

Inhaltsverzeichnis

	Einleitung.....	1
1	Allgemeine Meßtechnik.....	3
1.1	Grundsätzliches.....	3
1.2	Grundbegriffe des Messens.....	4
1.2.1	Internationales Einheitensystem (SI), Begriffe des Normes, Eichen, Justieren, Kalibrieren	9
1.2.2	Das Meßgerät als System, der Begriff der Übertragung	12
1.3	Meßfehler.....	17
1.3.1	Statische Fehler, empirische Beschreibung und Klassifizierung	19
1.3.2	Statische Fehler mit systematischen Fehlerursachen	21
1.3.3	Statische Fehler mit zufälligen Fehlerursachen	21
1.3.4	Dynamische Fehler	25
1.3.5	Fehlerkennwerte in der Praxis.....	25
1.4	Lineare Regression.....	26
1.5	Filterung.....	28
1.5.1	Analoge Filterung	28
1.5.2	Digitale Filterung	29
1.6	Anzeige und Registrierung der Meßergebnisse	30
1.6.1	Anzeige	30
1.6.2	Registrierung.....	30
2	Temperaturmessung.....	33
2.1	Einleitung.....	33
2.1.1	Wärmeübertragung.....	33
2.1.2	Messung der Raumtemperatur	34
2.1.3	Messung in Rohrleitungen	35
2.1.4	Messung im Luftkanal	36
2.1.5	Messung der Außentemperatur	36
2.2	Anwendungsbereiche von Temperaturmeßgeräten.....	37
2.3	Mechanische Berührungsthermometer	39
2.3.1	Flüssigkeits-Glasthermometer	39
2.3.2	Flüssigkeits- und Dampfdruck-Federthermometer	41
2.3.3	Metall-Ausdehnungsthermometer.....	43

2.4	Elektrische Temperaturmessung.....	44
2.4.1	Widerstandsthermometer	44
2.4.1.1	Platin-100-Sensor, Pt-100 nach DIN IEC 751	47
2.4.1.2	Nickel-100-Sensor, Ni-100 nach DIN 43760	49
2.4.1.3	Nickel-1000- und Platin-1000-Sensoren.....	50
2.4.1.4	Mittelwertbildung mit Widerstandssensoren	50
2.4.2	Halbleiter-Sensoren.....	51
2.4.3	Elektronische Temperatursensoren	53
2.4.4	Thermoelemente.....	55
2.4.5	Sekundenthermometer	60
2.4.6	Quarz-Temperatursensoren.....	61
2.5	Temperatur-Meßfarben	63
2.6	Strahlungspyrometer	64
2.7	Thermografie.....	68
3	Kraft und Druckmessung.....	72
3.1	Kraftmeßtechnik.....	72
3.1.1	Federkörper-Kraftmeßtechnik.....	72
3.1.2	Piezoelektrische Kraftmeßtechnik	73
3.1.3	Drehmomentmeßtechnik.....	74
3.1.4	Wägetechnik.....	75
3.2	Dehnungsmeßtechnik.....	75
3.2.1	Mechanische und optische Dehnungsmeßgeräte	75
3.2.2	Dehnungsmeßstreifen (DMS)	75
3.2.2.1	Meßprinzip von Dehnmeßstreifen	77
3.3	Flüssigkeitsstand und Druck	80
3.3.1	Verfahren zur Bestimmung des Flüssigkeitsstandes.....	80
3.3.1.1	Schwimmer und Tastplatten	80
3.3.1.2	Elektrische Verfahren	80
3.3.1.3	Hydrostatische und pneumatische Verfahren.....	80
3.3.2	Druckmessung.....	81
4	Messung von Strömungsgeschwindigkeit, Durchfluß und Massenstrom	85
4.1	Allgemeines	85
4.2	Gasförmige Medien.....	90
4.2.1	Pitot- und Staurohr.....	90
4.2.2	Schalenkreuz- und Flügelradanemometer.....	91

4.2.3	Thermisches Anemometer	92
4.2.4	Laser-Doppler-Anemometer	97
4.3	Strömungsgeschwindigkeit, Durchfluß, Massenstrom	108
4.3.1	Volumenzähler	108
4.3.2	Wirkdruckverfahren	108
4.3.3	Induktive Durchflußmesser	110
4.3.4	Ultraschall-Strömungsmesser	111
5	Schallmessung	112
5.1	Schall und Schallfeld	114
5.1.1	Schallkenngrößen	116
5.1.1.1	Schalldruck	116
5.1.1.2	Schalleistung	117
5.1.2	Schallausbreitung	118
5.1.2.1	Elementare Schallstrahler	118
5.1.2.2	Kolbenstrahler	121
5.1.2.3	Stehende Schallwellen	121
5.1.2.4	Nahfeld und Fernfeld	124
5.1.2.5	Freies Schallfeld und diffuses Schallfeld	125
5.1.3	Schalldruckpegel	125
5.1.3.1	Bewertung von Schalldruckpegeln	126
5.1.3.2	Mittelung von Schalldruckpegeln	128
5.1.3.3	Beurteilung zeitlich schwankender Geräusche	129
5.2	Messung der Schallkenngrößen	130
5.2.1	Schallpegelmesser	130
5.2.1.1	Mikrofon	131
5.2.1.2	Kalibrierung	132
5.2.2	Schalleistungsmessung	133
5.2.2.1	Hüllflächenverfahren	134
5.2.2.2	Hallraum-Verfahren	137
5.3	Frequenzanalyse	139
6	Analysenmeßtechnik, Bestimmung von Konzentrationen	143
6.1	Gasanalyse	143
6.1.1	Einleitende Bemerkungen	143
6.1.2	Fotometrische Verfahren	144
6.1.2.1	Fotometrische Gasanalyse	144

6.1.2.2	Fotometrische Staubbmessung.....	146
6.1.3	Streulichtverfahren.....	147
6.1.4	β -Strahlen-Absorption	148
6.1.5	Bestimmung der Rußzahl.....	149
6.1.6	Gravimetrische Verfahren.....	149
6.1.7	Wärmeleitverfahren	150
6.1.8	Wärmetönungssensoren (Reaktionswärmesensoren, Pellistoren).....	152
6.1.9	Festelektrolyt-Gassensoren (λ -Sonde und Sauerstoffmeßzelle)	153
6.1.10	Elektrochemische Sensoren	156
6.1.11	Halbleiter-Gassensoren (Mischgassensoren)	158
6.1.12	Flammenionisationsdetektor (FID).....	159
6.1.13	Sauerstoffanalyse unter Ausnutzung des Paramagnetismus	161
6.1.14	Chemilumineszenz zur Messung der Konzentration von NO, NO ₂ , und NO _x	162
6.1.15	Gaschromatographie	164
6.1.16	Massenspektrometrie	166
6.1.17	Kolorimetrische Verfahren	169
6.1.17.1	Prüfröhrchen.....	169
6.1.17.2	Kolorimetrie mit Reagenzpapierstreifen.....	169
6.1.18	Konduktometrie und Potentiometrie.....	171
6.2	Luftfeuchtemessung.....	174
6.2.1	Physikalische Grundlagen.....	174
6.2.2	Meßverfahren.....	178
6.2.2.1	Psychrometer.....	178
6.2.2.2	Haarhygrometer	182
6.2.2.3	Lithiumchlorid-Hygrometer, LiCl	184
6.2.2.4	Bistreifenhygrometer (Federhygrometer)	185
6.2.2.5	Leitfilm-Hygrometer.....	186
6.2.2.6	Kapazitive Feuchtemessung.....	186
6.2.2.7	Taupunkthygrometer.....	187
6.2.2.8	Sensor zur Ermittlung der absoluten Feuchte	188
6.2.2.9	Optisch-Akustische Feuchtemessung (Gasmotor).....	189
6.2.2.10	Feuchtemessung durch Messung der Schallgeschwindigkeit	190
6.3	Wasseranalyse	192
6.3.1	Qualitätsparameter des Wassers.....	193
6.3.1.1	Wasserarten.....	193

6.3.1.2	Wasserqualität	193
6.3.1.3	Bestimmung der Wasserqualitätsparameter	198
6.3.2	Maßanalytische Verfahren	203
6.3.3	Gravimetrische Verfahren	205
6.3.4	Elektrometrische Verfahren	205
6.3.4.1	Bestimmung des pH-Wertes	205
6.3.4.2	Bestimmung der Redoxspannung	213
6.3.4.3	Einzelsubstanzbestimmung mit ionenselektiven Elektroden	216
6.3.4.4	Bestimmung von gelöstem Sauerstoff	218
6.3.4.5	Bestimmung von freiem Chlor	222
6.3.4.6	Bestimmung der elektrolytischen Leitfähigkeit	224
6.3.5	Optische Verfahren	229
6.3.5.1	Bestimmung der Trübung	229
6.3.5.2	Fotometrische Bestimmungen	234
6.3.5.3	Spektrometrische Bestimmungen	237
6.3.6	Chromatografische Verfahren	239
6.3.7	Bestimmungsverfahren für Summenparameter	241
6.3.7.1	Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfs (BSB)	241
6.3.7.2	Bestimmung des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB)	246
6.3.7.3	Bestimmung des gesamten organisch gebundenen Kohlenstoffes (TOC) ...	248
6.3.7.4	Bestimmung von Stickstoff	250
6.3.7.5	Bestimmung von Phosphor	253
6.3.7.6	Bestimmung der adsorbierbaren organischen Halogene (AOX)	254
6.3.7.7	Bestimmung der Wasserhärte	255
6.3.7.8	Bestimmung der Säure- und Basekapazität	260
6.3.8	Sensorische Verfahren	261
6.3.8.1	Bestimmung von Gerüchen	261
6.3.8.2	Bestimmung der Färbung	262
6.3.9	Testverfahren mit Wasserorganismen	263
6.3.10	Zusammenstellung der Meßverfahren	264
6.3.11	Literaturverzeichnis	267
7	Meßumformer und Meßverstärker	269
7.1	Umformung der wichtigsten Sensorsignale in elektrische Signale	270
7.1.1	Meßumformer für ohmsche Sensorwiderstände	270
7.1.1.1	Die Stromversorgung des Sensorwiderstands	270
7.1.1.2	Spannungskompensation und Wheatstone-Brücke	272
7.1.1.3	Die Verbindung des Sensorwiderstands mit dem Meßumformer	274

7.1.2	Umformung einer elektrischen Kapazität in ein anderes elektrisches Signal	282
7.2	Meßverstärker	283
7.2.1	Elektronische Operationsverstärker als Meßverstärker	283
7.2.1.1	Invertierender Verstärker	287
7.2.1.2	Elektrometerversstärker	291
7.2.1.3	Wechselspannungsverstärker, Trägerfrequenzverstärker	293
7.2.2	Pneumatische Verstärker	294
7.2.2.1	Pneumatische Düsen-Prallplatten-Verstärker	295
7.2.2.2	Pneumatische Leistungsverstärker	297
7.3	Rechenschaltungen mit Operationsverstärkern	298
7.3.1	Summator	298
7.3.2	Subtrahierschaltung	299
7.3.3	Instrumentenverstärker, Elektrometersubtrahierer	300
7.4	Signalübertragung mit eingepprägtem Strom	301
7.4.1	Spannungs-/Strom-Wandler	301
7.4.2	Strom-/Spannungs-Wandler	303
7.5	Weitere Operationsverstärkerschaltungen	303
7.5.1	Präzisionsgleichrichter	303
7.5.2	Phasenempfindliche Gleichrichter	306
7.5.3	Schaltungen zur Linearisierung von Kennlinien	308
7.6	Abgleich von Meßumformern	309
7.7	Anwendungsbeispiele	312
7.7.1	Brückenverstärker für einen Pt100-Tempertursensor	312
7.7.2	Verstärker für einen NiCr-Ni-Sensor	314
7.7.3	Begrenzung der Ausgangsspannung auf den Signalebereich	317
8	Strukturelle Maßnahmen in Meßsystemen zur Verbesserung der Meßqualität	320
8.1	Kettenstruktur	322
8.2	Parallelstruktur	326
8.2.1	Mittelwertbildung, Anwendungsbeispiele	329
8.2.2	Differenzprinzip, Anwendungsbeispiel	331
8.3	Kreisstruktur	334
8.3.1	Gegenkopplung, Anwendungsbeispiele	334
8.3.2	Mitkopplung	339
8.4	Modulationsprinzip	341
8.5	Verarbeitung von Meßgrößen durch Rechenoperationen	344
8.6	Modellgestützte Meßverfahren	346

9	Meßtechnische Anwendungen in der Versorgungstechnik.....	350
9.1	Wärmemengenbestimmung – Heizkosten-Abrechnung.....	350
9.1.1	Gesetzliche Grundlagen	350
9.1.1.1	Bereich der Anwendung.....	350
9.1.1.2	Pflicht zur Verbrauchserfassung und zur verbrauchsabhängigen Kostenverteilung	351
9.1.1.3	Aufzuteilende Kosten und deren Verteilung.....	351
9.1.1.4	Trennung der Kosten für Raumheizung und Warmwasser	352
9.1.1.5	Kostenaufteilung bei Nutzwechsel.....	353
9.1.1.6	Eichpflicht	354
9.1.1.7	Termin für die Ausstattung zur Verbrauchserfassung und Kürzungsrecht des Mieters bei Nichtbeachtung	355
9.1.1.8	Beispiel einer Heizkosten-Abrechnung	355
9.1.2	Wärmemengenzähler	362
9.1.2.1	Gesetzliche Grundlagen	362
9.1.2.2	Gerätetechnik	363
9.1.2.3	Einbauplanung	369
9.1.3	Heizkostenverteiler	370
9.1.3.1	Heizkostenverteiler auf Basis der Heizkörpertemperatur	371
9.1.3.2	Heizkostenverteiler mit dem Heizmittelstrom als Basis	382
9.2	Volumenstrommessung in Anlagen der Raumluftechnik.....	390
9.2.1	Volumenstrommessung in Kanälen	390
9.2.1.1	Volumenstrommessung mit Staudrucksonde.....	390
9.2.2	Volumenstrommessung an Luftdurchlässen	398
9.2.2.1	Kompensationsverfahren	398
9.2.2.2	Airbag-Verfahren	399
9.2.2.3	Schlaufenmessung.....	399
9.2.3	Meßgeräte.....	400
9.3	Raumluftqualität.....	404
9.3.1	Quellen der Belastung und kontrollierte Lüftung	404
9.3.2	Ein Maßstab für die Raumluftqualität.....	406
9.3.3	Raumluftqualitätsbezogener Außenluftstrom	409
9.3.4	Meßverfahren zur Bestimmung der Raumluftqualität	410

10	Qualitätssicherung	416
10.1	Wozu Qualitätssicherung	416
10.2	Wesentliche Elemente eines Qualitätsmanagementsystems	417
10.3	Qualitätsmanagement im Prüflabor	420
	Sachwortverzeichnis	422