



FORSCHUNGS- UND TESTZENTRUM
FÜR SOLARANLAGEN
STUTT GART

Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik
Universität Stuttgart

Professor Dr.-Ing. E. Hahne

ITW

Verfahren zur Berechnung des Energieertrags von Solaranlagen

Entwurf
Stand 30.03.2000

Dipl.-Ing. H. Drück

Auftraggeber: Deutscher Fachverband Solarenergie e.V.
Bertoldstraße 45
79098 Freiburg

Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik
Universität Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. E. Hahne
Pfaffenwaldring 6, 70550 Stuttgart

1. Deckungsanteile für Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung

(zu DIN 4701-10, Kapitel D.3.4.1)

Der Deckungsanteil der Solaranlage am Wärmebedarf für die Trinkwassererwärmung berechnet sich zu

$$\alpha_{g,TW,sol} = \frac{Q_{TW,sol} + Q_{s,TW}}{Q_{W,TW}} = \frac{q_{TW,sol} \cdot A_{Nutz} + q_{s,TW} \cdot A_{Nutz}}{(q_{TW} + q_c + q_d + q_s) \cdot A_{Nutz}} \quad (1)$$

mit: $Q_{TW,SOL}$ Energieertrag der Solaranlage für Trinkwassererwärmung [kWh/a]
 $Q_{S,TW}$ Wärmeverluste Bereitschaftsteil Trinkwasserspeichers [kWh/a]
 $Q_{W,TW}$ Gesamtwärmebedarf Trinkwasser [kWh/a]

1.1. Aufwandszahlen für Solaranlagen

(zu DIN 4701-10, Kapitel D.3.4.2)

Die Aufwandszahl für die mittels Solaranlagen zum Zwecke der Trinkwassererwärmung erzeugte Wärme beträgt $\alpha_{g,TW,sol} = 0$.

Die Aufwandszahl für die mittels Solaranlagen zum Zwecke der Raumheizung erzeugte Wärme beträgt $\alpha_{g,h,sol} = 0$.

2. Ermittlung des Energieertrags von Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung

Die Ermittlung des Energieertrags einer Solaranlage zur Trinkwassererwärmung erfolgt in Abhängigkeit vom Anlagentyp.

Es wird zwischen folgenden Klassen unterschieden:

- Kleine Solaranlagen
- Große Solaranlagen

Anmerkung 1:

Die Einteilung einer Solaranlage zur Trinkwassererwärmung in eine der beiden o. g. Klassen erfolgt aufgrund des Anlagen- bzw. Speicherkonzepts.

Kleine Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung im Sinne dieser Norm **bestehen aus einem Trinkwasserspeicher**. Im oberen Bereich (Bereitschaftsteil) dieses Speichers wird durch Nachheizen eine Mindesttemperatur gewährleistet. Die Nachheizung erfolgt durch einen im Speicher eingebauten Wärmeübertrager. Im unteren Bereich des Speichers (Solarteil) befindet sich ein weiterer Wärmeübertrager, über den die von der Solaranlage gelieferte Energie zugeführt wird.

Große Solaranlage zur Trinkwassererwärmung im Sinne dieser Norm bestehen **aus einem Trinkwasserspeicher und einem solaren Pufferspeicher**. Im Trinkwasserspeicher befinden sich im allgemeinen keine Wärmeübertrager. Die Nachheizung sowie die Einspeisung der Energie aus dem solaren Pufferspeicher folgen daher direkt über externen Wärmeübertrager. In Relation zur Trinkwasserlast, ist das Volumen des Trinkwasserspeichers einer großen Solaranlage deutlich geringer als bei einer kleinen Solaranlage.

Die Ermittlung des Energieertrags der Solaranlage zur Trinkwassererwärmung kann mittels Simulationsrechnungen (siehe Abschnitt 4.3) oder mit dem im folgenden beschriebenen Rechenverfahren erfolgen. Bei diesem Rechenverfahren erfolgt die Ermittlung des Energieertrags der Solaranlage (im Folgenden *reale* Anlage genannt) durch ein Rechenverfahren, welches partiell auf der Ermittlung von Korrekturfaktoren basiert. Diese werden durch den Vergleich von Kenngrößen der realen Anlage mit den Kenngrößen einer Referenzanlage ermittelt.

Da für die o. g. Anlagenklassen unterschiedliche Referenzanlagen zugrunde liegen, ist für jede dieser Anlagenklassen ein individuelles Rechenverfahren zur Ermittlung des Energieertrags erforderlich.

2.1 Benötigte Größen

Für die Ermittlung des Energieertrags der Solaranlage zur Trinkwassererwärmung müssen von dieser die folgenden Größen bekannt sein:

- Gesamtwärmebedarf für Trinkwasser $Q_{W,TW}$ [kWh/a] (s. Kapitel 1, Gleichung 1)
- Kollektor (Kennwerte ermittelt nach DIN 4757, 4 oder prEN 12975,2):

A_c	Kollektorfläche (Apertur) [m^2]
η_0	Konversionsfaktor [-]
k_1	Wärmedurchgangskoeffizient [$W/(m^2 K)$]
k_2	Wärmedurchgangskoeffizient [$W/(m^2 K^2)$]
$IAM(50^\circ)$	Einstrahlwinkelkorrekturfaktor bei $\Theta = 50^\circ$ Einstrahlung [-]
C	effektive Wärmekapazität [$kJ/(m^2 K)$]
- Neigung und Ausrichtung des Kollektorfeldes:
 - Neigungswinkel β ($\beta = 0^\circ$ horizontal)
 - Winkel der Abweichung von der Südausrichtung (Südabweichung) γ ($\gamma = -90^\circ$ Osten)
- Auslastung der Solaranlage slr (solar load ratio) [m^2/kWh]: $slr = \frac{A_c}{Q_{W,TW}}$ (2)
- Länge der gesamten Rohrleitung des Kollektorkreislaufs L_S [m]
- Speicher (Kennwerte ermittelt nach DIN 4753, 8E oder prEN 12977,3):

V_{sto}	Volumen des gesamten Speichers [l]
V_{aux}	Volumen des Bereitschaftsteils des Speichers [l] (Teil des Speichervolumens, der von der Nachheizung erwärmt wird)
V_{sol}	Volumen des 'Solarteils' des Speichers (Solarvolumen) [l] (der Teil des Speichervolumens, der ausschließlich durch die Solaranlage erwärmt wird) $V_{sol} = V_{sto} - V_{aux}$
$(UA)_s$	Wärmeverlustrate des Speichers [W/K]
$(UA)_s^*$	spezifische Wärmeverlustrate [$W/(K l)$] $(UA)_s^* = \frac{(UA)_s}{V_{sto}}$

2.2 Rechenverfahren für Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung

Der Energieertrag der Solaranlage zur Trinkwassererwärmung $Q_{TW,sol}$ wird mittels folgender Gleichung berechnet:

$$Q_{TW,sol} = Q_{SYS} * f_{NA} * f_{slr} * f_{d,sol} * f_{S,Vsol} * f_{S,Vaux} * f_{S,loss} \quad (3)$$

mit:	$Q_{TW,SOL}$	Energieertrag der Solaranlage [kWh/a]
	Q_{SYS}	Jahresenergieertrag der Solaranlage für Referenzbedingungen [kWh/a]
	f_{NA}	Korrekturfaktor für Neigung und Ausrichtung (Horizontal- & Azimutwinkel) [-]
	f_{slr}	Korrekturfaktor für die Auslastung der Solaranlage [-]
	$f_{d,sol}$	Korrekturfaktor für Wärmeverluste des Solarkreises [-]
	$f_{S,Vsol}$	Korrekturfaktor für das Volumen des Solarteils des Speichers [-]
	$f_{S,Vaux}$	Korrekturfaktor für das Volumen des Bereitschaftsteils [-]
	$f_{S,loss}$	Korrekturfaktor für die Wärmeverlustrate des Speichers [-]

2.2.1 Rechengang für kleine Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung

2.2.1.1 Ermittlung des Jahresenergieertrags der Solaranlage, bezogen auf eine Referenzanlage (Q_{SYS})

Q_{SYS} [kWh/a] wird mit folgender Zahlenwertgleichung berechnet:

$$Q_{sys} = (271 \cdot \eta_0 - 18,8 \cdot k_1 - 653 \cdot k_2 + 172 \cdot IAM(50^\circ) - 0,792 \cdot C - 20,7) \cdot A_c \quad (4)$$

Die Kollektorkennwerte müssen mit den in Abschnitt 2.1 angegebenen Einheiten eingesetzt werden.

2.2.1.2 Ermittlung des Korrekturfaktors für Neigung und Ausrichtung (f_{NA})

Der Korrekturfaktor für die Neigung und Ausrichtung des Kollektorfeldes f_{NA} kann aus folgender Tabelle abgelesen werden.

		Winkel der Abweichung von der Südausrichtung								
		Osten: $\gamma = -90^\circ$					Westen: $\gamma = +90^\circ$			
		-90°	-60°	-40°	-20°	0°	20°	40°	60°	90°
N e i g u n g	0°	0,810	0,810	0,810	0,810	0,810	0,810	0,810	0,810	0,810
	15°	0,799	0,855	0,883	0,902	0,911	0,909	0,895	0,872	0,813
	30°	0,787	0,881	0,927	0,962	0,976	0,972	0,952	0,913	0,830
	45°	0,763	0,881	0,940	0,981	1.00	0,997	0,971	0,926	0,820
	60°	0,718	0,848	0,909	0,953	0,978	0,977	0,952	0,905	0,786
	75°	0,646	0,777	0,805	0,865	0,887	0,890	0,883	0,846	0,724
	90°	0,542	0,655	0,682	0,692	0,706	0,725	0,749	0,736	0,631

2.2.1.3 Ermittlung des Korrekturfaktors für die Auslastung der Solaranlage (f_{slr})

Der Korrekturfaktor für die Auslastung der Solaranlage f_{slr} (solar load ratio) kann aus folgender Tabelle abgelesen werden.

(Berechnung von slr siehe Gl. (2))

slr [m^2/kWh]	0,00025	0,0005	0,00075	0,001	0,00125	0,0015	0,00175
f_{slr} [-]	2,246	1,831	1,587	1,415	1,281	1,171	1,079

slr [m^2/kWh]	0,002	0,0025	0,003	0,0035	0,004	0,0045	0,005
f_{slr} [-]	1,000	0,865	0,755	0,663	0,583	0,512	0,449

Regressionsgleichung: $f_{slr} = -2,73 - 0,6 \cdot \ln(slr)$

mit: slr Auslastung (solar load ratio) [m^2/kWh]

2.2.1.4 Ermittlung des Korrekturfaktors für die Wärmeverluste des Solarkreises ($f_{d,sol}$)

Für die Ermittlung des Einflusses der Länge der gesamten Rohrleitungen des Solarkreises der realen Anlage (L_{sol}), muss diese Länge auf eine Länge von 20 m (Rohrleitungslänge der Referenzanlage) bezogen werden.

Es wird hierbei vorausgesetzt, dass die Wärmedämmung der Rohrleitungen entsprechend der Energieeinsparverordnung bzw. der Heizungsanlagenverordnung ausgeführt wird. Ist dies nicht der Fall, so muss der für das Verhältnis der Rohrleitungslängen ermittelte Wert entsprechend dem Verhältnis der auf einen Meter Rohrleitungslänge bezogenen Wärmeverluste korrigiert werden.

Der Korrekturfaktor für die Wärmeverluste des Solarkreises ($f_{d,sol}$) kann aus folgender Tabelle ermittelt werden.

$\frac{L_{sol}}{20 \text{ m}} [-]$	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75
$f_{d,sol} [-]$	1,028	1,019	1,009	1,000	0,991	0,982	0,972

$\frac{L_{sol}}{20 \text{ m}} [-]$	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
$f_{d,sol} [-]$	0,963	0,945	0,926	0,908	0,889	0,871	0,852

Regressionsgleichung:
$$f_{d,sol} = 1,037 - 0,037 \cdot \frac{L_{sol}}{20 \text{ m}}$$

mit: L_{sol} Länge der gesamten Rohrleitungen des Solarkreises [m]

2.2.1.5 Ermittlung des Korrekturfaktors für die Größe des 'Solarvolumens' des Speichers ($f_{s,vsol}$)

Das Solarvolumen der realen Anlage muss auf den Gesamtwärmebedarf für Trinkwasser ($Q_{W,TW}$) mit folgender Zahlenwertgleichung bezogen werden:

$$R_{s,vsol} = \frac{V_{sol}}{0,0509 \cdot Q_{W,TW}}$$

mit: V_{sol} Volumen des Solarteils des Speichers (Solarvolumen) [l]

$Q_{W,TW}$ Gesamtwärmebedarf Trinkwasser [kWh/a]

Der Korrekturfaktor für das Solarvolumen ($f_{s,vsol}$) kann als Funktion von $R_{s,vsol}$ aus folgender Tabelle ermittelt werden:

$R_{s,vsol} [-]$	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,0	2,5	3,0
$f_{s,vsol} [-]$	0,863	0,918	0,963	1,000	1,028	1,048	1,058	1,060	1,038	0,980

Regressionsgleichung:
$$f_{s,vsol} = 0,8 + 0,27 \cdot R_{s,vsol} - 0,07 \cdot R_{s,vsol}^2$$

2.2.1.6 Ermittlung des Korrekturfaktors für die Größe des Bereitschaftsvolumens des Speichers ($f_{S,Vaux}$)

Das Bereitschaftsvolumen der realen Anlage muss auf den Gesamtwärmebedarf für Trinkwasser ($Q_{W,TW}$) mit folgender Zahlenwertgleichung bezogen werden:

$$R_{S,Vaux} = \frac{V_{aux}}{0,0509 \cdot Q_{W,TW}}$$

mit: V_{aux} Volumen des Bereitschaftsteils des Speichers [l]
 $Q_{W,TW}$ Gesamtwärmebedarf Trinkwasser [kWh/a]

Der Korrekturfaktor für das Bereitschaftsvolumen ($f_{S,Vaux}$) kann als Funktion von $R_{S,Vaux}$ aus folgender Tabelle ermittelt werden:

$R_{S,Vaux} [-]$	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,0	2,5	3,0
$f_{S,Vaux} [-]$	1,090	1,060	1,030	1,000	0,970	0,940	0,910	0,880	0,820	0,760

Regressionsgleichung: $f_{S,Vaux} = 1,12 - 0,12 \cdot R_{S,Vaux}$

2.2.2.7 Ermittlung des Korrekturfaktors für die Wärmeverlustrate des Speichers ($f_{S,loss}$)

Die spezifische Wärmeverlustrate des Speichers der realen Anlage $(UA)_s^*$ muss auf die spezifische Wärmeverlustrate der Speichers der Referenzanlage bezogen werden:

$$R_{S,loss} = \frac{(UA)_s^*}{(UA)_{S,ref}^*} = \sqrt{Q_{W,TW}} \cdot \frac{(UA)_s^*}{0,4386}$$

mit: $(UA)_s^*$ spezifische Wärmeverlustrate [W/(K l)]
 $Q_{W,TW}$ Gesamtwärmebedarf Trinkwasser [kWh/a]

Der Korrekturfaktor für die Wärmeverlustrate des Speichers ($f_{S,loss}$) kann als Funktion von $R_{S,loss}$ aus folgender Tabelle ermittelt werden:

$R_{S,loss} [-]$	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
$f_{S,loss} [-]$	1,165	1,110	1,055	1,000	0,890	0,780	0,670	0,560	0,450	0,340

Regressionsgleichung: $f_{S,loss} = 1,22 - 0,22 \cdot R_{S,loss}$

2.2.2 Alternativer Rechengang für kleine Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung

Für die Ermittlung des Energieertrags einer Solaranlage, die bereits nach prEN 12976,2 oder prEN 12977,2 oder ISO 9459,5 geprüft wurde, kann folgendes vereinfachtes Rechenverfahren angewandt werden:

$$Q_{\text{TW,sol}} = Q_{\text{SYS}}^* f_{\text{NA}} * f_{\text{slr}} * f_{\text{d,sol}} * f_{\text{S,Vsol}} * f_{\text{S,Vaux}} * f_{\text{S,loss}}$$

mit:	$Q_{\text{TW,SOL}}$	Energieertrag der Solaranlage [kWh/a]
	Q_{SYS}	Jahresenergieertrag der Solaranlage [kWh/a] ermittelt für die Referenzbedingungen nach prEN 12976,2 bzw. prEN 12977,2 am Standort Würzburg [kWh/a]
	f_{NA}	Korrekturfaktor für Neigung und Ausrichtung (Horizontal- & Azimutwinkel) [-]
	f_{slr}	Korrekturfaktor für die Auslastung der Solaranlage [-]
	$f_{\text{d,sol}}$	Korrekturfaktor für Wärmeverluste des Solarkreises [-]

Die Ermittlung der o. g. Korrekturfaktoren erfolgt mittels der in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Rechenverfahren.

2.2.3 Rechengang für große Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung

2.2.3.1 Ermittlung des Jahresenergieertrags der Solaranlage, bezogen auf eine Referenzanlage (Q_{SYS})

Q_{SYS} [kWh/a] wird mit folgender Zahlenwertgleichung berechnet:

$$Q_{\text{sys}} = (355 \cdot \eta_0 - 26,8 \cdot k_1 - 992 \cdot k_2 + 221 \cdot \text{IAM}(50^\circ) - 0,655 \cdot C) \cdot A_c$$

Die Kollektorkennwerte müssen mit den in Abschnitt 2.1 angegebenen Einheiten eingesetzt werden.

2.2.3.2 Ermittlung des Korrekturfaktors für Neigung und Ausrichtung (f_{NA})

Der Korrekturfaktor für die Neigung und Ausrichtung des Kollektorfeldes f_{NA} kann aus der in Abschnitt 2.2.1.2 angegebenen Tabelle abgelesen werden.

2.2.3.3 Ermittlung des Korrekturfaktors für die Auslastung der Solaranlage (f_{slr})

Der Korrekturfaktor für die Auslastung der Solaranlage f_{slr} (solar load ratio) kann aus folgender Tabelle abgelesen werden.

(Berechnung von slr siehe Gl. (2))

slr [m ² /kWh]	0,00025	0,0005	0,00075	0,001	0,00125	0,0015	0,00175
f_{slr} [-]	2,076	1,661	1,417	1,245	1,111	1,000	0,909

slr [m ² /kWh]	0,002	0,0025	0,003	0,0035	0,004	0,0045	0,005
f_{slr} [-]	0,829	0,695	0,585	0,493	0,413	0,342	0,279

Regressionsgleichung: $f_{\text{slr}} = -2,9 - 0,6 \cdot \ln(slr)$

mit: slr Auslastung (solar load ratio) [m²/kWh]

2.2.3.4 Ermittlung des Korrekturfaktors für die Wärmeverluste des Solarkreises ($f_{\text{d,sol}}$)

Kann für große Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung entfallen.

Es ist $f_{\text{d,sol}} = 1,0$ anzusetzen.

2.2.3.5 Ermittlung des Korrekturfaktors für die Größe des Solarvolumens ($f_{S,Vsol}$)

Das Volumen des solaren Pufferspeichers der realen Anlage muss auf den Gesamtwärmebedarf für Trinkwasser ($Q_{W,TW}$) mit folgender Zahlenwertgleichung bezogen werden:

$$R_{S,Vsol} = \frac{V_{Sol}}{0,068 \cdot Q_{W,TW}}$$

mit: V_{sol} Volumen des solaren Pufferspeichers (Solarvolumen) [l]

$Q_{W,TW}$ Gesamtwärmebedarf Trinkwasser [kWh/a]

Der Korrekturfaktor für das Solarvolumen ($f_{S,Vsol}$) kann als Funktion von $R_{S,Vsol}$ aus folgender Tabelle ermittelt werden:

$R_{S,Vsol} [-]$	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,0	2,5	3,0
$f_{S,Vsol} [-]$	0,908	0,953	0,980	1,000	1,016	1,029	1,040	1,050	1,066	1,080

Regressionsgleichung: $f_{S,Vsol} = (R_{S,Vsol})^{0,07}$

2.2.3.6 Ermittlung des Korrekturfaktors für die Größe Bereitschaftsvolumens des Trinkwasserspeichers ($f_{S,Vaux}$)

Kann für große Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung entfallen.

Es ist $f_{S,Vaux} = 1,0$ anzusetzen.

2.2.3.7 Ermittlung des Korrekturfaktors für die Größe der Wärmeverlustrate des Trinkwasserspeichers und des solaren Pufferspeichers ($f_{S,loss}$)

Kann für große Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung entfallen.

Es ist $f_{S,loss} = 1,0$ anzusetzen.

3. Deckungsanteile für Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Kombianlagen)

Der Deckungsanteil der Kombianlage am Wärmebedarf für die Trinkwassererwärmung berechnet sich nach Kapitel 1, Gleichung (1).

Der Deckungsanteil der Kombianlage am Wärmebedarf für die Raumheizung berechnet sich zu

$$\alpha_{g,h,sol} = \frac{Q_{h,sol}}{Q_{W,h}} = \frac{q_{h,sol} \cdot A_{Nutz}}{(q_h + q_c + q_d + q_s) \cdot A_{Nutz}} \quad (3.1)$$

mit: $Q_{h,SOL}$ Energieertrag der Solaranlage für Raumheizung [kWh/a]
 $Q_{W,h}$ Gesamtwärmebedarf Raumheizung [kWh/a]

Der gesamte solare Energieertrag der Kombianlage errechnet sich zu

$$Q_{K,sol} = Q_{TW,sol} + Q_{h,sol} \quad (3.2)$$

mit: $Q_{TW,SOL}$ Energieertrag der Solaranlage für Trinkwassererwärmung [kWh/a]
 $Q_{h,SOL}$ Energieertrag der Solaranlage für Raumheizung [kWh/a]

Der Energieertrag der Kombianlage zur Trinkwassererwärmung errechnet sich zu

$$Q_{TW,sol} = Q_{K,sol} \cdot f_{K,TW} \quad (3.3)$$

mit: $f_{K,TW}$ Energieanteil der Kombianlage, der zur Trinkwassererwärmung verwendet wird [-] (s. Abschnitt 4.1.2.9)

Der Energieertrag der Kombianlage zur Raumheizung errechnet sich zu

$$Q_{h,sol} = Q_{K,sol} \cdot (1,0 - f_{K,TW}) \quad (3.4)$$

4. Ermittlung des Energieertrags von Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Kombianlagen)

Die Ermittlung des Energieertrags einer Kombianlage erfolgt in Abhängigkeit vom Anlagentyp.

Es wird zwischen folgenden Klassen unterschieden:

- Kleine Kombianlagen
- Große Kombianlagen

Anmerkung 1:

Die Einteilung einer Kombianlage in eine der beiden o. g. Klassen erfolgt aufgrund des Anlagen- bzw. Speicherkonzepts.

Kleine Kombianlagen im Sinne dieser Norm bestehen aus einem **Kombispeicher** oder einem solaren Pufferspeicher und einem Trinkwasserspeicher (Zweisppeicheranlage). Der Trinkwasserspeicher besitzt den gleichen Aufbau wie bei kleinen Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung. Bei Verwendung eines Kombispeichers erfolgt die Trinkwassererwärmung entweder im Durchlaufprinzip oder über einen kleinen Trinkwasserspeicher, der sich innerhalb des Kombispeichers befindet ('Tank-im-Tank' Prinzip). Der solare Pufferspeicher bzw. der Solarteil des Kombispeichers dient zur Speicherung der von der Solaranlage gelieferten Energie.

Große Kombianlagen im Sinne dieser Norm bestehen aus einem **Trinkwasserspeicher und einem solaren Pufferspeicher**. Der für die solare Trinkwassererwärmung relevante Teil besitzt prinzipiell den gleichen Aufbau wie bei großen Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung.

Der solare Pufferspeicher kann bei Anlagen, bei denen ein großer Teil der für die Raumheizung benötigten Energie von der Solaranlage geliefert wird, sehr große Dimensionen besitzen. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn eine saisonale Wärmespeicherung (vom Sommer in den Winter) stattfinden muß.

4.1 Benötigte Größen

Zusätzlich zu den in Abschnitt 2.1 aufgeführten Größen, müssen für die Ermittlung des Energieertrags der Kombianlage die folgenden Größen bekannt sein:

- Gesamtwärmebedarf für Raumheizung $Q_{W,h}$ [kWh/a] (s. Kapitel 3)
- Gesamte Wärmelast für Trinkwassererwärmung und Raumheizung: $Q_{W,ges} = Q_{W,TW} + Q_{W,h}$
- Auslastung der Solaranlage slr (solar load ratio) [m^2/kWh]: $slr = \frac{Ac}{Q_{W,ges}}$ (4.1)
- Temperaturniveau im Heizkreis der Raumheizung ϑ_h : [$^{\circ}C$]
(Arithmetischer Mittelwert aus maximaler und minimaler Temperatur im Auslegungspunkt)

- Speicher (Kennwerte ermittelt nach DIN 4753, 8E oder prEN 12977,3):

$V_{\text{dhw,sto}}$	Volumen des gesamten Trinkwasserspeichers [l]
$V_{\text{dhw,aux}}$	Volumen des Bereitschaftsteils des Trinkwasserspeichers [l] (Teil des Speichervolumens, der von der Nachheizung erwärmt wird) Falls ein Kombispeicher eingesetzt wird, ist $V_{\text{dhw,aux}}$ das Volumen des Kombispeichers, das als Bereitschaftsvolumen für die Trinkwassererwärmung dient
$V_{\text{dhw,sol}}$	Volumen des 'Solarteils' des Trinkwasserspeichers (Solarvolumen) [l] $V_{\text{dhw,sol}} = V_{\text{dhw,sto}} - V_{\text{dhw,aux}}$ Beim Einsatz eines Kombispeichers ist $V_{\text{dhw,sol}} = 0$
V_{sol}	Volumen des solaren Pufferspeichers V_{sol} [l] für die Raumheizungsunterstützung. Beim Einsatz eines Kombispeichers mit dem Gesamtvolumen V_{sto} berechnet sich V_{sol} zu: $V_{\text{sol}} = V_{\text{sto}} - V_{\text{dhw,aux}}$
$(UA)_{\text{s,dhw}}$	Wärmeverlustrate des Trinkwasserspeichers [W/K]
$(UA)_{\text{s,sol}}$	Wärmeverlustrate des solaren Pufferspeichers bzw. des Kombispeichers [W/K]
$(UA)^*_{\text{s}}$	gesamte spezifische Wärmeverlustrate [W/(K l)]

Besteht die Kombianlage aus einem Trinkwasserspeicher und einem solaren Pufferspeicher, so berechnet sich die gesamte spezifische Wärmeverlustrate der Speicher zu

$$(UA)^*_{\text{s}} = \frac{(UA)_{\text{s,dhw}} + (UA)_{\text{s,sol}}}{V_{\text{dhw}} + V_{\text{sol}}} \quad (4.2)$$

Besteht die Kombianlage aus einem Kombispeicher berechnet sich die gesamte spezifische Wärmeverlustrate der Kombispeichers zu

$$(UA)^*_{\text{s}} = \frac{(UA)_{\text{s}}}{V_{\text{sto}}} \quad (4.3)$$

- Volumen des solaren Pufferspeichers der Referenzanlage: $V_{\text{sol,ref}} = A_c \cdot 70 \frac{\text{l}}{\text{m}^2}$
(4.4)

mit: $V_{\text{sol,ref}}$ Volumen des solaren Pufferspeichers der Referenzanlage [l]
 A_c Kollektorfläche (Apertur) [m²]

- Verhältnis $f_{\text{R,TW}}$ der Trinkwasserwärmelast bezogen auf die gesamte Wärmelast:

$$f_{\text{R,TW}} = \frac{Q_{\text{W,TW}}}{Q_{\text{W,ges}}} = \frac{Q_{\text{W,TW}}}{Q_{\text{W,h}} + Q_{\text{W,TW}}} \quad (4.5)$$

4.2 Rechenverfahren für Kombianlagen

Der gesamte Energieertrag der Kombianlage wird mittels folgender Gleichung berechnet:

$$Q_{K,sol} = Q_{SYS} * f_{NA} * f_{slr} * f_{S,dhw,Vaux} * f_{S,dhw,Vsol} * f_{S,Vsol} * f_{S,loss} * f_{h,T} \quad (4.6)$$

mit:	$Q_{K,SOL}$	Energieertrag der Kombianlage [kWh/a]
	Q_{SYS}	Jahresenergieertrag der Kombianlage für Referenzbedingungen [kWh/a]
	f_{NA}	Korrekturfaktor für Neigung und Ausrichtung (Horizontal- & Azimutwinkel) [-]
	f_{slr}	Korrekturfaktor für die Auslastung der Solaranlage [-]
	$f_{S,dhw,Vaux}$	Korrekturfaktor für das Volumen des Bereitschaftsteils [-]
	$f_{S,dhw,Vsol}$	Korrekturfaktor für das Volumen des Solarteils Trinkwasserspeicher [-]
	$f_{S,Vsol}$	Korrekturfaktor für das Volumen des solaren Pufferspeichers [-]
	$f_{S,loss}$	Korrekturfaktor für die Wärmeverluste des bzw. der Speicher(s) [-]
	$f_{h,T}$	Korrekturfaktor Temperaturniveau der Raumheizung [-]

4.2.1 Rechengang für kleine Kombianlagen

4.2.1.1 Ermittlung des Jahresenergieertrags der Kombianlage, bezogen auf eine Referenzanlage (Q_{SYS})

Q_{SYS} [kWh/a] wird mit folgender Zahlenwertgleichung berechnet:

$$Q_{sys} = (199 \cdot \eta_0 - 16,3 \cdot k_1 - 504 \cdot k_2 + 133 \cdot IAM(50^\circ) - 0,590 \cdot C - 23,5) \cdot A_c \quad (4.5)$$

Die Kollektorkennwerte müssen mit den in Abschnitt 2.1 angegebenen Einheiten eingesetzt werden.

4.2.1.2 Ermittlung des Korrekturfaktors für Neigung und Ausrichtung (f_{NA})

Der Korrekturfaktor für die Neigung und Ausrichtung des Kollektorfeldes f_{NA} kann aus folgender Tabelle abgelesen werden.

		Winkel der Abweichung von der Südausrichtung								
		Osten: $\gamma = -90^\circ$					Westen: $\gamma = +90^\circ$			
		-90°	-60°	-40°	-20°	0°	20°	40°	60°	90°
N e i g u n g	0°	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
	15°	0,66	0,73	0,76	0,79	0,81	0,80	0,78	0,75	0,68
	30°	0,65	0,78	0,85	0,90	0,93	0,92	0,88	0,82	0,70
	45°	0,64	0,81	0,90	0,97	1,00	0,98	0,94	0,86	0,70
	60°	0,62	0,80	0,91	0,99	1,02	1,01	0,95	0,86	0,68
	75°	0,56	0,76	0,87	0,95	0,99	0,98	0,92	0,82	0,64
	90°	0,49	0,67	0,76	0,83	0,86	0,86	0,82	0,75	0,57

4.2.1.3 Ermittlung des Korrekturfaktors für die Auslastung der Solaranlage (f_{slr})

Der Korrekturfaktor für die Auslastung der Solaranlage f_{slr} (solar load ratio) kann in Abhängigkeit von $f_{R,TW}$ und von slr aus folgender Tabelle abgelesen werden.

(Berechnung von slr siehe Gl. (4.1), Berechnung von $f_{R,TW}$ siehe Gl. (4.5))

	$f_{R,TW} = 0,1$	$f_{R,TW} = 0,2$	$f_{R,TW} = 0,3$	$f_{R,TW} = 0,5$
$slr = 0,00025 \text{ m}^2/\text{kWh}$	1,569	1,751	1,957	2,213
$slr = 0,0005 \text{ m}^2/\text{kWh}$	1,312	1,466	1,634	1,852
$slr = 0,00075 \text{ m}^2/\text{kWh}$	1,162	1,300	1,446	1,642
$slr = 0,001 \text{ m}^2/\text{kWh}$	1,056	1,182	1,312	1,492
$slr = 0,00125 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,973	1,091	1,208	1,376
$slr = 0,0015 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,906	1,016	1,124	1,281
$slr = 0,00175 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,849	0,953	1,052	1,021
$slr = 0,002 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,799	0,898	0,990	1,132
$slr = 0,0025 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,717	0,807	0,886	1,016
$slr = 0,003 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,649	0,732	0,801	0,921
$slr = 0,0035 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,592	0,669	0,730	0,841
$slr = 0,004 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,543	0,614	0,667	0,771
$slr = 0,0045 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,499	0,566	0,613	0,710
$slr = 0,005 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,460	0,522	0,564	0,655

4.2.1.4 Ermittlung des Korrekturfaktors für die Größe des Bereitschaftsvolumens des Trinkwasserspeichers ($f_{S,dhw,Vaux}$)

Das Bereitschaftsvolumen des Trinkwasserspeichers der realen Anlage muss auf den Gesamtwärmebedarf für Trinkwasser ($Q_{W,TW}$) mit folgender Zahlenwertgleichung bezogen werden:

$$R_{S,dhw,Vaux} = \frac{V_{dhw,aux}}{0,0509 \cdot Q_{W,TW}}$$

mit: $V_{dhw,aux}$ Volumen des Bereitschaftsteils des Trinkwasserspeichers [l]
 $Q_{W,TW}$ Gesamtwärmebedarf Trinkwasser [kWh/a]

Der Korrekturfaktor für das Bereitschaftsvolumen ($f_{S,dhw,Vaux}$) kann als Funktion von $R_{S,dhw,Vaux}$ aus folgender Tabelle ermittelt werden:

$R_{S,dhw,Vaux}$ [-]	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,0	2,5	3,0
$f_{S,dhw,Vaux}$ [-]	1,053	1,035	1,018	1,000	0,983	0,965	0,948	0,930	0,895	0,860

Regressionsgleichung: $f_{S,dhw,Vaux} = 1,07 - 0,07 \cdot R_{S,dhw,Vaux}$

4.2.1.5 Ermittlung des Korrekturfaktors für die Größe des 'Solarvolumens' des Trinkwasserspeichers ($f_{S,dhw,Vsol}$)

Das Solarvolumen des Trinkwasserspeichers der realen Anlage muss auf den Gesamtwärmebedarf für Trinkwasser ($Q_{W,TW}$) mit folgender Zahlenwertgleichung bezogen werden:

$$R_{S,dhw,Vsol} = \frac{V_{dhw,Sol}}{0,0509 \cdot Q_{W,TW}}$$

mit: $V_{dhw,sol}$ Volumen des Solarteils des Trinkwasserspeichers (Solarvolumen) [l]
 $Q_{W,TW}$ Gesamtwärmebedarf Trinkwasser [kWh/a]

Beim Einsatz eines Kombispeichers ist $V_{dhw,sol} = 0$. Für diesen Fall ist der Korrekturfaktor für das Solarvolumen mit $f_{S,dhw,Vsol} = 1,0$ anzusetzen.

Der Korrekturfaktor für das Solarvolumen ($f_{S,Vsol}$) kann als Funktion von $R_{S,Vsol}$ aus folgender Tabelle ermittelt werden:

$R_{S,dhw,Vsol}$ [-]	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,0	2,5	3,0
$f_{S,dhw,Vsol}$ [-]	0,919	0,952	0,978	1,000	1,011	1,018	1,018	1,012	0,980	0,922

Regressionsgleichung: $f_{S,dhw,Vsol} = 0,88 + 0,17 \cdot R_{S,dhw,Vsol} - 0,052 \cdot R_{S,dhw,Vsol}^2$

4.2.1.6 Ermittlung des Korrekturfaktors für die Größe des Volumens des solaren Pufferspeichers ($f_{S,Vsol}$)

Die Größe des Volumens des solaren Pufferspeichers der realen Anlage muss auf die Größe des Volumens des Pufferspeichers der Referenzanlage bezogen werden.

Der Korrekturfaktor für das Solarvolumen ($f_{S,Vsol}$) kann als Funktion von $V_{sol,ref}$ und der Kollektorfläche A_c aus der folgenden Tabelle ermittelt werden:
(Berechnung von $V_{sol,ref}$ siehe Kapitel 4.1, Gleichung (4.4))

	$R_{S,Vsol} = \frac{V_{sol}}{V_{sol,ref}}$										
	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50
$A_c = 10 \text{ m}^2$	0.92	0.93	0.94	0.96	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$A_c = 30 \text{ m}^2$	0.95	0.96	0.98	0.99	0.99	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02
$A_c = 50 \text{ m}^2$	0.94	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02
$A_c = 90 \text{ m}^2$	0.93	0.95	0.97	0.98	0.99	1.00	1.01	1.02	1.03	1.03	1.04
$A_c = 90 \text{ m}^2$	0.92	0.95	0.96	0.98	0.99	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.04

4.1.2.7 Ermittlung des Korrekturfaktors für die Größe der Wärmeverlustrate des Speichers bzw. der Speicher ($f_{S,loss}$)

Die spezifische Wärmeverlustrate der gesamten realen Anlage muss auf die spezifische Wärmeverlustrate der Referenzanlage bezogen werden:

$$R_{S,loss} = \frac{(UA)_S^*}{\frac{0,0447 \cdot \sqrt{Q_{W,TW}} + 0,14 \sqrt{V_{sol,ref}}}{0,10187 \cdot Q_{W,TW} + V_{sol,ref}}}$$

mit: $(UA)_S^*$ gesamte spezifische Wärmeverlustrate [W/(K l)]

$V_{sol,ref}$ Volumen des solaren Pufferspeichers der Referenzanlage [l]

$Q_{W,TW}$ Gesamtwärmebedarf Trinkwasser [kWh/a]

Der Korrekturfaktor für die Wärmeverlustrate des bzw. der Speicher(s) ($f_{S,loss}$) kann als Funktion von $R_{S,loss}$ aus folgender Tabelle ermittelt werden:

$R_{S,loss} [-]$	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
$f_{S,loss} [-]$	1,053	1,035	1,018	1,000	0,965	0,930	0,895	0,860	0,825	0,790

Regressionsgleichung: $f_{S,loss} = 1,07 - 0,07 \cdot R_{S,loss}$

4.1.2.8 Ermittlung des Korrekturfaktors für das Temperaturniveau (im Auslegungspunkt) der Raumheizung ($f_{h,T}$)

Der Korrekturfaktor für das Temperaturniveau der Raumheizung ($f_{h,T}$) kann als Funktion von slr und ϑ_h aus folgender Tabelle abgelesen werden.

(Berechnung von slr siehe Gl. (4.1))

	slr [m ² /kWh]				
	0,00035	0,0006	0,001	0,004	0,006
$\vartheta_h = 20$ °C	1,034	1,050	1,076	1,090	1,104
$\vartheta_h = 30$ °C	1,017	1,025	1,038	1,045	1,052
$\vartheta_h = 40$ °C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
$\vartheta_h = 50$ °C	0,983	0,975	0,962	0,955	0,948
$\vartheta_h = 60$ °C	0,966	0,950	0,924	0,910	0,896
$\vartheta_h = 70$ °C	0,949	0,925	0,886	0,865	0,844
$\vartheta_h = 80$ °C	0,932	0,900	0,848	0,820	0,792

4.1.2.9 Ermittlung des Energieanteils der Kombianlage, der zur Trinkwassererwärmung verwendet wird ($f_{K,TW}$):

Der Energieanteil der Kombianlage, der zur Trinkwassererwärmung verwendet wird, kann in Abhängigkeit von $f_{R,TW}$ und slr aus folgender Tabelle abgelesen werden.

(Berechnung von slr siehe Gl. (4.1), Berechnung von $f_{R,TW}$ siehe Gl. (4.5))

	$f_{R,TW} = 0,1$	$f_{R,TW} = 0,2$	$f_{R,TW} = 0,3$	$f_{R,TW} = 0,5$
$slr = 0,00025 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,539	0,781	0,908	0,953
$slr = 0,0005 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,390	0,602	0,732	0,859
$slr = 0,00075 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,323	0,518	0,645	0,803
$slr = 0,001 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,283	0,465	0,589	0,764
$slr = 0,00125 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,255	0,428	0,550	0,734
$slr = 0,0015 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,234	0,399	0,519	0,709
$slr = 0,00175 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,218	0,377	0,495	0,688
$slr = 0,002 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,205	0,359	0,475	0,670
$slr = 0,0025 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,184	0,330	0,443	0,640
$slr = 0,003 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,169	0,308	0,418	0,615
$slr = 0,0035 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,158	0,291	0,399	0,594
$slr = 0,004 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,148	0,277	0,382	0,576
$slr = 0,0045 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,140	0,265	0,369	0,560
$slr = 0,005 \text{ m}^2/\text{kWh}$	0,133	0,255	0,357	0,545

4.2.2 Rechengang für große Kombianlagen

Der Energieertrag von großen Kombianlagen ist von einer Vielzahl von Betriebsparametern abhängig. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn Langzeitwärmespeicher in diese Anlagen integriert sind. Eine Berechnung des Energieertrags von großen Kombianlagen mit Langzeitwärmespeichern ist mit dem in dieser Norm angegebenen Rechenverfahren nicht möglich.

Der Energieertrag großer Kombianlagen, die nur einen relativ geringen Beitrag zur Deckung der Wärmelast für die Raumheizung liefern d. h. $f_{R, TW} > 0,75$ und bei niedrigen solaren Auslastungen betrieben werden d. h. $slr < 0,0015 \text{ m}^2/\text{kWh}$ kann näherungsweise nach dem in dieser Norm für große Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung beschriebenen Verfahren berechnet werden.

Für Solaranlagen, für die in dieser Norm kein Rechenverfahren beschrieben ist, kann die Ermittlung des Energieertrags mit den zur Auslegungsplanung verwendeten Simulationsprogrammen durchgeführt werden.

4.3 Ermittlung des Ertrags der Solaranlage mittels Simulationsprogrammen

Alternativ zu den in dieser Norm beschriebenen Rechenverfahren, kann die Ermittlung des Energieertrags mittels kommerziell erhältlichen Simulationsprogrammen erfolgen, die die in Anhang A spezifizierten Anforderungen erfüllen.

Anhang A: (Normativ): Simulationsprogramme

A.1: Einleitung

Der jährliche Energieertrag einer Solaranlage ist von zahlreichen Randbedingungen abhängig. Eine genaue Beschreibung des thermischen Verhaltens von Solaranlagen kann daher nur mit Hilfe von numerischen Simulationsrechnungen erfolgen. Die in diesem Normteil angegebenen Regressionsformeln und Diagramme basieren auf Simulationen, die mit dem Programm TRNSYS (genaue Spezifikation siehe A.2) am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart durchgeführt wurden.

A.2: Referenz-Simulationsprogramm

Als Referenz-Simulationsprogramm dient die im folgenden spezifizierte Version von TRNSYS:

TRNSYS Version 14.2

Erhältlich bei: TRANSSOLAR Energietechnik GmbH, Nobelstraße 15, 70569 Stuttgart

Zusätzlich zu den im Lieferumfang der Standardversion enthaltenen Programmteilen wurden folgende Unterprogramme verwendet:

Type 101:

Matched Flow Collector Model (MFC), Version 1/97, Per Isakson, Department of Building Services Engineering, Royal Institute of Technology, S-100 44 Stockholm, Schweden

Type 140:

Multiport Store Model, Version 1.98 (2/99), Harald Drück, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW), Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 6, 70550 Stuttgart

Eine lauffähige Version von TRNSYS einschließlich Source-Code, sowie die Konfigurationsdateien für die in Anhang B spezifizierten Referenzanlagen (Decks) ist hinterlegt bei:

DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
Normenausschuß Heiz- und Raumluftechnik (NHRS)
Burggrafenstraße 6, D-10787 Berlin

A.3: Verwendung anderer Simulationsprogramme

Andere kommerziell verfügbare Simulationsprogramme können verwendet werden, wenn für die in Anhang B beschriebenen Standard-Referenz-Solaranlagen eine Validierung der mit diesen Programmen ermittelten Ergebnissen erfolgt ist. Für eine erfolgreiche Validierung muss nachgewiesen werden, dass für diese Standard-Referenz-Solaranlagen die in Anhang B angegebenen jährlichen Systemerträge pro m² Kollektorfläche mit einer Genauigkeit von ± 3 % (bezogen auf den Referenzwert) mit dem zu validierenden Programm berechnet werden können.

Als Größen zur Beschreibung der Solaranlagen dürfen nur die in dieser Norm beschriebenen Kennwerte verwendet werden.

Anhang B (Normativ): Daten der Standard-Referenzanlagen

B.1 Daten für alle Standard-Referenzanlagen

Für alle in dieser Norm durchgeführten Simulationsrechnungen wurden für die Standard-Referenzanlagen folgende Größen verwendet:

- Kollektor (Kennwerte ermittelt nach DIN 4757, 4 oder prEN 12975,2):

$\eta_0 = 0,8$	Konversionsfaktor
$k_1 = 3,5 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$	Wärmedurchgangskoeffizient
$k_2 = 0,02 \text{ W/(m}^2 \text{ K}^2)$	Wärmedurchgangskoeffizient
$IAM(50^\circ) = 0,92$	Einstrahlwinkelkorrekturfaktor bei $\Theta = 50^\circ$ Einstrahlung
$C = 7,0 \text{ kJ/(m}^2 \text{ K)}$	effektive Wärmekapazität
- Neigung und Ausrichtung des Kollektorfeldes:
 - Neigungswinkel $\beta = 45^\circ$
 - Südabweichung $\gamma = 0^\circ$ (d. h. genau nach Süden ausgerichtet)
- Kaltwassertemperatur (Trinkwasser): $10 \pm 3^\circ \text{C}$ (jahreszeitabhängig)
- Warmwassertemperatur (Trinkwasser): 45°C
- Wetterdaten: Testreferenzjahr Würzburg

B.2 Daten der kleinen Standard-Referenzanlage zur Trinkwassererwärmung

Zusätzlich zu den im Abschnitt B.1 spezifizierten Größen werden für die kleine Standard-Referenzanlage zur Trinkwassererwärmung folgende Größe angenommen:

- Kollektorfläche: $A_{c,ref} = 10 \text{ m}^2$
- Gesamtwärmebedarf für Trinkwasser: $Q_{W,TW,ref} = 5041,5 \text{ [kWh/a]}$ (s. Kapitel 1, Gl. (1))
(davon 90 % Kaltwasser, 10 % Zirkulation)
- Warmwasserzapfungen:
7.00 Uhr - 7.09 Uhr, 12.00 Uhr - 12.06 Uhr, 19.00 Uhr - 19.09 Uhr
- Solltemperatur im Trinkwasserspeicher: $52,5^\circ \text{C}$
- Betrieb Warmwasserzirkulation:
6.30 Uhr - 7.30 Uhr, 11.30 Uhr - 12.30 Uhr, 19.30 Uhr - 20.30 Uhr
- Temperaturen Warmwasserzirkulation:
Speicheraustritt: $52,5^\circ \text{C}$ Speichereintritt: $47,5^\circ \text{C}$
- Auslastung der Solaranlage $slr_{ref} = 10 \text{ m}^2 / 5041,5 \text{ kWh} = 0,001984 \text{ m}^2/\text{kWh}$ (s. Gl. (2))

- Länge der gesamten Rohrleitung des Kollektorkreislaufs: $L_S = 2 \cdot 10 \text{ m} = 20 \text{ m}$
- Volumen [l] des gesamten Speichers: $V_{\text{sto,ref}} = 0,1019 \cdot Q_{W,TW}$
- Volumen des Bereitschaftsteils [l] des Speichers: $V_{\text{aux,ref}} = 0,0509 \cdot Q_{W,TW}$
- Volumen des Solarteils [l] des Speichers: $V_{\text{sol,ref}} = V_{\text{sto,ref}} - V_{\text{aux,ref}}$
- spezifische Wärmeverlustrate des Speichers $(UA)_S^* [\text{W}/(\text{K l})] : (UA)_{S,\text{ref}}^* = \frac{0,4386}{\sqrt{Q_{W,TW}}}$

Anmerkung: Bei den o. g. Formeln ist $Q_{W,TW}$ in [kWh/a] einzusetzen

B.1.1 Ertrag der kleinen Standard-Referenzanlage zur Trinkwassererwärmung

- jährlicher Systemertrag (pro m^2 Kollektorfläche): $Q_{\text{sys,ref}} = 270,05 \text{ kWh/m}^2$

B.3: Daten der großen Standard-Referenzanlage zur Trinkwassererwärmung

Zusätzlich zu den im Abschnitt B2 spezifizierten Größen werden für die große Standard-Referenzanlage zur Trinkwassererwärmung folgende Größe angenommen:

- Kollektorfläche: $A_{\text{ref}} = 300 \text{ m}^2$
- Gesamtwärmebedarf für Trinkwasser: $Q_{W,TW,\text{ref}} = 200,09 \text{ MWh}$ (s. Kapitel 1, Gl. (1))
(davon 80 % Kaltwasser, 20 % Zirkulation)
- Warmwasserzapfungen: 6.30 Uhr - 21.30 Uhr (kontinuierlich)
- Solltemperatur im Trinkwasserspeicher: $52,5 \text{ }^\circ\text{C}$
- Betrieb Warmwasserzirkulation: 4.00 Uhr - 24.00 Uhr (kontinuierlich)
- Temperaturen Warmwasserzirkulation:
Speicheraustritt: $52,5 \text{ }^\circ\text{C}$ Speichereintritt: $47,5 \text{ }^\circ\text{C}$
- Auslastung der Solaranlage: $slr_{\text{ref}} = 300 \text{ m}^2 / 200,09 \text{ MWh} = 0,0015 \text{ m}^2/\text{kWh}$ (s. Gl. (2))
- Länge der gesamten Rohrleitung des Kollektorkreislaufs: $L_S = 2 \cdot 50 \text{ m} = 100 \text{ m}$
- Volumen [l] gesamter Trinkwasserspeicher: $V_{\text{dhw,sto,ref}} = 200 \cdot \ln(0,068 \cdot Q_{W,TW})$
- Volumen Bereitschaftsteil [l] Trinkwasserspeicher: $V_{\text{dhw,aux,ref}} = 100 \cdot \ln(0,068 \cdot Q_{W,TW})$
- Volumen Solarteil [l] Trinkwasserspeicher: $V_{\text{dhw,sol,ref}} = V_{\text{dhw,sto,ref}} - V_{\text{dhw,aux,ref}}$
- spezifische Wärmeverlustrate des Trinkwasserspeichers $(UA)_{S,\text{dhw,ref}}^* [\text{W}/(\text{K l})] :$
$$(UA)_{S,\text{dhw,ref}}^* = \frac{0,01}{\sqrt{\ln(0,068 \cdot Q_{W,TW})}}$$
- Volumen [l] solarer Pufferspeicher: $V_{\text{sol,ref}} = 0,068 \cdot Q_{W,TW}$

- spezifische Wärmeverlustrate solarer Pufferspeicher $(UA)^*_{S,sol,ref}$ [W/(K l)] :

$$(UA)^*_{S,sol,ref} = \frac{0,4386}{\sqrt{Q_{W,TW}}}$$

Anmerkung: Bei den o. g. Formeln ist $Q_{W,TW}$ in [kWh/a] einzusetzen

B.3.1 Ertrag der großen Standard-Referenzanlage zur Trinkwassererwärmung

- jährlicher Systemertrag (pro m² Kollektorfläche): $Q_{sys,ref} = 368,63 \text{ kWh/m}^2$

B.4: Daten der kleinen Standard-Referenzanlage zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung (Kombianlage)

Zusätzlich zu, bzw. abweichend von den im Abschnitt B2 und Abschnitt B3 spezifizierten Größen werden für die kleine Standard-Referenzanlage zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung folgende Größen angenommen:

- Kollektorfläche: $A_{c,ref} = 30 \text{ m}^2$
- Gesamtwärmebedarf für Trinkwasser: $Q_{W,TW,ref} = 5041,5 \text{ [kWh/a]}$
- Gesamtwärmebedarf für Raumheizung: $Q_{W,h,ref} = 11760 \text{ [kWh/a]}$
(Wohnfläche des Gebäudes 166 m²)
- Gesamte Wärmebedarf: $Q_{ges} = 16801,5 \text{ [kWh/a]}$
- Temperaturniveau im Heizkreis der Raumheizung: $\vartheta_h = 40 \text{ °C}$
(Heizungsauslegung 50°C/30°C, Radiatorheizung)
- Auslastung der Solaranlage:
 $slr_{ref} = 30 \text{ m}^2 / 16801,5 \text{ kWh} = 0,001786 \text{ m}^2/\text{kWh}$ (s. Gl. (4.1))

Anmerkung: Bei den o. g. Formeln ist $Q_{W,TW}$ in [kWh/a] einzusetzen

B.4.1 Ertrag der kleinen Standard-Referenzanlage zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung

- gesamter jährlicher Systemertrag (pro m² Kollektorfläche):
 $Q_{sys,ref} = 186,7 \text{ kWh/m}^2$
- jährlicher Ertrag (pro m² Kollektorfläche) für Trinkwassererwärmung:
 $Q_{TW,ref} = 91,43 \text{ kWh/m}^2$
- jährlicher Ertrag (pro m² Kollektorfläche) für Raumheizung:
 $Q_{h,ref} = 95,27 \text{ kWh/m}^2$

Anhang C: Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung des Energieertrags von Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung

In diesem Anhang wird ein vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung des Energieertrags von Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung beschrieben. Dieses Verfahren kann als sogenanntes 'Kurzverfahren' in die DIN 4701, Teil 10 übernommen werden.

Da es sich um ein vereinfachtes Verfahren handelt, wird nicht zwischen großen und kleinen Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung unterschieden.

Dieses vereinfachte Verfahren darf angewendet werden, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- Gesamtwärmebedarf Trinkwasser: $q_{W,TW} = \frac{Q_{W,TW}}{A_{Nutz}} > 25,4 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$
- Neigung und Ausrichtung des Kollektorfeldes:
 - Neigungswinkel: $15^\circ < \beta < 60^\circ$
 - Südabweichung: $-40^\circ < \gamma < 40^\circ$
- Länge der gesamten Rohrleitung des Kollektorkreislaufs: $L_S < 50 \text{ m}$
- Volumen des Bereitschaftsteils [l] des Speichers: $V_{aux} < 0,075 * Q_{W,TW}$
- Volumen des Solarteils [l] des Speichers: $0,04 * Q_{W,TW} < V_{sol} < 0,15 * Q_{W,TW}$
($V_{sol} = V_{sto} - V_{aux}$ mit V_{sto} = Volumen des gesamten Speichers)
- spezifische Wärmeverlustrate des Speichers $(UA)^*_S [\text{W/(K l)}] : (UA)^*_{S,ref} < \frac{0,66}{\sqrt{Q_{W,TW}}}$
- Kollektorertrag: $\frac{Q_{sys}}{A_{Nutz}} > 200 \text{ kWh / (m}^2\text{a)}$ (Berechnung Q_{sys} siehe Kapitel 2.2.1.1 Gl. (4))

Anmerkung: Bei den o. g. Formeln ist $Q_{W,TW}$ in [kWh/a] einzusetzen

Mit dem vereinfachten Verfahren berechnet sich der Energieertrag der Solaranlage zur Trinkwassererwärmung $Q_{TW,sol}$ mit folgender Formel:

$$Q_{TW,sol} = q_{SYS,STD} * A_c \quad (C.1)$$

mit: $Q_{SOL,TW}$ = Energieertrag der Solaranlage [kWh/a]

$q_{SYS,STD}$ = Jahresenergieertrag einer 'typischen' Solaranlage zur
Trinkwassererwärmung je m^2 Kollektorfläche [kWh/($\text{m}^2 \text{ a}$)]

A_c = Fläche des Kollektors (Apertur) [m^2]

Die Ermittlung des Jahresenergieertrags je m² Kollektorfläche $q_{\text{SYS,STD}}$ einer 'typischen' Solaranlage zur Trinkwassererwärmung erfolgt in Abhängigkeit von der Auslastung der Solaranlage (slr^*).

Die Auslastung slr^* (solar load ratio) der Solaranlage berechnet sich für diesen Fall zu:

$$slr^* = \frac{Ac}{A_{\text{Nutz}}}$$

mit: Ac Kollektorfläche (Apertur) [m²]

Die entsprechenden Werte für $q_{\text{SYS,STD}}$ können als Funktion von slr^* aus folgender Tabelle abgelesen werden:

$slr^* \text{ [m}^2\text{/m}^2\text{]}$	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04	0,045	0,05
$q_{\text{SYS,STD}} \text{ [kWh/(m}^2\text{a)]}$	362	293	252	223	201	183	167	154	142	132

$slr^* \text{ [m}^2\text{/m}^2\text{]}$	0,055	0,06	0,065	0,07	0,075	0,08	0,085	0,09	0,095	0,1
$q_{\text{SYS,STD}} \text{ [kWh/(m}^2\text{a)]}$	122	113	105	97	91	85	79	73	67	62

Anhang D: Vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung des Energieertrags von Kombianlagen

Der Energieertrag von Kombianlagen (Solaranlagen, die zur Deckung des Wärmebedarfs für die Trinkwassererwärmung und die Raumheizung beitragen) ist von einer Vielzahl von Größen abhängig. Es wird daher die Berechnung des Energieertrags nach Kapitel 4 empfohlen.

Der Energieertrag von Kombianlagen, die nur einen relativ geringen Beitrag zur Deckung der Wärmelast für die Raumheizung liefern d. h. $f_{R, TW} > 0,75$ und bei niedrigen solaren Auslastungen betrieben werden d. h. $slr^* < 0,04 \text{ m}^2/\text{m}^2 \text{ kWh}$ kann näherungsweise nach dem in dieser Norm für Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung beschriebenen vereinfachten Verfahren ermittelt werden (siehe Anhang C).

(Berechnung von $f_{R, TW}$ siehe Gl. (4.5), Berechnung von slr^* , siehe Gleichung (C.1))