

# Inhalt

---

<b>A</b>	<b>Energiewirtschaftliche Aspekte</b> .....	<b>1</b>
	L. ROUVEL, H. SCHAEFER, H.J. SCHULTZ	
A1	Energieversorgung .....	1
A2	Primärenergiearten und -quellen .....	2
A2.1	Fossile Energieträger .....	2
A2.2	Kernenergie .....	2
A2.3	Wasserkraft .....	2
A2.4	Holz, Stroh, Torf, Müll, Klärschlamm .....	2
A2.5	Erneuerbare Energien .....	3
A2.5.1	Gezeitenenergie .....	3
A2.5.2	Windenergie .....	3
A2.5.3	Geothermische Energie .....	3
A2.5.4	Sonnenenergie .....	3
A2.5.5	Biogas .....	4
A2.6	Energiereserven der Welt .....	4
A3	Primärenergieverbrauch der Welt .....	5
A4	Eigenaufkommen der wichtigsten Primärenergieträger in der Bundesrepublik Deutschland .....	6
A4.1	Rohbraunkohle .....	6
A4.2	Steinkohle .....	7
A4.3	Erdgas .....	8
A4.4	Erdöl .....	9
A4.5	Wasserkraft .....	9
A4.6	Kernenergie .....	9
A5	Import und Export von Primärenergie in der Bundesrepublik Deutschland .....	10
A6	Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in der Bundesrepublik Deutschland .....	11
A7	Entwicklung des Endenergieverbrauchs in der Bundesrepublik Deutschland .....	12
A8	Energiebilanz in den alten Ländern der Bundesrepublik Deutschland 1988 .....	14

<b>A9</b>	<b>Struktur des Endenergiebedarfs auf Verbrauchssektoren und Bedarfsarten in den alten Ländern der Bundesrepublik Deutschland 1988</b> .....	15
<b>A10</b>	<b>Energiehaushalten</b> .....	18
<b>A10.1</b>	<b>Energiesparen</b> .....	18
<b>A10.2</b>	<b>Rationelle Energienutzung</b> .....	19
<b>A10.3</b>	<b>Substitution von Energieträgern</b> .....	21
<b>A11</b>	<b>Ökologische Belastung durch den Energieverbrauch</b> .....	21
<b>A11.1</b>	<b>Luftverschmutzung</b> .....	21
<b>A11.2</b>	<b>Wasserverschmutzung</b> .....	22
<b>A11.3</b>	<b>Thermische Belastung</b> .....	22
<b>A11.4</b>	<b>Lärmbelästigung</b> .....	23
<b>A11.5</b>	<b>Optische Beeinträchtigung</b> .....	23
<b>A12</b>	<b>Literatur</b> .....	23
<b>B</b>	<b>Außenklima</b> .....	25
	<b>H. FORTAK</b>	
<b>B1</b>	<b>Die Erdatmosphäre</b> .....	25
<b>B1.1</b>	<b>Einführung</b> .....	25
<b>B1.2</b>	<b>Allgemeine Eigenschaften der Atmosphäre</b> .....	26
<b>B1.2.1</b>	<b>Zusammensetzung der Atmosphäre</b> .....	26
<b>B1.2.2</b>	<b>Mittlere Vertikalstruktur der Atmosphäre</b> .....	27
<b>B1.3</b>	<b>Atmosphärische Zirkulation und Klima</b> .....	30
<b>B1.3.1</b>	<b>Ursachen und Charakter der atmosphärischen Zirkulation, Klimasystem</b> .....	30
<b>B1.3.2</b>	<b>Planetarische Grenzschicht und Stadtklima</b> .....	34
<b>B2</b>	<b>Klimaelemente und Klimadaten</b> .....	37
<b>B2.1</b>	<b>Einführung</b> .....	37
<b>B2.2</b>	<b>Klimaelemente, Definitionen</b> .....	37
<b>B2.2.1</b>	<b>Strahlung und Sonnenscheindauer</b> .....	37
<b>B2.2.2</b>	<b>Lufttemperatur</b> .....	51
<b>B2.2.3</b>	<b>Luftfeuchte</b> .....	52
<b>B2.2.4</b>	<b>Bewölkung und Niederschlag</b> .....	54
<b>B2.2.5</b>	<b>Luftdruck und Wind</b> .....	54
<b>B3</b>	<b>Klimadaten für die Praxis</b> .....	57
<b>B3.1</b>	<b>Einführung</b> .....	57
<b>B3.2</b>	<b>Klimadatensammlungen für die Heiz- und Raumlufttechnik</b> .....	61
<b>B3.2.1</b>	<b>DIN-Normen und VDI-Richtlinien (Regelwerke)</b> .....	61
<b>B3.2.2</b>	<b>Testreferenzjahre</b> .....	67
<b>B3.3</b>	<b>Lufttemperatur</b> .....	70
<b>B3.3.1</b>	<b>Mittlere Tages- und Jahresgänge</b> .....	70
<b>B3.3.2</b>	<b>Extremwerte der Lufttemperatur</b> .....	72
<b>B3.3.3</b>	<b>Häufigkeitsverteilungen</b> .....	75

B3.4	Luftfeuchte .....	76
B3.4.1	Mittlere Tages- und Jahresgänge .....	76
B3.4.2	Häufigkeitsverteilungen, Korrelation zwischen Lufttemperatur und Feuchtegehalt der Luft .....	80
B3.5	Wind .....	83
B3.5.1	Mittlere Tages- und Jahresgänge .....	83
B3.5.2	Häufigkeitsverteilungen .....	85
B3.5.3	Korrelation zwischen Windgeschwindigkeit und Lufttemperatur .....	87
B3.6	Strahlung .....	89
B3.6.1	Abhängigkeit der Strahlung von der Trübung der Atmosphäre ..	89
B3.6.2	Mittlere Tages- und Jahresgänge .....	91
B3.6.3	Bedeckungsgrad und Sonnenscheindauer .....	95
B4	Modelle für Klimadaten eines Ortes .....	99
B4.1	Einführung .....	99
B4.2	Modellierung mittlerer Tagesgänge der Bestrahlung an geneigten Flächen .....	100
B4.2.1	Modellierung der kurzwelligen Strahlungsbilanz .....	100
B4.2.2	Modellierung der langwelligen Strahlungsbilanz .....	115
	Anhang .....	120
B5	Literatur .....	123
<b>C</b>	<b>Mensch und Raumklima .....</b>	<b>125</b>
	P. O. FANGER	
C1	Einleitung .....	125
C2	Thermisches Raumklima .....	126
C2.1	Vorbemerkung .....	126
C2.2	Thermoregulation des Menschen .....	126
C2.3	Thermische Raumklimaparameter .....	128
C2.4	Die Wärmebilanz des Menschen .....	135
C2.5	Behaglichkeitsgleichung .....	138
C2.6	Lokales thermisches Unbehagen .....	147
C2.7	Applikationen .....	150
C3	Raumluftqualität .....	153
C3.1	Einleitung .....	153
C3.2	Empfundene Luftqualität .....	154
C3.3	Die Maßeinheit „olf“ .....	155
C3.4	Die Maßeinheit „dezipol“ .....	157
C3.5	Behaglichkeitsgleichung der Raumluftqualität .....	158
C3.6	Quantifizierung von Verunreinigungslasten und empfundenen Luftqualitäten .....	162
C3.7	Gesundheitsrisiken .....	162
C4	Literatur .....	175

<b>D</b>	<b>Technische Akustik</b> .....	177
	M. HECKL	
D1	Einleitung .....	177
D2	Akustische Kenngrößen für Luftschall .....	178
D2.1	Schalldruck, Schalldruckpegel, Spektren .....	178
D2.2	Schalleistung, Schalleistungspegel .....	181
D2.3	Weitere Kenngrößen .....	183
D3	Grundbegriffe des Körperschalls .....	184
D4	Entstehungsmechanismen für Schall .....	189
D4.1	Luftschallentstehung .....	189
D4.2	Körperschallentstehung .....	191
D5	Schallentstehung durch Rückkopplungsmechanismen .....	191
D6	Ungehinderte Schallausbreitung .....	192
D6.1	Energiebetrachtungen .....	192
D6.2	Das Schallfeld in Kanälen .....	193
D7	Schallabsorption .....	195
D7.1	Luftschallabsorption (Schallschluckung) .....	195
D7.2	Körperschalldämpfung .....	198
D8	Schalldämmung .....	200
D9	Lärminderung durch Gegenquellen (Antischall) .....	201
D10	Einige Eigenschaften des Ohres .....	202
D11	Literatur .....	205
<b>E</b>	<b>Lichttechnik</b> .....	207
	H. KAASE	
E1	Einführung .....	207
E2	Licht- und Strahlungsgrößen .....	209
E3	Farbe .....	211
E4	Lampen und Leuchten .....	213
E5	Gütemerkmale für die Beleuchtung .....	218
E5.1	Helligkeit und Beleuchtungsstärkeverteilung .....	218
E5.2	Blendungsbegrenzung .....	218
E5.3	Kontrastwiedergabe .....	219
E5.4	Farbwiedergabe .....	219
E5.5	Energieverbrauch .....	219
E6	Tageslicht für Innenraumbeleuchtung .....	220
E7	Literatur .....	221
<b>F</b>	<b>Thermodynamische Grundlagen der Kältetechnik</b> .....	223
	H. KNAPP	
F1	Einführung .....	223
F1.1	Bedeutung der Temperatur .....	223

F1.2	Anwendungen der Tieftemperaturtechnik .....	224
F1.3	Unterschied zwischen „Wärme“ und „Kältetechnik“ .....	224
F1.4	Hauptsätze der Thermodynamik .....	225
F1.5	Energiewandlungsprozesse .....	226
F1.5.1	Wärmekraftmaschine .....	227
F1.5.1.1	Exergie der Wärme .....	227
F1.5.1.2	Wärmeübertragung, Entropieproduktion .....	227
F1.5.1.3	Exergieverlust .....	228
F1.5.2	Kältemaschine bei $T_0 = \text{const.}$ .....	228
F1.5.3	Abkühlanlage von $T_u$ auf $T_0$ .....	228
F1.5.4	Wärmepumpe .....	229
F1.6	Reale Prozesse .....	230
F1.6.1	Auslegung einer Anlage .....	230
F1.7	Ermittlung der Stoffdaten .....	232
F1.7.1	Thermodynamische Eigenschaften .....	232
F2	Wichtige Kreisprozesse .....	235
F2.1	Wärmeübertragung an die Umgebung oder von der Umgebung	236
F2.2	Wärmekraftanlage .....	236
F2.2.1	Heizkraftwerk .....	239
F2.3	Kompressionskältekreisläufe .....	239
F2.3.1	Kältekreislauf mit Verdampfung und Verflüssigung .....	239
F2.3.2	Kreislauf mit Joule-Thomson-Entspannung .....	240
F2.3.3	Kreislauf mit arbeitsleistender Entspannung .....	241
F2.4	Dampfstrahlkälteanlage .....	242
F2.5	Absorptionskältekreisläufe .....	243
F3	Wärmepumpen und Wärmetransformatoren .....	247
F3.1	Kompressionswärmepumpe .....	247
F3.1.1	Beispiel: Kompressionskreisläufe zur Heizung eines Wohnhauses im Winter und zur Kühlung eines Wohnhauses im Sommer (s. Bild F3-1) .....	247
F3.2	Heizung von Gebäuden mit Hilfe von Wärmepumpen .....	249
F3.3	Wärmetransformatoren mit Absorptionskreisläufen .....	249
F3.2.1	Kälteanlagen .....	250
F3.2.2	Wärmetransformator zur Erhöhung der Quantität der Heizwärme $Q_h$ .....	250
F3.2.3	Wärmetransformator zur Erhöhung der Qualität der Heizwärme $Q_h$ .....	251
F4	Feuchte Luft .....	252
F4.1	Zustandsgrößen feuchter Luft (Mollier-Diagramm) .....	252
F4.2	Bedeutung und Berechnungsgrundlage wichtiger Größen .....	252
F4.3	Zustandsänderungen im h,x-Diagramm .....	254
F4.3.1	Beispiel 1: Abkühlen und Erwärmen .....	254
F4.3.2	Beispiel 2: Mischen .....	255
F4.3.3	Beispiel 3: Befeuchten der Luft mit Wasser .....	256
F4.3.4	Beispiel 4: Befeuchten mit Dampf .....	257

<b>G</b>	<b>Wärme- und Stoffübertragung</b> .....	259
	W. KAST	
G1	Wärmeübertragung .....	259
G1.1	Einführung .....	259
G1.2	Die Wärmestrahlung .....	259
G1.2.1	Grundlagen .....	259
G1.2.2	Absorption, Reflexion, Durchlaß .....	261
G1.2.3	Die Strahlungsemission .....	266
G1.2.4	Der Wärmeaustausch durch Strahlung .....	272
G1.2.5	Die Einstrahlzahl .....	275
G1.2.6	Der Strahlungsaustausch im Raum bei Berücksichtigung mehrfacher Reflexionen zwischen den Raumflächen .....	279
G1.2.7	Der Strahlungsaustausch zwischen einem Gas (Atmosphäre) und einer Fläche .....	283
G1.3	Wärmeleitung .....	285
G1.3.1	Grundgesetze der Wärmeleitung .....	285
G1.3.2	Die Wärmeleitfähigkeit fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe	287
G1.3.3	Die Wärmeleitfähigkeit trockener, poriger Stoffe .....	287
G1.3.4	Der Einfluß der Temperatur .....	292
G1.3.5	Die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit vom Druck und von den Porenabmessungen .....	292
G1.3.6	Die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Feuchte .....	293
G1.3.7	Die Berechnung der stationären Wärmeleitung in geometrisch einfachen Körpern .....	294
G1.3.8	Instationäre Anlaufvorgänge .....	297
G1.3.9	Instationäre Ausgleichsvorgänge .....	300
G1.3.10	Instationäre periodische Temperaturänderungen .....	305
G1.4	Wärmeübergang und Wärmedurchgang .....	307
G1.4.1	Problemstellungen .....	307
G1.4.2	Der Wärmeübergang bei außenumströmten Einzelkörpern und die Kenngrößen des Wärmeübergangs .....	308
G1.4.3	Parallel angeströmte Platte bei laminarer Grenzschicht .....	310
G1.4.4	Parallel angeströmte Platte bei turbulenter Grenzschicht .....	312
G1.4.5	Die versuchsmäßig ermittelten Abhängigkeiten des Wärmeüberganges bei außenumströmten Körpern .....	313
G1.4.6	Freie Strömung (Auf- und Abtriebsströmung) .....	315
G1.4.7	Freie Strömungen in geschlossenen horizontalen und vertikalen Schichten .....	317
G1.4.8	Freie Strömung in beheizten offenen vertikalen Kanälen .....	320
G1.4.9	Der Wärmeübergang bei innendurchströmten Kanälen .....	322
G1.4.10	Zusammenfassende Darstellung des Wärmeübergangs bei durch- und überströmten Körpern an Luft .....	325
G1.4.11	Wärmeübergang beim Verdampfen .....	329
G1.4.12	Wärmeübergang bei der Kondensation reiner Dämpfe .....	330

G1.4.13	Wärmedurchgang .....	332
G2	Stoffübertragung .....	334
G2.1	Einführung .....	334
G2.2	Grundgesetze der Diffusion .....	335
G2.2.1	Zweiseitige Diffusion von Gasen ineinander .....	335
G2.2.2	Einseitige Diffusion eines Dampfes in ein Gas (Verdunstung) ..	337
G2.2.3	Die Diffusion durch porige Stoffe und der Diffusionswiderstandsfaktor .....	338
G2.3	Stoffübergang .....	339
G2.3.1	Der Stoffübergangskoeffizient .....	339
G2.3.2	Der Zusammenhang zwischen Wärme- und Stoffübergang .....	340
G2.3.3	Stoffwerte für die Berechnung des Stofftransports in feuchter Luft .....	341
G2.4	Oberflächendiffusion und Kapillarwasserbewegung .....	346
G2.5	Zum Stofftransport in porösen Stoffen .....	348
G2.5.1	Problemstellung .....	348
G2.5.2	Der Zusammenhang zwischen Dampfdruck (Luftfeuchte) und Feuchte des Gutes (Sorptionsgleichgewicht) .....	350
G2.5.3	Das Zusammenwirken von Dampfdiffusion, Feuchtebewegung und Sorptionsgleichgewicht .....	353
G2.6	Der Wärme- und Stofftransport bei der Verdunstung .....	355
G2.7	Wärme- und Stofftransport bei der Partialkondensation aus Dampf-Gasgemischen .....	357
G2.8	Allgemeine Betrachtungen zur Wärmeübertragung bei Kondensation und Verdunstung in feuchter Luft .....	358
G3	Literatur .....	363
<b>H</b>	<b>Feuerungstechnik .....</b>	<b>367</b>
	F. BRANDT	
H1	Verbrennungsrechnung .....	367
H1.1	Verbrennungsreaktionen .....	367
H1.2	Bezogene Verbrennungsluft- und Rauchgasmassen .....	368
H1.3	Statistische Verbrennungsrechnung .....	373
H1.4	Dichte und spez. Wärmekapazität des Rauchgases .....	379
H1.5	Bestimmung der Verbrennungsluft- und Rauchgasmassen aus Abgasmessungen .....	381
H2	Bezogene Leistungs- und Verlustdaten von Heizungskesseln .....	385
H2.1	Definition des Heizwerts und Brennwertes .....	385
H2.2	Energie- und Massebilanz eines Heizkessels .....	385
H2.3	Wirkungsgrad und bezogene Verluste .....	388
H2.4	Kesselheizzahl und bezogene Verluste bei Brennwertkesseln .....	389
H2.5	Nutzungsgrade und Nutzheizzahlen .....	396
H3	Heizkessel-Betrieb .....	399

H3.1	Messung des Heizkesselwirkungsgrads .....	399
H3.2	Umweltschutz-Vorschriften .....	401
H3.3	Emissionsrechnungen .....	404
H3.4	Schwefelsäuretaupunkt .....	406
H3.5	Austauschbarkeit von Brenngasen .....	407
H4	Literatur .....	409
<b>J</b>	<b>Strömungstechnik .....</b>	<b>411</b>
	E. TRUCKENBRODT	
J1	Grundlagen der Fluidmechanik (Strömungsmechanik) .....	411
J1.1	Eigenschaften und Stoffgrößen der Fluide .....	411
J1.1.1	Aggregatzustand .....	411
J1.1.2	Dichteänderung (Kompressibilität) .....	411
J1.1.3	Schwereinfluß (Gravitation) .....	414
J1.1.4	Reibungseinfluß (Zähigkeit, Turbulenz) .....	415
J1.1.5	Grenzflächeneinfluß (Kapillarität) .....	418
J1.2	Fluidmechanische Ähnlichkeit .....	420
J1.2.1	Grundsätzliches .....	420
J1.2.2	Kennzahlen der Fluidmechanik .....	420
J1.2.3	Ähnlichkeitsgesetze der Fluidmechanik .....	425
J1.3	Grundgesetze der Fluidmechanik .....	425
J1.3.1	Ruhende Fluide .....	425
J1.3.2	Darstellungsmethoden strömender Fluide .....	428
J1.3.3	Bewegungszustand .....	429
J1.3.4	Stromfadentheorie .....	431
J1.3.5	Bewegungsgleichungen der Fluidmechanik .....	436
J1.3.6	Grenzschichtströmung .....	437
J1.4	Fluidmechanische Meßtechnik .....	440
J1.4.1	Druckmessung .....	442
J1.4.2	Geschwindigkeitsmessung .....	444
J1.4.3	Volumenstrommessung .....	446
J2	Strömungen in Rohrleitungen (Rohrhydraulik) .....	448
J2.1	Strömungsverhalten .....	448
J2.2	Ausgangsgleichungen .....	448
J2.2.1	Kontinuitätsgleichung .....	448
J2.2.2	Impulsgleichung .....	450
J2.2.3	Energiegleichung .....	450
J2.2.4	Fluidmechanischer Energieverlust .....	451
J2.3	Geradlinig verlaufende lange Rohre .....	452
J2.3.1	Geometrie .....	452
J2.3.2	Kennzahl .....	452
J2.3.3	Geschwindigkeitsprofile .....	453
J2.3.4	Vollausgebildete Rohrströmung .....	454



J2.3.5	Rohreinlaufströmung .....	459
J2.3.6	Rohreintrittsströmung .....	460
J2.4	Formstücke und Armaturen .....	461
J2.4.1	Fluidmechanischer Energieverlust .....	461
J2.4.2	Rohrquerschnittsänderungen .....	462
J2.4.3	Rohrrichtungsänderungen .....	472
J2.4.4	Rohrverzweigungen .....	484
J2.4.5	Volumenstromdrosselung .....	499
J2.4.6	Einbau einer Strömungsmaschine .....	504
J3	Strömungsvorgänge bei der Lüftung von Räumen .....	504
J3.1	Raumströmungsformen .....	504
J3.2	Freistrahlen .....	505
J3.2.1	Fluidmechanisches Verhalten freier Strahlen .....	505
J3.2.2	Strahlaustrittsströmung .....	511
J3.2.3	Sich ausbildende Freistrahlerströmung .....	516
J3.2.4	Vollausgebildete Freistrahlerströmung .....	519
J3.2.5	Eigenschaften isothermer Freistrahler .....	522
J3.2.6	Eigenschaften anisothermer Freistrahler .....	533
J3.3	Wandstrahlen .....	542
J3.3.1	Fluidmechanisches Verhalten einseitig anliegender Freistrahler .....	542
J3.3.2	Sich ausbildende Wandstrahlströmung .....	543
J3.3.3	Vollausgebildete Wandstrahlströmung .....	544
J3.3.4	Eigenschaften isothermer Wandstrahlen .....	545
J3.3.5	Eigenschaften anisothermer Wandstrahlen .....	547
J4	Literatur .....	549
<b>K</b>	<b>Regelungs- und Steuerungstechnik .....</b>	<b>553</b>
	<b>H. PROTZ</b>	
K1	Allgemeines .....	553
K1.1	Aufgaben der Regelung und Steuerung .....	553
K1.2	Begriffe und Größen .....	553
K2	Signalübertragung .....	556
K2.1	Signalarten .....	556
K2.2	Grundsaltungen der Übertragungsglieder .....	558
K3	Übertragungsverhalten .....	559
K3.1	Statisches Verhalten .....	559
K3.2	Dynamisches Verhalten .....	561
K3.3	Lineares Verhalten .....	562
K3.4	Nichtlineares Verhalten .....	562
K4	Grundformen des linearen Übertragungsverhaltens .....	566
K4.1	Beschreibung der Übertragungsglieder .....	566
K4.2	Verhalten typischer Übertragungsglieder .....	566
K4.2.1	Proportionalglied (P-Glied), Bild K4-1 .....	566

XX	Inhalt	
K4.2.2	Integrierendes Glied (I-Glied), Bild K4-2	566
K4.2.3	Differenzierendes Glied (D-Glied), Bild K4-3	567
K4.2.4	Proportionalglied mit Verzögerung erster Ordnung (PT <sub>1</sub> -Glied), Bild K4-4	567
K4.2.5	Proportionalglied mit Verzögerung zweiter Ordnung (PT <sub>2</sub> -Glied), Bild K4-5	568
K4.2.6	Proportionalglied mit Verzögerung höherer Ordnung (PT <sub>n</sub> -Glied), Bild K4-6	568
K4.2.7	Totzeitglied (T <sub>t</sub> -Glied)	569
K4.2.8	Integrierendes Glied mit Verzögerung erster Ordnung (IT <sub>1</sub> -Glied)	569
K4.2.9	Differenzierendes Glied mit Verzögerung erster Ordnung (DT <sub>1</sub> -Glied)	570
K4.3	Glieder mit realem Übertragungsverhalten	570
K5	Regelstrecke	571
K5.1	Klassifizierung der Regelstrecke	571
K5.2	Stellglieder	572
K5.2.1	Stellventile	573
K5.2.2	Stellklappen	577
K5.2.3	Fördereinrichtungen	577
K6	Regeleinrichtung	577
K6.1	Begriffe und Bezeichnungen	577
K6.2	Übertragungsverhalten kontinuierlicher analoger Regler	578
K6.2.1	Proportionalregler	578
K6.2.2	Integralregler	579
K6.2.3	Proportional-Integralregler	579
K6.2.4	Proportional-Differentialregler	580
K6.2.5	Proportional-, Integral-, Differentialregler	581
K6.3	Übertragungsverhalten von Mehrpunktreglern	581
K6.3.1	Zweipunktregler	581
K6.3.2	Dreipunktregler	582
K6.4	Erzeugung des Übertragungsverhaltens mit Rückführungen	583
K6.5	Regler ohne Hilfsenergie	584
K6.6	Regeleinrichtungen mit pneumatischer Hilfsenergie	585
K6.6.1	Umformsysteme	585
K6.6.2	Regler	586
K6.6.3	Stellantrieb	588
K6.7	Regler mit elektrischer Hilfsenergie	589
K6.7.1	Regler mit kontinuierlichem Verhalten	589
K6.7.2	Regler mit diskontinuierlichem Verhalten	590
K6.7.3	Regler mit Zweipunktverhalten	593
K6.7.4	Motorischer Stellantrieb	594
K7	Digitale Verfahren	595
K7.1	Begriffe zum Mikroprozessor	595

K7.2	Direkte digitale Regelung .....	596
K7.3	Hierarchischer Aufbau .....	597
K7.4	Vernetzung .....	598
K8	Bewertung der Hilfsenergie .....	599
K8.1	Elektrische Hilfsenergie .....	599
K8.2	Pneumatische Hilfsenergie .....	599
K9	Der Regelkreis mit stetigen Reglern .....	600
K9.1	Verhalten des Regelkreises .....	600
K9.2	Stabilität des Regelkreises .....	604
K9.3	Reglereinstellung .....	606
K9.3.1	Güte der Regelung .....	606
K9.3.2	Optimierte Einstellung des Reglers nach der Übergangsfunktion der Strecke .....	607
K9.3.3	Optimierte Einstellung des Reglers nach dem Verhalten des Regelkreises .....	607
K9.4	Verbesserung des Regelverhaltens .....	608
K9.4.1	Vorregelung der Einflußgrößen .....	608
K9.4.2	Störgrößenaufschaltung .....	608
K9.4.3	Kaskadenregelung .....	609
K10	Der Regelkreis mit Zweipunktreglern .....	610
K11	Literatur .....	612
<b>L</b>	<b>Wasserchemie</b> .....	<b>613</b>
	L. HÖHENBERGER	
L1	Chemische Eigenschaften des Wassers .....	613
L2	Grundbegriffe .....	614
L2.1	Einheiten der Wasserchemie .....	614
L2.2	pH-Wert .....	615
L2.3	Leitfähigkeit .....	615
L2.4	Säure- und Basekapazität .....	616
L3	Inhaltsstoffe des Wassers .....	617
L3.1	Übersicht .....	617
L3.2	Salze der Alkalien .....	617
L3.3	Salze der Erdalkalien – Härte des Wassers .....	618
L3.4	Salze der Leicht- und Schwermetalle .....	618
L3.5	Kieselsäure .....	622
L3.6	Gase .....	622
L3.7	Organische Stoffe .....	622
L3.8	Mikrobielle Inhaltsstoffe .....	623
L4	Definition wichtiger Wasserarten .....	624
L5	Wasseraufbereitung .....	625
L5.1	Definition und Zweck .....	625
L5.2	Vorbehandlung von Wasser .....	625

L5.2.1	Entfernung mechanischer Verunreinigungen .....	625
L5.2.2	Entsäuerung .....	627
L5.2.3	Enteisenung, Entmanganung .....	628
L5.2.4	Entkeimung, Desinfektion .....	628
L5.3	Konditionierung durch Chemikaliendosierung .....	629
L5.4	Physikalische Wasserbehandlung .....	629
L5.5	Fällverfahren, Kalkentkarbonisierung .....	630
L5.6	Ionenaustauschverfahren .....	630
L5.6.1	Ionenaustauscher – Allgemeines .....	630
L5.6.2	Filter- und Anlagentechnik .....	632
L5.6.3	Enthärtung .....	632
L5.6.4	Wasserstoff-Entkarbonisierung .....	632
L5.6.5	Entsalzung und Vollentsalzung .....	634
L5.7	Wasseraufbereitung durch Membranverfahren .....	635
L5.8	Entgasung .....	638
L5.8.1	Übersicht .....	638
L5.8.2	Physikalische Entgasung .....	638
L5.8.3	Chemische Entgasung .....	641
L6	Belagbildung und Schutzverfahren .....	642
L6.1	Übersicht .....	642
L6.2	Chemische und physikalische Faktoren der Belagbildung in belüfteten Systemen .....	642
L6.3	Schutz vor Belagbildung in belüfteten Systemen .....	643
L6.4	Chemische und physikalische Faktoren der Belagbildung in sauerstoffarm betriebenen Systemen .....	644
L6.5	Schutz vor Belagbildung in sauerstoffarm betriebenen Kreisläufen .....	645
L7	Korrosion und Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe .....	645
L7.1	Allgemeines .....	645
L7.2	Korrosionsarten .....	647
L7.3	Das Korrosionsverhalten technischer Werkstoffe .....	649
L7.3.1	Übersicht .....	649
L7.3.2	Unlegierte und niedriglegierte Eisenwerkstoffe .....	649
L7.3.3	Feuerverzinkte Eisenwerkstoffe .....	650
L7.3.4	Nichtrostende Stähle .....	652
L7.3.5	Kupfer und Kupferlegierungen .....	653
L7.3.6	Aluminiumwerkstoffe .....	654
L7.3.7	Nichtmetallische Werkstoffe .....	655
L7.3.7.1	Organische Materialien .....	655
L7.3.7.2	Anorganische Materialien .....	655
L7.4	Korrosionsschutz .....	656
L7.4.1	Allgemeines .....	656
L7.4.2	Korrosionsschutz durch Konditionierung und Inhibierung .....	656
L7.4.2.1	Unlegierte und niedriglegierte Stähle .....	656
L7.4.2.2	Verzinkte Eisenwerkstoffe .....	657

L7.4.2.3	Nichtrostender Stahl .....	657
L7.4.2.4	Kupfer und Kupferlegierungen .....	657
L7.4.2.5	Aluminiumlegierungen .....	658
L7.4.3	Korrosionsschutz durch Beschichtung .....	658
L7.4.4	Kathodische Schutzverfahren .....	659
L8	Konservierung .....	660
L8.1	Übersicht .....	660
L8.2	Naßkonservierung .....	660
L8.3	Trockenkonservierung .....	661
L9	Chemische Reinigung .....	661
L10	Wasseranalyse und chemische Überwachung .....	662
L11	Arbeits- und Umweltschutz .....	664
L12	Literatur .....	665
<b>M</b>	<b>Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung</b> .....	<b>667</b>
	H.-J. WARNECKE	
M1	Begriffsbestimmung .....	667
M1.1	Wirtschaftlichkeits- und Investitionsrechnung .....	667
M1.2	Investitionsarten .....	667
M1.3	Einteilung des Verfahrens zur Investitionsrechnung .....	667
M1.4	Investitionsplanung .....	668
M1.5	Phasen der Investitionsplanung .....	668
M2	Statische Verfahren .....	669
M2.1	Übersicht .....	669
M2.2	Kostenvergleichsrechnung .....	669
M2.3	Rentabilitätsrechnung .....	670
M2.4	Amortisationsrechnung .....	671
M3	Dynamische Verfahren .....	672
M3.1	Übersicht .....	672
M3.2	Grundbegriffe .....	672
M3.3	Beschreibung der dynamischen Verfahren .....	675
M3.3.1	Vorbemerkung .....	675
M3.3.2	Kapitalwertmethode .....	675
M3.3.3	Annuitätenmethode .....	678
M3.3.4	Dynamische Amortisationsrechnung .....	679
M3.3.5	Interne Zinssatzmethode .....	679
M4	Wirtschaftlichkeitsrechnung unter Unsicherheit .....	680
M4.1	Übersicht .....	680
M4.2	Verfahren .....	680
M4.2.1	Korrekturverfahren .....	680
M4.2.2	Sensitivitätsanalysen .....	681
M4.2.3	Risikoanalyse .....	681
M4.3	Bewertung der Wirtschaftlichkeitsrechnung unter Unsicherheit .	681

M5	Kosten-Nutzenanalyse .....	682
M5.1	Übersicht .....	682
M5.2	Nutzwertanalyse .....	683
M5.2.1	Prinzip der Nutzwertanalyse .....	683
M5.2.2	Aufstellen des Zielsystems (Arbeitsschritt 1) .....	684
M5.2.2.1	Zusammenstellung der Zielkriterien .....	684
M5.2.2.2	Feststellen der Zielerträge .....	685
M5.2.3	Gewichtung der Zielkriterien (Arbeitsschritt 2) .....	685
M5.2.4	Ermittlung der Zielwerte (Arbeitsschritt 3) .....	686
M5.2.5	Bestimmen des Nutzwerts (Arbeitsschritt 4) .....	686
M5.2.6	Erstellen einer Rangordnung (Arbeitsschritt 5) .....	686
M5.3	Vom Bewertungsproblem zur Entscheidungsgrundlage .....	686
M6	Hinweis .....	688
M7	Literatur .....	688
<b>N</b>	<b>Luftreinigung</b> .....	<b>689</b>
	H. H. SCHICHT	
N1	Aufgabe der Luftreinigung .....	689
N2	Arten der Luftverunreinigungen .....	689
N2.1	Übersicht .....	689
N2.2	Staub, Partikel und Aerosole .....	690
N2.3	Luftfremde Gase und Dämpfe .....	691
N2.4	Mikroorganismen und Pollen .....	691
N3	Quellen der Raumluftverunreinigung und ihre Wechselwirkung mit Mensch und Arbeitsprozeß .....	692
N3.1	Übersicht .....	692
N3.2	Außenluft und Umfeld .....	692
N3.3	Komponenten der raumluftechnischen Anlage .....	693
N3.4	Mensch und Prozeß im Raum .....	693
N4	Luftreiniger: Grundkonzepte, Abscheidemechanismen .....	694
N4.1	Bauarten .....	694
N4.2	Faserfilter .....	694
N4.3	Elektrofilter .....	699
N4.4	Sorptionsfilter .....	699
N4.5	Naßfilter .....	700
N4.6	Fliehkraftabscheider .....	701
N5	Qualitätsstufen und Bauarten von Staubfiltern .....	701
N5.1	Gütestufen der Faserfilter .....	701
N5.2	Grobfilter .....	701
N5.3	Feinfilter .....	702
N5.4	Schwebstofffilter .....	704
N5.5	Filterkombinationen .....	706
N6	Leistungsmerkmale von Staubfiltern .....	707

N6.1	Wirtschaftlichkeit im Vordergrund .....	707
N6.2	Abscheideleistung .....	707
N6.2.1	Unterschiedlichkeit der Prüfverfahren .....	707
N6.2.2	Gravimetrischer Abscheidegrad .....	707
N6.2.3	Wirkungsgrad .....	708
N6.2.4	Durchlaßgrad und Abscheidegrad bei Schwebstofffiltern .....	708
N6.3	Druckverlust .....	709
N6.4	Staubspeicherfähigkeit, Standzeit .....	709
N6.5	Sonderanforderungen für Schwebstofffilter .....	710
N6.5.1	Leckfreiheit .....	710
N6.5.2	Homogenität des Geschwindigkeitsfelds .....	710
N7	Prüfung, Klassierung, Qualitätssicherung .....	710
N7.1	Übersicht .....	710
N7.2	Prüfung von Grob- und Feinstaubfiltern .....	711
N7.3	Prüfung von Schwebstofffiltern .....	711
N7.4	Einteilung der Filterklassen .....	713
N7.5	Qualitätssicherung .....	715
N8	Luftfilter im Spannungsfeld von Hygiene und Ökologie .....	715
N8.1	Übersicht .....	715
N8.2	Filter – Akkumulatoren von Luftfremdstoffen .....	715
N8.3	Entsorgung von Luftfiltern .....	716
N9	Literatur .....	717
<b>Sachverzeichnis .....</b>		<b>719</b>