

Inhaltsverzeichnis	Seite
Vorwort	3
Abkürzungsverzeichnis	16
1. Änderungen durch die Energieeinsparverordnung 2009	17
1.1 Ziele der EnEV 2009	17
1.2 Berechnung der Wohngebäude nach dem Referenzverfahren	18
1.3 Berechnung nach DIN V 18599 für Wohngebäude	20
1.3.1 Alternatives Rechenverfahren für Wohngebäude	20
1.3.2 Transmissionswärmeverlust	21
1.3.3 Sommerlicher Wärmeschutz	22
1.3.4 Wärmebrücken	22
1.4 Bestehende Gebäude und Anlagen	23
1.5 Bagatellklausel	24
1.6 Berücksichtigung der Trinkwarmwasserbereitung	24
1.7 Oberste Geschossdecke	24
1.8 Inbetrieb- und Außerbetriebsetzung von Heizkessel	25
1.9 Elektrische Speicherheizung	25
1.10 Trinkwarmwasserverteilungs- und Kaltwasserleitungen	26
1.11 Informationspflicht	27
1.12 Klimaanlage	27
1.13 Energieausweis EnEV 2009	28
1.14 Ausstellungsberechtigte von Energieausweisen	28
1.15 Privater Nachweis über durchgeführte Modernisierungsarbeiten	29
1.16 Anzeigepflicht durch Bezirksschornsteinfegermeister	30
1.17 Energieausweise	30
1.17.1 Muster der Energieausweise für Wohn- und Nichtwohngebäude	30
1.17.2 Ausstellung und Verwendung	42
1.17.3 Grundsätze nach den §§ 18 und 19 der EnEV	43
1.17.4 Bedarfsausweis	44
1.17.5 Verbrauchsausweis	44
2. Das Fachprofil eines Energieberaters vor Ort	46
2.1 Anforderungen an die Fortbildung – nach EnEV Anlage 11	46
2.2 Fortbildungsschwerpunkte	46
2.2.1 Kenntnisse über die Bestandsaufnahme	46
2.2.2 Gebäudehülle und Berechnungsverfahren	46
2.2.3 Heizungs-, Trinkwarmwasserbereitungs- und Lüftungsanlagen	47
2.3 Nachweisführung	47
2.3.1 Modernisierung, technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit	48
2.3.2 Befähigung die Energieeinsparverordnung umzusetzen	48
2.4 Stichtagregelung bei zugelassenen Energieberater	48
2.5 Software zu den Berechnungsverfahren der EnEV 2009	48
2.6 Das Leistungsfeld des Energieberaters vor Ort	50
2.6.1 Beratungsleistungen	51
2.6.2 Bestandsaufnahme durchführen	51
2.6.3 Energieberatungsbericht	52
2.6.4 Schlussgespräch	52
2.7 Haftungsfragen	52
3. Baukunde	54
3.1 Wohngebäudebestand	54
3.2 Dachformen	55
3.2.1 Pultdach	55
3.2.2 Satteldach	56

Inhaltsverzeichnis	Seite
3.2.3 Walmdach	56
3.2.4 Zelt- und Tonnendach	56
3.2.5 Sheddach	57
3.3 Dachgauben	57
3.3.1 Schleppgaube	58
3.3.2 Satteldachgaube	58
3.3.3 Dreiecksgaube und Fledermausgaube	58
3.3.4 Ochsenauge und Tonnengaupe	59
3.4 Dachkonstruktionen	59
3.4.1 Sparrendach	59
3.4.2 Kehlbalkendach	60
3.4.3 Flachdach	60
3.5 Dachdeckung	61
3.6 Mauerwerk	62
3.6.1 Steinmaße und Bezeichnungen	63
3.6.1.1 Bausteinmaße	63
3.6.1.2 Unterschiede der Steinschichten	65
3.7 Genormte Mauersteine	65
3.7.1 LD und HD Ziegel	66
3.7.2 Kalksandstein	67
3.7.3 Porenbeton und Betonsteine	68
3.8 Wärmedämmstoffe	70
3.8.1 Anorganische Dämmstoffe	71
3.8.1.1 Mineralwolle	71
3.8.1.2 Glas- und Steinwolle	71
3.8.1.3 Mineralschaum-Platte	72
3.8.1.4 Calziumsilikat-Platte	72
3.8.1.5 Schaumglas	72
3.8.1.6 Bläh-Perlit	72
3.8.2 Organisch-Synthetische Dämmstoffe	73
3.8.2.1 Polystyrol	73
3.8.2.2 Expandierte Polystyrole (EPS)	73
3.8.2.3 Extrudierte Polystyrole	73
3.8.2.4 Polyurethan (PUR)	74
3.8.2.5 Vakuum-Dämmung	74
3.8.3 Natürliche Dämmstoffe	75
3.8.3.1 Baumwolle	75
3.8.3.2 Holzfaser-Dämmplatte	75
3.8.3.3 Kork	75
3.8.3.4 Zellulose	76
3.9 Außenwände aus Mauerwerk	77
3.9.1 Außenwand Wärmedämmverbundsystem	78
3.9.2 Kerndämmung	78
3.9.3 Außenwand mit Luftschlitz	79
3.9.4 Dämmung mit Luftschlitz	79
3.9.5 Fachwerk	80
3.9.6 Innendämmung	80
3.9.7 Kelleraußenwand-Dämmung	81
3.10 Deckenaufbau	82
3.10.1 Vorhandene Dach- und Deckenkonstruktion	82
3.10.2 Nachträgliche Dämmung der Dachgeschossdecke	83
3.10.3 Dämmstoffmaterialien	85
3.10.4 Geschossdeckendämmung zum unbeheizten Keller	86
3.10.5 Fußbodendämmung gegen das Erdreich	87
3.10.6 Deckendämmung zum ausgebauten Dachraum	87

3.11 Dachausbau	88
3.11.1 Eindeckung des Dachraums	88
3.11.2 Belüftung des Dachraums	89
3.12 Dämm-Diskussion	90
3.12.1 Wirtschaftlichkeit empfohlener Dämmdicken	91
3.12.2 Mehr ist nicht immer wirtschaftlich	91
3.12.3 Beurteilung der Wärmedämmung von Außenwänden	92
3.13 Regenschutz	93
3.13.1 Beanspruchungsgruppen	93
3.13.2 Hinweise zur Erfüllung des Regenschutzes	95
3.14 Feuchtigkeitsschäden	96
3.14.1 Feuchtigkeit im Bauwerk	97
3.14.2 Die wichtigsten Schadensformen	98
3.14.2.1 Feuchtflecken	98
3.14.2.2 Salzausblühungen	98
3.14.2.3 Frostschäden	98
3.14.2.4 Bewuchs mit Mikroorganismen	98
3.14.2.5 Schäden durch chemische Korrosion	98
3.14.2.6 Verluste der Wärmedämmung	98
3.15 Mauer trockenlegung bei Gebäuden	98
3.15.1 Mit der Säge gegen aufsteigende Feuchtigkeit	99
3.15.2 Injektionsverfahren gegen aufsteigende Feuchtigkeit	100
3.15.3 Die Elektrophysikalische Mauer trockenlegung	100
3.16 Messmethoden für die Feuchtigkeit	103
3.16.1 Die Calciumcarbid-Methode	103
3.16.2 Darrprobe	104
3.16.3 Elektrische Widerstandsmessung	104
3.16.4 Das Hygrometer-Verfahren für dünn-schichtige Untergründe	104
3.16.5 Das Hygrometer-Verfahren für dick-schichtige Untergründe	105
3.17 Wärmebrücken	106
3.18 Fenster, Fenstertüren, Außentüren und Glasvorbauten	107
3.19 Dichtheitsanforderungen an das Bestandsgebäude	107
3.19.1 Leckagen	108
3.19.2 Dichtheitsprüfung	108
4. Bauphysik	110
4.1 Wärmeschutz	110
4.1.1 Was ist Wärme?	111
4.1.2 Wärmeübergang	111
4.1.3 Wärmemenge	113
4.2 Wärmeleitfähigkeit	114
4.2.1 Wärmedurchlasskoeffizient Λ	115
4.2.2 Wärmedurchlasswiderstand R (R = resistance = Widerstand)	116
4.2.3 Wärmeübergangswiderstand R_{si} und R_{se}	118
4.2.4 Wärmestromdichte	120
4.3 Temperaturverlauf in einer ebenen Wand	120
4.4 Wärmespeicherung	123
4.4.1 Wärmespeicherfähigkeit	124
4.4.2 Speicherfähigkeit C_{wirk}	124
4.4.3 Vereinfachtes Verfahren C_{wirk}	126
4.5 Wärmedurchgangskoeffizient U (U = Unit of heat-transfer)	128
4.5.1 Inhomogene Bauteilschichten	134
4.5.2 Korrekturwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten	137
4.5.3 Wärmeübergangskoeffizient h	139

Inhaltsverzeichnis	Seite
4.5.4 Wärmedurchgangskoeffizienten durch Messung ermitteln	140
4.5.5 Dämmschichtdicke bei vorgegebenem U-Wert	141
4.6 Luftfeuchte	142
4.6.1 Bauphysikalische Kenngrößen	142
4.6.2 Diagramm von Mollier	143
4.6.3 Wassergehalt in Luft	147
4.6.3.1 Taupunkt-Temperatur	149
4.6.3.2 Tauwasser an der inneren Wandoberfläche	149
4.6.3.3 Wasserdampfdruck	151
4.6.3.4 Wasserdampf-sättigungsdruck	152
4.7 Wasserdurchgangsverhalten im Bauteil	153
4.7.1 Randbedingungen nach DIN 4108	154
4.7.1.1 Wärmeübergangswiderstand	154
4.7.1.2 Klimabedingungen	155
4.7.2 Nachweis mit dem Glaserdiagramm	155
4.7.2.1 Vorbereitungen für das Glaserdiagramm	156
4.7.2.2 Stoffkennwerte	158
4.7.2.3 Diffusionsdiagramm zeichnen (Bild 4.8)	158
4.7.2.4 Die Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ	160
4.7.3 Berechnungsgrundlage zum Nachweis von Tauwasser	160
4.7.3.1 Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke	160
4.7.3.2 Wasserdampf-Diffusionsdurchlasswiderstand	160
4.7.3.3 Wasserdampf-Diffusionsstromdichte g ohne Tauwasserausfall	161
4.7.3.4 Wasserdampfdiffusion g_i mit Tauwasserausfall (innen)	162
4.7.3.5 Wasserdampfdiffusion g_e mit Tauwasserausfall (außen)	162
4.7.3.6 Wasserdampfdiffusion in der Verdunstungsperiode	163
4.7.3.7 Dampfsperren für kondensatfreie Bauteile	164
4.8 Einzelnachweise von Wärmebrücken	172
4.8.1 Temperaturfaktor f_{Rsi} bei Raumkanten	172
4.8.2 Raumecke	173
4.8.3 Abschätzung von Schimmelpilzbildung	174
4.8.4 Transmissionswärmeverlust durch Wärmebrücken	176
4.8.5 Rollladenkästen	177
4.9 Brandschutz	180
4.9.1 Brandverlaufsmodelle	182
4.9.1.1 Vorbeugender Brandschutz	183
4.9.1.2 Abwehrender Brandschutz	183
4.9.2 Brandverhalten von Bauteilen	183
4.9.3 Brandabschnitte	184
4.9.4 Feuerschutzabschlüsse	185
4.9.5 Feuerwiderstandsklassen	186
4.9.6 Beurteilung der Baustoffe aus Sicht des Brandschutzes	187
4.9.6.1 Stahlrohrstützen	190
4.9.6.2 Beton	191
4.9.6.3 Holz	191
4.9.6.4 Aluminium	191
4.9.6.5 Kunststoffe	191
4.9.6.6 Brandschutzverglasung	192
4.9.7 Rohrleitungen, elektrische Kabel und –kanäle im Brandschutz	193
4.9.7.1 Brandschutz Elektroinstallationen	193
4.9.7.2 Brandschutz für Lüftungsleitungen	194
4.9.7.3 Brandschutzklappe	196
4.9.7.4 Brandschutz an nicht tragender Holzständerwand	197
5. Anwendungsbereich der EnEV 2009	198
5.1 Beheizte und gekühlte Gebäude	198
5.2 Wohngebäude und Nichtwohngebäude	198

Inhaltsverzeichnis	Seite
5.3 Kleingebäude	199
5.4 Nutzfläche - ein substitutioneller Begriff	200
5.4.1 Nutzfläche per se	200
5.4.2 Nettogrundfläche oder Nutzfläche nach den Regeln der Technik	201
5.5 Gebäudenutzfläche A_N	203
5.6 Dachstockwohnung	203
5.7 Ausnahmen von der EnEV 2009	204
5.8 Pflicht zur Wärmedämmung nach der Verordnungsgrundlage	204
5.9 Transmissionswärmeverlust	205
6. Bestand und Neubau im Fokus der EnEV 2009	206
6.1 Energieausweise	207
6.2 Anforderungen an bestehende Wohngebäude	207
6.2.1 Änderungen im Bestand	208
6.2.2 Pauschalierungswerte für den Berechnungsnachweis	210
6.3 Anforderungen an kleine Gebäude	212
6.4 Reihenhaus – aneinander gereihte Bebauung	213
6.5 Eigentümer eines Bestands-Wohngebäude	213
6.6 Anforderungen an zu errichtende Nichtwohngebäude	214
6.7 Vereinfachtes Berechnungsverfahren zu § 4 und § 9	214
6.8 Anforderungen an bestehende Nichtwohngebäude	216
7. Gebäudegeometrie	217
7.1 Gebäudevolumen V_e	217
7.2 Wärmetauschende Hüllfläche A	217
7.3 Systemgrenzen	218
7.3.1 Unterer Gebäudeabschluss	220
7.3.1.1 Beheizter und nicht beheizter Keller	221
7.3.1.2 Deckenflächen, die nach unten an Außenluft grenzen	221
7.3.2 Oberer Gebäudeabschluss	222
7.3.2.1 Dachräume	222
7.3.2.2 Dachräume mit Abseitenwänden	223
7.3.3. Flachdach	224
7.4 Teilflächen	224
7.4.1 Außenwandflächen und Abseitenwände	226
7.4.2 Fenster, Fenstertüren und Außentüren	227
7.5 Nichtebene Oberflächen	227
7.6 Glasvorbauten	227
7.7 Gereihte Gebäude	228
7.8 Gebäude mit unterschiedlichen Innentemperaturen	228
8. Solare Wärmegewinne über transparente und opake Bauteile	230
8.1 Solare Gewinne	230
8.1.1 Gesamtdurchlassgrad g_{eff}	231
8.1.2 Verschattung durch Verbau	233
8.1.3 Bewegliche Sonnenschutzvorrichtung	234
8.2 Gewinne über opake Bauteile	235
8.3 Pauschaler Rechenansatz für die wirksame Speicherkapazität	238
8.3.1 Ausnutzungsgrad η	239
8.4 Gewinne über einen nicht beheizten Glasvorbau	240
8.5 Solarer Wärmestrom über transparente Bauteile	244
8.5.1 Solarer Wärmegewinn im Monat	245
8.5.2 Interner und solarer Wärmegewinn im Monat	245

9. Sommerlicher Wärmeschutz	246
9.1 Klimaregionen in Deutschland	247
9.1.1 Grenzwertanforderungen nach Klimaregionen	247
9.1.2 Solarwirksamer Fensterflächenanteil	247
9.2 Bestimmung des Sonneneintragkennwertes	249
9.3 Gewichtungsfaktor f	251
9.3.1 Raumtemperatur bei Lüftungsanlagen	253
9.3.2 Sonnenschutzvorrichtungen	253
9.4 Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes	254
10. Energetische Berechnungsgrößen nach der EnEV	256
10.1 Spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T an die Außenluft	256
10.1.1 Ansatz mit Temperatur-Korrekturfaktoren	256
10.1.2 Transmissionswärmeverlust beheizter Räume an die Außenluft	257
10.1.2.1 Wärmeverlustfaktor H_U von beheiztem zu nicht beheiztem Raum	257
10.1.2.2 Thermischer Leitwert an Erdreich und Keller	258
10.1.2.3 Wärmeverlust mit dem Wärmebrückenverlustkoeffizient ψ	259
10.2 Methode genauer Rechenansätze	259
10.2.1 Spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T	259
10.2.1.1 Leitwert L_D zwischen beheiztem Raum und außen	260
10.2.1.2 Flächenheizungen	260
10.2.1.3 Wärmeverlust H_U aus beheizten an nicht beheizte Räume	262
10.2.1.4 Reduktionsfaktor b	263
10.2.1.5 Lüftungswärmeverlust an Außenluft	263
10.3 Wärmeleitung über Erdreich	264
10.3.1 Stationärer und harmonischer Leitwert	265
10.3.1.1 Stationärer Leitwert	265
10.3.1.2 Harmonischer Leitwert	265
10.3.1.3 Periodische Eindringtiefe	266
10.4 monatlicher Wärmestrom Φ_M über das Erdreich	267
10.5 Wärmedurchgangskoeffizient der Bodenplatte	268
10.5.1 Bodenplatte gegen Erdreich	268
10.5.2 Bodenplatte im beheizten Keller	270
10.6 Fenster und Fenstertüren	271
10.6.1 Ü-Zeichen, Kennzeichnungspflicht	271
10.6.2 U-Wert Ermittlung des Fensters U_w	272
10.6.2.1 Fensterrahmen	273
10.6.2.2 Bemessungswerte der Fensterrahmen	274
10.6.2.3 Bemessungswerte der Fenster	275
10.7 Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten für Fenster	276
11. Die Rechenverfahren nach der EnEV 2009	280
11.1 Verfahren nach der DIN V 18599 (Nichtwohngebäude)	284
11.1.1 Referenzgebäude	284
11.1.2 Randbedingungen für das Nichtwohngebäude	289
11.1.3 Zonierung des Gebäudes	292
11.1.3.1 Die Kriterien der Zonierung	293
11.1.3.2 Konditionierung der Zonen	294
11.1.3.3 Systemgrenzen, Flächen und Volumina	295
11.1.4 Gebäudegeometrie	297
11.1.5 Bestimmung der Wärmequellen und –senken	299
11.1.5.1 Intern durch Personen $Q_{I,source,P}$	300
11.1.5.2 Durch Fensterlüftung	301
11.1.5.2.1 Wärmetransferkoeffizient der Infiltration	301

11.1.5.2.2 Infiltrationsluftwechsel	302
11.1.5.2.3 Täglicher nutzungsbedingter n_{nutz} Luftwechsel	304
11.1.5.2.4 Mittlerer täglicher Luftwechsel	305
11.1.5.3 Durch mechanische Lüftungsanlagen	306
11.1.5.3.1 Infiltrationswechsel	307
11.1.5.3.2 Anlagenluftwechsel mechanischer Lüftungsanlagen	309
11.1.5.3.3 Zulufttemperaturen der mechanischen Lüftungsanlagen	311
11.1.5.4 Arbeitshilfen, Geräte und Maschinen	313
11.1.5.5 Transportgüter	314
11.1.5.6 Künstliche Beleuchtungen	314
11.1.6 Wärmetransferkoeffizient H_{TD}	315
11.1.7 Wärmestrom nach außen, durch beheizte und nicht beheizte Zonen	317
11.1.7.1 Bauteile, die an Außenluft grenzen	317
11.1.7.2 Nicht beheizte Räume die an Außenluft grenzen	317
11.1.7.3 Angrenzende beheizte oder gekühlte Räume	318
11.1.7.4 Transmissionsströme über das Erdreich	318
11.1.8 Bilanz-Innentemperaturen $\vartheta_{i,h}$	318
11.1.8.1 Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit	319
11.1.8.2 Die Zeitkonstante	319
11.1.8.3 Temperatur-Korrekturfaktoren f_{NA}	320
11.1.8.4 Temperaturfaktor f_{we}	321
11.1.8.5 Bei reduziertem Heizbetrieb	321
11.1.8.6 Reduzierter Heizbetrieb am Wochenende und Ferienzeit	322
11.1.8.7 Temperatur ϑ_u im angrenzenden nicht beheizten Raum	322
11.1.9 Bilanz-Innentemperaturen $\vartheta_{i,c}$ für den Kühlbedarf	323
11.1.10 Tageslichtversorgung	323
11.1.10.1 Tageslichtbereiche	324
11.1.10.1.1 Maximale Raumtiefe $a_{\text{TL,max}}$	324
11.1.10.1.2 Raumbreite b_{TL}	325
11.1.10.1.3 Tageslichtbereich $A_{\text{TL},j}$	325
11.1.11 Klassifizierung der Tageslichtversorgung	327
11.1.11.1 Transparenz-Index $I_{\text{Tr},j}$	327
11.1.11.2 Raumtiefeindex $I_{\text{Rt},j}$	328
11.1.11.3 Verbauungsindex $I_{\text{v},j}$	328
11.1.12 Tageslichtbereich bei Dachoberlichtern	330
11.1.13 Teilbetriebsfaktor für die Präsenz	333
11.1.14 Teilbetriebsfaktor für die Tageslichtversorgung F_{TL}	334
11.1.15 Effektive Betriebszeit für den tageslichtversorgten Bereich	334
11.1.16 Elektrische Bewertungsleistung der Beleuchtung	335
11.1.16.1 Bewertungsleistung p_j	336
11.1.16.1.1 Minderungsfaktor k_A	338
11.1.16.1.2 Raumindex k	339
11.1.16.1.3 Tageslichtversorgungsfaktor $C_{\text{TL,Vers}}$	340
11.1.17 Effektiver Lichttransmissionsgrad	343
11.1.18 Innenhöfe und Atrien	344
11.1.19 Glasdoppelfassade	345
11.1.20 Heizsysteme	348
11.1.20.1 Nutzwärmebedarf $Q_{h,b,i}$ (Heizbedarf)	349
11.1.20.2 Monats- und Jahreswerte	351
11.1.20.3 Wärmeverluste bei Wärmeübergabe $Q_{h,ce}$	352
11.1.20.3.1 Nutzungsgrad für freie Heizkörper	353
11.1.20.3.2 Nutzungsgrad für bauteilintegrierte Flächenheizungen	354
11.1.20.3.3 Hilfsenergie $Q_{h,ce,aux}$ der Wärmeübergabe	356
11.1.20.4 Wärmeverluste durch Verteilung Q_h (Rohrleitungen)	357
11.1.20.4.1 Mittlere Vor- und Rücklauftemperaturen im Rohrnetz	359

11.1.20.4.2 Leitungslängen für Warmwasserheizungs-Rohrnetze	360
11.1.21 Monatliche rechnerische Betriebszeit $d_{h,r,B}$ der Heizung	362
11.1.22 Hilfsenergie für das Heizungs-Rohrleitungsnetz $Q_{h,d,aux}$	364
11.1.23 Nutzkältebedarf (Kühlbedarf)	367
11.1.24 Raumluftechnische Anlagen	369
11.1.24.1 Kennwertverfahren (Benchmark)	370
11.1.24.2 Umrechnung der Zuluft-Temperatur (Korrekturwert)	373
11.1.24.3 Betriebszeit der RLT-Anlage	373
11.1.25 Denormierung der Energiekennwerte ($q_{H,u}$ bis $q_{ST,u}$)	376
11.1.26 Endenergie für die Luftförderung	377
11.1.26.1 Variabler Luftvolumenstrom	378
11.1.26.2 Kühllastabhängige Luftförderung	380
11.1.27 Kälteversorgung RLT-Anlage	384
11.1.28 Endenergie für die Kälteerzeugung	386
11.1.29 Endenergie der Kompressions-Kältemaschine	387
11.1.30 Raumklimasystem, Luftgekühlt	390
11.1.31 Erzeugernutzenergie Wärmeversorgung der Absorptions-Kältemaschine	391
11.1.32 Endenergie Rückkühlung	393
11.1.32.1 Elektro-Endenergie der Rückkühlung	395
11.1.32.2 Elektrischer Pumpenenergiebedarf für Kühl- und Kaltwasser	395
11.1.32.3 Differenzdruck am Auslegungspunkt	399
11.1.32.4 Betriebszeit der Pumpen	401
11.1.33 Trinkwarmwasserbereitung	403
11.1.33.1 Nutzungsbedarf nach realem Bedarf	405
11.1.33.2 Bilanzierung der Trinkwarmwasserbereitung	406
11.1.33.3 Ermittlung der Verlust-Kennwerte	406
11.1.33.4 Trinkwarmwasser-Verteilung	407
11.1.33.5 Speicherung	409
11.1.33.6 Hilfsenergie der Ladepumpe bei indirekt beheiztem Speicher	410
11.1.34 Bivalenter Speicher	411
11.1.35 Solaranlagen zur Trinkwarmwasser-Bereitung	412
11.1.36 Hilfsenergie für den Betrieb der Solarpumpe	413
11.2 Referenzausführung für das Wohngebäude	413
11.2.1 Hilfsenergie $Q_{rv,d,aux}$ für Ventilatoren	417
11.2.2 Hilfsenergie elektrischer Heizregister $Q_{vorw,aux,mth}$	418
11.2.3 Transmissionswärmeverlust H_T	419
11.3 Bilanzierung	422
11.3.1 Endenergie nach den Energieträgern	423
11.3.2 Primärenergie	424
12. Rechenverfahren nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10	425
12.1 Das Monatsbilanzverfahren	426
12.1.1 Außenfläche A und Gebäudevolumen V_e	427
12.1.2 Gebäudenutzfläche A_N	427
12.2 Wärmeverluste	427
12.2.1 Wärmeverluste durch Wärmebrücken	428
12.2.2 Transmissionswärmeverlust	429
12.2.3 Monatlicher Transmissions-Wärmeverlust	429
12.2.4 Lüftungswärmeverlust H_V	430
12.3 Luftwechselraten	431
12.4 Blower-Door-Messung	432
12.5 Wärmegewinne	433
12.5.1 Solare Wärmegewinne	433

Inhaltsverzeichnis	Seite
12.5.2 Interne Wärmegewinne	434
12.5.3 Opake Wärmegewinne	434
12.5.4 Monatliche solare und interne Wärmegewinne	436
12.6 Reduktion des Wärmegewinns	439
12.6.1 Ausnutzungsgrad η	439
12.6.2 Jahres-Heizwärmebedarf	441
12.7 Heizgrenztemperatur	442
12.8 Diskussion zum Trinkwarmwasserbedarf	444
12.9 Berechnungsverfahren mit Kennwerten der DIN V 4701-10	446
12.9.1 Nutzenergie für die Trinkwarmwasseraufbereitung	446
12.9.2 Primärenergiebedarf für die Trinkwarmwasseraufbereitung	447
12.9.3 Verlustanteile bei der Trinkwarmwasseraufbereitung	448
12.9.4 Deckung des Trinkwarmwasser-Wärmebedarfs Q_{TW}	448
12.9.5 Zentrale und dezentrale Trinkwarmwasseraufbereitung	449
12.9.6 Zentrale und dezentrale Wohnungs-Versorgungssysteme	450
12.10 Die Anlagenbewertung nach DIN V 4701-10	451
12.10.1 Kennwerte für die Trinkwarmwasseraufbereitung	456
12.10.2 Ermittlung der Energiekennwerte	456
12.10.2.1 Deckungsgrad	461
12.10.2.2 Heizwärmegutschriften	464
12.10.2.3 Aufwandszahl e_g Wärmeerzeugung	472
12.11 Berechnung der Trinkwarmwasseraufbereitung	475
12.11.1 Primärenergie $q_{TW,WE,P}$ der Wärmeerzeugung für TW	475
12.11.2 Endenergie $q_{TW,WE,E}$ der Wärmeerzeugung für TW	476
12.11.3 Primärenergie $q_{TW,HE,P}$ für die Hilfsenergie	476
12.11.4 Endenergie $q_{TW,HE,E}$ für die Hilfsenergie	476
12.12 Primär- und Endenergie für die Heizung (WE)	476
12.12.1 Primärenergie $q_{H,WE,P}$	476
12.12.2 Endenergie $q_{H,WE,E}$	477
12.13 Primär- und Endenergie der Hilfsenergie für die Heizung	477
12.13.1 Primärenergie $q_{H,HE,P}$ der Hilfsenergie, Heizung	477
12.13.2 Endenergie $q_{H,HE,E}$ der Hilfsenergie Heizung	477
12.14 Primärenergie der Wärme- und Hilfsenergie $q_{L,HE,P}$ Lüftung	477
12.15 Jahres-Primärenergie $Q_{H,P}$ der Heizung	478
12.15.1 Primär- und Hilfsenergie für die Heizung	478
12.15.2 Jahres-Primärenergiebedarf Q_p	479
12.16 Anlagenaufwandszahl e_p	479
12.17 Maschinelle Lüftung und Wärmerückgewinnung	486
12.17.1 Lüftungswärmeverlust	486
12.17.2 Wärmerückgewinnung: Berechnung mit Kennzahlen	486
12.17.3 Kennzahlen für Abluftanlagen ohne Wärmeübertrager	495
12.18 Das Diagramm- und Tabellenverfahren nach DIN V 4701-10	497
12.18.1 Tabellenverfahren	499
12.18.2 Interpolation von Zwischenwerten	499
12.18.3 Anlagenaufwandszahl	500
12.18.4 Ermittlung des Primärenergiebedarfs q_p	501
12.19 Diagrammverfahren	505
13. Anlagen- und anlagentechnische Systeme	506
13.1 Heizkraftwerk	506
13.1.1 Biomassekraftwerk	507
13.1.2 Warmwasser-Fernheizung	508

Inhaltsverzeichnis	Seite
13.1.2.1 Indirekter Fernheiznetzanschluss	509
13.1.2.2 Direkter Fernheiznetzanschluss	510
13.1.3 Blockkraftheizwerk	510
13.2 Heizungssysteme	512
13.2.1 Einzelheizungen	512
13.2.2 Pelletheizung	513
13.2.3 Gas- und Ölheizkessel (Wärmeerzeuger)	514
13.2.3.1 Niedertemperatur-Heizkessel	514
13.2.3.2 Brennwert-Heizkessel	515
13.2.3.3 Heizkessel mit Trinkwarmwasserspeicher	516
13.2.4 Verbrennungstechnik	517
13.3 Zentralheizungsanlagen	518
13.3.1 Einrohr-Heizungssysteme	520
13.3.2 Zweirohr-Heizungssystem	521
13.3.3 Wasser-Ausdehnungssystem	522
13.3.3.1 Manometer zum Ausdehnungsgefäß	523
13.3.3.2 Ausdehnungsgefäß	524
13.4 Einregulierung der Heizungsanlage	524
13.5 Heizkörper	525
13.5.1 Gliederheizkörper	525
13.5.2 Fensterbank-Radiatoren	526
13.5.3 Plattenheizkörper	526
13.5.4 Konvektoren	527
13.6 Regelung der Heizungssysteme	528
13.6.1 Regelkreis	528
13.6.2 Einzelraumregelung	529
13.6.3 Zentrale Kesseltemperaturreglung	530
13.6.4 Mikroprozessor Regler	533
13.7 Flächenheizungen	536
13.7.1 Rohr-Deckenheizung	536
13.7.2 Lamellendeckenheizung	537
13.7.3 Hohlraumdeckenheizung	537
13.7.4 Fußbodenheizung	537
13.7.5 Wandheizungen	539
13.8 Trinkwarmwasserversorgung	539
13.8.1 Elektro-Trinkwarmwasser-Speicher	540
13.8.1.1 Offener Speicher	540
13.8.1.2 Geschlossener Speicher	541
13.8.2 Elektrodurchfluss-Wassererwärmer	541
13.8.3 Gasdurchfluss-Wassererwärmer	542
13.8.4 Speicher-Gas-Wassererwärmer	543
13.9 Zentrale Trinkwarmwasser-Erzeugungsanlage	543
13.9.1 Wasser-Erwärmungsanlagen nach dem Speichersystem	543
13.9.2 Wassererwärmung nach dem Durchfluss-System	544
13.10 Rohrnetz	545
13.11 Wärmegewinnung mit Wärmepumpen	545
13.11.1 Funktion der Wärmepumpen	545
13.11.2 Wärmepumpen zur Heizung von Wohngebäuden	547
13.11.2.1 Luft-Luft-Wärmepumpe	547
13.11.2.2 Luft-Wasser-Wärmepumpe	548
13.11.2.3 Wasser-Wasser-Wärmepumpe	549
13.12 Sonnenenergie	550
13.12.1 Sonnen-Kollektoren	551

13.12.2 Solar-Trinkwarmwasser-Speicher	552
13.12.3 Offene und geschlossene Solaranlage	553
13.12.4 Auslegung der Kollektorfläche	584
13.12.4.1 Kollektorflächen für Trinkwarmwasser-Erzeugung	556
13.12.4.2 Speichergröße für das erzeugte Trinkwarmwasser	557
13.12.4.3 Kollektorflächen für das Heizwasser	557
13.12.4.4 Heizwärmemengen für die Raumheizung	557
13.12.4.5 Speichergröße für das erzeugte Heizwasser-Raumheizung	558
13.13 Klimatechnik	560
13.13.1 Die Frage nach der Behaglichkeit	560
13.13.2 Luftbehandlungssysteme	562
13.13.2.1 Belüftungssysteme	563
13.13.2.2 Be- und Entlüftungsanlagen	563
13.13.2.3 Luftheizung	563
13.13.2.4 Luftkühlung	563
13.13.2.5 Luftbefeuchtungsanlagen	564
13.13.3 Klimaanlage	564
13.13.3.1 Nur-Luft-Klimaanlagen	565
13.13.3.2 Einkanal-Anlagen mit konstantem Luftvolumenstrom	566
13.13.3.3 Einkanal-Anlagen mit variablen Luftvolumenstrom	567
13.13.4 Mehrzonen-Anlagen	568
13.13.5 Induktionsanlage	569
13.13.6 Stille Kühlung	570
13.13.7 Maschinelle Wohnungslüftung	571
13.13.8 Geräuschminderung	573
13.14 Regelung	573
13.15 Die Elemente einer Lüftungs-Klimaanlage	574
13.15.1 Wärmerückgewinnung	574
13.15.2 Volumenstromregler mit Fremdenergie	574
13.15.3 Mischluftgerät	575
13.15.4 Induktionsgerät	576
13.15.5 Ventilator-Konvektor	576
13.15.6 Ventilatoren	577
13.15.7 Lufferhitzer	577
13.15.8 Luftkühler	578
13.15.9 Plattenwärmetauscher	578
13.15.10 Luftfilter	578
13.15.10.1 Schwebestofffilter	578
13.15.10.2 Aktivkohlefilter	579
13.15.10.3 Automatischer Filter	579
13.15.11 Luftwäscher	580
13.15.11.1 Verdampfungsgeräte	580
13.15.11.2 Rieselbefauchter	581
13.15.12 Schalldämpfer	581
13.15.13 Wärmepumpen	582
13.16 Kälteanlagen	582
13.16.1 Thermostat-Einspritzventil	583
13.16.2 Rohrbündelverdampfer	584
13.16.3 Röhrenkesselverdampfer	584
13.16.4 Wasser-Rückkühlung	585
13.17 Klimageräte	585