

Aufgabe zur Solarthermie:

Ein 2-Familienhaus mit 8 Personen soll eine solarthermische Anlage mit Flachkollektoren für

- 1) Trinkwassererwärmung und
- 2) Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung

erhalten. Der solare Deckungsgrad betrage 60% bei Trinkwassererwärmung und 25 % bei Heizungsunterstützung, der Systemwirkungsgrad für das Kollektorfeld sei im Mittel 40%. Das Haus ist energetisch nach EnEV2002 saniert (Fenster erneuert, Fassaden- und Dachdämmung, Brennwert-Gastherme, etc.) und hat einen Heizwärmebedarf von 70 kWh/m²a (vor der Sanierung 180 kWh/m²a). Die Wohnflächen betragen im EG 100 m², im OG 100 m² und im DG 50 m². Das Haus steht in Mannheim in Südausrichtung; die Neigung des Satteldaches ist 30 Grad.

- a) Bestimme den Wärmebedarf für die Trinkwassererwärmung (12 Grad Kaltwasser, 50 Grad Zapfwasser) und für die Heizungsunterstützung. Für Wärmeverluste infolge Zirkulation, Rohrleitungen und Speicher setze bei 1) 10% und bei 2) 15% des Normwärmebedarfs an.
- b) Zeichne den monatlichen Jahresverlauf des Wärmebedarfs und des Solarangebotes in Anlehnung an das Diagramm Nr. 27 der RRES-Vorlesung, Kap. Solarthermie. Circa 95 % des Heizwärmebedarfs werden von Oktober bis März benötigt.
- c) Berechne die Größe des Kollektorfeldes für die beiden Fälle 1) und 2). Welcher Energieüberschuß ergibt sich bei Fall 2) im Monat Juli? Welche Folgerung ziehen Sie daraus? Was wäre eine sinnvolle Kollektorfeldgröße?
- d) Zeichne je ein Schaltschema für die Anlagenkonzeption 1 und 2. Welche Art und Größen von Speichern empfehlen Sie bei den Konzeptionen 1 und 2 ?
- e) Wie viel Liter und Euro Heizöl werden eingespart und CO₂-Emissionen im Jahr vermieden?
- f) Schätzen Sie etwa die Investitionskosten für die beiden Fälle ab und nach wie viel Jahren hat sich die Investition bei statischer Betrachtung amortisiert?

Lösung:

- a) 1. Trinkwassererwärmung:

$$\text{Wärmebedarf: } Q_T = m \cdot c \cdot (\delta_z - \delta_e) = 8 \cdot 50 \text{ L/d} \cdot 365 \text{ d} \cdot 1,16 \text{ Wh/kgK} \cdot (50 \text{ °C} - 12 \text{ °C}) = 6,435680 \text{ MWh}$$

$$\text{Berücksichtigung Verluste: } Q_g = Q_T + Q_T \cdot 0,1 = \underline{7,079 \text{ MWh}}$$

2. Heizungsunterstützung:

$$\text{Wärmebedarf: } Q_H = SP \cdot A = 70 \text{ kWh/m}^2\text{a} \cdot 250 \text{ m}^2 = 17,5 \text{ MWh}$$

$$\text{Berücksichtigung Verluste: } Q_H = Q_H + Q_H \cdot 0,15 = \underline{20,125 \text{ MWh}}$$

b) Monatlicher Wärmebedarf für Trinkwassererwärmung:

$$Q_{T-Sol}(\text{Monat}) = Q_{T-Sol}(\text{Jahr}) / 12 = 885 \text{ kWh/Monat relativ konstant..}$$

Monatlicher Heizwärmebedarf in der Heizperiode:

$$\begin{aligned} Q_{H-Sol}(\text{Okt.}) &= 0,95 \cdot 0,075 \cdot 12,578 = 896,2 \\ Q_{H-Sol}(\text{Nov.}) &= 0,95 \cdot 0,135 \cdot 12,578 = 1613,1 \\ Q_{H-Sol}(\text{Dez.}) &= 0,95 \cdot 0,29 \cdot 12,578 = 3465,2 \\ Q_{H-Sol}(\text{Jan.}) &= 0,95 \cdot 0,26 \cdot 12,578 = 3196,8 \\ Q_{H-Sol}(\text{Feb.}) &= 0,95 \cdot 0,165 \cdot 12,578 = 1971,6 \\ Q_{H-Sol}(\text{Mrz.}) &= 0,95 \cdot 0,075 \cdot 12,578 = 896,2 \end{aligned}$$

12039,1 kWh Heizperiode

Jahres-Solarangebot in Mannheim : $E = 1086 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

Durchschnittliche Globalstrahlung pro Tag ($\text{kWh/m}^2\text{d}$) in den Monaten:

Heizperiode: Oktober	= $1,81 \cdot 31 = 56,11$
Nov.	= $0,78 \cdot 30 = 23,40$
Dez.	= $0,54 \cdot 31 = 16,74$
Jan.	= $0,69 \cdot 31 = 21,39$
Feb.	= $1,37 \cdot 28 = 38,36$
März	= $2,72 \cdot 31 = 84,32$

240,32 kWh/m^2 Heizperiode

April: 4,04; Mai: 5,11; Juni: 5,37; Juli 5,34; August: 4,48; Sept.: 3,34 $\text{kWh/m}^2\text{d}$
ebene Fläche.

c) Flächenbedarf bei Trinkwassererwärmung:

$$\text{Solare Nutzenergiebedarf: } Q_{Sol} = Q_g \cdot DS / \eta_{Sys} = 7,079 \text{ MWh} \cdot 0,6 / 0,4 = 10,6 \text{ MWh}$$

$$\text{Fläche } A = Q_{T-Sol} / E = 10620 \text{ kWh} / 1086 \text{ kWh/m}^2\text{a} = 9,78 \text{ m}^2 \approx \underline{10 \text{ m}^2}$$

Flächenbedarf bei Trinkwassererw. plus Heizungsunterstützung:

$$\text{Solare Nutzenergiebedarf: } Q_{H-Sol} = Q_H \cdot DS / \eta_{Sys} = 20,125 \text{ MWh} \cdot 0,25 / 0,4 = 12,578 \text{ MWh} = 12,6 \text{ MWh}$$

$$\text{Fläche } A = (6 \times 885 + 12039) \text{ kWh/m}^2\text{Heizperiode} / 240,32 \text{ kWh/m}^2\text{Heizp.} \\ 72,19 \text{ m}^2 \approx \underline{72 \text{ m}^2}$$

Aufgenommene solare Energiemenge im Juli:

$$\text{Energie: } E_A = 5,34 \text{ kWh/m}^2\text{d} \times 31 \text{ d} \times 72 \text{ m}^2 \times 0,4 = 4768 \text{ kWh}$$

$$\text{Bedarf: } E_B = 885 \text{ kWh}$$

=> Viel zu großes Kollektorfeld. Reduzierung auf 18,6% von 72 m^2 , also etwa 14 m^2 .

Damit ein overall solarer Deckungsgrad:

$$DS_{ov} = E \times A \times \eta_{Sys} / E_g = 1086 \text{ kWh/m}^2\text{a} \times 14 \text{ m}^2 \times 0,4 / (7079 + 20125) \text{ kWha} \\ = 0,224 \equiv \underline{22,4 \%}$$

d) Speichergößen

Bei Trinkwassererwärmung:

$$V_S = (1,3 - 1,8) \times m \times (\bar{\delta}_z - \bar{\delta}_e) / (\bar{\delta}_S - \bar{\delta}_e) = \\ (1,3 - 1,8) \times 400 \text{ l} \times (50 - 12) / (60 - 12) = 412 - 570 \text{ L}; \\ \text{Empfehlung } 400 \text{ L Trinkwasserspeicher als Schichtenspeicher}$$

Bei Trinkwasser- und Heizungsunterstützung:

Empfehlung: 1000 l Pufferspeicher mit Frischwasserstation
Aufheizung im Juli: $\Delta\bar{\delta} = Q / m \times c = 5,34 \text{ kWh/m}^2\text{d} \times 14 \text{ m}^2 / 1000 \text{ kg} \times 1,16 \\ \text{Wh/kgK} = 64,4 \text{ K}$ gerade noch machbar.

- e) Heizwert von Heizöl (EL) = 10,08 kWh/L
Brennwert = 10,57 kWh/L
Wirkungsgrad Ölofen = 90% (Ansatz)
Heizöl-Preis derzeit: = 75 ct/L

Energiebedarf ohne Kollektoren für Trinkwassererwärmung: $Q_g = 7,079 \text{ MWh}$

$$\text{Heizölbedarf: } V = Q_g / (H_u \times 0,9) = 7079 / (10,08 \times 0,9) = 780 \text{ L}$$

Energiebedarf für Trinkwassererwärmung mit Solarkollektoren:

$$Q_{T-Sol} = Q_g \times (1-DS) = 7079 \times (1 - 0,6) = 7079 \times 0,4 = 2832 \text{ kWh/a} \\ \text{Heizölbedarf: } V = Q_{T-Sol} / (H_o \times 0,9) = 2832 / (10,57 \times 0,9) = 298 \text{ L.}$$

Ersparnis:

$$\text{Heizöl } \Delta V = 780 \text{ L} - 298 \text{ L} = \underline{482 \text{ L}} \text{ pro Jahr} \\ \text{Kosten } P = V \times p = 482 \text{ L} \times 0,75 \text{ €/L} = \underline{361,50 \text{ €}} \text{ pro Jahr.}$$

Energiebedarf vor energetischer Sanierung bei Trinkw. + Heizwasser-Erwärmung:

$$Q = 180 \text{ kWh/m}^2\text{a} \times 250 \text{ m}^2 + Q_g = (45000 + 7079) \text{ kWh} = 52,079 \text{ MWh}$$

$$\text{Heizölbedarf: } V = Q / (H_u \times 0,9) = 52079 \text{ kWh} / (10,08 \times 0,9) \text{ kWh/L} = 5741 \text{ L} \\ \text{Kosten: } P = V \times p = 5741 \text{ L} \times 0,75 \text{ €/L} = 4306 \text{ €}$$

Heizölbedarf nach energetischer Sanierung bei Trinkw. + Heizwasser-Erwärmung:

$$Q = Q_{T-Sol} \times (1-DS) + Q_{H-Sol} (1-DS) = 7,079 \times (1-0,6) + 20,125 \times (1 - 0,25) \\ = 2,8316 + 15,0937 = 17,925 \text{ MWh}$$

$$\text{Heizölbedarf: } V = Q / (H_o \times 0,9) = 17925 / (10,57 \times 0,9) = 1884 \text{ L} \\ \text{Kosten: } P = V \times p = 1884 \text{ L} / 0,75 \text{ €/L} = 1413 \text{ €}$$

$$\underline{\text{Ersparnis:}} \quad E = 4306 \text{ €} - 1413 \text{ €} = \underline{2893 \text{ €}} \text{ pro Jahr.}$$

CO2-Emissionen:

CO₂-Emissionsfaktor: $e = 682,6 \text{ g/kWh}$

Trinkwassererwärmung:

CO₂-Vermeidung: $m(\text{CO}_2) = \Delta V \times H_u \times e = 482 \text{ L} \times 10,08 \text{ kWh/L} \times 0,6826 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = \underline{3,3 \text{ to}} \text{ CO}_2 \text{ pro Jahr}$

Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung:

CO₂-Vermeidung: $m(\text{CO}_2) = \Delta V \times H_u \times e = (5741 - 1884) \text{ L} \times 10,08 \text{ kWh/L} \times 0,6826 \text{ kg/CO}_2/\text{kWh} = \underline{26,5 \text{ to}} \text{ CO}_2 \text{ pro Jahr.}$

- f) Investitionskosten:
K (Flachkollektor) =
K (Speicher) =
K (Solarkreis) =
K (Montage) =