
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
1 GRUNDLAGEN	5
1.1 Meteorologische Grundlagen	5
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
1.2 Raumklimatische Grundlagen	65
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 ₂) 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
1.3	Wärmetechnische Grundlagen	114
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
1.4	Strömungstechnische Grundlagen	264
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
1.5	Schalltechnische Grundlagen	332
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
1.6	Messtechnische Grundlagen	350
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 – Wärmehähler	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
1.7	Regelungstechnische Grundlagen	418
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 ₂ - oder PT _n -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
1.8	Energiewirtschaftliche Grundlagen	456
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
1.9	Grundlagen des Umweltschutzes und der Luftreinhaltung	467
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
1.10	Grundlagen des Korrosions- und des Steinschutzes	489
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
1.11	Planerische Grundlagen	526
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
1.12	Bauphysikalische Grundlagen zum baulichen Wärmeschutz	599
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

1.13	Energieeinsparverordnung EnEV 2014	618
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
1.14	Elektrische Energietechnik	653
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
2	HEIZUNG	679
2.1	Allgemeines	679
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
2.2	Zentrale Heizungssysteme	741
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 Wirt­schaft­lich­keit	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
2.3	Dezentrale Geräte	1083
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
2.4	Systemübergreifende Gebiete	1113
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
2.5	Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen	1194
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	Strangregulierventile	1246
2.6	Berechnung und Auslegung der Heizungsanlagen ..	1247
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
Sachverzeichnis		1315
2.7	Ausführung für verschiedene Nutzungsarten	1349
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
2.8	Verbrauchsgebundene Kosten der Heizung und Warmwasserbereitung	1398
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
2.9	Energetische Betrachtungen	1409
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	LÜFTUNGS- UND KLIMATECHNIK	1453
3.1	Grundlagen der Lufttechnik	1453
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
3.2	Freie Lüftung	1479
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

3.3	Maschinelle Lüftung (RLT-Anlagen)	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	Fasertfilter	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 ϕ_r (Rückwärmzahl)	1600
3.3.2-5.5	Feuchteänderungsgrad Ψ (Rückfeuchtezahl)	1600
3.3.2-5.5.1	Leistungszahl ϵ	1601
3.3.2-5.5.2	Wirkungsgrad η_{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 ₂ -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	Thermisch aktive Raumflächen	1715
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
3.5	Geräuscentstehung und -minderung	1738
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
3.6	Brandschutz	1778
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
3.7	Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen	1819
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
3.8	Berechnung der Lüftungs- und Klimaanlage (RLT-Anlagen)	1870
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
3.9	Ausführung der Lüftung in verschiedenen Gebäude- und Raumarten	1930
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 Eingriffsräume 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
4	TRINKWASSERTECHNIK	2143
4.1	Aufgaben und Bedeutung	2143
4.1.1	Begriffe, Symbole	2144
4.2	Anforderungen an die Planung	2147
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
4.3	Aufbau und Bestandteile von Trinkwasserinstallationen	2167
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
4.4	Berechnung von Trinkwasser-Installationen	2203
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 ΔP_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
4.5	Trinkwasser-Erwärmungsanlagen	2233
4.5.1	Anforderungen	2233
4.5.2	Systematik der Einteilung von Trinkwasser-Erwärmungsanlagen	2233
4.6	Ausführungsarten	2236
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
4.7	Auslegung von Trinkwasser-Erwärmungsanlagen ..	2256
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
5	KÄLTETECHNIK	2291
5.1	Allgemeines	2291
5.2	Theoretische Grundlagen	2292
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
5.3	Betriebsmittel für Kälteanlagen	2316
5.3.1	Kältemittel	2316
5.3.2	Arbeitsstoffpaare für Absorptionsanlagen	2324
5.3.3	Kältemaschinenöl	2326
5.3.4	Sole	2327
5.4	Bauelemente für Kälteanlagen	2329
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
5.5	Ausführung von Kälteanlagen	2374
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
5.6	Berechnung von Kälteanlagen zur Luftkühlung	2402
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
5.7	Regelung von Luftkühlanlagen	2429
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
5.8	Aufstellung von Kälteanlagen, Maschinenraum, Geräusche	2440
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
6	ENERGIEKONZEPTE	2447
6.1	Allgemeines	2447
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
6.2	Beispiele zu Konzepten auf Gebäudeebene	2481
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
6.3	Energiekonzepte auf Quartiersebene	2534
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

7	Regelwerke, Formelzeichen, Umrechnungen	2539
7.1	Deutsche bundes- und landesgesetzliche Regelungen	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
7.2	Deutsche, europäische und internationale Normung	2545
7.2.1	Definitionen	2545
7.2.2	Zugang zu DIN-Normen und anderen technischen Regeln	2546
7.3	Literaturverzeichnis	2547
7.4	Einheiten und Formelzeichen	2564
7.5	Umrechnungstabellen	2577
7.6	Diagramm-Tafeln	2582
	Sachverzeichnis	2591
	Anzeigenteil	2625
	Alphabetisches Firmenverzeichnis	2639
	Inserentenverzeichnis	2653