

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Grundlage	1
1.2	Bewertungsablauf	2
<b>2</b>	<b>Energiebedarf Raumwärme und Warmwasser in Deutschland</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Die Behaglichkeit</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Ökologische Betrachtung</b>	<b>9</b>
4.1	Pariser Klimaschutz-Übereinkommen	12
4.2	Die Nachhaltigkeit	13
<b>5</b>	<b>Gesetzliche Rahmenbedingungen</b>	<b>17</b>
5.1	Die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2014 und die Verschärfung ab 2016	18
5.2	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG)	19
<b>6</b>	<b>Verfahren zur Energieeffizienzberechnung</b>	<b>23</b>
6.1	Physikalische Grundlagen der Wärmeübertragung	26
6.2	Klimatische Bedingungen	31
6.3	Jahresheizwärmebedarf für Wohngebäude nach der DIN V 4108-6	33
6.3.1	Ablauf der Analyse nach der DIN V 4108-6	34
6.3.2	Die Gebäudegeometrie	35
6.3.3	Transmissionswärmeverluste	37

6.3.4	Lüftungswärmeverluste	40
6.3.5	Referenzklima	42
6.3.6	Monatliche Wärmeverluste	42
6.3.7	Monatliche solare Wärmegewinne	43
6.3.8	Monatliche interne Wärmegewinne	48
6.3.9	Summation der monatlichen Wärmegewinne	49
6.3.10	Speicherfähigkeit des Gebäudes	49
6.3.11	Kombination der monatlichen Wärmeverluste, der Wärmegewinne und der Speicherfähigkeit des Gebäudes über den monatlichen Aus- nutzungsgrad	50
6.3.12	Resultierender monatlicher Heizwärmebedarf	51
6.3.13	Jahresheizwärmebedarf	51
6.4	Jahresheizenergiebedarf DIN V 4701-10	52
6.5	Anforderung an den Mindestwärmeschutz DIN V 4108-2	53
6.6	Das Referenzhausverfahren	54
6.6.1	Maximaler Jahresprimärenergiebedarf	54
6.6.2	Maximaler spezifischer Transmissionswärmeverlust	55
<b>7</b>	<b>Bewertungsverfahren</b>	<b>57</b>
7.1	Ökonomische Bewertung	58
7.1.1	Statische ökonomische Bewertung	58
7.1.2	Dynamische ökonomische Bewertung	59
7.2	Das Betriebswirtschaftliche Optimum (BwO)	60
7.3	Ökologische Bewertung	60
7.4	Der Carbon Footprint (CF)	61
7.4.1	Das Carbon-Footprint-Optimum (CFO)	63
7.4.2	Der spezifische Carbon-Footprint für Strom	64
7.4.3	Der spezifische Carbon-Footprint für Erdgas	66
7.5	Kumulierter Energieaufwand (KEA)	68
7.6	Übersicht spezifische Aufwendungen nach Energiequellen	70
7.7	Wechselwirkungsanalyse	70
7.8	Die Technologieanalyse	74

<b>8</b>	<b>Unser Referenzhaus</b>	77
<b>9</b>	<b>Auswirkung Suffizienz</b>	81
9.1	Tag- und Nachtabsenkung	82
9.2	Ökonomischer und ökologischer Effekt Tag- und Nachtabsenkung	86
<b>10</b>	<b>Energiestandards im Bausektor</b>	89
10.1	Der KfW-Standard	89
10.2	Das Passivhaus	92
10.3	Das Nullenergie und das Energieplushaus	92
10.4	Gegenüberstellung der Energiestandards	93
10.4.1	Kostenentwicklung	94
10.4.2	Beispiel Energiehausstandards	102
10.4.3	Fazit Energiestandards	109
<b>11</b>	<b>Die Gebäudehülle</b>	113
11.1	Gebäudeform und Ausrichtung	113
11.2	Fenster und Türen	115
11.2.1	Das Fensterglas	115
11.2.2	Der Fensterrahmen	116
11.2.3	Der Gesamtenergiedurchlassgrad	117
11.2.4	Berechnung Wärmeverlust Fenster	119
11.2.5	Ökonomische Bewertung Fenster	121
11.2.6	Ökologische Bewertung Fenster	125
11.2.7	Aussentüren	126
11.3	Wände, Decke und Böden	128
11.3.1	Wandaufbau	132
11.3.2	Ökologische Bewertung Aussenwandaufbau	135
11.4	Innenwandmaterialien	138
11.4.1	Ökonomische/Ökologische Bewertung Innenwände	141
11.4.2	Technologienanalyse Innenwand	144
11.5	Die Isolierung	147
11.5.1	Organische, natürliche Isoliermaterialien	149
11.5.2	Organische, synthetische Isolierstoffe	153
11.5.3	Anorganische, natürliche Isolierstoffe	154

11.5.4	Anorganische, synthetische Isoliermaterialien	155
11.5.5	Ökonomische/Ökologische Bewertung Isoliermaterialien	156
11.5.6	Analyse der optimalen Isolierungsstärke	159
11.6	Fazit Gebäudehülle	167
<b>12</b>	<b>Das Belüftungssystem</b>	169
12.1	Freie Lüftung	170
12.2	Zentrale Belüftungsanlage (ZBA)	174
12.3	Dezentrale Belüftungsanlage (DBA)	179
12.4	Ökologische Bewertung Lüftungsanlagen	182
12.5	Wann lohnt sich ökonomisch eine Belüftungsanlage?	184
12.6	Fazit Belüftungssysteme	186
<b>13</b>	<b>Heizungssysteme</b>	187
13.1	Wärmeübertragung	188
13.1.1	Wandkonvektoren	189
13.1.2	Fussbodenheizungen	189
13.1.3	Wand und Deckenheizungen	190
13.1.4	Betonkernaktivierungen	191
13.2	Ölheizung	191
13.3	Gasheizung	192
13.4	Solarthermie	193
13.4.1	Solarthermieanlage zur Warmwasserunterstützung	197
13.4.2	Solarthermieanlage zur Heizungsunterstützung	207
13.4.3	Saisonspeicher	209
13.4.4	Ökologische Bewertung Solarthermieanlage	211
13.4.5	Fazit Solarthermieanlage	213
13.5	Wärmepumpen	215
13.5.1	Der ideale Wärmepumpenprozess	215
13.5.2	Grundlage der Wärmepumpenberechnung	219
13.5.3	Wärmepumpentypen	222
13.5.4	Fazit Wärmepumpen	224
13.6	Pelletheizung	224

13.7	Fernwärme	227
13.8	Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	227
13.8.1	Blockheizkraftwerk	230
13.8.2	Brennstoffzelle	232
13.9	Heizen mit elektrischer Energie	235
13.10	Vergleich der Heizungssysteme	236
13.10.1	Ökonomische Bewertung Heizungsanlagen	237
13.10.2	Ökologische Bewertung Heizungsanlagen	241
13.10.3	Wechselwirkung Heizungssysteme	245
13.11	Fazit Heizungssystem	246
<b>14</b>	<b>Optimierung Referenzhaus</b>	<b>251</b>
14.1	Optimierung der Gebäudeeigenschaften	252
14.1.1	Gebäudegeometrie	252
14.1.2	Bauteileoptimierung	253
14.1.3	Fazit Gebäudeoptimierung	257
14.2	Einfluss der Heizungsanlage	257
<b>15</b>	<b>Fazit</b>	<b>261</b>
	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>263</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>267</b>