
Inhaltsverzeichnis

1	Einführung (V. Gundelach, L. Litz)	1
1.1	Prozeßmeßtechnik als Baustein der Prozeßautomatisierung	1
1.2	Anwenderanforderungen an die moderne Prozeßmeßtechnik	5
1.3	Begriffsdefinitionen im meßtechnischen Umfeld	8
2	Messen von Zustands- und Quantitätsgrößen	11
2.1	Temperaturmessung (H. Rathert)	11
2.1.1	Überblick	11
2.1.2	Physikalische Meßprinzipien	12
2.1.2.1	Widerstandsthermometer	13
2.1.2.2	Thermoelemente	15
2.1.2.3	Strahlungsthermometer	16
2.1.3	Aufgaben, Meßbedingungen, Merkmale der Meßgrößen	17
2.1.4	Einbau von Thermometern	20
2.1.4.1	Thermometermeßeinsätze	20
2.1.4.2	Thermometerschutzrohre	21
2.1.4.3	Temperaturmessung im Rührkesselreaktor	23
2.1.5	Gerätechnik der Meßwertverarbeitung	24
2.1.5.1	Zweileiter-Kopftransmitter für Widerstandsthermometer	26
2.1.5.2	Zweileiter-Kopftransmitter für Thermoelemente	28
2.1.6	Beispiel Destillationskolonne	29
	Literatur	31
2.2	Druck- und Differenzdruckmessung (H. Gehlert)	31
2.2.1	Grundlagen	31
2.2.1.1	Einsatzbereiche	31
2.2.1.2	Grundbegriffe	32
2.2.2	Meßgeräte	34
2.2.2.1	Sensortechnologien	34
2.2.2.2	Meßgerätevarianten für Systemdruck	36
2.2.2.3	Meßgeräte für Differenzdruck	41
	Literatur	46
2.3	Durchflußmessung (D. Fehler)	46
2.3.1	Einführung	46
2.3.1.1	Bezeichnungen, Einheiten	47

2.3.1.2	Allgemeine strömungsmechanische Grundlagen, Definitionen	47
2.3.1.3	Gliederung der Meßverfahren anhand physikalischer Meßeffekte	52
2.3.2	Meßverfahren mit Ausnutzung strömungsmechanischer Effekte	52
2.3.2.1	Wirkdruckverfahren 1: Blenden und Düsen	53
2.3.2.2	Wirkdruckverfahren 2: Staudrucksonden	55
2.3.2.3	Wirkdruckverfahren 3: Schwebekörper	58
2.3.2.4	Turbinenzähler	60
2.3.2.5	Wirbelzähler	62
2.3.2.6	Dralldurchflußmesser	65
2.3.3	Volumenzähler	66
2.3.3.1	Auslaufzähler	66
2.3.3.2	Verdrängerzähler	67
2.3.4	Magnetisch induktive Durchflußmesser (MID)	69
2.3.5	Akustische Meßverfahren (Ultraschall-Durchflußmessung) . .	72
2.3.5.1	Laufzeitverfahren	72
2.3.5.2	Doppler-Verfahren	75
2.3.6	Thermische Meßverfahren	77
2.3.6.1	Veränderung der Temperaturverteilung	77
2.3.6.2	Tracer-Verfahren: Laufzeitmessung	78
2.3.6.3	Hitzdraht-Anemometer: Heißfilmdurchflußmeßsysteme	79
2.3.7	Coriolis-Durchflußmesser	80
2.3.7.1	Coriolis-Durchflußmessung für Schüttgüter (rotierende Bezugssysteme)	82
2.3.7.2	Coriolis-Durchflußmessung für Flüssigkeiten und Gase (schwingende Bezugssysteme)	83
2.3.8	Laser-Doppler-Anemometer/Laser-Interferenz-Anemometer .	85
2.3.9	Korrelationsdurchflußmessung	87
2.3.10	Schlußbemerkung	90
	Literatur	90
2.4	Füllstandmessung (G. Kötze, V. Gundelach)	91
2.4.1	Einleitung	91
2.4.2	Geräteausführungen	91
2.4.2.1	Elektromechanisches Lotsystem	93
2.4.2.2	Beeinflussung von Rotation oder Vibration, Resonanzdämpfung	94
2.4.2.3	Schwimmer und Auftriebskörper	96
2.4.2.4	Hydrostatische Meßmethoden	97
2.4.2.5	Kapazitive Füllstandmessung	99
2.4.2.6	Konduktive Füllstandmessung	100
2.4.2.7	Messung mit Ultraschall	100
2.4.2.8	Radiometrische Füllstandmessung	102
2.4.2.9	Messung mit Mikrowellen (Radar, geführte HF-Impulse)	103
	Literatur	106

2.5	Wägetechnik (K. Horn)	107
2.5.1	Grundlagen und Begriffe	107
2.5.1.1	Menge und Masse	107
2.5.1.2	Träge Masse und Trägheitswaagen	107
2.5.1.3	Schwere Massen und Schwerkraftwaagen	108
2.5.1.4	Massestrom und Durchsatz	110
2.5.2	Waagengattungen	111
2.5.2.1	Mechanische Hebelwaagen	111
2.5.2.2	Elektromechanische Waagen	111
2.5.3	Wichtige Wägezellen-Prinzipien	114
2.5.3.1	Elektrodynamische Wägezellen	114
2.5.3.2	Dehnungsmeßstreifenwägezellen	115
2.5.4	Elektrische Auswerteeinrichtungen in Ausschlagverfahren	121
2.5.4.1	Analoge Meßsignalbildung	123
2.5.4.2	Analog-Digital-Umsetzung	124
2.5.4.3	Sicherheitsbetrachtungen zu den Ausschlagverfahren	124
2.5.5	Auswerteeinrichtungen im Kompensationsverfahren	125
2.5.6	Intelligente Wägezellen	126
2.5.7	Durchsatzmessung fester Wägegüter	126
2.5.7.1	Prallplatten-Durchsatzmeßeinrichtungen	127
2.5.7.2	Meßschurren-Durchsatzmeßeinrichtungen	127
2.5.7.3	Förderbandwaagen	129
2.5.7.4	Dosierbandwaagen	132
2.5.7.5	Impulsförderbandwaagen	133
2.5.8	Strukturen von Wägeanlagen	134
2.5.8.1	Nettowaagen	135
2.5.8.2	Abfüllwaagen	135
2.5.8.3	Mehrkomponenten-Gattier-Wägeanlagen	135
2.5.8.4	Mehrkomponenten-Dosieranlagen	137
2.5.9	Prozeßsteuerung von Wägeanlagen	138
2.5.10	Verwendete Symbole und Abkürzungen	138
	Literatur	139
3	Prozeßanalysenmeßtechnik	141
3.1	Probetechnik (G. Oesterle)	141
3.1.1	Einleitung	141
3.1.2	Wahl des Entnahme- bzw. Einbauortes	144
3.1.3	Entnahmeeinrichtungen	145
3.1.4	Probenaufbereitung	147
3.1.4.1	Allgemeines	147
3.1.4.2	Entfernen von Festkörpern	149
3.1.4.3	Entfernen kondensierbarer Bestandteile, Trocknen	153
3.1.4.4	Entfernen von Querempfindlichkeits- und Störkomponenten	154
3.1.4.5	Druckminderung und Druckerhöhung	157

3.1.4.6	Probentransport und Probenleitung	158
3.1.4.7	Abstrombehandlung	160
3.1.5	Rückblick	161
	Literatur	162
3.2	Messung der Dichte in Flüssigkeiten und Gasen (A. Rother) . .	163
3.2.1	Allgemeine Grundlagen, Begriffe, Einheiten und Bedeutung . .	163
3.2.2	Meßprinzipien der Dichtemeßgeräte und ihre technischen Spezifikationen	164
3.2.2.1	Allgemeine Geräteeigenschaften	164
3.2.2.2	Schwingungsmethode für Flüssigkeiten und Gase	166
3.2.2.3	Radiometrische Dichtemessung	172
3.2.2.4	Auftriebsmethode für Gase	174
3.2.2.5	Dichtemessung mit Coriolis-Durchflußmessern	175
3.2.2.6	Gasdichtebestimmung mit Prozeßgaschromatographen	176
3.2.3	Fragen aus der Anwendungspraxis	177
3.2.3.1	Aufgabengebiete	177
3.2.3.2	Aufgabenstellungen	179
3.2.3.3	Planungsaspekte	179
3.2.3.4	Ausgeführte Dichtemeßsysteme	181
3.2.4	Tabellen: Dichtemeßgeräte für Gase und Flüssigkeiten	184
3.3	Wärmeleitfähigkeit von Gasen (U. Deptolla)	189
3.3.1	Einleitung	189
3.3.2	Grundlagen	189
3.3.3	Aufbau der Meßeinrichtung	190
3.3.4	Anwendungen	192
3.3.4.1	H ₂ -Spurenmessung bei der Chloralkalielektrolyse	193
	Literatur	194
3.4	Flammenionisationsdetektor (FID) (U. Deptolla)	194
3.4.1	Einleitung	194
3.4.2	Grundlagen	195
3.4.3	Aufbau eines FID	196
3.4.4	Anwendungsbeispiele	199
3.5	Sauerstoffmessung in Gasen (K. Schorpp)	201
3.5.1	Paramagnetische Sauerstoffmessung	201
3.5.1.1	Grundlagen	201
3.5.1.2	Sauerstoffanalysatoren nach der thermomagnetischen Methode	202
3.5.1.3	Sauerstoffanalysatoren nach der magnetopneumatischen und magnetomechanischen Methode	205
3.5.1.4	Geräteeigenschaften und Anwendungen der verschiedenen paramagnetischen Sauerstoffanalysatoren	210
3.5.2	Zirkondioxid-Sonde	213

3.5.2.1	Grundlagen	213
3.5.2.2	Meßmethoden	214
3.5.3	Gasanalysatoren mit elektrochemischen Sauerstoffsensoren	216
3.5.3.1	Grundlagen	216
3.5.3.2	Eigenschaften und Anwendungen	218
	Literatur	219
3.6	Messung der Feuchte (L. Kessner, G. Oesterle)	219
3.6.1	Einleitung	219
3.6.1.1	Warum Feuchtemessung?	219
3.6.1.2	Gebräuchliche Maßeinheiten	220
3.6.2	Grundsätzliche Möglichkeiten zur Bestimmung des Wassergehaltes	221
3.6.2.1	Absolutverfahren	221
3.6.2.2	Indirekte Meßverfahren	221
3.6.3	Verfahren und Geräte zur Messung der Feuchte von Gasen (Hygrometer)	222
3.6.3.1	Messung der Taupunkttemperatur	222
3.6.3.2	Hygrometer mit Schwingquarz (piezoelektrische Hygrometer)	224
3.6.3.3	Kapazitive Hygrometer/Metalloxidsensoren	225
3.6.3.4	Elektrolysehygrometer (coulometrische Hygrometer)	226
3.6.3.5	Optische Feuchtemeßgeräte	227
3.6.3.6	Kapazitive Polymerhygrometer	227
3.6.3.7	Lithiumchloridtaupunkthygrometer	228
3.6.3.8	Verdunstungsmeßverfahren (Psychrometer)	229
3.6.3.9	Leitfähigkeitshygrometer	230
3.6.3.10	Probleme bei der Gasfeuchtemessung	230
3.6.4	Feuchtemessung in nicht-wäßrigen Flüssigkeiten	231
3.6.4.1	Karl-Fischer-Titration	231
3.6.4.2	Metalloxidsensoren	232
3.6.4.3	Infrarotabsorption	232
3.6.5	Feuchtemessung in festen Stoffen (Schüttgüter, Folien, Papier und andere Bahnen)	233
3.6.5.1	Besondere Probleme bei der Feuchtemessung in festen Stoffen	233
3.6.5.2	Feuchtemessung nach dem kapazitiven Verfahren	234
3.6.5.3	Feuchtemessung mit Mikrowellen	235
3.6.5.4	Feuchtemessung durch Infrarotspektroskopie	236
3.6.5.5	Radiometrische Feuchtemessung	236
3.6.6	Meßstellen zur Wasserbestimmung im Prozeß	238
3.6.6.1	Aufbau von Meßstellen zur kontinuierlichen Feuchtemessung in Prozessen	238
3.6.6.2	Wartung und Überprüfung von Feuchtemeßstellen	238
	Literatur	239
3.7	Prozeßgaschromatographie (T. Maurer, H. Mahler)	240
3.7.1	Prozeßgaschromatographie – ein Überblick	240

3.7.1.1	Die Rolle der Gaschromatographie in der Prozeßanalysetechnik	240
3.7.1.2	Grundlagen der Gaschromatographie	241
3.7.1.3	Begriffe und Kenngrößen	243
3.7.1.4	Erarbeitung von chromatographischen Methoden	244
3.7.2	Funktionselemente einer chromatographischen Prozeßanalysenanlage	245
3.7.2.1	Grundsätzlicher Aufbau	245
3.7.2.2	Analytische Bausteine eines Prozeßgaschromatographen	246
3.7.3	Spezielle Anforderungen des prozeßmäßigen Einsatzes an das chromatographische System	255
3.7.3.1	Probenspezifische Erfordernisse	255
3.7.3.2	Analytische Kriterien	260
3.7.3.3	Gerätekommunikation	262
3.7.4	Industrielle Applikationsbeispiele	266
3.7.4.1	Bestimmung der H ₂ S- und SO ₂ -Konzentration im Prozeßgas einer Schwefelrückgewinnungsanlage (Claus-Verfahren)	266
3.7.4.2	Analyse von p-Kresol und Kresolderivaten zur Steuerung einer Destillationsanlage	268
3.7.4.3	PINA-Analytik eines Leichtbenzins	269
3.7.4.4	Analyse von H ₂ S- und CS ₂ -Spuren zur Optimierung der Abgasreinigung	270
3.7.4.5	BTEX-Messung im Abgas von Anlagen (Emissionen) oder in der Umgebungsluft (Immisionen)	271
3.7.4.6	Vinylchlorid-Monitoring in der Raumluft von Industrieanlagen	272
3.7.5	Entwicklungen und Trends	273
	Literatur	274
3.8	Nichtdispersive Infrarot (NDIR-) Photometer (H. J. Seiberth, V. Wander)	275
3.8.1	Grundlagen	275
3.8.1.1	Einleitung	275
3.8.1.2	Molekülspektren	275
3.8.1.3	Strahlungsabsorption	278
3.8.1.4	Referenzstrahlengang, Stoff- bzw. Wellenlängenvergleich	279
3.8.2	Meßverfahren der NDIR-Technik	280
3.8.2.1	Meßanordnungen	281
3.8.2.2	Gerätebeispiele	289
3.8.3	Anwendungen	297
3.8.3.1	Einfachere Meßaufgaben	297
3.8.3.2	Geräteinsatz in der Prozeßtechnik	297
	Literatur	300
3.9	Ultraviolett/Visible (UV/VIS)-Photometer (U. Deptolla)	300
3.9.1	Einleitung	300
3.9.2	Aufbau von Photometern	301

3.9.2.1	Entladungslampen als Strahlungsquellen	301
3.9.2.2	Selektivierungsmethoden	302
3.9.2.3	Detektoren	303
3.9.2.4	Signalverarbeitung zur Auswertung	303
3.9.3	Ausführungsbeispiele	304
3.9.3.1	Radas 2 (Hartmann & Braun)	304
3.9.3.2	Optas Modell 3700 (Bernath Atomic)	305
3.9.3.3	In-situ-Meßsystem GM 31 (Sick)	306
3.10	Fourier-Transform-Infrarot-(FTIR-)Spektrometrie (V. Karfik)	307
3.10.1	Grundlagen	307
3.10.1.1	Einleitung	307
3.10.1.2	Strahlungsabsorption	307
3.10.1.3	Spektralbereiche	308
3.10.2	Aufbau eines FTIR-Spektrometers	309
3.10.1.2	Strahler	309
3.10.2.2	Interferometer	310
3.10.2.3	Meßküvette	314
3.10.2.4	Detektor	315
3.10.3	Verarbeitung des Meßsignals	316
3.10.3.1	Fourier-Transformation: Rekonstruktion des Spektrums	316
3.10.3.2	Berechnen der Analysenergebnisse	317
3.10.4	Vorteile der FTIR- Spektrometer gegenüber dispersiv arbeitenden Spektrometern	317
3.10.5	FTIR-Spektrometer-Ausführungen	318
3.10.5.1	Doppelpendelinterferometer Michelson Bomem TM	319
3.10.5.2	Refraktives Interferometer Transept TM	320
3.10.6	Anwendungen der FTIR-Spektrometer	320
3.10.6.1	Mittleres Infrarot	321
3.10.6.2	Nahes Infrarot (NIR)	321
	Literatur	322
3.11	Analyse wäßriger Flüssigkeiten (K.-P. Seefeld)	323
3.11.1	Elektrochemische On-line-Meßverfahren in der Betriebsanalyse	323
3.11.2	pH-Wert	323
3.11.2.1	Grundlagen	323
3.11.2.2	pH-Meßtechnik	326
3.11.2.3	Nernst-Gleichung des pH-Werts	329
3.11.2.4	Struktur und Aufbau des pH-Glases	329
3.11.2.5	pH-Meßumformer mit modernen Selbstüberwachungs- funktionen	331
3.11.2.6	pH-Ionensensitiver Feldeffekttransistor (– ISFET)	333
3.11.3	Redoxmessung	335
3.11.3.1	Grundlagen	335
3.11.3.2	Redoxmeßtechnik	337
3.11.3.3	Anwendungen	339

3.11.4	Elektrolytische Leitfähigkeit	342
3.11.4.1	Grundlagen	343
3.11.4.2	Leitfähigkeitsmeßtechnik	347
3.11.5	Messung von gelöstem Sauerstoff	354
3.11.5.1	Anwendungsgebiete für die Messung von gelöstem Sauerstoff	354
3.11.5.2	Grundlagen	356
3.11.5.3	Meßtechnische Bestimmungsmethoden	358
3.11.6	Messung von gelöstem Chlor	365
3.11.6.1	Grundlagen	365
3.11.6.2	Chlorbestimmung mit der DPD-Methode	366
3.11.6.3	Amperometrische Chlorbestimmungen	367
3.11.7	Trübungsmessung	371
3.11.7.1	Einsatzgebiete für Trübungsmessungen	372
3.11.7.2	Meßmethoden zur Streulichterfassung	373
3.12	Analysenautomaten für Flüssigkeiten und Gase (K. Oder-Wieczorek, G. Kassebeer)	378
3.12.1	Einsatzbereiche für Analysenautomaten	378
3.12.1.1	Alte und neue Märkte	378
3.12.1.2	Anwendungsfelder	378
3.12.1.3	Applikationen	380
3.12.2	Definition, Grundprinzipien, konstruktive Merkmale	382
3.12.2.1	Analysenautomat statt Meßgerät	382
3.12.2.2	Aufbau und Organisation eines Analysenautomaten und seiner Peripherie	382
3.12.2.3	Qualitätskriterien	384
3.12.2.4	Entwicklungstendenzen	387
3.12.3	Analysenautomaten für Einzelparameter	388
3.12.3.1	Titrierautomaten	388
3.12.3.2	Analysenautomaten mit ionensensitiven Elektroden	391
3.12.3.3	Automatische Kolorimeter	394
3.12.4	Analysenautomaten für Summenparameter	395
3.12.4.1	CSB (chemischer Sauerstoffbedarf)-Analysenautomaten für den On-line-Betrieb	395
3.12.4.2	Analysenautomaten für den BSB (biologischer Sauerstoffbedarf)- Wert	398
3.12.4.3	Analysenautomaten für die TOC (total organic carbon)/ TN (total nitrogen)-Messung	399
	Literatur	402
4	Moderne Sensorsysteme: Eigenschaften, Handhabung, Kommunikation	403
4.1	Möglichkeiten und Eigenschaften moderner Sensorsysteme (L. Litz)	403
4.1.1	Meßumformer und Sensorsysteme	403

4.1.2	Grundfunktion und geschichtliche Entwicklung der Meßeinrichtung	403
4.1.3	Klassische Meßeinrichtung und Meßumformer	405
4.1.4	Intelligente Meßeinrichtungen und Sensorsysteme	407
4.1.5	Ausblick	411
	Literatur	413
4.2	Digitale Feldkommunikation (M. Becker)	413
4.2.1	Einführung	413
4.2.2	Netzwerktopologien	415
4.2.3	ISO-OSI-Referenzmodell	416
4.2.4	Grundlagen digitaler Feldkommunikation	419
4.2.4.1	Überblick	419
4.2.4.2	Übertragungsmedien	419
4.2.4.3	Standardisierte Schnittstellen	420
4.2.4.4	Datensicherung	421
4.2.4.5	Telegrammformat und -aufbau	422
4.2.4.6	Zugriffsverfahren	423
4.2.5	Smart-Technik und HART-Protokoll	424
4.2.5.1	Übersicht	424
4.2.5.2	HART-Protokoll	425
4.2.6	Feldbus-Technik	428
4.2.6.1	Überblick	428
4.2.6.2	Profibus	429
4.2.6.3	Controller Area Network (CAN)	431
4.2.7	Kommunikationssysteme für den eigensicheren Bereich	432
	Literatur	432
4.3	Anzeige-Bedien-Oberflächen (ABO) (G. Pinkowski)	433
4.3.1	Einleitung	433
4.3.2	Optimales Bedienkonzept	434
4.3.3	Bedienmöglichkeiten von Sensorsystemen	436
4.3.3.1	ABO am Sensorsystem	436
4.3.3.2	Handbediengerät/Hand-Held-Terminal (HHT)	436
4.3.3.3	Systembedienstation	438
4.3.4	ABO nach VDI 2187	438
4.3.4.1	Hardware	439
4.3.4.2	Software	439
4.3.5	Handhabung der ABO	439
4.3.5.1	Verbindungs Aufbau	440
4.3.5.2	Anzeige	440
4.3.5.3	Diagnose	440
4.3.5.4	Gerätedaten	441
4.3.5.5	Vergleichen	442
4.3.5.6	Optionen	442
4.3.5.7	Ende	442
4.3.5.8	Hilfe	442

4.3.6	Konzeptvariationen	442
	Literatur	443
4.4	Instandhaltung moderner Meßeinrichtungen (J. Rathje)	444
4.4.1	Einleitung	444
4.4.2	Definition des Begriffs Instandhaltung nach DIN 31051	444
4.4.3	Erweiterung des Begriffs Instandhaltung in der Praxis	444
4.4.4	Konventionelle Meßeinrichtungen	445
4.4.5	Moderne Meßeinrichtungen	445
4.4.5.1	Wartung	446
4.4.5.2	Inspektion	446
4.4.5.3	Instandsetzung	446
4.4.5.4	Inbetriebnahme	447
4.4.5.5	Fehlersuche	447
4.4.5.6	Verwalten der Feldgeräte	447
4.4.6	Zentrale Instandhaltungskonsole	448
4.4.6.1	Bedienoberfläche „Cornerstone“	448
4.4.6.2	Bedienung einer Radarfüllstandmessung	449
4.4.6.3	Monitoringfunktionen	454
	Literatur	454
	Übergreifendes Literaturverzeichnis	455
	Sachverzeichnis	456



<http://www.springer.com/978-3-540-63225-2>

Moderne Prozeßmeßtechnik

Ein Kompendium

Gundelach, V.; Litz, L.

1999, XXI, 468 S., Hardcover

ISBN: 978-3-540-63225-2