

Prof. Dr. Ing. Fritz Steimle

Handbuch
**Haustechnische
Planung**

Herausgeber: Ruhrgas AG Essen • Verbundnetz Gas AG Leipzig

Inhaltsübersicht

1	Einführung	14			
2	Energie und ihre Erscheinungsformen				
2.1	Einleitung	16			
2.2	Begriffsbestimmungen und Definitionen	16			
	Energieressourcen und -reserven	16			
	Energieträger	16			
	Primärenergie	16			
	Sekundärenergie	16			
	Endenergie	17			
	Nutzenergie	17			
2.3	Energiequellen	17			
	Reichweite und Potentiale	17			
2.3.1	Ressourcen und Reserven erschöpfbarer Energieträger	18			
2.3.2	Potentiale erneuerbarer Energiequellen	19			
2.4	Speicherfähigkeit und Energiedichte	20			
2.5	Bewertung der Energieträger	21			
2.5.1	Thermodynamische Bewertung	22			
2.5.2	CO ₂ -Emissionsfaktoren fossiler Energieträger	23			
2.5.3	Spezifische CO ₂ -Emissionsfaktoren der Strom- und Heizenergiebereitstellung	23			
	Literatur	25			
3	Gas – wichtige Säule der Energieversorgung				
3.1	Die Gasquellen	26			
3.1.1	Erdgas	26			
3.1.2	Kokereigas und Stadtgas	26			
3.1.3	Flüssiggas (LPG)	26			
3.1.4	Kohlevergasung	27			
3.1.5	Biogas und Deponiegas	27			
3.1.6	Wasserstoff	27			
3.2	Die Gasarten, -eigenschaften und -qualitäten	27			
3.2.1	Die wichtigsten Kenndaten	27			
	Der Brennwert ($H_{o,n}$)	27			
	Der Heizwert ($H_{u,n}$)	27			
	Die relative Dichte d	28			
	Der Wobbe-Index	28			
	Der Gasgeruch	28			
	Weitere Kennwerte	28			
3.2.2	Die Gasfamilien	28			
	Die erste Gasfamilie	28			
	Die zweite Gasfamilie	28			
	Die dritte und vierte Gasfamilie	28			
3.3	Gastransport, -verteilung und -speicherung	29			
3.3.1	Struktur der Transport- und Verteilungssysteme	29			
3.3.2	Der Ferntransport in Rohrleitungen	30			
	Transportkapazitäten	30			
	Planung neuer Transportsysteme	30			
	Bau von Gastransportleitungen	30			
	Offshore-Leitungen	31			
	Verdichteranlagen	31			
	Gasmengenummessung	31			
	Überwachung und Instandhaltung	32			
	Gasnetzsteuerung	32			
3.3.3	Gasverteilung	32			
3.3.4	Reservehaltung und Spitzenbedarfsdeckung	32			
3.3.5	Verflüssigtes Erdgas (LNG)	33			
3.4	Die Gaswirtschaft	34			
3.4.1	Struktur der deutschen Gaswirtschaft	34			
3.4.2	Erdgaseinsatz in Deutschland	34			
3.4.3	Zuverlässige Bezugsquellen	34			
3.4.4	Erdgasverbrauch	35			
3.4.5	Europäische Zusammenarbeit	36			
3.5	Technologien zur Energieeinsparung	36			
3.5.1	Moderne Anwendungstechnik	36			
	Beispiel Niedertemperaturkessel	37			
	Beispiel Brennwertkessel	37			
	Beispiel Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) im Blockheizkraftwerk	37			
	Beispiel Gasturbine	37			
	Beispiel Absorptionskälte	37			
	Beispiel Gaswärmepumpe	37			
	Beispiel Brennstoffzelle	37			
	Beispiel Erdgasentspannungsanlage	38			
3.6	Verbraucherberatung und neue Serviceleistungen	38			
3.7	Der Beitrag des Erdgases zum Umwelt- und Klimaschutz	38			
3.7.1	Umweltschonende Erdgasverwendung	38			
3.7.2	Schadstoffminimierende Gerätetechnik	38			
3.7.3	Der Beitrag des Erdgases zum Klimaschutz	39			
4	Anforderungen des Menschen an das Gebäude				
4.1	Thermische Behaglichkeit	40			
4.1.1	Konvektion	40			
4.1.2	Strahlung	40			
4.1.3	Verdunstung	40			
4.1.4	Temperaturempfinden	41			
4.1.5	Aktivitätsgrad	41			
4.1.6	Bekleidung	42			
4.1.7	Raumlufttemperatur	44			
4.1.8	Raumluftfeuchte	44			
4.1.9	Raumluftgeschwindigkeit	45			
4.1.10	Temperatur der Umschließungsflächen	46			
4.2	Lufterneuerungsbedarf	46			
4.3	Geräusche	47			
4.4	Beleuchtung	48			
	Literatur	49			

5	Meteorologische Daten als Berechnungsgrundlagen für haustechnische Systeme		
5.1	Aufgabenstellung	50	
5.1.1	Allgemeine meteorologische Zusammenhänge	50	
5.2	Physikalische Außenluftzustände	51	
5.2.1	Lufttemperaturen	51	
5.2.1.1	Höhenabhängigkeit	51	
5.2.1.2	Extremwerte	51	
5.2.1.3	Häufigkeitsverteilungen	51	
5.2.1.4	Grenzwerte, Andauern, Auslegungswerte	52	
5.2.1.5	Tagesgänge	52	
5.2.1.6	Gradtage	54	
5.2.2	Luftfeuchte	55	
5.2.2.1	Begriffe, Dampfdruckkurve	55	
5.2.2.2	Extremwerte	55	
5.2.2.3	Häufigkeitsverteilungen	55	
5.2.2.4	Tagesgänge	55	
5.2.3	Korrelationen Temperatur – Wasserdampfgehalt	56	
5.2.4	Enthalpie	56	
5.2.5	Wind	58	
5.2.5.1	Auslegungswerte zur Wärmebedarfsrechnung	58	
5.2.5.2	Extremwerte	58	
5.2.5.3	Mittlere Jahreswerte	58	
5.2.6	Niederschläge	60	
5.3	Sonnenstrahlung	60	
5.3.1	Allgemeine Zusammenhänge	60	
5.3.1.1	Solarkonstante	60	
5.3.1.2	Spektralverteilung der Sonnenstrahlung	60	
5.3.1.3	Lufttrübung	61	
5.3.1.4	Strahlungskomponenten	61	
	Direkte Sonnenstrahlung	61	
	Diffuse Sonnenstrahlung (Himmelsstrahlung)	61	
	Gegenstrahlung der Atmosphäre	62	
	Reflexionsstrahlung	62	
5.3.2	Strahlung auf Flächen unterschiedlicher Orientierung und Neigung bei Großstadttrübung	62	
5.3.2.1	Geometrische Zusammenhänge	62	
5.3.2.2	Globalstrahlung	62	
5.3.2.3	Gesamtstrahlung (direkt und diffus) auf senkrechte Flächen	62	
5.3.2.4	Gesamtstrahlung auf geneigte Flächen	63	
5.3.3	Sonnenscheindauer und Monatssummen der Globalstrahlung	64	
5.3.3.1	Globalstrahlungsmeßwerte	64	
5.3.3.2	Sonnenscheindauer	64	
5.3.4	Strahlungseinwirkung auf Gebäude	64	
	Sonnenstrahlung auf Wände und Dächer	64	
	Sonnenstrahlung durch Fenster	65	
5.3.4.1	Beeinflussung des Wärmebedarfs (Winterfall)	66	
5.3.4.2	Sommerliche Auswirkungen	66	
	Literatur	66	
6	Bauklimatik (Bauphysik der Gebäude)		
6.1	Grundlagen	68	
6.1.1	Definition Bauklimatik – Bauphysik	68	
6.1.2	Wärme- und Feuchtetransport	69	
6.1.2.1	Wärmetransport	77	
	Wärmeübergang	79	
	Konvektion	79	
	Strahlung	79	
	Gesamtwärmeübergang	80	
	Wärmeleitung	81	
	Wärmedurchgang	79	
	Wärmestrom	79	
6.1.2.2	Wärmebelastung durch Strahlung	79	
6.1.2.3	Feuchtetransport	82	
	Diffusion	82	
	Diffusionsstromdichte	85	
	Feuchteübergang	85	
6.1.2.4	Wärmespeicherung	86	
	Thermische Admittanz	87	
	Wärmeträgheitskoeffizient	88	
	Wärmespeicherkoeffizient	88	
	Speicherwirksame Dicke	88	
	Wärmeabsorptionskoeffizient	88	
6.1.2.5	Feuchtespeicherung	89	
	Wassertransport in ungesättigten Poren	89	
	Wasseraufnahme	90	
	Wasserverdunstung von Wasseroberflächen	90	
6.1.2.6	Bilanz der Energiestromdichte an einer Oberfläche	90	
6.1.2.7	Klimadaten und feuchte Luft	91	
6.1.3	Schall	91	
	Luftschalldämmung	92	
	Trittschalldämmung	92	
	Schallabsorptionsgrad	92	
6.1.4	Brand	92	
6.1.5	Luftdichtheit	92	
6.2	Wärmeschutz	93	
6.2.1	Mindestwärmeschutz	93	
6.2.2	Sommerlicher Wärmeschutz	93	
6.2.2.1	Wärmebeharrungsvermögen	93	
6.2.2.2	Wärmeschutzklassen	94	
6.2.2.3	Vorbemessung des sommerlichen Wärmeschutzes	96	
6.2.2.4	Nachweis des Wärmeschutzes	96	
6.2.3	Fußwärmeableitung	98	
6.2.4	Wärmeschutz von TGA-Anlagen	98	

6.3	Feuchteschutz	99
6.3.1	Tauwasserschutz an der Oberfläche	99
6.3.2	Wasserdampfdiffusion für mehrschichtige Außenbaukonstruktionen	99
6.3.2.1	Tauwasseranfall	99
6.3.2.2	Verdunstung	101
6.4	Schallschutz	101
6.4.1	Luftschall- und Trittschalldämmung	101
6.4.2	Schutz gegen Außenlärm	101
6.4.3	Schallschutz bei haustechnischen Anlagen	103
6.4.4	Raumakustik	104
6.5	Brandschutz	105
6.5.1	Baulicher Brandschutz	105
6.5.2	Brandschutz bei TGA-Anlagen	106
6.6	Dichtheit	107
	Literatur	107
7	Gesetze und Vorschriften	
	Gesetzgebungsebenen	108
	Beschaffenheitsanforderungen	108
7.1	Energieeinsparungsgesetz (EnEG)	110
7.1.1	Wärmeschutzverordnung	110
7.1.2	Heizungsanlagenverordnung	114
7.1.3	Heizkostenverordnung	117
7.2	Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)	120
7.2.1	Kleinfeuerungsanlagenverordnung	121
7.3	Gerätesicherheitsgesetz (GSG)	123
7.3.1	Dampfkesselverordnung	124
7.3.2	Druckbehälterverordnung	126
	Literatur	

8	Bestimmung der Energie- und Massenströme zur Restbedarfsdeckung	
8.1	Jahres-Heizwärmebedarf	128
8.1.1	Bestimmung des Jahres-Heizwärmebedarfs	128
8.1.1.1	Wärmeverluste	128
8.1.1.2	Transmissionswärmeverluste	129
8.1.1.3	Lüftungswärmeverluste	129
8.1.1.4	Wärmegewinne	130
8.1.1.5	Solare Wärmegewinne	130
8.1.1.6	Interne Wärmegewinne	130
8.2	Jahres-Heizenergiebedarf	132
8.2.1	Abgabeverluste	132
8.2.2	Verteilverluste	133
8.2.2.1	Geometrie des Heizungsrohrnetzes	133
8.2.2.2	Flächenspezifische Heizungsrohrängen	134
8.2.2.3	Mittlere Außentemperatur in der Heizperiode	134
8.2.2.4	Systemtemperaturen des Heizsystems	134
8.2.3	Berechnungsverfahren	135
8.2.3.1	Bilanzierung der Verteilverluste	135
8.2.4	Erzeugungsverluste	136
8.2.4.1	Betrachtete Wärmeerzeuger	136
8.2.4.2	Aufstellort des Heizkessels im Gebäude	136
8.2.5	Heizenergiebedarf	136
8.3	Brauchwasserenergiebedarf	136
8.3.1	Brauchwasserbedarf nach DIN 4708	136
8.3.2	Allgemeines Näherungsverfahren zur Bestimmung des Brauchwasserenergiebedarfs	138
8.3.2.1	Abschätzung der Warmwasserbereitstellungsverluste	138
8.3.2.2	Brauchwasserenergiebedarf	138
8.4	Kühllast eines Gebäudes	139
8.4.1	Der Einfluß des Speichervermögens	139
8.4.2	Kühllastfaktoren	139
8.4.3	Kühllasten eines Raums	139
8.4.3.1	Innere Kühllasten	140
8.4.3.2	Kühllast durch Beleuchtung	140
8.4.3.3	Kühllastanteil durch Maschinen und Geräte	142
8.4.3.4	Kühllastanteil durch Stoffdurchsatz	143
8.4.3.5	Kühllastanteil aus Nachbarräumen	143
8.4.4	Äußere Kühllastanteile	143
8.4.4.1	Kühllastanteil durch Transmission an opaken Bauteilen	143
8.4.4.2	Kühllastanteil infolge Solareinstrahlung durch Fenster	144
8.4.5	Sonnenschutzeinrichtungen	144
8.4.6	Einfluß der Meteorologie auf die Kühllast	145
8.4.6.1	Außentemperatur	145
8.4.6.2	Sonneneinstrahlung	145
8.4.7	Verschattung durch bauliche Maßnahmen	146
8.4.8	Wahl des Berechnungszeitpunkts	146
8.4.9	Kältebedarf	146
	Literatur	147

9	Gasbefeuerte Wärmeerzeugungsanlagen			
9.1	Einteilung der Wärmeerzeuger	148		
9.1.1	Einteilung nach der Heizungsanlagen- Verordnung	148		
9.1.1.1	Standard-Heizkessel	148		
9.1.1.2	Niedertemperatur-Heizkessel	148		
9.1.1.3	Brennwert-Heizkessel	148		
9.1.2	Weitere Unterscheidungsmerkmale	148		
9.2	Niedertemperatur-Wärmeerzeuger NT-Heizkessel	149		
9.2.1	Maßnahmen gegen Taupunktunter- schreitung	149		
9.2.2	Systeme der Flamm- und Heizgasführung in Wärmeerzeugern	150		
9.2.3	Wärmeerzeuger mit Brenner ohne Gebläse	151		
9.2.3.1	Brennerkonstruktionen	151		
9.2.3.2	Zündung und Flammüberwachung	153		
9.2.3.3	Wandhängende Gas-Wärmeerzeuger	153		
9.2.3.4	Bodenstehende Gas-Heizkessel	154		
9.2.4	Abgas- und Verbrennungsluftführung	155		
9.2.4.1	Raumluftabhängiger Betrieb	156		
9.2.4.2	Raumluftunabhängiger Betrieb	156		
9.3	Wärmeerzeuger mit Gebläsebrenner	157		
9.3.1	Die Brennerkonstruktionen	157		
9.3.1.1	Einstufige Brenner	157		
9.3.1.2	Zweistufige und stufenlos modulierende Brenner	157		
9.3.1.3	Gebläsebrenner mit reduzierten Emissionen	158		
9.3.2	Niedertemperatur-Heizkessel	158		
9.3.2.1	NT-Heizkessel kleiner Leistung	158		
9.3.2.2	NT-Heizkessel größerer Leistung	158		
9.4	Brennwert-Heiztechnik	159		
9.4.1	Grundlagen der Brennwerttechnik	159		
9.4.2	Brennwert-Heizkessel	160		
9.4.4	Abgas-Wasser-Wärmeaustauscher für den Brennwertbetrieb	161		
9.4.5	Abgassysteme für Brennwertheizkessel	161		
9.4.6	Neutralisation und Kondenswasser- abführung	162		
9.5	Wirkungsgrad und Nutzungsgrad	162		
9.5.1	Abgasverlust und feuerungstechnischer Wirkungsgrad	162		
9.5.2	Kessel-Wirkungsgrad	163		
9.5.3	Jahresnutzungsgrad der Kesselanlage	163		
9.5.4	Grunddaten neuzeitlicher Wärmeerzeuger	164		
9.5.5	Einfluß der gewählten Kesselleistung	165		
9.5.6	Leistungsaufteilung auf zwei oder mehrere Wärmeerzeuger	165		
9.5.7	Der Jahres-Stromverbrauch von Brennern und Pumpen	167		
9.5.8	Der Sommerkessel für die Warmwasser- Versorgung	167		
9.5.9	Hydraulische Einbindung der Wärme- erzeuger	168		
9.5.9.1	Einbindung mit differenzdruckbehaftetem Verteiler	168		
9.5.9.2	Einbindung mit differenzdruckarmem Verteiler	169		
9.5.9.3	Hydraulische Schaltungen für Brennwert- Heizkessel	170		
9.5.9.4	Heizkessel und Abgas/Wasser-Wärmeaus- tauscher für Kondensationsbetrieb	170		
9.5.9.5	Brennwertkessel mit hohem wasser- seitigen Druckverlust	171		
9.5.9.6	Brennwertkessel mit Ladespeicher	172		
9.6	Sicherheitstechnische Ausrüstung	172		
9.7	Wärmebereitstellung mit Gasstrahlern	173		
9.7.1	Gasinfrarotstrahler	173		
9.7.1.1	Hellstrahler	173		
9.7.1.2	Dunkelstrahler	174		
9.7.1.3	Vergleich Dunkelstrahler – Hellstrahler	175		
	Abgasabführung und Überwachung	175		
	Energetische Bewertung	175		
	Projektierung und Installation	176		
9.7.2	Behaglichkeit und Energieeinsparung	176		
9.7.3	Regelung	176		
9.7.4	Energieeinsparung	178		
9.7.5	Projektierung	178		
9.8	Trinkwassererwärmung mit Erdgas	180		
9.8.1	Die Durchflußerwärmung	180		
9.8.2	Die Speicherbevorratung	181		
9.9	Gas-Wärmepumpen	183		
9.9.1	Energetische Bewertung von Wärme- pumpen-Prozessen	183		
9.9.2	Nutzbare Wärmequellen	183		
	Umweltenergie (Sonnenenergie)	184		
	Gespeicherte Umweltenergie (Sonnen- energie)	184		
	Geothermische Energie (aus tieferen Erdschichten)	184		
	Abwärmeequellen	185		
9.9.3	Betriebsarten und Dimensionierung von Wärmepumpen	185		
9.9.4	Vergleich verschiedener Systeme zur Erzeugung von Heizenergie bezüglich Primärenergieeinsatz und CO ₂ -Emission	186		
9.9.5	Fazit	187		
9.10	Blockheizkraftwerke	188		
9.10.1	Energieerzeugung im Vergleich	188		
9.10.2	Aufbau eines Blockheizkraftwerks	189		
9.10.3	Schadstoffreduzierende Maßnahmen und Umweltrelevanz	190		
9.10.4	Energiebilanz	191		
9.10.5	CO ₂ -Minderung durch den Einsatz von Blockheizkraftwerken	191		
9.10.6	Wirtschaftlichkeit	192		
9.10.7	Einbindung von Absorptionskälteanlagen	192		
9.10.8	Einsatzgebiete und Brennstoffe	193		
9.10.9	Entwicklung von Blockheizkraftwerken in Deutschland	194		
9.10.10	Tendenzen	194		
	Literatur	195		

10	Wärmeträgersysteme					
10.1	Wasser als Wärmeträger	196		12.1.4.2	Der Liefergrad	218
10.1.1	Verteilungssysteme	196		12.1.4.3	Der indizierte Wirkungsgrad	218
10.1.2	Rohrleitungen, Rohrnetze und Hydraulik	198		12.1.5	Mehrstufige Prozesse	218
10.1.2.1	Rohrwerkstoffe	198		12.1.6	Anwendung der Kompressionskälteanlagen	219
	Stahlrohr – Verzinktes Stahlrohr	198		12.2	Absorptionskälteanlagen	219
	Kupferrohr	198		12.3	Kälteversorgung von Klimaanlage	221
	Kunststoffrohre	198		12.3.1	Bestimmung der Kühllast	221
10.1.2.2	Rohrnetz und Hydraulik	198		12.3.2	Berechnung der Kälteleistung für die Klimaanlage	221
	Hydraulik	199		12.3.3	Auslegung der Kälteanlagen	222
	Heizflächen und Temperaturspreizung – Einflüsse auf die Hydraulik	199		12.3.4	Bauarten der Kaltwassersätze	222
10.1.3	Wärmedämmung	201		12.4	Kälteübertragungssysteme	223
10.2	Luft als Wärmeträger	202		12.4.1	Sole	224
10.2.1	Luft als Wärmeträger in Nur-Luft-Anlagen	203		12.4.2	Flüssigeis	225
10.2.2	Auslegung von Luftheizsystemen	203			Literatur	227
10.2.3	Betriebsweise von Luftheizsystemen	204		13	Lüftungsanlagen	
10.2.4	Unterschiedliche Bauformen von Luftheizsystemen	205		13.1	Definitionen zu Lüftungsanlagen	228
	Einrohrsystem	205		13.2	Bestimmung des Außenluftbedarfs	229
	Sammelluftsystem	205		13.2.1	Lüftung aufgrund der CO ₂ -Belastung in einem Raum	229
	Perimetersystem	205		13.2.2	Lüftung aufgrund einer Feuchtebelastung	230
10.2.5	Anordnung der Zuluftöffnungen	205		13.2.3	Lüftung aufgrund von Schadstoffen (MAK-Grenzwerte)	231
10.2.6	Integration der Zuluftführung in die Fußbodenkonstruktion	206		13.2.4	Lüftung aufgrund der empfundenen Raumluftqualität	231
10.2.7	Aufbau von Zentralgeräten	207		13.3	Natürliche Lüftungssysteme	233
10.2.8	Systeme mit Luft und Wasser als Wärmeträger	208		13.3.1	Fugenlüftung	234
	Literatur	209		13.3.2	Fensterlüftung	234
				13.3.3	Schachtlüftung	234
11	Warmwasserversorgung			13.4	Mechanische Wohnungslüftung	235
11.1	Aufgabenstellung – Anforderungen an die Warmwasserbereitung	210		13.4.1	Zentrale Abluftsysteme ohne Wärmerückgewinnung	235
11.2	Unterscheidungsmerkmale von Systemen zur Warmwasserversorgung	211		13.4.2	Zentrale Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung	236
11.2.1	Zentrale Warmwasserversorgung	211		13.4.3	Zentrale Zu-/Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung	237
11.2.2	Dezentrale Warmwasserversorgung	211		13.4.4	Dezentrale Abluftsysteme ohne Wärmerückgewinnung	237
11.3	Gerätetechniken	212		13.4.5	Dezentrale Zu-/Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung	238
11.3.1	Speichersysteme	212		13.5	Wärmerückgewinnungssysteme	239
11.3.2	Durchflußsysteme	213		13.5.1	Rekupatoren	239
11.4	Speicher- und Wärmeerzeugerleistungsbemessung	214		13.5.2	Regeneratoren	239
11.5	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zur Warmwasserbereitung	214		13.5.3	Rückwärmezahl und Rückfeuchtezahl	239
11.6	Ausblick, solare Warmwasserbereitung, Speichertechnik	215		13.5.4	Kreuzstromwärmeaustauscher	240
	Literatur	215		13.5.5	Gegenstromwärmeaustauscher	240
				13.5.6	Wärmerohrwärmeaustauscher (Heat-Pipe)	240
12	Kälteanlagen			13.5.7	Rotationswärmeaustauscher	240
12.0	Kältebereitstellung.	216		13.6	Auslegung und Konzeption von mechanischen Wohnungslüftungsanlagen	241
12.1	Die Kaltdampf-Kompressionskältemaschine	216		13.6.1	Gebäudedichtheit	241
12.1.1	Theoretischer Vergleichs- und Idealprozeß	216		13.6.2	Zonierung des Gebäudes	241
12.1.2	Der reale Kreisprozeß	217		13.6.3	Auslegungsbedingungen für Volumenströme	241
12.1.3	Bewertungsgrößen	217		13.6.4	Regelung der Lüftungsanlage	241
12.1.3.1	Inneres und äußeres Verhalten	217		13.6.5	Außenluftdurchlässe	241
12.1.4	Berechnungsgrundlagen der Verdichtung	218				
12.1.4.1	Das Hubvolumen	218				

13.6.6	Zuluftventile	242
13.6.7	Abluftventile	242
13.6.8	Überströmöffnungen	242
13.6.9	Kanalnetz der Lüftungsanlage	242
13.6.10	Luftfilter	243
13.6.11	Strombedarf von Lüftungsanlagen	243
	Literatur	243
14	Klimatechnik	
14.1	Thermodynamik der feuchten Luft	244
14.1.1	Zustandsgrößen der trockenen und feuchten Luft	244
14.1.2	Das h,x-Diagramm der feuchten Luft	246
14.1.3	Zustandsänderungen im h,x-Diagramm	246
	Zustandsänderungen beim Erwärmen und Abkühlen	246
	Zustandsänderungen am Oberflächenkühler	247
	Zustandsänderungen beim Mischen zweier Luftströme	248
	Zustandsänderungen bei der Verdunstung	248
	Zustandsänderungen bei der Befeuchtung eines Luftstroms	249
14.2	Grundsätzlicher Aufbau der Klimazentrale	252
14.2.1	Luftförderung	252
14.2.2	Heizung	253
14.2.3	Kühlung	253
14.2.4	Befeuchtung	253
14.2.5	Entfeuchtung	253
14.2.6	Reinigung	254
14.3	Klimasysteme	256
14.3.1	Luftverteilssysteme	256
14.3.2	Anlagensysteme	257
14.4	Luftbewegung in klimatisierten Räumen	261
14.4.1	Kenngrößen der Raumluftbewegung	261
14.4.2	Turbulente Mischlüftung	261
14.4.3	Ausbreitung von Freistrahlen	262
14.4.4	Luftdurchlässe	263
14.4.5	Turbulenzarme Verdrängungslüftung	264
14.4.6	Quellüftung	264
14.4.7	Numerische Simulation von Raumluftströmungen	265
14.5	Sorptionsgestützte Klimatisierung	266
14.5.1	Sorptionsmechanismen	266
14.5.2	Anforderungen an die Absorptionismittel	266
14.5.3	Auswahl von Befeuchtern zur Verdunstungskühlung	267
14.5.4	Entfeuchter	267
14.5.4.1	Entfeuchter mit festen Sorptionsmitteln	267
14.5.4.2	Entfeuchter mit flüssigen Sorptionsmitteln	268
14.5.5	Systeme der sorptionsgestützten Klimatisierung	268
14.5.5.1	Systeme mit festen Sorptionsmitteln	268
14.5.5.2	Systeme mit flüssigen Sorptionsmitteln	270
	Literatur	271

15	Regelung von Heizungs-, Lüftungs- und Klimasystemen	
15.1	Regelungstechnische Begriffe	272
15.2	Regelung ohne Hilfsenergie	276
15.3	Pneumatische Regelung	277
15.4	Elektronische Regelung	278
15.5	Digitale Regelung	279
15.6	Regelsysteme für Warmwasserheizung	285
15.7	Steuerung und Regelung von Kältemaschinen	286
15.8	Regelung von Lüftungsanlagen	287
15.9	Regelung von Klimaanlagen	290
	Literatur	293
16	Contracting	
16.1	Wärmelieferung	294
16.1.1	Rechtliche Grundlagen	295
16.1.1.1	AVBFernwärmeV	295
16.1.1.2	Heizkostenverordnung	295
16.1.1.3	Absicherung der Investitionsleistungen	295
	Wesentlicher Bestandteil	296
	Scheinbestandteil	296
	Eigentumsmarken	296
	Mietvertrag	296
	Bankbürgschaft	296
	Abtretungserklärung	296
	Mietrecht	296
16.1.2	Betriebswirtschaftliche Grundlagen	297
16.1.2.1	Kalkulation des Wärmepreises	297
	Jahresgrundpreis	297
	Arbeitspreis	297
	Jahresmeßpreis	297
16.1.2.2	Preisgleitklausel	298
	Änderung des Jahresgrundpreises	298
	Änderung des Arbeitspreises	298
	Änderung des Meßpreises	298
16.2	Kältelieferung	298
	Energetisch optimierte Kälteanlagen	298
	Leistungsreduzierung durch Kältespeicherung	299
	Kombinierte Kälte- und Wärmeerzeugung	299
16.2.1	Rechtliche Grundlagen	299
16.2.2	Betriebswirtschaftliche Grundlagen	200
	Literatur	300