

Inhaltsverzeichnis

1	Energiebilanz	1	3.2	Elektrische Bauteile	43
1.1	Geschichtliche Entwicklung	1	3.2.1	Transformatoren	43
1.2	Energiesparmaßnahmen	1	3.2.2	Elektromotoren	43
2	Physikalische und bauphysikalische Grundlagen	4	3.2.2.1	Einphasen-Asynchronmotor und Kondensator	44
2.1	Die Elemente des Lebens: Wasser und Luft	4	3.2.2.2	Dreiphasen-Asynchronmotor	44
2.1.1	Wasser	4	3.2.3	Schaltzeichen und Schaltpläne	45
2.1.2	Luft	7	3.2.4	Gefährdung durch elektrischen Strom	46
2.1.2.1	Stickstoff	8	3.2.5	Schutzmaßnahmen	47
2.1.2.2	Sauerstoff	8	4	Grundlagen der Wärmeerzeugung	50
2.1.2.3	Edelgase	9	4.1	Feste Brennstoffe	52
2.1.2.4	Kohlendioxid	9	4.1.1	Holzbrennstoffe	52
2.2	Druck in Flüssigkeiten und Gasen	10	4.1.1.1	Einteilung und Eigenschaften	52
2.2.1	Druck allgemein	10	4.1.1.2	Verbrennung des Holzes	54
2.2.2	Druck in Flüssigkeiten	11	4.1.2	Kohle	54
2.2.2.1	Hydrostatischer Druck	11	4.1.2.1	Eigenschaften der Kohle	54
2.2.2.2	Kommunizierende Gefäße	12	4.1.2.2	Verbrennung der Kohle	54
2.2.2.3	Saugheberprinzip	12	4.2	Flüssige Brennstoffe	55
2.2.2.4	Druckfortpflanzung	12	4.2.1	Heizöl	55
2.2.2.5	Theoretische Saughöhe von Pumpen bei Wasser	13	4.2.1.1	Einteilung und Eigenschaften	55
2.2.3	Druck in Gasen	13	4.2.1.2	Kenndaten von Heizölen	55
2.2.3.1	Das Boyle-Mariottesche Gesetz	13	4.2.1.3	Verbrennung von Heizöl	57
2.2.3.2	Luftdruck	14	4.2.2	Vorgänge bei der Verbrennung	57
2.2.4	Druckmessgeräte	14	4.2.2.1	Zündverhalten	57
2.3	Wärmelehre (Kalorik)	17	4.2.2.2	Zündgrenzen	57
2.3.1	Temperatur	17	4.2.2.3	Zündgeschwindigkeit	57
2.3.1.1	Temperaturskalen	17	4.2.2.4	Verbrennungsluftbedarf	58
2.3.2	Thermische Ausdehnung	18	4.3	Gasförmige Brennstoffe	58
2.3.2.1	Anomalie des Wassers	19	4.3.1	Eigenschaften von Brenngasen	58
2.3.2.2	Thermische Ausdehnung von Gasen	20	4.3.1.1	Einteilung von Brenngasen	58
2.3.3	Temperaturmessung	20	4.3.1.2	Kenndaten von Brenngasen	61
2.3.4	Wärmeenergie	23	4.3.2	Vorgänge bei der Verbrennung	62
2.3.5	Wärmeleistung (Wärmestrom)	24	4.3.2.1	Zündverhalten von Brenngasen	62
2.3.6	Schmelz- und Verdampfungswärme	25	4.3.2.2	Verbrennungsabläufe und Flammenbilder	62
2.3.7	Wärmeübertragung	26	4.4	Schadstoffe und ihre Grenzwerte	64
2.3.8	Wärmeübergang	29	4.4.1	Schadstoffe	64
2.3.9	Wärmedurchgang	30	4.4.2	Grenzwerte von Schadstoffen	66
2.4	Schall und Schallschutz	32	4.4.2.1	Grenzwerte für Schadstoffe von Feuerungsanlagen mit festen Brennstoffen	66
2.4.1	Schall	32	4.4.2.2	Grenzwerte für Schadstoffe von Feuerungsanlagen mit flüssigen Brennstoffen	66
2.4.2	Das menschliche Ohr	32	4.4.2.3	Grenzwerte für Schadstoffe von Feuerungsanlagen mit gasförmigen Brennstoffen	67
2.4.3	dB als Messgröße des Schalls	33	4.4.2.4	Grenzwerte zur Vergabe von Umweltzeichen und Förderprogrammen	68
2.4.4	Geräuschwahrnehmung des Menschen	33	4.5	Abgase und Abgasanlagen	69
2.4.5	Schallarten und Schallausbreitung	34	4.5.1	Grundlagen	69
2.4.6	Schallpegelmesser	34	4.5.2	Schornsteine	71
2.4.7	Richtiges Messen	35	4.5.2.1	Anforderungen an Schornsteine	72
2.4.7.1	Hintergrundgeräusche	35	4.5.2.2	Schornsteinentwicklung	74
2.4.7.2	Addition von Schallquellen	35	4.5.2.3	Belegung von Schornsteinen	75
2.4.8	Schallschutz	36	4.5.2.4	Schornsteinauslegung	75
2.5	Grundlagen des Brandschutzes	38	4.5.3	Verbindungsstücke	76
2.5.1	Allgemeines	38	4.5.4	Abgasklappen	76
2.5.2	Gesetzliche Regelungen	38	4.5.5	Nebenluftvorrichtungen	76
2.5.3	Baulicher Brandschutz	39	4.6	Heizkessel	78
3	Elektrotechnik	41	4.6.1	Einteilung der Heizkessel	78
3.1	Stromarten und Stromverteilung	41	4.6.1.1	Einteilung nach dem Kesselwerkstoff	78
3.1.1	Gleichstrom	41	4.6.1.2	Einteilung nach dem Brennstoff	79
3.1.2	Wechselstrom	42			
3.1.3	Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)	42			
3.1.4	Stromverteilung	42			

4.6.1.3	Einteilung nach dem Druck im Verbrennungsraum	79		
4.6.1.4	Einteilung nach der Art der Heizgasführung	80		
4.6.1.5	Einteilung nach der Bauart	80		
4.6.2	Wirkungsgrade und Nutzungsgrade	88		
4.6.2.1	Feuerungstechnischer Wirkungsgrad	88		
4.6.2.2	Kesselwirkungsgrad	88		
4.6.2.3	Jahresnutzungsgrad des Heizkessels	89		
4.6.2.4	Jahresnutzungsgrad der Heizungsanlage	90		
4.6.2.5	Norm-Nutzungsgrad	91		
4.6.3	Wartung der Heizkessel	92		
4.7	Aufstellung von Feuerstätten – Verbrennungsluftversorgung	94		
4.7.1	Aufstellung und Verbrennungsluftversorgung raumluftabhängiger Feuerstätten	96		
4.7.2	Aufstellräume	96		
4.7.2.1	Anforderungen an Aufstellräume für raumluftabhängige Feuerstätten der Art B bis 35 kW Gesamtnennwärmeleistung	96		
4.7.2.2	Anforderungen an Aufstellräume für raumluftabhängige Feuerstätten der Art B größer 35 kW bis 50 kW Gesamtnennwärmeleistung	98		
4.7.2.3	Messtechnischer Nachweis der Verbrennungsluftversorgung	98		
4.7.3	Bedingungen für raumluftunabhängige Gasfeuerstätten der Art C	98		
4.7.4	Besondere Anforderungen an Aufstellräume für Gasfeuerstätten mit einer Gesamtnennwärmeleistung > 100 kW	98		
4.7.5	Heizräume	99		
5	Feste Brennstoffe: Bereitstellung – Verbrennung – Kessel	102		
5.1	Holz	102		
5.1.1	Bereitstellung von Stückholz	102		
5.1.2	Bereitstellung von Holzpellets	102		
5.1.2.1	Pellet-Lagerräume	102		
5.1.2.1.1	Anforderungen an den Lagerraum	102		
5.1.2.1.2	Ausführung des Befüllsystems	103		
5.1.2.1.3	Raumaustragungssysteme	104		
5.1.2.2	Fertiglagersysteme	104		
5.1.2.2.1	Sacksilos/Gewebesilos	105		
5.1.2.2.2	Stahlblechtanks	105		
5.1.2.2.3	Erdtanks (Erdsilos)	105		
5.1.3	Bereitstellung von Hackgut, Säge- und Hobelspänen	106		
5.2	Kohle	106		
5.2.1	Bereitstellung der Kohle	106		
5.3	Festbrennstoffheizkessel	107		
5.3.1	Werkstoffe	107		
5.3.2	Brenndauer und Zugbedarf	107		
5.3.3	Verbrennungssysteme	107		
5.3.4	Naturzug- und Gebläsefeuerung	107		
5.3.5	Leistungs- und Verbrennungsregelung	108		
5.3.6	Holzessel	108		
5.3.7	Kohleessel	111		
5.4	Pufferspeicher	111		
5.5	Schornsteine für Festbrennstoffheizkessel	112		
5.6	Abgasmessungen nach der Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV)	112		
6	Flüssige Brennstoffe: Bereitstellung – Brenner – Kessel	115		
6.1	Bereitstellung von Heizöl	115		
6.1.1	Heizöllagerung	115		
6.1.1.1	Unterirdische Lagerung von Heizöl im Freien	116		
6.1.1.2	Oberirdische Lagerung von Heizöl	117		
6.1.1.2.1	Oberirdische Lagerung von Heizöl im Freien	117		
6.1.1.2.2	Oberirdische Lagerung von Heizöl in Gebäuden	117		
6.1.2	Ausrüstung der Heizöllagerbehälter	119		
6.1.2.1	Lüftungsleitung	120		
6.1.2.2	Ölleitungen	120		
6.1.2.3	Ölstandsanzeiger	121		
6.1.2.4	Überfüllsicherung/Grenzwertgeber	121		
6.1.2.5	Leckanzeigergeräte	122		
6.2	Ölbrenneranschlüsse im Ein- und Zweistrangsystem	124		
6.3	Ölbrenner	127		
6.3.1	Ölverdampfbrenner	127		
6.3.1.1	Verdampfbrenner	127		
6.3.1.2	Gebläse-Verdampfbrenner	127		
6.3.2	Ölzerstäubungsbrenner	128		
6.3.2.1	Aufbau des Ölzerstäubungsbrenners	128		
6.3.2.2	Programmablauf	131		
6.3.2.3	Arten und Betriebsweisen von Ölzerstäubungsbrennern	132		
6.3.2.3.1	Gelbbrenner	132		
6.3.2.3.2	Blaubrenner	132		
6.3.2.3.3	Rotationszerstäubungsbrenner	133		
6.3.2.3.4	Zweistufige und modulierende Betriebsweise	133		
6.3.2.4	Maßnahmen zur Verringerung von Schadstoffen	133		
6.3.2.5	Einstellung und Inbetriebnahme	134		
6.3.2.6	Wartung und Störungssuche	138		
6.4	Heizkessel für Ölzerstäubungsbrenner	143		
6.4.1	Öl-Brennwertkessel mit interner Kondensation	143		
6.4.2	Öl-Brennwertkessel mit externer Kondensation	145		
6.5	Abgasanlagen für Ölfeuerungen	145		
7	Gasförmige Brennstoffe: Bereitstellung – Brenner – Kessel	147		
7.1	Bereitstellung von Gasen	147		
7.1.1	Bereitstellung von Erdgas	147		
7.1.1.1	Transport und Verteilung	147		
7.1.1.2	Speicherung	148		
7.1.2	Bereitstellung von Flüssiggas	148		
7.1.2.1	Transport und Verteilung	148		
7.1.2.2	Lagerung	148		
7.1.3	Hausanschluss Erdgas	150		
7.1.4	Hausanschluss Flüssiggas	152		
7.1.5	Manipulationen an Gasinstallationen	153		
7.1.5.1	Aktive Maßnahmen – Gasströmungswächter	153		
7.1.5.1.1	Grundlagen für die Auslegung von Gasströmungswächtern	154		
7.1.5.2	Passive Maßnahmen	155		
7.1.6	Gasinstallation in Gebäuden	155		
7.1.6.1	Leitungsanlagen	156		
7.1.6.1.1	Innenleitungen	156		

7.1.6.2	Gaszähler	159	7.5.1	Wartung	202
7.1.6.3	Hausdruckregler	159	7.5.2	Störungssuche	204
7.1.6.4	Verahren von Leitungen	160			
7.1.6.5	Prüfung von Leitungsanlagen	161	8	Energieeinsparung, erneuerbare	
7.1.6.5.1	Belastungsprüfung	161		Energien	205
7.1.6.5.2	Dichtheitsprüfung	161	8.1	Energieeinsparverordnung (EnEV)	205
7.1.6.5.3	Prüfungen im Mitteldruckbereich	161	8.2	Solaranlagen	208
7.1.6.5.4	Gebrauchsfähigkeitsprüfung	162	8.2.1	Die Sonne als Energiequelle	209
7.1.6.5.5	Prüfung von Flüssiggasleitungen	163	8.2.1.1	Solarkonstante und Globalstrahlung	209
7.1.6.6	Inbetriebnahme	163	8.2.1.2	Strahlungsleistung und	
7.1.6.7	Verhalten bei Gasgeruch	163		Sonnenscheindauer	209
7.2	Gasbrenner	165	8.2.2	Aufbau, Wirkungsweise und Betriebs-	
7.2.1	Aufbau von Gasbrennern ohne Gebläse			weise einer thermischen Solaranlage ..	211
	(atmosphärische Brenner)	165	8.2.2.1	Sonnenkollektoren	213
7.2.1.1	Zündeinrichtungen	166	8.2.2.2	Einsatzgebiete und Wirkungsgrade	218
7.2.1.2	Flammenüberwachungseinrichtungen ..	166	8.2.2.3	Kollektormontage	219
7.2.1.3	Gasregelstrecke (Gasstraße)	169	8.2.2.4	Solarkreis	223
7.2.1.4	Elektrische Steuer- und Regel-		8.2.2.5	Solarspeicher und Nachheizung	224
	einrichtungen	170	8.2.2.6	Steuerung und Regelung	227
7.2.1.5	Maßnahmen zur Verringerung von Stick-		8.2.3	Solare Heizungsunterstützung	228
	oxiden und Kohlenmonoxiden	170	8.2.3.1	Komponenten einer Kombisolaranlage ..	229
7.2.1.6	Vor- und Nachteile von Gasbrennern		8.2.3.1.1	Solarspeicher	229
	ohne Gebläse	173	8.2.3.1.2	Auslegung	231
7.2.2	Aufbau von Gebläsebrennern	174	8.3	Photovoltaik	233
7.2.2.1	Verbrennungsluftzuführung und -über-		8.3.1	Aufbau einer Photovoltaikanlage	233
	wachung	175	8.3.2	Wirkungsweise einer Photovoltaikanlage	233
7.2.2.2	Zündeinrichtungen	175	8.4	Wärmepumpen	234
7.2.2.3	Flammenüberwachungseinrichtungen ..	176	8.4.1	Einleitung	234
7.2.2.4	Gasregelstrecke	176	8.4.2	Aufbau und Funktionsweise	234
7.2.2.5	Dichtheitskontrolle	177	8.4.2.1	Verdampfer	235
7.2.2.6	Elektrische Steuer- und Regeleinrich-		8.4.2.2	Verdichter (Kompressor)	235
	tungen	177	8.4.2.3	Verflüssiger (Kondensator)	235
7.2.2.7	Maßnahmen zur Verringerung von		8.4.2.4	Expansionsventil	235
	Stickoxiden und Kohlenmonoxiden	180	8.4.2.5	Kältemittel	236
7.2.2.8	Vor- und Nachteile von Gasgebläse-		8.4.3	Wärmequellen und Anlagenkonzepte ..	236
	brennern	180	8.4.3.1	Wärmequelle Erdreich bei Sole-Wasser-	
7.2.3	Sonderausführungen von			Wärmepumpen	236
	Gasbrennern	181	8.4.3.1.1	Erdkollektoren	237
7.2.3.1	Strahlungsflächenbrenner	181	8.4.3.1.2	Erdsonden	237
7.2.3.2	Katalytische Brenner	182	8.4.3.2	Wärmequelle Wasser bei Wasser-Wasser-	
7.2.3.3	Zweistoffbrenner	183		Wärmepumpen	238
7.2.4	Einstellung und Inbetriebnahme von		8.4.3.3	Wärmequelle Luft bei Luft-Wasser-	
	Gasbrennern	183		Wärmepumpen	239
7.2.4.1	Einstellung eines atmosphärischen Gas-		8.4.4	Betriebsweisen von Wärmepumpen	240
	brenners	185	8.4.4.1	Monovalente Betriebsweise	240
7.2.4.2	Einstellung eines Gebläsebrenners	187	8.4.4.2	Monoenergetische Betriebsweise	240
7.2.4.3	Funktionsprüfung der Abgasanlage raum-		8.4.4.3	Bivalente Betriebsweise	240
	luftabhängiger Gasgeräte mit Strömungs-		8.4.5	Einsatz eines Pufferspeichers	240
	sicherung	188	8.4.6	Energetische Beurteilung von Wärme-	
7.3	Verbrennungsluftzuführung und Abgas-			pumpen	241
	ableitung	190	8.4.6.1	Leistungszahl und COP	241
7.3.1	Gasgeräte	190	8.4.6.2	Jahresarbeitszahl	241
7.3.2	Raumluftabhängige Gasfeuerstätten	192	8.4.6.3	Wirtschaftlichkeit	242
7.3.3	Raumluftunabhängige Gasfeuerstätten ..	193	8.4.7	Auslegung der Wärmepumpe	242
7.4	Heizkessel für Gasfeuerungen	196	8.5	Blockheizkraftwerke	244
7.4.1	Heizkessel mit Gasbrennern ohne		8.5.1	Normen, Richtlinien und Vorschriften ..	244
	Gebläse	196	8.5.2	Aufbau und Funktionsweise	244
7.4.2	Heizkessel mit Gasgebläsebrennern	197	8.5.3	Wirtschaftlichkeit und Grundlagen für	
7.4.3	Gas-Niedertemperaturheizkessel	197		die Errichtung von Klein-Blockheizkraft-	
7.4.4	Gas-Brennwertheizkessel	198		werken	245
7.4.5	Gas-Heizkessel/Gaskombiwasserheizer ..	199	8.6	Brennstoffzelle	246
7.4.6	Gasherde und Gasbacköfen	200	8.6.1	Historischer Rückblick	246
7.4.7	Gas-Raumheizer	200	8.6.2	Grundprinzip der Brennstoffzelle	246
7.5	Wartung und Störungssuche	202			

8.6.3	Technische Anwendung am Beispiel einer PEM-Brennstoffzelle	246	10.3.1.2	Schweißen von Rohren	285
8.7	Niedrigenergiehaus	248	10.3.1.3	Gasschmelzschweißen von Rohren	290
8.7.1	Begriffsbestimmung	248	10.3.1.4	Lichtbogenhandschweißen von Rohren	297
8.7.2	Wärmeschutz und Heiztechnik als gemeinsame Merkmale des Niedrigenergiehauses und der Energieeinsparverordnung (EnEV)	248	10.3.1.5	Schutzgasschweißen von Rohren	300
9	Trinkwassererwärmung	250	10.3.1.6	Schweißen von Kunststoffrohren	306
9.1	Anforderungen an Trinkwassererwärmungsanlagen	250	10.3.1.7	Kleben von PVC-Rohren	313
9.2	Einteilung der Trinkwassererwärmungsanlagen	250	10.3.1.8	Rohrpressverbindungen	313
9.2.1	Versorgung der Entnahmestellen	251	10.3.1.9	Schiebehülsevenverbindungen	315
9.2.2	Systeme von Trinkwassererwärmern	251	10.3.1.10	Gewinderohrverbindungen	316
9.2.3	Offene und geschlossene Trinkwassererwärmer	252	10.3.2	Lösbare Rohrverbindungen	318
9.2.4	Beheizung der Trinkwassererwärmer	253	10.3.2.1	Rohrverschraubungen	318
9.3	Trinkwassererwärmer für die zentrale Versorgung	254	10.3.2.2	Klemmringverschraubungen	319
9.3.1	Speicher-Trinkwassererwärmer – indirekt beheizt	254	10.3.2.3	Schneidringverschraubungen	320
9.3.2	Durchfluss-Trinkwassererwärmer – indirekt beheizt	256	10.3.2.4	Rohrkupplungen	320
9.3.3	Direkt (unmittelbar) beheizte Speicher-Trinkwassererwärmer	256	10.3.2.5	Flanschverbindungen	321
9.4	Trinkwasseranschluss geschlossener Trinkwassererwärmer	257	10.3.2.6	Steckfitting-Verbindungen	322
10	Rohrleitungen, Rohrverlegung, Armaturen	260	10.4	Rohrmontage	323
10.1	Allgemeine Kenngrößen von Rohren	260	10.4.1	Der Rohrleitungsplan	323
10.2	Rohrarten	261	10.4.1.1	Darstellung von Rohrleitungen	323
10.2.1	Stahlrohre	262	10.4.1.2	Kennzeichnung von Rohrleitungen	325
10.2.1.1	Rohre aus unlegiertem Stahl mit Eignung zum Schweißen und Gewindeschneiden	262	10.4.2	Messtechniken der Rohrinstitution	326
10.2.1.2	Nahtlose und geschweißte Stahlrohre	262	10.4.2.1	Vorfertigung von Rohrleitungen	326
10.2.1.3	Präzisionsstahlrohre	263	10.4.2.2	Messen „Mitte – Mitte“ und z-Maß-Methode	326
10.2.1.4	Nichtrostende Stahlrohre	264	10.4.3	Rohrverarbeitung	327
10.2.1.5	Stahlrohre für Gasleitungen	264	10.4.3.1	Trennen von Rohren	327
10.2.2	Kupferrohre	265	10.4.3.2	Biegen von Rohren	331
10.2.2.1	Verwendung von Kupferrohren	265	10.4.4	Dehnungsausgleich bei Rohren	334
10.2.2.2	Eigenschaften der Kupferrohre	265	10.4.4.1	Natürlicher Dehnungsausgleich	334
10.2.2.3	Lieferformen von Kupferrohren	265	10.4.4.2	Dehnungsbögen und Kompensatoren	335
10.2.2.4	Kupferrohre nach DIN EN 1057	265	10.4.5	Rohrbefestigung	338
10.2.2.5	Sonstige Kupferrohre	267	10.4.5.1	Gleitbefestigungen und Festpunktbefestigungen	339
10.2.3	Kunststoffrohre	268	10.4.5.2	Rohraufhängungen und Rohrunterstützungen	339
10.2.3.1	Allgemeine Eigenschaften und Anwendungsbereiche	268	10.4.5.3	Stützweiten	341
10.2.3.2	PVC-Rohre	269	10.4.5.4	Rohrbefestigung mit Schalldämmung	341
10.2.3.3	PE-Rohre	269	10.4.6	Wärmedämmung bei Rohrleitungen	342
10.2.3.4	PB-Rohre	272	10.4.6.1	Wärmedämmung bei Heizungsrohren	344
10.2.3.5	PP-Rohre	272	10.4.6.2	Wärmedämmung bei Trinkwasserleitungen	348
10.2.4	Rohre für besondere Verwendungszwecke	273	10.4.6.3	Dämmungsarten	349
10.2.4.1	Mehrschichtverbundrohre	273	10.4.6.4	Dämmstoffe	350
10.2.4.2	Stahlrohre mit geringer Wandstärke	274	10.4.6.5	Anwendung und Verarbeitung	350
10.2.4.3	Metallschläuche und metallbewehrte Schläuche	275	10.4.7	Rohrverlegung im Mauerwerk	352
10.2.4.4	Rippenrohre	277	10.4.7.1	Traditionelle Unterputzinstallation	353
10.3	Rohrverbindungen	279	10.4.7.2	Rohrverlegung in Schlitzen	353
10.3.1	Unlösbare Rohrverbindungen	279	10.4.7.3	Wand- und Deckendurchführungen	354
10.3.1.1	Hart- und Weichlöten von Rohren	279	10.4.8	Vorwandinstallation	355
			10.5	Armaturen	356
			10.5.1	Aufgaben und Einteilung von Armaturen	356
			10.5.2	Anforderungen an Armaturen	356
			10.5.3	Absperrarmaturen	358
			10.5.3.1	Ventile	360
			10.5.3.2	Schieber	362
			10.5.3.3	Hähne	363
			10.5.3.4	Klappen	364
			10.6	Strömung von Flüssigkeiten in Rohrleitungen	365
			10.6.1	Strömungsgeschwindigkeit und Volumenstrom	365
			10.6.2	Strömungsgeschwindigkeit bei Querschnittsänderung (Kontinuitätsgleichung)	365

10.6.3	Flüssigkeitsreibung und Viskosität	366	12.11.2.5	Differenzdruckregler	412
10.6.4	Laminare und turbulente Strömung	366	12.11.2.6	Differenzdruckregler mit Durchflussbegrenzung	412
10.6.5	Statischer und dynamischer Druck	368	12.11.2.7	Überströmventil	412
10.6.6	Druckverluste in geraden Rohrstrecken	370	12.11.2.8	Hydraulische Weiche	413
10.6.7	Druckverluste durch Einzelwiderstände	371			
10.6.8	Gesamtdruckverlust	372			
11	Sicherheitstechnische Ausrüstung von Warmwasser-Heizungsanlagen	374	13	Rohrverteilungssysteme	416
11.1	Sicherheitstechnische Ausrüstung von offenen Warmwasser-Heizungsanlagen	374	13.1	Verteilung des Vorlaufwassers	416
11.2	Sicherheitstechnische Ausrüstung von geschlossenen Warmwasser-Heizungsanlagen	376	13.1.1	Untere Verteilung	416
11.2.1	Geschlossene Warmwasser-Heizungsanlagen mit Öl-/Gasfeuerung	376	13.1.2	Obere Verteilung	416
11.2.2	Geschlossene Warmwasser-Heizungsanlagen mit Festbrennstoff-Feuerung	385	13.1.3	Stockwerksheizung	417
			13.1.4	Etagenweise Verteilung	417
12	Pumpen und Druckverhältnisse in Warmwasser-Heizungsanlagen	389	13.2	Rohrsysteme	417
12.1	Bauarten und Konstruktionsmerkmale von Pumpen	389	13.2.1	Zweirohrsystem	417
12.1.1	Nassläuferpumpen	389	13.2.2	Einrohrsystem	418
12.1.2	Trockenläuferpumpen	390	13.2.2.1	Waagerechte Einrohrheizung	418
12.2	Einbau und Inbetriebnahme	391	13.2.2.2	Senkrechte Einrohrheizung	418
12.3	Pumpen- und Rohrnetzkenlinien	392			
12.3.1	Pumpenkennlinie	392	14	Raumheizkörper und Flächenheizungen	420
12.3.2	Rohrnetzkenlinie	392	14.1	Raumheizkörper	420
12.3.3	Betriebspunkt	393	14.1.1	Anforderungen an Raumheizkörper	420
12.3.4	Betriebspunktverschiebung	393	14.1.2	Anordnung der Raumheizkörper	420
12.4	Pumpenleistung und Leistungskennlinie	394	14.1.3	Wärmeabgabe der Raumheizkörper	421
12.5	Wirkungsgrad der Pumpe	395	14.1.4	Auslegung der Raumheizkörper	421
12.6	Pumpenanpassung an die Anlagenbedingungen	395	14.1.5	Gliederheizkörper	422
12.6.1	Leistungsanpassung durch Drehzahländerung	395	14.1.5.1	Gussradiatoren	422
12.6.2	Pumpenauswahl	397	14.1.5.2	Stahlradiatoren	422
12.7	Parallel- und Reihenschaltung von Pumpen	399	14.1.5.3	Stahlröhrenradiatoren	423
12.7.1	Parallelschaltung	399	14.1.5.4	Nippelung von Radiatoren	423
12.7.2	Reihenschaltung	400	14.1.6	Plattenheizkörper/Flachheizkörper	423
12.8	Störungen im Pumpenbetrieb – Ursachen und Gegenmaßnahmen	400	14.1.7	Fertigheizkörper/Ventilheizkörper	424
12.9	Druck in Pumpen-Warmwasserheizungen	402	14.1.8	Konvektoren	424
12.9.1	Anlagen-Nullpunkt und Druckverteilung	402	14.1.9	Sonderausführungen von Heizkörpern	425
12.9.1.1	Druckverteilung in offenen Systemen	402	14.1.10	Heizkörpermontage	425
12.9.1.2	Druckverteilung in geschlossenen Systemen	403	14.1.11	Heizkörperanschlussarten	426
12.9.2	Druckprüfung	403	14.1.12	Heizkörperanschlussarmaturen	427
12.10	Füllen, Entlüften und Entleeren von Pumpen-Warmwasserheizungen	404	14.1.12.1	Heizkörperanschlüsse für Vor- und Rücklauf	427
12.10.1	Füllen	404	14.1.12.2	Steigrohrventilgarnituren	428
12.10.2	Entlüften	406	14.1.12.3	Lanzen- und Tauchrohrventile	429
12.10.3	Entleeren	408	14.1.12.4	Ventile für untere Zweipunktanschlüsse	429
12.11	Hydraulischer Abgleich und hydraulische Weiche	409	14.1.12.5	Anschlussarmaturen für Ventil-/Fertigheizkörper	429
12.11.1	Grundlagen	409	14.1.13	Heizkörperregelarmaturen	430
12.11.2	Einrichtungen für den hydraulischen Abgleich	409	14.1.14	Thermostatventile ohne Hilfsenergie	431
12.11.2.1	Voreinstellbare Thermostatventile	409	14.1.14.1	Elektronische Thermostatventile mit Hilfsenergie	431
12.11.2.2	Einstellbare Rücklaufanschlüsse	410	14.1.14.2	Einzelraumregelsysteme	432
12.11.2.3	Strangreguliertventile	411	14.2	Flächenheizungen	433
12.11.2.4	Durchflussregler	412	14.2.1	Fußbodenheizungen	433
			14.2.1.1	Verlegung	434
			14.2.1.2	Heizkreisverteilung	436
			14.2.1.3	Regelung	437
			14.2.2	Deckenheizungen	438
			14.2.2.1	Rohrdeckenheizungen	438
			14.2.2.2	Strahlplattenheizungen	438
			14.2.3	Wandheizungen	439
			14.2.3.1	Nasssystem	439
			14.2.3.2	Trockensystem	439
			14.3	Wärmemengenzähler und Heizkostenverteiler	440
			14.3.1	Wärmemengenzähler (eichpflichtig)	440
			14.3.2	Heizkostenverteiler (nicht eichfähig)	440
			14.3.2.1	Verdunstungsverteiler	440

14.3.2.2	Elektronische Heizkostenverteiler	441	17.1.1	Elektrochemische Korrosion	467
15	Fernwärmeversorgung	442	17.1.2	Chemische Korrosion	468
15.1	Allgemeines	442	17.1.3	Korrosionswirkung des Wassers und seiner Verunreinigungen	468
15.2	Einteilung	443	17.1.4	Korrosionswirkung durch äußere Ein- flüsse	468
15.3	Hauptbestandteile	443	17.2	Korrosionsarten	469
15.4	Wärmeträgermedium	444	17.2.1	Gleichmäßige Flächenkorrosion	469
15.5	Betriebsweise	444	17.2.2	Muldenkorrosion	469
15.6	Fernwärmeverteilung	445	17.2.3	Lochkorrosion	469
15.6.1	Strahlennetze	445	17.2.4	Kontaktkorrosion	470
15.6.2	Ringnetze	445	17.2.5	Spaltkorrosion	470
15.6.3	Vermaschte Netze	445	17.2.6	Selektive Korrosion	470
15.6.4	Zweileitersystem	445	17.2.7	Spannungsrissskorrosion	471
15.6.5	Dreileitersystem	445	17.2.8	Erosions- und Kavitationskorrosion	471
15.7	Hausstationen	446	17.2.8.1	Erosionskorrosion	471
15.7.1	Direkter Anschluss	448	17.2.8.2	Kavitationskorrosion	471
15.7.2	Indirekter Anschluss	448	17.2.9	Wasserstoffkrankheit	471
15.7.3	Kompakt-Hausstationen	449	17.3	Korrosionsschutz	472
15.8	Graphische Symbole der Fernwärme- versorgung	449	17.3.1	Korrosionsschutz in Warmwasser- heizungsanlagen	472
15.9	Sicherheitstechnische Absicherung von Hausstationen zum Anschluss an Heizwasser-Fernwärme- netze nach DIN 4747-1	450	17.3.2	Korrosionsschutz in Niederdruck-Dampf- anlagen	473
15.9.1	Sicherheitstechnische Ausrüstung zur Druckabsicherung	450	17.3.3	Korrosionsschutz von Öl- und Flüssiggas- behältern	473
15.9.2	Sicherheitstechnische Ausrüstung zur Temperaturabsicherung	450	17.3.3.1	Korrosionsschutz von Ölbehältern	473
15.10	Vor- und Nachteile von Fernwärme- versorgungsanlagen	451	17.3.3.2	Korrosionsschutz von Flüssiggas- behältern	474
16	Niederdruckdampfheizung	452	17.3.4	Korrosionsschutz in Trinkwasser- erwärmungsanlagen	475
16.1	Funktionsprinzip einer Niederdruck- dampfheizung	452	17.3.5	Korrosionsschutz in RLT-Anlagen	475
16.2	Vor- und Nachteile von Niederdruck- dampfheizungen	453	18	Messen, Steuern, Regeln	477
16.3	Kesselbauformen	454	18.1	Abgrenzung der Begriffe Messen, Steuern, Regeln	477
16.4	Sicherheitstechnische Ausrüstung und Regelung von Niederdruckdampfkesseln	454	18.2	Begriffsklärung am Beispiel einer Raum- temperatur-Regulierung	478
16.5	Verlegung von Dampf- und Kondensat- leitungen	459	18.2.1	Steuerung	478
16.6	Entwässerung von Dampfleitungen	460	18.2.2	Regelung	478
16.7	Kondensatableiter	461	18.3	Weitere Erläuterungen am komplexeren Beispiel eines Durchflusswasser- erwärmers	479
16.7.1	Kugelschwimmer-Kondensatableiter	461	18.4	Messtechnik	481
16.7.2	Thermische Kondensatableiter	462	18.4.1	Messen des Ionisationsstromes am Gas- brenner	481
16.7.2.1	Thermischer Bimetall-Kondensatableiter	462	18.4.2	Messen und Überprüfen von Wider- ständen	481
16.7.2.2	Thermischer Kapsel-Kondensatableiter	462	18.4.3	Messungen vor der Erstinbetriebnahme der elektrischen Anlage oder nach einer Änderung	482
16.7.2.3	Schnellentleerer	463	18.4.3.1	Messen der Niederohmigkeit (Durch- gängigkeit) des Schutzleiters	482
16.7.3	Thermodynamischer Kondensatableiter	463	18.4.3.2	Messen des Isolationswiderstandes zwischen den Leitern	482
16.8	Entwässerungsschleifen	464	18.5	Steuerungstechnik	483
16.9	Be- und Entlüfter	464	18.6	Regelungstechnik	484
16.10	Kondensatrückspeisung	465	18.6.1	Einteilung von Reglern	484
16.10.1	Rückspeisung mit natürlichem Gefälle	465	18.6.2	Regelverhalten von Reglern	484
16.10.2	Rückspeisung mit tief liegendem Kondensatsammelbehälter	465	18.6.2.1	Unstetige Regler	484
16.10.3	Rückspeisung mit hoch liegendem Kondensatsammelbehälter	466	18.6.2.2	Stetige Regler	486
16.11	Wasseraufbereitung	466	18.6.3	Analoge/digitale Regler	487
17	Korrosion und Korrosionsschutzmaßnahmen	467	18.6.4	Regler im Einsatz	489
17.1	Ursachen und Einflussgrößen der Korrosion metallischer Werkstoffe	467	18.6.4.1	Witterungsgeführte Vorlauf- (Kessel-) Temperaturregelung	489

18.6.4.2	Min.-Max.-Begrenzung der Kesselwasser-Temperatur	491	19.8.2.2	Zweikanal-Klimaanlage mit konstantem oder variablem Volumenstrom	529
18.6.4.3	Speichervorrangschaltung	491	19.8.2.3	Induktions-Klimaanlagen	530
18.6.5	DDC-Regelung, Gebäudeleittechnik	491	19.8.2.4	Kühldecken	531
19	Raumlufttechnische Anlagen	494	19.8.2.5	Ventilatorkonvektoren	531
19.1	Einführung und geschichtliche Entwicklung der Lufttechnik	494	19.8.2.6	Raumklimageräte	532
19.2	Einteilung und Aufgaben der Lufttechnik	494	19.8.2.7	Kontrollierte Wohnlüftung	532
19.3	Kontrollierte Wohnungslüftung	495	19.8.3	Akustische Probleme des Anlagenumfeldes	541
19.4	Physiologische Grundlagen – Der Begriff der Behaglichkeit	496	19.8.4	Technische Maßnahmen der Energieeinsparung	542
19.4.1	Thermische Behaglichkeit	497	19.8.4.1	Rekuperatoren	542
19.4.2	Luftverunreinigungen	497	19.8.4.2	Regeneratoren	543
19.4.2.1	Arbeitsplatzgrenzwert und CO ₂ -Gehalt	497	19.9	Kälteanlagen	545
19.4.2.2	Gerüche	498	19.9.1	Theoretische Grundlagen	545
19.4.3	Außenluftstrom (Außenluftströme) und Luftwechsel	498	19.9.2	Anlagenaufbau	546
19.4.3.1	Außenluftstrom	498	19.9.2.1	Arten der Kälteaggregate	546
19.4.3.2	Luftwechselzahl	499	19.9.2.2	Arten der Luftkühlung	547
19.5	Thermodynamische Luftbehandlungen	500	19.9.2.3	Arten der Wärmeabgabe	547
19.6	<i>h-x</i>-Diagramm von Mollier für feuchte Luft und seine physikalischen Grundlagen	502	19.10	Anlagenbeispiel einer Nur-Luft-Klimaanlage	548
19.6.1	Gesamtdruck p der feuchten Luft	502	19.11	Anlageninstandhaltung	550
19.6.2	Relative Feuchte φ	502	19.12	Inbetriebnahme und Abnahmeprüfung, Messen und Einregulieren	552
19.6.3	Absolute Feuchte oder Feuchtegrad x	504	19.12.1	Messen von Luftgeschwindigkeiten und Einregulieren von Luftvolumenströmen	552
19.6.4	Wärmeinhalt (Enthalpie) h	504	19.12.1.1	Geschwindigkeitsmessung in geschlossenen, nicht begehbaren Räumen (Geräte, Luftleitungen usw.)	552
19.6.5	Temperatur θ	505	19.12.1.2	Geschwindigkeitsmessungen an Luftein- und -auslässen	554
19.7	Bauteile der RLT-Anlagen	506	20	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB)	555
19.7.1	Einbaukomponenten	506	20.1	Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen (VOB Teil A)	555
19.7.1.1	Mischkammer	506	20.2	Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen (VOB Teil B)	556
19.7.1.2	Filter	507	20.3	Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV, VOB Teil C)	556
19.7.1.3	Wärmeübertrager	510	21	Kundenorientierung und Qualitätsmanagement	557
19.7.1.3.1	Lufterhitzer	510	21.1	Kundenorientierung	557
19.7.1.3.2	Luftkühler	511	21.2	Qualitätsmanagement	560
19.7.1.4	Befeuchter	512	21.2.1	Der Begriff „Qualität“	560
19.7.1.5	Ventilatoren	514	21.2.2	Qualitätsmanagementsysteme	560
19.7.1.6	Schalldämpfer	516	21.2.3	Audits	561
19.7.1.6.1	Natürliche Schalldämpfung	516	21.2.4	Öko-Audit	562
19.7.1.6.2	Künstliche Schalldämpfung	516	21.2.5	Ökobilanz	562
19.7.1.6.3	Schalldämpferauslegung	517	21.2.6	Konsequenzen für den Handwerksbetrieb	563
19.7.2	Luftleitungen und Zubehör	518			
19.7.3	Luftdurchlässe	521			
19.7.3.1	Lüftungsgitter	521			
19.7.3.2	Induktiv wirkende Auslässe	522			
19.7.3.3	Quellluftauslässe	524			
19.7.4	Brandschutzklappen	525			
19.8	Anlagenkonzeptionen	527			
19.8.1	Freie Lüftungssysteme	527			
19.8.2	Lüftungstechnische Anlagen	528			
19.8.2.1	Einkanalanlage mit konstantem oder variablem Volumenstrom	528			