

---

# Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik

---

einschließlich Trinkwasser- und  
Kältetechnik sowie Energiekonzepte

---

Herausgegeben von  
Prof. Dr.-Ing. Karl-Josef Albers  
Hochschule Esslingen

---

78. Auflage

---

Mit über 2200 Abbildungen und über 500 Tafeln

---

Band 2

---

DIV Deutscher Industrieverlag GmbH

---

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen .....	1
<b>1 GRUNDLAGEN .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Meteorologische Grundlagen .....</b>	<b>5</b>
1.1.1 Luft .....	5
1.1.1-1 Reine Luft .....	5
1.1.1-2 Verunreinigungen .....	6
1.1.1-2.1 Gase und Dämpfe .....	6
1.1.1-2.2 Staub .....	9
1.1.1-2.3 Keime .....	13
1.1.1-2.4 Kondensationskerne .....	14
1.1.1-3 Vermeidung von Verunreinigungen .....	15
1.1.2 Lufttemperatur .....	15
1.1.2-1 Mittelwerte der Temperatur .....	15
1.1.2-2 Extremwerte der Temperatur .....	19
1.1.2-3 Heizgradtage (Gradtagzahl $G_t$ ) .....	20
1.1.2-4 Lüftungsgradstunden $G_L$ .....	23
1.1.2-5 Kühlgradstunden $G_K$ .....	24
1.1.3 Luftfeuchte .....	25
1.1.3-1 Bezeichnungen .....	25
1.1.3-2 Mittlere Feuchte .....	26
1.1.3-3 Entfeuchtungs- und Befeuchtungsgrammstunden .....	27
1.1.3-4 Extremwerte der Feuchte .....	28
1.1.3-5 Temperatur und Feuchte .....	28
1.1.3-6 Feuchte-Gleichgewicht .....	44
1.1.4 Sonnenstrahlung .....	45
1.1.4-1 Solarkonstante .....	46
1.1.4-2 Linke'scher Trübungsfaktor $T_L$ .....	47
1.1.4-3 Direkte Sonnenstrahlung auf beliebige Flächen .....	50
1.1.4-4 Diffuse Strahlung .....	51
1.1.4-5 Atmosphärische Wärmestrahlung .....	52
1.1.4-6 Gesamtstrahlung .....	55
1.1.4-7 Sonnenstrahlung und Fenster .....	58
1.1.4-8 Besonnung im Jahresablauf .....	59
1.1.4-9 Besonnung bei unterschiedlichen geographischen Breiten .....	61
1.1.5 Wind .....	62
<b>1.2 Raumklimatische Grundlagen .....</b>	<b>65</b>
1.2.1 Raumklimadefinition .....	65
1.2.2 Thermisches Raumklima .....	66
1.2.2-1 Thermisches Empfinden .....	66
1.2.2-2 Arbeitsstättenregel Raumtemperatur .....	71
1.2.2-3 Thermische Gesamtbehaglichkeit .....	72
1.2.2-3.1 Gebäude ohne maschinelle Kühlung .....	72
1.2.2-3.2 Maschinell geheizte oder gekühlte Gebäude .....	74
1.2.2-3.3 Erhöhte Luftgeschwindigkeit im Sommer .....	76
1.2.2-4 Lokale thermische Behaglichkeit .....	76

1.2.2-4.1	Zugluft .....	77
1.2.2-4.2	Vertikaler Temperaturgradient .....	80
1.2.2-4.3	Strahlungstemperaturasymmetrie .....	81
1.2.2-4.4	Kalte und warme Oberflächen .....	82
1.2.2-5	Messung des thermischen Raumklimas .....	82
1.2.3	Innenraumluftqualität .....	83
1.2.3-1	Innenraum .....	83
1.2.3-2	Innenraumluftqualität .....	84
1.2.3-3	Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ) als Bewertungsindikator .....	85
1.2.3-4	Flüchtige organische Verbindungen .....	86
1.2.3-5	Adaptation und Einfluss von Temperatur und Feuchte .....	88
1.2.3-6	Arbeitsstättenregel Lüftung .....	89
1.2.3-7	Erforderliche Luftvolumenströme .....	90
1.2.3-8	Prüfung und Bewertung von VOC-Emissionen aus Bauprodukten .....	92
1.2.3-9	Messung und Beurteilung von VOC-Konzentrationen in Innenräumen .....	94
1.2.3-10	Natürliche Radioaktivität .....	98
1.2.3-11	Feinstaub .....	99
1.2.4	Akustik, Lärm .....	100
1.2.5	Licht und Blendung .....	100
1.2.6	Einflussnahme durch den Nutzer .....	101
1.2.7	Sick Building Syndrome (SBS) .....	102
1.2.7-1	Einleitung .....	102
1.2.7-2	Begriffsbestimmung .....	102
1.2.7-3	Beschwerdebild .....	103
1.2.7-4	Risikofaktoren .....	104
1.2.7-5	Zusammenspiel von Risikofaktoren .....	106
1.2.7-6	Meidung/Beseitigung/Minderung von Risikofaktoren .....	107
<b>1.3</b>	<b>Wärmetechnische Grundlagen .....</b>	<b>114</b>
1.3.1	Thermisch-mechanische Grundgrößen .....	114
1.3.1-1	Einheitensysteme .....	114
1.3.1-2	Masse, Kraft und Gewicht .....	115
1.3.1-3	Druck .....	115
1.3.1-4	Dichte und spezifisches Volumen .....	115
1.3.1-5	Temperatur .....	118
1.3.1-6	Energiearten und Leistung .....	120
1.3.1-7	Zustandsformen .....	123
1.3.1-8	Ausdehnung durch Temperaturerhöhung .....	126
1.3.1-9	Hauptsätze der Thermodynamik .....	128
1.3.2	Gase .....	128
1.3.2-1	Gasgesetze .....	128
1.3.2-2	Zustandsgleichung .....	129
1.3.2-3	Normzustand .....	131
1.3.2-4	Gasmischungen .....	131
1.3.2-5	Spezifische Wärmekapazität .....	132
1.3.2-6	Innere Energie, Enthalpie und Arbeit .....	134
1.3.2-7	Entropie .....	135
1.3.2-8	Zustandsänderungen .....	136
1.3.2-9	Kreisprozesse .....	137
1.3.3	Dämpfe .....	138
1.3.3-1	Verdampfungsvorgang .....	138
1.3.3-2	Bezeichnungen der Dampfzustände .....	139

1.3.3-3	Zustandsgrößen des Wasserdampfes (Nassdampf) .....	140
1.3.3-4	Zustandsgrößen des Wasserdampfes (Heißdampf) .....	148
1.3.3-5	Diagramme für Wasserdampf .....	149
1.3.3-6	Zustandsänderungen mit Wasserdampf .....	149
1.3.3-7	Zustandsgleichung .....	151
1.3.4	Feuchte Gase insbesondere feuchte Luft .....	151
1.3.4-1	Einführung .....	151
1.3.4-2	Absolute Feuchte .....	151
1.3.4-3	Relative Feuchte und Taupunkt .....	152
1.3.4-4	Spezifisches Volumen bzw. Dichte feuchter Gase .....	153
1.3.4-5	Spezifische Enthalpie feuchter Gase .....	153
1.3.4-6	$h,x$ -Diagramm von Mollier .....	154
1.3.4-7	Zustandsänderungen feuchter Luft .....	156
1.3.4-7.1	Mischung .....	156
1.3.4-7.2	Erwärmung .....	156
1.3.4-7.3	Kühlung .....	156
1.3.4-7.4	Befeuchtung .....	157
1.3.4-7.5	Adiabate Befeuchtung .....	158
1.3.4-7.6	Entfeuchtung .....	158
1.3.5	Wärmeübertragung .....	159
1.3.5-1	Wärmeleitung .....	159
1.3.5-1.1	Ebene Wand .....	159
1.3.5-1.2	Zylinderwand .....	160
1.3.5-1.3	Wärmeleitfähigkeit .....	161
1.3.5-1.4	Kontakttemperatur .....	171
1.3.5-2	Konvektion .....	172
1.3.5-2.1	Erzwungene Flüssigkeits- oder Gasströmung im Rohr oder Kanal ..	174
1.3.5-2.1.1	Laminare Strömung im geraden Rohr oder Kanal ( $Re < 2320$ ) .....	174
1.3.5-2.1.2	Turbulente Strömung im geraden Rohr oder Kanal ( $Re > 2320$ ) .....	174
1.3.5-2.1.3	Turbulente Strömung von Flüssigkeiten und Gasen in Rohrwendeln	178
1.3.5-2.2	Erzwungene Flüssigkeits- oder Gasströmung um Platten und Rohre	179
1.3.5-2.2.1	Längsüberströmte Platten .....	179
1.3.5-2.2.2	Längsüberströmte Rohre .....	180
1.3.5-2.2.3	Querüberströmte Rohre und Rohrbündel .....	180
1.3.5-2.3	Wasser in Behältern und Kesseln .....	183
1.3.5-2.4	Freie Strömung an Platten und Rohren .....	183
1.3.5-2.4.1	Senkrechte Platten (Wände) und Rohre .....	183
1.3.5-2.4.2	Waagerechte Platten .....	185
1.3.5-2.4.3	Waagerechte Rohre .....	185
1.3.5-2.5	Überlagerung freier und erzwungener Konvektion .....	186
1.3.5-2.6	Verdampfung von Wasser in Behältern und Kesseln .....	187
1.3.5-2.7	Kondensation von Wasserdampf .....	188
1.3.5-2.8	Verdunstung und Stoffübergang von Wasser .....	189
1.3.5-3	Wärmestrahlung .....	190
1.3.5-3.1	Stefan-Boltzmann'sches Gesetz, Emissionsgrad .....	190
1.3.5-3.2	Kirchhoff'sches Gesetz, Absorptionsgrad .....	191
1.3.5-3.3	Lambert'sches Kosinusetz .....	192
1.3.5-3.4	Strahlungsaustausch .....	192
1.3.5-3.4.1	Körper mit Umhüllung .....	192
1.3.5-3.4.2	Zwei Flächen in beliebiger Lage .....	193
1.3.5-3.5	Gasstrahlung .....	193
1.3.5-3.6	Einstrahlzahl .....	193
1.3.5-3.7	Strahlungsaustausch zwischen den Oberflächen geschlossener Räume (Bruttomethode) .....	198
1.3.5-3.8	Wärmeübergangskoeffizient beim Strahlungswärmeaustausch .....	199
1.3.5-3.9	Strahlungstemperatur der Umgebung .....	200

1.3.5-4	Gesamtwärmeübergangskoeffizienten (Basiskennlinien) für thermisch aktive Raumumfassungen .....	201
	Wärmedurchgang .....	202
1.3.5-5.1	Grundgleichungen .....	202
1.3.5-5.2	Wärmedurchgangskoeffizient .....	203
1.3.5-5.3	Mittlere Temperaturdifferenz .....	205
1.3.5-5.4	Wärmeübertrager .....	206
1.3.5-5.5	Wärmeabgabe von Rohren .....	208
1.3.5-6	Wasserdampfdiffusion .....	211
1.3.6	Wärmespeicherung .....	216
1.3.6-1	Einführung .....	216
1.3.6-1.1	Wärmespeicherung als sensible Wärme .....	216
1.3.6-1.2	Wärmespeicherung als latente Wärme .....	217
1.3.6-1.3	Thermochemische Speicherung .....	217
1.3.6-2	PCM-Materialien .....	218
1.3.6-2.1	PCM-Verarbeitungs-, bzw. Einatzformen in der TGA .....	219
1.3.6-2.2	Begriffe und Definitionen nach VDI 2164, bzw. RAL-GZ 896 .....	219
1.3.6-2.2.1	Latentwärmespeichermaterialien/Phasenwechselmaterialien (PCM)	219
1.3.6-2.2.2	Schmelztemperatur/Kristallisationstemperatur, Phasenübergangs- temperatur/Phasenübergangstemperaturbereich .....	219
1.3.6-2.2.3	Phasenübergangswärme/Schmelzenthalpie/latente Wärme .....	220
1.3.6-2.2.4	Zyklen/Zyklusstabilität/Reproduzierbarkeit des Phasenübergangs	220
1.3.6-2.2.5	Passive und aktive Systeme (mit/ohne Hilfsenergie) .....	220
1.3.6-2.2.6	Einsatztemperaturbereich .....	221
1.3.6-2.2.7	Stillstandsverlust .....	221
1.3.6-2.2.8	Be- und Entladeleistung/-zeit .....	221
1.3.6-2.2.9	Unterkühlung .....	221
1.3.7	Brennstoffe .....	221
1.3.7-1	Feste Brennstoffe .....	221
1.3.7-2	Flüssige Brennstoffe .....	225
1.3.7-2.1	Einteilung .....	225
1.3.7-2.1.1	Mineralöle .....	225
1.3.7-2.1.2	Teeröle .....	226
1.3.7-2.1.3	Synthetische Öle .....	226
1.3.7-2.1.4	Sonstige flüssige Brennstoffe .....	226
1.3.7-2.2	Heizöle .....	226
1.3.7-2.2.1	Heizwert .....	226
1.3.7-2.2.2	Dichte .....	226
1.3.7-2.2.3	Viskosität .....	226
1.3.7-2.2.4	Verkokungsgrad .....	229
1.3.7-2.2.5	Flammpunkt .....	229
1.3.7-2.2.6	Brennpunkt .....	229
1.3.7-2.2.7	Stockpunkt, Pourpoint .....	229
1.3.7-2.2.8	Schwefel und Asche .....	229
1.3.7-2.2.9	Wasser und Sedimente .....	229
1.3.7-3	Gasförmige Brennstoffe .....	230
1.3.7-3.1	Allgemeines .....	230
1.3.7-3.2	Entgasung .....	233
1.3.7-3.3	Vergasung .....	233
1.3.7-3.4	Raffineriegase (Reichgase, Flüssiggase) .....	234
1.3.7-3.5	Erdgase .....	235
1.3.7-3.6	Spaltgase .....	236
1.3.7-4	Regenerative Brennstoffe .....	236
1.3.7-4.1	Holz .....	236
1.3.7-4.2	Pflanzenöle .....	239
1.3.7-4.3	Biogas .....	239

1.3.8	Verbrennung	240
1.3.8-1	Allgemeines	240
1.3.8-2	Heizwert und Brennwert	240
1.3.8-3	Verbrennungsluftmenge und Abgase	245
1.3.8-3.1	Feste und flüssige Brennstoffe	245
1.3.8-3.2	Gasförmige Brennstoffe	246
1.3.8-3.3	Näherungswerte	247
1.3.8-3.4	Dichte der Abgase	251
1.3.8-3.5	Spezifische Wärmekapazität der Abgase	251
1.3.8-3.6	Wasserdampfgehalt und Taupunkt der Abgase	252
1.3.8-4	Verbrennungstemperatur	252
1.3.8-5	Abgasprüfung	254
1.3.8-5.1	Vollkommene Verbrennung	255
1.3.8-5.2	Unvollkommene Verbrennung	256
1.3.8-5.3	Verbrennungsdreiecke	256
1.3.8-6	Zündtemperatur und Zündgrenzen	258
1.3.8-7	Katalytische Verbrennung	261
<b>1.4</b>	<b>Strömungstechnische Grundlagen</b>	<b>264</b>
1.4.1	Einleitung	264
1.4.2	Eigenschaften der Fluide	264
1.4.2-1	Verformungsgesetze	265
1.4.2-2	Druckausbreitung	266
1.4.2-3	Kompressibilität	266
1.4.2-4	Haften an festen Wänden	267
1.4.3	Statik der Fluide	268
1.4.3-1	Druck in ruhenden Flüssigkeiten (Hydrostatik)	268
1.4.3-2	Druck in ruhenden Gasen (Aerostatik)	268
1.4.3-2.1	Isotherme Schichtung	268
1.4.3-2.2	Isentrope Schichtung	268
1.4.4	Grundgleichungen bewegter Fluide	269
1.4.4-1	Begriffe	269
1.4.4-2	Kontinuitätsgleichung	270
1.4.4-2.1	Stationäre Strömung	270
1.4.4-2.2	Instationäre kompressible Strömung	271
1.4.4-3	Eulergleichung	272
1.4.4-4	Bernoulligleichung	272
1.4.4-4.1	Stationäres Ausflussproblem	272
1.4.4-4.2	Instationäres Ausflussproblem	273
1.4.4-4.3	Bernoulligleichung mit Verlustglied	274
1.4.4-4.4	Bernoulligleichung mit Verlust und Energiezufuhr	275
1.4.5	Stationäre Rohrströmung mit Reibung	276
1.4.5-1	Ausgebildete Strömung in geraden Rohren	276
1.4.5-1.1	Strömungsformen	276
1.4.5-1.2	Laminare Strömung in kreiszylindrischen Rohren	276
1.4.5-1.3	Turbulente Strömung in kreiszylindrischen Rohren	277
1.4.5-1.4	Druckverlust, Rohrreibungsdiagramm	278
1.4.5-1.5	Rohrleitungen mit beliebigen Querschnittsformen	280
1.4.5-2	Durchströmteile	280
1.4.5-2.1	Rohreinlaufströmung	281
1.4.5-2.2	Krümmen	281
1.4.5-2.3	Verzweigungen	282
1.4.5-2.4	Drosselorgane	283
1.4.5-2.5	Düsen und Einläufe	284
1.4.5-2.6	Diffusoren	284

1.4.5-3	Rohrsysteme .....	288
1.4.6	Strömungstechnische Messungen in inkompressiblen Fluiden .....	289
1.4.6-1	Messprinzip .....	289
1.4.6-2	Gesamtdruckmessung .....	290
1.4.6-2.1	Stauscheibe .....	291
1.4.6-2.2	Pitotrohr .....	291
1.4.6-3	Messung des statischen Druckes .....	292
1.4.6-4	Staudruckmessung .....	293
1.4.6-5	Durchflussmengenmessung .....	295
1.4.6-6	Hitzdrahtmessung, Lasermessung .....	296
1.4.7	Impulsatz .....	298
1.4.8	Körperumströmung .....	300
1.4.8-1	Widerstandskraft .....	300
1.4.8-2	Dynamischer Auftrieb .....	302
1.4.8-3	Nachlauferscheinungen .....	303
1.4.9	Turbomaschinen .....	303
1.4.10	Netzkennlinien einfacher Anlagen mit Turbomaschinen .....	304
1.4.10-1	Pumpenanlage .....	305
1.4.10-2	Ventilatoranlage .....	306
1.4.10-3	Turbinenanlage .....	306
1.4.11	Aufbau und Wirkungsweise von Turbomaschinen .....	308
1.4.11-1	Einfache axiale Turbomaschine .....	308
1.4.11-2	Einfache radiale Turbomaschine .....	309
1.4.12	Strömungsmechanische Grundgleichungen der Turbomaschinen ..	310
1.4.12-1	Kontinuitätsgleichung .....	310
1.4.12-2	Eulersche Gleichung der Turbomaschinen .....	311
1.4.13	Kennzahlen für Turbomaschinen und ihre Anwendung .....	312
1.4.13-1	Ähnlichkeitsbedingungen .....	312
1.4.13-2	Die für Turbomaschinen charakteristischen Kennzahlen .....	313
1.4.13-3	Anwendung der Ähnlichkeitskennzahlen .....	313
1.4.13-3.1	Modellberechnung .....	313
1.4.13-3.2	Rationalisierung der Versuchsarbeit .....	315
1.4.13-3.3	Klassifizierung der Bauarten .....	316
1.4.13-3.4	Allgemeingültige Darstellung von Erfahrungswerten .....	317
1.4.14	Betriebsverhalten von Turbomaschinen .....	320
1.4.14-1	Grundlegende Begriffe, Regeln und Hilfsmittel .....	320
1.4.14-2	Typische Kennfelder einiger Turbomaschinen .....	321
1.4.14-2.1	Kennfeld einer Kreiselpumpe .....	321
1.4.14-2.2	Kennfeld einer Wasserturbine .....	322
1.4.14-2.3	Kennfeld eines Ventilators .....	323
1.4.14-3	Instabile Betriebszustände .....	324
1.4.14-4	Kavitation .....	327
1.4.14-5	Kennlinien bei Reihen- und Parallelschaltung von Turbomaschinen	329
<b>1.5</b>	<b>Schalltechnische Grundlagen .....</b>	<b>332</b>
1.5.1	Allgemeine Bezeichnungen .....	332
1.5.2	Schallfeldgrößen .....	332
1.5.3	Schallpegel .....	334
1.5.4	Tonspektrum und Klangfarbe .....	335
1.5.5	Geräuschbewertung .....	336
1.5.5-1	Frequenzspektren .....	336

1.5.5-2	A-bewerteter Schallpegel .....	337
1.5.5-3	Grenzkurven .....	339
1.5.6	Schallausbreitung .....	340
1.5.7	Luftschalldämmung .....	342
1.5.7-1	Definition .....	342
1.5.7-2	Schalldämm-Maß .....	342
1.5.7-3	Bewertetes Schalldämm-Maß .....	342
1.5.7-4	Einschalige Wände und Decken .....	343
1.5.7-5	Mehrschalige Wände und Decken .....	344
1.5.7-6	Fenster und Türen .....	345
1.5.7-7	Zusammengesetzte Bauteile .....	346
1.5.8	Körperschalldämmung .....	347
1.5.9	Schallabsorption .....	347
1.5.10	Akustik großer Räume .....	348
<b>1.6</b>	<b>Messtechnische Grundlagen</b> .....	<b>350</b>
1.6.1	Allgemeines .....	350
1.6.2	Druckmessung .....	350
1.6.2-1	Allgemeines .....	350
1.6.2-2	U-Rohr-Manometer .....	351
1.6.2-3	Federmanometer .....	352
1.6.2-4	Elektrische Manometer .....	353
1.6.3	Temperaturmessung .....	353
1.6.3-1	Allgemeines .....	353
1.6.3-2	Ausdehnungs-Thermometer .....	354
1.6.3-3	Elektrische Widerstandsthermometer .....	356
1.6.3-4	Thermoelemente .....	357
1.6.3-5	Strahlungsthermometer (Infrarotthermometer, Pyrometer) .....	358
1.6.3-6	Infrarot-Thermographie .....	359
1.6.3-7	Globethermometer .....	360
1.6.3-8	Halbleiter-Temperatursensoren .....	360
1.6.4	Geschwindigkeitsmessung .....	360
1.6.4-1	Staugeräte .....	360
1.6.4-2	Thermische Anemometer, Hitzdraht-Anemometer .....	361
1.6.4-3	Flügelradanemometer .....	362
1.6.4-4	Optische Messverfahren zur Bestimmung der Luftgeschwindigkeit .....	362
1.6.4-5	Messung der Raumluftgeschwindigkeit .....	363
1.6.5	Mengen- und Durchflussmessung .....	364
1.6.5-1	Wägung und Ausmessung .....	364
1.6.5-2	Gaszähler .....	365
1.6.5-3	Verdrängungszähler .....	365
1.6.5-4	Flügelradzähler .....	366
1.6.5-5	Schwebekörper-Durchflussmesser .....	366
1.6.5-6	Drosselgeräte .....	367
1.6.5-7	Ultraschallverfahren .....	368
1.6.5-8	Induktionsverfahren .....	368
1.6.5-9	Volumenstrommessung in Kanälen .....	368
1.6.5-9.1	Netzmessung .....	368
1.6.5-9.2	Einlaufdüse .....	369
1.6.5-9.3	Blenden und Düsen .....	369
1.6.5-9.4	Staukörper .....	370
1.6.5-10	Volumenstrommessung an Luftdurchlässen .....	370

1.6.5-10.1	Netzmessung .....	370
1.6.5-10.2	Messtrichter-Verfahren .....	370
1.6.5-10.3	Druckmessmethode .....	370
1.6.5-10.4	Nullmethode .....	371
1.6.6	Wärmemengenmessung .....	371
1.6.6-1	Heizkostenverordnung .....	371
1.6.6-2	Direkte Messung – Wärmezähler .....	372
1.6.6-2.1	Grundlagen .....	372
1.6.6-2.2	Fehlergrenzen .....	376
1.6.6-2.3	Gesetzliches Messwesen und Eichpflicht .....	377
1.6.6-2.4	Einbau und Betrieb .....	377
1.6.6-3	Indirekte Messung – Heizkostenverteiler .....	378
1.6.6-3.1	Heizkostenverteiler nach dem Verdunstungsprinzip .....	380
1.6.6-3.2	Heizkostenverteiler mit elektrischer Hilfsenergie .....	381
1.6.6-4	Indirekte Messung – Energiebewertende Mengemessung .....	383
1.6.7	Füllstandsmessung .....	384
1.6.7-1	Schauglasmethode .....	384
1.6.7-2	Peilstabmethode .....	384
1.6.7-3	Schwimmermethode .....	384
1.6.7-4	Verdränger methode .....	384
1.6.7-5	Einperlrohrmethode .....	385
1.6.7-6	Hydrostatische Druckmethode .....	385
1.6.7-7	Wägemethode .....	385
1.6.7-8	Leitfähigkeitsmessmethode .....	386
1.6.7-9	Kapazitive Messmethode .....	386
1.6.7-10	Strahlungsdämpfungsmethode .....	386
1.6.7-11	Reflexionsmessmethode .....	387
1.6.8	Abgasprüfung .....	387
1.6.9	Feuchtemessung .....	390
1.6.9-1	Absorptionsverfahren .....	390
1.6.9-2	Taupunkt methode .....	390
1.6.9-3	Haarhygrometer .....	390
1.6.9-4	Psychrometer .....	391
1.6.9-5	Lithiumchlorid-Feuchtemesser .....	393
1.6.9-6	Leitfilm-Hygrometer .....	393
1.6.9-7	Kapazitäts-Hygrometer .....	393
1.6.9-8	Taupunktsensoren .....	394
1.6.10	Sonstige Messgeräte .....	394
1.6.10-1	Kalorimeter .....	394
1.6.10-2	pH-Wert-Messung .....	394
1.6.10-3	Rußmessung .....	395
1.6.10-4	Schallpegelmessung .....	395
1.6.10-5	Staubmessung .....	396
1.6.10-5.1	Klassifikation von Staubpartikeln .....	396
1.6.10-5.2	Überwachung .....	397
1.6.10-5.3	Immissionsgrenzwerte .....	397
1.6.10-5.4	Emissionsgrenzwerte für genehmigungsbedürftige Anlagen .....	398
1.6.10-5.5	Emissionsgrenzwerte für nicht genehmigungsbedürftige Anlagen ..	398
1.6.10-5.6	Zulassungsverfahren für Staubmessgeräte .....	401
1.6.10-5.7	Staubmessung mit dem Standardreferenzverfahren nach VDI 2066 ..	401
1.6.10-5.8	Mobile Online-Staubmessverfahren für die novellierte 1. BImSchV ..	404
1.6.10-6	Gasanalysengeräte .....	413
1.6.10-7	Messung der Radioaktivität der Luft .....	414
1.6.10-8	Messung der Leitfähigkeit .....	415

1.6.10-9	Messung des Außenluftwechsels und der Lüftungseffektivität .....	415
1.6.10-10	Kombinierte Messgeräte .....	417
<b>1.7</b>	<b>Regelungstechnische Grundlagen</b> .....	<b>418</b>
1.7.1	Grundbegriffe .....	418
1.7.1-1	Steuerung .....	418
1.7.1-2	Regelung .....	419
1.7.2	Regelstrecken .....	421
1.7.2-1	Statisches Verhalten von Regelstrecken (Kennlinien) .....	421
1.7.2-2	Dynamisches Verhalten von Regelstrecken (Übergangsverhalten) ..	422
1.7.2-2.1	Regelstrecken mit Ausgleich .....	423
1.7.2-2.1.1	Verzögerungsglied nullter Ordnung (P-Regelstrecke) .....	423
1.7.2-2.1.2	Verzögerungsglied erster Ordnung (PT1-Regelstrecke) .....	424
1.7.2-2.1.3	Verzögerungsglied zweiter und höherer Ordnung (PT <sub>2</sub> - oder PT <sub>n</sub> -Regelstrecken) .....	426
1.7.2-2.1.4	Kennwertermittlung von Regelstrecken .....	426
1.7.2-2.1.5	Schwierigkeitsgrad und Regelbarkeit von Regelstrecken .....	428
1.7.2-2.2	Regelstrecken ohne Ausgleich .....	429
1.7.3	Regleinrichtungen .....	429
1.7.3-1	Klassifikation von Regelgeräten .....	430
1.7.3-1.1	Regler ohne Hilfsenergie .....	430
1.7.3-1.2	Regler mit Hilfsenergie .....	431
1.7.3-2	Regelgüte von Regelkreisen .....	431
1.7.3-3	Analoge Regelsysteme .....	432
1.7.3-3.1	Unstetige Regler .....	433
1.7.3-3.1.1	Zweipunktregler .....	433
1.7.3-3.1.2	Dreipunktregler .....	435
1.7.3-3.2	Stetige Regler .....	436
1.7.3-3.2.1	Proportionale Regler (P-Regler) .....	437
1.7.3-3.2.2	Integrierende Regler (I- und PI-Regler) .....	441
1.7.3-3.2.3	Differenzierende Regler (D-Regler) .....	442
1.7.3-3.2.4	PID-Regler .....	442
1.7.3-3.3	Quasi-stetige Regler .....	443
1.7.4	Digitale Regelsysteme .....	444
1.7.4-1	Aufbau einer digitalen Regelung .....	445
1.7.4-2	Digitale Regler .....	448
1.7.4-3	Zusatzfunktionen digitaler Regler .....	448
1.7.5	Reglerauswahl .....	449
1.7.6	Reglereinstellung .....	450
1.7.6-1	Reglereinstellung durch Probieren .....	450
1.7.6-2	Reglereinstellung nach Einstellregeln .....	450
1.7.6-2.1	Einstellregeln nach Ziegler/Nichols .....	451
1.7.6-2.1.1	Einstellung nach der Schwingungsmethode .....	451
1.7.6-2.1.2	Einstellung nach der Sprungantwort .....	451
1.7.6-2.2	Einstellregeln nach Chien, Hrones und Reswick .....	452
1.7.6-3	Parameteroptimierung .....	452
1.7.7	Adaptive Regelung .....	453
1.7.8	Fuzzy-Regelung .....	453
<b>1.8</b>	<b>Energiewirtschaftliche Grundlagen</b> .....	<b>456</b>
1.8.1	Definitionen .....	456
1.8.2	Primärenergieträger .....	456

1.8.2-1	Endliche Energieträger .....	456
1.8.2-1.1	Kohle .....	456
1.8.2-1.2	Rohöl .....	457
1.8.2-1.3	Erdgas .....	457
1.8.2-1.4	Uran .....	458
1.8.2-2	Erneuerbare Energien .....	458
1.8.2-2.1	Solarenergie .....	458
1.8.2-2.2	Wasserkraft .....	459
1.8.2-2.3	Windkraft .....	459
1.8.2-2.4	Erdwärme .....	459
1.8.2-2.5	Biomasse .....	459
1.8.3	Energieumwandlung .....	460
1.8.3-1	Kraftwerk .....	460
1.8.3-2	Heizwerk .....	460
1.8.3-3	Heizkraftwerk .....	461
1.8.3-4	Kernkraftwerk .....	461
1.8.3-5	Photovoltaikanlage .....	461
1.8.3-6	Konzentrierende Solarkraftwerke .....	461
1.8.3-7	Wasserkraftwerk .....	461
1.8.3-8	Windkraftanlagen .....	462
1.8.3-9	Geothermische Kraftwerke .....	463
1.8.3-10	Biomassekraftwerke .....	463
1.8.4	Energieverbrauch .....	464
1.8.5	Contracting .....	465
<b>1.9</b>	<b>Grundlagen des Umweltschutzes und der Luftreinhaltung .....</b>	<b>467</b>
1.9.1	Emissionen .....	467
1.9.2	Einwirkung von Emissionen .....	468
1.9.3	Maßnahmen zur Begrenzung von Schadstoffemissionen im Energiesektor .....	470
1.9.3-1	Brennstoffseitige Maßnahmen .....	471
1.9.3-2	Feuerungstechnische Maßnahmen .....	472
1.9.3-3	Abgasbehandlung .....	473
1.9.3-4	Einsatz von regenerativen Energien .....	476
1.9.4	Rechtsgrundlagen .....	477
1.9.4-1	Bundes-Immissionsschutzgesetz .....	478
1.9.4-2	Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen .....	478
1.9.4-3	Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen .....	479
1.9.4-4	Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen .....	479
1.9.4-5	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft – (Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes- Immissionsschutzgesetz) .....	479
1.9.4-6	Verordnung über Großfeuerungs-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotorenanlagen .....	481
1.9.4-7	Verordnung über Anlagen zur Feuerbestattung .....	484
1.9.4-8	Smog-Verordnung .....	485
1.9.4-9	Gesetze zur Nutzung Erneuerbarer Energien .....	485
1.9.4-10	Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung .....	485
1.9.4-11	Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (Wasserhaushaltsgesetz – WHG –) .....	485

1.9.4-12	Umwelthaftung .....	486
1.9.4-13	Weitere gesetzliche Regelungen .....	488
<b>1.10</b>	<b>Grundlagen des Korrosions- und des Steinschutzes</b> .....	<b>489</b>
1.10.1	Grundlagen der Korrosion .....	489
1.10.1-1	Begriffe .....	489
1.10.1-2	Elektrochemische Grundlagen .....	490
1.10.1-3	Wasserbeschaffenheit .....	492
1.10.2	Korrosion in Warmwasserheizungen .....	493
1.10.2-1	Wanddurchbruch bei Eisenwerkstoffen .....	493
1.10.2-2	Gasbildung .....	496
1.10.2-3	Schlammbildung .....	498
1.10.2-4	Eisenoxid-Beläge .....	499
1.10.2-5	Korrosion von Kupfer-Werkstoffen .....	499
1.10.2-6	Korrosion von Aluminium-Werkstoffen .....	500
1.10.2-7	Korrosion von feuerverzinktem Stahl .....	501
1.10.2-8	Korrosion von nichtrostenden Stählen .....	501
1.10.2-9	Bimetallkorrosion, Mischinstallation .....	501
1.10.2-10	Korrosionsschutz bei Planung und Inbetriebnahme .....	502
1.10.2-11	Korrosionsschutz durch Vermeidung von Unterdruck .....	504
1.10.2-12	Korrosionsschutz durch Wasserbehandlung .....	506
1.10.2-13	Frostschutzmittel .....	507
1.10.3	Korrosion in Niederdruck-Dampfanlagen .....	508
1.10.3-1	Korrosionsschäden .....	508
1.10.3-2	Korrosionsschutz .....	509
1.10.3-3	Anforderungen an die Beschaffenheit des Speisewassers .....	510
1.10.3-4	Betriebsweise .....	512
1.10.4	Korrosion in Wassererwärmern .....	513
1.10.4-1	Wassererwärmer aus emailliertem Stahl .....	513
1.10.4-2	Wassererwärmer aus kunststoffbeschichtetem Stahl .....	514
1.10.4-3	Wassererwärmer aus nichtrostendem Stahl .....	515
1.10.4-4	Kathodischer Schutz .....	516
1.10.5	Abgasseitige Korrosion .....	516
1.10.5-1	Korrosionsursachen .....	516
1.10.5-2	Korrosionsschäden .....	517
1.10.5-3	Korrosionsschutz .....	518
1.10.6	Steinbildung .....	520
1.10.6-1	Steinbildung in Wassererwärmungsanlagen .....	521
1.10.6-2	Steinbildung in Warmwasserheizungsanlagen .....	522
1.10.6-3	Maßnahmen gegen Steinbildung .....	522
<b>1.11</b>	<b>Planerische Grundlagen</b> .....	<b>526</b>
1.11.1	Grundlagen der Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnung .....	526
1.11.1-1	Begriffsabgrenzungen und Definitionen .....	526
1.11.1-2	Grundlagen der Kostenrechnung .....	528
1.11.1-2.1	Aufgaben der Kostenrechnung .....	528
1.11.1-2.2	Kostenrechnungssysteme .....	528
1.11.1-2.3	Aufbau der betrieblichen Kostenrechnung .....	529
1.11.1-2.4	Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen nach VDI 2067 .....	531
1.11.1-2.4.1	Übersicht .....	531
1.11.1-2.4.2	Kosten von Wärmeversorgungsanlagen .....	531
1.11.1-3	Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsrechnung .....	532
1.11.1-3.1	Aufgaben der Wirtschaftlichkeitsrechnung .....	532

1.11.1-3.2	Entscheidungskriterien und Randbedingungen der Wirtschaftlichkeits-/Investitionsrechenverfahren .....	533
1.11.1-3.2.1	Statische Verfahren .....	533
1.11.1-3.2.2	Dynamische Verfahren .....	534
1.11.1-3.3	Wirtschaftlichkeitsberechnungsverfahren nach VDI 2067, Blatt 1, und VDI 6025 .....	537
1.11.2	Bauherr, Architekt, Fachingenieur – Planung bis Erstellung .....	537
1.11.2-1	Allgemeines .....	537
1.11.2-2	Definitionen .....	537
1.11.2-2.1	Bauherr .....	537
1.11.2-2.2	Architekt .....	538
1.11.2-2.3	Projektsteuerung .....	538
1.11.2-2.4	Fachplaner .....	538
1.11.2-2.5	Generalplaner .....	538
1.11.2-2.6	Generalfachplaner .....	538
1.11.2-2.7	Fachunternehmer .....	538
1.11.2-2.8	Generalunternehmer .....	538
1.11.2-2.9	Generalübernehmer .....	538
1.11.2-3	Planung und Ausschreibung .....	539
1.11.2-3.1	Allgemeines .....	539
1.11.2-3.2	Leistungsbild nach § 73 HOAI .....	539
1.11.2-3.2.1	Grundlagenermittlung .....	539
1.11.2-3.2.2	Vorplanung .....	539
1.11.2-3.2.3	Entwurfsplanung .....	540
1.11.2-3.2.4	Genehmigungsplanung .....	540
1.11.2-3.2.5	Ausführungsplanung .....	540
1.11.2-3.2.6	Vorbereitung der Vergabe .....	540
1.11.2-3.3	Ausschreibungsverfahren .....	543
1.11.2-4	Vergabe, Ausführung und Abnahme .....	543
1.11.2-4.1	Allgemeines .....	543
1.11.2-4.2	Leistungsbild nach § 73 HOAI .....	543
1.11.2-4.2.1	Mitwirkung bei der Vergabe .....	543
1.11.2-4.2.2	Objektüberwachung .....	543
1.11.2-4.3	Vergabeunterlagen .....	543
1.11.2-4.4	Prüfen und Werten der Angebote .....	544
1.11.2-4.5	Vergabearten .....	544
1.11.2-4.6	Vertragsinhalte .....	544
1.11.2-4.7	Objektüberwachung .....	545
1.11.2-4.8	Abnahmen .....	545
1.11.2-5	Mängelsprüche .....	547
1.11.2-6	Investitionskosten .....	548
1.11.2-6.1	Allgemeines .....	548
1.11.2-6.2	Heizungsanlagen und Warmwasserbereitung .....	549
1.11.2-6.3	Raumlufttechnik und Kälteanlagen .....	551
1.11.2-7	Monitoring .....	555
1.11.2-7.1	Allgemeines .....	555
1.11.2-7.2	Verfahrensbetrachtungen .....	555
1.11.2-7.3	Schlussfolgerungen .....	559
1.11.3	Technisches Gebäudemanagement .....	559
1.11.3-1	Allgemeines .....	559
1.11.3-2	Relevante Vorschriften, Normen und Richtlinien .....	560
1.11.3-3	Definitionen im technischen Gebäudemanagement .....	561
1.11.3-4	Ausschreibung, Vergabe, Steuerung und Überwachung von Dienstleistungen im technischen Gebäudemanagement .....	565
1.11.3-5	Betreiben von Anlagen der Heizung und Klimatechnik .....	566

1.11.3-6	Inspektion, Prüfung und Wartung an Anlagen der Heizung und Klimatechnik .....	567
1.11.3-7	Prüfpflicht an Anlagen der Heizungs, Kälte- und Klimatechnik .....	569
1.11.3-7.1	Pflichten für Bauherren bzw. Anlagenbetreiber .....	569
1.11.3-7.1.1	Sachverständige (anerkannt nach Baurecht des Bundeslandes) .....	569
1.11.3-7.1.2	Sachkundige .....	569
1.11.3-7.2	Lüftungsanlagen .....	569
1.11.3-7.3	Heizungsanlagen .....	571
1.11.3-7.4	Kälteanlagen .....	571
1.11.3-8	Instandsetzung .....	572
1.11.3-9	Informationsmanagement .....	572
1.11.3-10	Nutzungskosten .....	575
1.11.3-10.2.1	Kapitalkosten .....	576
1.11.3-10.2.2	Energiekosten .....	576
1.11.3-10.2.3	Betriebskosten .....	581
1.11.3-10.3.1	Kapitalkosten .....	582
1.11.3-10.3.2	Energiekosten .....	582
1.11.3-10.3.3	Betriebskosten .....	584
1.11.4	Simulation .....	584
1.11.4-1	Simulation als planerisches Hilfsmittel .....	584
1.11.4-2	Systemtheoretische Grundlagen .....	585
1.11.4-3	Modellierung physikalischer Prozesse .....	586
1.11.4-4	Analogien zur Modellerstellung .....	586
1.11.4-5	Merkmale von Simulationsprogrammen .....	587
1.11.4-6	Belastbarkeit und Validation von Simulation .....	588
1.11.4-7	Simulation im Planungsablauf .....	590
1.11.4-8	Simulation zur Betriebsoptimierung .....	591
1.11.4-9	Vorgehensweise zur Betriebsoptimierung mit Simulation .....	591
1.11.4-10	Betriebsoptimierung mit Wettervorhersage-Steuerung (WVS) .....	592
1.11.4-11	Hemmnisse zum Einsatz von Simulation .....	594
1.11.5	Raumlufthygiene und Hygiene-Anforderungen an Raumlufttechnische Anlagen und Geräte nach VDI 6022 .....	595
<b>1.12</b>	<b>Bauphysikalische Grundlagen zum baulichen Wärmeschutz .....</b>	<b>599</b>
1.12.1	Winterlicher Wärmeschutz .....	599
1.12.1-1	Allgemeines .....	599
1.12.1-2	Transmissionswärmeverluste .....	599
1.12.1-3	Lüftungswärmeverluste .....	605
1.12.1-4	Passive Solarenergiegewinne .....	607
1.12.1-4.1	Gesamtenergiedurchlassgrad .....	607
1.12.1-4.2	Getrennte Bilanzierung .....	608
1.12.1-4.3	Äquivalente <i>U</i> -Werte .....	608
1.12.1-4.4	Systeme zur passiven Solarenergiegewinnung .....	609
1.12.1-4.4.1	Transluzente Wärmedämmung TWD .....	609
1.12.1-4.4.2	Wintergarten/Verglaste Anbauten .....	610
1.12.1-4.4.3	Temporärer Wärmeschutz .....	610
1.12.1-5	Wärmespeicherung .....	611
1.12.2	Sommerlicher Wärmeschutz .....	612
1.12.2-1	Beurteilungsgrößen .....	612
1.12.2-2	Einflussparameter .....	613
1.12.2-3	Planungsgröße .....	613
1.12.3	Tauwasserbildung auf Innenoberflächen von Außenbauteilen .....	615

<b>1.13</b>	<b>Energieeinsparverordnung EnEV 2014</b>	<b>618</b>
1.13.1	Einführung	618
1.13.1-1	Die EnEV für Wohngebäude	620
1.13.1-1.1	Neuerungen	620
1.13.1-1.2	Begriffe	620
1.13.1-1.2.1	Heizwärmebedarf (auch: Nutzenergiebedarf für Heizen)	620
1.13.1-1.2.2	Heizenergiebedarf (auch: Endenergiebedarf für das Heizsystem)	621
1.13.1-1.2.3	Endenergiebedarf	621
1.13.1-1.2.4	Primärenergiebedarf	621
1.13.1-1.3	Haupt-Anforderungsgröße Primärenergiebedarf	621
1.13.1-1.4	Übersicht über Anforderungen	622
1.13.1-1.4.1	Neu zu errichtende Wohngebäude	622
1.13.1-1.4.2	Wohngebäude- und Anlagenbestand	622
1.13.1-1.4.3	Anlagentechnik	622
1.13.1-1.5	Gegenüberstellung der Berechnungsverfahren	622
1.13.1-1.6	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz	623
1.13.1-2	Anforderungen für Wohngebäude	625
1.13.1-2.1	Jahres-Primärenergiebedarf und spezifischer Transmissionswärmeverlust	625
1.13.1-2.2	Sommerlicher Wärmeschutz	626
1.13.1-2.3	Gebäudebestand	626
1.13.1-2.4	Heizungstechnische Anlagen, Warmwasseranlagen und Wärmeverteilung, Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien	628
1.13.1-2.5	Raumluftkühlung	628
1.13.1-2.6	Energieausweise	629
1.13.1-2.7	Umsetzung der EnEV	629
1.13.1-3	Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfs für Wohngebäude gemäß DIN V 4108-6	630
1.13.1-3.1	Monatsbilanz	630
1.13.1-3.2	Wärmebrücken und Luftdichtheit	630
1.13.1-3.2.1	Transmissionswärmeverluste	631
1.13.1-3.2.2	Lüftungswärmeverluste	632
1.13.1-3.3	Wärmespeicherfähigkeit	633
1.13.1-3.3.1	Ausnutzungsgrad	633
1.13.1-3.3.2	Nachtabstaltung	634
1.13.1-3.4	Maßbezüge	634
1.13.1-4	Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs für Wohngebäude gemäß DIN V 4701-10	635
1.13.1-4.1	Anlagentechnische Einflussgrößen	637
1.13.1-5	Variationen baulicher und anlagentechnischer Ausführungen	639
1.13.1-5.1	Bauliche Randbedingungen	639
1.13.1-5.2	Anlagentechnische Randbedingungen	640
1.13.1-5.3	Ergebnisse	641
1.13.1-6	Planungs- und Ausführungsempfehlungen	644
1.13.1-6.1	Einbeziehung baulicher und anlagentechnischer Randbedingungen im früheren Planungsstadium	644
1.13.1-6.2	Wärmebrücken	644
1.13.1-6.3	Luftdichtheit	645
1.13.1-6.4	Anlagentechnik	645
1.13.1-6.5	Nachweisverfahren	645
1.13.1-7	Einflussgrößen auf den Primärenergiebedarf von Wohngebäuden	646
1.13.1-7.1	Bauliche Einflüsse	646
1.13.1-7.2	Anlagentechnische Einflüsse	647
1.13.1-7.3	Nutzungsbedingte Einflüsse	648
1.13.1-8	Die EnEV für Nichtwohngebäude	648

1.13.1-8.1	Anforderungen .....	648
1.13.1-8.2	Berechnungsverfahren .....	649
1.13.1-8.3	Beispiele .....	650
1.13.1-8.4	Vereinfachtes Nachweisverfahren für Nichtwohngebäude .....	651
<b>1.14</b>	<b>Elektrische Energietechnik .....</b>	<b>653</b>
1.14.1	Einführung in die Drehstromtechnik .....	654
1.14.1-1	Begriffsdefinitionen .....	655
1.14.1-2	Aufbau des Niederspannungsnetzes .....	656
1.14.1-3	Leistungsberechnung .....	657
1.14.2	Elektrosicherheit .....	660
1.14.2-1	Wirkung von Körperströmen .....	660
1.14.2-2	Personenschutz gegen gefährliche Körperströme .....	662
1.14.2-2.1	Schutz gegen elektrischen Schlag unter normalen Bedingungen (Basisschutz) .....	662
1.14.2-2.2	Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen (Schutz bei indirektem Berühren oder Fehlerschutz) .....	662
1.14.2-2.2.1	TN-System .....	663
1.14.2-2.2.2	TT-System .....	666
1.14.2-2.2.3	IT-System .....	667
1.14.2-2.2.4	Zulässige Schutzeinrichtungen für den Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen .....	667
1.14.2-3	Sachwertschutz gegen Überströme .....	667
1.14.2-3.1	Schutz gegen Überströme .....	667
1.14.2-4	Schutzeinrichtungen .....	669
1.14.3	Anschluss von Erzeugeranlagen an das Niederspannungsnetz .....	672
1.14.3-1	Funktionsweise von Wechselrichtern .....	672
1.14.3-2	Wirkleistungsabgabe bei Überfrequenz .....	673
1.14.3-3	Statische Netzstützung .....	674
1.14.3-4	Dynamische Netzstützung .....	676
1.14.3-5	Entkuppungsschutz .....	677
<b>2</b>	<b>HEIZUNG .....</b>	<b>679</b>
<b>2.1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>679</b>
2.1.1	Anforderungen an Heizsysteme .....	679
2.1.2	Systematisierung von Heizungssystemen .....	680
2.1.2-1	Zentrale Systeme .....	680
2.1.2-2	Dezentrale Systeme .....	683
2.1.2-3	Wärmenetze .....	683
2.1.2-3.1	Fernheizungen .....	683
2.1.2-3.1.1	Vorteile der Fernwärme .....	683
2.1.2-3.1.2	Allgemeines .....	684
2.1.2-3.1.3	Wärmebezugskosten .....	685
2.1.2-3.1.4	Auswahl der Parameter der Versorgung .....	686
2.1.2-3.1.5	Rohrleitungen – Systeme .....	686
2.1.2-3.2	Heizkraftwirtschaft .....	686
2.1.2-3.2.1	Allgemeines .....	686
2.1.2-3.2.2	Standort .....	688
2.1.2-3.2.3	Dampfturbinen-Heizkraftwerke .....	688
2.1.2-3.2.4	Stromkennzahl .....	691
2.1.2-3.2.5	Gasturbinen-Heizkraftwerke .....	693
2.1.2-3.2.6	KWK und Blockheizkraftwerke .....	694
2.1.2-3.2.7	Geothermalkraftwerke .....	706

2.1.2-3.2.8	Belastungslinien .....	706
2.1.2-3.2.9	Wärmepreise allgemein .....	707
2.1.2-3.3	Fernwärmenetze .....	709
2.1.2-3.3.1	Einteilung der Fernwärmanlagen .....	709
2.1.2-3.3.2	Heißwasser-Fernwärme mit $t_v \leq 110^\circ\text{C}$ .....	710
2.1.2-3.3.3	Heißwasser-Fernwärme mit $t_v > 110^\circ\text{C}$ .....	715
2.1.2-3.3.4	Fernwärmeleitungen .....	719
2.1.2-3.4	Übergabe und Kundenanlage .....	728
2.1.2-3.4.1	Allgemeines .....	728
2.1.2-3.4.2	Direkter Anschluss .....	728
2.1.2-3.4.3	Indirekter Anschluss .....	728
2.1.2-3.4.4	Trinkwassererwärmungssysteme .....	731
2.1.2-3.4.5	Anforderungen an die Kundenanlage .....	731
2.1.2-4	Mobile Heizzentralen .....	731
2.1.2-4.1	Einsatzgebiete und Entwicklung .....	732
2.1.2-4.2	Heizzentralen nach Betriebsstoff .....	732
2.1.2-4.2.1	Elektroheizzentralen .....	732
2.1.2-4.2.2	Öl- und Gasheizzentralen .....	733
2.1.3	Kennfarben und Sinnbilder der Heizungs- und Wärmetechnik .....	735
<b>2.2</b>	<b>Zentrale Heizungssysteme .....</b>	<b>741</b>
2.2.1	Systembeschreibung .....	741
2.2.1-1	Zentrale Systeme .....	741
2.2.1-1.1	Warmwasserheizungen (WWH) .....	741
2.2.1-1.1.1	Schwerkraft-Warmwasserheizungen .....	741
2.2.1-1.1.2	Pumpen-Warmwasserheizungen (PWWH) .....	742
2.2.1-1.1.3	Pufferspeicher .....	759
2.2.1-1.1.4	Sicherheitstechnische Einrichtungen .....	762
2.2.1-1.2	Dampfheizungen .....	768
2.2.1-1.2.1	Offene Niederdruckdampfheizungen (NDH) .....	768
2.2.1-1.2.2	Geschlossene Niederdruckdampfheizungen (Vaporheizungen) .....	773
2.2.1-1.2.3	Hochdruckdampfheizungen .....	773
2.2.1-1.2.4	Vakuumdampfheizungen (VDH) .....	776
2.2.1-1.3	Luftheizungen (Luftheizungsanlagen) .....	777
2.2.1-1.3.1	Schwerkraft-Luftheizungen .....	778
2.2.1-1.3.2	Ventilator-Luftheizungen .....	778
2.2.1-1.3.3	Großraum-Luftheizungsanlagen .....	779
2.2.1-1.3.4	Wohnraum-Luftheizungsanlagen .....	779
2.2.1-1.4	Heißluft-Strahlungsheizung .....	784
2.2.2	Wärmeübergabe .....	785
2.2.2-1	Allgemeines .....	785
2.2.2-1.1	Konvektion und Strahlung .....	785
2.2.2-1.2	Auswahl und Auslegungsgrundsätze .....	786
2.2.2-1.3	Bauformen und Leistungen .....	786
2.2.2-1.4	Leistungsminderung bei Heizkörpern .....	787
2.2.2-1.5	Umrechnung der Heizkörpernormleistung .....	787
2.2.2-1.6	Anschlussarten von Heizkörpern .....	787
2.2.2-2	Freie Heizflächen .....	788
2.2.2-2.1	Flach- oder Plattenheizkörper .....	788
2.2.2-2.2	Guss- und Stahlradiatoren (Gliederheizkörper) .....	79
2.2.2-2.3	Rohrradiatoren .....	79
2.2.2-2.3.1	Stahlrohrradiatoren .....	79
2.2.2-2.3.2	Fensterbankradiatoren .....	79
2.2.2-2.3.3	Handtuchradiatoren .....	79
2.2.2-2.3.4	Hochdruckradiatoren .....	79
2.2.2-2.4	Rohr- und Rippenrohrheizkörper .....	80

2.2.2-2.5	Konvektoren .....	801
2.2.2-2.6	Weitere freie Heizflächen .....	805
2.2.2-2.6.1	Sockelheizkörper (Heizleisten) .....	805
2.2.2-2.6.2	Fassadenheizung (Fensterrahmenheizelement) .....	806
2.2.2-3	Bauteilintegrierte Heizflächen .....	806
2.2.2-3.1	Deckenheizung .....	806
2.2.2-3.1.1	Rohrdeckenheizung .....	807
2.2.2-3.1.2	Lamellendeckenheizung .....	807
2.2.2-3.1.3	Deckenstrahlplatten .....	808
2.2.2-3.1.4	Hohlraumdeckenheizung .....	809
2.2.2-3.1.5	Direkt beheizte Hell- und Dunkelstrahler .....	810
2.2.2-3.2	Fußbodenheizungen .....	810
2.2.2-3.3	Wandheizungen .....	814
2.2.3	Verteilung .....	815
2.2.3-1	Allgemeines .....	815
2.2.3-2	Wärmeträger .....	816
2.2.3-3	Rohrleitungen .....	817
2.2.3-3.1	Stahlrohre .....	817
2.2.3-3.1.1	Abmessungen, Normen .....	817
2.2.3-3.1.2	Rohrverbindungen für Stahlrohre .....	830
2.2.3-3.2	Kupferrohre .....	841
2.2.3-3.3	Kunststoffrohre .....	844
2.2.3-3.3.1	Rohrmaterialien .....	844
2.2.3-3.4	Schläuche .....	847
2.2.3-3.5	Dehnungsausgleicher/Kompensatoren .....	848
2.2.3-3.5.1	Rohrschenkel und Rohrbögen .....	848
2.2.3-3.5.1.1	Rohrschenkel-Länge .....	848
2.2.3-3.5.1.2	Festpunktkräfte an Rohrschenkel/Rohrbogen-Dehnungsausgleichern .....	849
2.2.3-3.5.2	Stopfbuchsen-Ausgleicher .....	850
2.2.3-3.5.3	Stahlbalg-Kompensatoren .....	851
2.2.3-3.5.3.1	Stahlbalg-Axialkompensatoren .....	851
2.2.3-3.5.3.2	Stahlbalg-Lateralkompensatoren .....	851
2.2.3-3.5.3.3	Stahlbalg-Angularkompensatoren .....	852
2.2.3-3.5.4	Gummibalg-Kompensatoren .....	852
2.2.3-3.5.4.1	Gummibalg-Universalkompensatoren .....	853
2.2.3-3.5.4.2	Gummibalg-Lateralkompensatoren .....	853
2.2.3-3.5.4.3	Gummibalg-Angularkompensatoren .....	853
2.2.3-3.5.5	Schwingungs- und Geräuschdämpfer .....	853
2.2.3-3.5.6	Rohrleitungs-Festpunkte an Kompensatoren und Schwingungs-/Geräuschdämpfern .....	854
2.2.3-3.5.6.1	Festpunktkräfte an Axialkompensatoren und Schwingungs-/Geräuschdämpfern .....	856
2.2.3-3.6	Wärmeverluste von Rohrleitungen .....	856
2.2.3-4	Pumpen .....	860
2.2.3-4.1	Allgemeines .....	860
2.2.3-4.2	Leistungsbedarf .....	861
2.2.3-4.3	Kennlinien .....	861
2.2.3-4.4	Proportionalitätsgesetze .....	863
2.2.3-4.5	Leistungsanpassung, Steuerung und Regelung .....	863
2.2.3-4.6	Bauarten .....	865
2.2.3-4.7	Effizienz-Anforderungen gemäß europäischer Ökodesign-Richtlinie .....	869
2.2.3-4.8	Einbau der Pumpen in den Vor- oder Rücklauf .....	870
2.2.3-4.9	Wasserstrahlpumpen .....	871
2.2.3-5	Armaturen .....	872
2.2.3-5.1	Kugelhähne .....	872
2.2.3-5.2	Absperklappen, dichtschießend .....	873

2.2.3-5.3	Absperrventile .....	874
2.2.3-5.3.1	Flanschventile .....	874
2.2.3-5.3.2	Muffenventile .....	875
2.2.3-5.3.3	Muffengeradsitzventile .....	875
2.2.3-5.3.4	Heizkörper-Regulier- und Absperrventile .....	875
2.2.3-5.3.5	Einrohrventile .....	876
2.2.3-5.3.6	Heizkörper-Verschraubung .....	876
2.2.3-5.4	Absperrschieber .....	877
2.2.3-5.5	Drosselklappen .....	877
2.2.3-5.6	Rückschlagklappen und -ventile .....	877
2.2.3-5.6.1	Rückschlagklappen .....	877
2.2.3-5.6.2	Rückschlagventile .....	878
2.2.3-5.6.3	Auslegung der Rückflussverhinderer .....	879
2.2.3-5.7	Sonstige Absperrorgane .....	880
2.2.3-5.8	Durchgangsventile .....	880
2.2.3-5.9	Dreiwegenventile .....	881
2.2.3-5.10	Regelung mit Heizungsmischern .....	883
2.2.3-5.11	Druckregler .....	884
2.2.3-6	Ausdehnungsgefäße und Druckhalteeinrichtungen .....	887
2.2.3-6.1	Ausdehnungsgefäße .....	887
2.2.3-6.2	Sicherheitsventile .....	896
2.2.3-7	Wärmeübertrager .....	899
2.2.3-7.1	Allgemeines .....	899
2.2.3-7.2	Bauarten .....	899
2.2.3-7.3	Wärmeleistung .....	902
2.2.3-7.3.1	Gegenstromapparate Wasser/Wasser .....	902
2.2.3-7.4	Garantiekurven .....	903
2.2.3-8	Sonstiges .....	904
2.2.3-8.1	Komponenten für Dampfheizungen .....	904
2.2.3-8.1.1	Schwimmerkondensatableiter .....	904
2.2.3-8.1.2	Thermische Kondensatableiter .....	905
2.2.3-8.1.3	Düsenableiter (Starre Ableiter) .....	906
2.2.3-8.1.4	Thermodynamische Kondensatableiter .....	907
2.2.3-8.2	Kondensatableiterüberwachung .....	907
2.2.3-8.3	Be- und Entlüfter .....	908
2.2.3-8.4	Sonstiges Zubehör .....	911
2.2.3-8.5	Kondensatrückspeisegeräte und Wasserstandsregler .....	912
2.2.3-8.6	Kondensat-Sammelbehälter .....	914
2.2.4	Speicher .....	915
2.2.4-1	Standardspeicher .....	917
2.2.4-2	Kombispeicher .....	918
2.2.4-3	Speicher mit Schichtbeladungszone .....	918
2.2.5	Erzeugung .....	920
2.2.5-1	Allgemeines .....	920
2.2.5-2	Heizkessel .....	920
2.2.5-2.1	Allgemeines .....	920
2.2.5-2.2	Heizkessel für gasförmige Brennstoffe .....	923
2.2.5-2.2.1	Allgemeines .....	923
2.2.5-2.2.2	Einteilung der Gas-Spezial-Wärmeerzeuger .....	923
2.2.5-2.2.3	Bauarten .....	923
2.2.5-2.2.4	Sicherheitseinrichtungen .....	931
2.2.5-2.2.5	Regeltechnische Ausrüstung .....	933
2.2.5-2.2.6	Abgasanlagen für Gasheizkessel .....	934
2.2.5-2.3	Öl-/Gas-Heizkessel für Gebläsebrenner .....	935
2.2.5-2.3.1	Allgemeines .....	935
2.2.5-2.3.2	Heizkessel-Konstruktionen .....	935

2.2.5-2.3.2.1	Zweikreiswarmwasserkessel .....	942
2.2.5-2.3.3	Brenner .....	953
2.2.5-2.3.4	Wirkungsgradanforderungen an Öl- und Gaskessel nach der Heizkessel-Wirkungsgradrichtlinie (92/42/EWG) der EG 1992 .....	955
2.2.5-2.3.5	Emissionsgrenzwerte .....	957
2.2.5-2.3.6	Sonstige Kessel .....	957
2.2.5-2.3.6.1	Wasserrohrkessel .....	957
2.2.5-2.3.6.2	Schnelldampferzeuger .....	958
2.2.5-2.3.6.3	Thermoölkessel .....	959
2.2.5-2.4	Gasbrenner .....	960
2.2.5-2.4.1	Allgemeines .....	960
2.2.5-2.4.2	Brenner ohne Gebläse (atmosphärische Brenner) .....	964
2.2.5-2.4.3	Gasgebläsebrenner .....	969
2.2.5-2.4.3.1	Diffusionsbrenner .....	969
2.2.5-2.4.3.2	Vormischbrenner .....	971
2.2.5-2.4.3.3	Katalytische Brenner .....	972
2.2.5-2.4.4	Sicherheits- und Regelungseinrichtungen .....	975
2.2.5-2.4.5	Regelung .....	977
2.2.5-2.4.6	Gas-Öl-Brenner (Zweistoffbrenner) .....	980
2.2.5-2.5	Ölbrenner .....	980
2.2.5-2.5.1	Allgemeines .....	980
2.2.5-2.5.2	Schichtungsbrenner .....	983
2.2.5-2.5.3	Öldruckzerstäubungsbrenner .....	984
2.2.5-2.5.3.1	Elektronische Verbundregelung .....	989
2.2.5-2.5.4	Druckluftzerstäubungsbrenner .....	995
2.2.5-2.5.5	Rotationszerstäubungsbrenner .....	997
2.2.5-2.5.6	Brennstoffaufbereitung .....	997
2.2.5-2.5.6.1	Düsen .....	997
2.2.5-2.5.6.2	Ölvorwärmer .....	1000
2.2.5-2.5.6.3	Ölfilter .....	1000
2.2.5-2.5.6.4	Ölpumpe .....	1001
2.2.5-2.5.7	Luftaufbereitung .....	1003
2.2.5-2.5.8	Gemischtaufbereitung .....	1003
2.2.5-2.5.9	Elektrische Zündeinrichtung .....	1006
2.2.5-2.5.10	Flammenwächter und Flammenfühler .....	1007
2.2.5-2.5.11	Sicherheits- und Regeleinrichtungen .....	1008
2.2.5-2.6	Heizkessel für feste Brennstoffe .....	1010
2.2.5-2.6.1	Sicherheitseinrichtungen .....	1015
2.2.5-2.7	Wärmeverluste und Wirkungsgrade .....	1016
2.2.5-2.7.1	Abgasverlust .....	1016
2.2.5-2.7.2	Verlust durch unverbrannte Gase .....	1021
2.2.5-2.7.3	Verlust durch brennbare Rückstände .....	1021
2.2.5-2.7.4	Verluste durch Strahlung und Konvektion .....	1021
2.2.5-2.7.5	Kesselwirkungsgrad .....	1022
2.2.5-2.7.6	Nutzungsgrad .....	1022
2.2.5-3	Wärmepumpe .....	1025
2.2.5-3.1	Allgemeines .....	1025
2.2.5-3.2	Elektrowärmepumpe .....	1025
2.2.5-3.2.1	Heizen mit Wärmepumpen .....	1025
2.2.5-3.2.1.1	Allgemeines .....	1025
2.2.5-3.2.2	Kühlen mit Wärmepumpen .....	1031
2.2.5-3.2.3	Anwendungsfall Schwimmbäder .....	1032
2.2.5-3.3	Brennstoffbetriebene Wärmepumpe .....	1033
2.2.5-3.3.1	Allgemeines .....	1033
2.2.5-3.3.2	Absorptions-Wärmepumpen .....	1036
2.2.5-3.3.3	Adsorptionswärmepumpe .....	1039
2.2.5-3.3.4	Gasmotorische Wärmepumpe .....	1042

2.2.5-4	Wärme­kraft­ma­schin­en (KWK)/Ver­net­zung .....	1047
2.2.5-4.1	Kol­ben­damp­fma­schin­en und Damp­f­tur­bin­en .....	1047
2.2.5-4.1.1	Verbren­nungs­kraft­ma­schin­en .....	1048
2.2.5-4.1.2	Ver­puffungs­ma­schin­en (oder Ottomotoren) .....	1049
2.2.5-4.1.3	Gleich­druck-Verbren­nungs­ma­schin­en (Diesel­motoren) .....	1050
2.2.5-4.1.4	Gasturbinen .....	1050
2.2.5-4.2	Brennstoffzellen .....	1052
2.2.5-4.2.1	Funktionsprinzip .....	1052
2.2.5-4.2.2	Typen .....	1053
2.2.5-4.2.3	Systeme .....	1054
2.2.5-4.2.4	Anwen­dun­gen .....	1054
2.2.5-4.2.5	Dimen­sio­nie­rung und Wirt­schaf­lich­keit .....	1056
2.2.5-4.2.6	Ener­geti­sche Bewer­tung .....	1056
2.2.5-4.3	Stirling­motor .....	1057
2.2.5-4.4	Vir­tu­elle Kraftwerke .....	1058
2.2.5-4.4.1	Ein­lei­tung/Begrifflich­keit .....	1058
2.2.5-4.4.2	Techno­logie .....	1059
2.2.5-4.4.3	Inte­gra­tion eines Vir­tu­ellen Kraftwerkes ins Marktumfeld .....	1059
2.2.5-4.4.4	Kommuni­ka­tions­struk­tu­ren/Aufbau eines Vir­tu­ellen Kraftwerkes ..	1059
2.2.5-4.4.5	Hemmnisse und Chancen .....	1061
2.2.5-5	Solarthermische Anlagen für Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung .....	1062
2.2.5-5.1	Allgemeines .....	1062
2.2.5-5.2	Kollektoren .....	1063
2.2.5-5.2.1	Wirkungsgrade .....	1065
2.2.5-5.2.2	Energieertrag Kollektoren .....	1068
2.2.5-5.2.3	Heizungsunterstützung .....	1070
2.2.5-5.2.4	Solare Großanlagen .....	1073
2.2.5-5.2.5	Schwimmbadheizung .....	1081
2.2.5-5.3	Ausblick .....	1082
<b>2.3</b>	<b>Dezentrale Geräte .....</b>	<b>1083</b>
2.3.1	Einzelraumfeuerstätten zum Betrieb mit festen Brennstoffen .....	1083
2.3.1-1	Allgemeines .....	1083
2.3.1-2	Raum­hei­zer nach DIN EN 13240 .....	1084
2.3.1-3	Kamineinsätze nach DIN EN 13229 und offene Kamine .....	1087
2.3.1-4	Herde nach DIN EN 12815 .....	1087
2.3.1-5	Speicher­feuer­stät­ten DIN EN 15250 .....	1088
2.3.1-6	Raum­hei­zer zur Ver­feue­rung von Holz­pellets nach DIN EN 14785 .....	1089
2.3.1-7	Wasser­füh­ren­de Einzelraum­feuer­stät­ten .....	1090
2.3.2	Einzelraum­feuer­stät­ten zum Betrieb mit Gas .....	1091
2.3.2-1	Allgemeines .....	1091
2.3.2-2	Bauarten .....	1091
2.3.2-3	Sicherheitsvorrichtungen .....	1096
2.3.2-4	Zündeinrichtungen .....	1097
2.3.2-5	Regelung Einzelraum­hei­zer .....	1098
2.3.2-6	Planung .....	1099
2.3.2-6.1	Abgas­füh­rung .....	1101
2.3.2-6.1.1	Auswahl .....	1103
2.3.3	Elektrische Raum­hei­zung .....	1103
2.3.3-1	Allgemeines .....	1103
2.3.3-2	Elektrische Direktheizung .....	1105
2.3.3-3	Elektrische Speicher­hei­zung .....	1106
2.3.4	Sonstige Raum­hei­zun­gen .....	1109
2.3.4-1	Öl­be­heizte Öfen .....	1109

2.3.4-2	Heißluft-Strahlungsheizung .....	1112
<b>2.4</b>	<b>Systemübergreifende Gebiete .....</b>	<b>1113</b>
2.4.1	Abgasanlagen .....	1113
2.4.1-1	Unterdruck-Abgasanlagen (Schornsteine und Unterdruck-Abgasleitungen) .....	1114
2.4.1-1.1	Allgemeines .....	1114
2.4.1-1.2	Berechnung von Abgasanlagen-Abmessungen nach DIN EN 13384 .....	1116
2.4.1-1.3	Anpassungsmaßnahmen für bestehende Abgasanlagen bei Anschluss eines neuen Heizkessels .....	1119
2.4.1-1.4	Diagramme für die Abgasanlagen-Bemessung .....	1120
2.4.1-1.5	Schornstein- und Unterdruck-Abgasleitungs-Bauarten .....	1123
2.4.1-1.6	Ausführung .....	1125
2.4.1-1.7	Abgasanlagenbelegung .....	1127
2.4.1-1.8	Zubehör .....	1128
2.4.1-1.9	Immissionsschutz .....	1129
2.4.1-2	Überdruck-Abgasanlagen (Überdruck-Abgasleitungen) .....	1131
2.4.1-2.1	Allgemeines .....	1131
2.4.1-2.2	Bauarten .....	1132
2.4.1-2.3	Anforderungen an die Feuerungsanlage .....	1133
2.4.1-2.4	Ausführung .....	1134
2.4.1-3	Verbindungsstücke .....	1135
2.4.2	Brennstofflagerung .....	1137
2.4.2-1	Öllageranlage .....	1137
2.4.2-1.1	Öltank .....	1137
2.4.2-1.1.1	Allgemeines .....	1137
2.4.2-1.1.2	Aufstellung der Öltanks .....	1140
2.4.2-1.1.2.1	Allgemeines .....	1140
2.4.2-1.1.2.2	Einbau unterirdischer Öltanks .....	1143
2.4.2-1.1.2.3	Aufstellung oberirdischer Öltanks .....	1144
2.4.2-1.1.3	Ausrüstung der Öltanks .....	1148
2.4.2-1.1.3.1	Fülleinrichtungen .....	1148
2.4.2-1.1.3.2	Lüftungseinrichtung .....	1149
2.4.2-1.1.3.3	Entnahmeeinrichtungen .....	1150
2.4.2-1.1.3.4	Füllstandsanzeiger .....	1150
2.4.2-1.1.3.5	Überfüllsicherung/Grenzwertgeber .....	1150
2.4.2-1.1.3.6	Leckanzeigergerät .....	1151
2.4.2-1.1.3.7	Leckageerkennungssystem .....	1151
2.4.2-1.1.3.8	Sicherheitseinrichtung gegen Drucküberschreitung .....	1152
2.4.2-1.2	Ölleitungen .....	1152
2.4.2-1.2.1	Allgemeines .....	1152
2.4.2-1.2.2	Bauarten .....	1152
2.4.2-1.2.2.1	Einstrangsystem .....	1152
2.4.2-1.2.2.2	Zweistrangsystem (nur im Bestand) .....	1152
2.4.2-1.2.3	Betriebsweise .....	1152
2.4.2-1.2.4	Oberirdische Ölleitungen .....	1153
2.4.2-1.2.5	Unterirdische Ölleitungen .....	1153
2.4.2-1.2.6	Bauteile der Ölleitung .....	1154
2.4.2-1.2.6.1	Rohrverbindungen .....	1154
2.4.2-1.2.6.2	Absperreinrichtung .....	1155
2.4.2-1.2.6.3	Sicherheitseinrichtung gegen Aushebern .....	1155
2.4.2-1.2.6.4	Sicherheitseinrichtung gegen Drucküberschreitung .....	1156
2.4.2-1.2.6.5	Heizölfilter .....	1156
2.4.2-1.2.6.6	Heizölküfeler .....	1158
2.4.2-1.2.7	Montage und Verlegung .....	1158
2.4.2-1.2.8	Druckprüfung der Ölleitung .....	1158

2.4.2-1.3	Betrieb und Instandhaltung .....	1159
2.4.2-1.3.1	Pflichten des Betreibers .....	1159
2.4.2-1.3.2	Hinweise zur Befüllung von Heizöltanks .....	1159
2.4.2-2	Lagerung von Flüssiggas .....	1160
2.4.2-2.1	Flüssiggase .....	1160
2.4.2-2.1.1	Zusammensetzung .....	1160
2.4.2-2.1.2	Ausgewählte Stoffdaten .....	1162
2.4.2-2.2	Lagerung und Bereitstellung von Flüssiggas .....	1166
2.4.2-2.2.1	Lagerkapazität, Schutzziele, Begriffe .....	1166
2.4.2-2.2.2	Flüssiggaslagerbehälteranlagen < 3 t Nennfüllgewicht .....	1170
2.4.2-2.2.3	Flüssiggaslagerbehälteranlagen 3 t Nennfüllgewicht .....	1172
2.4.2-3	Lagerung von Holzpellets .....	1177
2.4.3	Anlagen zum Korrosions- und Steinschutz .....	1185
2.4.3-1	Allgemeines .....	1185
2.4.3-2	Anlagen zur physikalischen Entgasung .....	1185
2.4.3-3	Anlagen zur chemischen Sauerstoffbindung .....	1187
2.4.3-4	Anlagen zur elektrochemischen Sauerstoffbindung .....	1188
2.4.3-5	Ionenaustauscher .....	1188
2.4.3-6	Anlagen zur Umkehrosmose .....	1191
2.4.4	Schallschutz .....	1191
<b>2.5</b>	<b>Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen .....</b>	<b>1194</b>
2.5.1	Systeme zur Einzelraum-Temperaturregelung .....	1197
2.5.1-1	Thermostatische Heizkörperventile .....	1197
2.5.1-1.1	Regler ohne Hilfsenergie .....	1197
2.5.1-1.2	Regler mit Hilfsenergie .....	1201
2.5.1-1.2.1	Mit Zeitschaltuhr .....	1201
2.5.1-1.2.2	Mit Netzwerkanbindung .....	1202
2.5.1-2	Elektronische Einzelraumregelungssysteme .....	1203
2.5.1-2.1	Autarke elektronische Einzelraumregelungssysteme .....	1203
2.5.1-2.2	Vernetzte elektronische Einzelraumregelungssysteme .....	1204
2.5.1-2.2.1	Kabelgebundene Einzelraumtemperaturregelungen .....	1204
2.5.1-2.2.2	Funkbasierte Einzelraumtemperaturregelungen .....	1206
2.5.2	Regler für Kessel und Wandgeräte .....	1208
2.5.2-1	Kesselwassertemperaturregelung .....	1208
2.5.2-1.1	Regelung mit unstetigem Regler .....	1208
2.5.2-1.2	Modulierende Regelung .....	1209
2.5.2-2	Regelung nach der Raumtemperatur – Testraumregelung .....	1210
2.5.2-2.1	Unstetige Regelung .....	1210
2.5.2-2.2	Stetige Regelung .....	1211
2.5.2-2.3	Regelkreisverhalten .....	1211
2.5.2-2.4	Einzelraumtemperaturregelung .....	1211
2.5.2-2.5	Wohnungsweise Regelung .....	1212
2.5.2-3	Regelung nach der Außentemperatur .....	1213
2.5.2-3.1	Prinzip der außentemperaturgeführten Regelung .....	1213
2.5.2-3.2	Zusatzfunktionen ohne Raumtemperatursensor .....	1216
2.5.2-3.2.1	Sparfunktion .....	1216
2.5.2-3.2.2	Partyfunktion .....	1216
2.5.2-3.2.3	Frostgefahr bzw. Frostschutz .....	1217
2.5.2-3.2.4	Ferienfunktion .....	1217
2.5.2-3.2.5	Heizkreisumpfenlogik-Funktion .....	1217
2.5.2-3.2.6	Eco-Funktion .....	1217
2.5.2-3.3	Zusatzfunktionen mit Raumtemperatursensor .....	1217
2.5.2-3.3.1	Adaption der Heizkennlinie .....	1217
2.5.2-3.3.2	Raumtemperaturaufschaltung .....	1217

1.5.2-3.3.3	Einschaltoptimierung .....	1217
1.5.2-3.3.4	Ausschaltoptimierung .....	1217
1.5.2-3.3.5	Schnellaufheizung .....	1217
1.5.2-3.3.6	Schnellabsenkung .....	1218
1.5.2-3.3.7	Heizkreispumpenlogik-Funktion .....	1218
1.5.2-4	Regelung nach dem Wärmebedarf .....	1218
1.5.2-4.1	Wärmebedarfsgeführte Regelung ohne Außentempersensur ...	1218
1.5.2-4.2	Wärmebedarfsgeführte Regelung mit Außentempersensur .....	1219
1.5.2-4.2.1	Auswertung der Heizungsrücklauftemperatur .....	1219
1.5.2-4.2.2	Auswertung des Heizkörperwärmebedarfs .....	1220
1.5.2-5	Kesselfolgeschaltungen .....	1221
1.5.2-6	Kommunikationsfähige Regelungen .....	1224
1.5.2-6.1	Fernbedienen, Fernabfragen und Fernüberwachen von Heizungsanlagen .....	1224
1.5.2-6.2	Direktanbindung der Heizungsregelung an verschiedene Bus-Systeme .....	1226
2.5.3	Regler für Solaranlagen .....	1227
2.5.3-1	Grundfunktionen .....	1228
2.5.3-1.1	Differenztemperaturregelung .....	1228
2.5.3-1.1.1	Einspeichersysteme .....	1228
2.5.3-1.1.2	Mehrspeichersysteme .....	1229
2.5.3-1.1.3	Zwei-Kollektoranlage .....	1230
2.5.3-1.1.4	Mit Bypass .....	1230
2.5.3-1.1.5	Mit Heizungsunterstützung .....	1230
2.5.3-1.1.6	Mit externem Wärmetauscher .....	1231
2.5.3-1.2	Zieltemperaturregelung .....	1231
2.5.3-1.3	Ereignisregelung .....	1231
2.5.3-2	Sicherheitsfunktionen .....	1232
2.5.3-2.1	Hardwaremäßig realisierte Sicherheitsfunktionen .....	1232
2.5.3-2.1.1	Sicherheitstemperaturbegrenzung .....	1232
2.5.3-2.1.2	Schutz vor Verbrühungen .....	1232
2.5.3-2.1.3	Blitzschutz .....	1233
2.5.3-2.2	Softwaremäßig realisierte Sicherheitsfunktionen .....	1233
2.5.3-2.2.1	Kollektornotabschaltung .....	1233
2.5.3-2.2.2	Kollektorkühlfunktion .....	1233
2.5.3-2.2.3	Kollektorfrostschutz .....	1233
2.5.3-3	Sonstige Funktionen .....	1233
2.5.3-3.1	Automatische Sommer-/Winterzeitumschaltung .....	1233
2.5.3-3.2	Betriebsstundenzähler für die einzelnen Relais .....	1233
2.5.3-3.3	Kollektor-Enteisungsfunktion .....	1233
2.5.3-3.4	Kollektor-Minimaltemperatur .....	1234
2.5.3-3.5	Unterdrückung der Nachheizung durch den Heizkessel .....	1234
2.5.3-3.6	Pumpenkick .....	1234
2.5.3-3.7	Röhrenkollektorfunktion .....	1234
2.5.3-3.8	Speicherkühlfunktion .....	1234
2.5.3-3.9	Speichermaximaltemperaturbegrenzung .....	1234
2.5.3-3.10	Urlaubsfunktion .....	1234
2.5.3-3.11	Wärmemengenbilanzierung .....	1235
2.5.3-4	Funktions- und Ertragskontrolle .....	1235
2.5.3-4.1	Funktionskontrolle .....	1235
2.5.3-4.1.1	Sensorüberwachung .....	1235
2.5.3-4.1.2	Temperaturüberwachung .....	1235
2.5.3-4.1.3	Differenztemperaturüberwachung .....	1235
2.5.3-4.1.4	Volumenstromüberwachung .....	1235
2.5.3-4.2	Ertragskontrolle .....	1235
2.5.4	Regler für Brennstoffzellenheizgeräte .....	1236

2.5.5	Regler für Stirling-Heizgeräte .....	1237
2.5.6	Ventile im Regelkreis .....	1239
2.5.6-1	Hydraulische Schaltungen .....	1239
2.5.6-2	Zonenregelung .....	1241
2.5.6-3	Anhebung der Kesselrücklaufftemperatur .....	1242
2.5.7	Regler bei Umformern .....	1243
2.5.7-1	Regler ohne Hilfsenergie (Ausdehnungsregler) .....	1243
2.5.7-2	Regler mit Hilfsenergie .....	1244
2.5.8	Rücklaufftemperaturregler .....	1245
2.5.9	Strangreguliventile .....	1246
<b>2.6</b>	<b>Berechnung und Auslegung der Heizungsanlagen</b> ..	<b>1247</b>
2.6.1	Berechnung der Heizlast .....	1247
2.6.1-1	Kurzer Rückblick auf bisherige Normen .....	1247
2.6.1-2	Überblick EN 12831 .....	1247
2.6.1-3	Grundsätzliche Festlegungen .....	1248
2.6.1-4	Verknüpfung zwischen EN 12831 und nationalem Beiblatt .....	1249
2.6.1-5	Schema des Rechengangs .....	1251
2.6.1-6	Formelsammlung zum ausführlichen Verfahren .....	1252
2.6.1-7	Formblätter zum ausführlichen Verfahren .....	1257
2.6.1-8	Kritische Bemerkungen .....	1259
2.6.1-9	Heizlast für Räume und Gebäude im Bestand .....	1260
2.6.2	Auslegung der Wärmeerzeuger .....	1267
2.6.3	Auslegung und Berechnung der Rohrnetze .....	1269
2.6.3-1	Heizwasserleitungen .....	1269
2.6.3-1.1	Allgemeine Hinweise .....	1270
2.6.3-1.2	Berechnung .....	1274
2.6.3-1.3	Beispiele .....	1278
2.6.3-2	Dampf- und Kondensatleitungen .....	1284
2.6.3-2.1	Grundlagen .....	1284
2.6.3-2.2	Druckabfall in Dampfleitungen .....	1286
2.6.3-2.3	Nennweitenbestimmung .....	1288
2.6.3-2.3.1	Dampfleitungen .....	1288
2.6.3-2.3.2	Kondensatleitungen .....	1290
2.6.3-2.3.3	Berechnung des Entspannungsdampfes .....	1290
2.6.3-2.3.4	Kondensatleitungsnennweiten .....	1290
2.6.3-3	Gasleitungen .....	1293
2.6.4	Auslegung der Raumheizeinrichtungen .....	1294
2.6.4-1	Heizkörperheizungen .....	1294
2.6.4-1.1	Grundlagen .....	1295
2.6.4-1.2	Heizkörpergleichungen, Heizkörperexponent, Heizkörperdiagramm .....	1295
2.6.4-1.3	Einflüsse auf die Leistungsabgabe von Raumheizkörpern .....	1298
2.6.4-1.4	Korrekturen der Leistungsabgabe von Raumheizkörpern .....	1299
2.6.4-1.5	Anordnung von Heizflächen und Behaglichkeit .....	1302
2.6.4-1.6	Dimensionierung von Raumheizkörpern in Neuanlagen .....	1302
2.6.4-1.7	Raumheizkörper in bestehenden Anlagen .....	1304
2.6.4-2	Deckenstrahlungsheizflächen .....	1306
2.6.4-2.1	Deckenstrahlplatten .....	1306
2.6.4-2.2	Stahlrohr- und Kupferrohr-Deckenheizungen .....	1307
2.6.4-2.3	Al-Lamellen-Deckenheizungen .....	1310
2.6.4-3	Fußboden- und Wandheizung .....	1310
2.6.4-3.1	Allgemeines zur Fußbodenheizung .....	1310
2.6.4-3.2	Auslegung der Fußbodenheizung .....	1311

2.6.4-3.3	Druckverlust in den Rohrregistern .....	1314
2.6.4-3.4	Wandheizung .....	1314

<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>1315</b>
------------------------------	-------------

<b>2.7</b>	<b>Ausführung für verschiedene Nutzungsarten .....</b>	<b>1349</b>
2.7.1	Technische und bauliche Entscheidungen .....	1349
2.7.1-1	Wahl der Heizungsart .....	1349
2.7.1-1.1	Stockwerksheizungen .....	1350
2.7.1-1.2	Zentralheizungen .....	1350
2.7.1-1.2.1	Dampfheizungen .....	1350
2.7.1-1.2.2	Wasserheizungen .....	1350
2.7.1-1.2.3	Luftheizungen .....	1351
2.7.1-1.3	Fernheizungen .....	1351
2.7.1-2	Bautechnische Maßnahmen .....	1352
2.7.1-2.1	Aufstell- und Heizräume .....	1352
2.7.1-2.2	Abgasanlage .....	1355
2.7.1-2.3	Brennstofflagerung .....	1356
2.7.1-2.4	Verteilerraum .....	1357
2.7.1-2.5	Heizflächen .....	1357
2.7.1-2.6	Rohrleitungen .....	1359
2.7.2	Wohngebäude .....	1360
2.7.2-1	Einfamilienhäuser .....	1360
2.7.2-1.1	Örtliche Heizung (Zimmerheizung) .....	1360
2.7.2-1.2	Mehrzimmer-Kachelofenheizung .....	1362
2.7.2-1.3	Warmwasser-Zentralheizung .....	1362
2.7.2-1.4	Sonstige Heizmöglichkeiten .....	1363
2.7.2-2	Mehrfamilienhäuser .....	1363
2.7.2-2.1	Örtliche Heizung (Zimmerheizung) .....	1363
2.7.2-2.2	Elektrische Speicherheizgeräte .....	1363
2.7.2-2.3	Stockwerkswarmwasserheizung (Etagenheizung) .....	1363
2.7.2-2.4	Warmwasserzentralheizung .....	1364
2.7.2-2.5	Sonstige Heizmöglichkeiten .....	1366
2.7.2-3	Niedrigenergiehäuser .....	1366
2.7.3	Büro- und Verwaltungsgebäude .....	1367
2.7.3-1	Allgemeines .....	1367
2.7.3-2	Heizungssysteme .....	1367
2.7.3-2.1	Heizkörperberechnung: .....	1371
2.7.3-3	Heizkörper .....	1372
2.7.3-4	Heizkessel- und Apparateraum .....	1373
2.7.3-5	Warmwassererzeugung .....	1373
2.7.3-6	Heizung der einzelnen Räume .....	1374
2.7.4	Schulen u.ä. ....	1374
2.7.4-1	Allgemeines .....	1374
2.7.4-2	Heizungssysteme .....	1375
2.7.4-3	Heizkörper .....	1375
2.7.4-4	Kesselraum .....	1375
2.7.5	Krankenhäuser/Kliniken .....	1375
2.7.5-1	Allgemeines .....	1375
2.7.5-2	Wärmeversorgungsvarianten .....	1376
2.7.5-3	Wärmeerzeuger im Krankenhaus .....	1378
2.7.5-4	Besondere Anforderungen .....	1379
2.7.5-4.1	Bereiche .....	1379
2.7.5-4.2	Heizflächen .....	1379

2.7.6	Gebäude für Sport- oder Versammlungszwecke .....	1380
2.7.6-1	Sporthallen .....	1380
2.7.6-1.1	Allgemeines .....	1380
2.7.6-1.2	Wärmequellen .....	1380
2.7.6-1.3	Luftführung .....	1380
2.7.6-1.4	Luftvolumenstrom .....	1381
2.7.6-1.5	Heizlast .....	1381
2.7.6-1.6	Eingangshalle .....	1382
2.7.6-2	Hallenschwimbäder .....	1382
2.7.6-2.1	Allgemeines .....	1382
2.7.6-2.2	Berechnung der verdunsteten Wasserdampfmenge .....	1382
2.7.6-2.3	Berechnung des jährlichen Wärmebedarfes für die Entfeuchtung der Schwimmhalle .....	1383
2.7.6-2.4	Jährlicher Wärmeenergiebedarf .....	1385
2.7.6-2.5	Beheizungsarten .....	1388
2.7.6-3	Kirchen .....	1389
2.7.6-3.1	Allgemeines .....	1389
2.7.6-3.2	Raumklimatische Daten .....	1390
2.7.6-3.3	Heizlast .....	1390
2.7.6-3.4	Heizungssysteme .....	1391
2.7.6-3.5	Befeuchtung .....	1394
2.7.6-3.6	Jährlicher Energieverbrauch .....	1394
2.7.7	Freiflächenbeheizung .....	1395
2.7.7-1	Allgemeines .....	1395
2.7.7-2	Heizleistung im Beharrungszustand .....	1395
2.7.7-3	Aufheizung .....	1396
2.7.7-4	Ausführung .....	1397
2.7.7-5	Kosten .....	1397
<b>2.8</b>	<b>Verbrauchsgebundene Kosten der Heizung und Warmwasserbereitung .....</b>	<b>1398</b>
2.8.1	Jahresverbrauch .....	1398
2.8.1-1	Verbrauchserfassung .....	1398
2.8.1-2	Witterungskorrektur .....	1399
2.8.1-3	Zeitkorrektur .....	1402
2.8.1-4	Typische Verbrauchskennwerte im Wohnungsbau .....	1402
2.8.2	Heiz- und Brennwert .....	1403
2.8.3	Energiepreise .....	1405
2.8.4	Energiekosten .....	1407
2.8.5	Heizkosten .....	1407
<b>2.9</b>	<b>Energetische Betrachtungen .....</b>	<b>1409</b>
2.9.1	Allgemeines .....	1409
2.9.1-1	Energiebedarf und Energieverbrauch .....	1409
2.9.1-2	Bilanzablauf und Energieflussdiagramme .....	1412
2.9.1-3	Abgrenzung von Nutz- und Endenergie .....	1413
2.9.1-4	Relevante Verfahren .....	1416
2.9.2	Energieträgerbewertung .....	1417
2.9.3	Flächenbezug .....	1419
2.9.4	Verbrauchsanalyse .....	1420
2.9.4-1	Datenaufbereitung .....	1420

2.9.4-2	Gebäudeanalyse .....	1421
2.9.4-3	Erzeugeranalyse .....	1423
2.9.5	Bedarfsbewertung .....	1424
2.9.5-1	Vorgehensweise und Grundgleichungen .....	1424
2.9.5-2	Mehrzonengebäude .....	1427
2.9.5-3	Heizwärmebedarf .....	1427
2.9.5-3.1	Heizperiode, Innen- und Außentemperatur .....	1427
2.9.5-3.2	Transmission .....	1429
2.9.5-3.3	Lüftung .....	1432
2.9.5-3.4	Solare Fremdwärme .....	1433
2.9.5-3.5	Innere Fremdwärme .....	1434
2.9.5-3.6	Fremdwärmenutzungsgrad .....	1436
2.9.5-4	Nutzwärmebedarf für die Warmwasserbereitung .....	1436
2.9.5-5	Jahresenergiebedarf der Heizung und Warmwasserbereitung .....	1437
2.9.5-5.1	Wärmeübergabe und Regelung .....	1437
2.9.5-5.2	Wärmeverteilung .....	1437
2.9.5-5.3	Wärmespeicherung .....	1441
2.9.5-5.4	Wärmeerzeugung .....	1442
2.9.5-5.5	Regenerative Energien .....	1447
2.9.5-5.6	Hilfsenergien .....	1448
2.9.5-6	Brennstoffmenge, Primärenergie und Emissionen .....	1449
2.9.5-7	Typische Bedarfskennwerte im Wohnungsbau .....	1450
<b>B</b>	<b>LÜFTUNGS- UND KLIMATECHNIK .....</b>	<b>1453</b>
<b>3.1</b>	<b>Grundlagen der Lufttechnik .....</b>	<b>1453</b>
3.1.1	Aufgaben der Lufttechnik .....	1453
3.1.2	Einteilung der Lufttechnik .....	1454
3.1.3	Terminologie bei RLT-Anlagen .....	1457
3.1.3-1	Klassifikationen .....	1457
3.1.3-2	Sinnbilder .....	1458
3.1.3-3	Bezeichnungen .....	1459
3.1.3-4	Bezeichnungen .....	1460
3.1.4	Raumströmung .....	1465
3.1.4-1	Allgemeines .....	1465
3.1.4-1.1	Gliederung der Luftführungssysteme .....	1465
3.1.4-1.2	Ähnlichkeitstheorie der Raumluftströmung .....	1466
3.1.4-1.3	Strahlgesetze .....	1469
3.1.4-2	Quelllüftung .....	1473
3.1.4-3	Instationäre Raumströmung .....	1478
3.1.4-3.1	Allgemeines .....	1478
3.1.4-3.2	Schaffung instationärer Raumluftströmungen .....	1478
3.1.4-3.3	Effekte und beachtenswerte Einflüsse .....	1478
<b>3.2</b>	<b>Freie Lüftung .....</b>	<b>1479</b>
3.2.1	Grundlagen .....	1479
3.2.1-1	Thermischer Auftrieb .....	1479
3.2.1-2	Winddruck .....	1482
3.2.2	Fugenlüftung .....	1483
3.2.3	Fensterlüftung .....	1483
3.2.4	Schachtlüftung .....	1486
3.2.5	Dachaufsatz-Lüftung .....	1488

<b>3.3</b>	<b>Maschinelle Lüftung (RLT-Anlagen)</b> .....	1494
3.3.1	Systeme .....	1494
3.3.1-1	Nur-Luft-Anlagen .....	1498
3.3.1-1.1	Einkanalanlagen mit konstantem Luftvolumenstrom (KVS-Anlagen) .....	1499
3.3.1-1.2	Einkanalanlagen mit variablem Luftvolumenstrom (VVS-Anlagen) .....	1500
3.3.1-1.3	Zonierung .....	1503
3.3.1-1.3.1	Einzonen-Anlagen .....	1503
3.3.1-1.3.2	Mehrzonen-Anlagen .....	1503
3.3.1-1.4	Intermittierende Lüftung .....	1504
3.3.1-1.5	Zweikanalanlagen .....	1505
3.3.1-2	Luft-Wasser-Anlagen .....	1507
3.3.1-2.1	Zweirohr-System .....	1508
3.3.1-2.2	Dreirohr-System .....	1508
3.3.1-2.3	Vierrohr-System .....	1508
3.3.1-2.4	Induktionsanlagen .....	1509
3.3.1-2.4.1	Ventilregelung .....	1510
3.3.1-2.4.2	Klappenregelung .....	1511
3.3.1-2.4.3	Brüstungsgeräte .....	1512
3.3.1-2.4.4	Deckeninduktionsgeräte .....	1513
3.3.1-2.4.5	Bodeninduktionsgeräte/Unterflurgeräte .....	1514
3.3.1-2.5	RLT-Anlagen mit Gebläsekonvektoren (Fan-Coil-Anlagen) .....	1514
3.3.1-2.6	Fassadenlüftungsanlagen .....	1516
3.3.1-3	Luft-Kältemittel-Anlagen .....	1519
3.3.1-3.1	Außeneinheiten .....	1521
3.3.1-3.2	Inneneinheiten .....	1522
3.3.2	Bestandteile .....	1524
3.3.2-1	Ventilatoren .....	1524
3.3.2-1.1	Grundlagen .....	1524
3.3.2-1.1.1	Allgemeines .....	1524
3.3.2-1.1.2	Betriebspunkt des Ventilators .....	1525
3.3.2-1.2	Ventilatorbauarten .....	1527
3.3.2-1.2.1	Radialventilatoren .....	1527
3.3.2-1.2.2	Axialventilatoren .....	1529
3.3.2-1.3	Betriebsverhalten von Ventilatoren .....	1531
3.3.2-1.3.1	Regelung von Ventilatoren .....	1531
3.3.2-1.3.2	Parallel- und Serienbetrieb von Ventilatoren .....	1533
3.3.2-1.3.3	Anfahrbetrieb .....	1534
3.3.2-1.3.4	Auswahl eines Ventilators .....	1535
3.3.2-1.3.5	Einbau des Ventilators .....	1536
3.3.2-1.3.6	Anforderungen an die Energieeffizienz .....	1537
3.3.2-2	Lufterhitzer und Luftkühler .....	1538
3.3.2-2.1	Lufterwärmer für Dampf und Wasser .....	1538
3.3.2-2.1.1	Bauarten .....	1538
3.3.2-2.1.2	Wärmedurchgang .....	1539
3.3.2-2.1.3	Luftwiderstand .....	1541
3.3.2-2.1.4	Wasserwiderstand .....	1541
3.3.2-2.1.5	Auswahl der Lufterwärmer .....	1542
3.3.2-2.1.6	Kennbilder .....	1543
3.3.2-2.1.7	Umrechnung auf Garantiewerte .....	1546
3.3.2-2.2	Elektrische Lufterwärmer .....	1548
3.3.2-2.3	Luftkühler .....	1550
3.3.2-2.3.1	Bauarten .....	1550
3.3.2-2.3.2	Wärmedurchgang .....	1550
3.3.2-2.3.3	Luftkühler-Kennbild .....	1552

3.3.2-2.3.4	Kühler mit Sole .....	1554
3.3.2-2.4	Umrechnung auf Garantiewerte .....	1554
3.3.2-3	Luftfilter .....	1555
3.3.2-3.1	Filtertheorie .....	1555
3.3.2-3.2	Filterprüfung .....	1557
3.3.2-3.3	Druckdifferenzen, Standzeiten .....	1559
3.3.2-3.4	Filterbauarten .....	1560
3.3.2-3.4.1	Metallfilter .....	1560
3.3.2-3.4.2	Faserfilter .....	1560
3.3.2-3.4.3	Aktivkohlefilter .....	1563
3.3.2-3.4.4	Elektrofilter .....	1564
3.3.2-3.4.5	Automatische Filter .....	1564
3.3.2-3.4.6	Mehrstufige Filter .....	1569
3.3.2-3.4.7	Sonstige und Spezialfilter .....	1569
3.3.2-4	Luftbefeuchter und Luftentfeuchter .....	1570
3.3.2-4.1	Luftbefeuchtung .....	1570
3.3.2-4.1.1	Adiabate Luftbefeuchter .....	1571
3.3.2-4.1.1.1	Verdunstungs-Luftbefeuchter .....	1571
3.3.2-4.1.1.2	Zerstäubungs-Luftbefeuchter .....	1573
3.3.2-4.1.2	Dampf-Luftbefeuchter .....	1578
3.3.2-4.1.2.1	Elektrische Dampf-Luftbefeuchter mit Elektrodenheizung .....	1578
3.3.2-4.1.2.2	Elektrische Dampf-Luftbefeuchter mit Widerstandsheizung .....	1581
3.3.2-4.1.2.3	Gasbeheizte Dampf-Luftbefeuchter .....	1582
3.3.2-4.1.2.4	Dampf-Luftbefeuchter für vorhandenen Dampf (Druckdampf-Luftbefeuchter) .....	1582
3.3.2-4.1.2.5	Befeuchtungsstrecken bei Dampf-Luftbefeuchtung .....	1584
3.3.2-4.1.2.6	Befeuchtungsstrecken bei adiabaten Luftbefeuchtern .....	1585
3.3.2-4.1.3	Hygieneanforderungen an die Luftbefeuchtung .....	1586
3.3.2-4.1.3.1	Biofilme .....	1586
3.3.2-4.1.3.2	Wasser-Aerosole .....	1586
3.3.2-4.1.4	Regelung von Luftbefeuchtungsanlagen .....	1587
3.3.2-4.1.4.1	Regelung von Dampf-Luftbefeuchtern .....	1587
3.3.2-4.1.4.2	Regelung von adiabaten Luftbefeuchtern .....	1589
3.3.2-4.2	Luftentfeuchter .....	1590
3.3.2-4.2.1	Entfeuchtungsmechanismen .....	1590
3.3.2-4.2.1.1	Kühlung .....	1591
3.3.2-4.2.1.2	Absorption .....	1591
3.3.2-4.2.1.3	Adsorption .....	1592
3.3.2-4.2.2	Luftentfeuchtungsgeräte .....	1593
3.3.2-5	Wärmerückgewinnung .....	1595
3.3.2-5.1	Allgemeines .....	1595
3.3.2-5.2	Kennzahlen der Wärmerückgewinnung .....	1596
3.3.2-5.3	Leistungskennzahlen .....	1599
3.3.2-5.4	Temperaturänderungsgrad $\phi_r$ (Rückwärmzahl) .....	1600
3.3.2-5.5	Feuchteänderungsgrad $\Psi$ (Rückfeuchtezahl) .....	1600
3.3.2-5.5.1	Leistungszahl $\epsilon$ .....	1601
3.3.2-5.5.2	Wirkungsgrad $\eta_{WRG}$ .....	1601
3.3.2-5.5.3	Referenzbetriebszustand .....	1602
3.3.2-5.5.4	Wärmebereitstellungsgrad .....	1602
3.3.2-5.5.5	Leckage der Wärmerückgewinnung .....	1603
3.3.2-5.5.6	Energiekennzahlen .....	1603
3.3.2-5.5.7	Bilanzgrenzen der Wärmerückgewinnung .....	1604
3.3.2-5.5.8	Berechnungsverfahren für Energiekennzahlen .....	1605
3.3.2-5.5.9	Berechnungsverfahren auf der Basis von Summenhäufigkeiten .....	1605
3.3.2-5.5.10	Quasidynamische und dynamische Berechnungsverfahren .....	1605
3.3.2-5.6	Die wirtschaftliche Bewertung und Optimierung von Wärmerückgewinnungssystemen .....	1606

3.3.2-5.6.1	Aufwand und Ertrag der Wärmerückgewinnung .....	1606
3.3.2-5.6.2	Wirtschaftlichkeitskennzahlen .....	1606
3.3.2-5.6.3	Das Optimum der Wärmerückgewinnung .....	1608
3.3.2-5.7	Systeme der Wärmerückgewinnung .....	1610
3.3.2-5.8	Einteilung der Wärmerückgewinnungssysteme .....	1610
3.3.2-5.8.1	Kriterien zur Wahl eines geeigneten WRG-Systems .....	1610
3.3.2-5.9	Regenerative Wärmeübertrager mit umlaufender Speichermasse (Rotationswärmeübertrager) .....	1612
3.3.2-5.10	Kreislaufverbundsystem .....	1615
3.3.2-5.10.1	Funktion .....	1616
3.3.2-5.10.2	Mehrfachfunktionale Wärmerückgewinnung auf Basis von Kreislaufverbundsystemen .....	1617
3.3.2-5.10.3	Optimierung des Umlaufstroms .....	1617
3.3.2-5.10.4	Zusätzliche thermodynamische Funktionen .....	1618
3.3.2-5.10.5	Ein- und Auskopplung von Wärme oder Kälte .....	1618
3.3.2-5.10.6	Nachwärmung und Nachkühlung .....	1619
3.3.2-5.10.7	Entfeuchungskälterückgewinnung .....	1619
3.3.2-5.10.8	Kältemaschinenabwärme und Wärmepumpeneinbindung .....	1619
3.3.2-5.10.9	Freie Kälte .....	1620
3.3.2-5.10.10	Brauchwasservorwärmung .....	1620
3.3.2-5.10.11	WRG-Kopplung .....	1620
3.3.2-5.10.12	Zeitversetztes Ein- und Auskoppeln von thermischer Energie .....	1621
3.3.2-5.11	Plattenwärmeübertrager .....	1621
3.3.2-5.12	Wärmerohre .....	1623
3.3.2-5.13	Umschalt-Wärmerückgewinner .....	1625
3.3.2-5.14	Indirekte Verdunstungskühlung .....	1627
3.3.2-5.15	Leistungsmessung .....	1628
3.3.2-5.16	CO <sub>2</sub> -Bilanz .....	1628
3.3.2-5.17	Gesetzliche Vorgaben zur Wärmerückgewinnung .....	1629
3.3.2-6	Luftleitungen .....	1632
3.3.2-6.1	Material .....	1632
3.3.2-6.1.1	Stahlblech und Al-Blech .....	1632
3.3.2-6.1.2	Mauerwerk und Beton .....	1634
3.3.2-6.1.3	Kunststoffe .....	1634
3.3.2-6.1.4	Plattenkanäle .....	1634
3.3.2-6.1.5	Flexible Rohre, Schläuche .....	1635
3.3.2-6.2	Luftdichtheit .....	1635
3.3.2-6.3	Wärmeverluste von Luftleitungen .....	1636
3.3.2-7	Volumenstromregler, Variable Volumenstrom-(VVS-), Einkanal-Geräte .....	1638
3.3.2-7.1	Volumenstromregler .....	1638
3.3.2-7.1.1	Selbsttätige Volumenstromregler ohne Fremdenergie .....	1639
3.3.2-7.1.2	Volumenstromregler mit Fremdenergie .....	1640
3.3.2-7.2	Variable Volumenstrom-Geräte (Einkanalgeräte) .....	1640
3.3.2-7.3	Regelungsmöglichkeiten VVS-Anlagen und Raumdruckregelung ..	1641
3.3.2-8	Luftdurchlässe .....	1642
3.3.2-8.1	Deckenluftauslässe für turbulente Mischlüftung .....	1642
3.3.2-8.2	Wandluftauslässe für turbulente Mischlüftung .....	1646
3.3.2-8.3	Bodenluftauslässe für turbulente Mischlüftung .....	1650
3.3.2-8.4	Stuhl- und Stufenauslässe .....	1651
3.3.2-8.5	Auswahlkriterien .....	1652
3.3.2-9	Sonstiges Zubehör .....	1655
3.3.3	Raumlufttechnische Geräte .....	1658
3.3.3-1	Allgemeine Anforderungen .....	1658
3.3.3-2	Zentrale Geräte .....	1663
3.3.3-2.1	Aufbau der Geräte .....	1663

3-2.1.1	Geräte in Kastenbauweise .....	1663
3-2.1.2	Geräte in Kammerbauweise .....	1666
3-2.1.2.1	Geräte in Schrankbauweise .....	1667
3-2.2	Komplettgeräte .....	1670
3-2.3	Geräte für besondere Anforderungen .....	1670
3-2.3.1	Hygienegeräte .....	1670
3-2.3.2	Geräte für explosionsgefährdete Bereiche (Ex-Bereiche) .....	1671
3-2.3.3	Wetterfeste Geräte .....	1674
3-3	Dezentrale Geräte .....	1677
3-3.1	Geräte für Wassersysteme .....	1677
3-3.1.1	Ventilatorkonvektoren (Fan Coils) .....	1677
3-3.1.2	Induktionsgeräte .....	1678
3-3.1.3	Fassadenlüftungsgeräte .....	1680
3-3.2	Geräte für Direktverdampfungssysteme – Splitgeräte .....	1682
3-3.2.1	Leistungsregelung der Geräte .....	1684
3-3.2.1.1	Non Inverter Systeme .....	1684
3-3.2.1.2	Invertersysteme .....	1684
3-3.2.1.3	Mindesteffizienz von Raumklimageräten .....	1685
3-3.2.2	Einraumgeräte .....	1685
3-3.2.3	Mehrraumgeräte .....	1686
3-3.2.4	Geräte für komplexe Systeme (VRF-Systeme) .....	1686
3-3.2.5	Geräte für Sonderanwendungen .....	1687
3-4	Sondergeräte .....	1687
3-4.1	Indirekte Verdunstungskühlung .....	1687
3-4.1.1	Energiopolitische Rahmenbedingungen .....	1687
3-4.1.2	Prinzip der indirekten Verdunstungskühlung .....	1688
3-4.1.3	Energieeinsparung durch die indirekte Verdunstungskühlung .....	1688
3-4.2	Sorptionsgestützte Klimatisierung .....	1691
3-4.3	Luftheizgeräte .....	1694
3-4.3.1	Luftheizgeräte für Wasser und Dampf .....	1694
3-4.3.2	Direktbefeuerte Luftheizgeräte .....	1699
3-4.3.2.1	Gasbefeuerte Warmluft erzeuger .....	1699
3-4.3.3	Ölbefeuerte Warmluft erzeuger .....	1701
3-4.4	Luftschleier (Lufttüren) .....	1704
3-4.4.1	Verwendung .....	1705
3-4.4.2	Ausführungsarten .....	1705
3-4.4.3	Grundlagen .....	1705
3-4.4.4	Wirkung des Luftschleiers .....	1707
3-4.4.5	Mischungsverlust .....	1707
3-4.4.6	Auslegung .....	1708
3-4.4.7	Ausführungsbeispiele .....	1708
3-4	Hybride Lüftung .....	1710
3-4.1	Allgemeines .....	1710
3-4.2	Berechnung .....	1713
3-4.3	Symbole: .....	1714
3-4	<b>Thermisch aktive Raumflächen .....</b>	<b>1715</b>
3-4.1	Allgemeines .....	1715
3-4.1-1	Gestaltungsvarianten .....	1716
3-4.1-2	Energieeinsatz .....	1719
3-4.2	Kühldecken .....	1720
3-4.3	Kühlkonvektoren .....	1727
3-4.4	Massivdeckenkühlung (Betonkernaktivierung) .....	1729
3-4.5	Kombinierte Kühl- und Heizdecken .....	1735

3.4.6	Kombinierte Kühl- und Heizwände .....	1737
3.4.7	Kombinierter Kühl- und Heizboden .....	1737
<b>3.5</b>	<b>Geräuscentstehung und -minderung .....</b>	<b>1738</b>
3.5.1	Geräuscentstehung .....	1738
3.5.1-1	Ventilatorgeräusche .....	1738
3.5.1-2	Geräusche im Luftleitungsnetz .....	1740
3.5.2	Geräuschfortpflanzung .....	1743
3.5.2-1	Körperschall .....	1743
3.5.2-2	Luftschall .....	1743
3.5.3	Schallimmissionen .....	1744
3.5.4	Luftschalldämpfung .....	1745
3.5.4-1	Natürliche Schalldämpfung .....	1746
3.5.4-1.1	Gerade Luftleitungen .....	1746
3.5.4-1.2	Umlenkungen .....	1746
3.5.4-1.3	Verzweigungen .....	1748
3.5.4-1.4	Querschnittsprünge .....	1748
3.5.4-1.5	Luftdurchlässe .....	1749
3.5.4-1.6	Sonstige Schallpegelminderungen .....	1749
3.5.4-2	Künstliche Schalldämpfung .....	1749
3.5.4-2.1	Allgemeines .....	1749
3.5.4-2.2	Absorptionsschalldämpfer, .....	1754
3.5.4-2.3	Telefonieschalldämpfer .....	1755
3.5.4-2.4	Resonanz- und Relaxationsschalldämpfer .....	1755
3.5.4-2.5	Aktive Schalldämpfer .....	1756
3.5.4-3	Schallpegel im Raum .....	1758
3.5.4-4	Akustische Anlagenberechnung .....	1760
3.5.4-5	Berechnungsbeispiel .....	1761
3.5.4-6	Schalldämpferauslegung zum Berechnungsbeispiel .....	1765
3.5.5	Luftschalldämmung .....	1766
3.5.6	Körperschalldämmung und Schwingungsisolierung .....	1769
3.5.6-1	Grundsätzliche Zusammenhänge .....	1769
3.5.6-2	Bauelemente zur Körperschalldämmung .....	1770
3.5.6-3	Bauelemente zur Schwingungsisolierung .....	1773
3.5.7	Entdröhnung .....	1776
3.5.8	Bauakustische Maßnahmen .....	1777
<b>3.6</b>	<b>Brandschutz .....</b>	<b>1778</b>
3.6.1	Allgemeines .....	1778
3.6.2	Brandverhalten von Baustoffen und Klassifikationen .....	1779
3.6.3	Brandschutz in Lüftungsanlagen .....	1785
3.6.3-1	Allgemeines .....	1785
3.6.3-2	Baustoffe in Lüftungsleitungen .....	1786
3.6.3-3	Anforderungen an Brandschutzklappen und Lüftungsleitungen .....	1786
3.6.3-4	Anforderungen an Zuluft-, Fortluft- und Umluftanlagen .....	1787
3.6.3-5	Verlegung von Lüftungsleitungen .....	1787
3.6.3-6	Lüftungszentrale .....	1788
3.6.3-7	Gewerbliche Küchenabluft .....	1788
3.6.4	Anlagen zur Rauchableitung .....	1789
3.6.4-1	Allgemeines .....	1789
3.6.4-2	Dimensionierung von Anlagen zur Rauchableitung aus Gebäuden .....	1791

3.6.4-2.1	Zonenmodelle .....	1791
3.6.4-2.2	CFD-Modelle .....	1794
3.6.4-2.3	Modellversuche .....	1794
3.6.4-2.4	Dimensionierung nach VDI 6019-2 .....	1796
3.6.4-2.4.1	Natürliche Rauchabzugsanlagen .....	1796
3.6.4-2.4.2	Maschinelle Rauchabzugsanlagen .....	1800
3.6.4-2.5	Dimensionierung nach DIN 18232 .....	1800
3.6.4-2.5.1	Natürliche Rauchabzugsanlagen (DIN 18232-2:2007-11) .....	1800
3.6.4-2.5.2	Maschinelle Rauchabzugsanlagen (DIN 18232-5:2012-05) .....	1802
3.6.4-2.6	Zusätzliche Hinweise für die Dimensionierung .....	1804
3.6.4-2.7	Komponenten von RWA-Anlagen, Regeln für ihren Einbau .....	1804
3.6.5	Anlagen zur Rauchfreihaltung von Rettungswegen .....	1806
3.6.5-1	Allgemeines .....	1806
3.6.5-2	Treppenträume gemäß MBO 2002 .....	1806
3.6.5-3	Treppenträume in Verkaufsstätten .....	1808
3.6.5-4	Treppenträume in Versammlungsstätten .....	1808
3.6.5-5	Treppenträume in Hochhäusern .....	1808
3.6.5-5.1	Hochhäuser bis zu einer Höhe von 60 m .....	1809
3.6.5-5.2	Hochhäuser mit einer Höhe über 60 m .....	1809
3.6.5-5.3	Druckbelüftungsanlagen .....	1809
<b>3.7</b>	<b>Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen .....</b>	<b>1819</b>
3.7.1	Regler (Regelgeräte) .....	1819
3.7.1-1	Regler ohne Hilfsenergie .....	1819
3.7.1-1.1	Unmittelbare Regler .....	1819
3.7.1-1.2	Mechanisch-elektrische Regler .....	1820
3.7.1-2	Elektrische Regler .....	1822
3.7.1-3	Pneumatische Regler (Druckluftregler) .....	1828
3.7.2	Fühler .....	1829
3.7.2-1	Temperaturfühler .....	1829
3.7.2-2	Feuchtefühler .....	1830
3.7.2-3	Druckfühler .....	1832
3.7.2-4	Enthalpie-Fühler .....	1833
3.7.2-5	Sonstige Fühler .....	1834
3.7.3	Stellantriebe .....	1834
3.7.4	Stellventile .....	1837
3.7.5	Stellklappen .....	1847
3.7.6	Sonstiges Zubehör .....	1848
3.7.7	Regelanlagen .....	1849
3.7.8	Frostschutz .....	1854
3.7.9	Mikroelektronik (DDC) .....	1855
3.7.9-1	DDC-Regelung .....	1855
3.7.9-2	Zentrale Leittechnik (ZLT) .....	1861
3.7.9-3	DDC-Einzelraumregler .....	1863
3.7.9-3.1	Aufbau der Systeme .....	1863
3.7.9-3.2	Technische Möglichkeiten .....	1866
3.7.9-4	Netzwerke für die Kommunikation .....	1866
<b>3.8</b>	<b>Berechnung der Lüftungs- und Klimaanlage (RLT-Anlagen) .....</b>	<b>1870</b>
3.8.1	Bestimmung der Luftvolumenströme .....	1870

3.8.1-1	Ermittlung des Zuluftvolumenstroms nach dem Mindestaußenluftvolumenstrom .....	1870
3.8.1-2	Ermittlung des Zuluftvolumenstroms nach den Schadstoffemissionen .....	1872
3.8.1-3	Ermittlung des Zuluftvolumenstroms nach der thermischen Last ..	1873
3.8.1-4	Gütegrade der Lüftung (Lüftungseffektivität) .....	1873
3.8.1-4.1	Luftaustausch .....	1874
3.8.1-4.2	Schadstoffabfuhr .....	1875
3.8.1-4.3	Zusammenhänge mit deutscher Literatur .....	1877
3.8.2	Dimensionierung des Luftleitungsnetzes .....	1877
3.8.2-1	Luftleitungen und -durchlässe .....	1877
3.8.2-1.1	Druckverluste .....	1878
3.8.2-1.2	Volumenstromverteilung .....	1884
3.8.2-1.2.1	Luftverteilung in einem Luftleitungsstrang .....	1884
3.8.2-1.2.2	Luftverteilung in einem verzweigten Luftleitungssystems .....	1886
3.8.2-2	Ventilatoren .....	1887
3.8.3	Kühllastberechnung .....	1888
3.8.3-1	Grundlagen .....	1888
3.8.3-2	Abschätzverfahren .....	1889
3.8.3-3	Berechnung der einzelnen Wärmeströme .....	1892
3.8.3-3.1	Solarer Wärmeeintrag .....	1892
3.8.3-3.2	Transmissionswärmeequellen bzw. -senken .....	1905
3.8.3-3.3	Lüftungswärmeequellen bzw. -senken .....	1907
3.8.3-3.4	Interne Wärmeequellen bzw. -senken .....	1907
3.8.3-3.4.1	Personenwärme .....	1907
3.8.3-3.4.2	Beleuchtungswärme .....	1908
3.8.3-3.4.3	Gerätewärme .....	1910
3.8.3-4	Genauigkeit des Abschätzverfahrens .....	1913
3.8.4	Luftbefeuchtungsanlagen mit Luftwäscher .....	1914
3.8.4-1	Mischung von Außenluft und Umluft .....	1915
3.8.4-2	Vorerwärmung der Außenluft .....	1916
3.8.4-3	Wassererwärmung durch Gegenstromapparat .....	1917
3.8.5	Luftentfeuchtung .....	1919
3.8.5-1	Kühlmethode .....	1919
3.8.5-2	Adsorptionsmethode .....	1921
3.8.6	Klimaanlagen .....	1922
3.8.6-1	Sommerbetrieb .....	1922
3.8.6-1.1	Kühllast .....	1922
3.8.6-1.2	Trocknungslast .....	1922
3.8.6-1.3	Luftvolumenstrom .....	1923
3.8.6-1.4	Lufteintrittszustand .....	1923
3.8.6-1.5	Kühlleistung .....	1923
3.8.6-1.6	Wasserverbrauch .....	1924
3.8.6-1.7	Nacherwärmung .....	1924
3.8.6-2	Winterbetrieb .....	1924
3.8.6-2.1	Heizlast .....	1924
3.8.6-2.2	Befeuchtungslast .....	1925
3.8.6-2.3	Lufteintritt .....	1925
3.8.6-2.4	Befeuchtung .....	1925
3.8.6-2.5	Nacherwärmung .....	1926
<b>3.9</b>	<b>Ausführung der Lüftung in verschiedenen Gebäude- und Raumarten .....</b>	<b>1930</b>
3.9.1	Technische und bauliche Entscheidungen .....	1930

3.9.1-1	Allgemeines .....	1930
3.9.1-2	Technische Entscheidungen .....	1931
3.9.1-2.1	Anwendungsgebiete / Gebäudenutzung .....	1931
3.9.1-2.2	Luftführungsarten .....	1932
3.9.1-2.3	Inbetriebnahme und Abnahme .....	1934
3.9.1-3	Bautechnische Entscheidungen .....	1934
3.9.1-3.1	Allgemeines .....	1934
3.9.1-3.2	Raumlufttechnische Zentralen .....	1934
3.9.1-3.3	Luftleitungen (Kanäle) .....	1938
3.9.1-3.4	Brandschutz .....	1939
3.9.1-3.5	Montage .....	1939
3.9.2	Wohngebäude .....	1940
3.9.2-1	Wohnungen .....	1940
3.9.2-1.1	Allgemeines .....	1940
3.9.2-1.2	Luftwechsel/ Luftvolumenstrom .....	1943
3.9.2-1.3	Fensterlüftung .....	1943
3.9.2-1.4	Freie Wohnungslüftung .....	1944
3.9.2-1.5	Ventilatorgestützte Wohnungslüftung .....	1944
3.9.2-1.6	Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung .....	1945
3.9.2-1.6.1	Wärmeübertrager .....	1945
3.9.2-1.6.2	Wärmepumpen .....	1946
3.9.2-1.6.2.1	Abluft-Zuluft-Wärmepumpe .....	1946
3.9.2-1.6.2.2	Abluft-Wasser-Wärmepumpe .....	1949
3.9.2-1.6.3	Bauaufsichtliche Zulassung und Übereinstimmungs-Zeichen .....	1949
3.9.2-1.7	Labeling und Ecodesign .....	1949
3.9.2-1.7.1	Energieeinsparung .....	1950
3.9.2-1.7.2	Stromverbrauch .....	1951
3.9.2-1.7.3	Randbedingungen .....	1951
3.9.2-1.7.4	Wohnungslüftung in Mehrfamilienhäusern .....	1951
3.9.3	Büro- und Verwaltungsgebäude .....	1952
3.9.3-1	Allgemeines .....	1952
3.9.3-2	Gesetzliche Anforderungen an Bürogebäude: Energie-Einsparverordnung (EnEV) und EnWG .....	1955
3.9.3-3	Systemauswahl .....	1956
3.9.3-4	Systeme .....	1957
3.9.3-4.1	Maschinelle Lüftungsanlagen .....	1958
3.9.3-4.2	Luft-Wasser-Anlagen .....	1961
3.9.3-4.2.1	Kühldecke mit Grundlüftung .....	1961
3.9.3-4.2.2	Bauteilaktivierung mit Grundlüftung .....	1964
3.9.3-4.2.3	Induktionsanlagen .....	1967
3.9.3-4.2.4	Passive Kühlkonvektoren .....	1970
3.9.3-4.2.5	Fan-Coil-Systeme .....	1971
3.9.3-4.2.6	Luft-Kältemittel-Anlagen .....	1973
3.9.3-4.3	Dezentrale maschinelle Lüftung .....	1975
3.9.3-4.3.1	PCM-Geräte .....	1976
3.9.3-4.3.2	Abluftsysteme .....	1978
3.9.3-5	Jahresenergiebedarf .....	1979
3.9.3-6	Zusammenfassung .....	1985
3.9.4	Schulen, Museen u. ä. ....	1987
3.9.4-1	Schulen .....	1987
3.9.4-2	Hörsäle .....	1992
3.9.4-2.1	Luftführung .....	1993
3.9.4-3	Museen .....	1994
3.9.4-3.1	Allgemeines .....	1994
3.9.4-3.2	Raumklima .....	1994
3.9.4-3.3	Kühllast .....	1996

3.9.4-3.4	Klimaanlage .....	1997
3.9.4-3.5	Energetische Bewertung von Klimaanlagen für Museen .....	1998
3.9.4-3.6	Luftführung .....	1998
3.9.4-3.7	Regelanlage .....	1999
3.9.5	Krankenhäuser, Gebäude des Gesundheitswesens .....	2000
3.9.5-1	Allgemeines .....	2000
3.9.5-2	Übersicht Richtlinien und Empfehlungen .....	2001
3.9.5-3	Hygienisch relevante Grundmerkmale von Lüftungskonzepten ....	2005
3.9.5-4	Lüftung von Operationsräumen und Eingriffsräumen .....	2006
3.9.5-4.1	OP mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung (TAV) .....	2006
3.9.5-4.2	OP oder Eingriffsraum mit Mischlüftung (TML) .....	2009
3.9.5-4.3	Vergleichsbetrachtungen .....	2009
3.9.5-5	Weitere Räume einer OP-Abteilung .....	2010
3.9.5-6	Gesamtkonzept für Operationsabteilungen .....	2011
3.9.5-7	Weitere hygienisch relevante Räume .....	2012
3.9.5-7.1	Zimmer für protektive Isolation (Sterilpflegezimmer) .....	2012
3.9.5-7.2	Isolierzimmer für Patienten mit Freisetzung infektiöser Aerosole ..	2012
3.9.5-7.3	Intensivpflegezimmer und -station .....	2013
3.9.5-7.4	Notaufnahme, Warteräume, Zentralsterilisation .....	2013
3.9.5-7.5	Normalpflegestationen, Bettenzimmer .....	2013
3.9.5-8	Qualifizierung und Requalifizierung von OP-Raum-Lüftungskonzepten .....	2013
3.9.5-8.1	OP-Räume mit TAV .....	2013
3.9.5-8.2	Bemerkungen zu den Prüfverfahren .....	2015
3.9.5-8.3	OP-Räume mit TML .....	2016
3.9.5-9	Anforderungen an RLT-Geräte und Kanäle .....	2017
3.9.5-10	Kostenaspekte .....	2017
3.9.5-11	Betrieb .....	2018
3.9.6	Gebäude des Hotelgewerbes .....	2019
3.9.6-1	Hotels .....	2019
3.9.6-1.1	Allgemeines .....	2019
3.9.6-1.2	Das Hotelzimmer .....	2019
3.9.6-1.3	Varianten der technischen Ausstattung .....	2020
3.9.6-1.3.1	Kühlen mittels Umluftkühlgeräten mit Ventilator .....	2021
3.9.6-1.3.2	Kühlen und Heizen mittels Umlaufkühlgeräten mit Ventilator ....	2021
3.9.6-1.3.3	Lüftung .....	2022
3.9.6-1.3.4	Raumregelung .....	2022
3.9.6-1.3.5	Medienanbindung .....	2022
3.9.6-1.3.6	Übersicht .....	2022
3.9.6-1.4	Beispiel .....	2023
3.9.6-1.5	Kosten .....	2024
3.9.6-1.6	Interdisziplinärer Ansatz .....	2024
3.9.6-1.7	Vorschriften und Richtlinien .....	2024
3.9.7	Verkaufsstätten .....	2025
3.9.7-1	Allgemeines .....	2025
3.9.7-2	Vorschriften, Richtlinien .....	2026
3.9.7-3	Aufgaben und Arten der Lüftung .....	2026
3.9.7-4	Thermische Behaglichkeit in Verkaufsstätten .....	2026
3.9.7-5	Planungshinweise .....	2029
3.9.8	Betriebsgebäude und -anlagen .....	2030
3.9.8-1	Fertigungsstätten .....	2030
3.9.8-1.1	Allgemeines .....	2030
3.9.8-1.2	Industrielle Absaugungen .....	2031
3.9.8-1.2.1	Allgemeines .....	2031
3.9.8-1.2.2	Erfassungseinrichtungen und Absaugungsanlagen .....	2032

3.9.8-1.2.3	Freie Saugöffnungen	2032
3.9.8-1.2.4	Freie Saugöffnungen mit Flansch	2033
3.9.8-1.2.4.1	Saughauben	2033
3.9.8-1.2.4.2	Saugschlitze	2033
3.9.8-1.2.4.3	Ventilatoren	2034
3.9.8-1.2.4.4	Brand- und Explosionsgefahr	2034
3.9.8-1.2.5	Geschwindigkeitsfelder bei Saugöffnungen	2035
3.9.8-1.2.5.1	Allgemeines	2035
3.9.8-1.2.5.2	Freie Saugöffnungen	2036
3.9.8-1.2.5.3	Saugöffnungen mit Flansch	2037
3.9.8-1.2.5.4	Saughauben	2038
3.9.8-1.2.5.5	Saugschlitze	2039
3.9.8-1.2.6	Berechnungsgrundlagen	2039
3.9.8-1.2.6.1	Oberhauben über Tischen, Behältern, Bädern	2040
3.9.8-1.2.6.2	Seitenhauben auf Arbeitstischen	2041
3.9.8-1.2.6.3	Unterhauben	2041
3.9.8-1.2.6.4	Saugschlitze bei Bädern	2041
3.9.8-1.2.7	Ausführung der Erfassungseinrichtungen	2043
3.9.8-1.2.7.1	Absaugen mittels Hauben	2044
3.9.8-1.2.7.2	Schweißen	2048
3.9.8-1.2.7.3	Maschinenabsaugung	2051
3.9.8-1.2.7.4	Sack- und Fassfüllung	2055
3.9.8-1.2.7.5	Transport und Bearbeitung von Schüttgütern	2056
3.9.8-1.2.7.6	Zentrale Staubsauganlagen	2056
3.9.8-1.2.7.7	Ortsveränderliche Erfassungselemente	2056
3.9.8-1.3	Lüftung	2058
3.9.8-1.3.1	Allgemeines	2058
3.9.8-1.3.2	Mechanische Belüftung	2058
3.9.8-1.3.3	Grundlagen für die Auslegung	2060
3.9.8-1.3.4	Auswahl der Luftführung und Bemessung der Zu- und Abluftströme	2062
3.9.8-2	Laboratorien	2069
3.9.8-2.1	Allgemeines	2069
3.9.8-2.2	Volumenstrom	2070
3.9.8-2.3	Filter	2071
3.9.8-2.4	Raumluftzustand	2071
3.9.8-2.5	Luftführung	2071
3.9.8-2.6	Kanäle	2072
3.9.8-2.7	Sicherheitswerkbänke	2073
3.9.8-3	Akkumulatorenräume (Batterieräume)	2073
3.9.8-3.1	Allgemeines	2073
3.9.8-3.2	Entlüftung	2073
3.9.8-3.3	Volumenstrom	2074
3.9.8-3.4	Material	2074
3.9.8-3.5	Säureabscheider	2074
3.9.8-3.6	Stahl-Akkumulatoren	2074
3.9.8-4	EDV-Anlagen, Telefonvermittlungssysteme, CAD-Arbeitsplätze	2075
3.9.8-4.1	Klimageräte	2076
3.9.8-4.2	Anwendung der freien Kühlung	2077
3.9.8-4.3	Rückgewinn der Verflüssigungswärme	2077
3.9.8-4.4	Direkte Kühlung von Computereinheiten mit Kaltwasser	2078
3.9.8-4.5	Kleine Computersysteme im Kühllastbereich von ca. 2...20 kW	2078
3.9.8-4.6	Verflüssiger luft- oder wassergekühlt	2078
3.9.8-5	Klimaprüfkammern	2078
3.9.8-6	Reinraumtechnik	2080
3.9.8-6.1	Partikelquellen	2082
3.9.8-6.2	Reinraumklassifizierung als Reinheitsklassen der Luft	2084

3.9.8-6.3	Reinraum-/Reinheitsmesstechnik .....	2085
3.9.8-6.4	Schwebstofffilter .....	2086
3.9.8-6.5	Strömungsformen .....	2087
3.9.8-6.6	Luftversorgung .....	2088
3.9.8-6.7	Ausführungsbeispiele .....	2092
3.9.8-7	Lackieranlagen .....	2097
3.9.8-7.1	Allgemeines .....	2097
3.9.8-7.2	Spritzstände (Spritztische) .....	2098
3.9.8-7.3	Spritzkabinen (Spritzkammern) .....	2098
3.9.8-7.4	Spritzräume .....	2099
3.9.8-7.5	Automatische Spritzkabinen .....	2100
3.9.8-7.6	Zuluft .....	2100
3.9.8-7.7	Abluft .....	2100
3.9.8-8	Textilbetriebe .....	2101
3.9.8-8.1	Allgemeines .....	2101
3.9.8-8.2	Aufgaben der Textillufttechnik .....	2102
3.9.8-8.3	RLT-Systeme .....	2103
3.9.8-8.3.1	Übersättigungsanlagen .....	2103
3.9.8-8.3.2	Konventionelle Anlagen .....	2103
3.9.8-8.3.3	Arbeitszonen-Klimatisierung .....	2104
3.9.8-8.3.4	Gemischtes Klimatisierungssystem für Webereien .....	2105
3.9.8-8.4	Spezielle Textilluft-Komponenten .....	2106
3.9.8-8.4.1	Trommelfilter .....	2106
3.9.8-8.4.2	Panel-Filter .....	2107
3.9.8-8.4.3	ModulDrumfilter .....	2108
3.9.8-8.4.4	Vliesdrehfilter .....	2108
3.9.8-8.4.5	Luftwäscher .....	2108
3.9.8-8.4.6	Wanderreiniger .....	2108
3.9.8-8.4.7	Faserkompaktor, Ballenpresse .....	2109
3.9.8-8.4.8	Brikettierpresse .....	2109
3.9.9	Gebäude für Sport- und Versammlungszwecke .....	2109
3.9.9-1	Hallenschwimmbäder .....	2109
3.9.9-1.1	Allgemeines .....	2109
3.9.9-1.2	Luftführung .....	2110
3.9.9-1.3	Verdunstung .....	2110
3.9.9-1.4	Massenstrom .....	2111
3.9.9-1.5	Regelung .....	2112
3.9.9-1.6	Privatschwimmbäder .....	2112
3.9.9-1.7	Umkleideräume .....	2112
3.9.9-1.8	Betriebskosten .....	2113
3.9.9-2	Theater, Saalbauten .....	2113
3.9.9-2.1	Anlagengestaltung .....	2114
3.9.9-2.2	Luftführung .....	2114
3.9.9-2.3	Regelung .....	2116
3.9.10	Sonstige Gebäude und Gebäudeteile .....	2116
3.9.10-1	Garagen .....	2116
3.9.10-1.1	Allgemeines .....	2116
3.9.10-1.2	Abgasmengen .....	2116
3.9.10-1.3	Freie Lüftung .....	2117
3.9.10-1.4	Mechanische Lüftung .....	2117
3.9.10-1.4.1	Impuls Ventilations Systeme .....	2117
3.9.10-1.5	Volumenstrom .....	2118
3.9.10-1.6	CO-Warnanlagen .....	2119
3.9.10-1.7	Nebenräume .....	2119
3.9.10-2	Tunnel .....	2120
3.9.10-2.1	Regelbetrieb .....	2120

3.9.10-2.2	Brandfall .....	2121
3.9.10-2.3	Bauarten verschiedener Lüftungskonzepte .....	2121
3.9.10-3	Tierställe .....	2122
3.9.10-3.1	Stallklima .....	2122
3.9.10-3.2	Lüftungssysteme .....	2125
3.9.10-3.3	Heizung .....	2130
3.9.10-3.4	Wärmerückgewinnung .....	2130
3.9.10-3.5	Kühlung .....	2130
3.9.10-3.6	Wärmepumpe .....	2131
3.9.10-3.7	Abluftreinigung .....	2131
3.9.11	Sonstige Räume .....	2132
3.9.11-1	Küchen .....	2132
3.9.11-1.1	Allgemeines .....	2132
3.9.11-1.2	Schadstoffsituation in Küchen .....	2132
3.9.11-1.3	Freisetzungsprozesse von Schadstoffen und Wärme .....	2132
3.9.11-1.4	Ablufterfassung .....	2133
3.9.11-1.4.1	Küchenlüftungsdecken .....	2133
3.9.11-1.5	Varianten der Luftzuführung .....	2134
3.9.11-1.5.1	Mischströmung .....	2134
3.9.11-1.5.2	Schichtströmung .....	2134
3.9.11-1.6	Dimensionierung Raumluftechnischer Anlagen .....	2138
3.9.11-1.6.1	Thermikluftstrom .....	2138
3.9.11-1.6.2	Erfassungsluftstrom für Küchenlüftungshauben .....	2138
3.9.11-1.6.3	Zuluftstrom/Abluftstrom .....	2139
3.9.11-1.6.4	Abluftströme in Verbindung mit Küchenlüftungshauben .....	2141
3.9.11-1.6.5	Abluftströme in Verbindung mit Küchenlüftungsdecken .....	2141
3.9.11-1.6.6	Kontrollrechnung .....	2141
3.9.11-1.7	Abschätzen der Luftströme .....	2142
3.9.11-1.8	Hinweise .....	2142
3.9.11-1.8.1	Thermische Behaglichkeit – Erträglichkeit .....	2142
3.9.11-1.8.2	Hygiene .....	2142
<b>4</b>	<b>TRINKWASSERTECHNIK .....</b>	<b>2143</b>
<b>4.1</b>	<b>Aufgaben und Bedeutung .....</b>	<b>2143</b>
4.1.1	Begriffe, Symbole .....	2144
<b>4.2</b>	<b>Anforderungen an die Planung .....</b>	<b>2147</b>
4.2.1	Rechtliche Anforderungen .....	2148
4.2.1-1	Trinkwasserverordnung .....	2148
4.2.1-2	AVBWasserV .....	2151
4.2.1-3	Überblick Regelwerke TRWI .....	2152
4.2.2	Hygienische Anforderungen .....	2153
4.2.2-1	Trinkwasseranalyse .....	2154
4.2.2-2	Bestimmungsgemäßer Betrieb – Raumbuch .....	2154
4.2.2-3	Größe der Anlage .....	2157
4.2.2-4	Stagnation .....	2157
4.2.2-5	Kaltwassertemperatur PWC .....	2157
4.2.2-6	Warmwassertemperatur PWH .....	2158
4.2.2-7	Anlagensicherheit, Verbindung zu Nichttrinkwasser .....	2158
4.2.2-8	Betriebsunterbrechung und Wiederinbetriebnahme .....	2158
4.2.2-9	Anforderungen auf Grund von Bauordnungen .....	2158
4.2.3	Schallschutztechnische Anforderungen .....	2159
4.2.3-1	DIN 4109 Schallschutz im Hochbau .....	2159

4.2.3-2	VDI 4100 Schallschutz im Hochbau .....	2161
4.2.3-3	Schallschutztechnische Maßnahmen .....	2163
4.2.3-3.1	Vermeidung von Körperschall .....	2164
4.2.3-3.2	Fließgeschwindigkeiten .....	2165
4.2.3-3.3	Ruhedruck .....	2165
4.2.3-3.4	Armaturen und Geräte .....	2166
<b>4.3</b>	<b>Aufbau und Bestandteile von Trinkwasserinstallationen .....</b>	<b>2167</b>
4.3.1	Hausanschluss .....	2167
4.3.2	Leitungstypen .....	2168
4.3.3	Rohrleitungsmaterialien .....	2169
4.3.4	Leitungsführung .....	2171
4.3.4-1	Verteiler mit Einzelzuleitungen .....	2171
4.3.4-2	T-Stück-Installation .....	2172
4.3.4-3	Reihenleitung .....	2172
4.3.4-4	Ringleitung .....	2173
4.3.4-5	Empfehlung bei Stockwerksinstallationen mit Wasserzähler .....	2173
4.3.4-6	Stockwerksinstallationen ohne Wasserzähler .....	2174
4.3.4-6.1	Verhinderung des Wärmeübergangs von PWH auf PWC .....	2175
4.3.5	Wasserbehandlungsmaßnahmen .....	2176
4.3.6	Probenahmestellen .....	2178
4.3.6-1	Probenahme für mikrobiologische Untersuchungen .....	2178
4.3.6-2	Probenahme für chemische Untersuchungen .....	2181
4.3.7	Dämmung von Trinkwasserleitungen .....	2182
4.3.7-1	Trinkwasserleitungen kalt (PWC) .....	2182
4.3.7-2	Trinkwasserleitungen warm (PWH und PWH-C) .....	2183
4.3.8	Armaturen .....	2183
4.3.8-1	Armaturenwerkstoffe .....	2184
4.3.8-2	Entnahmearmaturen .....	2184
4.3.8-3	Leitungsarmaturen .....	2185
4.3.8-3.1	Absperrarmaturen .....	2185
4.3.8-3.2	Kompensatoren .....	2186
4.3.8-3.3	Schläuche .....	2187
4.3.8-3.4	Zirkulationsregulierventile .....	2187
4.3.8-3.5	Sicherheitsarmaturen .....	2189
4.3.8-3.6	Thermische Ablaufsicherung .....	2191
4.3.8-3.7	Sicherungsarmaturen .....	2192
4.3.8-3.8	Druckminderer .....	2201
<b>4.4</b>	<b>Berechnung von Trinkwasser-Installationen .....</b>	<b>2203</b>
4.4.1	Normative Grundlagen .....	2203
4.4.2	Schritte der Rohrnetzberechnung .....	2203
4.4.2-1	Berechnungsdurchfluss .....	2204
4.4.2-2	Summendurchfluss .....	2205
4.4.2-3	Spitzendurchfluss .....	2205
4.4.2-4	Nutzungseinheiten .....	2206
4.4.2-5	Berechnungsstartpunkt .....	2207
4.4.2-6	Verfügbares Rohrreibungsdruckgefälle .....	2208
4.4.2-7	Druckverlust in Apparaten .....	2209
4.4.2-8	Fließgeschwindigkeiten .....	2209
4.4.2-9	Druckverlust aus Rohrreibung .....	2210

4.4.2-10	Druckverlust aus Einzelwiderständen .....	2210
4.4.2-11	Bemessung von Zirkulationsleitungen .....	2212
4.4.2-12	Inliner-Zirkulationen .....	2215
4.4.3	Druckerhöhungsanlagen .....	2217
4.4.3-1	Begriffsbestimmung .....	2218
4.4.3-1.1	Fließ- und Ruhedruck .....	2219
4.4.3-1.2	Fließgeschwindigkeit .....	2219
4.4.3-2	Grundlagen Druckerhöhungsanlagen .....	2219
4.4.3-2.1	Drehzahlregelung .....	2219
4.4.3-2.2	Anforderungen an Bauteile, Apparate und Werkstoffe .....	2220
4.4.3-2.3	Selbstansaugende Pumpen .....	2220
4.4.3-2.4	Normalsaugende Pumpen .....	2220
4.4.3-2.5	Haltdruckhöhe .....	2221
4.4.3-2.6	Pumpenkennlinie .....	2222
4.4.3-2.7	Anlagenkennlinie/Rohrnetzparabel .....	2223
4.4.3-2.8	Reihenschaltung von Druckstufen .....	2224
4.4.3-2.9	Pumpenparallelschaltung .....	2225
4.4.3-3	Auslegung von Druckerhöhungsanlagen .....	2226
4.4.3-3.1	Förderstrom (Spitzendurchfluss $Q_D$ ) .....	2226
4.4.3-3.2	Förderdruck $\Delta P_P$ .....	2226
4.4.3-3.3	Zulaufdruck $P_{vor}$ .....	2226
4.4.3-3.4	Ausgangsdruck nach DEA $P_{nach}$ .....	2227
4.4.3-4	Anschlussarten .....	2228
4.4.3-5	Druckzonen .....	2230
<b>4.5</b>	<b>Trinkwasser-Erwärmungsanlagen .....</b>	<b>2233</b>
4.5.1	Anforderungen .....	2233
4.5.2	Systematik der Einteilung von Trinkwasser-Erwärmungsanlagen .....	2233
<b>4.6</b>	<b>Ausführungsarten .....</b>	<b>2236</b>
4.6.1	Dezentrale Trinkwassererwärmung .....	2236
4.6.1-1	Einzel- und Gruppenversorgung im Durchflusssystem .....	2236
4.6.1-1.1	Direkte Beheizung mit Strom bei Durchflusssystemen (Durchlauferhitzer) .....	2237
4.6.1-1.2	Direkte Beheizung mit Gas bei Durchflusssystemen (Gas-Durchlauferhitzer) .....	2237
4.6.1-1.3	Indirekte Beheizung bei Durchflusssystemen (Wohnungsstationen) .....	2238
4.6.1-2	Einzel- und Gruppenversorgung im Speichersystem .....	2240
4.6.1-2.1	Direkte Beheizung mit Strom bei Speichersystemen .....	2240
4.6.1-2.1.1	Drucklose (offene) Speicher .....	2240
4.6.1-2.1.2	Druckspeicher (geschlossene Speicher) .....	2240
4.6.1-2.2	Direkte Beheizung mit Gas bei Speichersystemen .....	2241
4.6.1-2.3	Indirekte Beheizung mit Gas bei Speichersystemen .....	2241
4.6.2	Zentrale Trinkwassererwärmung .....	2242
4.6.2-1	Durchflusssysteme .....	2242
4.6.2-1.1	Funktionsprinzip .....	2242
4.6.2-1.2	Beheizungsarten/Energiearten .....	2243
4.6.2-2	Speichersysteme .....	2243
4.6.2-2.1	Funktionsprinzip .....	2243
4.6.2-2.2	Beheizungssysteme bei Trinkwasserspeichern .....	2244
4.6.2-2.2.1	Direkt (unmittelbar) beheizte Speichersysteme .....	2244
4.6.2-2.2.2	Indirekt (mittelbar) beheizte Speichersysteme .....	2245
4.6.2-2.3	Energiearten .....	2246
4.6.2-2.3.1	Beheizung mit Heizkessel (Öl, Gas, oder festen Brennstoffen) .....	2246
4.6.2-2.3.2	Beheizung mit Fernwärme (direkte Einspeisung) .....	2247

4.6.2-2.3.3	Solare Beheizung .....	2248
4.6.2-2.3.4	Elektrische Beheizung .....	2249
4.6.2-2.3.5	Beheizung mittels Wärmepumpe .....	2249
4.6.2-2.3.6	Abwärmenutzung .....	2250
4.6.2-3	Speicherladesystem .....	2250
4.6.2-3.1	Funktionsprinzip .....	2250
4.6.2-3.2	Beheizungsarten/Energiearten .....	2252
4.6.2-3.2.1	Beheizung mit Heizkessel (Öl, Gas, oder festen Brennstoffen) .....	2252
4.6.2-3.2.2	Beheizung mit Fernwärme (direkte Einspeisung) .....	2253
4.6.2-3.2.3	Beheizung mit Dampf .....	2255
<b>4.7</b>	<b>Auslegung von Trinkwasser-Erwärmungsanlagen ..</b>	<b>2256</b>
4.7.1	Warmwasser- und Wärmemengenbedarf .....	2257
4.7.2	Dezentrale Trinkwassererwärmung mittels Wasser-Wasser-Wärmeübertrager .....	2261
4.7.3	Zentrale Trinkwasser-Erwärmungsanlagen .....	2267
4.7.3-1	Auslegung von Durchflusssystemen .....	2267
4.7.3-2	Auslegung von Trinkwasser-Erwärmungsanlagen mit Hilfe des Wärme- schaubildes (Summenlinienverfahren) .....	2267
4.7.3-3	DIN EN 12831-3 und ihre Anwendung .....	2274
4.7.3-3.1	Bestimmung der Bedarfskennlinie für die Trinkwarmwassererwärmung .....	2275
4.7.3-3.2	Bestimmung der Angebotskennlinie für die Trinkwassererwärmung .....	2277
4.7.3-3.2.1	Maximale Speicherkapazität $Q_{S,max}$ .....	2278
4.7.3-3.2.2	Minimale Speicherkapazität $Q_{S,min}$ .....	2279
4.7.3-3.2.3	Bereitschaftswärmeverluste des Speichers $Q_{w,s,l}$ .....	2279
4.7.3-3.2.4	Wärmeverluste der Verteilleitungen $Q_{w,d,l}$ .....	2280
4.7.3-3.2.5	Bestimmung des Ein- und Ausschaltpunktes für die Nachheizung ..	2281
4.7.3-3.2.6	Bestimmung der Verzögerungszeit für die Nachheizung .....	2281
4.7.3-3.2.7	Bestimmung der effektiven Energie $Q_{eff}$ und Nachheizleistung .....	2282
4.7.3-3.2.8	Schritte zur Auslegung von Trinkwasser-Erwärmungsanlagen gemäß dem in der DIN EN 12831-3 beschriebenen Verfahren .....	2284
4.7.3-4	DIN 4708 Auslegung mit der Bedarfskennzahl für Wohngebäude ..	2284
<b>5</b>	<b>KÄLTETECHNIK .....</b>	<b>2291</b>
<b>5.1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>2291</b>
<b>5.2</b>	<b>Theoretische Grundlagen .....</b>	<b>2292</b>
5.2.1	Kaltdampf-Kompressionskälteprozess .....	2292
5.2.1-1	Thermodynamische Grundlagen .....	2292
5.2.1-2	Kreisprozess der Kaltdampfmaschine .....	2293
5.2.1-3	Energiebilanz, Temperaturdifferenzen .....	2297
5.2.1-4	Wirtschaftlichkeit, Leistungszahl .....	2299
5.2.2	Kaltluft-Kompressionskälteprozess .....	2303
5.2.3	Absorptionskälteprozess .....	2304
5.2.3-1	Arbeitsweise .....	2304
5.2.3-2	Energiebilanz, Temperaturdifferenzen .....	2305
5.2.3-3	Wirtschaftlichkeit, Wärmeverhältnis .....	2305
5.2.3-4	Kreisprozess der Absorptionsmaschine .....	2307
5.2.4	Adsorptionskälteprozess .....	2308
5.2.4-1	Aufbau .....	2309

5.2.4-2	Kreisprozess der Adsorptionskältemaschine	2311
5.2.4-3	Energiebilanz	2312
5.2.4-4	Wärmeverhältnis	2312
5.2.5	Dampfstrahlkälteprozess	2312
5.2.6	Thermoelektrische Kälteerzeugung	2313
5.2.7	Primärenergie-Nutzungszahl	2314
<b>5.3</b>	<b>Betriebsmittel für Kälteanlagen</b>	<b>2316</b>
5.3.1	Kältemittel	2316
5.3.2	Arbeitsstoffpaare für Absorptionsanlagen	2324
5.3.3	Kältemaschinenöl	2326
5.3.4	Sole	2327
<b>5.4</b>	<b>Bauelemente für Kälteanlagen</b>	<b>2329</b>
5.4.1	Verdrängungsverdichter (-kompressoren)	2329
5.4.1-1	Hubkolbenverdichter	2329
5.4.1-2	Schraubenverdichter	2334
5.4.1-3	Rollkolbenverdichter	2336
5.4.1-4	Drehkolbenverdichter	2336
5.4.1-5	Spiral-(Scroll)-Verdichter	2337
5.4.2	Turboverdichter (-kompressoren)	2338
5.4.3	Verflüssiger (Kondensatoren)	2340
5.4.3-1	Grundlagen	2340
5.4.3-2	Wassergekühlte Verflüssiger	2341
5.4.3-3	Luftgekühlte Verflüssiger	2345
5.4.3-4	Verdunstungsverflüssiger	2346
5.4.4	Verdampfer (Kühler)	2347
5.4.4-1	Grundlagen	2347
5.4.4-2	Verdampfer zur Kühlung von Wasser	2348
5.4.4-2.1	Rohrbündelverdampfer mit trockener Verdampfung	2348
5.4.4-2.2	Rohrbündelverdampfer für überfluteten Betrieb	2349
5.4.4-3	Luftkühler für direkte Verdampfung	2352
5.4.4-4	Plattenwärmeübertrager	2353
5.4.5	Sonstige Bauteile im Kältemittelkreislauf	2354
5.4.5-1	Kältemitteltrockner	2354
5.4.5-2	Kältemittelschaugläser	2354
5.4.5-3	Kältemittelsammler	2354
5.4.5-4	Ölabscheider	2355
5.4.5-5	Überhitzer (Wärmeübertrager)	2355
5.4.5-6	Kompensatoren	2355
5.4.5-7	Ölheizung	2355
5.4.6	Verdichterantriebsmotoren	2355
5.4.7	Mess-, Steuer- und Regelgeräte	2356
5.4.7-1	Kältemittelmengenregelung	2356
5.4.7-1.1	Kapillarrohre	2356
5.4.7-1.2	Thermostatisches Expansionsventil	2356
5.4.7-1.3	Elektronisches Expansionsventil	2358
5.4.7-1.4	Mehrfacheinspritzung	2358
5.4.7-1.5	Schwimmerregelung	2359
5.4.7-1.6	Expansionsturbine	2359
5.4.7-2	Schaltende Regler	2359
5.4.7-2.1	Temperaturschalter (Thermostate)	2359

5.4.7-2.2	Druckschalter (Pressostate) .....	2359
5.4.7-2.3	Verbundsteuerung .....	2359
5.4.7-3	Regler im Kältemittelkreislauf .....	2360
5.4.7-3.1	Verdampfungsdruckregler .....	2360
5.4.7-3.2	Temperaturregler .....	2360
5.4.7-3.3	Startregler .....	2361
5.4.7-3.4	Leistungsregler (Heißgasbeipassregler) .....	2361
5.4.7-3.5	Magnetventile .....	2361
5.4.7-4	Kühlwasserregelung .....	2361
5.4.7-5	Sicherheitseinrichtungen .....	2362
5.4.7-5.1	Sicherheit gegen Überdruck .....	2362
5.4.7-5.1.1	Sicherheitsschalteinrichtungen .....	2363
5.4.7-5.1.2	Druckentlastungseinrichtungen .....	2363
5.4.7-5.2	Unterdruckschalter .....	2364
5.4.7-5.3	Öldifferenzdruckschalter .....	2364
5.4.7-5.4	Überstromauslöser .....	2364
5.4.7-5.5	Wicklungsthermostate .....	2364
5.4.7-5.6	Motorvollschutz .....	2364
5.4.7-5.7	Druckrohrthermostat .....	2364
5.4.7-5.8	Frostschutzthermostat .....	2365
5.4.7-5.9	Strömungswächter .....	2365
5.4.7-6	Kondensat-Abführung .....	2365
5.4.8	Wasserrückkühlung .....	2365
5.4.8-1	Allgemeines .....	2365
5.4.8-2	Ausführung offener Rückkühlwerke .....	2368
5.4.8-3	Betrieb offener Rückkühlwerke .....	2370
5.4.8-4	Geschlossene Rückkühlwerke .....	2372
<b>5.5</b>	<b>Ausführung von Kälteanlagen .....</b>	<b>2374</b>
5.5.1	Allgemeines .....	2374
5.5.2	Direkte Kühlung – Luftkühlanlagen .....	2375
5.5.2-1	Allgemeines .....	2375
5.5.2-2	Kältesätze für Luftkühlung .....	2376
5.5.2-3	Kälteanlagen für Luftkühlung .....	2377
5.5.2-4	Luftkühlung mit Absorptionsmaschinen .....	2377
5.5.3	Indirekte Kühlung – Wasserkühlanlagen .....	2378
5.5.3-1	Allgemeines .....	2378
5.5.3-2	Wasserkühlung mit Hubkolbenverdichtern .....	2379
5.5.3-3	Wasserkühlung mit Schraubenverdichtern .....	2383
5.5.3-4	Wasserkühlung mit Turboverdichtern .....	2385
5.5.3-5	Wasserkühlung mit Absorptionsmaschinen .....	2387
5.5.3-6	Wasserkühlung mit Dampfstrahlmaschinen .....	2390
5.5.3-7	Wasserkühlung thermoelektrisch .....	2391
5.5.4	Thermische Antriebe .....	2392
5.5.4-1	Benzin- und Dieselmotoren .....	2392
5.5.4-2	Gasmotoren .....	2392
5.5.4-3	Gasturbinen .....	2392
5.5.4-4	Dampfturbinen .....	2393
5.5.4-5	Kombinierte Systeme .....	2393
5.5.5	Fernkälteanlagen .....	2394
5.5.5-1	Allgemeines .....	2394
5.5.5-2	Fernkältezentralen .....	2395
5.5.5-3	Heiz-Kraft-Kälte-Kopplung .....	2395
5.5.5-4	Kaltwassernetz .....	2396

5.5.5-5	Kühlwassernetz .....	2396
5.5.6	Kältemittel-Rohrleitungen .....	2397
5.5.7	Kaltwasser-Rohrnetze .....	2400
<b>5.6</b>	<b>Berechnung von Kälteanlagen zur Luftkühlung .....</b>	<b>2402</b>
5.6.1	Dimensionierung der Kälteanlage .....	2402
5.6.1-1	Luftkühlanlagen für direkte Kühlung .....	2402
5.6.1-2	Indirekte Kühlung – Wasserkühlanlagen .....	2402
5.6.2	Teillastverhalten von Kältemaschinen .....	2403
5.6.2-1	Teillastbedingungen und Abnahmemessungen .....	2403
5.6.2-2	Einfluss der Verflüssigungstemperatur .....	2405
5.6.2-3	Einfluss der Wärmeübertragerflächen .....	2406
5.6.2-4	Teillastverhalten von Turboverdichtern .....	2407
5.6.2-5	Teillastverhalten von Schraubenverdichtern .....	2409
5.6.2-6	Teillastverhalten von Hubkolbenverdichtern .....	2409
5.6.2-7	Teillastverhalten von Absorptionskältemaschinen .....	2411
5.6.2-8	Teillastverhalten im Wärmepumpenbetrieb .....	2412
5.6.2-9	Aussagen zum Teillastverhalten .....	2413
5.6.3	Auslegung der Kälteanlage .....	2414
5.6.3-1	Investitionskosten .....	2414
5.6.3-2	Leistungsaufteilung .....	2415
5.6.3-3	Wärmerückgewinnung .....	2417
5.6.3-4	Jahres-Energieverbrauch .....	2417
5.6.4	Kältespeicher .....	2417
5.6.4-1	Speicherichte = Speicherkapazität (Kältespeicher) .....	2418
5.6.4-2	Eisspeicher, Funktion, Aufbau .....	2419
5.6.4-3	Auslegung des Kältespeichers .....	2421
5.6.4-4	Regelung und optimales Zeitprogramm (Eisspeicher) .....	2422
5.6.4-5	Kosten, Wirtschaftlichkeit (Eisspeicher) .....	2423
5.6.5	Wärmerückgewinnung/Wärmepumpe .....	2424
5.6.5-1	Heizung mit Kältemittel .....	2425
5.6.5-2	Geschlossener Kühlwasserkreislauf .....	2426
5.6.5-3	Zusätzlicher Heizwasserkreislauf .....	2427
5.6.5-4	Wirtschaftlichkeit .....	2427
<b>5.7</b>	<b>Regelung von Luftkühlanlagen .....</b>	<b>2429</b>
5.7.1	Regelung bei direkter Luftkühlung .....	2429
5.7.1-1	Ein-/Aus-Schaltung des Verdichters .....	2429
5.7.1-2	Saugdruckregelung .....	2430
5.7.1-3	Temperaturregler im Kältekreislauf .....	2430
5.7.1-3.1	Thermostatisches Expansionsventil .....	2430
5.7.1-3.2	Elektronisches Expansionsventil .....	2430
5.7.1-4	Leistungsregler im Kältekreislauf .....	2431
5.7.1-5	Luftseitige Bypass-Regelung .....	2432
5.7.1-6	Regelung mit Verdampfer-Unterteilung .....	2433
5.7.1-7	Leistungsgeregelte Verdichter .....	2433
5.7.1-8	Regelung von Temperatur und Feuchte .....	2434
5.7.1-9	Regler für Kälteanlagen .....	2435
5.7.2	Regelung bei indirekter Luftkühlung .....	2436
5.7.2-1	Kaltwasser-Mengenregelung .....	2436
5.7.2-2	Kaltwasser-Beimischregelung .....	2436
5.7.2-3	Luftseitige Bypass-Regelung .....	2436
5.7.3	Regelung des Kaltwasserkreislaufes .....	2437

5.7.3-1	Kaltwasserkreislauf mit einer Pumpe .....	2437
5.7.3-2	Kaltwasserkreislauf mit mehreren Pumpen .....	2438
5.7.4	Regelung der Wasserkühlsätze .....	2439
<b>5.8</b>	<b>Aufstellung von Kälteanlagen, Maschinenraum, Geräusche .....</b>	<b>2440</b>
5.8.1	Aufstellungsbereiche .....	2441
5.8.2	Kälteübertragungssysteme .....	2442
5.8.3	Kältemittelgruppen .....	2442
5.8.4	Aufstellungsvorschriften .....	2443
5.8.5	Maschinenraum .....	2444
5.8.6	Geräuschentwicklung .....	2446
<b>6</b>	<b>ENERGIEKONZEPTE .....</b>	<b>2447</b>
<b>6.1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>2447</b>
6.1.1	Was versteht man unter Energiekonzepten? .....	2447
6.1.1-1	Inhalte von Energiekonzepten? .....	2448
6.1.2	Wechselwirkung zwischen Gebäude, Raumklimasystem und Energieerzeugung .....	2450
6.1.2-1	Fassade und Nutzenübergabe des Raumklimasystems .....	2450
6.1.2-2	Konzeption von Raumklimasystemen .....	2451
6.1.2-3	Konzeption der Energieerzeugung .....	2457
6.1.2-4	Werkzeuge beim Erstellen von Energiekonzepten .....	2463
6.1.2-5	Energiekonzept in der Umsetzung .....	2465
6.1.3	Energie- und Betriebsmanagement .....	2472
6.1.3-1	Hausautomation und Smart Home .....	2472
6.1.3-1.1	Hausautomation .....	2473
6.1.3-1.1.1	Was ist Hausautomation .....	2473
6.1.3-1.1.2	Hausautomationssysteme .....	2475
6.1.3-1.2	Smart Home .....	2478
6.1.3-1.2.1	Smart Metering .....	2478
6.1.3-1.2.2	Smart Grids .....	2479
<b>6.2</b>	<b>Beispiele zu Konzepten auf Gebäudeebene .....</b>	<b>2481</b>
6.2.1	Kraft-Wärme-Kältekopplung für Liegenschaften .....	2481
6.2.1-1	Systemvoraussetzung (Wärme-, Kälte- und elektr. Energiebedarf) .....	2481
6.2.1-2	Bedarfsanalyse (Leistungsbilanz/Lastgangkennlinien) .....	2482
6.2.1-3	Systemauswahl .....	2485
6.2.1-4	Hydraulische Konzeption .....	2486
6.2.1-5	Konzeption der Regelung und Steuerung .....	2487
6.2.1-6	Ökonomische und ökologische Analyse .....	2489
6.2.2	Kälteerzeugung für einen Flughafen .....	2492
6.2.2-1	Systemvoraussetzung .....	2492
6.2.2-2	Bedarfsanalyse .....	2494
6.2.2-3	Systemauswahl .....	2496
6.2.2-4	Hydraulische Konzeption .....	2500
6.2.2-5	Auslegung der Komponenten .....	2503
6.2.2-6	Konzeption der Regelung .....	2505
6.2.2-7	Wirtschaftlichkeitsanalyse .....	2507

6.2.3	Wärme- und Kälteerzeugung durch Einsatz einer Wärmepumpe ..	2508
6.2.3-1	Systemvoraussetzungen .....	2509
6.2.3-1.1	Bedarfsanalyse .....	2509
6.2.3-1.2	Festlegung der Nutzenübergabesysteme: .....	2510
6.2.3-2	Systemauswahl und Wärmestrom .....	2511
6.2.3-3	Bemessung der Wärmepumpe und des Speichers .....	2513
6.2.3-3.1	Grundlast und Spitzenlast im Heizfall .....	2513
6.2.3-3.2	Grundlast und Spitzenlast im Kühlfall .....	2515
6.2.3-4	Energiemanagement und Regelstrategie für Wärmequellen, Wärmesenken und Speicher .....	2517
6.2.3-5	Konzeption des Speichers .....	2519
6.2.3-6	Ökonomischer Vergleich zwischen Geothermie und Eisspeicher ...	2522
6.2.4	Stromerzeugung mit Photovoltaik .....	2522
6.2.4-1	Definition .....	2522
6.2.4-2	Systemvoraussetzung .....	2523
6.2.4-3	Bemessung .....	2523
6.2.4-3.1	Jahresenergieertrag .....	2523
6.2.4-3.2	Leistung .....	2524
6.2.4-3.3	Anlagenfläche .....	2524
6.2.4-3.3.1	Verschattungen .....	2524
6.2.4-3.3.2	Platzierung Satteldach .....	2525
6.2.4-3.3.3	Platzierung Flachdach .....	2525
6.2.4-4	Systemauswahl .....	2525
6.2.4-4.1	Direkte Nutzung .....	2525
6.2.4-4.2	Inselsysteme mit Batteriespeicher .....	2526
6.2.4-4.3	Nutzung mit Stromnetz .....	2526
6.2.4-4.4	Nutzung mit Stromnetz und steuerbaren Lasten .....	2527
6.2.4-4.5	Nutzung mit Stromnetz, steuerbaren Lasten und Batteriespeicher ..	2527
6.2.4-5	Technische Umsetzung .....	2528
6.2.4-5.1	Modulausrichtung .....	2528
6.2.4-5.2	Typische Arten der Modulanordnung .....	2529
6.2.4-5.2.1	Flachdachmontage .....	2529
6.2.4-5.2.2	Satteldachmontage .....	2530
6.2.4-5.2.3	Fassadenmontage .....	2531
6.2.4-5.3	Wechselrichter .....	2531
6.2.4-5.3.1	Verschaltung .....	2531
6.2.4-5.3.2	Montage .....	2531
6.2.4-5.3.3	Verlustleistung .....	2531
6.2.4-5.3.4	Einbindung in Stromnetze .....	2531
6.2.4-6	Wirtschaftlichkeitsberechnung PV .....	2532
6.2.4-6.1	Randbedingungen .....	2532
6.2.4-6.2	Kostenbausteine .....	2532
6.2.4-6.2.1	Einnahmen .....	2532
6.2.4-6.2.2	Ausgaben .....	2532
6.2.4-6.3	Berechnungsverfahren .....	2532
<b>6.3</b>	<b>Energiekonzepte auf Quartiersebene .....</b>	<b>2534</b>
6.3.1	Allgemeines .....	2534
6.3.1-1	Allgemeine Zielsetzungen .....	2534
6.3.1-2	Systemische Ansätze .....	2535
6.3.1-3	Werkzeuge zur Erstellung von Energiekonzepten .....	2536
6.3.2	Beispiel zu Energiekonzepten auf Quartiersebene .....	2537
6.3.2-1	Energiekonzept für eine Neubausiedlung in Kassel .....	2537

<b>7</b>	<b>Regelwerke, Formelzeichen, Umrechnungen</b> .....	2539
<b>7.1</b>	<b>Deutsche bundes- und landesgesetzliche Regelungen</b> .....	2539
7.1.1	Rechtsgebiete .....	2540
7.1.1-1	Bauordnungsrecht .....	2540
7.1.1-2	Bauplanungsrecht .....	2541
7.1.1-3	Sicherheits- und Gewerberecht .....	2541
7.1.1-4	Immissions- und Umweltschutzrecht .....	2541
7.1.1-5	Natur-, Wald-, Wasser- und Straßenrecht sowie ähnliche Rechtsgebiete .....	2542
7.1.1-6	Sonstige Rechtsgebiete .....	2542
7.1.2	Honorarordnung (HOAI) .....	2542
7.1.3	Vergabe- und Vertragsordnungen für Leistungen (VOL und VOF)	2543
7.1.3-1	Vergabe- und Vertragsordnung für Leistungen (VOL) .....	2543
7.1.3-2	Vergabe- und Vertragsordnung für freiberufliche Leistungen (VOF)	2544
7.1.4	Vergabe- und Vertragsordnungen für Bauleistungen (VOB) .....	2544
<b>7.2</b>	<b>Deutsche, europäische und internationale Normung</b>	2545
7.2.1	Definitionen .....	2545
7.2.2	Zugang zu DIN-Normen und anderen technischen Regeln .....	2546
<b>7.3</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	2547
<b>7.4</b>	<b>Einheiten und Formelzeichen</b> .....	2564
<b>7.5</b>	<b>Umrechnungstabellen</b> .....	2577
<b>7.6</b>	<b>Diagramm-Tafeln</b> .....	2582
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	2591
	<b>Anzeigenteil</b> .....	2625
	Alphabetisches Firmenverzeichnis .....	2639
	Inserentenverzeichnis .....	2653