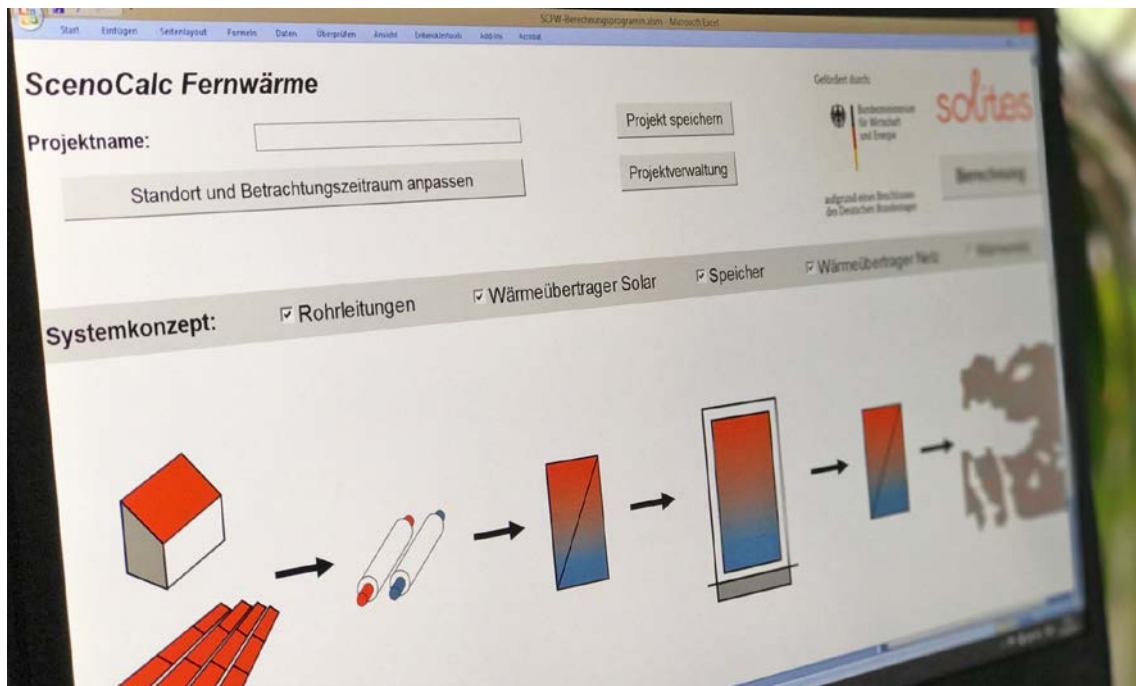


# SCENOCALC FERNWÄRME

## VERSION 2.0

### HANDBUCH



# SCENOCALC FERNWÄRME

## INHALTSVERZEICHNIS

I

### Autoren:

M.Sc. Magdalena Berberich

Dipl.-Ing. Laure Deschaintre

Dipl.-Ing. Thomas Schmidt

### Solites

Steinbeis Forschungsinstitut für

solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme

Meitnerstr. 8, 70563 Stuttgart

Tel.: +49 711/6732000-0, Fax: +49 711/6732000-99

info@solites.de

www.solites.de

Stuttgart, den 28.06.2017

### Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



### Haftungsausschluss

Die hier vorgestellten Inhalte wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung. Weder die Autoren noch PTJ oder das BMWi sind verantwortlich für jegliches Ergebnis, das mit Hilfe dieses Berechnungsprogramms erzeugt wurde.

### INHALT

1. Einführung .....	1
2. Eigenverantwortung des Nutzers .....	2
3. Bedienung .....	3
3.1. Standort und Betrachtungszeitraum .....	3
3.2. Kollektorfeld .....	5
3.3. Rohrleitungen .....	9
3.4. Wärmeübertrager.....	10
3.5. Wärmespeicher.....	10
3.6. Wärmenetz .....	11
3.6.1. Berechnung mit Lastprofil des Wärmenetzes .....	11
3.6.2. Direkte Einspeisung .....	14
3.7. Betriebstemperaturen .....	14
3.8. Regelung .....	15
3.8.1. Vorwärmbetrieb.....	15
3.8.2. Regelung auf Netzzvorlauftemperatur .....	15
3.9. Berechnung nach Solar-Keymark.....	16
3.10. Projektverwaltung .....	18
3.11. Berechnungsdurchführung .....	18
3.12. Ergebnisdarstellung.....	18
3.13. Weitere Hinweise zur Bedienung .....	20
Literaturverzeichnis .....	22
Anhang .....	22

### 1. EINFÜHRUNG

ScenoCalc Fernwärme (SCFW) wurde im Rahmen des BMWi-Verbund-Forschungsvorhabens 0325554A und B entwickelt. Mit ScenoCalc Fernwärme kann der solare Nutzwärmeertrag einer Solarthermieanlage berechnet werden. Die Berechnungsmethodik baut auf dem Berechnungsprogramm ScenoCalc (Solar Collector Energy Output Calculator, Version 5.01 [1]) auf. Um eine hohe Transparenz zu schaffen, wurden die Berechnungen in einer Microsoft-Excel Arbeitsmappe in Formeln auf Tabellenblättern umgesetzt.

Neue Elemente in ScenoCalc Fernwärme im Vergleich zu ScenoCalc sind:

- Standorte können ausgewählt und eigene Standorte mit Wetterdaten hinzugefügt werden.
- Kollektoren sind aus einer Kollektordatenbank auswählbar und neue Kollektoren können hinzugefügt werden.
- Die Ergebnisse werden für einen frei gewählten Zeitraum angezeigt.
- Die Konfiguration für ein Projekt (eine Berechnung) ist archivierbar und später wieder abrufbar.
- Die Kollektormitteltemperatur kann als konstanter Wert oder zeitlich variabel angegeben werden. Bei variabler Kollektormitteltemperatur werden entweder eigene stündliche Soll-Vorlauf- und -Rücklauftemperaturen eingegeben oder der stündliche Verlauf wird aus für Sommer und Winter eingegebenen Temperaturwerten berechnet.
- Die Auswahl des Wärmeträgermediums ist möglich: Bei Verwendung von Wasser-Glykol kann ein Verlustwert für die verminderte Wärmeübertragung eingegeben werden, um den der Kollektorwirkungsgrad in der weiteren Berechnung reduziert wird. Bei Verwendung von Wasser kann eingegeben werden, welcher Anteil des solaren Wärmeertrags für den Frostschutz aufgewendet werden soll. Außerdem kann die Grenztemperatur gewählt werden, ab der der Frostschutz notwendig ist.
- Zusätzliche Systemkomponenten wie Rohrleitungen, Wärmeübertrager und ein Wärmespeicher können berücksichtigt werden. Die Auswirkungen zusätzlicher Komponenten auf den Solarertrag werden dabei vereinfacht betrachtet.

Im Vergleich zu einem theoretischen Kollektorsertrag nach Solar-Keymark werden in den Kollektoren selbst und durch die berücksichtigten Anlagenkomponenten Wärmeverluste berücksichtigt. Die berechneten Verluste unterscheiden sich je nach ausgewählter Konfiguration und können bei ungünstigen Kombinationen und Eingabewerten sehr hoch werden. Eine qualitative Darstellung der Verlustarten wird in Abbildung 1 gezeigt.

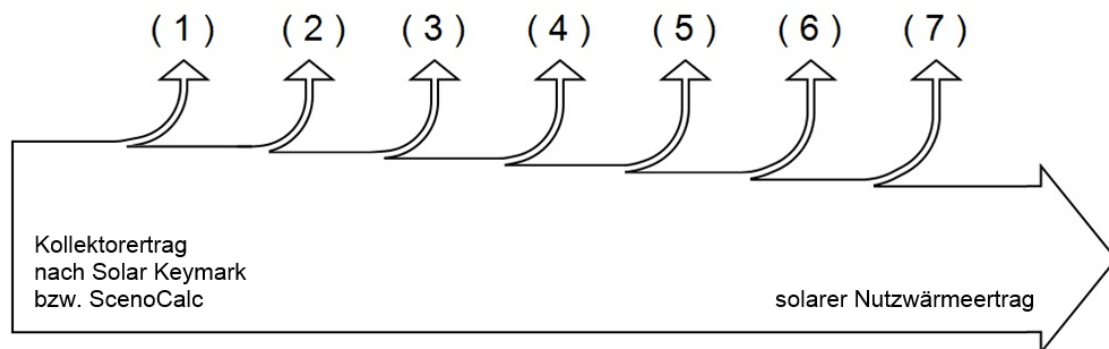


Abbildung 1: Qualitatives Schema der berücksichtigten Wärmeverluste

- (1) Wärmekapazität der Kollektoren (Aufwärm- und Abkühlvorgänge)
- (2) Wärmeverluste der Rohrleitungen (kapazitiv und transitiv)
- (3) Wärmeträgerveränderung durch Frostschutzmittel
- (4) aktiver Frostschutz
- (5) Wärmeverluste durch Speicherung
- (6) Wärmeübertragungsvorgänge (Erhöhung der mittleren Kollektortemperatur durch Wärmeübertrager und Wärmespeicher)
- (7) ungenutzter Solarwärmeüberschuss

In den Eingabefeldern ist meist ein Standardwert angegeben und die Eingabe beliebiger Werte ist möglich. Der Nutzer ist selbst für die Eingabe und Verwendung der Werte verantwortlich.

Die in ScenoCalc Fernwärme enthaltenen Wetterdaten stammen aus Meteornorm (Version 6.1, [www.meteornorm.com](http://www.meteornorm.com) [2]).

SCFW wurde für die Nutzung mit den Office-Versionen 2007 und 2016 entwickelt und getestet.

## 2. EIGENVERANTWORTUNG DES NUTZERS

Das Berechnungsprogramm SCFW wurde für erste Abschätzungen des solaren Nutzwärmeertrages von in Wärmenetze eingebundenen Solarthermieanlagen entwickelt und ersetzt keine Systemauslegung oder abschließende Dimensionierung.

Das Berechnungsprogramm SCFW setzt solarthermisches Systemwissen voraus. SCFW berechnet Formeln mit voreingestellten und durch den Nutzer eingegebenen Werten. Dabei erfolgt keine Prüfung der technischen und wirtschaftlichen Sinnhaftigkeit der Eingaben und der Berechnungsergebnisse. Dies ist alleinige Aufgabe des Nutzers.

Es handelt sich um eine offene Excelmappe, in der auch die geschützten Bereiche durch den Nutzer entsperrt werden können, siehe Abschnitt 3.13. Änderungen der Originalversion können die Berechnungsergebnisse beeinflussen. Hierauf wird ausdrücklich hingewiesen.

Für einige Eingabewerte schlägt dieses Handbuch mögliche Werte vor und gibt Hilfestellungen.

### 3. BEDIENUNG

Für die Nutzung der Mappe müssen die aktiven Inhalte (Makros) aktiviert werden.

Auf dem *Hauptblatt* (Abbildung 2) werden alle Einstellungen für die Berechnung vorgenommen. Die Komponenten des Systemkonzepts *Rohrleitungen*, *Wärmeübertrager*, *Speicher* und *Wärmenetz* sind optional. Sie können über die Auswahlfelder in der Zeile *Systemkonzept* aus- oder abgewählt werden. Durch Anklicken der Bilder werden Formulare für die Konfiguration der einzelnen Komponenten aufgerufen.

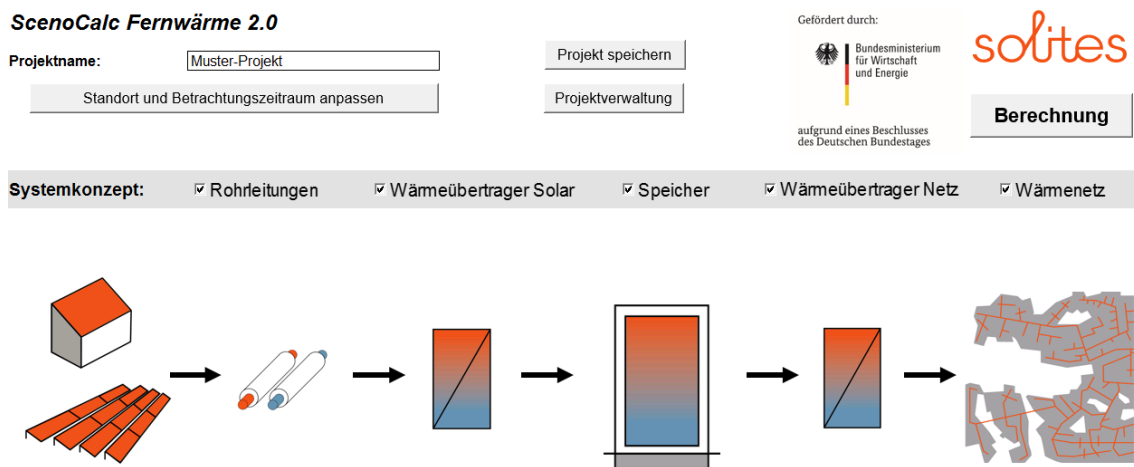


Abbildung 2: Hauptblatt des SCFW-Berechnungsprogramms

Durch die Auswahl der optionalen Komponenten wird der Wärmeertrag des Kollektorfeldes durch Wärmeverluste in den Rohrleitungen, im Speicher und durch die Wärmeübertrager verringert und es wird im Vergleich zu einem theoretischen Kollektorertrag nach Solar-Keymark ein solarer Nutzwärmeertrag für das gewählte System berechnet. Die Berechnung endet mit der Übergabe der Wärme in das Wärmenetz.

#### 3.1. Standort und Betrachtungszeitraum

Über die Schaltfläche des Formulars kann einer der vorhandenen Standorte ausgewählt oder ein neuer Standort angelegt werden (Abbildung 3).

Da der Wärmebedarf eines Wärmenetzes und der Wärmeertrag der Solarthermie von der Außentemperatur und der Einstrahlung abhängig sind, sollten der Standort und das Lastprofil des Wärmenetzes (vgl. Abschnitt 3.6) zueinander passend ausgewählt werden. Bei konzeptionellen Betrachtungen sind anstatt der Wetterdaten eines bestimmten Jahres gemittelte Wetterdaten z.B. über 10 Jahre geeignet.

Der Betrachtungszeitraum für eine Berechnung kann frei und auch über den Jahreswechsel gewählt werden. Die Ergebnisse werden nur für den gewählten Zeitraum angezeigt.

Abbildung 3 zeigt zwei Dialogfelder. Das linke Feld 'Allgemeine Angaben' enthält einen Dropdown-Menü für den Standort (aktuell 'Frankfurt'), einen Button 'Standort hinzufügen / löschen', einen Bereich für den Betrachtungszeitraum (01.01 bis 31.12) und Buttons 'OK' und 'Abbrechen'. Das rechte Feld 'Eingabe eines neuen Standortes' enthält einen Textfeld für den Namen des neuen Ortes (aktuell 'Berlin'), einen Button 'OK', einen Bereich für das Löschen eines Ortes mit einem Dropdown-Menü und Buttons 'Ort löschen' und 'Abbrechen'.

Abbildung 3: Formular zur Auswahl von Standort und Betrachtungszeitraum (links) und zur Standortverwaltung (rechts)

Für jeden neuen Standort wird ein Tabellenblatt mit den stündlichen Wetterdaten hinterlegt, die in der Berechnung benötigt werden. Eigene Wetterdaten für einen neuen Standort werden in ein neues Tabellenblatt einkopiert (Abbildung 4), das sich nach Eingabe des Namens in das Formular in Abbildung 3 (rechts) automatisch öffnet.

Ort	Berlin		Längengrad	Länge d. Zeitzone	Breitengrad
Jahr					
Stunde	Ta	G_Gh	G_Bn	FF	G_Lin
1					
2					
3					
4					

Abbildung 4: Tabellenblatt für das Anlegen eines neuen Ortes (grüne Felder: Eingabebereiche)

Wenn viele zusätzliche Standorte angelegt wurden, steigt die Dateigröße und die Bearbeitung der Mappe wird langsamer. Eigene Standorte können über das Formular in Abbildung 3 wieder gelöscht werden.

Die Standorte *Athen*, *Davos*, *Stockholm* und *Würzburg* sind entsprechend ScenoCalc in der Mappe bereits vorhanden und wurden um die beiden deutschen Standorte *Frankfurt* und *Hamburg* ergänzt. Diese Standorte können nicht gelöscht werden. Die drei deutschen Standorte sind typisch für sehr gute solare Einstrahlungsbedingungen (Würzburg), durchschnittliche (Frankfurt) und geringe solare Einstrahlung (Hamburg).

Die Wetterdaten für neue Standorte können bspw. gegen Gebühr von Meteotest bezogen werden [2]. In Tabelle 1 sind die für die Berechnung benötigten Wetterdaten aufgeführt. Der Wert G\_Lin wird in der aktuellen Berechnung nicht verwendet und kann bei der Eingabe vernachlässigt werden. Der Wert ist Teil der Berechnung nach DIN EN ISO 9806, geht jedoch nicht in das Ergebnis ein.

Tabelle 1: Für die Berechnung benötigte Wetterdaten

Längengrad	°	geogr. Länge des Ortes als Dezimalwert (wird östlich von Greenwich negativ angegeben)
Länge d. Zeitzone	°	geogr. Länge der Zeitzone als Dezimalwert (wird östlich von Greenwich negativ angegeben)
Breitengrad	°	geographische Breite als Dezimalwert
Stunde	-	Stunde des Jahres
Ta	°C	Außenlufttemperatur
G_Gh	W/m²	Mittlere Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung horizontal
G_Bn	W/m²	Mittlere Bestrahlungsstärke der Direktnormalstrahlung
FF	m/s	Mittlere Windgeschwindigkeit
G_Lin	W/m²	Mittlere Bestrahlungsstärke der langwelligen Strahlung horizontal einfallend (wird derzeit nicht verwendet)

### 3.2. Kollektorfeld

In dem Formular Kollektorfeld werden Hersteller, Kollektorart und Produkt ausgewählt, um einen Kollektor aus der vorangelegten Kollektordatenbank zu verwenden (Abbildung 5). In Absprache mit den Herstellern wurden in der Kollektordatenbank nach Solar-Keymark zertifizierte großflächige Kollektoren für die Anwendung in Wärmenetzen angelegt.

Der Musterkollektor bildet einen fiktiven, leistungsfähigen Flachkollektor ab. Er dient nur der produktneutralen Darstellung eines Berechnungsbeispiels in Programm und Handbuch. Es wird empfohlen, ein zertifiziertes Produkt auszuwählen oder einzugeben und dieses nach Bedarf zu variieren.

Neben den Kollektor-Kennwerten werden hier auch die Kollektorfeldgröße, die Kollektorneigung gegen die Horizontale (der Aufstellwinkel) und die Kollektorausrichtung (0° entspricht Südausrichtung, nach Osten negativ) angegeben.

Die mittlere Kollektortemperatur ist nur für die Berechnung ohne Wärmenetz relevant (vgl. Abschnitt 3.9).

Mit der Auswahl des Wärmeträgermediums kann der Wärmebedarf für Frostschutz oder ein Verlustfaktor für Wasser-Glykol-Gemische berücksichtigt werden. Der Wärmebedarf für Frostschutz wird als Anteil des solaren Wärmeertrags angegeben und auf die Stunden mit einer Außentemperatur unter der angegebenen Grenztemperatur verteilt. Dadurch wird sichergestellt, dass der Wärmebedarf für Frostschutz nur in den relevanten Stunden berechnet wird. Bei Eingabe von 0 % wird kein Wärmebedarf für Frostschutz berechnet.

Eine Wasser-Glykol-Mischung hat eine geringere Viskosität als Wasser. Das führt u.a. zu einem geringeren Turbulenzgrad bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit und hat damit Einfluss auf den Wärmeübergang vom Absorber eines Kollektors auf das Wärmeträgermedium. Die dadurch



verursachte mögliche Reduktion des Jahresenergieertrages eines Kollektors betrug in praktischen Versuchen zwischen 0 und 3 % [3] [4] [5] [6].

Wird in SCFW Wasser-Glykol ausgewählt, kann deshalb ein Abschlag auf den Wirkungsgrad  $\eta_0$  eingegeben werden. Der eingegebene Wert wird direkt vom Wirkungsgrad abgezogen.

Abbildung 5: Formular zur Konfiguration des Kollektorfeldes

Für die Regelung des Kollektorfeldes kann *Vorwärmbetrieb* oder *Regelung auf Netzvorlauftemperatur* gewählt werden, siehe Abschnitt 3.8. Im Fall des Vorwärmbetriebs liefert das Kollektorfeld eine Vorlauftemperatur, die der Rücklauftemperatur zum Kollektorfeld plus 8 K entspricht.

Bei der Auswahl *Regelung auf Netzvorlauftemperatur* erfolgt eine Wärmelieferung des Kollektorfeldes nur, wenn sie mit einer Temperatur geliefert werden kann, die der Netzvorlauftemperatur plus der evtl. anfallenden Temperaturerhöhungen durch die Wärmeübertrager entspricht. Wenn die solare Einstrahlung für die geforderte Temperatur nicht ausreicht, wird keine Wärme aus dem Kollektorfeld weitergeleitet. Für diesen Fall kann die Option *Bei schwacher Einstrahlung wird die Zieltemperatur des Kollektors reduziert* gewählt und dadurch die Effizienz der Wärmeerzeugung gesteigert werden. Bei einer Einstrahlung unterhalb der gewählten Einstrahlungsgrenze kann das Kollektorfeld eine reduzierte Zieltemperatur bereitstellen, die der stündlichen

Rücklauftemperatur plus der eingegebenen Temperaturdifferenz entspricht. Diese Regelung ist für schwache Einstrahlungswerte vorgesehen, bspw. unter 150 bis 300 W/m<sup>2</sup>.

In Tabelle 2 werden geeignete Eingabewerte als Entscheidungshilfe angegeben.

Tabelle 2: Beispiel-Eingabewerte für das Kollektorfeld

Kollektorfeldfläche (brutto)	m <sup>2</sup>	1000
Art der Nachführung	-	Keine Nachführung
Kollektorneigung ( $\beta$ )	°	35
Kollektorausrichtung ( $\gamma$ )	°	0 (Süd, nach Osten negativ)
Mittlere Kollektortemperatur (ohne Wärmenetz relevant)	°C	konstant 75
Verlust durch Glykol (optional)	%	0...3
Frostschutz (optional)	%	1,5...3,5
Grenztemperatur	°C	5...7
Regelung	-	Vorwärmbetrieb oder Regelung auf Netzvorlauftemperatur
Zieltemperatur: Grenze der Einstrahlung (optional)	W/m <sup>2</sup>	150 ... 300
Temperaturdifferenz Zieltemperatur-Rücklauftemperatur	K	5 ... 10

### Eingabe eines neuen Kollektors

Nach Anklicken der Schaltfläche *Kollektor hinzufügen / löschen* kann der ausgewählte Kollektor in dem sich öffnenden Formular bearbeitet und als neuer Kollektor abgespeichert oder gelöscht werden (Abbildung 6). Dabei muss der Produktname eindeutig gewählt werden.

Die Kollektorkennwerte können direkt einem Solar-Keymark-Zertifikat entnommen werden. In dem Zertifikat ist auch angegeben, ob der Kollektor stationär (steady state) oder quasidynamisch (quasi dynamic) getestet wurde. Je nach Auswahl unterscheiden sich die einzugebenden Kennwerte. Bei der Eingabe von Kennwerten nach der stationären Testmethode werden die Kennwerte in quasidynamische Kennwerte umgerechnet [1].

Die Angabe der Bezugsfläche ist sehr wichtig für eine korrekte Berechnung. In den Solar-Keymark-Zertifikaten nach EN 12975 sind die Kennwerte und Ergebnisse auf die Aperturfläche bezogen. Nach der Norm DIN EN ISO 9806 ist die Bezugsfläche für die Kollektorkennwerte die Bruttokollektorfläche. Die Eingabe neuer Kollektoren ist mit beiden Bezugsflächen möglich. Um korrekte Ergebnisse zu erhalten, muss unbedingt die korrekte Bezugsfläche zu den Kennwerten angegeben werden.

**Kollektordaten eingeben**
✕

Hersteller

Kollektorart

Produkt

Zertifikatnummer

Quasi dynamisch ▼

$\eta_{0,hem}$

$a_1$  in  $W/m^2K$

$a_2$  in  $W/m^2K^2$

$\eta_{0,b}$

$k_{\theta,d}$

$c_1$  in  $W/m^2K$

$c_2$  in  $W/m^2K^2$

$c_3$  in  $J/m^2K$

Bezugsfläche für die Kollektorkennwerte

☒ Bruttokollektorfläche

☐ Kollektoraperturfläche

Modulfläche (brutto) in  $m^2$

Modulfläche (apertur) in  $m^2$

Therm. Kapazität in  $kJ/m^2K$

☐ IAM bidirektional      ☒ IAM aus dem Wert für 50° berechnen

	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$K_{\theta b}$ OW	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="0,91"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
$K_{\theta b}$ NS	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Kollektor aus Datenbank löschen
Felder leeren
Speichern
Abbrechen

Abbildung 6: Formular zur Eingabe eines neuen Kollektors

Die IAM-Werte (Einfallswinkel-Korrekturfaktoren) können bidirektional für Ost-West und Nord-Süd angegeben werden. Bei Flachkollektoren werden häufig nur die Werte für Ost-West gemessen und angegeben. Diese gelten dann auch für die Nord-Süd-Richtung. Manchmal ist nur der Wert für 50° auf dem Datenblatt nach Solar-Keymark angegeben, die anderen Werte werden bei dieser Option automatisch berechnet. Fehlen ein oder mehrere einzelne Werte, können diese mit der Schaltfläche *Interpolieren* durch lineare Interpolation der vorherigen und folgenden Werte berechnet werden.

Nach dem Speichern ist der neue Kollektor in der Auswahlliste des Formulars Kollektorfeld vorhanden. Ein bereits angelegter Kollektor kann aus der Datenbank gelöscht werden.

### 3.3. Rohrleitungen

Bei entsprechender Eingabe in das Formular *Rohrleitungen* (Abbildung 7) werden Wärmeverluste der Rohrleitungen im Kollektorfeld und in den Verbindungsrohrleitungen zwischen Kollektorfeld und Heizzentrale berechnet. Im Hauptblatt (Abbildung 1) werden beide Wärmeverluste als Summenwert der *Rohrleitungsverluste* angegeben. Diese beinhalten zudem die interne Energieänderung der Rohrleitungen zwischen Anfang und Ende des Berechnungszeitraums.

Wenn als Rohrleitungsvolumen bzw. als Rohrleitungslänge der Wert 0 eingegeben wird, werden keine Verluste berechnet. Dadurch ist es auch möglich, nur eine der beiden Rohrleitungsverluste *Kollektorfeldinterne Verrohrung* oder *Verbindungsrohrleitungen* zu berücksichtigen.

**Rohrleitungen**

Kollektorfeldinterne Verrohrung

Rohrleitungsvolumen in m³/m²

Verlustfaktor in W/m²K

m² Kollektorfläche, wie in den Kollektordaten angegeben.

Verbindungsrohrleitungen

Rohrleitungslänge in m

Innendurchmesser in m

Verlustfaktor in W/mK

m Rohrleitungslänge

OK Abbrechen

Abbildung 7: Formular zur Angabe von Kennwerten für die Rohrleitungen

Für die Verbindungsrohrleitungen wird ausgewählt, ob sie hauptsächlich oberirdisch, erdvergraben oder in einem Gebäude (gegen konstante Umgebungstemperatur) verlegt sind. Eine Kombination der Optionen ist nicht möglich.

Die Auswahl des Wärmeträgermediums im Kollektorkreis hat einen geringen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse, da die Temperatur des Mediums in den Rohrleitungen anhand der Kapazität des Mediums berechnet wird. Bei einer Änderung des Wärmeträgermediums ist zu beachten, dass aufgrund der unterschiedlichen Viskositäten gegebenenfalls die Rohrleitungsdurchmesser angepasst werden sollten.

Die Verlustfaktoren der kollektorfeldinternen Verrohrung sind von der Qualität der Rohrleitungen, der Dämmung, den verwendeten Materialien und der Ausführung abhängig.

In Tabelle 3 werden mögliche Eingabewerte als Entscheidungshilfe angegeben. Die Werte für die Verbindungsrohrleitungen sind entsprechend der Größe des Kollektorfeldes anzupassen, der Verlustfaktor ist in den Herstellerangaben für Rohrleitungen zu finden. In der Tabelle ist nur ein Beispiel genannt.

Tabelle 3: Beispiel-Eingabewerte für die Rohrleitungen

Parameter	Einheit	Beispiel-Werte
Rohrleitungsvolumen kollektorfeldinterne Verrohrung	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,0004 ... 0,0012
Verlustfaktor kollektorfeldinterne Verrohrung	W/m <sup>2</sup> K	0,06 ... 0,3
Verbindungsrohrleitungslänge erdvergraben	m	80
Verbindungsrohrleitungsdurchmesser (innen)	m	0,1071
Verlustfaktor Verbindungsrohrleitungen erdvergraben	W/mK	0,26

### 3.4. Wärmeübertrager

Ein Solarkreis- und ein Netzkreis-Wärmeübertrager werden optional mit einer für die Wärmeübertragung notwendigen Temperaturdifferenz berücksichtigt (Abbildung 8). In SCFW wird vereinfacht mit einer konstanten Temperaturdifferenz gerechnet, in Realität variiert diese.

Der Wärmeübertrager des Netzkreises ist an den Wärmespeicher gekoppelt. Wenn kein Wärmespeicher ausgewählt ist, kann auch der Wärmeübertrager Netz nicht ausgewählt werden.

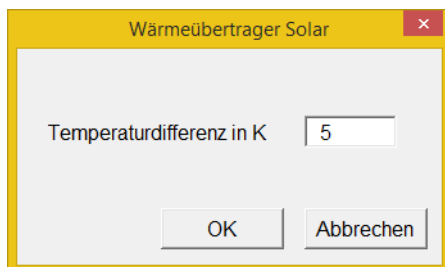


Abbildung 8: Formular Wärmeübertrager

### 3.5. Wärmespeicher

Der Wärmespeicher wird stark vereinfacht durch die Betrachtung seines Be- und Entladezustandes berechnet. Dieses Modell ist nicht zur Berechnung von sehr großen oder saisonalen Wärmespeichern etc. vorgesehen.

Der Wärmespeicher wird über das Speichervolumen (Wasser) und eine maximale Speichertemperatur konfiguriert (Abbildung 9). Optional kann ein Verlustkoeffizient eingegeben werden. Bei der Eingabe von 0 wird folgende Standardformel zur Berechnung der Speicherverluste verwendet:

$$\text{Speicherverlust in kW} = \frac{0,75 * \sqrt{V_s * 1000} * 0,16 * (T_{ms} - T_a)}{1000}$$

Mit

$V_s$  Speichervolumen in  $\text{m}^3$

$T_{ms}$  mittlere Speichertemperatur in  $^{\circ}\text{C}$

$T_a$  Außentemperatur in  $^{\circ}\text{C}$

Diese Formel lehnt sich an die Vorgaben der EN 12977-1 (für kleine Speicher) an mit einem Korrekturfaktor für große Speicher. Der Korrekturfaktor wurde auf Basis von Erfahrungen und eigenen Berechnungen ermittelt.

Abbildung 9: Formular zur Konfiguration des Wärmespeichers

Der *Speicherinhalt zu Beginn* des Betrachtungszeitraums kann definiert werden, damit der Energieinhalt zu Beginn des Betrachtungszeitraums an den Ergebniswert am Ende des Betrachtungszeitraums angepasst werden kann. So können Einflüsse von unterschiedlichen Energiegehalten des Speichers zu Beginn und am Ende des Betrachtungszeitraums auf die Energiebilanz vermieden werden. Bei Bedarf kann der passende Wert durch iterative Berechnungen mit SCFW ermittelt werden.

### 3.6. Wärmenetz

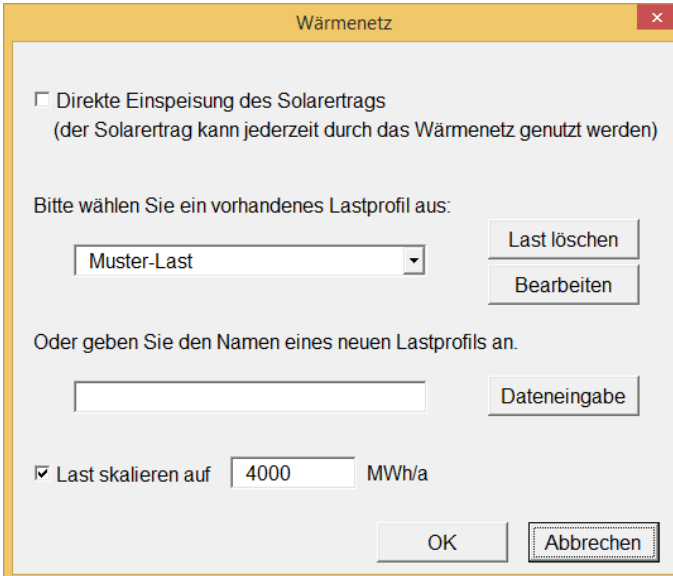
Die Konfiguration des Wärmenetzes bietet zwei Möglichkeiten:

- die Berechnung mit einem Lastprofil des Wärmenetzes
- die direkte Einspeisung des Solarertrags ohne die Berücksichtigung eines Lastprofils

#### 3.6.1. Berechnung mit Lastprofil des Wärmenetzes

In dem Gesamtsystem mit Wärmenetz wird eine Wärmelast an der Einspeisestelle der solarthermischen Anlage berücksichtigt.

Für das Wärmenetz können über die Schaltfläche *Dateneingabe* Lastprofile mit stündlichen Werten für die Vorlauf- und Rücklauftemperatur und die Wärmeleistung eingegeben werden (Abbildung 10). Der Name des Lastprofils muss eindeutig sein. Angelegte Lastprofile werden in einem Archiv gespeichert und können über das Formular wieder ausgewählt, bearbeitet oder gelöscht werden.



Wärmenetz

☐ Direkte Einspeisung des Solarertrags  
(der Solarertrag kann jederzeit durch das Wärmenetz genutzt werden)

Bitte wählen Sie ein vorhandenes Lastprofil aus:

Muster-Last

Last löschen

Bearbeiten

Oder geben Sie den Namen eines neuen Lastprofils an.

Dateneingabe

☒ Last skalieren auf 4000 MWh/a

OK Abbrechen

Abbildung 10: Formular zur Konfiguration des Wärmenetzes

Ein Beispiel-Lastprofil für den Standort Frankfurt ist bereits vorhanden (siehe Abbildung 11) und kann über die Schaltfläche *Bearbeiten* an die gewünschten Netztemperaturen angepasst werden. Das Beispiel-Lastprofil berücksichtigt einen Anteil für die Trinkwarmwasserbereitung von 13 % und Wärmeverluste im Wärmenetz von 12 %, jeweils bezogen auf den Gesamtwärmebedarf.

Es ist möglich, jedes Lastprofil über die Option *Last skalieren* auf einen beliebigen jährlichen Gesamtwärmebedarf an der Einspeisestelle anzupassen. Hierbei wird jeder Leistungswert durch Multiplikation mit einem Faktor skaliert, der sich aus dem eingegebenen jährlichen Gesamtwärmebedarf dividiert durch die Summe der Leistungswerte ergibt.

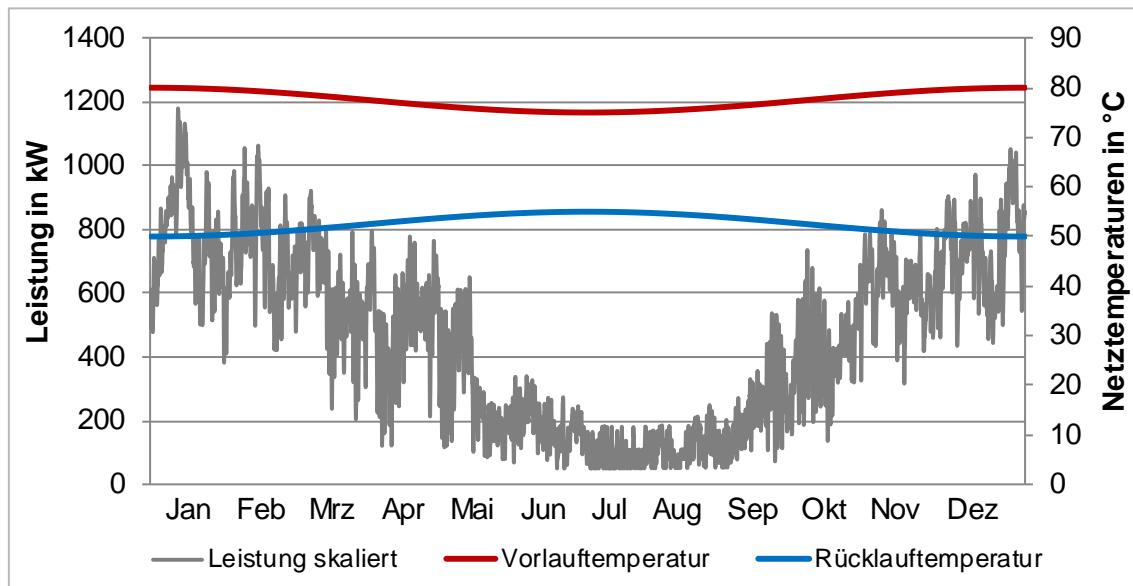


Abbildung 11: Stündliches Beispiel-Lastprofil für den Standort Frankfurt [7]

Der Lastverlauf hat, unter anderem, maßgebenden Einfluss auf die Dimensionierung eines Kollektorfeldes. Dies umfasst nicht nur die Summe der jährlich benötigten Wärmemenge, sondern auch den stündlichen Verlauf der Vor- und Rücklauftemperaturen und der Leistungen (Abbildung 11).

Das in SCFW vorhandene Beispiel-Lastprofil kann von dem Lastprofil des zu betrachtenden Netzes mehr oder weniger stark abweichen. Die Netztemperaturen wurden entsprechend den Leistungsdaten des Muster-Kollektors moderat gewählt. Der Nutzer des Programms kann das den Berechnungen zugrundeliegende Lastprofil wie folgt ändern:

Durch Auswahl der Option *Bearbeiten* oder *Dateneingabe* (nach Eingabe eines eindeutigen Namens für das Lastprofil) wird das Tabellenblatt zur Eingabe des Lastprofils angezeigt (Abbildung 12). Das Tabellenblatt enthält die Daten des zuletzt ausgewählten Lastprofils. Wenn kein eigenes Lastprofil vorliegt, kann die stündliche Leistung beibehalten und das Profil auf die gewünschten Temperaturen angepasst werden. Die Vorgehensweise hierzu ist in dem Textfeld rechts erklärt.

Lastprofil **Muster-Last**

Sommer ☐ Vorlauf ☐ Rücklauf ☐  
 Winter ☐ ☐ ☐

Stunde	Vorlauf °C	Rücklauf °C	Leistung kW	Leistung skaliert kW
1	85.00	50.00	491.80	491.83
2	85.00	50.00	585.51	585.55
3	85.00	50.00	590.93	590.96
4	85.00	50.00	594.99	595.02
5	85.00	50.00	597.32	597.35
6	85.00	50.00	611.13	611.16
7	85.00	50.00	607.80	607.84

So geben Sie ein eigenes Lastprofil ein:

Geben Sie die stündliche Wärmeleistung des Wärmenetzes ein. Wenn Sie 'direkte Einspeisung' ausgewählt haben, werden nur die Temperaturen benötigt.

1. Möglichkeit  
 Löschen Sie die Netztemperaturen für Sommer und Winter aus den braun hinterlegten Feldern und kopieren Sie eigene stündliche Daten für die Temperaturen in den grün hinterlegten Bereich. Klicken Sie auf 'Berechnen'.

2. Möglichkeit  
 Geben Sie durchschnittliche Temperaturwerte für die Sommer- und Winterperiode ein und klicken Sie dann auf 'Berechnen'.  
 Mit den angegebenen Temperaturen wird ein saisonaler Verlauf der Vor- und Rücklauftemperatur berechnet.

Abbildung 12: Tabellenblatt zur Bearbeitung oder Eingabe eines Lastprofils (braune oder grüne Felder: Eingabebereiche)



Das Tabellenblatt *Last* ist in der Mappe immer sichtbar und kann auch direkt ausgewählt werden, um das Lastprofil anzusehen oder zu bearbeiten. Wenn in dem Blatt Änderungen vorgenommen wurden, wird der Nutzer vor Verlassen des Blattes aufgefordert, das Lastprofil abzuspeichern, da es ansonsten nicht für die Berechnung verwendet werden kann. Wenn das Blatt direkt ausgewählt wurde (ohne Nutzung des Formulars in Abbildung 10), wird angeboten, das bestehende Lastprofil zu überschreiben oder ein neues Lastprofil mit einem neuen Namen anzulegen.

### 3.6.2. Direkte Einspeisung

Bei Auswahl der Option *Direkte Einspeisung des Solarertrags* wird die Wärmeleistung des Wärmenetzes im Tabellenblatt *Last* nicht berücksichtigt und es wird zu jedem Zeitpunkt von einer vollständigen Abnahme des gesamten Solarertrags ausgegangen. Dabei wird der Speicher deaktiviert, da er in einem solchen System nicht notwendig ist (Abbildung 13). Wird eine hydraulische Weiche verwendet, kann angenommen werden, dass diese nicht als Wärmespeicher wirkt.

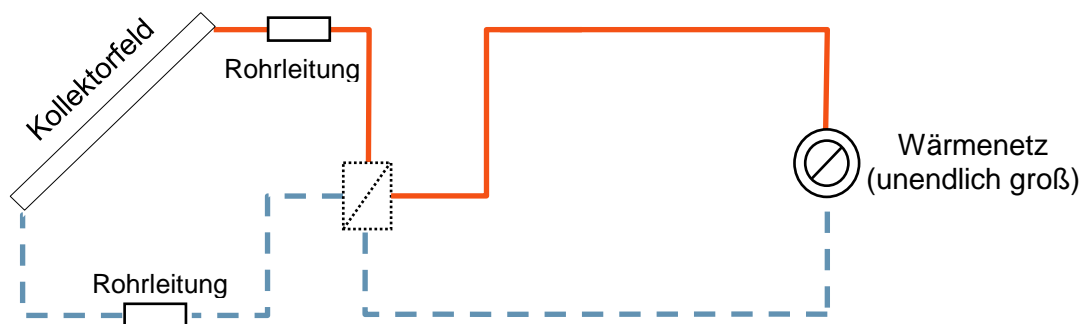


Abbildung 13: Schema eines Systems mit direkter Einspeisung des Solarertrags

Auch für diese Option können Lastprofile angelegt werden, wie es in Abschnitt 3.6.1 beschrieben ist. Die Berechnung berücksichtigt jedoch nur die Netztemperaturen.

### 3.7. Betriebstemperaturen

Die Betriebstemperaturen für das Kollektorfeld werden aus dem ausgewählten Lastprofil berechnet. Bei einer Berechnung ohne Wärmenetz kann die Kollektormitteltemperatur selbst eingegeben werden (vgl. Abschnitt 3.9).

### 3.8. Regelung

#### 3.8.1. Vorwärmbetrieb

In einer Gesamtanlage wie in Abbildung 14 dargestellt, übernimmt ein Heizkessel die Wärmebereitstellung, wenn die Kollektoren zu wenig Solarwärme liefern. Dabei nutzt der Heizkessel die Wärme, die aus dem Wärmespeicher entnommen wird und erhitzt sie bei Bedarf auf die Soll-Vorlauftemperatur des Wärmenetzes. Dies beeinflusst die mögliche Wärmebereitstellung der Kollektoren, da auch Solarwärme auf geringem Temperaturniveau verwendet werden kann.

Das Systemkonzept von SCFW berücksichtigt keinen Heizkessel. Durch die Option *Vorwärmbetrieb* wird jedoch der Betrieb des Kollektorfeldes als Vorwärmung für einen weiteren Wärmeerzeuger abgebildet (siehe auch Abschnitt 3.2). Die Systemgrenze wird durch die vertikale Strichlinie in Abbildung 14 dargestellt.

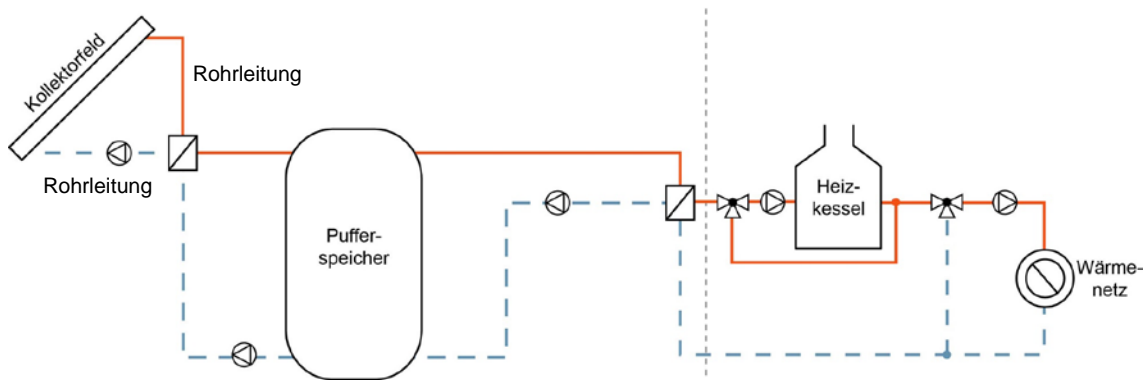


Abbildung 14: Schema einer Gesamtanlage mit Heizkessel

Mit dieser Option kann auch eine Rücklauf-Temperaturanhebung des Wärmenetzes berechnet werden.

#### 3.8.2. Regelung auf Netzzvorlauftemperatur

Im Wärmenetz wird über das Lastprofil die Zieltemperatur als Vorlauftemperatur des Wärmenetzes je Zeitschritt vorgegeben (siehe Abschnitt 3.6). Der Nutzer kann im Kollektorkreis eine reduzierte Zieltemperatur für schwache Einstrahlungen definieren wie in Abschnitt 3.2 beschrieben. Das Berechnungsprogramm überprüft, ob die solare Einstrahlung ausreicht, um die Zieltemperatur zu erreichen. Ist dies der Fall, wird die Zieltemperatur vorgegeben, um die vom Kollektorfeld gelieferte Wärmeleistung je Zeitschritt zu berechnen. Es werden keine hydraulischen Beschränkungen berücksichtigt.

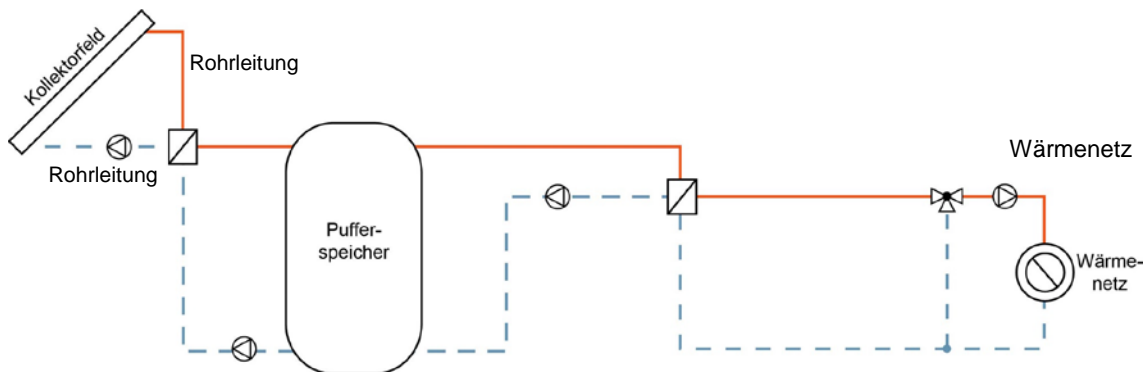


Abbildung 15: Schema eines Systems mit Wärmenetz

Bei hohen Zieltemperaturen können vermehrt Systemzustände auftreten, in denen in einem einzelnen Zeitschritt die Rücklauf-temperatur zwar vorgewärmt werden könnte, die Netzvorlauf-temperatur jedoch nicht erreicht werden kann. Ist die Einschalt-schwelle für die reduzierte Ziel-temperatur für schwache Einstrahlungen (Abschnitt 3.2) noch überschritten, kann kein Solarer-trag erzielt werden. Eine Erhöhung des Solarertrages kann erfolgen, wenn diese Einschalt-schwelle angepasst wird oder die Regelungsvariante *Vorwärmung* gewählt wird.

### 3.9. Berechnung nach Solar-Keymark

Eine Berechnung des Kollektorertrags nach Solar-Keymark ist möglich, wenn die Auswahl aller anderen Systemkomponenten durch Klick auf das Wärmenetz entfernt wird (Abbildung 16).



Abbildung 16: Systemkonfiguration für die Berechnung ohne Wärmenetz

Kollektorfeld

Kollektor aus der Datenbank auswählen

Hersteller:

Kollektorart:

Produkt:

Zertifikatnummer:

Kollektorfeldfläche (brutto) in m²:

Kollektororientierung

Art der Nachführung:

Kollektorneigung ( $\beta$ ) in °:

Kollektorausrichtung ( $\gamma$ ) in °:

Wärmeträgermedium

☒ Wasser-Glykol

☐ Wasser

Angaben zur Systemberechnung

☒ Vorwärmtrieb

☒ Regelung auf Netzvorlauftemperatur

☐ Bei schwacher Einstrahlung wird die Zieltemperatur reduziert

Kollektor hinzufügen / löschen

Die Kennwerte dieses Kollektors beziehen sich auf die Bruttofläche.

Mittlere Kollektortemperatur

☒ konstant Wert in °C:

☐ variabel

Verlust durch Glykol (Prozentpunkte Abzug von  $\eta_0$ ):

Grenze der Einstrahlung in W/m²:

Temperaturdifferenz zwischen Rücklauftemperatur und reduzierter Zieltemperatur in K:

OK Abbrechen

Abbildung 17: Einstellungen des Kollektorfeldes zur Berechnung des Solar-Keymark-Ertrags

Mit einem Betrachtungszeitraum von einem Jahr und einem der vier Standorte *Athen*, *Davos*, *Stockholm* oder *Würzburg* und der entsprechenden Kollektorneigung kann der in dem Solar-Keymark-Zertifikat des Kollektors ausgewiesene Ertrag berechnet werden. Dabei muss die Kollektormitteltemperatur konstant 25, 50 oder 75 °C betragen und es darf kein Verlustabschlag für Glykol oder Frostschutz eingestellt werden (Abbildung 17). Wenn als Kollektorfeldgröße die Modulfläche (Apertur- oder Bruttofläche laut Zertifikat) angegeben wird, entspricht das Ergebnis für den *Kollektorfeldertrag* dem Modulertrag des Zertifikats. Ein Vergleich mit den Ergebnissen aus dem Programm ScenoCalc liefert in diesem Fall identische Monatsergebnisse.

Bei der Berechnung des Solar-Keymark-Ertrags wie oben können abweichend von den Solar-Keymark-Vorgaben auch Abschläge für Glykol und Frostschutz eingegeben werden. Außerdem ist neben einer konstanten Kollektormitteltemperatur die Eingabe stündlich variabler Kollektormitteltemperaturen möglich. Nach Klick auf die Option *variabel* in dem Kollektorfeldformular (Abbildung 17) öffnet sich das Blatt *Temp*, in dem die Temperaturen genauso wie in dem Blatt *Last* geändert werden können.

### 3.10. Projektverwaltung

Nachdem alle gewünschten Einstellungen vorgenommen wurden, kann das aktuelle Projekt über die Schaltfläche *Projekt speichern* in einem Projektarchiv gespeichert werden. Wenn ein neuer Projektname vergeben wurde, werden alle Parameter des Projekts in einer neuen Spalte in dem Blatt *Archiv* gespeichert. Wenn der Name beibehalten wurde, werden die Daten des Projekts aktualisiert.

Abgespeicherte Projekte können über die Schaltfläche *Projektverwaltung* erneut aufgerufen und verändert werden (Abbildung 18).

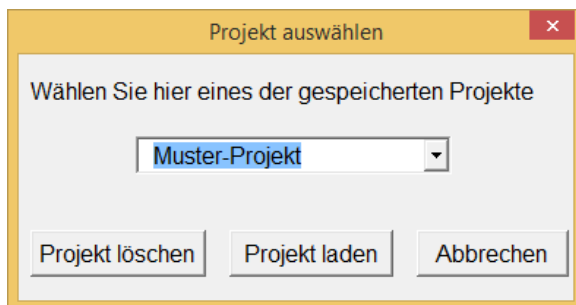


Abbildung 18: Formular zur Projektverwaltung

Das Projektarchiv in dem Tabellenblatt *Archiv* ist zugänglich und nicht geschützt. Das Blatt kann eingeblendet werden (Rechtsklick auf Bezeichnung eines beliebigen Tabellenblatts - Einblenden... - Archiv) und einzelne Spalten können kopiert und mit anderen Nutzern ausgetauscht werden. Wenn Spalten aus einer anderen SCFW-Mappe einkopiert werden, werden die Namen der neuen Projekte bei Aufruf der *Projektverwaltung* in der Projektliste angezeigt.

Bei dem manuellen Anlegen neuer Projekte im Blatt *Archiv* muss allerdings darauf geachtet werden, dass in jeder Spalte ein eindeutiger Projektname steht. Ansonsten wird bei einem erneuten Abspeichern des betreffenden Projekts nur die erste Spalte mit dem Projektnamen überschrieben.

### 3.11. Berechnungsdurchführung

Nach der Veränderung von Einstellungen oder dem Laden eines Projektes aus dem Archiv werden die Angaben auf dem *Hauptblatt* bis zur nächsten Neuberechnung ausgeblendet. Dadurch sind nur aktuelle Daten und Ergebnisse auf dem *Hauptblatt* sichtbar, die durch die vom Nutzer eingegebenen Werte berechnet wurden.

### 3.12. Ergebnisdarstellung

Die wesentlichen Ergebnisse werden nach der *Berechnung* auf dem *Hauptblatt* dargestellt. Die angezeigten Daten bilden eine geschlossene Bilanz von dem *Kollektorfeldertrag* bis zur *solaren*

Wärmelieferung an das Wärmenetz (Abbildung 19). Der *solare Deckungsanteil*, der *Systemnutzungsgrad* und der *solare Nutzungsgrad* zeigen die Effizienz des Systems an.

$\text{Solarer Deckungsanteil} = \text{Solare Wärmelieferung an das Wärmenetz} / \text{Wärmebedarf}$

$\text{Systemnutzungsgrad} = \text{Solare Wärmelieferung an das Wärmenetz} / \text{Kollektorfeldertrag}$

$\text{Solarer Nutzungsgrad} = \text{Solare Wärmelieferung an das Wärmenetz} / \text{Einstrahlung auf das Kollektorfeld}$

Ein *Solarwärmeüberschuss* entsteht an Tagen, an denen die Solarwärme nicht durch das Wärmenetz und den Wärmespeicher aufgenommen werden kann. Dieser Wärmeertrag, der in der jeweiligen Konfiguration nicht nutzbar ist, ist bereits vom Wert des *Kollektorfeldertrags* abgezogen. Bei Veränderung der Systemauslegung kann sich der Solarwärmeüberschuss verändern. Mit anderen Regelungsprinzipien, hydraulischen Systemeinbindungen etc. kann der Solarwärmeüberschuss in der Praxis reduziert werden.

Die *interne Energieänderung* des Wärmespeichers ist für die Darstellung einer geschlossenen Energiebilanz notwendig. Dieser Wert entsteht durch den Unterschied des Energieinhalts im Speicher zu Beginn und am Ende des Berechnungszeitraums.

### ScenoCalc Fernwärme 2.0

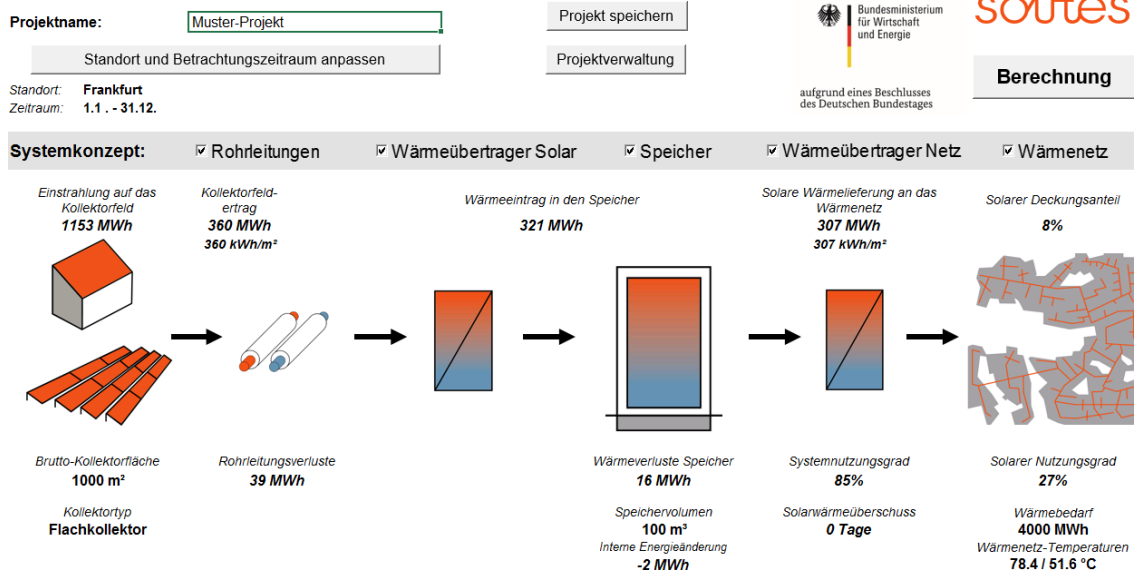


Abbildung 19: Hauptblatt mit Angaben und Ergebnissen

Die Ergebnisse werden in dem Tabellenblatt *Ergebnisse* als dreiseitiger Kurzbericht bereitgestellt, der ausgedruckt oder als PDF abgespeichert werden kann (siehe Anhang).

### 3.13. Weitere Hinweise zur Bedienung

In den Formularfeldern können Punkte oder Kommas als Dezimaltrennzeichen eingegeben werden.

Für eine reibungslose Berechnung sind die Berechnungsoptionen dieser Arbeitsmappe auf „manuell“ eingestellt. Da die Berechnungsoptionen für alle gleichzeitig geöffneten Excelmappen gelten, wird von der gleichzeitigen Bearbeitung anderer Excelmappen abgeraten.

Die Einstellung der „manuellen Berechnung“ in anderen Excelmappen kann durch das Öffnen einer Mappe in einer neuen Excel-Instanz umgangen werden. Dazu muss Excel erneut geöffnet werden (Rechtsklick auf das Icon der geöffneten Mappe in der Taskleiste). In Excel 2016 muss während des Öffnens zusätzlich die Alt-Taste gedrückt werden.

Bei einem Wechsel der Anzeige-Auflösung (z.B. Trennen eines Laptops von einem Bildschirm oder Beamer) werden die grafischen Elemente auf dem Hauptblatt nicht mehr richtig dargestellt. In diesem Fall muss die Mappe **ohne** Speichern geschlossen und neu geöffnet werden.

Das Programm wird mit den sichtbaren Tabellenblättern *Info*, *Hauptblatt*, *Ergebnisse* und *Last* bereitgestellt. Die folgende Übersicht in Tabelle 4 zeigt alle Tabellenblätter und ihre Inhalte. Die Tabellenblätter können beliebig eingeblendet werden, um bspw. die stündlichen Ergebnisse für weitere Betrachtungen zu nutzen.

Tabelle 4: Übersicht aller Tabellenblätter von SCFW

Blattname	Beschreibung
Info	Kurze Beschreibung des Programms
Hauptblatt	Eingabe aller Parameter und Anzeige der wesentlichen Ergebnisse
Ergebnisse	Kurzbericht mit Eingabedaten und Ergebnissen
Last	Eingabe und Änderung der stündlichen Daten eines Lastprofils
Berechnung	Stündliche Berechnung nach Solar-Keymark
Berechnung System	Stündliche Berechnung unter Berücksichtigung des eingestellten Systems
Parameter	Auflistung aller Parameter der aktuellen Konfiguration
Config	Zwischenspeicherung von Hilfwerten
Kollektoren	Datenbank der angelegten Kollektoren
Last_Archiv	Archiv aller abgespeicherten Lastprofile
Archiv	Archiv aller abgespeicherten Projekte
Kdiff	Umrechnung von Kollektorkennwerten nach stationärer Testmethode in Daten nach quasidynamischer Testmethode
Temp	Angabe stündlicher Kollektormitteltemperaturen für die Berechnung nach Solar-Keymark
Neuer Ort	Vorlageblatt zur Eingabe neuer Wetterdaten

Aus optischen Gründen wurden die Tabellenüberschriften der meisten Blätter ausgeblendet, diese können unter dem Menüpunkt Ansicht wieder eingeblendet werden.

Zur Vermeidung unabsichtlicher Änderungen sind die Tabellenblätter geschützt. Der Blattschutz kann mit folgendem Passwort aufgehoben werden: SCFW2017!

Die Berechnungen des Kollektorertrags nach Solar-Keymark folgen der Norm DIN EN ISO 9806 [8] und werden in der Anleitung für das ScenoCalc-Berechnungsprogramm beschrieben [1].

Die Berechnungen für das Systemkonzept werden ausführlich in dem Abschlussbericht des Forschungsvorhabens ScenoCalc Fernwärme (FKZ 0325554B) beschrieben.



### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] SP Technical Research Institute of Sweden, „ScenoCalc - a program for calculation of annual solar collector energy output,“ 26 April 2016. [Online]  
[www.sp.se/en/index/services/solar/ScenoCalc](http://www.sp.se/en/index/services/solar/ScenoCalc)
- [2] Meteotest, „Meteonorm: Einstrahlungsdaten für jeden Ort des Planeten,“ Version 6.1, Meteotest, [Online] [www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com)
- [3] Bava F., Furbo S., Brunger A.; Canadian and Danish investigations on corrections of collector efficiency depending on fluid type, flow rate and collector tilt; Report; Department of Civil Engineering, DTU Denmark; EXAVO, Canada
- [4] Dr.-Ing. Stephan Fischer, Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen Stuttgart (TZS) des Instituts für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart, persönliche Auskunft, 14.06.2016
- [5] Dr. Andreas Bohren, SPF Testing, Institut für Solartechnik SPF, Hochschule für Technik HSR, Rapperswil, Schweiz, persönliche Auskunft, 13.08.2016
- [6] Dr. Korbinian Kramer, TestLab Solar Thermal Systems, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, persönliche Auskunft, 13.12.2016
- [7] Solites, Beispiel-Lastprofil für den Standort Frankfurt nach eigenen Berechnungen, Stuttgart, 2017
- [8] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., „DIN EN ISO 9806:2014-06,“ Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2014

### ANHANG

Beispiel eines Ergebnisberichts

## ScenoCalc Fernwärme 2.0

Projektname:

Muster-Projekt

Standort und Betrachtungszeitraum anpassen

Standort: Frankfurt  
Zeitraum: 1.1. - 31.12.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**solites**

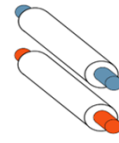
### Berechnung

**Systemkonzept:** ☒ Rohrleitungen ☒ Wärmeübertrager Solar ☒ Wärmeübertrager Netz ☒ Wärmenetz

Einstrahlung auf das  
Kollektorfeld  
**1153 MWh**



Kollektorfeld-  
ertrag  
**360 MWh**  
360 kWh/m²

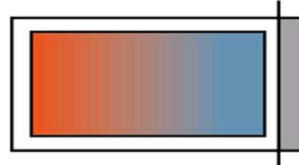


Brutto-Kollektorfläche  
**1000 m²**

Kollektortyp  
**Flachkollektor**

Rohrleitungsverluste  
**39 MWh**

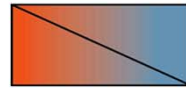
Wärmeeintrag in den Speicher  
**321 MWh**



Wärmeverluste Speicher  
**16 MWh**

Speichervolumen  
**100 m³**  
Interne Energieänderung  
**-2 MWh**

Solare Wärmelieferung an das  
Wärmenetz  
**307 MWh**  
307 kWh/m²



Systemnutzungsgrad  
**85%**

Solarwärmeüberschuss  
**0 Tage**

Solarer Deckungsanteil  
**8%**



Solarer Nutzungsgrad  
**27%**

Wärmebedarf  
**4000 MWh**  
Wärmenetz-Temperaturen  
**78,4 / 51,6 °C**

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**Projekt: Muster-Projekt****Eingabedaten**

Standort	Frankfurt
Betrachtungszeitraum	1.1 - 31.12

**Kollektordaten**

Hersteller	Musterkollektor
Produkt	Flachkollektor Muster HTFK
Zertifikatnummer	---
Modulfläche (brutto)	11,00 m <sup>2</sup>
Modulfläche (apertur)	10,30 m <sup>2</sup>
Bezugsfläche für Kennwerte	Bruttokollektorfläche
$\eta_{0,b}$	0,800
$k_{\theta,d}$	0,920
c1	2,500 W/m <sup>2</sup> K
c2	0,010 W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup>
c3	0,000 J/m <sup>3</sup> K

Kollektorfeldgröße	1000 m <sup>2</sup>
Art der Nachführung	Keine Nachführung
Kollektorneigung	35°
Kollektorausrichtung	0°
Wärmeträgermedium	Wasser-Glykol
Verlust durch Glykol	0,0 %
Regelung	Netzvorlauftemperatur

**Angaben zur Systemberechnung**

Rohrleitungsvolumen Kollektorfeld	0,0006 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>
Verlustfaktor kollektorfeldinterne Rohre	0,060 W/m <sup>2</sup> K
Verbindungs-Rohrleitungslänge	80 m
Verbindungsleitungstyp	erdvergraben
Rohrleitungsdurchmesser (innen)	0,107 m
Verlustfaktor der Rohrleitung	0,260 W/mK

$\Delta T$ Wärmeübertrager Solarkreis	5,0 K
Speichervolumen	100 m <sup>3</sup>
maximale Speichertemperatur	110 °C
Speicherinhalt zu Beginn	0,0 MWh
Koeffizient Speicherverluste	37,9 W/K
$\Delta T$ Wärmeübertrager Netz	5,0 K
Lastprofil	Muster-Last
Skalierung der Last	4000 MWh

Die hier angegebenen Kollektordaten wurden für die Berechnung verwendet. Wenn der Kollektor mit der Steady State Testmethode getestet wurde, wurden die eingegebenen Daten für  $\eta_{0, \text{hem}}$ ,  $a_1$  und  $a_2$  in die hier angezeigten Daten umgerechnet. Verluste durch Glykol werden ggf. von  $\eta_{0,b}$  subtrahiert.

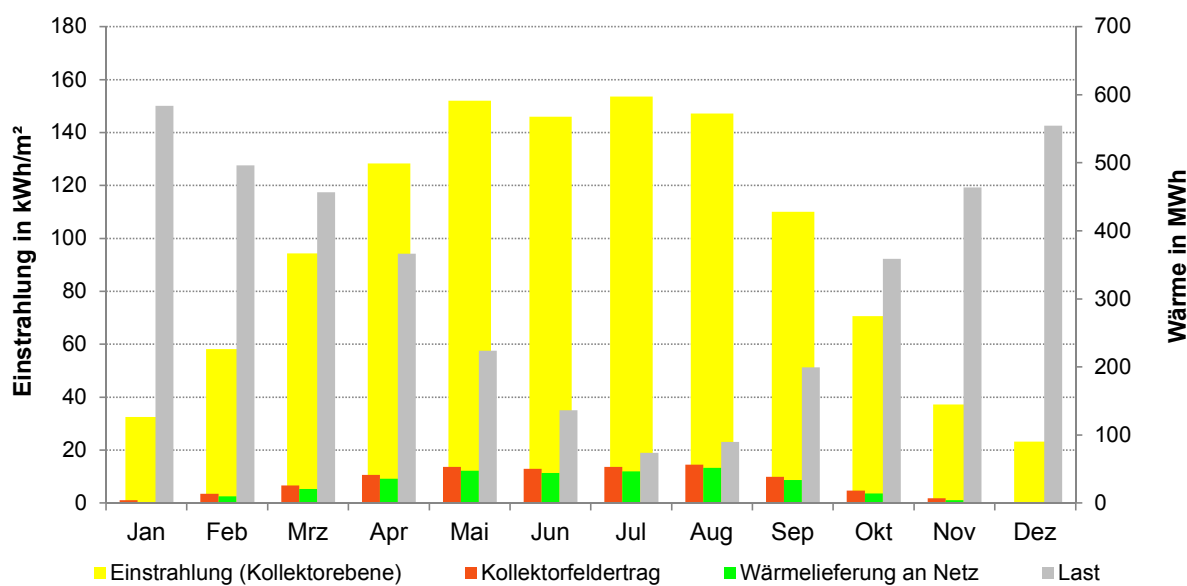
Gefördert durch:

Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energieaufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Projekt: Muster-Projekt

**Berechnungsergebnisse**

Monat	Kollektor- ertrag	Kollektor- feldertrag	Wärme- eintrag in Speicher	Wärme- lieferung an Netz	Last	TVL	TRL
	<i>kWh/m<sup>2</sup></i> Brutto	<i>kWh</i>	<i>kWh</i>	<i>kWh</i>	<i>kWh</i>	°C	°C
Jan	3,8	3.817	1.846	425	583.604	80	50
Feb	13,2	13.248	10.799	9.512	495.746	79	51
Mrz	25,7	25.653	21.970	20.556	456.329	78	52
Apr	41,2	41.198	36.769	35.421	366.031	77	53
Mai	53,1	53.076	48.478	47.124	223.520	76	54
Jun	49,9	49.949	45.421	43.965	136.215	75	55
Jul	52,8	52.809	48.182	46.469	73.696	75	55
Aug	56,2	56.247	51.963	51.438	89.504	76	54
Sep	38,3	38.322	34.780	33.570	199.343	77	53
Okt	18,0	17.972	15.306	14.096	358.572	78	52
Nov	7,0	7.027	5.239	4.003	463.388	79	51
Dez	0,8	790	0	0	554.052	80	50
<b>Jahr</b>	<b>360</b>	<b>360.108</b>	<b>320.753</b>	<b>306.580</b>	<b>4.000.000</b>	<b>78,4</b>	<b>51,6</b>



Gefördert durch:

Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energieaufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages