

# Analyse der Wärmeverluste und –gewinne des beheizten Bereiches eines Gebäudes

## 1. Wärmeverluste durch Transmission

Die Transmissionswärmeverluste durch die Außenbauteile sind ein Maß der Wärmeleitung in den Bauteilen und des Wärmeübergangs an den Oberflächen eines Gebäudes. Sie berücksichtigen desweiteren den Einfluss von Wärmebrücken. Im allgemeinen Fall kann die folgende Formel zur Bestimmung herangezogen werden:

$$q_T = \frac{\sum A_{\text{Bauteil}} \cdot U_{\text{Bauteil}} \cdot f_{\text{MIN}} \cdot (\vartheta_{\text{im}} - \vartheta_{\text{am}})}{A_{\text{EB}}} \cdot t_{\text{HP}}$$

Zur Bestimmung des Wärmeverlustes werden alle Bauteilflächen  $A_{\text{Bauteil}}$ , die die thermische Hülle eines Gebäudes umschließen, mit den zugehörigen Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_{\text{Bauteil}}$ , der mittleren Temperaturdifferenz zwischen Innentemperatur  $\vartheta_{\text{im}}$  und Außentemperatur  $\vartheta_{\text{am}}$  und der Länge der Heizzeit  $t_{\text{HP}}$  multipliziert und anschließend aufsummiert. Ein Reduktionsfaktor  $f_{\text{MIN}}$  berücksichtigt das Angrenzen von Bauteilen an unbeheizte Gebäudezonen oder Erdreich (vergleiche Tabelle 1).

Vorhandene Wärmebrücken werden nach diesem Ansatz in einem erhöhten U-Wert des entsprechenden Bauteils berücksichtigt. Da der Kennwert eine spezifische Größe sein soll, wird der Wärmeverlust auf die Fläche  $A_{\text{EB}}$  bezogen. Dieses oder ähnliche Verfahren sind in vielen anderen Veröffentlichungen bereits beschrieben und sollen hier nicht vertieft werden. Wenn konkrete Bauteilkonstruktionen vorliegen, sollten diese immer anhand der zugehörigen U-Werte (Baustoffkataloge etc.) bewertet werden.

Abminderungsfaktoren für Transmissionswärmeverlust von Bauteilen $f_{\text{MIN}}$ , in [-]			
	Bauteile gegen Erdreich, unbeheizte Keller oder andere unbeheizte Zonen	Bauteile gegen Außenluft	Bauteile gegen beheizte Zonen
$f_{\text{MIN}}$ , in [-]	0,5	1	0

Tabelle 1 Abminderungsfaktoren  $f_{\text{MIN}}$

Eine Vereinfachung des allgemeinen Ansatzes lautet wie folgt:

$$q_T = U_m \cdot (\vartheta_{\text{im}} - \vartheta_{\text{am}}) \cdot \frac{A_H}{A_{\text{EB}}} \cdot t_{\text{HP}}$$

Diese Gleichung kann vor allem zur Abschätzung der Transmissionswärmeverluste bestehender Gebäude herangezogen werden, wenn keine Konstruktionsunterlagen und Baupläne vorliegen. Mittlere Wärmedurchgangswerte bestehender Baukonstruktionen je nach Baualtersklasse sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Wärmedurchgangswerte für die Gebäudehülle U, in [W/(m²K)]							
Baualterklasse	"vor 77"	"77-82"	"82-95"	"WSchV"	"NEH"	"UNEH"	"PH"
Gebäudehülle (Mittelwert)	1,75...1,10	1,50...1,00	1,20...0,80	0,80...0,50	0,50...0,25	0,25...0,10	0,20...0,10
Wand	1,60...1,00	1,25...0,90	1,00...0,40	0,50...0,30	0,40...0,25	0,30...0,15	0,15...0,10
Boden	1,00...0,70	0,90...0,50	0,80...0,40	0,60...0,40	0,40...0,20	0,20...0,10	0,15...0,10
Decken/Dächer	0,90...0,40	0,60...0,30	0,40...0,20	0,30...0,15	0,25...0,15	0,20...0,10	0,15...0,10

Tabelle 2 Wärmedurchgangswerte für die Gebäudehülle

Für die Abschätzung der Wärmeverluste von Fenstern können die in Tabelle 3 angegebenen Standardwerte herangezogen werden. Der Energiedurchlassgrad g wird bei der Ermittlung der Fremdwärmeleistung aus solarer Einstrahlung benötigt.

Wärmedurchgangswert und Energiedurchlassgrad für Fenster		U, in [W/(m²K)]	g, in [-]
Einfachverglasung	Holz-/Kunststoffrahmen	4,20 (3,50...4,65)	0,86
	Metall-/Betonprofilrahmen	4,85 (5,63...4,28)	
Doppelverglasung	Holz-/Kunststoffrahmen	2,55 (2,36...2,68)	0,76
	Metall-/Betonprofilrahmen	3,10 (3,80...2,90)	
doppeltes Wärmeschutzglas	Holz-/Kunststoffrahmen	1,50 (1,33...1,72)	0,69
	Metall-/Betonprofilrahmen	2,00 (1,69...2,91)	
dreifaches Wärmeschutzglas	Holz-/Kunststoffrahmen	1,15 (0,74...1,49)	0,49
	Metall-/Betonprofilrahmen	1,60 (1,24...2,57)	

Tabelle 3 Wärmedurchgangswert und Energiedurchlassgrad für Fenster

Die Daten dieses Kapitels stützen sich auf die folgenden Quellen: [Energiepass], [DIN V 4108-6], [Gebäudebestand], [Gebäudesanierung], [Modernisierung], [Kennziffern], [Recknagel 2001] und eigene Untersuchungen und Erfahrungen der Autoren.

### BEISPIEL MFH:

Über die genaue Bauteilkonstruktion der Gebäudehülle sind keine Daten vorhanden. Anhand der in Tabelle 2 angegebenen Standardwerte wird eine Abschätzung vorgenommen. Die Flächen wurden anhand des realen Gebäudes angesetzt. Es sind Fenster mit Doppelverglasung und Holzrahmen vorhanden.

Bauteil	A, in [m²]	U, in [W/(m²K)]	f <sub>MIN</sub> , in [-]	A·U·f <sub>MIN</sub> , in [W/K]
Dach	504	0,90	1,0	453,6
Wände	732	1,30	1,0	951,6
Fenster	200	2,55	1,0	510,0
Kellerdecke	504	0,70	0,5	176,4

Der Jahreswärmebedarf der Transmission beträgt:

$$\begin{aligned}
 Q_T &= \sum (A_{\text{Bauteil}} \cdot U_{\text{Bauteil}} \cdot f_{\text{MIN}}) \cdot \frac{(\vartheta_{\text{im}} - \vartheta_{\text{am}})}{A_{\text{EB}}} \cdot t_{\text{HP}} \\
 &= 2092 \frac{\text{W}}{\text{K}} \cdot \frac{(20 - 6,3)\text{K}}{1098\text{m}^2} \cdot 7080 \frac{\text{h}}{\text{a}} = 185 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}
 \end{aligned}$$

Der mittlere U-Wert der Außenhülle (incl. Abminderungsfaktoren) beträgt U<sub>m</sub> = 1,08 W/(m²K).

## 2. Lüftungswärmeverluste

Zur Berechnung der spezifischen Wärmeverluste durch Lüftung eines Gebäudes  $q_V$  wird das zwischen Gebäude und Umgebung innerhalb der Heizperiode ausgetauschte Raumluftvolumen  $V_L$  benötigt. Durch den Bezug auf die Fläche  $A_{EB}$  vereinfacht sich der Ansatz, so dass alternativ mit der mittleren Raumhöhe  $h_R$  gerechnet werden kann.

$$q_V = n \cdot \frac{V_L}{A_{EB}} \cdot 0,34 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3\text{K}} \cdot (\vartheta_{im} - \vartheta_{am}) \cdot t_{HP} = n \cdot h_R \cdot 0,34 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3\text{K}} \cdot (\vartheta_{im} - \vartheta_{am}) \cdot t_{HP} .$$

Der Wärmeverlust hängt weiterhin von der mittleren Innentemperatur  $\vartheta_{im}$  des Gebäudes, der Temperatur der nachströmenden Außenluft  $\vartheta_{am}$  und der Länge der Heizzeit  $t_{HP}$  ab. Die Stoffwerte der Luft sind in der Größe  $0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})$  zusammengefasst.

Der Luftwechsel des Gebäudes  $n$  wird von diversen Einflussfaktoren bestimmt, zum Beispiel der Luftdichtheit der Gebäudehülle, dem mechanischen Luftwechsel einer Lüftungsanlage und vor allem dem Nutzerverhalten. Er ist zeitlich nicht konstant, kann in den Übergangsjahreszeiten das 2 bis 3-fache des Winterluftwechsels annehmen. Die Berechnung des Wärmeverlustes erfolgt mit einer mittleren Luftwechselzahl.

Der Gesamtluftwechsel kann auch anhand von Fensterkontaktmessungen und Fugendurchlassgraden bestimmt werden. Liegen jedoch keine genauen Werte vor, so können die folgenden Formeln und Standardwerte der Tabelle 4 und Tabelle 5 herangezogen werden.

Für Gebäude ohne mechanische Lüftungsanlagen wird der Gesamtluftwechsel  $n$  wie folgt abgeschätzt:

$$n = n_{nat} + \Delta n .$$

Dabei ist  $n_{nat}$  ein Mittelwert für den natürlichen Luftwechsel je nach Gebäudenutzungstyp. Er ist in Tabelle 4 für ein Niedrigenergiegebäude angegeben. Der Differenzluftwechsel  $\Delta n$  nach Tabelle 5 dient der Bewertung der Baualtersklasse. Aufgrund der geringeren Gebäudedichtheit älterer Gebäude (vor allem der Fenster) können Zuschläge auf den Luftwechsel gemacht werden.

Für Anlagen mit Wärmerückgewinnung gilt der folgende Zusammenhang:

$$n = (n_{Anl} + n_{Rest}) + \Delta n .$$

Dabei ist  $n_{Anl}$  der Anlagenluftwechsel der mechanischen Lüftung,  $n_{Rest}$  ein Restluftwechsel aufgrund von Fugendurchlässigkeiten der Gebäudehülle und des Nutzungseinflusses. Beide Werte können überschlägig aus Tabelle 4 entnommen werden. Für den Differenzluftwechsel  $\Delta n$  gelten die bereits gemachten Aussagen.

Der Lüftungswärmeverlust wird zunächst ohne Berücksichtigung von Lüftungswärme gewinnen einer evtl. vorhandenen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung berechnet. Eine Wärmerückgewinnung trägt zur Deckung der Wärmeverluste des Gebäudes bei, verbraucht dabei jedoch keine Primärenergie. Sie wird innerhalb des hier beschriebenen Gesamtbilanzverfahren wie ein Wärmeerzeuger behandelt.

Die in Tabelle 4 zusammengestellten Luftwechsel gelten für Gebäude ohne Klimatisierung (Raumlufttechnik).

Luftwechsel, in [h <sup>-1</sup> ]								
	Lüftung ohne Lüftungsanlage			Lüftung mit Lüftungsanlage				
	natürlicher Luftwechsel n <sub>nat</sub>			mechanischer Luftwechsel n <sub>Anl</sub>			Restluftwechsel n <sub>Rest</sub>	
Gebäudenutzungstyp	in der Nutzungszeit	außerhalb der Nutzungszeit	Mittelwert	in der Nutzungszeit	außerhalb der Nutzungszeit	Mittelwert	bei bestandener Dichtheitsprüfung (n50 ≤ 1,0)	bei nicht bestandener Dichtheitsprüfung
EFH	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1	0,2
Krankenhaus	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1	0,2
MFH	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,1	0,2
Verkauf	1,0	0,2	0,5	0,8	0,0	0,3	0,1	0,2
Industrie	1,0	0,2	0,4	0,8	0,8	0,8	0,1	0,2
Verwaltung	1,0	0,2	0,4	0,8	0,0	0,2	0,1	0,2
Restaurants	1,0	0,2	0,4	0,8	0,0	0,2	0,1	0,2
Schulen	1,0	0,2	0,4	0,8	0,0	0,2	0,1	0,2
Bühnen/Säle	0,6	0,2	0,4	0,4	0,0	0,2	0,1	0,2
Bäder	0,5	0,1	0,3	0,4	0,0	0,2	0,1	0,2
Lager	0,4	0,2	0,3	0,2	0,0	0,1	0,1	0,2
Sport	0,5	0,1	0,2	0,4	0,0	0,1	0,1	0,2

Tabelle 4 Natürlicher Luftwechsel, Anlagenluftwechsel und Restluftwechsel

Der Restluftwechsel für Gebäude mit mechanischer Lüftungsanlage n<sub>Rest</sub> hängt von der geprüften Gebäudedichtheit (Blower Door Messung) ab. Haben solche Messungen nicht stattgefunden oder die untersuchten Gebäude den Dichtheitstest nicht bestanden, so ist mit dem größeren Wert für n<sub>Rest</sub> zu rechnen.

Baualtersklasse	Differenzen für Luftwechsel Δn, in [h <sup>-1</sup> ]
"vor 77"	+0,2 ... +0,3
"77-82" und "82-95"	+0,1 ... +0,2
"WSchV"	±0,0 ... +0,1
"NEH" und ggf. "UNEH"	±0,0
"PH" und "UNEH"	-0,1 ... +0,0

Tabelle 5 Differenzluftwechsel je nach Baualtersklasse

Die Daten dieses Kapitels stützen sich auf die folgenden Quellen: [Energiepass], [SIA 380/1], [DIN V 4108-6], [Rechnagel 2001], [LEG] und eigene Untersuchungen der Autoren.

### BEISPIEL MFH:

Für das MFH der Baualtersklasse "vor 77" ohne Lüftungsanlage wird folgender Luftwechsel bestimmt:

$$n = n_{\text{nat}} + \Delta n = 0,6\text{h}^{-1} + 0,3\text{h}^{-1} = 0,9\text{h}^{-1}.$$

Bei einer geschätzten mittleren Raumhöhe von  $h_R=2,5\text{m}$  ergibt sich ein spezifischer Wärmeverlust für Lüftung von:

$$\begin{aligned} q_V &= n \cdot h_R \cdot 0,34 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3\text{K}} \cdot (\vartheta_{\text{im}} - \vartheta_{\text{am}}) \cdot t_{\text{HP}} \\ &= 0,9 \frac{1}{\text{h}} \cdot 2,5\text{m} \cdot 0,34 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3\text{K}} \cdot (20 - 6,3)\text{K} \cdot 7080 \frac{\text{h}}{\text{a}} = 74 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} \end{aligned}$$

## 3. Solarer Fremdwärmeanfall

Die solaren Strahlungswärmegewinne durch Fenster hängen von verschiedenen Einflussgrößen ab. Zum einen von der Größe der Fensterfläche  $A_{\text{Fe}}$ , deren Ausrichtung und der damit verbundenen globalen Einstrahlung  $G$ , zum anderen vom Energiedurchlassgrad  $g$  der Fenster und einem Minderungsfaktore  $r$  (für Verschattung, Verschmutzung, den nichttransparenten Rahmenanteil usw.). Eine ausführliche Bilanzgleichung ist die folgende:

$$q_S = \frac{\sum g \cdot r \cdot G \cdot A_{\text{Fe}}}{A_{\text{EB}}}.$$

Sind keine genauen Werte für den Energiedurchlassgrad  $g$ , den Minderungsfaktor  $r$  und die globale Einstrahlung  $G$  bekannt, so kann die Gleichung wie folgt vereinfacht und mit Mittelwerten gerechnet werden:

$$q_S = g_m \cdot r_m \cdot G_m \cdot \frac{A_{\text{Fe}}}{A_{\text{EB}}}.$$

Eine sinnvolle Annahme für den Minderungsfaktor ist  $r_m=0,36$ . Anhaltsgrößen für die mittlere Globalstrahlung  $G_m$  können Tabelle 6, für den Energiedurchlassgrad  $g_m$  Tabelle 3 entnommen werden.

Der Kennwert " $A_{\text{Fe}}/A_{\text{EB}}$ " kann aus der Kompaktheit des Gebäudes ( $A_{\text{H}}/A_{\text{EB}}$ ) und dem Fensterflächenanteil ( $A_{\text{Fe}}/A_{\text{EB}}$ ) bestimmt werden.

$$\frac{A_{\text{Fe}}}{A_{\text{EB}}} = \frac{A_{\text{Fe}}}{A_{\text{H}}} \cdot \frac{A_{\text{H}}}{A_{\text{EB}}}$$

Globalstrahlung $G$ , in [kWh/(m <sup>2</sup> a)]				
Heizgrenztemperatur $\vartheta_{\text{HG}}$ , in [°C]	10	12	15	17
Länge der Heizzeit $t_{\text{HP}}$ , in [d/a]	190	225	170	295
Mittelwert $G_m$ für N,S,O,W	170	240	330	380
Ost	155	220	325	375
Süd	270	370	490	560
West	155	230	325	375
Nord	100	140	185	210
Dach (Neigung >30°)	225	370	545	645

Tabelle 6 Globalstrahlung je nach Heizgrenztemperatur

Andere Bilanzverfahren, wie zum Beispiel der Hessische Energiepass oder die DIN V 4108 Teil 6 können zur Ermittlung von Einzelkennwerten ( $g$ ,  $r$ ,  $G$ ) alternativ herangezogen werden. Es muss jedoch beachtet werden, dass die Globalstrahlung  $G$  in diesen Verfahren meist nur für eine Heizgrenztemperatur angegeben ist.

Die Daten dieses Kapitels sich auf die folgenden Quellen: [Energiepass], [DIN V 4108-6], [LEG], [VDI 2067 Bl. 2].

### BEISPIEL MFH:

Bei der Vorort-Besichtigung des MFH wurden die Größen der Fensterflächen und ihre Ausrichtung protokolliert. Die Werte für die globale Einstrahlung  $G$  sind Tabelle 6 entnommen. Der Energiedurchlassgrad wird anhand der Tabelle 3 für Doppelverglasung mit  $g_m=0,76$  abgeschätzt.

Richtung	$G$ , in [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	$r$ , in [-]	$g$ , in [-]	$A_{Fe}$ , in [m <sup>2</sup> ]	$G \cdot r \cdot g \cdot A_{Fe}$ , in [kWh/a]
N	210	0,36	0,76	36 · 1,68	3475
S	560	0,36	0,76	48 · 1,68	12355
O	375	0,36	0,76	21 · 1,40	3016
W	375	0,36	0,76	21 · 1,40	3016

Der Fremdwärmeanfall aus solarer Einstrahlung beträgt:

$$q_s = \frac{\sum G \cdot r \cdot g \cdot A_{Fe}}{A_{EB}} = \frac{(3475 + 12355 + 3016 + 3016) \text{ kWh}}{1098 \text{ m}^2 \cdot \text{a}} = 20 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{a}}$$

## 4. Innerer Fremdwärmeanfall

Innerhalb eines Gebäudes fällt Fremdwärme an, die teilweise zur Beheizung des Gebäudes beiträgt. Den nutzbaren Anteil nennt man Fremdwärmegewinn. Anhand der folgenden Bilanzgleichung kann der innere Fremdwärmeanfall bestimmt werden:

$$q_I = \dot{q}_{IG} \cdot t_{HP} + q_{HG} + q_{WG} = q_{IG} + q_{HG} + q_{WG}$$

Dabei wird der innere Fremdwärmeanfall durch Verteilleitungen und Speicher der Heizung und Lüftung  $q_{HG}$  sowie der Trinkwarmwassererwärmung  $q_{WG}$  der vorherigen Berechnung entnommen.

$$q_{HG} = (q_{HG,d} + q_{HG,s}) \text{ und}$$

$$q_{WG} = (q_{d,WG} + q_{s,WG})$$

Diese Werte müssen also alle bereits bekannt sein, wenn der innere Fremdwärmeanfall bestimmt werden soll. Die richtige Reihenfolge der Bilanzierung wird im Formblatt zum Gesamtbilanzverfahren gezeigt.

Für Gebäude verschiedener Nutzungstypen können Werte für die innere Fremdwärme aus Personen, Geräten und Beleuchtung  $\dot{q}_{IG}$  aus Tabelle 7 abgeschätzt werden. Der tabellierte Wert ist noch mit der Heizzeit  $t_{HP}$  zu multiplizieren, um die Jahresenergiemenge  $q_{IG}$  zu erhalten. Genauere Werte können mit anderen Bilanzverfahren (z.B. Hessischer Energiepass) bestimmt werden.

Gebäudenutzungstyp	innere Fremdwärmeleistung $\dot{q}_{IG}$ , in [W/m <sup>2</sup> ]	Gebäudenutzungstyp	innerer Fremdwärmeleistung $\dot{q}_{IG}$ , in [W/m <sup>2</sup> ]
Lager	1,3	Sport	3,9
Schulen	1,5...4,7	Krankenhäuser	4,1...5,8
EFH	2,5	Industrie	5,6
Bühnen/Säle	3,1	Verkauf	5,9
MFH	3,2	Bäder	6
Verwaltung	3,5...6,4	Restaurant	17

Tabelle 7 Innere Fremdwärmeleistung (ohne Wärmeverteilung und -speicherung)

Die Daten dieses Kapitels stützen sich auf die folgenden Quellen: [Energiepass], [SIA 380/1], [DIN V 4108-6], [Recknagel 2001], [LEG] und [VDI 2067 Bl. 2].

### BEISPIEL MFH:

Die Reihenfolge der energetischen Bewertung ist an dieser Stelle nicht exakt wiedergegeben. Die Bestimmung des Fremdwärmeanfall aus der Anlagentechnik sei hier bereits erfolgt.

Für das Gebäude werden folgende Werte für die Fremdwärme bestimmt:

Heizung / Lüftung	Verteilung:	$q_{d,HG} = 31 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
	Speicherung:	$q_{s,HG} = 0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
Trinkwarmwasserbereitung	Verteilung:	$q_{d,WG} = 8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
	Speicherung:	$q_{s,WG} = 0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Die Fremdwärmeleistung aus Personen, Geräten und Beleuchtung ergibt sich zu:

$$q_{IG} = \dot{q}_{IG} \cdot t_{HP} = 3,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 7080 \frac{\text{h}}{\text{a}} = 22656 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2\text{a}} = 23 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$$

Die innere Fremdwärmeleistung für das Gebäude beträgt:

$$q_I = q_{IG} + q_{HG} + q_{WG} = 23 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} + 31 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} + 8 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} = 62 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}$$

## 5. Nutzung der Fremdwärmegewinne

Der Fremdwärmeanfall zählt zur unregelmäßigen Wärmeabgabe. Das heißt, die Wärmemengen fallen auch an, wenn sie nicht zur Heizung benötigt werden. Die Höhe der für Heizzwecke nutzbaren solaren und inneren Wärmegewinne hängt vom Ausnutzungsgrad der Fremdwärme  $\eta$  ab. Dieser wird von der Art der Regelung der Wärmeübergabe an den Raum, aber auch vom Gebäude selbst bestimmt.

In Gebäuden mit sehr trägen Regelungen, sehr geringen Speichermassen und geringen Wärmeverlusten (Transmission und Lüftung) kann die Fremdwärme nur zu einem geringen Prozentsatz wirklich genutzt werden. Im umgekehrten Fall, das heißt in Gebäuden mit schnellen Regelungen, hohen Speichermassen und hohen Wärmeverlusten, wird die Fremdwärme dagegen sehr gut ausgenutzt.

Zu Bestimmung des Ausnutzungsgrades geben verschiedene Veröffentlichungen unterschiedliche Näherungen, da nur Simulationsberechnungen exakte Ergebnisse liefern können. Im Rahmen des gesamtenergetischen Berechnungsverfahrens wird der folgende vereinfachte Ansatz gewählt:

$$\eta = f_{\eta} \cdot (1 - 0,2 \cdot \gamma)^*$$

Dabei kann der Bewertungsfaktor für die Art der Regelung  $f_{\eta}$  aus Tabelle 8 abgeschätzt werden. Das Gewinn-Verlust-Verhältnis  $\gamma$  wird anhand des bereits bekannten Fremdwärmeanfalls ( $q_l$  und  $q_s$ ) und der Wärmeverluste ( $q_T$  und  $q_V$ ) bestimmt:

$$\gamma = \frac{q_l + q_s}{q_T + q_V}$$

Regelungsart	Bewertungsfaktoren für Fremdwärmenutzung $f_{\eta}$ in [-]*	Beispiele
ohne zentrale Vorregelung, manuelle Nachregelung	0,40	Wärmeerzeuger mit Festtemperatur + Handventile
ohne zentrale Vorregelung, aber mit Nachregelung	0,85	Wärmeerzeuger mit Festtemperatur + Thermostatventile
mit zentraler Vorregelung, und Nachregelung	0,90	Wärmeerzeuger mit witterungsgeführter Regelung + Thermostatventile
mit zentraler Vorregelung, und Nachregelung	0,95	Wärmeerzeuger mit witterungsgeführter Regelung + Einzelraumregelung

Tabelle 8 Bewertungsfaktoren für die Fremdwärmenutzung

Die Daten dieses Kapitels stützen sich auf die folgenden Quellen: [Energiepass], [SIA 380/1], [DIN V 4108-6], [Recknagel 2001], [LEG], [VDI 2067 Bl. 2].

#### BEISPIEL MFH:

Das Gewinn-Verlust-Verhältnis beträgt für das bilanzierte MFH:

$$\gamma = \frac{q_l + q_s}{q_T + q_V} = \frac{(62 + 20)\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})}{(185 + 74)\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})} = 0,317$$

Da die Regelung der Wärme in den Räumen mit Thermostatventilen erfolgt und eine witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung vorhanden ist, wird der Bewertungsfaktor für die Fremdwärmenutzung nach Tabelle 8 mit  $f_{\eta}=0,90$  angesetzt.

Der Fremdwärmenutzungsgrad beträgt:

$$\eta = f_{\eta} \cdot (1 - 0,2 \cdot \gamma) = 0,90 \cdot (1 - 0,2 \cdot 0,317) = 0,843$$

## 6. Überprüfung der Heizgrenztemperatur

Die eingangs gewählte Heizgrenztemperatur  $\vartheta_{HG}$  kann und sollte anhand der Bilanzbestandteile überprüft werden. Die benötigten Größen sind die mittlere Innen- und Außentemperatur  $\vartheta_{im}$  und  $\vartheta_{am}$  sowie der Fremdwärmenutzungsgrad  $\eta$  und das Gewinn-Verlust-Verhältnis  $\gamma$ . Die folgende Formel wird dazu herangezogen:

\* Hier ist im Buch der folgende Ansatz gemacht worden:  $\eta = f_{\eta} \cdot (1 - 0,3 \cdot \gamma)$ .

\* Hier sind im Buch folgende Werte angesetzt worden: 0,2 - 0,7 - 0,8 - 0,9.



$$\vartheta_{HG} = \vartheta_{im} - \eta \cdot \gamma \cdot (\vartheta_{im} - \vartheta_{am}) .$$

Liegen der eingangs geschätzte Wert und der überprüfte Wert so weit auseinander, dass eine andere Heizgrenztemperatur gewählt werden müsste (Abweichung etwa  $\pm 1 \dots 2K$ ), sollte in Erwägung gezogen werden, die Rechnung zu wiederholen. Dies ist allerdings nur unter Anwendung von Software zu empfehlen.

**BEISPIEL MFH:**

Für das MFH beträgt die überprüfte Heizgrenztemperatur:

$$\vartheta_{HG} = \vartheta_{im} - \eta \cdot \gamma \cdot (\vartheta_{im} - \vartheta_{am}) = 20^{\circ}\text{C} - 0,843 \cdot 0,317 \cdot (20 - 6,3)\text{K} = 16,3^{\circ}\text{C} .$$

Dabei wurden für das Gewinn-Verlust-Verhältnis und den Fremdwärmenutzungsgrad die vorher berechneten Einzelkennwerte herangezogen. Dieser Wert stimmt hinreichend genau mit der eingangs gewählten Heizgrenztemperatur von  $\vartheta_{HG}=17^{\circ}\text{C}$  überein.

Quelle: Jagnow, Horschler, Wolff;  
Die neue Energieeinsparverordnung 2002;  
Deutscher Wirtschaftsdienst; Köln; 2002