeber . . . . .*	779
3.10.6.2.2.	Meßschaltungen für Kohlrausch-Zellen . . . . .	781
3.10.6.2.3.	Kontaktlose Methoden der Leitfähigkeitsmessung . . . . .	783
<b>3.10.7.</b>	<b>Potentiometrische Methoden</b> . . . . .	<b>785</b>
3.10.7.1.	pH-Messungen . . . . .	787
3.10.7.1.1.	pH-Meßtechnik . . . . .	790
3.10.7.2.	Ionenselektive Elektroden . . . . .	795
3.10.7.3.	Redoxpotentialmessung . . . . .	800
<b>3.10.8.</b>	<b>Titrationen</b> . . . . .	<b>804</b>
3.10.8.1.	Chemische Reaktionen bei Titrationen . . . . .	804
3.10.8.2.	Der Titrationsendpunkt . . . . .	804
3.10.8.3.	Titrationsskurve . . . . .	804
3.10.8.4.	Die Indikationen des Titrationsendpunktes . . . . .	806
3.10.8.5.	Titriertechnik und Geräte . . . . .	808
3.10.8.6.	Praxis des Titrierens . . . . .	809
<b>3.10.9.</b>	<b>Messung von Schwebstoffen</b> . . . . .	<b>816</b>
3.10.9.1.	Einführung . . . . .	816
3.10.9.2.	Staubgehaltsbestimmung . . . . .	817
3.10.9.2.1.	Staubkonzentrationsmessung . . . . .	817
3.10.9.2.2.	Staubniederschlagsmessung . . . . .	824
3.10.9.3.	Korngrößenmeßtechnik . . . . .	826
3.10.9.3.1.	Übersicht . . . . .	826
3.10.9.3.2.	Mikroskopische Analysen . . . . .	829
3.10.9.3.3.	Prüfsiebung . . . . .	831
3.10.9.3.4.	Sedimentations- und Sichtverfahren . . . . .	832
3.10.9.3.5.	Teilchenzählgeräte . . . . .	836
3.10.9.4.	Oberflächenmeßtechnik . . . . .	837

<b>3.11.</b>	<b>Messungen im Zusammenhang mit ionisierenden Strahlungen</b>	
3.11.1.	Grundlagen . . . . .	841
3.11.2.	Meßgrößen und Einheiten . . . . .	841
3.11.2.1.	Beschreibung des Strahlungsfeldes . . . . .	841
3.11.2.1.1.	Strahlungsfeldgrößen . . . . .	842
3.11.2.1.2.	Dosimetrische Größen . . . . .	843
3.11.2.1.3.	Charakteristische Konstanten von Radionukliden . . . . .	844
3.11.3.	Meßeffekte, Meßverfahren und Geräte . . . . .	845
3.11.3.1.	Ionisationseffekte in Gasen . . . . .	845
3.11.3.1.1.	Ionisationskammern . . . . .	847
3.11.3.1.2.	Proportionalzählrohre . . . . .	848
3.11.3.1.3.	Auslösezählrohre . . . . .	848
3.11.3.2.	Strahleneffekte in Festkörpern . . . . .	849
3.11.3.2.1.	Halbleiterdetektoren . . . . .	849
3.11.3.2.2.	Szintillationszähler . . . . .	849
3.11.3.2.3.	Thermolumineszenzdetektoren . . . . .	849
3.11.3.2.4.	Radiophotolumineszenzdetektoren . . . . .	850
3.11.3.2.5.	FilmDOSimetrie . . . . .	850
3.11.3.2.6.	Chemische Dosimetrie . . . . .	851
3.11.3.2.7.	Exoelektronendosimetrie . . . . .	851
3.11.4.	Spezielle Anwendung . . . . .	851
3.11.4.1.	Tracermethode . . . . .	851
3.11.4.2.	Aktivierungsanalyse . . . . .	852
3.11.4.3.	Strahlenschutzmessungen . . . . .	853
3.11.4.3.1.	Allgemeines . . . . .	853
3.11.4.3.2.	Messung der Ortsdosis . . . . .	853
3.11.4.3.3.	Messung der Personendosen . . . . .	855
3.11.4.3.4.	Messung von Aktivitäten . . . . .	856
<b>3.12.</b>	<b>Lichtmessung</b>	
3.12.1.	Lichtempfindliche Empfänger . . . . .	858
3.12.1.1.	Photoelektronisches Bauelement . . . . .	858
3.12.1.1.1.	Photoelement . . . . .	858
3.12.1.1.2.	Photozelle . . . . .	859
3.12.1.1.3.	Photovervielfacher . . . . .	860
3.12.1.1.4.	Photowiderstand . . . . .	860
3.12.1.1.5.	Übrige Empfänger . . . . .	860
3.12.1.2.	Thermische Strahlungsempfänger . . . . .	860
3.12.1.2.1.	Thermoelement . . . . .	860
3.12.1.2.2.	Bolometer . . . . .	860
3.12.1.2.3.	Pyroelektrische Empfänger . . . . .	860
3.12.2.	Physikalische Meßverfahren . . . . .	860
3.12.2.1.	Meßgrundlagen . . . . .	860
3.12.2.2.	V (X) - Anpassung . . . . .	861
3.12.2.3.	Räumliche Bewertung . . . . .	861
3.12.2.4.	Konstanz der Anzeige . . . . .	862
3.12.2.5.	Temperaturabhängigkeit . . . . .	862
3.12.2.6.	Frequenzabhängigkeit und Trägheit . . . . .	862
3.12.2.7.	Polarisationsunabhängigkeit . . . . .	863
3.12.3.	Messung der Beleuchtungsstärke E . . . . .	863
3.12.4.	Messung der Lichtstärke und Lichtstärkeverteilung . . . . .	864
3.12.4.1.	Lichtstärke I . . . . .	864
3.12.4.2.	Lichtstärkeverteilung . . . . .	865

3.12.5.	Lichtstromermittlung	866
3.12.5.1.	Ulbrichtsche Kugel	866
3.12.5.2.	Bestimmung des Lichtstromes aus der Lichtstärke- oder Beleuchtungsstärkeverteilung	868
3.12.6.	Messung der Leuchtdichte L	868
3.12.6.1.	Grundsätzliches	868
3.12.6.2.	Physikalische Messung	869
3.12.6.3.	Kalibrieren	869
3.12.6.4.	Handelsübliche Leuchtdichtemesser	869
3.12.7.	Messungen an Lampen	870
3.12.7.1.	Allgemeine Bedingungen	870
3.12.7.1.1.	Betrieb der zu messenden Lampe	870
3.12.7.1.2.	Elektrische Messungen	870
3.12.7.2.	Messungen an Glühlampen	870
3.12.7.3.	Messung an Entladungslampen	870
3.12.8.	Messungen an Leuchten	871
3.12.8.1.	Leuchtenwirkungsgrad	871
3.12.8.1.1.	Betriebswirkungsgrad der Leuchte	871
3.12.8.1.2.	Arbeits- und Betriebswirkungsgrad einer Leuchte	871
3.12.8.1.3.	Optischer Wirkungsgrad einer Leuchte	871
3.12.8.2.	Licht st ärkenverteilung	872
3.12.8.3.	Leuchtdichteverteilung	872
3.12.8.4.	Messungen an Scheinwerfern	872
3.12.9.	Lichttechnische Stoffkennzahlen	872
3.12.9.1.	p- und r-Messung	872
3.12.9.2.	Messung von Streuvermögen, Halbwertswinkel, Leuchtdichtefaktor und Leuchtdichtekoeffizient	873
3.12.9.3.	Messungen an Reflexstoffen und Rückstrahlern	874
3.12.10.	Strahlungsmessung	875
3.12.11.	Spektralmessungen	875
3.12.11.1.	Spektrale Zerlegung	875
3.12.11.2.	Strahler und Spektralapparat	875
3.12.11.3.	Spektrale Emission von Strahlern	875
3.12.11.4.	Spektrale Empfindlichkeit von Empfängern	875
3.12.12.	Farbmessung	876
3.12.12.1.	Grundlagen	876
3.12.12.2.	Spektralverfahren	877
3.12.12.3.	Dreibereichsverfahren	877
3.12.12.4.	Meßbedingungen für Körperfarben	877
3.12.12.5.	Meßbedingungen für Lichtquellen	877
3.13.	Lärmmessung	
3.13.1.	Meßgrößen	879
3.13.1.1.	Definition der Pegel	879
3.13.1.2.	Rechnen mit Pegeln	879
3.13.1.3.	Subjektive Maßstäbe	881
3.13.1.3.1.	Lautstärke	881
3.13.1.3.2.	Lärmstärke	882
3.13.1.3.3.	Lautheit	882
3.13.1.3.4.	Bewertete Schallpegel	883
3.13.2.	Meßgeräte	883
3.13.2.1.	Meßmikrophone	883
3.13.2.1.1.	Mikrophonarten	883
3.13.2.1.2.	Windschutz	884

3.13.2.2.	Schallpegelmesser. . . . .	884
3.13 2.2.1.	Verstärkungsgrad. . . . .	884
3.13. 2.2.2.	Gleichrichterdynamik. . . . .	885
3.13.2,3.	Füiter. . . . .	885
3.13. 2.3.1.	Filter konstanter relativer Bandbreite. . . . .	885
3.13. 2.3.2.	Filter konstanter absoluter Bandbreite. . . . .	886
3.13. 2.3.3.	Analysegenauigkeit, Zeitbedarf. . . . .	886
3.13.2.4.	Aufzeichnungsmethoden. . . . .	887
3.13 2.4.1.	Originalsignale. . . . .	887
3.13. 2.4.2.	Meßgrößen. . . . .	887
3.13 2.4.3.	Darstellung der Meßresultate. . . . .	887
3.13.2 5.	Eichgeräte. . . . .	888
3.13.3.	Meßverfahren. . . . .	
3.13.3 1.	Grundlagen. . . . .	
3.13. 3.1.1.	Schallfeldtypen. . . . .	888
3.13. 2.1.2.	Nahfeld- und Fernfeldmessungen. . . . .	889
3.13. 3.1.3.	Meßgenauigkeit. . . . .	889
3.13.3 2.	Schallpegelmessung. . . . .	890
3.13.3 3.	Schall-Leistungsmessung. . . . .	890
3.13 3.3.1.	Freifeldmethode. . . . .	890
3.13 3.3.2.	Hallraummethode. . . . .	891
3.13 3.3.3.	Ersatzquellenmethode. . . . .	892
3.13.3 4.	Dauermessungen. . . . .	892
3.13 3.4.1.	Schallpegelstatistik. . . . .	892
3.13 3.4.2.	Aequivalenter Dauerschallpegel. . . . .	893
3.13.3 5.	Meßmethoden für spezifische Lärmquellen. . . . .	893
3.13 3.5.1.	Fahrzeuge. . . . .	893
3.13 3.5.2.	Maschinen und Anlagen. . . . .	894
	Stichwortverzeichnis. . . . .	895