

Kamprath-Reihe



dandelion.com

© 2008 AGI-Information Management Consultants
May be used for personal purposes only or by
libraries associated to dandelion.com network.

Professor Dr. Adalbert Freudenberger

Prozeßmeßtechnik

Vogel Buchverlag

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Die wichtigsten Formelzeichen und Einheiten	13
1 Einführung	15
1.1 Vorbemerkungen	15
1.2 Elektrisches Messen nichtelektrischer Größen	16
1.3 Eigenschaften von Meßgeräten	17
1.3.1 Statisches Verhalten	17
1.3.2 Dynamisches Verhalten	18
1.4 Signale und Signalübertragung	19
1.5 Meßstellen in der Prozeßmeßtechnik	21
1.6 Auswahl und Einsatz von Prozeßmeßgeräten	23
2 Meßabweichungen und meßtechnische Grundbegriffe	25
2.1 Meßabweichungen	25
2.1.1 Mehrfachmessungen	25
2.1.2 Einmalige Messungen	26
2.2 Wahrscheinliche Werte von Meßgrößen	26
2.3 Arithmetisches Mittel und Erwartungswert	27
2.4 Schätzwerte statistischer Parameter	28
2.5 Fortpflanzung von Meßabweichungen	28
3 Temperaturmessung	31
3.1 Temperaturskalen	31
3.1.1 Thermodynamische Temperaturskala	31
3.1.2 Internationale praktische Temperaturskala	32
3.2 Physikalische Prinzipien der Temperaturmessung	32
3.3 Thermoelemente	33
3.3.1 Thermoelektrischer Effekt	33
3.3.2 Temperaturmessung mit Thermoelementen	34
3.3.3 Möglichkeiten der Vergleichsstellenkompensation	37
3.3.4 Ausgleichsleitungen	38
3.3.5 Technische Ausführung von Thermoelementen	39
3.3.5.1 Thermoelemente als Drähte bzw. Stäbe	39
3.3.5.2 Mantelthermoelemente	40
3.3.6 Meßeinsätze	40
3.3.7 Auswahlkriterien für Thermoelemente	41
3.3.8 Anwendungsbeispiele für Thermoelemente	42
3.4 Widerstandsthermometer	43
3.4.1 Allgemeines	43
3.4.2 Widerstandsmaterialien	43
3.4.3 Temperaturabhängigkeit	44
3.4.4 Genauigkeitsklassen	44
3.4.5 Bauformen von Widerstandsthermometern	45
3.4.6 Eigenerwärmung und Ansprechzeiten	48
3.4.7 Meßschaltungen mit Widerstandsthermometern	48
3.5 Kompensationsverfahren	50
3.6 Einbau von Meßfühlern in Rohrleitungen und Behälter	52
3.7 Halbleiter-Widerstandsthermometer	52
3.7.1 NTCs	52

3.7.2	PTCs	54
3.7.3	Dioden und Transistoren	54
3.7.4	Silizium-Temperaturfühler	54
3.8	Temperatur-Meßumformer	54
3.9	Weitere Verfahren der Temperaturmessung	56
3.9.1	Schwingquarz-Thermometer (QuaT)	56
3.9.2	Lumineszenzthermometer mit Faseroptik	59
3.9.3	Rauschthermometer	62
3.10	Strahlungsthermometrie	64
3.10.1	Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie	64
3.10.2	Plancksches Strahlungsgesetz	65
3.10.3	Prinzipien der Strahlungspyrometrie	68
3.10.4	Auswahlkriterien für Pyrometer	70
3.10.5	Thermographie	71
4	Druckmessung	73
4.1	Einführung: Definition, Einheiten	73
4.2	Prinzipielles zur Druckmessung	73
4.2.1	Druckarten	73
4.2.2	Ruhende Fluide im Schwerfeld	74
4.2.3	Strömende Fluide im Schwerfeld	74
4.3	Einfache Druckmeßgeräte	75
4.4	Auslenkung federelastischer kreisförmiger Membranen unter Druck	77
4.5	Dehnungsmeßstreifen (DMS)	80
4.5.1	Theorie der DMS	80
4.5.2	Druckmessung mit DMS	81
4.5.3	Technologie der DMS	84
4.6	Piezoresistive Druckaufnehmer	84
4.6.1	Eigenschaften piezoresistiver Drucksensoren	85
4.6.2	Herstellung und Aufbau piezoresistiver Drucksensoren	86
4.6.3	Temperatureinfluß	88
4.6.4	Bauformen piezoresistiver Meßumformer	89
4.6.5	Einsatz- und Auswahlkriterien	90
4.7	Piezoelektrische Drucksensoren	92
4.8	Kapazitive Druckaufnehmer	92
4.8.1	Arbeitsprinzip	92
4.8.2	Technische Ausführung von kapazitiven Druckmeßumformern	94
4.8.3	Temperaturkompensation	94
4.8.4	Einsatzbereiche der kapazitiven Meßzellen	97
4.9	Druckmessung mit induktivem Abgriff	97
4.10	Weitere Meßverfahren für Druck	98
4.10.1	Resonanzdraht-Prinzip	98
4.10.2	Druckmessung mit Schwingquarzen	98
4.10.3	Oberflächenwellen	99
4.11	Druckmittler	100
4.12	Pneumatische Druckmeßumformer	101
4.13	Hinweise zum Einbau von Druckmeßeinrichtungen	101
5	Füllstandsmessung	103
5.1	Aufgaben der Füllstandsmessung	103
5.1.1	Anforderungen an Füllstands-Meßeinrichtungen	103
5.1.2	Verfahren der Füllstandsmessung	103
5.2	Einfache Meßverfahren	104
5.2.1	Peilstäbe	104
5.2.2	Schwimmermeßgeräte	105
5.2.3	Elektromechanische Lotsysteme	107
5.2.4	Tastplattenmessung	108

5.3	Verdrängergeräte	110
5.4	Hydrostatische Füllstandsmessungen	111
5.4.1	Differenzdruckmessung	111
5.4.2	Messung mit Spülgasen	112
5.4.3	Dichtekorrektur	113
5.4.4	Spezialausführungen der hydrostatischen Füllstandsmessung	115
5.5	Behälterwägungen	115
5.6	Kapazitive Meßverfahren	115
5.6.1	Grundlagen	115
5.6.2	Nichtleitfähige Füllgüter	116
5.6.3	Leitfähige Füllgüter	116
5.6.4	Meßsonden	117
5.7	Konduktive Füllstandsmessung	119
5.8	Radiometrische Füllstandsmessung	120
5.8.1	Allgemeines	120
5.8.2	Quantitative Beschreibung	120
5.8.3	Radioaktive Präparate und Abschirmungen	122
5.8.4	Detektoren	123
5.8.5	Meßanordnungen	124
5.8.6	Meßumformer	125
5.8.7	Rechtliche Bestimmungen	126
5.9	Laufzeitmessungen	126
5.9.1	Allgemeines	126
5.9.2	Messungen mit Ultraschall	128
5.9.2.1	Ultraschallsender und -empfänger	128
5.9.2.2	Meßanordnung	128
5.9.2.3	Signalauswertung	129
5.9.2.4	Reichweite der Meßeinrichtung	130
5.9.2.5	Meßgenauigkeit und Fehlereinflüsse	131
5.9.2.6	Unterdrückung von Störsignalen	132
5.9.2.7	Weitere Einsatzmöglichkeiten der Ultraschall-Meßverfahren	137
5.9.3	Füllstandsmessung mit Mikrowellen	138
5.9.3.1	Eigenschaften der Mikrowellen	138
5.9.3.2	Ausführungsformen und Meßanordnungen	139
5.9.3.3	Meßverfahren	140
5.9.3.4	Reichweiten und Fehlereinflüsse	145
5.10	Füllstands-Grenzüberwachungen	146
5.10.1	Berührende Meßverfahren	146
5.10.1.1	Vibrationsgrenzschalter	146
5.10.1.2	Kaltleiter-Meßfühler	147
5.10.1.3	Optoelektronische Grenzschalter	147
5.10.2	Berührungslos arbeitende Grenzstand-Detektoren	148
5.10.2.1	Ultraschall-Abklingzeit	149
5.10.2.2	Ultraschall- Mehrzwecksensor	149
5.10.3	Spezielle Sicherheitsaspekte bei Füllstands-Grenzschaltern	149
6	Mengen- und Durchflußmessung	151
6.1	Mengenmessungen	152
6.1.1	Unmittelbare Volumenzähler für Flüssigkeiten	152
6.1.1.1	Kipp- und Trommelzähler	152
6.1.1.2	Hubkolbenzähler	152
6.1.1.3	Ringkolbenzähler	153
6.1.1.4	Ovalradzähler	154
6.1.1.5	Drehschieberzähler	155
6.1.1.6	Weitere unmittelbare Volumenzähler	155
6.1.2	Unmittelbare Zähler für Gase	155
6.1.3	Genauigkeit der unmittelbaren Volumenmesser	156

6.1.4	Mittelbare Volumenzähler	156
6.1.4.1	Flügelradzähler	156
6.1.4.2	Turbinenradzähler	157
6.1.4.3	Genauigkeit der mittelbaren Volumenmesser	157
6.1.4.4	Wirbelzähler	157
6.2	Durchflußmessungen	160
6.2.1	Wirkdruckmessungen	160
6.2.2	Wirkdruck-Meßanordnungen	164
6.2.3	Meßgenauigkeiten von Wirkdruckanordnungen	166
6.2.4	Überkritische Düsen	168
6.2.5	Messung in offenen Gerinnen	169
6.2.6	Arbeitsprinzip von Schwebekörper-Durchflußmessern	171
6.2.7	Umrechnung auf verschiedene Betriebsmedien	173
6.2.8	Ausführungsformen von Schwebekörper-Durchflußmessern	175
6.3	Rohrströmungen	176
6.4	Durchflußmessungen mit Ultraschall	179
6.4.1	Laufzeitverfahren	179
6.4.2	Berücksichtigung des Strömungsprofils	183
6.4.3	Driftverfahren	185
6.4.4	Dopplerverfahren	185
6.4.5	Stroboskop-Verfahren	186
6.4.6	Geräteausführungen	187
6.5	Magnetisch-induktive Durchfluß-Meßverfahren	188
6.5.1	Einsatzbereiche	188
6.5.2	Arbeitsprinzip der induktiven Durchflußmessung	189
6.5.3	Magnetfelderregung	190
6.5.4	Signalabgriff	193
6.5.5	Form des Magnetfeldes	194
6.5.6	Meßgenauigkeit und weitere Störeinflüsse	195
6.5.7	Bauformen	197
6.5.8	MID-Sonden	198
6.5.9	Montage- und Einbauhinweise	198
6.6	Massendurchflußmessung	200
6.6.1	Massendurchflußmesser nach dem Coriolis-Prinzip	200
6.6.1.1	Ursache der Coriolis-Kraft	200
6.6.1.2	Anwendung auf Rohrströmungen	200
6.6.1.3	Einfaches Modell eines Coriolis-Massendurchfluß-Meßgerätes	203
6.6.1.4	Bauformen der Coriolis-Massendurchflußmesser	204
6.6.1.5	Bevorzugte Einsatzgebiete	206
6.6.2	Thermische Gas-Massenstrommesser	208
6.6.2.1	Heißfilm-Anemometer	210
6.6.2.2	Technische Ausführungen	210
6.6.2.3	Einsatzgebiete	210
6.6.3	Kapillarsysteme	211
6.6.3.1	Funktionsprinzip	211
6.6.3.2	Einsatzgebiete	212
6.6.3.3	Gas-Konversionsfaktoren	212
6.6.4	Theoretische Modellierung eines thermischen Massendurchflußmessers	214
6.7	Strömungswächter	217
6.8	Auswahl von Meßverfahren zur Bestimmung des Durchflusses	218
7	Meßumformertechnik	219
7.1	Historische Entwicklung	219
7.2	Einheitssignale	219
7.3	Hilfsenergieversorgung und Signalübertragung	221
7.4	Explosionsschutz	222
7.5	Zweileiter-Meßumformer	222

7.6	Digitale Meßumformer	223
7.7	Entwicklung digitaler Informationsübertragung	226
7.8	Schutz der Meßumformer	226
Anhänge		
Anhang 1	Thermospannungen nach IEC 584 Teil 1	231
Anhang 2	Grundwerte nach DIN EN 60 751 (ITS 90) für Pt100-Temperatursensoren	234
Anhang 3	Strömungsgeschwindigkeit und Durchfluß bei Rohrleitungen	236
Anhang 4	Gas Conversion Factors for Thermal Mass Flow Meters	237
Quellenverzeichnis		
Verzeichnis der zitierten Normen und Richtlinien		
Stichwortverzeichnis		