

4. Anhang Berechnungsgrundlagen

In diesem Anhang befinden sich die zugrunde liegenden Berechnungen wie folgt:

4.1 Mehrfamilienwohnhaus

4.2 Doppel- bzw. Reihnhaus

4.3 Einfamilienwohnhaus

Wärmeverluste der thermischen Gebäudehülle

Hüllfläche	A m ²	U W/ (m ² K)	F _x	Anmerkung	L _D W/K
FF Süd	45,2	0,715	1,00 F _F	51 02	34,6
FF West	16,1	0,715	1,00 F _F	51 02	12,3
FF Nord	21,3	0,715	1,00 F _F	51 02	16,3
FF Ost	16,1	0,715	1,00 F _F	51 02	12,3
FAW Haus-Tür	6,0	1,443	1,00 F _{AW}	51	9,0
FAW Stb.-Bauteile	26,7	0,174	1,00 F _{AW}	51	6,0
FAW Mauerwerk	347,4	0,169	1,00 F _{AW}	51	76,0
FAW Ausbauseitenwand	18,4	0,250	1,00 F _{AW}	51	5,5
FG Keller-IW Treppenhaus	18,3	0,666	0,70 F _G	51 25 21	9,5
FG Keller-AW Treppenhaus	35,1	0,352	0,60 F _{bw}	51 25 13	9,2
FD Sparren	87,1	0,163	1,00 F _D	51	18,6
FD Zangen	126,8	0,157	0,80 F _{Dd}	51 06	22,3
FD Flachdach Ausbau	14,0	0,160	1,00 F _D	51	2,9
FD FS-Decke Spitzb.	4,5	0,608	0,80 F _{Dd}	51 06	2,4
FAW FS-Wand Spitzb.	4,7	0,550	0,50 F _u	51 08	1,5
FD Decke über Erker	16,4	0,140	0,80 F _{Dd}	51 06	2,6
FG FS-Sohle	4,5	0,345	0,60 F _G	51 25 14	1,2
FG FS-Wand Erdreich	8,9	0,352	0,60 F _G	51 25 14	2,3
FG FS-Wand z. KG	11,1	0,631	0,70 F _G	51 25 21	5,4
FG Kellerdecke	108,0	0,329	0,70 F _G	51 25 21	30,3
FG Bodenplatte	117,8	0,184	0,60 F _G	51 25 14	18,9
FG Kellersohlplatte TH	25,4	0,346	0,45 F _{bf}	51 25 12	5,2

$$\Sigma A \text{ [m}^2\text{]} = 1.079,6 \qquad \Sigma L_{D+H_u+L_s} \text{ [W/K]} = 304,3$$

darin enthaltene Wärmebrückenzuschläge $L_{D,WB} = 54,0 \text{ W/K}$ (17,7%)

Bodenplattenmaß $B' = A_G / (0,5 P) = 25 / 13 = 2,01 \text{ m}$ (DIN V 4108-6, E.3)

Anmerkungen

- 01 F_x-Werte nach DIN V 4108-6, Tab.3 (Regelfall), ab 2020 nach DIN V 18599-2:2018 Tab.6
- 02 Die solaren Gewinne werden gesondert ermittelt (siehe unten).
- 06 Dachgeschossdecke zum nicht ausgebauten Dachraum.
- 08 Wärmeverluste zum unbeheizten Raum.
- 12 Bodenplatte des beheizten Kellers.
- 13 Wand des beheizten Kellers.
- 14 Bodenplatte auf Erdreich ohne Randdämmung.
- 21 Decke / Wand zum unbeheizten Keller ohne Perimeterdämmung.
- 25 F_x-Tabellenwert für das Bodenplattenmaß $B' = 25,4 / 12,6 = 2,01$.
- 51 Der Einfluss der Wärmebrücken wird mit einem U-Wert-Zuschlag von $0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ pauschal berücksichtigt. Die Konstruktionshinweise nach DIN 4108, Bbl.2 werden eingehalten.

spezifischer Transmissionswärmeverlust (DIN 4108-6, Gl.28)

$$H_T = \Sigma U_i \cdot A_i + H_u + L_s + H_{WB} + \Delta H_{T,FH} = \mathbf{304,3 \text{ W/K}} \quad (0,28 \text{ W/(m}^2\text{K)})$$

Beheiztes Gebäude- und Luftvolumen

Bezeichnung	Volumenermittlung	V [m ³]
1 [Gebäudevolumen]	2123,07	2123,1
2		

Beheiztes Gebäudevolumen	$V_e =$	2.123 m ³
Gebäudenutzfläche	$A_N = 0,32 \cdot V_e =$	679 m ²
beheiztes Luftvolumen	$V_L = 0,76 \cdot V_e =$	1.614 m ³

Lüftungswärmeverluste

Luftvolumen Netto-Luftvolumen $V_N = V_L = 1614 \text{ m}^3$
Lüftung freie Lüftung, Dichtheitsprüfung, $n = 0,60 \text{ h}^{-1}$

Spezifischer Lüftungswärmeverlust $H_V = 0,34 * n * V_N = \mathbf{329,2 \text{ W/K}}$ (DIN V 4108-6, 6.2)

Interne Wärmegewinne

Nutzfläche $A_N = 0,32 * V = 679 \text{ m}^2$
Wärmeleistung Wohngebäude (Anhang D.3), $q_{i,M} = 5,0 \text{ W/m}^2$

Brutto-Wärmegewinne $\Phi_{i,M} = q_{i,M} * A_N = \mathbf{3.397 \text{ W}}$ (DIN V 4108-6, 6.3)

Solare Wärmegewinne

Effektive Kollektorflächen A_s für Deutschland (Potsdam), nördliche Breite $50^\circ,00'$

Kollektorfläche	A [m ²]		g_{\perp}	F_F	F_C	F_h	F_O	F_f	A_s
Fenster									
FF Süd	45,2	Süd	90°	0,48	0,77	0,90			13,5
FF West	16,1	West	90°	0,48	0,77	0,90			4,8
FF Nord	21,3	Nord	90°	0,48	0,77	0,90			6,4
FF Ost	16,1	Ost	90°	0,48	0,77	0,90			4,8

$A_s [\text{m}^2] = A * 0,90 * g_{\perp} * F_F * F_C * F_s$ mit $F_s = F_h * F_O * F_f$ (DIN V 4108-6, Gl.54)
 F_F berücksichtigt den Rahmenanteil der Fenster. Abminderungsfaktor F_C für permanente Sonnenschutzvorrichtungen, Teilbestrahlungsfaktoren F_h für Horizontwinkel der Verbauung, F_O für horizontale Überhänge und F_f für seitliche Abschattungsflächen nach DIN V 4108-6, Tab.7 ff.

Die Summe der Teilbestrahlungsfaktoren F_s wird für den öffentlich-rechtlichen Nachweis mit 0.9 angenommen

solare Wärmegewinne über opake Bauteile werden nicht berücksichtigt

Strahlungsintensitäten I_s für Deutschland (Potsdam)

[W/m ²]	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr
- 0°	180	127	77	31	17	29	44	97	189
Süd 90°	127	123	106	39	29	59	47	98	147
West 90°	105	79	47	19	11	17	24	60	114
Nord 90°	57	41	25	13	7	10	18	31	58
Ost 90°	115	83	55	20	12	25	29	68	134
Kollektorfläche			Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr
Fenster									
FF Süd			1435	528	393	799	636	1327	1990
FF West			226	91	53	82	115	288	548
FF Nord			159	83	45	64	115	197	369
FF Ost			264	96	58	120	139	327	644
solare Wärmeströme $\Sigma\Phi_S$ [W]			2084	798	548	1064	1006	2139	3551
$\Sigma\Phi_S * t$ [kWh]			1551	575	408	792	676	1592	2557

Die solaren Wärmegewinne werden monatlich berechnet (sh. unten).

Wirksame Wärmespeicherfähigkeit

Vereinfachter Ansatz für schwere Gebäude mit massiven Innen- und Außenbauteilen ohne untergehängte Decken 50 Wh/m³K

$$c_{\text{wirk}} = 50,0 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K}), \quad c_{\text{wirk}} * V_e = 106.154 \text{ Wh/K}$$

$$\text{Parameter } a = a_0 + c_{\text{wirk}} / (H * \tau_0) = 1 + c_{\text{wirk}} / (H * 16) = 1 + 6635 / H \text{ (Gl.75, monatlich)}$$

Heizunterbrechung

Abschaltbetrieb während der Nachtstunden (DIN V 4108-6, D.3 und Anhang C)

Nachtabsenkung für $t_u = 7,0$ Stunden

Mindest-Innentemperatur $\theta_{\text{isb}} = 15,0$ °C

Heizungsanlage mit Nennleistung $\Phi_{\text{pp}} = 1.5 * (H_T + H_V) * 31 = 26.903 \text{ W}$ (automatisch aktualisiert, darin H_V mit Luftwechselrate $n = 0.5$)

Abschaltbetrieb

Interne Gewinne während der Nachtabsenkung $\Phi_g = 3397 \text{ W}$, Luftwechselrate $n = 0,50$

Wirksame Wärmespeicherfähigkeit $C_{\text{wirk, Heizunterbrechung}} = 18,0 * V_e = 38.215 \text{ Wh/K}$

	θ_e °C	θ_{inh} °C	θ_{i1} °C	t_{nh} h	t_{sb} h	t_{bh} h	θ_{co} °C	θ_{c1} °C	θ_{c2} °C	θ_{c3} °C	ΔQ_{ilj} kWh	ΔQ_{il} kWh
Jan	1,0	1,0	16,8	7,0	0,0	1,6	18,8	17,1	17,1	17,9	5,9	184
Feb	1,9	1,9	16,9	7,0	0,0	1,3	18,8	17,2	17,2	17,9	5,6	156
Mär	4,7	4,7	17,2	7,0	0,0	0,6	18,9	17,5	17,5	17,8	4,5	139
Apr	9,2	9,2	17,8	7,0	0,0	0,0	18,9	17,9	17,9	17,9	3,0	91
Mai	14,1	14,1	18,4	7,0	0,0	0,0	19,0	18,5	18,5	18,5	1,5	47
Jun	16,7	16,7	18,7	7,0	0,0	0,0	19,0	18,8	18,8	18,8	0,7	21
...												
Aug	18,6	18,6	19,0	7,0	0,0	0,0	19,0	19,0	19,0	19,0	0,1	4
Sep	14,3	14,3	18,4	7,0	0,0	0,0	19,0	18,5	18,5	18,5	1,5	44
Okt	9,5	9,5	17,8	7,0	0,0	0,0	18,9	18,0	18,0	18,0	2,9	91
Nov	4,1	4,1	17,1	7,0	0,0	0,8	18,9	17,4	17,4	17,8	4,7	141
Dez	0,9	0,9	16,8	7,0	0,0	1,6	18,8	17,0	17,0	17,9	6,0	186

Reduzierung der Wärmeverluste durch eine Heizunterbrechung

$$\Delta Q_{\text{ij}} = H_{\text{sb}} * [(\theta_{\text{io}} - \theta_{\text{inh}}) * t_{\text{nh}} + (\theta_{\text{io}} - \theta_{\text{sb}}) * t_{\text{isb}} + (\theta_{\text{io}} - \theta_{\text{ipp}}) * t_{\text{bh}}] - C * \zeta * (\theta_{\text{co}} - \theta_{\text{c1}} + \theta_{\text{c2}} - \theta_{\text{c3}})$$

Reduzierung der Wärmeverluste in einem Monat $\Delta Q_{\text{ij}} = \Delta Q_{\text{ij}} * \dots \text{ Tage}$

Reduzierung der Wärmeverluste in einem Jahr $Q_{\text{NA}} = \Sigma \Delta Q_{\text{ij}} = 1104,6 \text{ kWh/a}$

H_V Spezifischer Lüftungswärmeverlust während der Heizunterbrechung = $0.34 * 0.50 * V_L = 274 \text{ W/K}$

H_{sb} Spezifischer Wärmeverlust während der Heizunterbrechung = $H_T + H_V = 579 \text{ W/K}$

H_{ic} Spezifischer Wärmeverlust zwischen den Bauteilen und dem Innenraum = $4 * A_N / 0.13 = 20.904 \text{ W/K}$

H_W Spezifischer Wärmeverlust aller leichten Bauteile (60 kg/m²)

$$H_W = 33,9 + 12,0 + 15,9 + 12,0 + 8,9 + 5,2 + 20,4 + 2,7 = 111 \text{ W/K}$$

H_{ce} Spezifischer Wärmeverlust zwischen den Innenbauteilen und außen

$$H_{\text{ce}} = H_{\text{ic}} * (H_{\text{sb}} - H_W - H_V) / (H_{\text{ic}} - H_{\text{sb}} + H_W + H_V) = 195 \text{ W/K}$$

ζ Wirksamer Anteil der Wärmespeicherfähigkeit = $H_{\text{ic}} / (H_{\text{ic}} + H_{\text{ce}}) = 0,99$

ξ Verhältniswert = $H_{\text{ic}} / (H_{\text{ic}} + H_W + H_V) = 0,99$

τ_p Reaktionszeit der Bauteiltemperatur auf einen Wechsel der Heizleistung = $\zeta * C / (\xi * H_{\text{sb}}) = 66,65$

τ_T Ansprechzeit der Bauteiltemperatur auf einen Wechsel der Lufttemperatur = $\zeta * C / (H_{\text{ce}} + H_{\text{ic}}) = 1,79$

θ_e Außentemperatur

θ_{inh} niedrigste, erreichbare Innentemperatur (im Abschaltbetrieb θ_e , abgesenkt $\theta_e * \Phi_{\text{rp}} / H_{\text{sb}}$)

θ_{ipp} höchstmögliche Innentemperatur ($\theta_e + (\Phi_{\text{pp}} + \Phi_g) / H_{\text{sb}}$)

θ_{i1} Innentemperatur am Ende der Nichtheizphase ohne Regelphase = $\theta_{\text{inh}} + \xi * (\theta_{\text{co}} - \theta_{\text{cnh}}) * \exp(-t_{\text{nh}} / \tau_p)$

t_{nh} Zeit in der nicht geheizt wird (Gl. C.18, 20, 23)

t_{sb} Zeit mit (abgesenktem) Regelbetrieb (Gl. C.26)

t_{bh} Zeit der Aufheizphase (Gl. C.29 / EN 832 J.28)

θ_{co} Bauteiltemperatur zu Beginn der Absenkung ($\theta_e + \zeta * (\theta_{\text{i0}} - \theta_e)$)

θ_{c1} Bauteiltemperatur am Ende der Nichtheizphase (Gl. C.21, 25)

θ_{c2} Bauteiltemperatur am Ende der Regelphase (Gl. C.28)

θ_{c3} Bauteiltemperatur am Ende der Aufheizphase (Gl. C.31)

ΔQ_{ij} Reduzierung des Wärmeverlustes infolge intermittierender Beheizung [kWh] (Gl. C.32)

Heizwärmebedarf

Transmissionsverluste	$Q_t = (\Sigma L_D) \cdot \Delta T \cdot d - \Delta Q_{il}$
thermische Hülle	$\Sigma L_D = 304 \text{ W/K}$
Heizunterbrechung	ΔQ_{il} monatlich
Lüftungswärmeverluste	$H_V = 329 \text{ W/K}$
Interne Gewinne	$\Phi_{i,M} = 3397 \text{ W}$
Solare Gewinne	Φ_s [W] (monatlich)
Ausnutzungsgrad	$\eta = (1 - \gamma^a) / (1 - \gamma^{a+1})$ (a sh. c_{wirk}) $\gamma = Q_g / Q_i$ (monatlich, DIN V 4108-6, 6.5)

	t_A °C	Q_t kWh	$H_V \cdot \Delta T \cdot d$ kWh	$\Phi_{i,M} \cdot d \cdot \eta$ kWh	$\Phi_s \cdot d \cdot \eta$ kWh	η	Q_h kWh
Jan	1,0	3.890	4.408	2.527	792	1,00	4.979
Feb	1,9	3.341	3.782	2.283	676	1,00	4.165
Mär	4,7	3.098	3.502	2.523	1.589	1,00	2.488
Apr	9,2	2.056	2.323	2.069	2.163	0,85	146
Mai	14,1	1.062	1.200	1.109	1.153	0,44	0
Jun	16,7	482	545	500	527	0,20	0
Jul	19,0	-	-	-	-	0,00	-
Aug	18,6	87	98	96	89	0,04	-
Sep	14,3	986	1.114	1.169	931	0,48	0
Okt	9,5	2.059	2.327	2.398	1.472	0,95	516
Nov	4,1	3.123	3.531	2.446	575	1,00	3.634
Dez	0,9	3.912	4.433	2.527	408	1,00	5.410
	9,5	24.095	27.262	19.647	10.373		21.337

Jahres-Heizwärmebedarf $Q_h = 21.337 \text{ kWh/a}$ ($q_h = 31,4 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$)
 Heizzeit vom 26.10. bis 12.4. (168 Tage, Gl.27, Orientierungsgröße informativ)
 erforderliche Heizleistung, Orientierungswert 27 kW (kein Bemessungswert)
 Berechnungsgang für den Monat Januar
 $Q_t = (304,3) \cdot 18,0 \cdot 31 \cdot 24 / 1000 - 184,2 = 3891,0 \text{ kWh}$
 $H_V \cdot \Delta T \cdot d = 329,2 \cdot 18,0 \cdot 31 \cdot 24 / 1000 = 4408,6 \text{ kWh}$
 $\Phi_{i,M} \cdot d = 3396,9 \cdot 31 \cdot 24 / 1000 = 2527,3 \text{ kWh}$
 $\Phi_s \cdot d = 1064,3 \cdot 31 \cdot 24 / 1000 = 791,8 \text{ kWh}$
 $\gamma = (2527,3 + 791,9) / (3890,4 + 4408,1) = 0,40$ $a = 1 + 106154 / (304,3 + 329,2) / 16 = 11,47$
 $\eta = (1 - \gamma^a) / (1 - \gamma^{a+1}) = 1,000 / 1,000 / 0,998 / 0,846 / 0,439$ (Jan / Feb / Mrz / Apr / Mai)

Wärmebedarf für Warmwasserbereitung

pauschaler Ansatz $12,5 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ (öffentlich-rechtlicher Nachweis)

$$Q_{\text{tw}} = A_N \cdot q_{\text{tw}} = 679 \cdot 12,5 = 8.492 \text{ kWh/a}$$

Anlagentechnik (DIN V 4701-10)

Anlagen-Aufwandszahl aus der Anlagenberechnung (siehe Haustechnik)
 Heizung: Eit-Wärmepumpe + Eit-Direktheizung ... freie Lüftung ... Warmwasser: Heizungs-WP mit Zirkulation - Energieträger: [Strom]

Anlagen-Aufwandszahl $e_p = 0,59$

Gesamt-Endenergie ohne Hilfsenergie, lokal $Q_{\text{WE,E}} = 11.146 \text{ kWh/a}$ ($16,4 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$)
 Hilfsenergie, lokal $Q_{\text{HE,E}} = 1.605 \text{ kWh/a}$ ($2,4 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$)

Nachweise

für ein neu errichtetes Gebäude
Referenzberechnung = "Mehrfamilienwohnhaus-Referenz2020"

Nachweis der thermischen Hülle

zulässiger, spezifischer Transmissionswärmeverlust für ein Wohngebäude nach GEG 2020 § 16
zul $H'_{T} = \text{zul } H'_{T,REF} = 0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
vorh $H'_{T} = H_T / \Sigma A = 304,3 / 1079,6 = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

vorh $H'_{T} = 0,28 \leq 0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, **Grenzwert wird eingehalten**

Nachweis des Primärenergiebedarfs

Höchstwert des grundflächenbezogenen Jahres-Primärenergiebedarfs nach GEG 2020 § 15
zul $q_{P,Ref} = 57,89 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ aus der Referenzberechnung
zul $q_{P,Ref} = 57,89 - 25\% = 43,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, geforderte Unterschreitung ab 2016
vorh $q_p = (Q_h + Q_w) \cdot e_p / A_N = 17547 / 679,4 = 25,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

vorh $q_p = 25,8 \leq 43,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, **Grenzwert wird eingehalten**

Nachweis der Nutzung erneuerbarer Energien

(detaillierter Nachweis siehe Berechnungsblatt DIN V 4701-10)

Die Anforderungen aus dem Gebäudeenergiegesetz 2020, §§ 34 ff **werden erfüllt**

KfW-Förderprogramme

Die Förderprogramme der Kreditanstalt für Wiederaufbau zur CO₂ - Minderung durch Effizienzhäuser sind an die Einhaltung / Unterschreitung der nachfolgend aufgeführten Grenzwerte gebunden.

Förderprogramme für Energieeffizientes Bauen (Programm Nr. 153, Stand 04/2018)

Referenzberechnung = "Mehrfamilienwohnhaus-Referenz2020"

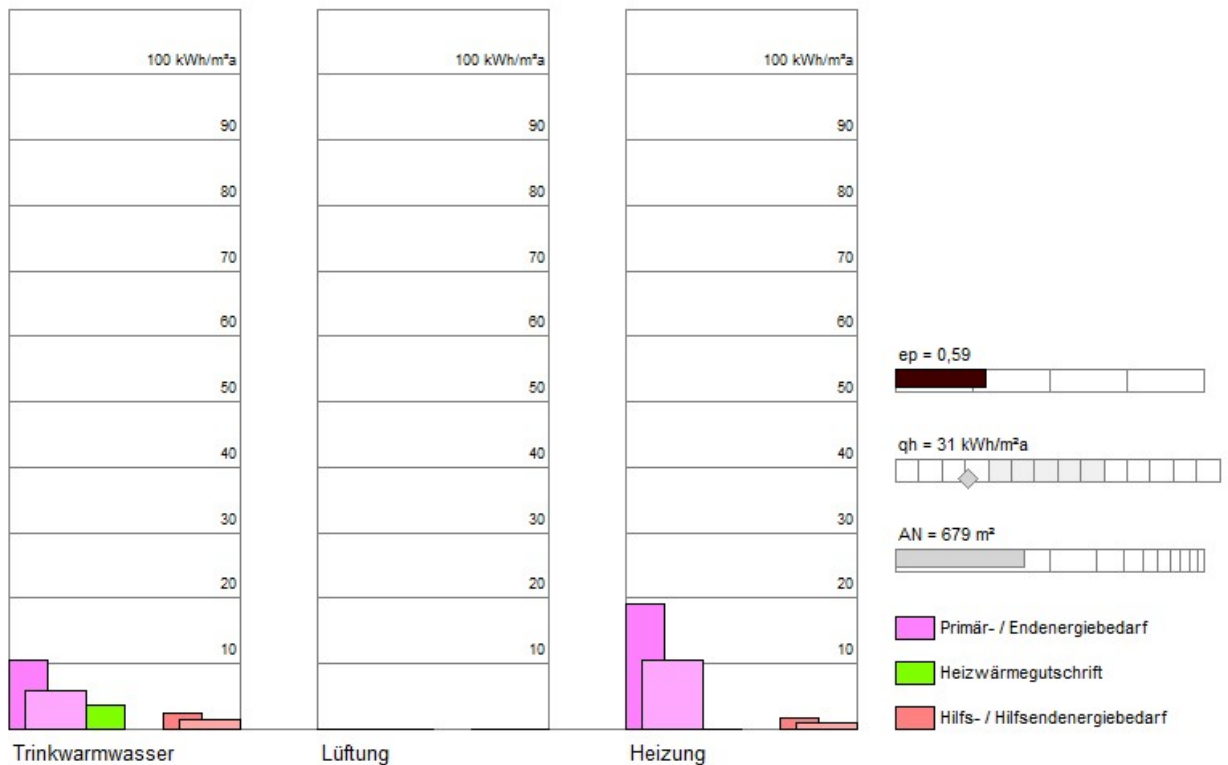
Endenergieeinsparung	18.643 kWh/a
Primärenergieeinsparung	11.950 kWh/a
CO ₂ -Einsparung	411 kg/a

	REF %	$Q_{P'}'$ kWh/ (m ² a)	REF %	H'_{T} W/ (m ² K)	
vorhanden	45 %	25,8	72 %	0,282	
Referenzwerte	100 %	57,9	100 %	0,389	
EnEV-Anforderungen	75 %	43,4	100 %	0,389	erfüllt
KfW Effizienzhaus 55	55 %	31,8	70 %	0,272	nicht erfüllt
KfW Effizienzhaus 40	40 %	23,2	55 %	0,214	nicht erfüllt
Beigelegte KfW-Formblätter: keine					

Haus- und Anlagentechnik (Wohngebäude)

Gebäudeberechnung "Mehrfamilienwohnhaus"

Primär- und Endenergiebedarf



Anlagenkurzbeschreibung

mit Endenergie versorgter Bereich $A_N = 679 \text{ m}^2$

Heizwärmebedarf $q_h = 31,4 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$, Trinkwasserwärmebedarf $q_{tw} = 12,5 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$

Tabellenverfahren nach DIN V 4701-10 Anhang C.3

Heizung: Elt-Wärmepumpe + Elt-Direktheizung ... freie Lüftung ... Warmwasser: Heizungs-WP mit Zirkulation ... Energieträger: [Strom]

Ermittlung der Anlagenaufwandszahl ep

Aufwandszahlen e_i und Energieverluste der Erzeugung, Speicherung und Verteilung, Wärmegutschriften, Hilfsenergiebedarf, Deckungsanteile α und Primärenergiefaktoren f_p .

Verwendete Indizes: P-Primärenergie, E-Endenergie, HE-Hilfsenergie, TW-Trinkwarmwasser, L-Lüftung, H-Heizung.

Zur Berechnung der Anlagenaufwandszahl nach DIN V 4701-10 mit Tabellenwerten wird eine Heizzeit von 185 Tagen zu Grunde gelegt.

Detailliert berechnete Anlagen-Kenngrößen liegen nicht vor.

Anlage zur Warmwasserbereitung

mit Trinkwarmwasser versorgter Bereich $A_N = 679 \text{ m}^2$

Trinkwasserwärmebedarf $q_{\text{TW}} = 12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Anlagenteil	Aufwandszahl [-]	Verlust kWh/ (m ² a)	Gutschrift kWh/ (m ² a)	Hilfsenergie kWh/ (m ² a)	α [%]	f _p	Anm.
Erzeuger I	0,30				95	1,80	60
Speicher		1,2	0,6	0,04			30
Verteilung		6,7	3,0	0,29			20
Erzeuger II							
		7,9	3,6	0,33	95		

60) Heizungswärmepumpe Luft/Wasser, Aufwandszahl $e_{\text{TW,g}}$ nach DIN V 4701-10, Tab. C.1-4d [Strom]

30) Indirekt beheizter Speicher innen, Wärmeverlust $q_{\text{TW,s}}$, Wärmegutschrift $q_{\text{h,TW,s}}$ und Hilfsenergiebedarf $q_{\text{TW,s,HE}}$ nach DIN V 4701-10, Tab. C.1-3a

20) Gebäudezentrale TW-Verteilung mit Zirkulation, weniger als 10 m Verteilungen außen, Steigleitungen im nicht belüfteten Schacht, Wärmeverlust $q_{\text{TW,d}}$, Wärmegutschrift $q_{\text{h,TW,d}}$ und Hilfsenergiebedarf $q_{\text{TW,d,HE}}$ nach DIN V 4701-10, Tab. C.1-2a / C.1-2b

Die Trinkwassererwärmung wird mit einer elektrischen Zusatzheizung unterstützt. Der Hilfsenergiebedarf $q_{\text{TW,HE}}$ wird erhöht um $0,05 \cdot (12,5 + 7,9) = 1,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Primär- und Endenergiebedarf für Trinkwasserbereitung

Gl. 4.2-3, Aufwandszahl * Primärenergiefaktor $\Sigma(e_{\text{TW,g,i}} \cdot \alpha_{\text{TW,g,i}} \cdot f_{\text{P,i}})$	0,51
Gl. 4.2-3, Primärenergiebedarf $q_{\text{TW,P}} = (12,5 + 7,9) \cdot 0,51$	10,5 kWh/(m ² a)
Gl. 4.2-4, Heizwärmegutschrift $q_{\text{h,TW}} = 3,6$	3,6 kWh/(m ² a)
Gl. 4.2-5, Hilfsenergiebedarf $q_{\text{TW,HE}} = +0,04+0,29+1,02$	1,3 kWh/(m ² a)
Gl. 4.2-5, Hilfsenergiebedarf $q_{\text{TW,HE,P}} = 1,3 \cdot 1,8$	2,4 kWh/(m ² a)

Endenergiebedarf $Q_{\text{TW,E}} = (12,5 + 7,9) \cdot (0,28 + 0,00) \cdot 679$ 3.949 kWh/a

Hilfsendenergiebedarf $Q_{\text{TW,HE,E}} = 1,3 \cdot 679$ 917 kWh/a

Heizungsanlage

beheizter Bereich $A_N = 679 \text{ m}^2$

Heizwärmebedarf $q_{\text{h}} = 31,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

verbleibender Bedarf $q_{\text{h,0}} = 31,4 - 3,6 = 27,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Anlagenteil	Aufwandszahl [-]	Verlust kWh/ (m ² a)	Hilfsenergie kWh/ (m ² a)	α %	f _p	Anm.
Erzeuger I	0,30			95	1,80	195
Erzeuger II	1,00			5	1,80	200
Speicher			0,13			207
Verteilung		0,5	0,88			225
Übergabe		3,3				256
		3,8	1,01	100		

195) Elektro-Wärmepumpe Luft/Wasser, 35/28°C, Aufwandszahl e_{g} und Hilfsenergiebedarf $q_{\text{g,HE}}$ nach DIN V 4701-10 Tab. C.3-4c [Strom]

200) Elektro-Direktheizung, Aufwandszahl e_{g} nach DIN V 4701-10 Tab. C.3-4d [Strom]

207) Pufferspeicher des Wärmeerzeugers innen, Systemtemperatur 35/28 °C, Wärmeverlust $q_{\text{H,S}}$ und Hilfsenergiebedarf $q_{\text{H,s,HE}}$ nach DIN V 4701-10, Tab. C.3-3

225) horizontale Verteilung innen, Steiger innenliegend Systemtemperaturen 35/28 °C, geregelte Pumpe, Wärmeverluste der Verteilungen q_{d} und Hilfsenergiebedarf $q_{\text{d,HE}}$ nach DIN V 4701-10, Tab. C.3-2

256) Fußboden- und andere Flächenheizungen, Einzelraumregelung mit Zweipunktregler, Schaltdifferenz 2 K, Wärmeverlust q_{ce} nach DIN V 4701-10 Tab. C.3-1

Primär- und Endenergiebedarf für Heizung

Gl. 4.2-18, benötigte Heizwärme $q_{\text{h,0}} = q_{\text{h}} - q_{\text{h,TW}} - q_{\text{h,L}} = 31,4 - 3,6$ 27,8 kWh/(m²a)

Gl. 4.2-18, Aufwandszahl * Primärenergiefaktor $\Sigma(e_{\text{H,g,i}} \cdot \alpha_{\text{H,g,i}} \cdot f_{\text{P,i}})$ 0,60

Gl. 4.2-18, Primärenergiebedarf $q_{H,P} = (27,8 + 3,8) * 0,60$	19,1 kWh/(m ² a)
Gl. 4.2-19, Hilfsenergiebedarf $q_{H,HE,P} = (+0,1+0,9) * 1,8$	1,8 kWh/(m ² a)
Endenergiebedarf $Q_{H,E} = (27,8 + 3,8) * (0,28 + 0,05) * 679$	7.197 kWh/a
Hilfsendenergiebedarf $Q_{H,HE,E} = 1,0 * 679$	688 kWh/a

Anlagen-Aufwandszahl

Stromgutschrift aus erneuerbaren Energiequellen

Strom aus einer Photovoltaikanlage 12 kWp, - 0 °, Stromertrag nach DIN V 18599-9:2018 im örtlichen Zusammenhang erzeugt, vorrangig im Gebäude genutzt

Energiequelle = "Photovoltaik"

Strombedarf siehe Abs 7.11, Energiebedarf nach Energieträgern

Monat		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Jahr
Stromangebot	kWh	172	261	575	1121	1311	1429	1245	8677
Strombedarf	kWh	2371	2218	1744	982	152	0	0	12751
verwendet	kWh	172	261	575	982	152	0	0	3003

Jahres-Stromproduktion = 8.677 kWh/a, Strombedarf = 12751 kWh/a, anrechenbar = 3.003 kWh/a

$Q_P = (10,5+2,4)*679+(19,1+1,8)*679-3003*1,8$	17.547 kWh/a
Heizwärmebedarf $Q_h = q_h * A_N = 31,4 * 679$	21.337 kWh/a
Trinkwasserwärmebedarf $Q_{tw} = q_{tw} * A_N = 12,5 * 679$	8.492 kWh/a

Anlagen-Aufwandszahl $e_p = Q_P / (Q_h + Q_{tw}) = 17.547 / (21.337 + 8.492)$ **0,59**

Primärenergie $Q_P = 17.547$ kWh/a (25,8 kWh/(m²a))

Endenergie ohne Hilfsenergie, lokal $Q_{WE,E} = 3.949 + 7.197 = 11.146$ kWh/a (16,4 kWh/(m²a))

Hilfsendenergie, lokal $Q_{HE,E} = 917 + 688 = 1.605$ kWh/a (2,4 kWh/(m²a))

Effizienzklasse auf Basis des Endenergiebedarfs $(11146 + 1605) / 679,4 = 18,8$ kWh/(m²a)

Effizienzklasse A+ nach GEG § 86

Energiebedarf nach Energieträgern

Bedarfswerte auch für den Energieausweis

Energieträger	Endenergie kWh/a		f _p	Primärenergie kWh/a	
[Strom]	11.146	87 %	1,8	20.064	87 %
Hilfsenergie (Strom)	1.605	13 %	1,8	2.888	13 %
	12.751	100 %		22.952	100 %

CO₂-Emissionen (GEG 2020) 5.459 kg/a

Endenergie nach Energieträgern	Heizung kWh/ (m ² a)	Warmwasser kWh/ (m ² a)	Lüftung kWh/ (m ² a)	Summe kWh/ (m ² a)
[Strom]	10,6	5,8	0,0	16,4
Hilfsenergie Strom	1,0	1,4	0,0	2,4

Nutzungspflicht für Erneuerbare Energien

Nachweis für privat genutzte Gebäude

Wärme- und Kälteenergiebedarf = 11.146 + 23.502 = 34.648 kWh/Jahr (mit Solar-, Umwelt- und Abwärme sowie Kälteenergie)

darin enthaltene Deckungsanteile aus erneuerbaren Energiequellen oder Ersatzmaßnahmen:

Energiequelle	Energieertrag kWh/a	Deckungsanteil		Nutzungs- anteil
		erzielt	gefordert	
Umweltwärme [WW-WP] [Hzg-W	33.574	96,9 %	50,0 %	193,8 %
				193,8 %

Deckungsanteil durch Einsparung von Energie

	Grenzwert	erzielt	Unterschreitung		Nutzungs- anteil	
			erzielt	gefordert		
HT'- Wert	W/(m ² K)	0,39	0,28	27,5 %	15,0 %	183,6 %
QP	kWh/(m ² a)	43,4	25,8	40,5 %	15,0 %	

erreichter Nutzungsanteil, Summe = 377,4 % ≥ Nutzungspflichtanteil = 100 %

Die Anforderungen aus dem GEG § 34 **werden erfüllt**

Energiekosten und Wirtschaftlichkeit

zur Gebäudeberechnung "Mehrfamilienwohnhaus"
⇔ Vergleich mit "Mehrfamilienwohnhaus-Referenz2020"

Energiebedarf nach DIN V 4701-10
siehe Berechnungsblatt "EnEV 4108-6" ($\Sigma A_{NGF} = 679 \text{ m}^2$, Endenergie = 11.146 kWh/a)

Berechneter Endenergiebedarf

Heizung: Elt-Wärmepumpe + Elt-Direktheizung ... freie Lüftung ... Warmwasser: Heizungs-WP mit Zirkulation ...
Energieträger: [Strom]
⇔ Vergleich mit Berechnung "Mehrfamilienwohnhaus-Referenz2020"
Heizung: BW-Kessel außen ... Lüftungsanlage: ... Warmwasser: BW-Kessel mit Zirkulation + solar ... Energieträger:
[Erdgas], solar, Strom

	Mehrfamilienwohnhaus	Mehrfamilienwohnhaus-Referenz2020		
Standort	Deutschland (Potsdam)	Deutschland (Potsdam)		
Umbauter Raum	2.123	2.123	m ³	
Gebäudenutzfläche A_N	679	679	m ²	
Heizwärmebedarf Q_H	21.337	25.889	kWh/a	+21 %
Warmwasserwärmebedarf Q_{TW}	8.492	8.492	kWh/a	
Anlagenaufwandszahl e_p	0,59	1,16		+97 %
Endenergiebedarf $Q_{WE,E}$	11.146	40.550	kWh/a	+264 %
Hilfsenergiebedarf [Strom], $Q_{HE,E}$	1.605	1.747	Kwh/a	+8,9 %
Energiebedarf [Strom]	11.146	-	kWh/a	
Energiebedarf [Erdgas]	-	33.390	kWh/a	
Energiebedarf [solar]	-	7.160	kWh/a	
Brennstoffbedarf				
[Strom]	11.146	-	kWh	
[Erdgas]	-	3.590	cbm	
[solar]	-	-	ohne	

Der Endenergiebedarf $Q_{WE,E}$ beinhaltet Anlagenverluste und den Aufwand der Wärmeerzeugung.

CO₂ - Emissionen

	Mehrfamilienwohnhaus	Mehrfamilienwohnhaus-Referenz2020		
Hilfsenergie	1.605	1.747	kWh/a	+8,9 %
Hilfsenergie Strom, 683 g CO ₂ /kWh	1.096	1.193	kg/a	+8,9 %
Energieträger [Strom]	11.146	-	kWh/a	
Strom-Mix 560 g/kWh	6.242	-	kg/a	
Energieträger [Erdgas]	-	33.390	kWh/a	
Erdgas 240 g/kWh	-	8.014	kg/a	
Energieträger [solar]	-	7.160	kWh/a	
solar	-	-	kg/a	
CO ₂ -Emissionen insgesamt	7.338	9.207	kg/a	+25 %

4.2) Doppel- und Reihenhaus

1. Heizwärme- und Primärenergiebedarf

Maßgebende Normen und Verordnungen:

GEG 2020, Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien in Gebäuden

DIN 4108-2:2013, Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

DIN 4108, Bbl.2:2019, Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele

DIN EN ISO 6946:2018, Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient

DIN EN ISO 13370:2018, Wärmeübertragung über das Erdreich

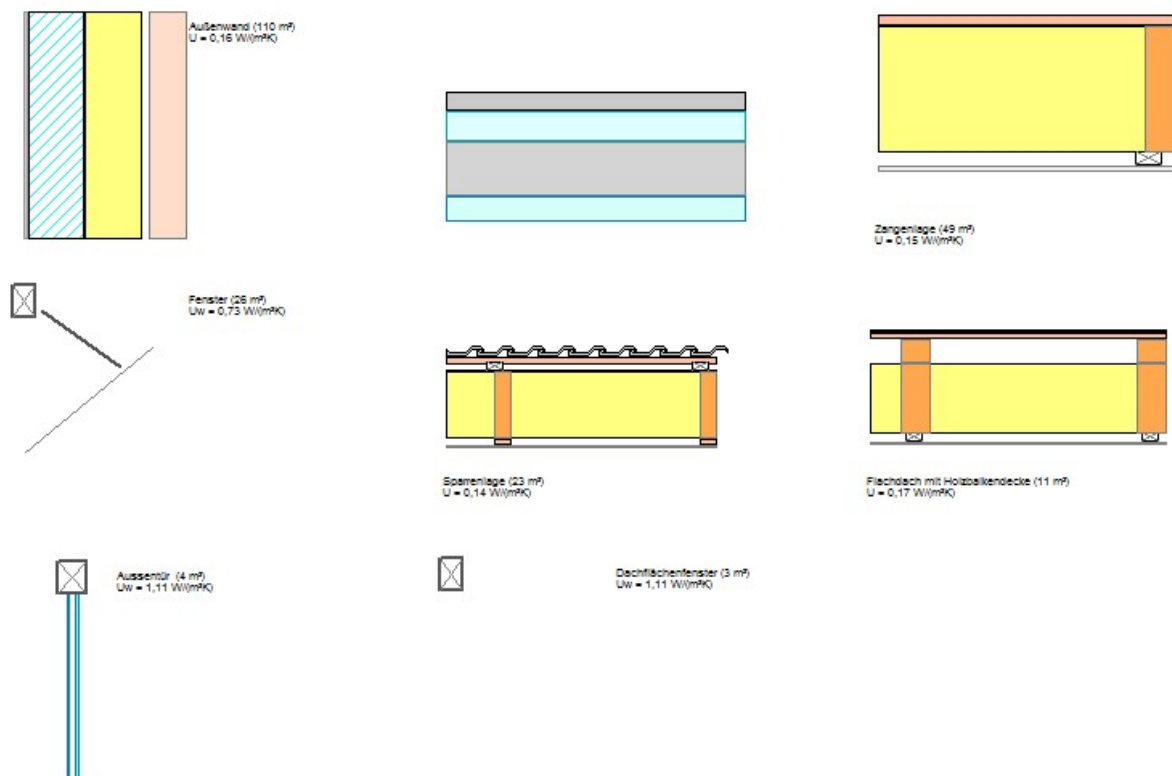
DIN V 4108-6:2003, Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs

DIN V 4701-10:2003, Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen

DIN V 4701-12:2004, Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen im Bestand

1.1 Gebäudeberechnung "Doppelhaus PV"

Bauteilübersicht



Nachweisverfahren

Neubau von Wohngebäuden, Verfahren nach DIN V 4108-6 / DIN V 4701-10

Referenzwertverfahren für den öffentlich-rechtlichen Nachweis nach GEG §§ 15, 16 und Anlage 1 zur Begrenzung des Jahres-Primärenergiebedarfs und des spezifischen Transmissionswärmeverlustes der thermischen Hülle

Primärenergiefaktor für Hilfeenergie $f_{p,HE} = 1.8$ (ab 2016)

Allgemeine Hinweise und Erläuterungen

Flächen und Längenangaben beziehen sich auf die Außenmaße.

Standort "**Deutschland (Potsdam)**", 50°,00' nördl. Breite, Region 4, T_a (im Jahresmittel) = 9,5°C

Sollinnentemperatur = 19,0 °C

Wärmebrückeneinflüsse werden pauschal berücksichtigt $L_D = A \cdot (U \cdot F_x + 0.05)$

1.2 Wärmeverluste der thermischen Gebäudehülle

Hüllfläche	A m ²	U W/ (m ² K)	F _x	Anmerkung	L _D W/K	
AW Außenwand	110,2	0,156	1,00 F _{AW}	51	22,7	
Fenster N-W	5,4	0,732	1,00 F _F	51 02	4,2	
Fenster S-W	14,8	0,732	1,00 F _F	51 02	11,6	
Fenster N-O	6,0	0,732	1,00 F _F	51 02	4,7	
Türen	3,6	1,115	1,00 F _{AW}	51	4,2	
Dachflächenfenster N-O	1,4	1,109	1,00 F _F	51 02	1,6	
Dachflächenfenster S-W	1,4	1,109	1,00 F _F	51 02	1,6	
Dach	22,6	0,142	1,00 F _D	51	4,3	
Zangenlage	49,0	0,146	0,80 F _{Dd}	51 06	8,2	
Sohlplatte	79,2	0,122	0,45 F _G	51 25 14	8,3	
Balkenlage	11,4	0,173	1,00 F _D	51	2,5	
$\Sigma A \text{ [m}^2\text{]} =$					304,8	
$\Sigma L_{D+H_u+L_s} \text{ [W/K]} =$					74,0	

darin enthaltene Wärmebrückenzuschläge $L_{D,WB} = 15,2 \text{ W/K}$ (20,6%)

Bodenplattenmaß $B' = A_G / (0.5 P) = 79 / 18 = 4,39 \text{ m}$ (DIN V 4108-6, E.3)

Anmerkungen

- 01 F_x-Werte nach DIN V 4108-6, Tab.3 (Regelfall), ab 2020 nach DIN V 18599-2:2018 Tab.6
- 02 Die solaren Gewinne werden gesondert ermittelt (siehe unten).
- 06 Dachgeschossdecke zum nicht ausgebauten Dachraum.
- 14 Bodenplatte auf Erdreich ohne Randdämmung.
- 25 F_x-Tabellenwert für das Bodenplattenmaß $B' = 79,2 / 18,0 = 4,39$.
- 51 Der Einfluss der Wärmebrücken wird mit einem U-Wert-Zuschlag von $0,05 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ pauschal berücksichtigt. Die Konstruktionshinweise nach DIN 4108, Bbl.2 werden eingehalten.

spezifischer Transmissionswärmeverlust (DIN 4108-6, Gl.28)

$H_T = \Sigma U_i \cdot A_i + H_u + L_s + H_{WB} + \Delta H_{T,FH} = 74,0 \text{ W/K}$ ($0,24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$)

1.3 Beheiztes Gebäude- und Luftvolumen

Bezeichnung	Volumenermittlung	V [m ³]
1 Gebäude	441,47	441,5
2		
Beheiztes Gebäudevolumen		$V_e = 441 \text{ m}^3$
Gebäudenutzfläche		$A_N = 0,32 \cdot V_e = 141 \text{ m}^2$
beheiztes Luftvolumen		$V_L = 0,80 \cdot V_e = 353 \text{ m}^3$

1.4 Lüftungswärmeverluste

Luftvolumen Netto-Luftvolumen $V_N = V_L = 353 \text{ m}^3$
 Lüftung freie Lüftung, Dichtheitsprüfung, $n = 0,60 \text{ h}^{-1}$

Spezifischer Lüftungswärmeverlust $H_V = 0.34 \cdot n \cdot V_N = 72,0 \text{ W/K}$ (DIN V 4108-6, 6.2)

1.5 Interne Wärmegewinne

Nutzfläche $A_N = 0,32 \cdot V = 141 \text{ m}^2$
 Wärmeleistung Wohngebäude (Anhang D.3), $q_{i,M} = 5,0 \text{ W/m}^2$

Brutto-Wärmegewinne $\Phi_{i,M} = q_{i,M} \cdot A_N = 706 \text{ W}$ (DIN V 4108-6, 6.3)

1.6 Solare Wärmegewinne

Effektive Kollektorflächen A_S für Deutschland (Potsdam), nördliche Breite $50^\circ,00'$

Kollektorfläche	A [m ²]		g _L	F _F	F _C	F _H	F _O	F _f	A _S
Fenster									
Fenster N-W	5,4	N-W	90°	0,48	0,70		0,90		1,5
Fenster S-W	14,8	S-W	90°	0,48	0,70		0,90		4,0
Fenster N-O	6,0	N-O	90°	0,48	0,70		0,90		1,6
Dachflächenfenst	1,4	N-O	42°	0,55	0,70		0,90		0,4
Dachflächenfenst	1,4	S-W	42°	0,55	0,70		0,90		0,4

A_S [m²] = A * 0,90 * g_L * F_F * F_C * F_S mit $F_S = F_H * F_O * F_f$ (DIN V 4108-6, Gl.54)
F_F berücksichtigt den Rahmenanteil der Fenster. Abminderungsfaktor F_C für permanente Sonnenschutzvorrichtungen, Teilbestrahlungsfaktoren F_H für Horizontwinkel der Verbauung, F_O für horizontale Überhänge und F_f für seitliche Abschattungsflächen nach DIN V 4108-6, Tab.7 ff.

Die Summe der Teilbestrahlungsfaktoren F_S wird für den öffentlich-rechtlichen Nachweis mit 0.9 angenommen

solare Wärmegewinne über opake Bauteile werden nicht berücksichtigt

Strahlungsintensitäten I_S für Deutschland (Potsdam)

[W/m ²]	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr
- 0°	180	127	77	31	17	29	44	97	189
Süd 90°	127	123	106	39	29	59	47	98	147
West 90°	105	79	47	19	11	17	24	60	114
Nord 90°	57	41	25	13	7	10	18	31	58
Ost 90°	115	83	55	20	12	25	29	68	134
Kollektorfläche									
Fenster									
Fenster N-W			41	19	10	16	26	56	115
Fenster S-W			322	125	88	161	145	334	547
Fenster N-O			47	21	11	18	31	66	141
Dachflächenfenster N-O			18	9	5	7	13	27	57
Dachflächenfenster S-W			43	17	10	19	21	48	85
solare Wärmeströme									
$\Sigma\Phi_S$ [W]			471	190	125	220	236	531	945
$\Sigma\Phi_S * t$ [kWh]			351	137	93	164	158	395	680

Die solaren Wärmegewinne werden monatlich berechnet (sh. unten).

1.7 Wirksame Wärmespeicherfähigkeit

Vereinfachter Ansatz für schwere Gebäude mit massiven Innen- und Außenbauteilen ohne untergehängte Decken 50 Wh/m³K

$$c_{\text{wirk}} = 50,0 \text{ Wh/(m}^3\text{K)}, \quad c_{\text{wirk}} * V_e = 22.074 \text{ Wh/K}$$

$$\text{Parameter } a = a_0 + c_{\text{wirk}} / (H * \tau_0) = 1 + c_{\text{wirk}} / (H * 16) = 1 + 1380 / H \text{ (Gl.75, monatlich)}$$

1.8 Heizunterbrechung

Abschaltbetrieb während der Nachtstunden (DIN V 4108-6, D.3 und Anhang C)

Nachtabenkung für $t_u = 7,0$ Stunden

Mindest-Innentemperatur $\theta_{isb} = 15,0$ °C

Heizungsanlage mit Nennleistung $\Phi_{pp} = 1,5 \cdot (H_T + H_V) \cdot 31 = 6.231$ W (automatisch aktualisiert, darin H_V mit Luftwechselrate $n = 0,5$)

Abschaltbetrieb

Interne Gewinne während der Nachtabenkung $\Phi_g = 706$ W, Luftwechselrate $n = 0,50$

Wirksame Wärmespeicherfähigkeit $C_{\text{wirk, Heizunterbrechung}} = 18,0 \cdot V_e = 7.946$ Wh/K

	θ_e °C	θ_{inh} °C	θ_{i1} °C	t_{nh} h	t_{sb} h	t_{bh} h	θ_{co} °C	θ_{c1} °C	θ_{c2} °C	θ_{c3} °C	ΔQ_{ilj} kWh	ΔQ_{i1} kWh
Jan	1,0	1,0	16,6	7,0	0,0	1,6	19,1	17,2	17,2	18,1	1,5	46
Feb	1,9	1,9	16,7	7,0	0,0	1,3	19,1	17,3	17,3	18,1	1,4	39
Mär	4,7	4,7	17,1	7,0	0,0	0,6	19,1	17,6	17,6	18,0	1,1	35
Apr	9,2	9,2	17,7	7,0	0,0	0,0	19,1	18,0	18,0	18,0	0,8	23
Mai	14,1	14,1	18,3	7,0	0,0	0,0	19,0	18,5	18,5	18,5	0,4	12
Jun	16,7	16,7	18,7	7,0	0,0	0,0	19,0	18,8	18,8	18,8	0,2	5
...												
Aug	18,6	18,6	18,9	7,0	0,0	0,0	19,0	19,0	19,0	19,0	0,0	1
Sep	14,3	14,3	18,4	7,0	0,0	0,0	19,0	18,5	18,5	18,5	0,4	11
Okt	9,5	9,5	17,7	7,0	0,0	0,0	19,1	18,1	18,1	18,1	0,7	23
Nov	4,1	4,1	17,0	7,0	0,0	0,7	19,1	17,5	17,5	18,0	1,2	35
Dez	0,9	0,9	16,6	7,0	0,0	1,6	19,1	17,2	17,2	18,1	1,5	46

Reduzierung der Wärmeverluste durch eine Heizunterbrechung

$$\Delta Q_{ij} = H_{sb} \cdot [(\theta_{io} - \theta_{inh}) \cdot t_{nh} + (\theta_{io} - \theta_{sb}) \cdot t_{sb} + (\theta_{io} - \theta_{ipp}) \cdot t_{bh}] - C \cdot \zeta \cdot (\theta_{co} - \theta_{c1} + \theta_{c2} - \theta_{c3})$$

Reduzierung der Wärmeverluste in einem Monat $\Delta Q_{ij} = \Delta Q_{ij} \cdot \dots$ Tage

Reduzierung der Wärmeverluste in einem Jahr $Q_{NA} = \Sigma \Delta Q_{ij} = 275,2$ kWh/a

H_V Spezifischer Lüftungswärmeverlust während der Heizunterbrechung = $0,34 \cdot 0,50 \cdot V_L = 60$ W/K

H_{sb} Spezifischer Wärmeverlust während der Heizunterbrechung = $H_T + H_V = 134$ W/K

H_{ic} Spezifischer Wärmeverlust zwischen den Bauteilen und dem Innenraum = $4 \cdot A_N / 0,13 = 4.347$ W/K

H_W Spezifischer Wärmeverlust aller leichten Bauteile (60 kg/m^2)

$H_W = 39,0 + 5,9 + 16,2 + 6,5 + 5,3 + 2,0 + 2,0 + 4,7 + 9,8 + 15,1 + 2,2 = 109$ W/K

H_{ce} Spezifischer Wärmeverlust zwischen den Innenbauteilen und außen

$$H_{ce} = H_{ic} \cdot (H_{sb} - H_W - H_V) / (H_{ic} - H_{sb} + H_W + H_V) = -34 \text{ W/K}$$

ζ Wirksamer Anteil der Wärmespeicherfähigkeit = $H_{ic} / (H_{ic} + H_{ce}) = 1,01$

ξ Verhältniswert = $H_{ic} / (H_{ic} + H_W + H_V) = 1,01$

τ_p Reaktionszeit der Bauteiltemperatur auf einen Wechsel der Heizleistung = $\zeta \cdot C / (\xi \cdot H_{sb}) = 62,10$

τ_T Ansprechzeit der Bauteiltemperatur auf einen Wechsel der Lufttemperatur = $\zeta \cdot C / (H_{ce} + H_{ic}) = 1,86$

θ_e Außentemperatur

θ_{inh} niedrigste, erreichbare Innentemperatur (im Abschaltbetrieb θ_e , abgesenkt $\theta_e \cdot \Phi_{rp} / H_{sb}$)

θ_{ipp} höchstmögliche Innentemperatur ($\theta_e + (\Phi_{pp} + \Phi_g) / H_{sb}$)

θ_{i1} Innentemperatur am Ende der Nichtheizphase ohne Regelphase = $\theta_{inh} + \xi \cdot (\theta_{co} - \theta_{cnh}) \cdot \exp(-t_{nh} / \tau_p)$

t_{nh} Zeit in der nicht geheizt wird (Gl. C.18, 20, 23)

t_{sb} Zeit mit (abgesenktem) Regelbetrieb (Gl. C.26)

t_{bh} Zeit der Aufheizphase (Gl. C.29 / EN 832 J.28)

θ_{co} Bauteiltemperatur zu Beginn der Absenkung ($\theta_e + \zeta \cdot (\theta_{i0} - \theta_e)$)

θ_{c1} Bauteiltemperatur am Ende der Nichtheizphase (Gl. C.21, 25)

θ_{c2} Bauteiltemperatur am Ende der Regelphase (Gl. C.28)

θ_{c3} Bauteiltemperatur am Ende der Aufheizphase (Gl. C.31)

ΔQ_{ij} Reduzierung des Wärmeverlustes infolge intermittierender Beheizung [kWh] (Gl. C.32)

1.9 Heizwärmebedarf

Transmissionsverluste thermische Hülle	$Q_t = (\Sigma L_D) \cdot \Delta T \cdot d - \Delta Q_{il}$
Heizunterbrechung	$\Sigma L_D = 74 \text{ W/K}$
Lüftungswärmeverluste	ΔQ_{il} monatlich $H_V = 72 \text{ W/K}$
Interne Gewinne	$\Phi_{i,M} = 706 \text{ W}$
Solare Gewinne	Φ_s [W] (monatlich)
Ausnutzungsgrad	$\eta = (1 - \gamma^a) / (1 - \gamma^{a+1})$ (a sh. c_{Wirk}) $\gamma = Q_g / Q_l$ (monatlich, DIN V 4108-6, 6.5)

	t_A °C	Q_t kWh	$H_V \cdot \Delta T \cdot d$ kWh	$\Phi_{i,M} \cdot d \cdot \eta$ kWh	$\Phi_s \cdot d \cdot \eta$ kWh	η	Q_h kWh
Jan	1,0	945	965	526	164	1,00	1.220
Feb	1,9	811	828	475	158	1,00	1.006
Mär	4,7	752	767	524	394	1,00	600
Apr	9,2	499	508	417	558	0,82	32
Mai	14,1	258	263	213	308	0,40	0
Jun	16,7	117	119	94	142	0,19	0
Jul	19,0	-	-	-	-	0,00	-
Aug	18,6	21	21	19	23	0,04	0
Sep	14,3	239	244	244	239	0,48	0
Okt	9,5	500	509	506	337	0,96	166
Nov	4,1	758	773	509	137	1,00	886
Dez	0,9	950	970	526	93	1,00	1.301
	9,5	5.850	5.967	4.052	2.554		5.212

Jahres-Heizwärmebedarf $Q_h = 5.212 \text{ kWh/a}$ ($q_h = 36,9 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$)
 Heizzeit vom 25.10. bis 14.4. (171 Tage, Gl.27, Orientierungsgröße informativ)
 erforderliche Heizleistung, Orientierungswert 6 kW (kein Bemessungswert)
 Berechnungsgang für den Monat Januar
 $Q_t = (74,0) \cdot 18,0 \cdot 31 \cdot 24 / 1000 - 45,9 = 945,1 \text{ kWh}$
 $H_V \cdot \Delta T \cdot d = 72,0 \cdot 18,0 \cdot 31 \cdot 24 / 1000 = 964,2 \text{ kWh}$
 $\Phi_{i,M} \cdot d = 706,4 \cdot 31 \cdot 24 / 1000 = 525,6 \text{ kWh}$
 $\Phi_s \cdot d = 220,1 \cdot 31 \cdot 24 / 1000 = 163,8 \text{ kWh}$
 $\gamma = (525,5 + 163,7) / (944,6 + 964,9) = 0,36$ $a = 1 + 22074 / (74,0 + 72,0) / 16 = 10,45$
 $\eta = (1 - \gamma^a) / (1 - \gamma^{a+1}) = 1,000 / 1,000 / 0,998 / 0,821 / 0,405$ (Jan / Feb / Mrz / Apr / Mai)

1.10 Wärmebedarf für Warmwasserbereitung

pauschaler Ansatz $12,5 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ (öffentlich-rechtlicher Nachweis)

$$Q_{\text{tw}} = A_N \cdot q_{\text{tw}} = 141 \cdot 12,5 = 1.766 \text{ kWh/a}$$

1.11 Anlagentechnik (DIN V 4701-10)

Anlagen-Aufwandszahl aus der Anlagenberechnung (siehe Haustechnik)
 Heizung: Eit-Wärmepumpe + Eit-Direktheizung ... freie Lüftung ... Warmwasser: Heizungs-WP ohne Zirkulation - Energieträger: [Strom]

Anlagen-Aufwandszahl $e_p = 0,23$

Gesamt-Endenergie ohne Hilfsenergie, lokal $Q_{\text{WE,E}} = 2.602 \text{ kWh/a}$ ($18,4 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$)
 Hilfsenergie, lokal $Q_{\text{HE,E}} = 593 \text{ kWh/a}$ ($4,2 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$)

1.12 Nachweise

für ein neu errichtetes Gebäude
Referenzberechnung = "Doppelhaus-Referenz2020"

1.12.1 Nachweis der thermischen Hülle

zulässiger, spezifischer Transmissionswärmeverlust für ein Wohngebäude nach GEG 2020 § 16
zul $H'_{T} = \text{zul } H'_{T,REF} = 0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
vorh $H'_{T} = H_T / \Sigma A = 74,0 / 304,8 = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

vorh $H'_{T} = 0,24 \leq 0,39 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, **Grenzwert wird eingehalten**

1.12.2 Nachweis des Primärenergiebedarfs

Höchstwert des grundflächenbezogenen Jahres-Primärenergiebedarfs nach GEG 2020 § 15
zul $q_{P,Ref} = 74,66 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ aus der Referenzberechnung
zul $q_{P,Ref} = 74,66 - 25\% = 56,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, geforderte Unterschreitung ab 2016
vorh $q_p = (Q_h + Q_w) \cdot e_p / A_N = 1587 / 141,3 = 11,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

vorh $q_p = 11,2 \leq 56,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, **Grenzwert wird eingehalten**

1.12.3 Nachweis der Nutzung erneuerbarer Energien

(detaillierter Nachweis siehe Berechnungsblatt DIN V 4701-10)

Die Anforderungen aus dem Gebäudeenergiegesetz 2020, §§ 34 ff **werden erfüllt**

1.13 KfW-Förderprogramme

Die Förderprogramme der Kreditanstalt für Wiederaufbau zur CO₂ - Minderung durch Effizienzhäuser sind an die Einhaltung / Unterschreitung der nachfolgend aufgeführten Grenzwerte gebunden.
Förderprogramme für Energieeffizientes Bauen (Programm Nr. 153, Stand 04/2018)

Referenzberechnung = "Doppelhaus-Referenz2020"

Endenergieeinsparung 5.135 kWh/a
Primärenergieeinsparung 6.323 kWh/a
CO₂-Einsparung 1.250 kg/a

		$Q_{P'}'$		H_T'		
		REF	%	REF	%	
		kWh/ (m ² a)		W/ (m ² K)		
vorhanden		15	%	63	%	0,243
Referenzwerte		100	%	100	%	0,385
EnEV-Anforderungen		75	%	100	%	0,385 erfüllt
KfW Effizienzhaus 55	55	55	%	70	%	0,269 erfüllt
KfW Effizienzhaus 40	40	40	%	55	%	0,212 nicht erfüllt

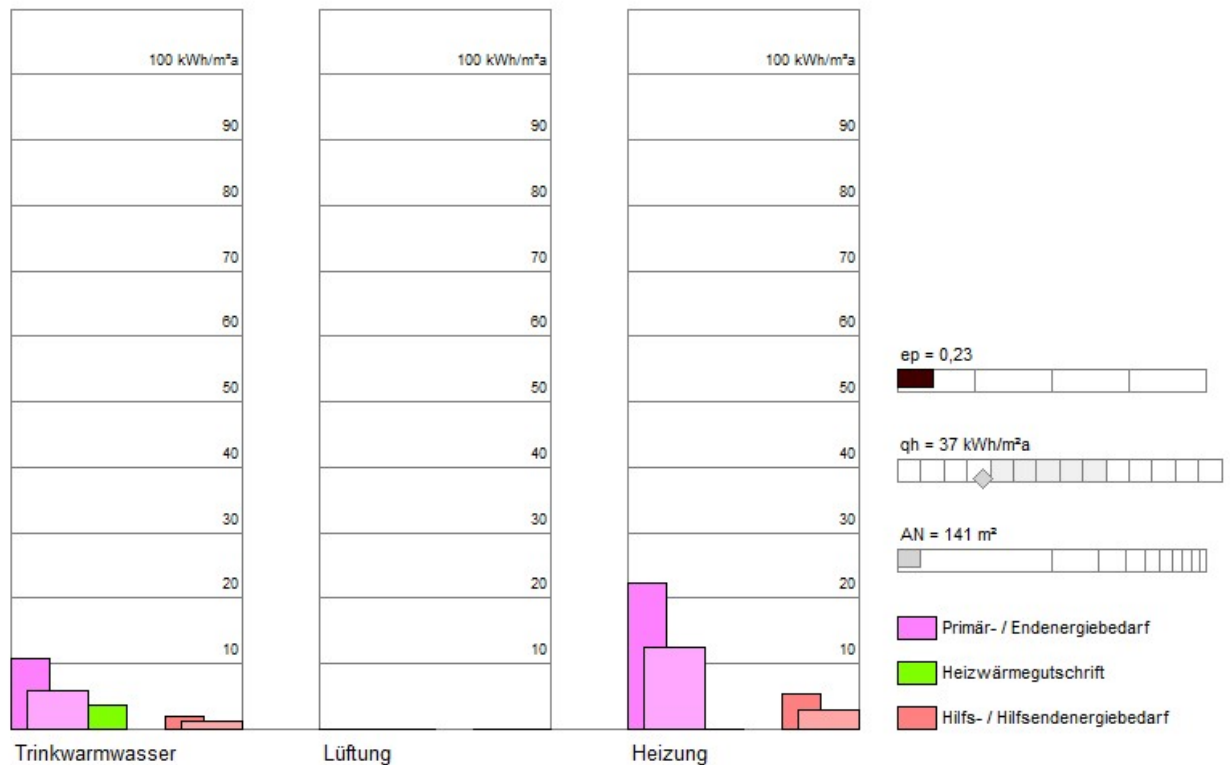
"KfW Effizienzhaus 55" ... **wird erreicht**

Beigelegte KfW-Formblätter: keine

2. Haus- und Anlagentechnik (Wohngebäude)

Gebäudeberechnung "Doppelhaus PV"

Primär- und Endenergiebedarf



2.1 Anlagenkurzbeschreibung

mit Endenergie versorgter Bereich $A_N = 141 \text{ m}^2$

Heizwärmebedarf $q_h = 36,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, Trinkwasserwärmebedarf $q_{tw} = 12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Tabellenverfahren nach DIN V 4701-10 Anhang C.3

Heizung: Elt-Wärmepumpe + Elt-Direktheizung ... freie Lüftung ... Warmwasser: Heizungs-WP ohne Zirkulation ... Energieträger: [Strom]

2.2 Ermittlung der Anlagenaufwandszahl ep

Aufwandszahlen e_i und Energieverluste der Erzeugung, Speicherung und Verteilung, Wärmegutschriften, Hilfsenergiebedarf, Deckungsanteile α und Primärenergiefaktoren f_p .

Verwendete Indizes: P-Primärenergie, E-Endenergie, HE-Hilfsenergie, TW-Trinkwarmwasser, L-Lüftung, H-Heizung.

Zur Berechnung der Anlagenaufwandszahl nach DIN V 4701-10 mit Tabellenwerten wird eine Heizzeit von 185 Tagen zu Grunde gelegt.

Detailliert berechnete Anlagen-Kenngrößen liegen nicht vor.

2.3 Anlage zur Warmwasserbereitung

mit Trinkwarmwasser versorgter Bereich $A_N = 141 \text{ m}^2$

Trinkwasserwärmebedarf $q_{\text{TW}} = 12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Anlagenteil	Aufwandszahl [-]	Verlust kWh/ (m ² a)	Gutschrift kWh/ (m ² a)	Hilfsenergie kWh/ (m ² a)	α [%]	f _p	Anm.
Erzeuger I	0,30				95	1,80	60
Speicher		4,1	1,8	0,09			30
Verteilung		4,4	2,0				21
Erzeuger II							
		8,5	3,8	0,09	95		

60) Heizungswärmepumpe Luft/Wasser, Aufwandszahl $e_{\text{TW,g}}$ nach DIN V 4701-10, Tab. C.1-4d [Strom]

30) Indirekt beheizter Speicher innen, Wärmeverlust $q_{\text{TW,s}}$, Wärmegutschrift $q_{\text{h,TW,s}}$ und Hilfsenergiebedarf $q_{\text{TW,s,HE}}$ nach DIN V 4701-10, Tab. C.1-3a

21) Gebäudezentrale TW-Verteilung ohne Zirkulation, weniger als 10 m Verteilungen außen, Steigleitungen im nicht belüfteten Schacht, Wärmeverlust $q_{\text{TW,d}}$, Wärmegutschrift $q_{\text{h,TW,d}}$ und Hilfsenergiebedarf $q_{\text{TW,d,HE}}$ nach DIN V 4701-10, Tab. C.1-2a / C.1-2b

Die Trinkwassererwärmung wird mit einer elektrischen Zusatzheizung unterstützt. Der Hilfsenergiebedarf $q_{\text{TW,HE}}$ wird erhöht um $0,05 \cdot (12,5 + 8,5) = 1,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Primär- und Endenergiebedarf für Trinkwasserbereitung

Gl. 4.2-3, Aufwandszahl * Primärenergiefaktor $\Sigma(e_{\text{TW,g,i}} \cdot \alpha_{\text{TW,g,i}} \cdot f_{\text{P,i}})$	0,51
Gl. 4.2-3, Primärenergiebedarf $q_{\text{TW,P}} = (12,5 + 8,5) \cdot 0,51$	10,8 kWh/(m ² a)
Gl. 4.2-4, Heizwärmegutschrift $q_{\text{h,TW}} = 3,8$	3,8 kWh/(m ² a)
Gl. 4.2-5, Hilfsenergiebedarf $q_{\text{TW,HE}} = +0,09 + 1,05$	1,1 kWh/(m ² a)
Gl. 4.2-5, Hilfsenergiebedarf $q_{\text{TW,HE,P}} = 1,1 \cdot 1,8$	2,0 kWh/(m ² a)

Endenergiebedarf $Q_{\text{TW,E}} = (12,5 + 8,5) \cdot (0,28 + 0,00) \cdot 141$ 846 kWh/a

Hilfsendenergiebedarf $Q_{\text{TW,HE,E}} = 1,1 \cdot 141$ 160 kWh/a

2.4 Heizungsanlage

beheizter Bereich $A_N = 141 \text{ m}^2$

Heizwärmebedarf $q_{\text{h}} = 36,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

verbleibender Bedarf $q_{\text{h,0}} = 36,9 - 3,8 = 33,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Anlagenteil	Aufwandszahl [-]	Verlust kWh/ (m ² a)	Hilfsenergie kWh/ (m ² a)	α %	f _p	Anm.
Erzeuger I	0,30			95	1,80	195
Erzeuger II	1,00			5	1,80	200
Speicher		0,1	0,46			207
Verteilung		0,6	2,60			225
Übergabe		3,3				256
		4,0	3,06	100		

195) Elektro-Wärmepumpe Luft/Wasser, 35/28°C, Aufwandszahl e_{g} und Hilfsenergiebedarf $q_{\text{g,HE}}$ nach DIN V 4701-10 Tab. C.3-4c [Strom]

200) Elektro-Direktheizung, Aufwandszahl e_{g} nach DIN V 4701-10 Tab. C.3-4d [Strom]

207) Pufferspeicher des Wärmeerzeugers innen, Systemtemperatur 35/28 °C, Wärmeverlust $q_{\text{H,S}}$ und Hilfsenergiebedarf $q_{\text{H,S,HE}}$ nach DIN V 4701-10, Tab. C.3-3

225) horizontale Verteilung innen, Steiger innenliegend Systemtemperaturen 35/28 °C, geregelte Pumpe, Wärmeverluste der Verteilungen q_{d} und Hilfsenergiebedarf $q_{\text{d,HE}}$ nach DIN V 4701-10, Tab. C.3-2

256) Fußboden- und andere Flächenheizungen, Einzelraumregelung mit Zweipunktregler, Schaltdifferenz 2 K, Wärmeverlust q_{ce} nach DIN V 4701-10 Tab. C.3-1

Primär- und Endenergiebedarf für Heizung

Gl. 4.2-18, benötigte Heizwärme $q_{\text{h,0}} = q_{\text{h}} - q_{\text{h,TW}} - q_{\text{h,L}} = 36,9 - 3,8$ 33,1 kWh/(m²a)

Gl. 4.2-18, Aufwandszahl * Primärenergiefaktor $\Sigma(e_{\text{H,g,i}} \cdot \alpha_{\text{H,g,i}} \cdot f_{\text{P,i}})$ 0,60

Gl. 4.2-18, Primärenergiebedarf $q_{H,P} = (33,1 + 4,0) * 0,60$	22,4 kWh/(m ² a)
Gl. 4.2-19, Hilfsenergiebedarf $q_{H,HE,P} = (+0,5+2,6) * 1,8$	5,5 kWh/(m ² a)
Endenergiebedarf $Q_{H,E} = (33,1 + 4,0) * (0,28 + 0,05) * 141$	1.757 kWh/a
Hilfsendenergiebedarf $Q_{H,HE,E} = 3,1 * 141$	432 kWh/a

2.5 Anlagen-Aufwandszahl

Stromgutschrift aus erneuerbaren Energiequellen

Strom aus einer Photovoltaikanlage 4 kWp, S-W 45 °, Stromertrag nach DIN V 18599-9:2018 im örtlichen Zusammenhang erzeugt, vorrangig im Gebäude genutzt

Energiequelle = "Photovoltaik"

Strombedarf siehe Abs 7.11, Energiebedarf nach Energieträgern

Monat		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Jahr
Stromangebot	kWh	85	95	217	385	413	431	372	2961
Strombedarf	kWh	266	266	266	266	266	266	266	3195
verwendet	kWh	85	95	217	266	266	266	266	2313

Jahres-Stromproduktion = 2.961 kWh/a, Strombedarf = 3195 kWh/a, anrechenbar = 2.313 kWh/a

$Q_P = (10,8+2,0)*141+(22,4+5,5)*141-2313*1,8$	1.587 kWh/a
Heizwärmebedarf $Q_h = q_h * A_N = 36,9 * 141$	5.212 kWh/a
Trinkwasserwärmebedarf $Q_{tw} = q_{tw} * A_N = 12,5 * 141$	1.766 kWh/a

Anlagen-Aufwandszahl $e_p = Q_P / (Q_h + Q_{tw}) = 1.587 / (5.212 + 1.766)$ **0,23**

Primärenergie $Q_P = 1.587$ kWh/a (11,2 kWh/(m²a))

Endenergie ohne Hilfsenergie, lokal $Q_{WE,E} = 846 + 1.757 = 2.602$ kWh/a (18,4 kWh/(m²a))

Hilfsendenergie, lokal $Q_{HE,E} = 160 + 432 = 593$ kWh/a (4,2 kWh/(m²a))

Effizienzklasse auf Basis des Endenergiebedarfs $(2602 + 593) / 141,3 = 22,6$ kWh/(m²a)

Effizienzklasse A+ nach GEG § 86

2.6 Energiebedarf nach Energieträgern

Bedarfswerte auch für den Energieausweis

Energieträger	Endenergie kWh/a		f _p	Primärenergie kWh/a	
[Strom]	2.602	81 %	1,8	4.684	81 %
Hilfsenergie (Strom)	593	19 %	1,8	1.067	19 %
	3.195	100 %		5.751	100 %

CO₂-Emissionen (GEG 2020) 494 kg/a

Endenergie nach Energieträgern	Heizung kWh/ (m ² a)	Warmwasser kWh/ (m ² a)	Lüftung kWh/ (m ² a)	Summe kWh/ (m ² a)
[Strom]	12,4	6,0	0,0	18,4
Hilfsenergie Strom	3,1	1,1	0,0	4,2

2.7 Nutzungspflicht für Erneuerbare Energien

Nachweis für privat genutzte Gebäude

Wärme- und Kälteenergiebedarf = 2.603 + 5.460 = 8.063 kWh/Jahr (mit Solar-, Umwelt- und Abwärme sowie Kälteenergie)

darin enthaltene Deckungsanteile aus erneuerbaren Energiequellen oder Ersatzmaßnahmen:

Energiequelle	Energieertrag kWh/a	Deckungsanteil		Nutzungs- anteil
		erzielt	gefordert	
Umweltwärme [WW-WP] [Hzg-W]	7.800	96,7 %	50,0 %	193,4 %
				193,4 %

Deckungsanteil durch Einsparung von Energie

		Grenzwert	erzielt	Unterschreitung		Nutzungs- anteil
				erzielt	gefordert	
HT'- Wert	W/(m ² K)	0,39	0,24	36,9 %	15,0 %	246,3 %
QP	kWh/(m ² a)	56,0	11,2	79,9 %	15,0 %	

erreichter Nutzungsanteil, Summe = 439,7 % ≥ Nutzungspflichtanteil = 100 %

Die Anforderungen aus dem GEG § 34 **werden erfüllt**

3. Energiekosten und Wirtschaftlichkeit

zur Gebäudeberechnung "Doppelhaus PV"

⇔ Vergleich mit "Doppelhaus-Referenz2020"

Energiebedarf nach DIN V 4701-10

siehe Berechnungsblatt "EnEV 4108-6" ($\Sigma A_{NGF} = 141 \text{ m}^2$, Endenergie = 2.602 kWh/a)

3.1 Berechneter Endenergiebedarf

Heizung: Elt-Wärmepumpe + Elt-Direktheizung ... freie Lüftung ... Warmwasser: Heizungs-WP ohne Zirkulation ...

Energieträger: [Strom]

⇔ Vergleich mit Berechnung "Doppelhaus-Referenz2020"

Heizung: BW-Kessel innen ... Lüftungsanlage: ... Warmwasser: BW-Kessel mit Zirkulation + solar ... Energieträger: [Erdgas], solar, Strom

	Doppelhaus PV	Doppelhaus-Referenz2020		
Standort	Deutschland	Deutschland (Potsdam)		
Umbauter Raum	441	441	m ³	
Gebäudenutzfläche A_N	141	141	m ²	
Heizwärmebedarf Q_H	5.212	7.925	kWh/a	+52 %
Warmwasserwärmebedarf Q_{TW}	1.766	1.766	kWh/a	
Anlagenaufwandszahl e_p	0,23	1,16		+408 %
Endenergiebedarf $Q_{WE,E}$	2.602	11.045	kWh/a	+324 %
Hilfsenergiebedarf [Strom], $Q_{HE,E}$	593	665	Kwh/a	+12,1 %
Energiebedarf [Strom]	2.602	-	kWh/a	
Energiebedarf [Erdgas]	-	9.102	kWh/a	
Energiebedarf [solar]	-	1.942	kWh/a	
Energiebedarf [eco-Strom]	-	-	kWh/a	
Brennstoffbedarf				
[Strom]	2.602	-	kWh	
[Erdgas]	-	979	cbm	
[solar]	-	-	ohne	
[eco-Strom]	-	-	kWh	

Der Endenergiebedarf $Q_{WE,E}$ beinhaltet Anlagenverluste und den Aufwand der Wärmeerzeugung.

3.2 CO₂ - Emissionen

	Doppelhaus PV	Doppelhaus-Referenz2020		
Hilfsenergie	593	665	kWh/a	+12,1 %
Hilfsenergie Strom, 683 g CO ₂ /kWh	405	454	kg/a	+12,1 %
Energieträger [Strom]	2.602	-	kWh/a	
Strom-Mix 560 g/kWh	1.457	-	kg/a	
Energieträger [Erdgas]	-	9.102	kWh/a	
Erdgas 240 g/kWh	-	2.185	kg/a	
Energieträger [solar]	-	1.942	kWh/a	
solar	-	-	kg/a	
Energieträger [eco-Strom]	-	-	kWh/a	
eco-Strom, 683 g CO ₂ /kWh	-	-	kg/a	
CO ₂ -Emissionen insgesamt	1.862	2.638	kg/a	+42 %

4.3) Einfamilienwohnhaus

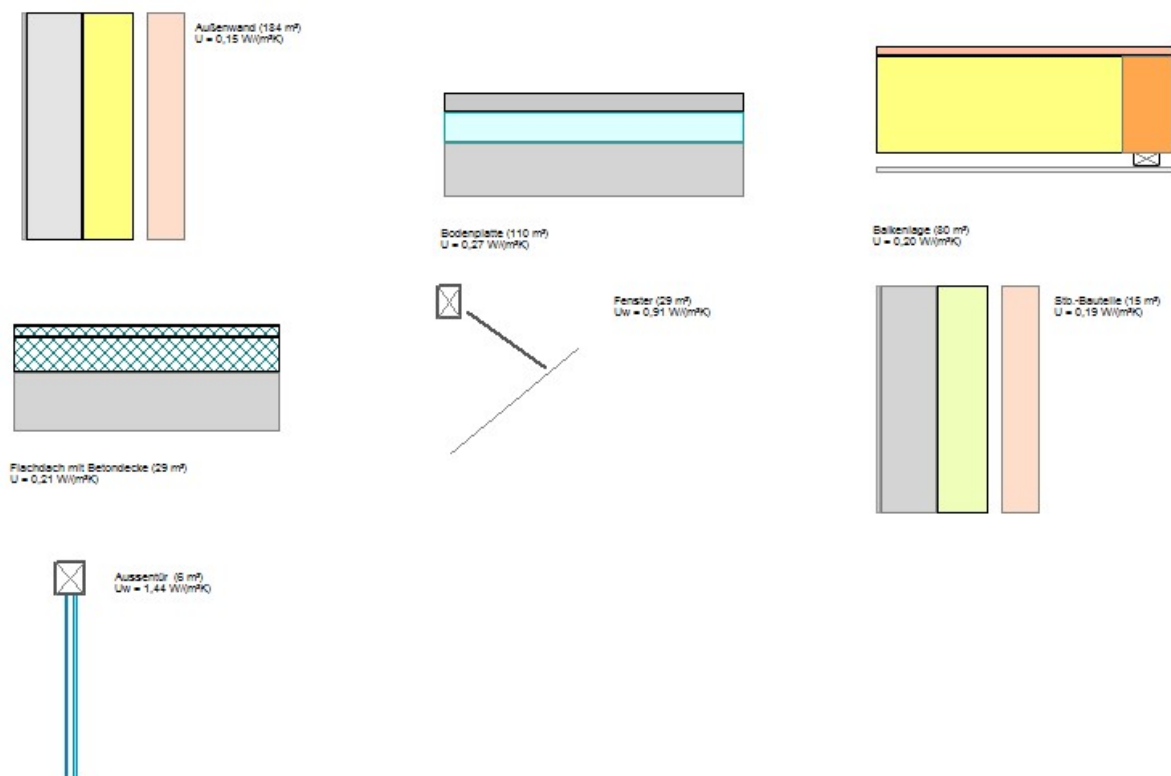
Heizwärme- und Primärenergiebedarf

Maßgebende Normen und Verordnungen:

- GEG 2020, Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien in Gebäuden
- DIN 4108-2:2013, Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- DIN 4108, Bbl.2:2019, Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele
- DIN EN ISO 6946:2018, Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient
- DIN EN ISO 13370:2018, Wärmeübertragung über das Erdreich
- DIN V 4108-6:2003, Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs
- DIN V 4701-10:2003, Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen
- DIN V 4701-12:2004, Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen im Bestand

Gebäudeberechnung "Einfamilienhaus"

Bauteilübersicht



Nachweisverfahren

Neubau von Wohngebäuden, Verfahren nach DIN V 4108-6 / DIN V 4701-10

Referenzwertverfahren für den öffentlich-rechtlichen Nachweis nach GEG §§ 15, 16 und Anlage 1 zur Begrenzung des Jahres-Primärenergiebedarfs und des spezifischen Transmissionswärmeverlustes der thermischen Hülle

Primärenergiefaktor für Hilfenenergie $f_{p,HE} = 1.8$ (ab 2016)

Allgemeine Hinweise und Erläuterungen

Flächen und Längenangaben beziehen sich auf die Außenmaße.

Standort "**Deutschland (Potsdam)**", 50°,00' nördl. Breite, Region 4, $T_{a(im\ Jahresmittel)} = 9,5^{\circ}C$

Sollinnentemperatur = 19,0 °C

Wärmebrückeneinflüsse werden pauschal berücksichtigt $L_D = A \cdot (U \cdot F_{\chi} + 0.05)$

Wärmeverluste der thermischen Gebäudehülle

Hüllfläche	A m ²	U W/ (m ² K)	F _x	Anmerkung	L _D W/K		
FF Süd	6,1	0,906	1,00	F _F 51 02	5,8		
FF West	13,1	0,906	1,00	F _F 51 02	12,5		
FF Ost	9,4	0,906	1,00	F _F 51 02	9,0		
FAW Haus-Tür	6,5	1,443	1,00	F _{AW} 51	9,6		
FAW Stb.-Bauteile	15,0	0,193	1,00	F _{AW} 51	3,6		
FAW Ausssenwand	184,3	0,146	1,00	F _{AW} 51	36,1		
FG Sohlplatte	110,0	0,267	0,50	F _G 51 25 14	20,2		
FD Balkenlage	80,2	0,202	0,80	F _{Dd} 51 06	17,0		
FD Flachdach mit Betondecke	29,2	0,208	1,00	F _D 51	7,5		
$\Sigma A \text{ [m}^2\text{]} =$					453,9	$\Sigma L_{D+H_U+L_S} \text{ [W/K]} =$	121,4

darin enthaltene Wärmebrückenzuschläge $L_{D,WB} = 22,7 \text{ W/K}$ (18,7%)

Bodenplattenmaß $B' = A_G / (0.5 P) = 110 / 21 = 5,24 \text{ m}$ (DIN V 4108-6, E.3)

Anmerkungen

- 01 F_x-Werte nach DIN V 4108-6, Tab.3 (Regelfall), ab 2020 nach DIN V 18599-2:2018 Tab.6
- 02 Die solaren Gewinne werden gesondert ermittelt (siehe unten).
- 06 Dachgeschossdecke zum nicht ausgebauten Dachraum.
- 14 Bodenplatte auf Erdreich ohne Randdämmung.
- 25 F_x-Tabellenwert für das Bodenplattenmaß $B' = 110,0 / 21,0 = 5,24$.
- 51 Der Einfluss der Wärmebrücken wird mit einem U-Wert-Zuschlag von 0,05 W/(m²K) pauschal berücksichtigt. Die Konstruktionshinweise nach DIN 4108, Bbl.2 werden eingehalten.

spezifischer Transmissionswärmeverlust (DIN 4108-6, Gl.28)

$$H_T = \Sigma U_i \cdot A_i + H_U + L_S + H_{WB} + \Delta H_{T,FH} = \mathbf{121,4 \text{ W/K}} \quad (0,27 \text{ W/(m}^2\text{K)})$$

Beheiztes Gebäude- und Luftvolumen

Bezeichnung	Volumenermittlung	V [m ³]
1 [Gebäudevolumen]	577,68	577,7
2		

Beheiztes Gebäudevolumen	$V_e =$	578 m ³
Gebäudenutzfläche	$A_N = 0,32 \cdot V_e =$	185 m ²
beheiztes Luftvolumen	$V_L = 0,76 \cdot V_e =$	439 m ³

Lüftungswärmeverluste

Luftvolumen	Netto-Luftvolumen $V_N = V_L =$	439 m ³
Lüftung	freie Lüftung, Dichtheitsprüfung, $n =$	0,60 h ⁻¹

Spezifischer Lüftungswärmeverlust $H_V = 0.34 \cdot n \cdot V_N = \mathbf{89,6 \text{ W/K}}$ (DIN V 4108-6, 6.2)

Interne Wärmegewinne

Nutzfläche	$A_N = 0,32 \cdot V =$	185 m ²
Wärmeleistung	Wohngebäude, $q_{i,M} =$	5,0 W/m ²

Brutto-Wärmegewinne $\Phi_{i,M} = q_{i,M} \cdot A_N = \mathbf{924 \text{ W}}$ (DIN V 4108-6, 6.3)

Solare Wärmegewinne

Effektive Kollektorflächen A_s für Deutschland (Potsdam), nördliche Breite $50^\circ,00'$

Kollektorfläche	A [m ²]		g _l	F _F	F _C	F _h	F _O	F _f	A _s
Fenster									
FF Süd	6,1	Süd	90°	0,48	0,73		0,90		1,7
FF West	13,1	West	90°	0,48	0,73		0,90		3,7
FF Ost	9,4	Ost	90°	0,48	0,73		0,90		2,7

A_s [m²] = A * 0,90 * g_l * F_F * F_C * F_s mit F_s = F_h * F_O * F_f (DIN V 4108-6, Gl.54)
F_F berücksichtigt den Rahmenanteil der Fenster. Abminderungsfaktor F_C für permanente Sonnenschutzvorrichtungen, Teilbestrahlungsfaktoren F_h für Horizontwinkel der Verbauung, F_O für horizontale Überhänge und F_f für seitliche Abschattungsflächen nach DIN V 4108-6, Tab.7 ff.

Die Summe der Teilbestrahlungsfaktoren F_s wird für den öffentlich-rechtlichen Nachweis mit 0.9 angenommen

solare Wärmegewinne über opake Bauteile werden nicht berücksichtigt

Strahlungsintensitäten I_s für Deutschland (Potsdam)

[W/m ²]	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr
- 0°	180	127	77	31	17	29	44	97	189
Süd 90°	127	123	106	39	29	59	47	98	147
West 90°	105	79	47	19	11	17	24	60	114
Nord 90°	57	41	25	13	7	10	18	31	58
Ost 90°	115	83	55	20	12	25	29	68	134
Kollektorfläche			Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr
Fenster									
FF Süd			183	67	50	102	81	169	254
FF West			175	71	41	63	89	223	425
FF Ost			147	54	32	67	78	182	359
solare Wärmeströme	$\Sigma\Phi_s$ [W]		505	192	123	232	248	575	1037
	$\Sigma\Phi_s * t$ [kWh]		376	138	92	173	167	428	747

Die solaren Wärmegewinne werden monatlich berechnet (sh. unten).

Wirksame Wärmespeichfähigkeit

Vereinfachter Ansatz für schwere Gebäude mit massiven Innen- und Außenbauteilen ohne untergehängte Decken 50 Wh/m³K

$$c_{\text{wirk}} = 50,0 \text{ Wh/(m}^3\text{K)}, \quad c_{\text{wirk}} * V_e = 28.884 \text{ Wh/K}$$

$$\text{Parameter } a = a_0 + c_{\text{wirk}} / (H * \tau_0) = 1 + c_{\text{wirk}} / (H * 16) = 1 + 1805 / H \text{ (Gl.75, monatlich)}$$

Heizunterbrechung

Abschaltbetrieb während der Nachtstunden (DIN V 4108-6, D.3 und Anhang C)

Nachtabenkung für $t_u = 7,0$ Stunden

Mindest-Innentemperatur $\theta_{isb} = 15,0$ °C

Heizungsanlage mit Nennleistung $\Phi_{pp} = 1,5 * (H_T + H_V) * 31 = 9.118$ W (automatisch aktualisiert, darin H_V mit Luftwechselrate $n = 0,5$)

Abschaltbetrieb

Interne Gewinne während der Nachtabenkung $\Phi_g = 924$ W, Luftwechselrate $n = 0,50$

Wirksame Wärmespeicherfähigkeit $C_{\text{wirk, Heizunterbrechung}} = 18,0 * V_e = 10.398$ Wh/K

	θ_e °C	θ_{inh} °C	θ_{i1} °C	t_{nh} h	t_{sb} h	t_{bh} h	θ_{co} °C	θ_{c1} °C	θ_{c2} °C	θ_{c3} °C	ΔQ_{ilj} kWh	ΔQ_{i1} kWh
Jan	1,0	1,0	16,3	7,0	0,0	1,6	18,8	16,6	16,6	17,6	2,5	77
Feb	1,9	1,9	16,4	7,0	0,0	1,4	18,8	16,7	16,7	17,6	2,3	65
Mär	4,7	4,7	16,8	7,0	0,0	0,6	18,8	17,1	17,1	17,6	1,9	58
Apr	9,2	9,2	17,5	7,0	0,0	0,0	18,9	17,7	17,7	17,7	1,3	38
Mai	14,1	14,1	18,3	7,0	0,0	0,0	18,9	18,3	18,3	18,3	0,6	20
Jun	16,7	16,7	18,7	7,0	0,0	0,0	19,0	18,7	18,7	18,7	0,3	9
...												
Aug	18,6	18,6	18,9	7,0	0,0	0,0	19,0	18,9	18,9	18,9	0,1	2
Sep	14,3	14,3	18,3	7,0	0,0	0,0	18,9	18,4	18,4	18,4	0,6	18
Okt	9,5	9,5	17,6	7,0	0,0	0,0	18,9	17,7	17,7	17,7	1,2	38
Nov	4,1	4,1	16,7	7,0	0,0	0,8	18,8	17,0	17,0	17,6	2,0	59
Dez	0,9	0,9	16,2	7,0	0,0	1,6	18,8	16,6	16,6	17,6	2,5	78

Reduzierung der Wärmeverluste durch eine Heizunterbrechung

$$\Delta Q_{ij} = H_{sb} * [(\theta_{io} - \theta_{inh}) * t_{nh} + (\theta_{io} - \theta_{sb}) * t_{sb} + (\theta_{io} - \theta_{ipp}) * t_{bh}] - C * \zeta * (\theta_{co} - \theta_{c1} + \theta_{c2} - \theta_{c3})$$

Reduzierung der Wärmeverluste in einem Monat $\Delta Q_{ij} = \Delta Q_{ij} * \dots$ Tage

Reduzierung der Wärmeverluste in einem Jahr $Q_{NA} = \Sigma \Delta Q_{ij} = 461,6$ kWh/a

H_V Spezifischer Lüftungswärmeverlust während der Heizunterbrechung = $0,34 * 0,50 * V_L = 75$ W/K

H_{sb} Spezifischer Wärmeverlust während der Heizunterbrechung = $H_T + H_V = 196$ W/K

H_{ic} Spezifischer Wärmeverlust zwischen den Bauteilen und dem Innenraum = $4 * A_N / 0,13 = 5.688$ W/K

H_W Spezifischer Wärmeverlust aller leichten Bauteile (60 kg/m²)

$$H_W = 5,7 + 13,0 + 8,8 + 9,5 + 14,8 = 52$$
 W/K

H_{ce} Spezifischer Wärmeverlust zwischen den Innenbauteilen und außen

$$H_{ce} = H_{ic} * (H_{sb} - H_W - H_V) / (H_{ic} - H_{sb} + H_W + H_V) = 71$$
 W/K

ζ Wirksamer Anteil der Wärmespeicherfähigkeit = $H_{ic} / (H_{ic} + H_{ce}) = 0,99$

ξ Verhältniswert = $H_{ic} / (H_{ic} + H_W + H_V) = 0,99$

τ_p Reaktionszeit der Bauteiltemperatur auf einen Wechsel der Heizleistung = $\zeta * C / (\xi * H_{sb}) = 53,55$

τ_T Ansprechzeit der Bauteiltemperatur auf einen Wechsel der Lufttemperatur = $\zeta * C / (H_{ce} + H_{ic}) = 1,78$

θ_e Außentemperatur

θ_{inh} niedrigste, erreichbare Innentemperatur (im Abschaltbetrieb θ_e , abgesenkt $\theta_e * \Phi_{rp} / H_{sb}$)

θ_{ipp} höchstmögliche Innentemperatur ($\theta_e + (\Phi_{pp} + \Phi_g) / H_{sb}$)

θ_{i1} Innentemperatur am Ende der Nichtheizphase ohne Regelphase = $\theta_{inh} + \xi * (\theta_{co} - \theta_{cnh}) * \exp(-t_{nh} / \tau_p)$

t_{nh} Zeit in der nicht geheizt wird (Gl. C.18, 20, 23)

t_{sb} Zeit mit (abgesenktem) Regelbetrieb (Gl. C.26)

t_{bh} Zeit der Aufheizphase (Gl. C.29 / EN 832 J.28)

θ_{co} Bauteiltemperatur zu Beginn der Absenkung ($\theta_e + \zeta * (\theta_{i0} - \theta_e)$)

θ_{c1} Bauteiltemperatur am Ende der Nichtheizphase (Gl. C.21, 25)

θ_{c2} Bauteiltemperatur am Ende der Regelphase (Gl. C.28)

θ_{c3} Bauteiltemperatur am Ende der Aufheizphase (Gl. C.31)

ΔQ_{ij} Reduzierung des Wärmeverlustes infolge intermittierender Beheizung [kWh] (Gl. C.32)

Heizwärmebedarf

Transmissionsverluste thermische Hülle	$Q_t = (\Sigma L_D) \cdot \Delta T \cdot d - \Delta Q_{il}$
Heizunterbrechung	$\Sigma L_D = 121 \text{ W/K}$
Lüftungswärmeverluste	ΔQ_{il} monatlich $H_V = 90 \text{ W/K}$
Interne Gewinne	$\Phi_{i,M} = 924 \text{ W}$
Solare Gewinne	Φ_s [W] (monatlich)
Ausnutzungsgrad	$\eta = (1 - \gamma^a) / (1 - \gamma^{a+1})$ (a sh. c_{Wirk}) $\gamma = Q_G / Q_I$ (monatlich, DIN V 4108-6, 6.5)

	t_A °C	Q_t kWh	$H_V \cdot \Delta T \cdot d$ kWh	$\Phi_{i,M} \cdot d \cdot \eta$ kWh	$\Phi_s \cdot d \cdot \eta$ kWh	η	Q_h kWh
Jan	1,0	1.549	1.199	688	173	1,00	1.888
Feb	1,9	1.330	1.029	621	167	1,00	1.572
Mär	4,7	1.234	953	687	427	1,00	1.072
Apr	9,2	819	632	610	685	0,92	156
Mai	14,1	423	327	348	402	0,51	1
Jun	16,7	192	148	154	187	0,23	0
Jul	19,0	-	-	-	-	0,00	-
Aug	18,6	35	27	31	30	0,04	0
Sep	14,3	393	303	388	306	0,58	2
Okt	9,5	820	633	678	371	0,99	405
Nov	4,1	1.244	961	665	138	1,00	1.401
Dez	0,9	1.558	1.206	688	92	1,00	1.985
	9,5	9.597	7.418	5.557	2.976		8.481

Jahres-Heizwärmebedarf $Q_h = 8.481 \text{ kWh/a}$ ($q_h = 45,9 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$)
 Heizzeit vom 15.10. bis 8.4. (175 Tage, Gl.27, Orientierungsgröße informativ)
 erforderliche Heizleistung, Orientierungswert 9 kW (kein Bemessungswert)
 Berechnungsgang für den Monat Januar
 $Q_t = (121,4) \cdot 18,0 \cdot 31 \cdot 24 / 1000 - 77,1 = 1548,7 \text{ kWh}$
 $H_V \cdot \Delta T \cdot d = 89,6 \cdot 18,0 \cdot 31 \cdot 24 / 1000 = 1199,9 \text{ kWh}$
 $\Phi_{i,M} \cdot d = 924,3 \cdot 31 \cdot 24 / 1000 = 687,7 \text{ kWh}$
 $\Phi_s \cdot d = 232,1 \cdot 31 \cdot 24 / 1000 = 172,7 \text{ kWh}$
 $\gamma = (687,7 + 172,7) / (1549,3 + 1199,9) = 0,31$ $a = 1 + 28884 / ((121,4 + 89,6) / 16) = 9,56$
 $\eta = (1 - \gamma^a) / (1 - \gamma^{a+1}) = 1,000 / 1,000 / 0,999 / 0,917 / 0,505$ (Jan / Feb / Mrz / Apr / Mai)

Wärmebedarf für Warmwasserbereitung

pauschaler Ansatz $12,5 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ (öffentlich-rechtlicher Nachweis)

$$Q_{\text{tw}} = A_N \cdot q_{\text{tw}} = 185 \cdot 12,5 = 2.311 \text{ kWh/a}$$

Anlagentechnik (DIN V 4701-10)

Anlagen-Aufwandszahl aus der Anlagenberechnung (siehe Haustechnik)
 Heizung: Eit-Wärmepumpe + Eit-Direktheizung ... freie Lüftung ... Warmwasser: Heizungs-WP ohne Zirkulation - Energieträger: [Strom]

Anlagen-Aufwandszahl $e_p = 0,69$

Gesamt-Endenergie ohne Hilfsenergie, lokal $Q_{\text{WE,E}} = 3.929 \text{ kWh/a}$ ($21,3 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$)
 Hilfsenergie, lokal $Q_{\text{HE,E}} = 641 \text{ kWh/a}$ ($3,5 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$)

Nachweise

für ein neu errichtetes Gebäude
Referenzberechnung = "Einfamilienhaus-Referenz2020"

Nachweis der thermischen Hülle

zulässiger, spezifischer Transmissionswärmeverlust für ein Wohngebäude nach GEG 2020 § 16
zul $H'_{T} = \text{zul } H'_{T,REF} = 0,36 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
vorh $H'_{T} = H_T / \Sigma A = 121,4 / 453,9 = 0,27 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

vorh $H'_{T} = 0,27 \leq 0,36 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, **Grenzwert wird eingehalten**

Nachweis des Primärenergiebedarfs

Höchstwert des grundflächenbezogenen Jahres-Primärenergiebedarfs nach GEG 2020 § 15
zul $q_{P,Ref} = 78,32 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ aus der Referenzberechnung
zul $q_{P,Ref} = 78,32 - 25\% = 58,7 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$, geforderte Unterschreitung ab 2016
vorh $q_p = (Q_h + Q_w) \cdot e_p / A_N = 7451 / 184,9 = 40,3 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$

vorh $q_p = 40,3 \leq 58,7 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$, **Grenzwert wird eingehalten**

Nachweis der Nutzung erneuerbarer Energien

(detaillierter Nachweis siehe Berechnungsblatt DIN V 4701-10)

Die Anforderungen aus dem Gebäudeenergiegesetz 2020, §§ 34 ff **werden erfüllt**

KfW-Förderprogramme

Die Förderprogramme der Kreditanstalt für Wiederaufbau zur CO₂ - Minderung durch Effizienzhäuser sind an die Einhaltung / Unterschreitung der nachfolgend aufgeführten Grenzwerte gebunden.
Förderprogramme für Energieeffizientes Bauen (Programm Nr. 153, Stand 04/2018)

Referenzberechnung = "Einfamilienhaus-Referenz2020"

Endenergieeinsparung 6.696 kWh/a
Primärenergieeinsparung 3.408 kWh/a
CO₂-Einsparung -258 kg/a

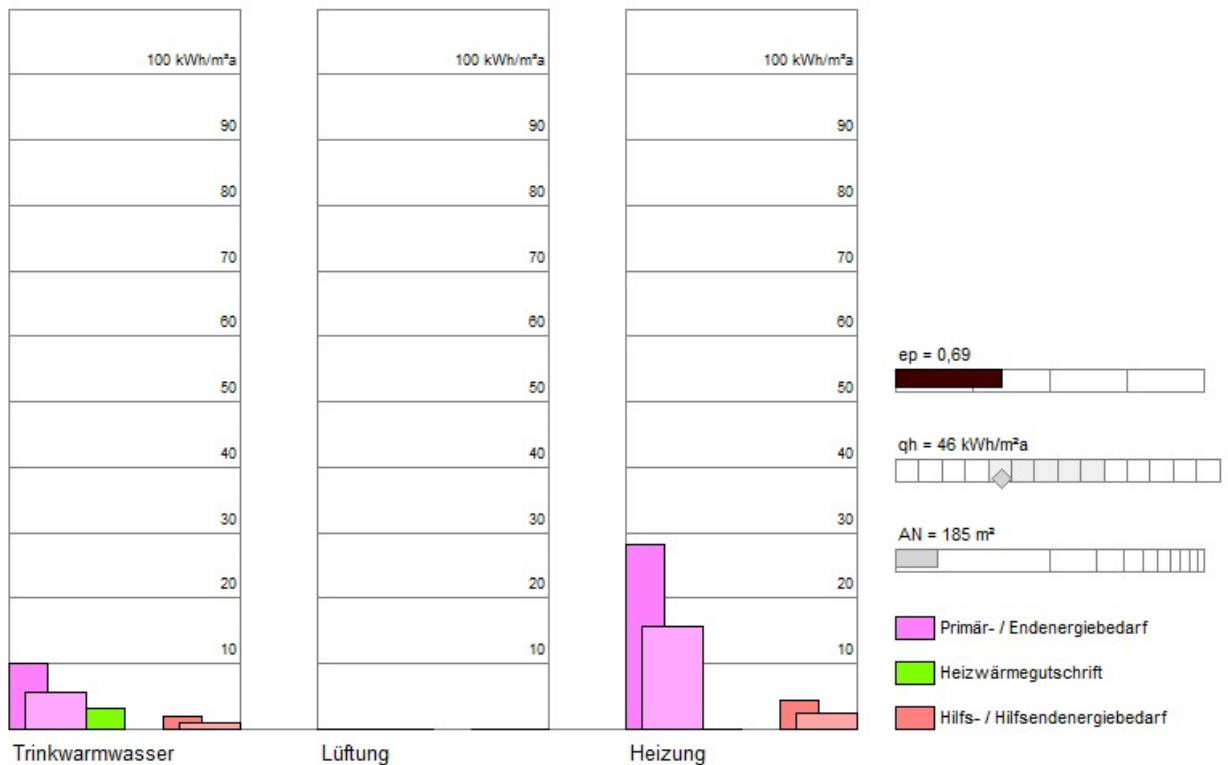
	REF	%	$Q_{P'}'$ kWh/ (m ² a)	REF	%	H_T' W/ (m ² K)	
vorhanden	51	%	40,3	73	%	0,267	
Referenzwerte	100	%	78,3	100	%	0,364	
EnEV-Anforderungen	75	%	58,7	100	%	0,364	erfüllt
KfW Effizienzhäus 55	55	%	43,1	70	%	0,255	nicht erfüllt
KfW Effizienzhäus 40	40	%	31,3	55	%	0,200	nicht erfüllt

Beigelegte KfW-Formblätter: keine

Haus- und Anlagentechnik (Wohngebäude)

Gebäudeberechnung "Einfamilienhaus"

Primär- und Endenergiebedarf



Anlagenkurzbeschreibung

mit Endenergie versorgter Bereich $A_N = 185 \text{ m}^2$

Heizwärmebedarf $q_h = 45,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, Trinkwasserwärmebedarf $q_{tw} = 12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Tabellenverfahren nach DIN V 4701-10 Anhang C.3

Heizung: Elt-Wärmepumpe + Elt-Direktheizung ... freie Lüftung ... Warmwasser: Heizungs-WP ohne Zirkulation ... Energieträger: [Strom]

Ermittlung der Anlagenaufwandszahl ep

Aufwandszahlen e_i und Energieverluste der Erzeugung, Speicherung und Verteilung,

Wärmegutschriften, Hilfsenergiebedarf, Deckungsanteile α und Primärenergiefaktoren f_p .

Verwendete Indizes: P-Primärenergie, E-Endenergie, HE-Hilfsenergie, TW-Trinkwarmwasser, L-Lüftung, H-Heizung.

Zur Berechnung der Anlagenaufwandszahl nach DIN V 4701-10 mit Tabellenwerten wird eine Heizzeit von 185 Tagen zu Grunde gelegt.

Detailliert berechnete Anlagen-Kenngrößen liegen nicht vor.

Anlage zur Warmwasserbereitung

mit Trinkwarmwasser versorgter Bereich $A_N = 185 \text{ m}^2$

Trinkwasserwärmebedarf $q_{TW} = 12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Anlagenteil	Aufwandszahl [-]	Verlust kWh/ (m ² a)	Gutschrift kWh/ (m ² a)	Hilfsenergie kWh/ (m ² a)	α [%]	f _p	Anm.
Erzeuger I	0,30				95	1,80	60
Speicher		3,3	1,5	0,07			30
Verteilung		3,9	1,8				21
Erzeuger II							
		7,3	3,3	0,07	95		

60) Heizungswärmepumpe Luft/Wasser, Aufwandszahl $e_{TW,g}$ nach DIN V 4701-10, Tab. C.1-4d [Strom]

30) Indirekt beheizter Speicher innen, Wärmeverlust $q_{TW,s}$, Wärmegutschrift $q_{h,TW,s}$ und Hilfsenergiebedarf $q_{TW,s,HE}$ nach DIN V 4701-10, Tab. C.1-3a

21) Gebäudezentrale TW-Verteilung ohne Zirkulation, weniger als 10 m Verteilungen außen, Steigleitungen im nicht belüfteten Schacht, Wärmeverlust $q_{TW,d}$, Wärmegutschrift $q_{h,TW,d}$ und Hilfsenergiebedarf $q_{TW,d,HE}$ nach DIN V 4701-10, Tab. C.1-2a / C.1-2b

Die Trinkwassererwärmung wird mit einer elektrischen Zusatzheizung unterstützt. Der Hilfsenergiebedarf $q_{TW,HE}$ wird erhöht um $0,05 \cdot (12,5 + 7,3) = 1,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Primär- und Endenergiebedarf für Trinkwasserbereitung

Gl. 4.2-3, Aufwandszahl * Primärenergiefaktor $\Sigma(e_{TW,g,i} \cdot \alpha_{TW,g,i} \cdot f_{P,i})$	0,51
Gl. 4.2-3, Primärenergiebedarf $q_{TW,P} = (12,5 + 7,3) \cdot 0,51$	10,1 kWh/(m ² a)
Gl. 4.2-4, Heizwärmegutschrift $q_{h,TW} = 3,3$	3,3 kWh/(m ² a)
Gl. 4.2-5, Hilfsenergiebedarf $q_{TW,HE} = +0,07+0,99$	1,1 kWh/(m ² a)
Gl. 4.2-5, Hilfsenergiebedarf $q_{TW,HE,P} = 1,1 \cdot 1,8$	1,9 kWh/(m ² a)

Endenergiebedarf $Q_{TW,E} = (12,5 + 7,3) \cdot (0,28 + 0,00) \cdot 185$	1.041 kWh/a
Hilfsendenergiebedarf $Q_{TW,HE,E} = 1,1 \cdot 185$	196 kWh/a

Heizungsanlage

beheizter Bereich $A_N = 185 \text{ m}^2$

Heizwärmebedarf $q_h = 45,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

verbleibender Bedarf $q_{h,0} = 45,9 - 3,3 = 42,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Anlagenteil	Aufwandszahl [-]	Verlust kWh/ (m ² a)	Hilfsenergie kWh/ (m ² a)	α %	f _p	Anm.
Erzeuger I	0,30			95	1,80	195
Erzeuger II	1,00			5	1,80	200
Speicher		0,1	0,37			207
Verteilung		0,6	2,04			225
Übergabe		3,3				256
		4,0	2,40	100		

195) Elektro-Wärmepumpe Luft/Wasser, 35/28°C, Aufwandszahl e_g und Hilfsenergiebedarf $q_{g,HE}$ nach DIN V 4701-10 Tab. C.3-4c [Strom]

200) Elektro-Direktheizung, Aufwandszahl e_g nach DIN V 4701-10 Tab. C.3-4d [Strom]

207) Pufferspeicher des Wärmeerzeugers innen, Systemtemperatur 35/28 °C, Wärmeverlust $q_{H,S}$ und Hilfsenergiebedarf $q_{H,s,HE}$ nach DIN V 4701-10, Tab. C.3-3

225) horizontale Verteilung innen, Steiger innenliegend Systemtemperaturen 35/28 °C, geregelte Pumpe, Wärmeverluste der Verteilungen q_d und Hilfsenergiebedarf $q_{d,HE}$ nach DIN V 4701-10, Tab. C.3-2

256) Fußboden- und andere Flächenheizungen, Einzelraumregelung mit Zweipunktregler, Schaltdifferenz 2 K, Wärmeverlust q_{ce} nach DIN V 4701-10 Tab. C.3-1

Primär- und Endenergiebedarf für Heizung

Gl. 4.2-18, benötigte Heizwärme $q_{h,0} = q_h - q_{h,TW} - q_{h,L} = 45,9 - 3,3$	42,6 kWh/(m ² a)
Gl. 4.2-18, Aufwandszahl * Primärenergiefaktor $\Sigma(e_{H,g,i} \cdot \alpha_{H,g,i} \cdot f_{P,i})$	0,60

Gl. 4.2-18, Primärenergiebedarf $q_{H,P} = (42,6 + 4,0) * 0,60$	28,1 kWh/(m ² a)
Gl. 4.2-19, Hilfsenergiebedarf $q_{H,HE,P} = (+0,4+2,0) * 1,8$	4,3 kWh/(m ² a)
Endenergiebedarf $Q_{H,E} = (42,6 + 4,0) * (0,28 + 0,05) * 185$	2.888 kWh/a
Hilfsendenergiebedarf $Q_{H,HE,E} = 2,4 * 185$	445 kWh/a

Anlagen-Aufwandszahl

Stromgutschrift aus erneuerbaren Energiequellen

Strom aus einer Photovoltaikanlage 4 kWp, West 45 °, Stromertrag nach DIN V 18599-9:2011 im örtlichen Zusammenhang erzeugt, vorrangig im Gebäude genutzt

Energiequelle = "Photovoltaik"

Strombedarf siehe Abs 7.11, Energiebedarf nach Energieträgern

Monat		Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Jahr
Stromangebot	kWh	53	79	185	349	411	442	382	2719
Strombedarf	kWh	36	36	36	36	36	36	36	431
verwendet	kWh	36	36	36	36	36	36	36	430

Jahres-Stromproduktion = 2.720 kWh/a, Strombedarf = 4569 kWh/a, anrechenbar = 430 kWh/a

$Q_P = (10,1+1,9)*185+(28,1+4,3)*185-430*1,8$	7.451 kWh/a
Heizwärmebedarf $Q_h = q_h * A_N = 45,9 * 185$	8.481 kWh/a
Trinkwasserwärmebedarf $Q_{tw} = q_{tw} * A_N = 12,5 * 185$	2.311 kWh/a

Anlagen-Aufwandszahl $e_P = Q_P / (Q_h + Q_{tw}) = 7.451 / (8.481 + 2.311)$ **0,69**

Primärenergie $Q_P = 7.451$ kWh/a (40,3 kWh/(m²a))

Endenergie ohne Hilfsenergie, lokal $Q_{WE,E} = 1.041 + 2.888 = 3.929$ kWh/a (21,3 kWh/(m²a))

Hilfsendenergie, lokal $Q_{HE,E} = 196 + 445 = 641$ kWh/a (3,5 kWh/(m²a))

Effizienzklasse auf Basis des Endenergiebedarfs $(3929 + 641) / 184,9 = 24,7$ kWh/(m²a)

Effizienzklasse A+ nach GEG § 86

Energiebedarf nach Energieträgern

Bedarfswerte auch für den Energieausweis

Energieträger	Endenergie kWh/a		f _p	Primärenergie kWh/a	
[Strom]	3.929	86 %	1,8	7.072	86 %
Hilfsenergie (Strom)	641	14 %	1,8	1.153	14 %
	4.569	100 %		8.225	100 %

CO₂-Emissionen (GEG 2020) 2.319 kg/a

Endenergie nach Energieträgern	Heizung kWh/ (m ² a)	Warmwasser kWh/ (m ² a)	Lüftung kWh/ (m ² a)	Summe kWh/ (m ² a)
[Strom]	15,6	5,6	0,0	21,3
Hilfsenergie Strom	2,4	1,1	0,0	3,5

Nutzungspflicht für Erneuerbare Energien

Nachweis für privat genutzte Gebäude

Wärme- und Kälteenergiebedarf = 3.929 + 8.166 = 12.095 kWh/Jahr (mit Solar-, Umwelt- und Abwärme sowie Kälteenergie)

darin enthaltene Deckungsanteile aus erneuerbaren Energiequellen oder Ersatzmaßnahmen:

Energiequelle	Energieertrag kWh/a	Deckungsanteil		Nutzungs- anteil
		erzielt	gefordert	
Umweltwärme [WW-WP] [Hzg-W	11.666	96,5 %	50,0 %	193,0 %
				193,0 %

Deckungsanteil durch Einsparung von Energie

	Grenzwert	erzielt	Unterschreitung		Nutzungs- anteil	
			erzielt	gefordert		
HT'- Wert	W/(m ² K)	0,36	0,27	26,5 %	15,0 %	176,8 %
QP	kWh/(m ² a)	58,7	40,3	31,4 %	15,0 %	

erreichter Nutzungsanteil, Summe = 369,8 % ≥ Nutzungspflichtanteil = 100 %

Die Anforderungen aus dem GEG § 34 **werden erfüllt**

Energiekosten und Wirtschaftlichkeit

zur Gebäudeberechnung "Einfamilienhaus"
⇔ Vergleich mit "Einfamilienhaus-Referenz2020"

Energiebedarf nach DIN V 4701-10
siehe Berechnungsblatt "EnEV 4108-6" ($\Sigma A_{NGF} = 185 \text{ m}^2$, Endenergie = 3.929 kWh/a)

Berechneter Endenergiebedarf

Heizung: Elt-Wärmepumpe + Elt-Direktheizung ... freie Lüftung ... Warmwasser: Heizungs-WP ohne Zirkulation ...
Energieträger: [Strom]
⇔ Vergleich mit Berechnung "Einfamilienhaus-Referenz2020"
Heizung: BW-Kessel innen ... Lüftungsanlage: ... Warmwasser: BW-Kessel mit Zirkulation + solar ... Energieträger:
[Erdgas], solar, Strom

	Einfamilienhaus	Einfamilienhaus-Referenz2020		
Standort	Deutschland (Potsdam)	Deutschland (Potsdam)		
Umbauter Raum	578	578	m ³	
Gebäudenutzfläche A_N	185	185	m ²	
Heizwärmebedarf Q_H	8.481	10.594	kWh/a	+25 %
Warmwasserwärmebedarf Q_{TW}	2.311	2.311	kWh/a	
Anlagenaufwandszahl e_p	0,69	1,13		+64 %
Endenergiebedarf $Q_{WE,E}$	3.929	14.400	kWh/a	+267 %
Hilfsenergiebedarf [Strom], $Q_{HE,E}$	641	748	Kwh/a	+16,7 %
Energiebedarf [Strom]	3.929	-	kWh/a	
Energiebedarf [Erdgas]	-	12.067	kWh/a	
Energiebedarf [solar]	-	2.334	kWh/a	
Brennstoffbedarf				
[Strom]	3.929	-	kWh	
[Erdgas]	-	1.298	cbm	
[solar]	-	-	ohne	

Der Endenergiebedarf $Q_{WE,E}$ beinhaltet Anlagenverluste und den Aufwand der Wärmeerzeugung.

CO₂ - Emissionen

	Einfamilienhaus	Einfamilienhaus-Referenz2020		
Hilfsenergie	641	748	kWh/a	+16,7 %
Hilfsenergie Strom, 683 g CO ₂ /kWh	438	511	kg/a	+16,7 %
Energieträger [Strom]	3.929	-	kWh/a	
Strom, 683 g CO ₂ /kWh	2.683	-	kg/a	
Energieträger [Erdgas]	-	12.067	kWh/a	
Erdgas 240 g/kWh	-	2.896	kg/a	
Energieträger [solar]	-	2.334	kWh/a	
solar	-	-	kg/a	
CO ₂ -Emissionen insgesamt	3.121	3.407	kg/a	+9,2 %