

Inhaltsverzeichnis

1	Energiebilanz	1	3	Elektrotechnik	39
1.1	Geschichtliche Entwicklung	1	3.1	Stromarten und Stromverteilung	39
1.2	Energiesparmaßnahmen	1	3.1.1	Gleichstrom	39
			3.1.2	Wechselstrom	40
			3.1.3	Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)	40
			3.1.4	Stromverteilung	40
2	Physikalische und bau-physikalische Grundlagen	4	3.2	Elektrische Bauteile	41
2.1	Die Elemente des Lebens:		3.2.1	Transformatoren	41
	Wasser und Luft	4	3.2.2	Elektromotoren	41
2.1.1	Wasser	4	3.2.2.1	Einphasen-Asynchronmotor und Kondensator	42
2.1.2	Luft	7	3.2.2.2	Dreiphasen-Asynchronmotor	42
2.1.2.1	Stickstoff	7	3.2.3	Schaltzeichen und Schaltpläne	43
2.1.2.2	Sauerstoff	7	3.2.4	Gefährdung durch elektrischen Strom	44
2.1.2.3	Edelgase	8	3.2.5	Schutzmaßnahmen	45
2.1.2.4	Kohlendioxid	8	4	Grundlagen der Wärmeerzeugung	47
2.2	Druck in Flüssigkeiten und Gasen	9	4.1	Feste Brennstoffe	48
2.2.1	Druck allgemein	9	4.1.1	Holz	48
2.2.2	Druck in Flüssigkeiten	10	4.1.1.1	Eigenschaften von Holz und Holzpellets	48
2.2.2.1	Hydrostatischer Druck	10	4.1.1.2	Verbrennung von Holz	48
2.2.2.2	Kommunizierende Röhre	11	4.1.2	Kohle	48
2.2.2.3	Saughebersprinzip	11	4.1.2.1	Eigenschaften der Kohle	48
2.2.2.4	Druckfortpflanzung	11	4.1.2.2	Verbrennung der Kohle	48
2.2.2.5	Theoretische Saughöhe von Pumpen bei Wasser	12	4.2	Flüssige Brennstoffe	49
2.2.3	Druck in Gasen	12	4.2.1	Eigenschaften von Heizöl	49
2.2.3.1	Das Boyle-Mariottesche Gesetz	12	4.2.1.1	Einteilung der Heizöle	49
2.2.3.2	Luftdruck	13	4.2.1.2	Kenndaten von Heizölen	49
2.2.4	Druckmessgeräte	13	4.2.2	Vorgänge bei der Verbrennung	51
2.3	Wärmelehre (Kalorik)	16	4.2.2.1	Zündverhalten	51
2.3.1	Temperatur	16	4.2.2.2	Verbrennungsablauf	51
2.3.1.1	Temperaturskalen	16	4.3	Gasförmige Brennstoffe	52
2.3.2	Thermische Ausdehnung	17	4.3.1	Eigenschaften von Brenngasen	52
2.3.2.1	Anomalie des Wassers	18	4.3.1.1	Einteilung von Brenngasen	52
2.3.2.2	Thermische Ausdehnung von Gasen	19	4.3.1.2	Kenndaten von Brenngasen	54
2.3.3	Temperaturmessung	19	4.3.2	Vorgänge bei der Verbrennung	55
2.3.4	Wärmeenergie	22	4.3.2.1	Zündverhalten von Brenngasen	55
2.3.5	Wärmeleistung (Wärmestrom)	23	4.3.2.2	Verbrennungsabläufe und Flammenbilder	55
2.3.6	Schmelz- und Verdampfungswärme	23	4.4	Schadstoffe und ihre Grenzwerte	57
2.3.7	Wärmeübertragung	25	4.4.1	Schadstoffe	57
2.3.8	Wärmeübergang	28	4.4.2	Grenzwerte von Schadstoffen	58
2.3.9	Wärmedurchgang	28	4.4.2.1	Grenzwerte für Schadstoffe von Feuerungsanlagen mit festen Brennstoffen	58
2.4	Schall und Schallschutz	30	4.4.2.2	Grenzwerte für Schadstoffe von Feuerungsanlagen mit flüssigen Brennstoffen	58
2.4.1	Schall	30	4.4.2.3	Grenzwerte für Schadstoffe von Feuerungsanlagen mit gasförmigen Brennstoffen	59
2.4.2	Das menschliche Ohr	30	4.4.2.4	Grenzwerte zur Vergabe von Gütezeichen und Förderprogrammen	59
2.4.3	dB als Messgröße des Schalls	31	4.5	Abgase und Abgasanlagen	60
2.4.4	Geräuschwahrnehmung des Menschen	31	4.5.1	Grundlagen	60
2.4.5	Schallarten und Schallausbreitung	32	4.5.2	Schornsteine	62
2.4.6	Schallpegelmesser	32	4.5.2.1	Anforderungen an Schornsteine	63
2.4.7	Richtiges Messen	33	4.5.2.2	Schornsteinentwicklung	65
2.4.7.1	Hintergrundgeräusche	33			
2.4.7.2	Addition von Schallquellen	33			
2.4.8	Schallschutz	34			
2.5	Grundlagen des Brandschutzes	36			
2.5.1	Allgemeines	36			
2.5.2	Gesetzliche Regelung	36			
2.5.3	Baulicher Brandschutz	37			

Inhaltsverzeichnis

4.5.2.3	Belegung von Schornsteinen	66	5.4	Pufferspeicher	96
4.5.2.4	Schornsteinauslegung	66	5.5	Schornsteine für Festbrennstoff- heizkessel	96
4.5.3	Verbindungsstücke	67	6	Flüssige Brennstoffe: Bereitstellung – Verbrennung –	
4.5.4	Abgasklappen	67	Kessel	98	
4.5.5	Nebenluftvorrichtungen	67	6.1	Bereitstellung von Heizöl	98
4.6	Heizkessel	69	6.1.1	Heizöllagerung	98
4.6.1	Einteilung der Heizkessel	69	6.1.1.1	Unterirdische Lagerung von Heizöl im Freien	99
4.6.1.1	Einteilung nach dem Kesselwerkstoff .	69	6.1.1.2	Oberirdische Lagerung von Heizöl . .	100
4.6.1.2	Einteilung nach dem Brennstoff	70	6.1.2	Ausrüstung der Heizöllagerbehälter .	102
4.6.1.3	Einteilung nach dem Druck im Verbrennungsraum	70	6.2	Ölbrenneranschlüsse im Ein- und Zeistrangsystem	105
4.6.1.4	Einteilung nach der Art der Heizgasführung	71	6.3	Ölbrenner	108
4.6.1.5	Einteilung nach der Bauart	71	6.3.1	Ölverdampfungsbrenner	108
4.6.2	Wirkungsgrade und Nutzungsgrade .	79	6.3.1.1	Verdampfungsbrenner	108
4.6.2.1	Feuerungstechnischer Wirkungsgrad .	79	6.3.1.2	Gebläse-Verdampfungsbrenner	108
4.6.2.2	Kesselwirkungsgrad	79	6.3.2	Ölzerstäubungsbrenner	109
4.6.2.3	Jahresnutzungsgrad des Heizkessels .	80	6.3.2.1	Aufbau des Ölzerstäubungsbrenners .	109
4.6.2.4	Jahresnutzungsgrad der Heizungs- anlage	81	6.3.2.2	Arten und Betriebsweisen von Ölzerstäubungsbrennern	113
4.6.2.5	Norm-Nutzungsgrad	82	6.3.2.3	Maßnahmen zur Verringerung von Schadstoffen	114
4.6.3	Wartung der Heizkessel	82	6.3.2.4	Einstellung und Inbetriebnahme .	115
4.7	Aufstellung von Feuerstätten – Verbrennungsluftversorgung	84	6.3.2.5	Wartung und Störungssuche	119
4.7.1	Aufstellung und Verbrennungsluft- versorgung raumluftabhängiger Feuerstätten	85	6.4	Heizkessel für Ölzerstäubungsbrenner	122
4.7.2	Aufstellräume	86	6.4.1	Öl-Brennwertkessel mit interner Kondensation	112
4.7.2.1	Aufstellräume für raumluftab- hängige Feuerstätten bis 35 kW Gesamtnennwärmefluss	86	6.4.2	Öl-Brennwertkessel mit externer Kondensation	125
4.7.2.2	Aufstellräume für raumluftab- hängige Feuerstätten über 35 kW bis 50 kW und über 50 kW Gesamtnennwärmefluss	87	6.4.3	Öl-Brennwertkessel mit Verbren- nungsvorwärmung	125
4.7.2.3	Messtechnischer Nachweis der Verbrennungsluftversorgung	87	6.5	Abgasanlagen für Ölfeuerungen . .	125
4.7.2.4	Aufstellräume für raumluftunab- hängige Gasfeuerstätten (Art C) . .	87	7	Gasförmige Brennstoffe: Bereitstellung – Verbrennung –	
4.7.2.5	Besondere Anforderungen an Aufstell- räume für Feuerstätten > 50 kW . .	88	Kessel	127	
4.7.3	Heizräume	88	7.1	Bereitstellung von Gasen	127
5	Feste Brennstoffe: Bereitstellung – Verbrennung –		7.1.1	Bereitstellung von Erdgas	127
	Kessel	90	7.1.1.1	Transport und Verteilung	127
5.1	Holz	90	7.1.1.2	Speicherung	128
5.1.1	Bereitstellung von Stückholz	90	7.1.2	Bereitstellung von Flüssiggas	128
5.1.2	Bereitstellung von Holzpellets	90	7.1.2.1	Transport und Verteilung	128
5.1.3	Bereitstellung von Hackgut, Säge- und Hobelspanen	91	7.1.2.2	Lagerung	128
5.2	Kohle	91	7.1.3	Hausanschluss	130
5.2.1	Bereitstellung der Kohle	91	7.1.4	Gasversorgung in Gebäuden	131
5.3	Festbrennstoffheizkessel	92	7.1.4.1	Hausdruckregler	131
5.3.1	Werkstoffe	92	7.1.4.2	Rohrarten und Rohrverlegung . . .	132
5.3.2	Brenndauer und Zugbedarf	92	7.1.4.3	Prüfung und Inbetriebnahme	134
5.3.3	Verbrennungssysteme	92	7.2	Gasbrenner	137
5.3.4	Naturzug- und Gebläsefeuerung . .	92	7.2.1	Aufbau von Gasbrennern ohne Gebläse (atmosphärische Brenner) .	137
5.3.5	Leistungs- und Verbrennungs- regelung	93	7.2.1.1	Zündleinrichtungen	138
5.3.6	Holzkessel	93	7.2.1.2	Flammenüberwachungs- einrichtungen	138
5.3.7	Kohlekessel	95	7.2.1.3	Gasregelstrecke (Gasstraße) . . .	141
			7.2.1.4	Elektrische Steuer- und Regeleinrichtungen	142

Inhaltsverzeichnis

7.2.1.5	Maßnahmen zur Verringerung von Stickoxiden und Kohlenmonoxiden ..	144	8.2.2.4	Solarspeicher und Nachheizung	192
7.2.1.6	Vor- und Nachteile von Gasbrennern ohne Gebläse	145	8.2.2.5	Steuerung und Regelung	194
7.2.2	Aufbau von Gebläsebrennern	146	8.3	Photovoltaik	196
7.2.2.1	Verbrennungsluftzuführung und -überwachung	147	8.3.1	Aufbau einer Photovoltaikanlage	196
7.2.2.2	Zündeinrichtungen	148	8.3.2	Wirkungsweise einer Photovoltaikanlage	196
7.2.2.3	Flammenüberwachungseinrichtungen	148	8.4	Wärmepumpen	197
7.2.2.4	Gasregelstrecke	148	8.4.1	Energiequellen für Wärmepumpen	197
7.2.2.5	Dichtheitskontrolle	149	8.4.1.1	Luft	197
7.2.2.6	Elektrische Steuer- und Regeleinrichtungen	149	8.4.1.2	Wasser	197
7.2.2.7	Maßnahmen zur Verringerung von Stickoxiden und Kohlenmonoxiden ..	152	8.4.1.3	Erdreich	197
7.2.2.8	Vor- und Nachteile von Gasgebläsebrennern	153	8.4.2	Funktionsprinzip der Kompressions-Wärmepumpen	197
7.2.3	Sonderausführungen von Gasbrennern	153	8.4.3	Ausführungsarten von Wärmepumpen	197
7.2.3.1	Strahlungsflächenbrenner	153	8.4.3.1	Luft-Wasser-Wärmepumpen	197
7.2.3.2	Katalytische Brenner	154	8.4.3.2	Wasser-Wasser-Wärmepumpen	198
7.2.3.3	Zweistoffbrenner	155	8.4.3.3	Erdwärme-Wasser-Wärmepumpen	198
7.2.4	Einstellung und Inbetriebnahme von Gasbrennern	156	8.4.4	Leistungszahl	199
7.2.4.1	Einstellung eines atmosphärischen Gasbrenners	158	8.4.5	Betriebsweisen von Wärmepumpen	199
7.2.4.2	Einstellung eines Gebläsebrenners ..	159	8.4.5.1	Monovalent	199
7.2.4.3	Funktionsprüfung der Abgasanlage raumluftabhängiger Gasgeräte mit Strömungssicherung	160	8.4.5.2	Bivalent	199
7.3	Abgasanlagen für Gasfeuerungen ..	162	8.4.6	Einsatz von Wärmepumpen	199
7.3.1	Gasgeräte	162	8.4.6.1	Beheizung mit der Wärmepumpe	199
7.3.2	Raumluftabhängige Gasfeuerstätten	164	8.4.6.2	Trinkwassererwärmung	199
7.3.3	Raumluf tunabhängige Gasfeuerstätten	165	8.5	Klein-Blockheizkraftwerke	200
7.4	Heizkessel für Gasfeuerungen ..	168	8.5.1	Aufbau und Funktionsweise	200
7.4.1	Heizkessel mit Gasbrennern ohne Gebläse	168	8.5.2	Wirtschaftlichkeit und Grundlagen für die Errichtung von Klein-Blockheizkraftwerken	201
7.4.2	Heizkessel mit Gasgebläsebrennern ..	169	8.6	Brennstoffzelle	202
7.4.3	Gas-Niedertemperaturheizkessel	169	8.6.1	Historischer Rückblick	202
7.4.4	Gas-Brennwertheizkessel	170	8.6.2	Grundprinzip der Brennstoffzelle	202
7.4.5	Gasumlaufwasserheizer/ Gaskombiwasserheizer	171	8.6.3	Technische Anwendung am Beispiel einer PEM-Brennstoffzelle	202
7.5	Wartung und Störungssuche	173	8.7	Niedrigenergiehaus	204
7.5.1	Wartung	173	8.7.1	Begriffsbestimmung	204
7.5.2	Störungssuche	175	8.7.2	Wärmeschutz und Heiztechnik als gemeinsame Merkmale des Niedrigenergiehauses und der Energieeinsparverordnung (EnEV) ..	204
8	Energieeinsparung, erneuerbare Energien ..	176	9	Trinkwassererwärmung	206
8.1	Energieeinsparverordnung (EnEV) ..	176	9.1	Anforderungen an Trinkwassererwärmungsanlagen	206
8.2	Solaranlagen	178	9.2	Einteilung der Trinkwassererwärmungsanlagen	206
8.2.1	Die Sonne als Energiequelle	179	9.2.1	Versorgung der Entnahmestellen	206
8.2.1.1	Solarkonstante und Globalstrahlung ..	179	9.2.2	Systeme von Trinkwassererwärmern	207
8.2.1.2	Strahlungsleistung und Sonnenscheindauer	179	9.2.3	Offene und geschlossene Trinkwassererwärmern	208
8.2.2	Aufbau und Wirkungsweise einer thermischen Solaranlage	181	9.2.4	Beheizung der Trinkwassererwärmern	209
8.2.2.1	Sonnenkollektoren	181	9.3	Trinkwassererwärmern für die zentrale Versorgung	209
8.2.2.2	Kollektormontage	186	9.3.1	Speicher-Trinkwassererwärmern – mittelbar beheizt	209
8.2.2.3	Solarkreis	190	9.3.2	Durchfluss-Trinkwassererwärmern – mittelbar beheizt	211
			9.3.3	Unmittelbar (direkt) beheizte Speicher-Trinkwassererwärmern	212
			9.4	Trinkwasseranschluss geschlossener Trinkwassererwärmern	212

Inhaltsverzeichnis

10	Rohrleitungen, Rohrverlegung,	
	Armaturen	215
10.1	Allgemeine Kenngrößen von Rohren	215
10.2	Rohrarten	216
10.2.1	Stahlrohre.	217
10.2.1.1	Gewinderohre	217
10.2.1.2	Nahtlose und geschweißte Stahl- rohre	217
10.2.1.3	Präzisionsstahlrohre	218
10.2.1.4	Nichtrostende Stahlrohre	219
10.2.1.5	Stahlrohre für Gasleitungen	219
10.2.2	Kupferrohre	220
10.2.2.1	Verwendung von Kupferrohren	220
10.2.2.2	Eigenschaften der Kupferrohre	220
10.2.2.3	Lieferformen von Kupferrohren	220
10.2.2.4	Kupferrohre nach DIN EN 1057	220
10.2.2.5	Sonstige Kupferrohre	222
10.2.3	Kunststoffrohre	222
10.2.3.1	Allgemeine Eigenschaften und Anwendungsbereiche	222
10.2.3.2	PVC-Rohre	223
10.2.3.3	PE-Rohre.	224
10.2.3.4	PB-Rohre.	226
10.2.3.5	PP-Rohre.	227
10.2.4	Rohre für besondere Verwendungszwecke.	227
10.2.4.1	Mehrschichtverbundrohre	227
10.2.4.2	LORO-X-Rohre	228
10.2.4.3	Metallschläuche und metallbewehrte Schläuche.	229
10.2.4.4	Rippenrohre	231
10.3	Rohrverbindungen.	233
10.3.1	Unlösbare Rohrverbindungen	233
10.3.1.1	Hart- und weichlöten von Rohren . .	233
10.3.1.2	Schweißen von Rohren.	239
10.3.1.3	Gasschmelzschweißen von Rohren . .	244
10.3.1.4	Lichtbogenhandschweißen von Rohren.	250
10.3.1.5	Schutzgasschweißen von Rohren . .	254
10.3.1.6	Schweißen von Kunststoffrohren . .	260
10.3.1.7	Kleben von PVC-Rohren	266
10.3.1.8	Rohrpressverbindungen	266
10.3.1.9	Schiebehülsenverbindungen	268
10.3.1.10	Gewinderohrverbindungen	269
10.3.2	Lösbare Rohrverbindungen	271
10.3.2.1	Rohrverschraubungen.	271
10.3.2.2	Klemmringverschraubungen	272
10.3.2.3	Schneidringverschraubungen	273
10.3.2.4	Rohrkupplungen	273
10.3.2.5	Flanschverbindungen	274
10.4	Rohrmontage	276
10.4.1	Der Rohrleitungsplan	276
10.4.1.1	Darstellung von Rohrleitungen	276
10.4.1.2	Kennzeichnung von Rohrleitungen . .	278
10.4.2	Messtechniken der Rohrinstallation. .	279
10.4.2.1	Vorfertigung von Rohrleitungen.	279
10.4.2.2	Messen „Mitte – Mitte“ und z-Maß-Methode	279
10.4.3	Rohrverarbeitung.	281
10.4.3.1	Trennen von Rohren	281
10.4.3.2	Biegen von Rohren	284
10.4.4	Dehnungsausgleich bei Rohren	288
10.4.4.1	Natürlicher Dehnungsausgleich	288
10.4.4.2	Dehnungsbögen und Kompensatoren	289
10.4.5	Rohrbefestigung	291
10.4.5.1	Gleitbefestigungen und Festpunktbefestigungen	292
10.4.5.2	Rohraufhängungen und Rohrunnerstützungen.	293
10.4.5.3	Stützweiten.	294
10.4.5.4	Rohrbefestigung mit Schalldämmung	294
10.4.6	Wärmedämmung bei Rohrleitungen . .	295
10.4.6.1	Wärmedämmung bei Heizungs- rohren	298
10.4.6.2	Wärmedämmung bei Trinkwasser- leitungen.	302
10.4.6.3	Dämmungsarten	303
10.4.6.4	Dämmstoffe	304
10.4.6.5	Anwendung und Verarbeitung	304
10.4.7	Rohrverlegung im Mauerwerk	306
10.4.7.1	Traditionelle Unterputzinstallation . .	306
10.4.7.2	Rohrverlegung in Schlitten.	307
10.4.7.3	Wand- und Deckendurchführung . . .	308
10.4.8	Vorwandinstallation.	308
10.5	Armaturen	310
10.5.1	Aufgaben und Einteilung von Armaturen	310
10.5.2	Anforderungen an Armaturen	310
10.5.3	Absperrarmaturen	312
10.5.3.1	Ventile	314
10.5.3.2	Schieber	316
10.5.3.3	Hähne	317
10.5.3.4	Klappen.	318
10.6	Strömung von Flüssigkeiten in Rohrleitungen	319
10.6.1	Strömungsgeschwindigkeit und Volumenstrom	319
10.6.2	Strömungsgeschwindigkeit bei Querschnittsänderung (Kontinuitätsgleichung).	319
10.6.3	Flüssigkeitsreibung und Viskosität. .	320
10.6.4	Laminare und turbulente Strömung .	321
10.6.5	Statischer und dynamischer Druck .	322
10.6.6	Druckverluste in geraden Rohr- strecken	324
10.6.7	Druckverluste durch Einzel- widerstände	294
10.6.8	Gesamtdruckverlust	326
11	Sicherheitstechnische Ausrüstung von Warmwasser- Heizungsanlagen	327
11.1	Sicherheitstechnische Ausrüstung von offenen Warmwasser- Heizungsanlagen	327
11.2	Sicherheitstechnische Ausrüstung von geschlossenen Warmwasser- Heizungsanlagen	329
11.2.1	Geschlossene Warmwasser-Heizungs- anlage mit Öl-/Gasfeuerung	329
11.2.2	Geschlossene Warmwasser-Heizungs- anlage mit Festbrennstoff-Feuerung .	338

Inhaltsverzeichnis

12	Pumpen und Druckverhältnisse	
12.1	in Heizungsanlagen	342
12.1.1	Bauarten und Konstruktions- merkmale von Pumpen	342
12.1.2	Nassläuferpumpen	342
12.1.2	Trockenläuferpumpen	342
12.2	Einbau und Inbetriebnahme	343
12.3	Pumpen- und Rohrnetzkennlinien	344
12.3.1	Pumpenkennlinie	344
12.3.2	Rohrnetzkennlinie	345
12.3.3	Betriebspunkt	345
12.3.5	Betriebspunktverschiebung	346
12.4	Pumpenleistung und Leistungskennlinie	346
12.5	Wirkungsgrad der Pumpe	347
12.6	Pumpenanpassung an die Anlagenbedingungen	348
12.6.1	Leistungsanpassung durch Drehzahländerung	348
12.6.2	Pumpenauswahl	349
12.7	Parallel- und Reihenschaltung von Pumpen	351
12.7.1	Parallelschaltung	351
12.7.2	Reihenschaltung	352
12.8	Störungen im Pumpenbetrieb – Ursachen und Gegenmaßnahmen	352
12.9	Druck in Pumpen-Warmwasser- heizungen	354
12.9.1	Anlagen-Nullpunkt und Druckverteilung	354
12.9.1.1	Druckverteilung in offenen Systemen	354
12.9.1.2	Druckverteilung in geschlossenen Systemen	355
12.9.2	Druckhaltung	355
12.10	Entlüftung von Pumpen- Warmwasserheizungen	356
12.11	Hydraulischer Abgleich von Heizungsanlagen	358
12.11.1	Grundlagen	358
12.11.2	Einrichtungen für den hydraulischen Abgleich	358
12.11.2.1	Voreinstellbare Thermostatventile	358
12.11.2.2	Heizkörper-Rücklaufverschraubung	359
12.11.2.3	Strangregulierventile	360
12.11.2.4	Durchflussregler	361
12.11.2.5	Differenzdruckregler	361
12.11.2.6	Differenzdruckregler mit Durchflussbegrenzung	361
12.11.2.7	Überströmventil	361
12.11.2.8	Hydraulische Weiche	362
13	Rohrleitungssysteme	365
13.1	Verteilung des Vorlaufwassers	365
13.1.1	Untere Verteilung	365
13.1.2	Obere Verteilung	365
13.1.3	Stockwerksheizung	365
13.1.4	Etagenweise Verteilung	366
13.2	Rohrsysteme	366
13.2.1	Zweirohrsysteem	366
13.2.2	Einrohrsysteem	367
13.2.2.1	Waagerechte Einrohrheizung	367
13.2.2.2	Senkrechte Einrohrheizug	367
13.2.2.3	Einrohrheizung mit Kurzschluss- strecke (Nebenschlussystem)	368
13.2.2.4	Einrohrheizung mit Zwangsumlauf	368
13.2.2.5	Heizkörperanbindung	368
14	Raumheizkörper und Flächenheizungen	371
14.1	Raumheizkörper	371
14.1.1	Anforderungen an Raumheizkörper	371
14.1.2	Anordnung der Raumheizkörper	371
14.1.3	Wärmeabgabe der Raumheizkörper	372
14.1.4	Auslegung der Raumheizkörper	372
14.1.5	Radiatoren (Gliederheizkörper)	372
14.1.5.1	Gussradiatoren	372
14.1.5.2	Stahlradiatoren	373
14.1.5.3	Röhrenradiatoren	373
14.1.5.4	Nippelung von Radiatoren	373
14.1.6	Plattenheizkörper	374
14.1.7	Konvektoren	374
14.1.8	Sonderausführungen von Heiz- körpern	374
14.1.9	Anschlussarten von Heizkörpern	374
14.1.10	Heizkörpermontage	376
14.1.11	Vor- und Rücklaufverschraubungen	377
14.1.12	Heizkörperregelarmaturen	377
14.1.12.1	Thermostatventile ohne Hilfsenergie	377
14.1.12.2	Elektronische Thermostatventile mit Hilfsenergie	378
14.2	Flächenheizungen	379
14.2.1	Fußbodenheizung	379
14.2.2	Deckenheizung	382
14.2.2.1	Rohrdeckenheizungen	382
14.2.2.2	Strahlplattenheizungen	382
14.2.3	Wandheizung	382
14.2.3.1	Wasser führende Unterputzsysteme	383
14.2.3.2	Hypokaustensysteme	383
14.3	Wärmemengenzähler und Heizkostenverteiler	383
14.3.1	Wärmemengenzähler (eichpflichtig)	384
14.3.2	Heizkostenverteiler (nicht eichpflichtig)	384
14.3.2.1	Verdunstungsverteiler	384
14.3.2.2	Elektronische Heizkostenverteiler	385
15	FernwärmeverSORGUNG	386
15.1	Allgemeines	386
15.2	Einteilung	387
15.3	Hauptbestandteile	387
15.4	Wärmeträgermedium	388
15.5	Betriebsweise	388
15.6	Fernwärmeverteilung	389
15.6.1	Strahlennetze	389
15.6.2	Ringnetze	389
15.6.3	Vermischte Netze	389
15.6.4	Zweileitersystem	389
15.6.5	Dreileitersystem	389
15.7	Hausstationen	390
15.7.1	Direkter Anschluss	392
15.7.2	Indirekter Anschluss	392
15.7.3	Kompakt-Hausstation	393
15.8	Graphische Symbole der FernwärmeverSORGUNG	393

15.9	Sicherheitstechnische Absicherung von Hausstationen zum Anschluss an Heizwasser-Fernwärmenetze nach DIN 4747-1	394	17.2.8	Erosions- und Kavitationskorrosion	415
15.9.1	Sicherheitstechnische Ausrüstung zur Druckabsicherung	394	17.2.8.1	Erosionskorrosion	415
15.9.2	Sicherheitstechnische Ausrüstung zur Temperaturabsicherung	394	17.2.8.2	Kavitationskorrosion	415
15.10	Vor- und Nachteile von Fernwärmeversorgungsanlagen	395	17.2.9	Wasserstoffkrankheit	415
16	Niederdruckdampfheizung	396	17.3	Korrosionsschutz	416
16.1	Funktionsprinzip einer Niederdruckdampfheizung	396	17.3.1	Korrosionsschutz in Warmwasserheizungsanlagen	416
16.2	Vor- und Nachteile von Niederdruckdampfheizungen	397	17.3.2	Korrosionsschutz in Niederdruck-Dampfanlagen	417
16.3	Kesselbauformen	398	17.3.3	Korrosionsschutz von Öl- und Flüssiggasbehältern	417
16.4	Sicherheitstechnische Ausrüstung und Regelung von Niederdruck-dampfkesseln	398	17.3.3.1	Korrosionsschutz von Ölbehältern	417
16.5	Verlegung von Dampf- und Kondensatleitungen	403	17.3.3.2	Korrosionsschutz von Flüssiggas-behältern	418
16.6	Entwässerung von Dampfleitungen	404	17.3.4	Korrosionsschutz in Trinkwasser-erwärmungsanlagen	418
16.7	Kondensatableiter	405	17.3.5	Korrosionsschutz in RLT-Anlagen	419
16.7.1	Kugelschwimmer-Kondensatableiter	405	 	 	
16.7.2	Thermische Kondensatableiter	406	18	Messen, Steuern, Regeln	421
16.7.2.1	Thermischer Bimetall-Kondensatableiter	406	18.1	Abgrenzen der Begriffe	
16.7.2.2	Thermischer Kapsel-Kondensatableiter	406	18.2	Messen, Steuern, Regeln	421
16.7.2.3	Schnellentleerer	407	Begriffsklärung am Beispiel einer Raumtemperatur-Regulierung	422	
16.7.3	Thermodynamischer Kondensatableiter	407	18.2.1	Steuerung	422
16.8	Entwässerungsschleifen	408	18.2.2	Regelung	422
16.9	Be- und Entlüfter	408	18.3	Weitere Erläuterungen am komplexeren Beispiel eines Durchlaufwassererwärmers	423
16.10	Kondensatrückspeisung	409	18.4	Messtechnik	425
16.10.1	Rückspeisung mit natürlichem Gefälle	409	18.4.1	Messen des Ionisationsstromes am Gasbrenner	425
16.10.2	Rückspeisung mit tief liegendem Kondensatsammelbehälter	409	18.4.2	Messen und Überprüfen von Widerständen	425
16.10.3	Rückspeisung mit hoch liegendem Kondensatsammelbehälter	410	18.5	Steuerungstechnik	426
16.11	Wasseraufbereitung	410	18.6	Regelungstechnik	427
 	 		18.6.1	Einteilung von Reglern	427
17	Korrosion und Korrosionsschutzmaßnahmen	411	18.6.2	Regelverhalten von Reglern	427
17.1	Ursachen und Einflussgrößen der Korrosion metallischer Werkstoffe	411	18.6.2.1	Unstetige Regler	427
17.1.1	Elektrochemische Korrosion	411	18.6.2.2	Stetige Regler	429
17.1.2	Chemische Korrosion	412	18.6.3	Analoge/digitale Regler	430
17.1.3	Korrosionswirkung des Wassers und seiner Verunreinigungen	412	18.6.4	Regler im Einsatz	431
17.1.4	Korrosionswirkung durch äußere Einflüsse	412	18.6.4.1	Witterungsgeführte Vorlauf-(Kessel-) Temperaturregelung	431
17.2	Korrosionsarten	413	18.6.4.2	Min.-Max.-Begrenzung der Kessekwasser-Temperatur	433
17.2.1	Gleichmäßige Flächenkorrosion	413	18.6.4.3	Speichervorrangschaltung	433
17.2.2	Muldenkorrosion	413	18.6.5	DDC-Regelung, Gebäudeleittechnik	434
17.2.3	Lochkorrosion	413	 	 	
17.2.4	Kontaktkorrosion	414	 	 	
17.2.5	Spaltkorrosion	414	 	 	
17.2.6	Selektive Korrosion	414	 	 	
17.2.7	Spannungsrißkorrosion	414	 	 	

19.4.3	Außenluftstrom (Außenluftrate) und Luftwechsel	441	19.9	Kälteanlagen	484
19.4.3.1	Außenluftstrom	441	19.9.1	Theoretische Grundlagen	484
19.4.3.2	Luftwechselzahl	442	19.9.2	Anlagenaufbau	485
19.5	Thermodynamische Luftbehandlungen	443	19.9.2.1	Arten der Kälteaggregate	485
19.6	<i>h-x</i>-Diagramm von Mollier für feuchte Luft und seine physikalischen Grundlagen	444	19.9.2.2	Arten der Luftkühlung	486
19.6.1	Gesamtdruck p der feuchten Luft	446	19.9.2.3	Arten der Wärmeabgabe	486
19.6.2	Relative Feuchte φ	446	19.10	Anlagenbeispiel einer Nur-Luft-Klimaanlage	487
19.6.3	Absolute Feuchte oder Feuchtegrad x	446	19.11	Anlageninstandhaltung	489
19.6.4	Wärmeinhalt (Enthalpie) h	447	19.12	Inbetriebnahme und Abnahmeprüfung, Messen und Einregulieren	491
19.6.5	Temperatur θ	447	19.12.1	Messen von Luftgeschwindigkeiten und Einregulieren von Luftvolumenströmen	491
19.7	Bauteile der RLT-Anlagen	449	19.12.1.1	Geschwindigkeitsmessung in geschlossenen, nicht begehbarren Räumen (Geräte, Kanäle usw.)	491
19.7.1	Einbaukomponenten	449	19.12.1.2	Geschwindigkeitsmessungen an Luftein- und -auslässen	493
19.7.1.1	Mischkammer	449			
19.7.1.2	Filter	450			
19.7.1.3	Wärmetauscher	453			
19.7.1.3.1	Luftherziter	453			
19.7.1.3.2	Luftkühler	454			
19.7.1.4	Befeuerter	454			
19.7.1.5	Ventilatoren	456			
19.7.1.6	Schalldämpfer	458			
19.7.1.6.1	Natürliche Schalldämpfer	458			
19.7.1.6.2	Künstliche Schalldämpfer	459			
19.7.1.6.3	Schalldämpferauslegung	460			
19.7.2	Luftleitungen und Zubehör	460			
19.7.3	Luftdurchlässe	464			
19.7.3.1	Lüftungsgitter	464			
19.7.3.2	Induktiv wirkende Auslässe	465			
19.7.3.3	Quellluftauslässe	467			
19.7.4	Brandschutzklappen	468			
19.8	Anlagenkonzeptionen	470			
19.8.1	Freie Lüftungssysteme	470			
19.8.2	Lüftungstechnische Anlagen	470			
19.8.2.1	Einkanalanlage mit konstantem oder variablem Volumenstrom	471			
19.8.2.2	Zweikanal-Klimaanlage mit konstantem oder variablem Volumenstrom	472			
19.8.2.3	Induktions-Klimaanlagen	472			
19.8.2.4	Kühldecken	473			
19.8.2.5	Ventilatorkonvektoren	474			
19.8.2.6	Raumklimageräte	475			
19.8.2.7	Kontrollierte Wohnungslüftung	475			
19.8.3	Akustische Probleme des Anlagenumfeldes	480			
19.8.4	Technische Maßnahmen der Energieeinsparung	481			
19.8.4.1	Rekuperatoren	481			
19.8.4.2	Regeneratoren	482			
	Sachwortverzeichnis				503