

# Inhaltsverzeichnis

0.	Einführung	1
1.	Grundlagen der rationellen Energiebedarfsdeckung	3
1.1	Energietechnische Grundlagen	3
1.1.1	Einige Grundbegriffe	3
1.1.2	Energetisches Betriebsverhalten von Anlagen im stationären Zustand	4
1.1.3	Energetisches Betriebsverhalten von Anlagen im instationären Zustand	9
1.1.4	Betriebstechnische Kenngrößen und Kennfelder	12
1.2	Schwerpunkte des betrieblichen Energieverbrauchs	14
1.3	Wege zur rationelleren Energieanwendung	18
1.4	Möglichkeiten der Energiekostensenkung	26
2.	Grundlagen des betrieblichen Messens	31
2.1	Von der Meßaufgabe zum Meßkonzept	31
2.2	Meßgröße und Meßort	33
2.3	Meßprinzip und Meßverfahren	36
2.4	Meßeinrichtung	38
2.4.1	Meßgrößenerfassung	38
2.4.2	Signalverarbeitung	40
2.4.3	Meßdaten-Ausgabe	42
2.5	Fehler beim Messen	45
2.5.1	Ursachen und Arten von Fehlern	45
2.5.2	Fehlergrenzen	46
2.5.3	Fehlerabschätzung	47
2.5.3.1	Behandlung systematischer Fehler	47
2.5.3.2	Behandlung zufälliger Fehler	49
2.5.4	Meßunsicherheit	51
2.6	Meßdatenauswertung	53
2.6.1	Bildung von Verhältniszahlen	53
2.6.2	Statistische Stichprobenanalyse	54
2.6.3	Statistische Korrelationen	61
2.6.4	Graphische Darstellungen und Analysen	64

## VIII

3.	Meßgeräte - Funktion - Anwendung - Preise	68
3.1	Elektrische Meßgrößen	68
3.1.1	Spannungs-, Strom- und Widerstandsmeßgeräte	69
3.1.2	Leistungsmeßgeräte, Meßkoffer und registrierende Meßgeräte	73
3.1.3	Zangenmeßgeräte	78
3.1.4	Elektrizitätszähler	79
3.1.5	Nebenwiderstände, Meßwandler und Meßumformer elektrischen Größen	80
3.1.6	Geräteübersicht und Preistabelle	83
3.2	Druck	85
3.2.1	Einleitung	85
3.2.1.1	Definitionen und Begriffserklärungen	85
3.2.1.2	Einheiten	85
3.2.1.3	Anwendungsmöglichkeiten für Druck- und Differenzdruck-Messung	86
3.2.2	Wahl der Meßstelle	86
3.2.3	Meßgeräte	88
3.2.3.1	Flüssigkeitsmanometer	88
3.2.3.1.1	Vertikalrohrmanometer (U-Rohr-Manometer)	88
3.2.3.1.2	Schräghrohrmanometer	89
3.2.3.2	Druckwaagen und Kolbendruckmesser	89
3.2.3.2.1	Ringwaage	89
3.2.3.2.2	Kolbendruckmesser	90
3.2.3.3	Federdruckmesser	90
3.2.3.4	Elektrische Druckmeßgeräte	92
3.2.3.5	Meßumformer	93
3.2.4	Geräteübersicht und Preistabelle	93
3.3	Temperaturmessung	96
3.3.1	Wärmedehnungsthermometer	96
3.3.1.1	Flüssigkeitsthermometer	96
3.3.1.2	Stabthermometer	97
3.3.1.3	Bimetallthermometer	97
3.3.2	Elektrische Thermometer	97
3.3.2.1	Meßausrüstungen für Betriebsmessungen	98
3.3.2.1.1	Temperaturfühler/Ausgleichsleitungen	98
3.3.2.1.1.1	Widerstandsfühler	98
3.3.2.1.1.2	Halbleiter Widerstandsthermometer (NTC-Widerstände)	100
3.3.2.1.1.3	Thermoelemente/Ausgleichsleitungen	100
3.3.2.1.2	Schutzarmaturen für Thermoelemente und Widerstandsfühler	103
3.3.2.1.3	Meßverstärker/Linearisierer	104
3.3.2.2	Tragbare Meßgeräte	108
3.3.3	Strahlungspyrometer	110
3.3.4	Temperaturmeßfarben und -kreiden	111

3.3.5	Geräteübersicht und Preistabelle	111
3.4	Durchfluß und Strömung	113
3.4.1	Allgemeines zur Messung von Durchflüssen und Strömungen	113
3.4.2	Auswahlkriterien für Durchflußmeßgeräte	114
3.4.3	Meßverfahren zur Durchflußmessung	116
3.4.3.1	Volumetrische Meßverfahren	116
3.4.3.1.1	Unmittelbare Volumenzähler	116
3.4.3.1.2	Mittelbare Volumenzähler	117
3.4.3.1.2.1	Woltmanzähler	118
3.4.3.1.2.2	Flügelradzähler	118
3.4.3.2	Dynamische Meßverfahren	119
3.4.3.2.1	Das Wirkdruckverfahren (siehe DIN 1952)	119
3.4.3.2.2	Durchflußmessung in offenen Gerinnen (Venturikanal)	123
3.4.3.2.3	Schwebekörper-Durchflußmesser	123
3.4.3.2.4	Stauscheiben- und Prallplatten-Durchflußmeßgerät	124
3.4.3.2.5	Wirbel-Durchflußmesser	124
3.4.3.2.6	Gyroskopische Messung	125
3.4.3.3	Thermische Verfahren	125
3.4.3.4	Berührungslose Verfahren	126
3.4.3.4.1	Induktive Durchflußmessung	126
3.4.3.4.2	Akustische Meßverfahren mit Ultraschall	127
3.4.3.4.3	Optische Verfahren	128
3.4.4	Messungen von Strömungen	128
3.4.4.1	Geräte zur Strömungsgeschwindigkeitsmessung	129
3.4.4.2	Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit $v$ über über den Rohrquerschnitt	
3.4.5	Geräteübersicht und Preistabelle	131
3.5	Wärmemengen	134
3.5.1	Allgemeines	134
3.5.2	Theoretische Grundlagen	134
3.5.3	Meßtechnik	135
3.5.4	Gerätetechnik	137
3.5.4.1	Mechanische Wärmemengenrechner für Wasser	137
3.5.4.2	Elektrische Wärmemengenrechner für Wasser	138
3.5.4.3	Geräteauswahl	139
3.5.5	Geräteübersicht und Preise	140
3.6	Luftfeuchtigkeit	142
3.6.1	Grundlagen	142
3.6.2	Meßprinzipien der Feuchtemessung	147
3.6.3	Geräteübersicht und Preistabelle	150
3.7	Messung der Beleuchtungsstärke	151
3.8	Rauchgasmessungen	153
3.8.1	Einleitung	153
3.8.2	Meßgrößen in der Rauchgasanalyse	154

# X

3.8.2.1	Rauchgastemperatur	154
3.8.2.2	Gasförmige Abgasbestandteile	154
3.8.2.2.1	CO <sub>2</sub> -Gehalt	154
3.8.2.2.2	CO-Gehalt	156
3.8.2.2.3	O <sub>2</sub> -Gehalt	156
3.8.2.2.4	SO <sub>2</sub> -Gehalt	156
3.8.2.2.5	CO/NO <sub>2</sub> -Gehalt	156
3.8.2.2.6	Anorganische Fluor/Chlor-Verbindungen, H <sub>2</sub> S, organische Verbindungen (Kohlenwasserstoffe...)	157
3.8.2.3	Partikelförmige Emissionen (Staub, Ruß)	157
3.8.3.	Meßverfahren/Meßprinzipien	158
3.8.3.1	Meßprinzipien für gasförmige Emissionen	158
3.8.3.1.1	Chemische Verfahren	158
3.8.3.1.2	Photometrie-Prinzip	160
3.8.3.1.3	Chemilumineszenz-Prinzip	161
3.8.3.1.4	Flammenionisations-Meßprinzip (FID-Verfahren)	162
3.8.3.1.5	Wärmetönungs-Prinzip	163
3.8.3.1.6	Elektrochemisches Prinzip	164
3.8.3.1.7	Ultraschall-Prinzip	165
3.8.3.1.8	Magnetische Prinzipien	165
3.8.3.1.9	Wärmeleit-Prinzip	165
3.8.3.2	Meßprinzipien für partikelförmige Emissionen	165
3.8.3.2.1	Filterpapiermethode	165
3.8.3.2.2	Photometrische Staubmessung	166
3.8.3.2.3	Streulicht-Messung	166
3.8.3.2.4	β-Strahlungsabsorption	167
3.8.4	Geräteübersicht	168
3.8.4.1	Handmeßgeräte oder transportable Meßgeräte	168
3.8.4.2	Meßgeräte für Schornsteinfeger	169
3.8.4.3	Kontinuierlich arbeitende Meßeinrichtungen für den stationären Betrieb	170
3.8.5	Durchführung der Messungen	170
3.8.5.1	Meßverfahren bzw. Meßgerät	171
3.8.5.2	Probenahme und Probegasaufbereitung	171
3.8.5.3	Handhabung des Meßgerätes	172
3.8.5.4	Auswertung der Messung	172
3.8.6	Geräteübersicht und Preistabelle	172
4.	Registriergeräte - Funktion - Anwendung - Preise	174
4.1	Einführung	174
4.2	Analoge Signalkette	176
4.3	Digitale Signalkette	179
4.3.1	Meßwerterfassung und Konvertierung	179
4.3.2	Speicherung	182

4.3.3	Schnittstellen	182
4.3.4	Bus-Schnittstellen	183
4.3.5	Ein-/Ausgänge	185
5.	Beispiele für praktische Durchführung von Meßaufgaben	188
5.1	Analyse des gesamtbetrieblichen elektrischen Energieverbrauchs und Lastganges am Beispiel eines Krankenhauses	188
5.1.1	Einführung	188
5.1.2	Planung der Messungen	188
5.1.3	Durchführung der Messungen	189
5.1.4	Auswertung der Messungen	190
5.1.5	Schlußfolgerungen	193
5.2	Thermische Betriebsverhalten von Spritzguß- maschinen	193
5.2.1	Beschreibung der untersuchten Maschinen	193
5.2.2	Beschreibung der Messung an einer Maschine	193
5.2.3	Meßergebnisse	195
5.3	Auslastung von Werkzeugmaschinenantrieben	197
5.3.1	Einführung	197
5.3.2	Durchführung der Messungen	198
5.3.3	Auswahl der Meßgrößen und Meßgeräte	198
5.3.4	Ergebnisse	199
5.3.5	Zu ergreifende Maßnahmen	200
5.4	Analyse der Betriebsweise eines Heizungssystems mit Wärmepumpe	202
5.4.1	Einleitung	202
5.4.2	Anlagenbeschreibung	203
5.4.3	Durchführung der Messungen	204
5.4.4	Auswertung der Messungen/Schlußfolgerungen	204
5.4.5	Zusammenfassung	207
5.5	Einfluß der Werkstückanordnung auf den Energie- verbrauch einer Bügelsäge	208
5.5.1	Aufgabenstellung, Durchführung der Messung	208
5.5.2	Ergebnisse	209
5.5.3	Schlußfolgerungen	209
5.6	Senken der Trockenlufttemperatur und Wärmerück- gewinnung bei einem dampfbeheizten Wäschetrockner	210
5.6.1	Anlagenbeschreibung	210
5.6.2	Messungen zur Reduktion der Trockenlufttemperatur	210
5.6.3	Wärmerückgewinnung	212
5.6.4	Schlußfolgerungen	215
5.7	Energiebilanz eines gasbeheizten Industrieofens	215
5.7.1	Allgemeines	215

5.7.2	Ermittlung der einzelnen Bilanzposten	216
5.7.2.1	Zugeführte Energie	216
5.7.2.2	Rauchgasverluste	217
5.7.2.3	Wärmerückgewinnung im Rekuperator	219
5.7.2.4	Fortluftverluste	219
5.7.2.5	Oberflächenverluste	220
5.7.2.6	Darstellung der Energiebilanz, Restglied	221
5.7.3	Schlußfolgerungen	223
5.8	Vergleichende Energieverbrauchsanalyse zweier Kurbelwellen-Fertigungslinien	223
5.8.1	Beschreibung der Fertigungsanlagen	223
5.8.2	Meßtechnik	227
5.8.3	Meßergebnisse und Kennwerte	229
5.8.4	Einfluß betrieblicher Gegebenheiten auf den Energieverbrauch	233
5.8.4.1	Die Art des Rohlings	233
5.8.4.2	Wahl der Zerspanungsart	233
5.8.4.3	Einsatz von Schlupfkupplungen zur Drehzahlregelung	234
5.8.4.4	Einfluß der Öltemperatur auf die Hydraulikpumpenantriebe	234
5.8.4.5	Einfluß der Werkzeugstumpfung auf den Energiebedarf	234
5.8.5	Schlußbetrachtung	235
5.9	Einflüsse von dem Stromverbrauch einer gewerblichen Waschmaschine	235
5.10	Abhängigkeit des Ölverbrauchs einer Wäscherei von ihrer Auslastung	237
6.	Anhang	240
6.1	Schutzarten nach DIN 40050	240
6.2	Skalensymbole für Meßgeräte	242
6.3	Schaltbilder für Leistungsmeßgeräte und Zähler	243
7.	Sachverzeichnis	244