

## Übung: Optimale Neigung von Solarkollektoren

In Nordrhein-Westfalen ist die Jahressumme an **solarer Einstrahlung** auf eine Fläche **maximal**, wenn diese um ca.  $37^\circ$  nach Süden geneigt ist.

Wie müssen Sie die Neigung der thermischen Solarkollektoren im besten Falle wählen, damit eine **Solaranlage für Warmwasser + Raumheizung** möglichst viel solare Nutzwärme bereitstellt?

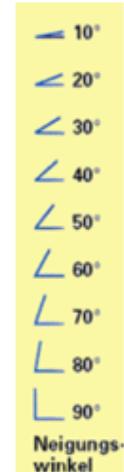
- (1)  $37^\circ$  nach Süden geneigt
- (2) nach Süden geneigt, aber flacher ( $< 37^\circ$ )
- (3) nach Süden geneigt, aber steiler ( $> 37^\circ$ )

Überlegen Sie zuerst alleine (1 min)

Diskutieren Sie mit einem Kommilitonen (2 min)

Abfrage des Meinungsbildes

Lösung



Solarthermie 3

Lösung: Richtig ist Antwort 3.

Begründung:

- Eine thermische Solaranlage für Trinkwarmwasser und Raumheizung hat in der Regel eine so große Kollektorfläche, dass bei  $37^\circ$  Neigung im Sommer der mögliche Solarertrag den Trinkwarmwasserbedarf (Heizwärmebedarf im Sommer gleich Null) erheblich übersteigt.
- Es ist deshalb sinnvoll, den Neigungswinkel so zu verändern, dass die möglichen Solarerträge im Sommer geringer werden (da sie ohnehin nicht genutzt werden), zugunsten einer Steigerung der Solarerträge im Winter und in den Übergangszeiten.
- Dies wird durch einen größeren Anstellwinkel der Solarkollektoren erreicht, da die Einstrahlwinkel der Sonne im Winter und in den Übergangszeiten geringer sind als im Sommer (geringere Höhe des Sonnenstandes)

## Übung: Solarkollektor Wirkungsgradkennlinie

Ein Solarkollektor besitzt folgende Daten:

- Glas-Abdeckung mit  $\tau_{\text{Glas}} = 91\%$
- selektiv beschichteter Absorber mit  $\alpha_{\text{Absorber}} = 93,4\%$
- $a_1 = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Umgebungstemperatur =  $20^\circ\text{C}$

Bearbeiten Sie folgende Aufgaben:

- Berechnen Sie für die beiden Globalstrahlungsleistungen  $\dot{G}_G$  von  $400 \text{ W/m}^2$  und  $800 \text{ W/m}^2$ 
  - den Wirkungsgrad des Kollektors bei Ein-/Austrittstemperaturen des Kollektorkreisfluids am Kollektor von  $50/70^\circ\text{C}$  (ohne Wärmeverluste durch Wärmeabstrahlung d.h.  $a_2 = 0$ )
  - den Wirkungsgrad des Kollektors unter den gleichen Bedingungen, jedoch unter Berücksichtigung der Wärmeverluste durch Wärmeabstrahlung mit  $a_2 = 0,01 \text{ W/m}^2\text{K}^2$
  - die Absorbertemperatur, wenn keine Nutzleistung entnommen wird (= „Stillstandstemperatur“ bei ausgeschalteter Umwälzpumpe), vereinfacht mit  $a_2 = 0$
- Skizzieren Sie die beiden Verläufe des Kollektor-Wirkungsgrades  $\eta$  für  $\dot{G}_G = 400 \text{ W/m}^2$  und für  $\dot{G}_G = 800 \text{ W/m}^2$  in einer Grafik mit y-Achse =  $\eta$  und x-Achse =  $(T_{\text{Kollektormittel}} - T_{\text{Umgebung}})$ , vereinfacht mit  $a_2 = 0$   
Hilfe: je 2 Punkte ( $\eta$  plus zugehöriges  $(T_{\text{Kollektormittel}} - T_{\text{Umgebung}})$ , s.o.) eintragen plus Gerade hindurchlegen  
(Anmerkung: x-Achse =  $(T_{\text{Kollektormittel}} - T_{\text{Umgebung}}) / \dot{G}_G \rightarrow$  nur 1 Wirkungsgradverlauf für alle  $\dot{G}_G$ )

Lösungen für a): 45 %, 65 %, 41 %, 63 %,  $105^\circ\text{C}$ ,  $190^\circ\text{C}$

Solarthermie 1

$$a) \eta = \eta_0 - \frac{a_1 \cdot \Delta T}{\dot{G}_G} - \frac{a_2 \cdot \Delta T^2}{\dot{G}_G}$$

$$\eta_0 = \tau_{\text{Glas}} \cdot \alpha_{\text{Absorber}} = 0,91 \cdot 0,934 = 0,85$$

$$T(\text{Kollektor}) = (50+70)/2 = 60^\circ\text{C}; \quad T(\text{Umgebung}) = 20^\circ\text{C} \rightarrow \Delta T = 40 \text{ K}$$

$$\eta(400 \text{ W/m}^2) = 0,85 - 4 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 40 \text{ K} / 400 \text{ W/m}^2 = 0,85 - 0,4 = 45 \%$$

$$\eta(800 \text{ W/m}^2) = 0,85 - 4 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 40 \text{ K} / 800 \text{ W/m}^2 = 0,85 - 0,2 = 65 \%$$

$$\eta(400 \text{ W/m}^2) = 0,45 - 0,01 \text{ W/m}^2\text{K}^2 \cdot (40 \text{ K})^2 / 400 \text{ W/m}^2 = 0,45 - 0,04 = 41 \%$$

$$\eta(800 \text{ W/m}^2) = 0,65 - 0,01 \text{ W/m}^2\text{K}^2 \cdot (40 \text{ K})^2 / 800 \text{ W/m}^2 = 0,65 - 0,02 = 63 \%$$

$$\text{Stillstandstemperatur: } Q_{\text{Nutz}} = 0 \rightarrow \eta = 0 \quad \text{d.h.} \quad 0 = \eta_0 - \frac{a_1 \cdot \Delta T}{\dot{G}_G} \quad (\text{mit } a_2=0)$$

$$\begin{aligned} (T_{\text{Kollektor}} - T_{\text{Umgebung}}) &= \eta_0 \cdot \dot{G}_G / a_1 = 0,85 \cdot 400 / 4 = 85 \text{ K} \rightarrow T_{\text{Absorber}} = 105^\circ\text{C} \\ &= 0,85 \cdot 800 / 4 = 170 \text{ K} \rightarrow T_{\text{Absorber}} = 190^\circ\text{C} \end{aligned}$$

b) Grafik:  $x = \Delta T$

Kollektorkennlinie:  $\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \Delta T / \dot{G}_G$

d.h.  $\eta = f(\Delta T)$  = Geradengleichung mit unterschiedlichen Steigungen ( $-a_1 / \dot{G}_G$ )

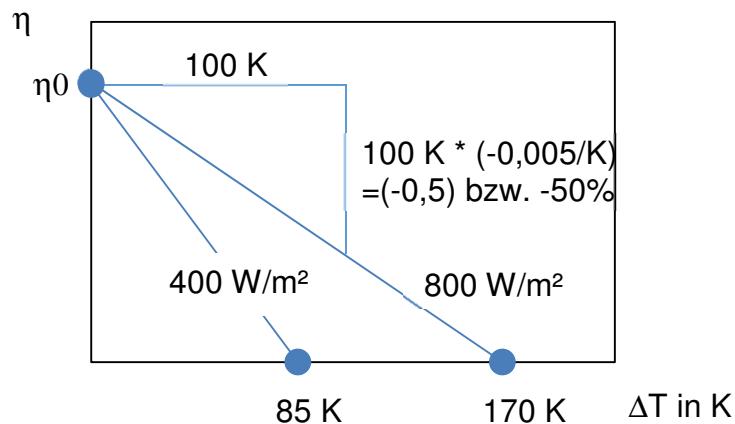
Variante 1: Geraden zeichnen mit zwei Punkten

neben  $\eta_0$  beliebigen zweiten Punkt der Geraden bestimmen, z.B. den in Aufgabenteil a) bestimmten Schnittpunkt mit der x-Achse  
→  $\eta = 0$  für  $\Delta T = 85$  K bei  $400 \text{ W/m}^2$ ,  $170$  K bei  $800 \text{ W/m}^2$

Variante 2: Geraden zeichnen mit einem Punkt + Steigung bzw. Steigungsdreieck

Schnittpunkt mit der y-Achse =  $\eta$  ( $\Delta T=0$ ) =  $\eta_0 = 0,85$

Geradensteigung bei  $400 \text{ W/m}^2$  =  $-a_1/\dot{G}_G = -4/400 = -0,010 \text{ K}^{-1}$   
Geradensteigung bei  $800 \text{ W/m}^2$  =  $-a_1/\dot{G}_G = -4/800 = -0,005 \text{ K}^{-1}$



## Übung: Solaranlage – Kosten

**Berechnen Sie für eine thermische Solaranlage zur Unterstützung der Trinkwarmwasserbereitung folgende Wirtschaftlichkeits-Kennzahlen**

- solarer Wärmepreis  
= jährliche Kosten für Solaranlage / jährlichen Solarertrag
- Endenergieeinsparkosten  
= jährliche Kosten für Solaranlage / jährliche Endenergieeinsparung

Randbedingungen:

- Solarertrag =  $Q(\text{Kollektorkreis}) = 2200 \text{ kWh/a}$   
Endenergieeinsparung = Öl einsparung =  $1875 \text{ kWh/a}$
- Stromverbrauch zum Betrieb der Solaranlage =  $50 \text{ kWh/a}$ ; Strompreis  $30 \text{ ct/kWh}$
- 20 Jahre Lebensdauer bzw. Nutzungsdauer der Solaranlage, 4 % Zins
- Preis der Solaranlage =  $5000 \text{ €}$ , Zuschuss aus Förderprogramm =  $1000 \text{ €}$

*Lösungen: 14,1 ct/kWh, 16,5 ct/kWh*

Solarthermie 2

$$\text{Annuitätenfaktor } a_f = (q^n \cdot z) / (q^n - 1) = (1,04^{20} \cdot 0,04) / (1,04^{20} - 1) = 0,07358 / \text{a}$$

$$\text{Jährliche Rate bzw. „Annuität“} = 4000 \text{ €} * 0,07358 / \text{a} = 294,30 \text{ €/a}$$

$$\text{Stromkosten: } 50 \text{ kWh/a} * 30 \text{ ct/kWh} = 1500 \text{ ct/a} = 15 \text{ €/a}$$

$$\text{solarer Wärmepreis} = \text{Jährliche Kosten} / Q(\text{Kollektorkreis})$$

$$= (294,30 + 15) \text{ €/a} / 2200 \text{ kWh/a} = 14,1 \text{ ct/kWh}$$

$$\text{Endenergieeinsparkosten} = \text{Jährliche Kosten} / (Q_{\text{save,öl}})$$

$$= (294,30 + 15) \text{ €/a} / 1875 \text{ kWh/a} = 16,5 \text{ ct/kWh}$$