

# Aufgabe - Modernisierung

## Randdaten

Im Rahmen der Diskussion zur Energieeinsparverordnung konkurrieren anlagen- und gebäudetechnische Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit. An der nachfolgenden Heizenergiebilanz sollen die wichtigsten Einflüsse untersucht werden:

$$\begin{aligned} Q &= Q_{\text{Transmission}} + Q_{\text{Lüftung}} - Q_{\text{innere WQ}} - Q_{\text{solare Gewinne}} + Q_{\text{Verteilverluste}} + Q_{\text{Kesselverluste}} + W_{\text{el Zusatzenergien}} \\ Q &= Q_T + Q_V - Q_I - Q_S + Q_d + Q_g + W_{\text{el Zusatzenergien}} \\ Q &= 7.500 + 7.500 - 3.000 - 3.000 + 1.000 + 1.000 + 350 \text{ kWh}_{\text{el}} \end{aligned}$$

(Vorstehend typische Werte für einen Standardfall in kWh/a für ein Einfamilienhaus)

Verbesserungsmaßnahmen **gegenüber einem Standardfall** könnten z.B. sein:

1. Verbesserung der Außenhülle ( $Q_T$ ) führt zu einer Reduzierung der mittleren k-Zahl von 0,4 auf 0,3 W/(m<sup>2</sup>K). Zusätzlicher Investitionsaufwand:  $I_{D\ddot{A}} = 4.000$  EURO.
2. Der Einbau einer Lüftungsanlage mit WRG (Zusätzlicher Investitionsaufwand:  $I_{L\ddot{U}} = 4.000$  EURO) reduziert den Lüftungswärmebedarf durch die Senkung der effektiven Luftwechselzahl von 0,7 auf 0,3 h<sup>-1</sup>.
3. Verbesserte Regelung (Zusatzaufwand  $I_{RE} = 500$  EURO) vermindert die Temperaturdifferenz innen/außen für  $Q_T + Q_V$  in der Heizzeit durch um 1 K niedrigere Raumtemperatur von 15 auf 14 K. Alle anderen Werte bleiben gleich.
4. Der Einbau des Kessels in der gedämmten Hülle anstelle im unbeheizten Keller verringert die Verteilverluste **auf** 20 % des Standardfalls: Zusatzaufwand:  $I_{VERT} = 250$  EURO.
5. Der Einsatz eines Brennwertkessels gegenüber einem NT-Kessel führt zu einer Anhebung des Kesseljahresnutzungsgrades um 6 %. Bestimmen Sie diesen für den NT-Kessel-Standardfall aus obiger Bilanz. Zusatzaufwand:  $I_{KES} = 1.000$  EURO.
6. Der Einsatz einer Regelpumpe anstelle einer einfachen Pumpe führt zu einer verminderten Stromaufnahme  $W_{\text{el. Zusatzenergien, neu}} : 200 \text{ kWh}_{\text{el}}$ . Zusatzaufwand:  $I_{PUMP} = 50$  EURO.

## Aufgabe

Bestimmen Sie für alle Verbesserungsmaßnahmen gegenüber dem Standardfall das Verhältnis jährliche Kapitalkosten für den Zusatzaufwand (für Annuität: Kalkulationszins: 6 %, Nutzungsdauer: DÄ = VERT = 30 a, LÜ = KES = PUMP = 15 a, RE = 12 a) zu eingesparten kWh. Welche Maßnahmen sind bei einem angemommenen Wärmepreis von 5 Cent/kWh und einem Strompreis von 0,13 EURO/kWh<sub>el</sub> wirtschaftlich? Stellen Sie eine Rangfolge auf. Erläutern Sie, warum mit abnehmendem Wärmebedarf der spezifische Wärmepreis steigt.

## Lösungen - Allgemeines

Die folgende Berechnung der Einzelmaßnahmen bezieht nicht die möglichen Einflüsse auf die anderen Parameter ein.

Der Annuitätsfaktor  $a_p$  berechnet sich nach:

$$a_p = \frac{p \cdot (1+p)^n}{(1+p)^n - 1} \quad [1/a] \quad p = \text{Kapitalverzinsung} \quad [\%/a]; \quad n = \text{Nutzungsdauer} \quad [a]$$

## 1. Wärmedämmung

Verbesserung der Außenhülle ( $Q_T$ ) führt zu einer Reduzierung der mittleren k-Zahl von 0,4 auf 0,3 W/(m<sup>2</sup>K). Zusätzlicher Investitionsaufwand:  $I_{D\ddot{A}} = 4.000$  EURO.

Die Verbesserung der Dämmung von 0,4 auf 0,3 W/(m<sup>2</sup>K) ergibt eine Einsparung bei  $Q_T$  von 25 %:

$$Q_{T,Einsparung} = 7.500 \text{ kWh/a} \cdot 0,25 = \underline{1.875 \text{ kWh/a}}$$

Die jährlichen Kapitalkosten für den zusätzlichen Investitionsaufwand von 8.000 DM betragen:

$$K_{a/Zus} = a_p(6 \%, 30 \text{ a}) \cdot I_{D\ddot{A}} = 0,073 \text{ 1/a} \cdot 4.000 \text{ EURO} = 292 \underline{\text{EURO/a}}$$

Jede eingesparte kWh kostet $K_E = \frac{K_{a/Zus}}{Q_{T,Einsparung}} = \frac{292 \text{ EURO/a}}{1.875 \text{ kWh/a}} = \underline{\underline{0,16 \text{ EURO/kWh}}}$ .
---

## 2. Lüftung

Der Einbau einer Lüftungsanlage mit WRG (Zusätzlicher Investitionsaufwand:  $I_{LÜ} = 4.000 \text{ EURO}$ ) reduziert den Lüftungswärmebedarf durch die Senkung der effektiven Luftwechselzahl von 0,7 auf 0,3  $\text{h}^{-1}$ .

Daraus ergibt sich eine Einsparung bei  $Q_V$  von ca. 43 %:

$$Q_{V,\text{Einsparung}} = 7.500 \text{ kWh/a} \cdot \left(1 - \frac{0,4}{0,7}\right) = 7.500 \text{ kWh/a} \cdot 0,43 = \underline{3.225 \text{ kWh/a}}$$

Die jährlichen Kapitalkosten für den zusätzlichen Investitionsaufwand von 4.000 EURO betragen:

$$K_{a/\text{Zus}} = a_p(6 \%, 15 \text{ a}) \cdot I_{LÜ} = 0,103 \text{ 1/a} \cdot 4.000 \text{ DM} = \underline{412 \text{ EURO/a}}$$

$\text{Jede eingesparte kWh kostet } K_E = \frac{K_{a/\text{Zus}}}{Q_{V,\text{Einsparung}}} = \frac{412 \text{ EURO/a}}{3.225 \text{ kWh/a}} = \underline{0,13 \text{ EURO/kWh.}}$
--

### 3. Regelung

Verbesserte Regelung (Zusatzaufwand  $I_{RE} = 500$  EURO) vermindert die Temperaturdifferenz innen/außen für  $Q_T + Q_V$  in der Heizzeit durch um 1 K niedrigere Raumtemperatur von 15 auf 14 K. Alle anderen Werte bleiben gleich.

Daraus ergibt sich eine Einsparung bei  $Q_T + Q_V = Q_{RE}$  und mit  $1 - \frac{14 \text{ K}}{15 \text{ K}} = 0,067$ :

$$Q_{RE, \text{Einsparung}} = 15.000 \text{ kWh/a} \cdot 0,067 = \underline{1.005 \text{ kWh/a}}$$

Die jährlichen Kapitalkosten für den zusätzlichen Investitionsaufwand von 500 EURO betragen:

$$K_{a/Zus} = a_p(6 \%, 12 \text{ a}) \cdot I_{RE} = 0,119 \text{ 1/a} \cdot 500 \text{ EURO} = \underline{60 \text{ EURO/a}}$$

Jede eingesparte kWh kostet $K_E = \frac{K_{a/Zus}}{Q_{RE, \text{Einsparung}}} = \frac{60 \text{ EURO/a}}{1.005 \text{ kWh/a}} = \underline{0,06 \text{ EURO/kWh}}$ .
---

## 4. Verteilung

Der Einbau des Kessels in der gedämmten Hülle anstelle im unbeheizten Keller verringert die Verteilverluste **auf** 20 % des Standardfalls:

Zusatzaufwand:  $I_{\text{VERT}} = 250 \text{ EURO}$ .

Daraus ergibt sich eine Einsparung bei  $Q_d$  von:

$$Q_{d,\text{Einsparung}} = 1.000 \text{ kWh/a} \cdot 0,8 = \underline{800 \text{ kWh/a}}$$

Die jährlichen Kapitalkosten für den zusätzlichen Investitionsaufwand von 250 EURO betragen:

$$K_{a/\text{Zus}} = a_p(6 \%, 30 \text{ a}) \cdot I_{\text{VERT}} = 0,073 \text{ 1/a} \cdot 250 \text{ EURO} = \underline{18,5 \text{ EURO/a}}$$

Jede eingesparte kWh kostet $K_E = \frac{K_{a/\text{Zus}}}{Q_{d,\text{Einsparung}}} = \frac{18,5 \text{ EURO/a}}{800 \text{ kWh/a}} = \underline{\underline{0,023 \text{ EURO/kWh}}}$ .
---

## 5. Brennwertkessel

Der Einsatz eines Brennwertkessels gegenüber einem NT-Kessel führt zu einer Anhebung des Kesseljahresnutzungsgrades um 6 %. Bestimmen Sie diesen für den NT-Kessel-Standardfall aus obiger Bilanz. Zusatzaufwand:  $I_{KES} = 1.000 \text{ DM}$ .

$$\begin{aligned} Q_{\text{W\u00e4rme,ges}} &= Q_T + Q_V - Q_I - Q_S + Q_d + Q_g \\ Q_{\text{W\u00e4rme,ges}} &= 7.500 + 7.500 - 3.000 - 3.000 + 1.000 + 1.000 = 11.000 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{W\u00e4rme,Abg}} &= Q_T + Q_V - Q_I - Q_S + Q_d \\ Q_{\text{W\u00e4rme,Abg}} &= 7.500 + 7.500 - 3.000 - 3.000 + 1.000 = 10.000 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta_{\text{alt}} &= Q_{\text{W\u00e4rme,Abg}} / Q_{\text{W\u00e4rme,ges}} = 10.000 \text{ kWh} / 11.000 \text{ kWh} = 0,909 \\ \eta_{\text{neu}} &= \eta_{\text{alt}} + 0,06 = 0,969 \end{aligned}$$

Daraus ergibt sich eine Einsparung bei  $Q_{\text{W\u00e4rme,ges}}$  von:

$$\begin{aligned} Q_{\text{W\u00e4rme,Einsparung}} &= 11.000 \text{ kWh/a} - 10.000 \text{ kWh/a} / 0,969 \\ &= 11.000 \text{ kWh/a} - 10320 \text{ kWh/a} = \underline{680 \text{ kWh/a}} \end{aligned}$$

Die j\u00e4hrlichen Kapitalkosten f\u00fcr den zus\u00e4tzlichen Investitionsaufwand von 1.000 DM betragen:

$$K_{a/Zus} = a_p(6 \%, 15 \text{ a}) \cdot I_{KES} = 0,103 \text{ 1/a} \cdot 1.000 \text{ DM} = \underline{103 \text{ EURO/a}}$$

$$\text{Jede eingesparte kWh kostet } K_E = \frac{K_{a/Zus}}{Q_{\text{W\u00e4rme,Einsparung}}} = \frac{103 \text{ EURO/a}}{680 \text{ kWh/a}} =$$

**0,16 EURO/kWh.**

## 6. Pumpe

Der Einsatz einer Regelpumpe anstelle einer einfachen Pumpe führt zu einer verminderten Stromaufnahme  $W_{\text{el. Zusatzenergien, neu}} : 200 \text{ kWh}_{\text{el.}}$ .

Zusatzaufwand:  $I_{\text{PUMP}} = 50 \text{ EURO}$ .

$$W_{\text{VERT, Einsparung}} = 350 \text{ kWh/a} - 200 \text{ kWh/a} = \underline{150 \text{ kWh/a}}$$

Die jährlichen Kapitalkosten für den zusätzlichen Investitionsaufwand von 50 EURO betragen:

$$K_{\text{a/Zus}} = a_p(6 \%, 15 \text{ a}) \cdot I_{\text{PUMP}} = 0,103 \text{ 1/a} \cdot 50 \text{ EURO} = \underline{5,2 \text{ EURO/a}}$$

Jede eingesp. kWh kostet $K_E = \frac{K_{\text{a/Zus}}}{W_{\text{VERT, Einsparung}}} = \frac{5,2 \text{ EURO/a}}{150 \text{ kWh/a}} = \underline{\underline{0,035 \text{ EURO/kWh}}}$ .
---



## Rangfolge

Maßn.	Bezeichnung	EURO/kWh	Bemerkung	bezüglich heutiger Energiepreise
6	Pumpe	0,035*	wirtschaftlich	
4	Verteilung	0,023	wirtschaftlich	
3	Regelung	0,06	nicht wirtschaftlich	
2	Lüftung	0,13	nicht wirtschaftlich	
5	Kessel	0,155	nicht wirtschaftlich	
1	Wärmedämmung	0,155	nicht wirtschaftlich	

\* 1 kWh<sub>el</sub> = 0,125 EURO/kWh

Der spezifische Wärmepreis steigt bei abnehmendem Wärmebedarf, weil nicht alle anderen Kosten sinken bzw. sich nicht proportional zum Verbrauch verringern.