

Schulsanierung

Der Jahresheizenergiebedarf Q als Summe aus dem Jahresheizwärmebedarf Q_h des Gebäudes und den technischen Verlusten Q_t der Heizanlage ergibt sich vereinfacht aus:

$$Q = Q_h + Q_t \quad \text{mit: } Q_h = [U_m \cdot A + n \cdot V_L \cdot 0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K})] \cdot (t_{im} - t_{am}) \cdot z - Q_G$$

$$\text{und: } Q_t = Q_d + Q_g$$

Zusätzlich treten für Pumpen elektrische Hilfsenergien auf, die vernachlässigt werden. Hierin sind für ein gegebenes Schulgebäude:

- U_m (mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient) = 1,2 W/(m²K)
- A (gesamte äußere Umhüllungsfläche) = 2000 m²
- n (mittlere Luftwechselzahl) = 0,8 h⁻¹
- V_L (Raumluftvolumen) = 0,8 · V_e
- V_e (äußeres Hüllvolumen) = 4000 m³
- t_{im} (mittlere Rauminnentemperatur) = 20°C
- t_{am} (Mittlere Außentemperatur in der Heizzeit) = + 6°C
- z (Heiztage umgerechnet in h/a) = 240 d/a · 24 h/d
- Q_G (innerer und passiver solarer Wärmegewinn) = 40 kWh/(m²a) · A_N
- A_N (beheizte Nutzfläche) = 0,32 m⁻¹ · V_e
- Q_d (Verteilverluste) = 20 kWh/(m²a) · A_N
- Q_g (Erzeugerverluste Alt-Kessel) = 40 kWh(Hu)/(m²a) · A_N
- Gaspreis ($H_o/H_u = 1.11$) = 0,06 € /kWh(H_o)

a) Bestimmen Sie den Jahresheizenergiebedarf Q mit Ausweisung der Einzelanteile: $Q_{\text{Transmission}}$, $Q_{\text{Lüftung}}$, Q_{Gewinne} , $Q_{\text{Verteilung}}$ und $Q_{\text{Erzeugung}}$ als Absolutwerte in kWh(H_o)/a. Bestimmen Sie zusätzlich die Jahresgaskosten.

b) Durch eine Verbesserung der Wärmedämmung und durch Fensteraustausch ergeben sich folgende Änderungen in obigen Bilanzdaten:

- k_m (mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient) = 0,5 W/(m² K)
- t_{im} (mittlere Rauminnentemperatur) = 19 °C
- t_{am} (Mittlere Außentemperatur in der Heizzeit) = + 5,5 °C
- z (Heiztage umgerechnet in h/a) = 200 d/a · 24 h/d
- Q_G (innerer und passiver solarer Wärmegewinn) = 32 kWh/(m²a) · A_N
- A_N (beheizte Nutzfläche) = 0,32 m⁻¹ · V_e
- Q_d (Verteilverluste) = 18 kWh/(m²a) · A_N
- Q_g (Erzeugerverluste Alt-Kessel) = 36 kWh(Hu)/(m²a) · A_N

Bestimmen Sie die eingesparten Jahresgaskosten. Wie hoch dürfte die Investition ohne Berücksichtigung von zusätzlichen Instandhaltungskosten sein, wenn Sie einen Kalkulationszins von 7 %, einen Betrachtungszeitraum von 25 a sowie eine Energiepreissteigerungsrate von 5 %/a ansetzen?

- c) Wie ändert sich der Wert der möglichen Investition, bei:
1. Förderung der Maßnahme durch einen Zinszuschuss
 2. Verkürzung des Betrachtungszeitraums?

Annuitäten $a_{p,n}$, in [1/a]												
Betrach- tungszeitraum n, in [a]	Kapitalzinssatz p, in [%/a]											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
25	0,040	0,045	0,051	0,057	0,064	0,071	0,078	0,086	0,094	0,102	0,110	0,119

Mittelwertfaktoren für Preissteigerungen m_e und m_w , in [-]												
Kapitalzins p = 5 %/a												
Betrachtungszeitraum n, in [a]	Preissteigerung s, in [%/a]											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
5	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,19	1,22	1,26	1,29	1,33	
10	1,00	1,05	1,11	1,17	1,23	1,30	1,36	1,44	1,52	1,60	1,69	
12	1,00	1,06	1,13	1,20	1,27	1,35	1,44	1,53	1,63	1,74	1,86	
15	1,00	1,07	1,16	1,24	1,34	1,45	1,56	1,69	1,82	1,97	2,14	
18	1,00	1,09	1,18	1,29	1,41	1,54	1,69	1,85	2,03	2,24	2,47	
20	1,00	1,09	1,20	1,32	1,45	1,60	1,78	1,97	2,19	2,43	2,71	
25	1,00	1,11	1,24	1,39	1,57	1,77	2,01	2,29	2,61	2,99	3,43	
30	1,00	1,13	1,28	1,47	1,69	1,95	2,27	2,65	3,11	3,67	4,35	
Kapitalzins p = 7 %/a												
Betrachtungszeitraum n, in [a]	Preissteigerung s, in [%/a]											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
5	1,00	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,19	1,22	1,25	1,29	1,33	
10	1,00	1,05	1,10	1,16	1,22	1,29	1,35	1,42	1,50	1,58	1,66	
12	1,00	1,06	1,12	1,19	1,26	1,34	1,42	1,51	1,61	1,71	1,82	
15	1,00	1,07	1,15	1,23	1,32	1,42	1,53	1,65	1,78	1,92	2,07	
18	1,00	1,08	1,17	1,27	1,38	1,50	1,64	1,79	1,96	2,14	2,35	
20	1,00	1,09	1,19	1,30	1,42	1,56	1,71	1,89	2,08	2,31	2,56	
25	1,00	1,10	1,22	1,36	1,51	1,69	1,90	2,15	2,43	2,75	3,13	
30	1,00	1,12	1,25	1,41	1,60	1,83	2,10	2,42	2,80	3,26	3,82	

Schulsanierung

a)

$$Q_{\text{Trans}} = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \cdot 2000 \text{ m}^2 \cdot (20 - 6) \text{ K} \cdot 240 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d}$$

$$= 193.536 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{\text{Lüftung}} = 0,8 \text{ l/h} \cdot (0,8 \cdot 4000 \text{ m}^3) \cdot 0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K}) \cdot (20 - 6) \text{ K} \cdot 240 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d}$$

$$= 70.189 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{\text{gewinne}} = 40 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \cdot (0,32 \text{ l/m} \cdot 4000 \text{ m}^3)$$

$$= 51.200 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{\text{Verteilung}} = 20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \cdot 1280 \text{ m}^2$$

$$= 25.600 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{\text{Erz (HU)}} = 40 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \cdot 1280 \text{ m}^2$$

$$= 51.200 \text{ kWh}_{\text{HU}}/\text{a}$$

$$Q_{\text{(HU)}} = (193.536 + 70.189 - 51.200 + 25.600) \text{ kWh/a} + 51.200 \text{ kWh/a}$$

$$= 238.125 \text{ kWh/a} + 51.200 \text{ kWh/a}$$

$$= 289.325 \text{ kWh}_{\text{HU}}/\text{a}$$

$$Q_{\text{(HO)}} = Q_{\text{(HU)}} \cdot 1,11 \text{ kWh}_{\text{HU}}/\text{kWh}_{\text{HO}}$$

$$= 289.325 \text{ kWh}_{\text{HU}}/\text{a} \cdot 1,11 \text{ kWh}_{\text{HU}}/\text{kWh}_{\text{HO}}$$

$$= 321.151 \text{ kWh}_{\text{HO}}/\text{a}$$

$$Q_{\text{Erz (HO)}} = 321.151 \text{ kWh}_{\text{HO}}/\text{a} - 238.125 \text{ kWh/a}$$

$$= 83.026 \text{ kWh}_{\text{HO}}/\text{a}$$

$$K_{\text{Gas}} = 321.151 \text{ kWh}_{\text{HO}}/\text{a} \cdot 0,06 \text{ €/kWh}_{\text{HO}} = 19.269 \text{ €/a}$$

b)

$$Q_{\text{Trans,neu}} = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \cdot 2000 \text{ m}^2 \cdot (19 - 5,5) \text{ K} \cdot 200 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d}$$

$$= 64.800 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{\text{Lüftung,neu}} = 0,8 \text{ l/h} \cdot 3200 \text{ m}^3 \cdot 0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K}) \cdot (19 - 5,5) \text{ K} \cdot 200 \text{ d/a} \cdot 24 \text{ h/d}$$

$$= 56.402 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{\text{gewinne,neu}} = 32 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \cdot 1280 \text{ m}^2$$

$$= 40.960 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{\text{Verteilung,neu}} = 18 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \cdot 1280 \text{ m}^2$$

$$= 23.040 \text{ kWh/a}$$

$$Q_{\text{Erz (HU),neu}} = 36 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \cdot 1280 \text{ m}^2 \\ = 46.080 \text{ kWh}_{\text{HU}}/\text{a}$$

$$Q_{\text{(HU),neu}} = (64.800 + 56.402 - 40.960 + 23.040) \text{ kWh}/\text{a} + 46.080 \text{ kWh}/\text{a} \\ = 149.362 \text{ kWh}_{\text{HU}}/\text{a}$$

$$Q_{\text{(HO),neu}} = 149.362 \text{ kWh}_{\text{HU}}/\text{a} \cdot 1,11 \text{ kWh}_{\text{HU}}/\text{kWh}_{\text{HO}} \\ = 165.792 \text{ kWh}_{\text{HO}}/\text{a}$$

$$K_{\text{Gas,neu}} = 165.792 \text{ kWh}_{\text{HO}}/\text{a} \cdot 0,06 \text{ €/kWh}_{\text{HO}} = 9948 \text{ €/a}$$

$$\Delta K_{\text{Gas}} = 9321 \text{ €/a}$$

Randdaten:

$$a_{p,n} = 0,086 \text{ 1/a} \quad \text{für 7 \% und 25 a} \quad \text{aus LEG} \\ m_e = 1,69 \quad \text{für 7 \% und 25 a und 5 \%} \quad \text{aus LEG}$$

Es gilt, dass die jährlichen Kapitalkosten unter den mittleren eingesparten Energiekosten liegen müssen.

$$K_I \leq \Delta K_{e,m} \\ I \cdot a_{p,n} \leq \Delta K_e \cdot m_e$$

$$I \leq \Delta K_e \cdot (m_e/a_{p,n})$$

$$I \leq 9321 \text{ €/a} \cdot (1,69/0,086) \text{ a} = 9321 \text{ €/a} \cdot 19,7 \text{ a} \\ \leq 183.163 \text{ €/a}$$

c)

- Zinszuschuss: $a_{p,n}$ sinkt, die mögliche Investition steigt
- Kürzerer Betrachtungszeitraum: für 10 a gilt z.B. $(m_e/a_{p,n}) = (1,29/0,142) = 9,08 \text{ a}$. Eingesetzt in die letzte Gleichung ergibt sich eine geringere mögliche Investition.