

## **Energiebilanz EnEV IWU**

Ein neues freistehendes EFH mit Fußbodenheizung, mit elektronischer Einzelraumregelung und ohne Trinkwarmwasserzirkulation wird mit einem Gasbrennwertkessel und einer Solaranlage zur Trinkwarmwasserbereitung und Heizungsunterstützung versorgt. Weitere Daten sind:

- tatsächlich beheizte Fläche:  $A_{EB} = 130 \text{ m}^2$
- Umrechnungsfaktor Brennwert/Heizwert für Erdgas:  $H_s/H_i = 1,11$
- Primärenergiefaktoren:  $f_{P, Gas} = 1,1$  und  $f_{P, el.} = 2,7$  für elektrische Hilfsenergien

Anlagen zur Aufgaben:

- Anlage I zeigt die Ergebnisse einer Nachweisberechnung nach aktueller Energieeinsparverordnung (Primärenergienachweis)
- Anlage II Auszug aus der EnEV zum Anforderungsniveau nach Spalte 2
- Anlage III Höheres Anforderungsniveau nach der neuen Hamburger Klimaschutzverordnung
- Anlage IV Ausgefülltes Formblatt aus dem EXCEL-Tool des IWU für das gleiche Gebäude

- a) Vollziehen Sie den in Anlage I errechneten Höchstwert von  $117,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  nach. Die Formel dazu entnehmen Sie Anlage II (maximal zulässiger Primärenergiebedarf nach EnEV gemäß Spalte 2)!
  - b) Welcher zulässige Höchstwert für den Primärenergiebedarf ergibt sich nach der Hamburger Klimaschutzverordnung nach Anlage III, §2, Abs. (2), 2., wenn er mit der Formel berechnet wird?
  - c) Mit welcher Luftwechselzahl wurde der Lüftungswärmeverlust von gerundet  $82 \text{ W/K}$  in Anlage I errechnet? Hilfe:  $V = 0,8 \cdot V_e$ , zusammengefasster Stoffwert für Luft:  $0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \text{ K})$ .
  - d) Wie errechnet sich der Heizwärmebedarf von  $7368 \text{ kWh/a}$  sowie der flächenbezogene Wert von  $46,05 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$  nach Anlage I?
  - e) Wie hoch wäre der bezogene Heizwärmebedarf, wenn man ihn auf die tatsächlich beheizte Fläche  $A_{EB}$  bezieht?
  - f) In der Gesamtübersicht nach Anlage I "absolute Energien" bzw. "spezifische Energien" beträgt
    - der Gesamtnutzen Wärmeenergie für Trinkwarmwasserbereitung (TW) und Heizung (H):  $9368 \text{ kWh/a}$ ,
    - der Gesamtaufwand Endenergie aber nur  $7220 \text{ kWh/a}$  ( $H_i$ ).
- Ist der jährliche Ertrag aus den Solarkollektoren kleiner, gleich oder größer als die Differenz aus  $(9368 - 7220) \text{ kWh/a} = 2148 \text{ kWh/a}$ ? Antwort mit Begründung!

### Hinweis für g) bis i)

**Die Normen nach EnEV und die meisten heute verwendeten Bilanzierungsprogramme (z.B. IWU-Bilanz) geben Erzeugerverluste, Aufwandszahlen und Nutzungsgrade sowie Endenergiewerte auf den Heizwert  $H_i$  bezogen an.**

g) Die Detailergebnisse in Anlage I liefern folgende Endenergiewerte (=Input Wärmeenergie Gas) sowie **heizwertbezogenen** Aufwandszahlen als Verhältnis von Input (=Endenergie) zu Output (=Wärmeenergie ab Wärmeerzeuger):

1. Trinkwarmwasserbereitung: Endenergie 7,73 kWh/(m<sup>2</sup>a),  $e_{TW,g} = 1,13$
2. Heizung: Endenergie 37,40 kWh/(m<sup>2</sup>a),  $e_{H,g} = 0,94$

Bestimmen Sie die absoluten Kesselverluste (oder -gewinne?) für die Trinkwarmwasserbereitung und für die Heizung bezogen auf  $H_i$  und bezogen auf  $H_s$ !

h) Welcher Gesamtendenergiebedarf (=Wärmeenergie Gas) bezogen auf  $H_i$  und bezogen auf  $H_s$  für Heizung und Trinkwarmwasser würde sich ergeben, wenn die Solaranlage ausfiele und man von den o.g. Aufwandszahlen ausgeht? Die solaren Deckungsanteile betragen:

3. TW: solarer Deckungsanteil  $a_{TW,g} = 0,64$
4. H: solarer Deckungsanteil  $a_{H,g} = 0,10$

i) Die Energiebilanz des IWU nach Anlage IV nutzt spezifische Kennwerte, aber bezogen auf die tatsächlich beheizte Fläche  $A_{EB}$ . Die hiernach errechneten Werte werden i. A. als realistischer angesehen. Bestimmen Sie die absoluten Endenergiekennwerte nur für Wärmeenergie Gas. Und zwar bezogen auf  $H_i$  und auf  $H_s$ !

j) Welche Gasenergiekosten/a ergäben sich nach den beiden Verfahren (EnEV, IWU) bei einem Gaspreis von 0,07 €/kWh( $H_s$ )?

1. **Anlage I: Berechnung der Primärenergie nach der EnEV (zu Aufgabe 1)**

Ergebnisse: Allgemeine Angaben				Klausur	4/6	
Nutzfläche	$A_N$	160	m <sup>2</sup>	Musterstraße Herr Mustermann Musterstraße 12345 Musterort		
Hüllfläche	A	375	m <sup>2</sup>			
externes Gebäudevolumen	$V_e$	500	m <sup>3</sup>			
Kompaktheitsgrad	$A/V_e$	0,75	m <sup>-1</sup>			
Detailergebnisse: Heizwärmebedarf						
Wärmeverlust Transmision	HT	109	W/K	QT	7178 kWh/a	
	Gt	66	kKh/a			
Wärmeverlust Lüftung	HV	82	W/K	QV	5379 kWh/a	
	Gt	66	kKh/a			
innere Fremdwärme	QI	3520	kWh/a	$\eta$ QI	3344 kWh/a	
	$\eta$	0,95	-			
solare Fremdwärme	QS	1942	kWh/a	$\eta$ QS	1845 kWh/a	
	$\eta$	0,95	-			
Heizwärmebedarf	qh	46,05	kWh/(m <sup>2</sup> a)	Qh	7368 kWh/a	
Detailergebnisse: Trinkwarmwasserbereitung						
	Wärmeenergie			Hilfsenergie		
Nutzen	qtw	12,50	kWh/(m <sup>2</sup> a)	-	-	
Übergabe	qTW,ce	0,00	kWh/(m <sup>2</sup> a)	qTW,ce,HE	0,00 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Verteilung	qTW,d	4,12	kWh/(m <sup>2</sup> a)	qTW,d,HE	0,00 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Speicherung	qTW,s	2,37	kWh/(m <sup>2</sup> a)	qTW,s,HE	0,08 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Erzeugung (Solaranlage)	aTW,g	0,64	-	aTW,g	0,64 -	
	fP	0,00	-	fP	2,70 -	
	eTW,g	0,00	-	qTW,g,HE	0,65 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Erzeugung (Grundlastzeuger)	aTW,g	0,36	-	aTW,g	0,36 -	
	fP	1,10	-	fP	2,70 -	
	eTW,g	1,13	-	qTW,g,HE	0,24 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Endenergie	qTW,WE	7,73	kWh/(m <sup>2</sup> a)	qTW,HE	0,58 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Primärenergie	qTW,WE,P	8,50	kWh/(m <sup>2</sup> a)	qTW,HE,P	1,57 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Detailergebnisse: Heizung						
	Wärmeenergie			Hilfsenergie		
Nutzen	qh (EnEV)	46,05	kWh/(m <sup>2</sup> a)	-	-	
Gutschriften	qh, TW, d	1,85	kWh/(m <sup>2</sup> a)	-	-	
	qh, TW, s+g	1,07	kWh/(m <sup>2</sup> a)	-	-	
	qh, L	0,00	kWh/(m <sup>2</sup> a)	-	-	
	qh (effektiv)	43,13	kWh/(m <sup>2</sup> a)	-	-	
Übergabe	qH,ce	0,40	kWh/(m <sup>2</sup> a)	qH,ce,HE	0,00 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Verteilung	qH,d	0,61	kWh/(m <sup>2</sup> a)	qH,d,HE	2,26 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Speicherung	qH,s	0,07	kWh/(m <sup>2</sup> a)	qH,s,HE	0,41 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Erzeugung (Solaranlage)	aH,g	0,10	-	aH,g	0,10 -	
	fP	0,00	-	fP	2,70 -	
	eH,g	0,00	-	qH,g,HE	0,00 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Erzeugung (Grundlastzeuger)	aH,g	0,90	-	aH,g	0,90 -	
	fP	1,10	-	fP	2,70 -	
	eH,g	0,94	-	qH,g,HE	0,64 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Endenergie	qH,WE	37,40	kWh/(m <sup>2</sup> a)	qH,HE	3,25 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Primärenergie	qH,WE,P	41,14	kWh/(m <sup>2</sup> a)	qH,HE,P	8,76 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Gesamtübersicht (absolute Energien)				Klausur	5/6	
	Wärmeenergie		Hilfsenergie		Gesamt	
Nutzen	Warmwasser	2000	kWh/a	0	kWh/a	2000 kWh/a
	Lüftung und Heizung	7368	kWh/a	0	kWh/a	7368 kWh/a
	Gesamt	9368	kWh/a	0	kWh/a	9368 kWh/a
	Endenergie	Warmwasser	1236	kWh/a	93	kWh/a
Lüftung und Heizung	5984	kWh/a	519	kWh/a	6503 kWh/a	
Gesamt	7220	kWh/a	613	kWh/a	7832 kWh/a	
Primärenergie	Warmwasser	1360	kWh/a	251	kWh/a	1611 kWh/a
	Lüftung und Heizung	6582	kWh/a	1402	kWh/a	7985 kWh/a
	Gesamt	7942	kWh/a	1654	kWh/a	9596 kWh/a
	Gesamtübersicht (spezifische Energien)					
	Wärmeenergie		Hilfsenergie		Gesamt	
Nutzenergie	58,5	kWh/(m <sup>2</sup> a)	0,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)	58,5 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Endenergie	45,1	kWh/(m <sup>2</sup> a)	3,8	kWh/(m <sup>2</sup> a)	49,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Primärenergie	49,6	kWh/(m <sup>2</sup> a)	10,3	kWh/(m <sup>2</sup> a)	60,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
EnEV Anforderung						
	Istwert für dieses Gebäude		Maximalwert nach EnEV		Erfüllt?	
HT	0,290	W/(m <sup>2</sup> K)	0,500	W/(m <sup>2</sup> K)	ja	
QP	60,0	kWh/(m <sup>2</sup> a)	117,4	kWh/(m <sup>2</sup> a)	ja	
					$e_p =$ 1,02	

2.

**3. Anlage II: Anforderungsniveau der EnEV (zu Aufgabe 1)**

**1.2 Zwischenwerte zu Tabelle 1**

Zwischenwerte zu den in Tabelle 1 festgelegten Höchstwerten sind nach folgenden Gleichungen zu ermitteln:

**Spalte 2**  $Q_p'' = 50,94 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) + 75,29 \text{ kWh}/(\text{m} \cdot \text{a}) \cdot A/V_e + \Delta Q_{\text{TW}}$  in kWh/(m<sup>2</sup>·a)

**Spalte 3**  $Q_p'' = 68,74 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) + 75,29 \text{ kWh}/(\text{m} \cdot \text{a}) \cdot A/V_e$  in kWh/(m<sup>2</sup>·a)

**Spalte 4**

$$H'_T = 0,3 \frac{\text{W}}{(\text{m}^2 \cdot \text{K})} + \frac{0,15 \frac{\text{W}}{(\text{m}^3 \cdot \text{K})}}{A/V_e} \quad \text{in W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

mit

$$\Delta Q_{\text{TW}} = \frac{2600 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}}{100\text{m}^2 + A_N} \quad \text{in kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

$A_N$  nach Nr. 1.4.4 in m<sup>2</sup>

$A/V_e$  nach Nr. 1.4.3 in m<sup>-1</sup>

**Anlage III: Auszug aus der Hamburg. Klimaschutzverordnung (zu Aufgabe 1)**

**§ 2**

**Anforderungen an neu zu errichtende Wohngebäude**

- (1) Der nach der Energieeinsparverordnung 2007 berechnete Transmissionswärmeverlust  $H'_T$  darf
  1. den Wert von 0,38 W/(m<sup>2</sup>K) oder
  2. den nach der Formel  $H'_T = 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) + 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) / (A/V_e)$  errechneten Wert nicht überschreiten.
- (2) Der nach der Energieeinsparverordnung berechnete spezifische Jahres-Primärenergiebedarf  $Q_p'$  muss
  1. die nach der Energieeinsparverordnung zulässigen Werte um mindestens 30 vom Hundert oder
  2. den nach der Formel  $Q_p'' = 75 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) * A/V_e + 30 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  errechneten Wert unterschreiten.

# Anlage IV: Berechnung nach IWU (zu Aufgabe 1)

**Wärmeversorgung für Niedrigenergiehäuser – Bewertungsschema Gesamtbilanz**

**NEH + BW + SOLHU + FL**

**Brutto-Heizwärmebedarf**  $q_{H,Brutto} = 55$  kWh/(m²a)  
(ohne Berücks. der Lüftungswärmerückgewinnung)

**Lüftungswärmerückgewinnung**  $q_{LWRG} =$

**Netto-Heizwärmebedarf (mit Berücks. der Lüftungswärmerückgewinnung)**  $q_{H,Netto} = q_{H,Brutto} - q_{LWRG} = 55$  kWh/(m²a)

**Verluste Heizwärmeverteilung**  $q_{H,d} = 10$  kWh/(m²a)

**Gesamtwärmebedarf Heizung**  $q^*_H = q_{H,Netto} + q_{H,d} = 65$  kWh/(m²a)

**Nutzwärmebedarf Warmwasser**  $q_{WW} = 15$  kWh/(m²a)

**Verluste Verteilung u. Speicherung WW**  $q_{WW,d+s} = 10$  kWh/(m²a)

**Gesamtwärmebedarf Warmwasser**  $q^*_W = q_{WW} + q_{WW,d+s} = 25$  kWh/(m²a)

**Gesamtwärmebedarf Gebäude**  $q^* = q^*_H + q^*_W = 90$  kWh/(m²a)

**Wärmelieferung thermische Solaranlage** (solarer Deckungsgrad:  $D_{Sol} = q_{Sol} / q^* = 22\%$ )  $q_{Sol} = 20$  kWh/(m²a)

**Nettowärmebedarf Gebäude**  $q_{Netto} = q^* - q_{Sol} = 70$  kWh/(m²a)

Nah- oder Fernwärmeversorgung:  
**Wärmeverluste Verteilnetz** (Nutzungsgr. Verteilnetz  $\eta_{NW,d} = \frac{q_{Netto}}{q_{NW,d} + q_{NW,d}} =$  )  $q_{NW,d} =$

solare Nahwärme:  
**Wärmelieferung zentrale Solaranlage**  $q_{NW,Sol} =$

**Wärmeerzeugung gesamt**  $q_g = q_{Netto} + q_{NW,d} - q_{NW,Sol} = 70$  kWh/(m²a)

**Grundlast-Wärmeerzeuger**  $D_{Grund} = 100\%$

**Spitzenlast-Wärmeerzeuger**  $D_{Spitze} = 1 - D_{Grund}$

**Deckungsgrad**  $D_{Grund} = 100\%$

**Wärmeerzeugung**  $q_{Grund} = 70$  kWh/(m²a)

**Aufwandszahlen Wärmeerzeugung**  $e_{g,Grund} = 1,02$

**Energieträger** (BHKWs: Brennstoffbedarf und Stromgutschrift siehe Rechenhilfe KWK)

**Endenergiebedarf**  $q_{E,Grund} = 71$  kWh/(m²a)

**Primärenergiefaktoren**  $f_{p,Grund} = 1,10$

**Primärenergiebedarf**  $q_{P,Grund} = 79$  kWh/(m²a)

**Gesamt**  $q_P = q_{P,Grund} + q_{P,Spitze} + q_{P,HE} = 86$  kWh/(m²a)

	je nach Belegungsdichte	Anhaltswert
<b>q<sub>H,Brutto</sub></b>	35 ... 45	40 ... 70 kWh/(m²a)
<b>q<sub>LWRG</sub></b>	20 ... 30	15 ... 30 kWh/(m²a)
<b>q<sub>H,Netto</sub></b>	< 15	20 ... 70 kWh/(m²a)
<b>q<sub>H,d</sub></b>	2 ... 20	10 kWh/(m²a)
<b>q<sub>WW</sub></b>	10 ... 20	15 kWh/(m²a)
<b>q<sub>WW,d+s</sub></b>	5 ... 15	10 kWh/(m²a)

  

	q <sub>Sol</sub> in kWh/(m²a)	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Solaranlagen nur für Warmwasser	10 ... 15	12
Solaranl. für WW + Heizungsunterstützung	10 ... 30	20

  

	q <sub>NW,d</sub> in kWh/(m²a)	
	je nach Verteilst. u. Dämmstandard	Anhaltswert
Siedlungstyp		
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	25 ... 45	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	15 ... 30	25
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	5 ... 15	10
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	2 ... 10	6

  

	D <sub>Grund</sub>	
	je nach Auslegung	Anhaltswert*
Heizkessel als alleiniger Wärmeerzeuger monoval.	100%	100%
Wärmepumpen (Erdreich/Luft)	100%	100%
bivalente Wärmepumpen (Erdreich / Luft)	80% ... 99%	95% / 90%
Abluft-Wärmepumpen q <sub>H0</sub> = 40 kWh/(m²a)	80% ... 95%	90%
q <sub>H0</sub> = 55 kWh/(m²a)	40% ... 70%	60%
q <sub>H0</sub> = 70 kWh/(m²a)	30% ... 50%	40%
BHKW	30% ... 95%	-

  

	f <sub>p</sub>	
	Standardwert	
Erdgas	1,10	
Flüssiggas	1,10	
Heizöl	1,10	
Strom	2,70*	
Biomasse **	0,20	

\*) Näheres siehe Rechenhilfe

\*) Bei Ansatz nach DIN V 4701-10: f<sub>p</sub> = 3,0

\*\*\*) bei Ansatz eines Biomasse-Budgets f<sub>p</sub> = 0,20 ... 1,20 / siehe Rechenhilfe

**Primärenergie-Aufwandszahl des Gesamtsystems**  $e_p = \frac{q_p}{q_{H,Brutto} + q_{WW}} = 1,23$

**der Wärmeerzeugung**  $e_{p,g} = \frac{q_{P,Grund} + q_{P,Spitze}}{q_g} = 0,87$

	q <sub>E,HE</sub>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Basiswert für Verteilung und Regelung	1,0 ... 3,0	2,0
Zirkulation	+0,5 ... +1,5	+1,0
keine Nachtabschaltung Heizungsap.	+0,3 ... +0,7	+0,5
keine Nachtabschaltung Zirkulation	+0,3 ... +0,7	+0,5
Lüftungsanlage mit Wärmerückgew.	+1,3 ... +4,0	+3,0
Abluftanlage	+0,5 ... +2,0	+1,0
thermische Solaranlage	+0,5 ... +1,5	+0,7
Nahwärme	+0,5 ... +4,0	+ 0,1 x q <sub>NW,d</sub>

	e <sub>g</sub>	
	je nach Bauart und Betriebsweise	Anhaltswert
Niedertemperaturkessel	1,05 ... 1,20	1,10
Brennwertkessel	0,98 ... 1,10	1,02
Erdreich-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,29
Luft-Wärmepumpe	0,35 ... 0,42	0,37
Abluft-Wärmepumpe	0,25 ... 0,36	0,30
BHKW*	0,00 ... 0,80	0,70
Gasmotor-Wärmepumpe	0,70 ... 0,90	0,80
elektrischer Heizstab	1,00	1,00
Holzpelletkessel	1,30 ... 1,50	1,40

\*) siehe Rechenhilfe BHKW, alternative Verfahren: Stromgutschriftmethode / Gesamtenergieeffizienzmethode

**alle Kennwerte bezogen auf die reale beheizte Wohnfläche**

Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt – Juli 2005