

SDH ONLINE-RECHNER

RECHENPROGRAMM ZUR KOSTEN-NUTZEN-ANALYSE FÜR SOLARE NAH- UND FERNWÄRMEANLAGEN

SDH ONLINE-RECHNER

SDH solar district heating

DE GB

Willkommen beim Online-Rechner für solare Nah- und Fernwärmeanlagen

Der hier zugängliche Online-Rechner für solare Nah- und Fernwärmeanlagen (SDH - solar district heating) steht interessierten Marktakteuren als nutzerfreundliches Rechenprogramm zur Verfügung. Er ermöglicht eine einfache erste Dimensionierung sowie Ertrags- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen für solare Fernwärmeanlagen.

Das Rechenprogramm wurde auf der Basis umfangreicher und detaillierter TRNSYS-Systemsimulationen und unter Berücksichtigung zahlreicher Einflussfaktoren entwickelt. Die Berechnung ist für die im Auswahlmenü aufgelisteten Systemvarianten von Wärmenetzen mit zentraler oder dezentraler solarer Wärmeinspeisung möglich.

>> Mehr Informationen zum Online-Rechner

>> Mehr Informationen zur solaren Nah- und Fernwärme

>> Mehr Informationen zur saisonalen Speicherung von Wärme

Dezentrale Einspeisung

Zentrale Einspeisung

Der Online-Rechner ist entstanden in Zusammenarbeit von

solites **AGFW**

gefördert durch:

 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

und mit Unterstützung durch ausgewählte Unternehmen der Solarthermie-Industrie.

Impressum | Kontakt: sdh-online@solites.de Copyright by Solites

[WWW.SDH-ONLINE.SOLITES.DE](http://www.sdh-online.solites.de)

solites

Dipl.-Ing. Thomas Schmidt

und

Dipl.-Ing. Laure Deschaintre

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 05.12.2013

The logo for Solites, featuring the word "solites" in a lowercase, orange, sans-serif font. The letter 'o' is stylized with a small loop at the top.

INHALT

1. Einführung.....	1
2. Beschreibung des SDH Online-Rechners.....	1
2.1. Vorgehensweise	1
2.2. Standorte	2
2.3. Hydraulikkonzepte	3
2.3.1. Dezentrale solare Wärmeeinspeisung.....	3
2.3.2. Zentrale solare Wärmeeinspeisung	5
2.4. Ergebnisse.....	8
2.4.1. Technische Kenngrößen.....	8
2.4.2. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	9
2.4.3. Ökologische Berechnungen.....	10
3. Danksagung	11
4. Literatur	11

1. Einführung

Auf der Basis umfangreicher und detaillierter dynamischer Systemsimulationen mit dem Simulationsprogramm TRNSYS [TRNSYS, 2012] wurde ein Online-Rechenprogramm für solare Nah- und Fernwärmeanlagen (SDH - solar district heating) entwickelt. Es steht interessierten Marktakteuren als nutzerfreundliches Rechenprogramm zur Verfügung und ermöglicht eine einfache Vordimensionierung sowie Ertrags- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen für solare Nah- und Fernwärmeanlagen. Die Berechnung ist für zwei Varianten von Wärmenetzen mit zentraler oder dezentraler Einspeisung möglich:

- dezentrale solare Wärmeeinspeisung in ein Wärmenetz
- zentrale solare Wärmeeinspeisung in ein Wärmenetz mit solarer (Langzeit-) Wärmespeicherung

Das SDH Online-Rechenprogramm ist online verfügbar unter

www.sdh-online.solites.de

Möglichkeiten und Grenzen:

- Der Rechner ist online verfügbar, benutzerfreundlich und schnell
- Er ermöglicht einen einfachen Vergleich verschiedener Vordimensionierungen hinsichtlich Systemerträge und Wirtschaftlichkeit
- Er wurde speziell für solare Fernwärme entwickelt
- Nur die wesentlichen Einflussgrößen stehen dem Benutzer zur Auswahl, dadurch ist die Benutzung einfach und schnell
- Er ersetzt keine detaillierte Simulation zur technischen Auslegung der betrachteten Anlagen

2. Beschreibung des SDH Online-Rechners

Das Rechenprogramm wurde auf der Basis umfangreicher und detaillierter TRNSYS-Systemsimulationen und unter Berücksichtigung zahlreicher Einflussfaktoren entwickelt. Die Berechnung ist für aktuell zwei Systemvarianten von Wärmenetzen, mit zentraler oder dezentraler solarer Wärmeeinspeisung, möglich.

2.1. Vorgehensweise

Eine zentrale Anforderung an das Rechenprogramm ist eine schnelle Berechnungsmöglichkeit verschiedener Systemkonfigurationen. Diese Anforderung kann mit einer direkten Ausführung einer dynamischen Simulation mit den heute zur Verfügung stehenden Mitteln hinsichtlich Simulationsprogrammen und Rechenleistung nicht erfüllt werden. Vereinfachte statische Berechnungen können die Anforderungen an die Rechenzeiten erfüllen, sind aber aufgrund der hohen

Komplexität der Aufgabenstellung mit starken Vereinfachungen und daraus resultierenden hohen Ungenauigkeiten in den Ergebnissen verbunden.

Zur Lösung dieser Aufgabe wurde eine große Zahl dynamischer Systemsimulation für ausgewählte Systemvarianten ausgeführt und deren Ergebnisse in einer Datenbank hinterlegt. Diese Ergebnisse stehen nun zur Verfügung und können bei Auswahl einer bestimmten Systemkonfiguration in nahezu Echtzeit bereitgestellt werden. Konfigurationen, die nicht direkt simuliert wurden, können mit Hilfe einer multi-linearen Interpolation aus den verfügbaren Stützstellen ermittelt werden. Durch dieses Verfahren lässt sich die hohe Genauigkeit einer dynamischen Systemsimulation mit der Schnelligkeit einer statischen Berechnung verbinden.

Die zugrunde liegenden dynamischen TRNSYS-Simulationsmodelle berücksichtigen sehr große Anzahlen an Konfigurationsparametern. Um im Online-Rechenprogramm schnell Berechnungsergebnisse erhalten zu können, wurden diese Konfigurationsparameter zunächst in konstante Parameter und in von einer oder mehreren dieser konstanten Parameter abhängige Parameter unterteilt. Aus den konstanten Parametern wurden diejenigen mit dem größten Einfluss auf die Berechnungsergebnisse herausgefiltert und für diese Hauptparameter technisch und wirtschaftlich sinnvolle Ober- und Untergrenzen festgelegt sowie innerhalb dieser Grenzen sinnvolle Stützstellen definiert. Anschließend wurden für alle Hauptparameter sämtliche sinnvolle mögliche Kombinationen an Stützstellen simuliert und die Ergebniswerte in eine Datenbank übertragen.

2.2. Standorte

Die Simulationen wurden für drei repräsentative Standorte in Deutschland sowie für drei weitere repräsentative europäische Standorte durchgeführt. Die zeitlich hoch aufgelösten Wetterdaten der berücksichtigten Standorte stammen aus [Meteonorm, 2011].

Tabelle 1: Standorte und Übersicht über Wetterdaten

Standort	Jahres-Wetterdaten nach [Meteonorm, 2011]		
	Mittlere Umgebungstemperatur [°C]	Solare Einstrahlung auf die Horizontale [kWh/m ²]	Gradtagzahl G _{t20/15} [Kd]
Würzburg	9,4	1090	3748
Frankfurt	9,6	1028	3653
Hamburg	8,8	952	3927
Stockholm (SE)	5,2	980	5252
Mailand (IT)	11,7	1253	3035
Barcelona (ES)	15,3	1536	1727

2.3. Hydraulikkonzepte

Zwei Systemkonzepte wurden in den Simulationen berücksichtigt, eine dezentrale Einspeisung solarer Wärme in ein Wärmenetz und eine zentrale solare Wärmeeinspeisung in ein Wärmenetz mit solarer (Langzeit-) Wärmespeicherung. Die beiden Konzepte werden im Folgenden vorgestellt.

2.3.1. Dezentrale solare Wärmeeinspeisung

Bild 1 zeigt das Hydraulikkonzept der dezentralen solaren Wärmeeinspeisung in ein Wärmenetz. Das Kollektorfeld wird dabei über einen Wärmeübertrager, jedoch ohne weitere Systemkomponenten wie z.B. Pufferspeicher o.ä. an ein Wärmenetz gekoppelt.

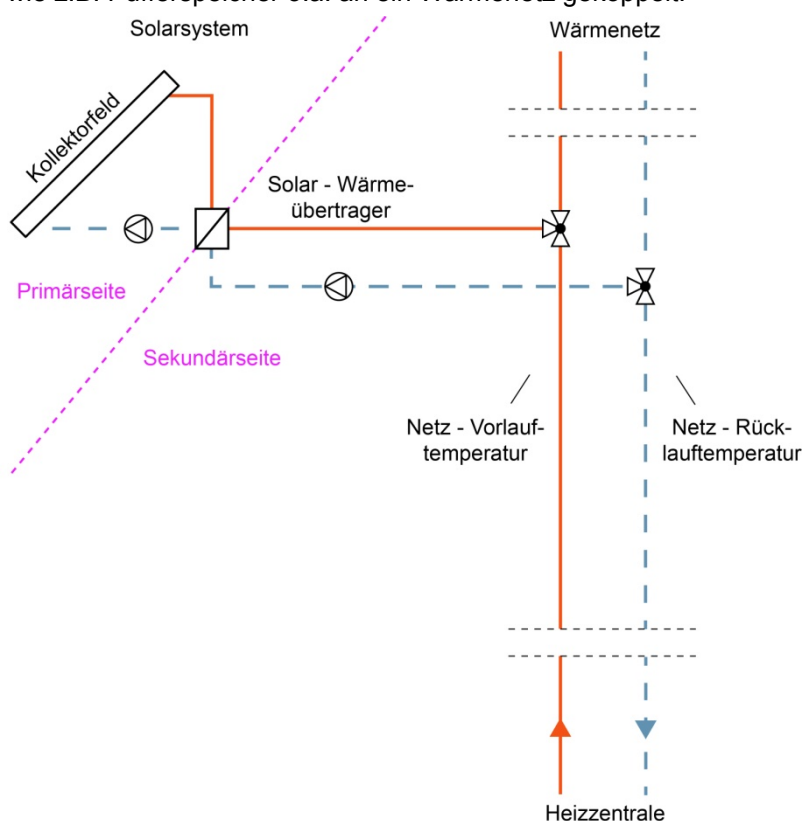


Bild 1: Hydraulikkonzept der dezentralen solaren Wärmeeinspeisung in ein Wärmenetz

Für das Konzept der dezentralen Wärmeeinspeisung wurde keine konkrete Wärmelast im Wärmenetz berücksichtigt. Es wird vielmehr davon ausgegangen, dass die Solaranlage in ein Wärmenetz einspeist, das zu jedem Zeitpunkt die Wärmelieferung der Solaranlage vollständig aufnehmen kann. Das Wärmenetz wird also immer als groß im Vergleich zur Solaranlage angenommen. Die Wärmeeinspeisung erfolgt vom Rücklauf des Wärmenetzes in den Vorlauf mit vorgegebenen Einspeisetemperaturen zwischen 70 °C für ein Niedertemperatur-Wärmenetz und 110 °C für ein Hochtemperatur-Wärmenetz. Um diese Zieltemperaturen zu erreichen, werden die beiden Pumpen auf der Primär- und der Sekundärseite des Solar-Wärmeübertragers mit einer Zieltemperaturregelung betrieben.

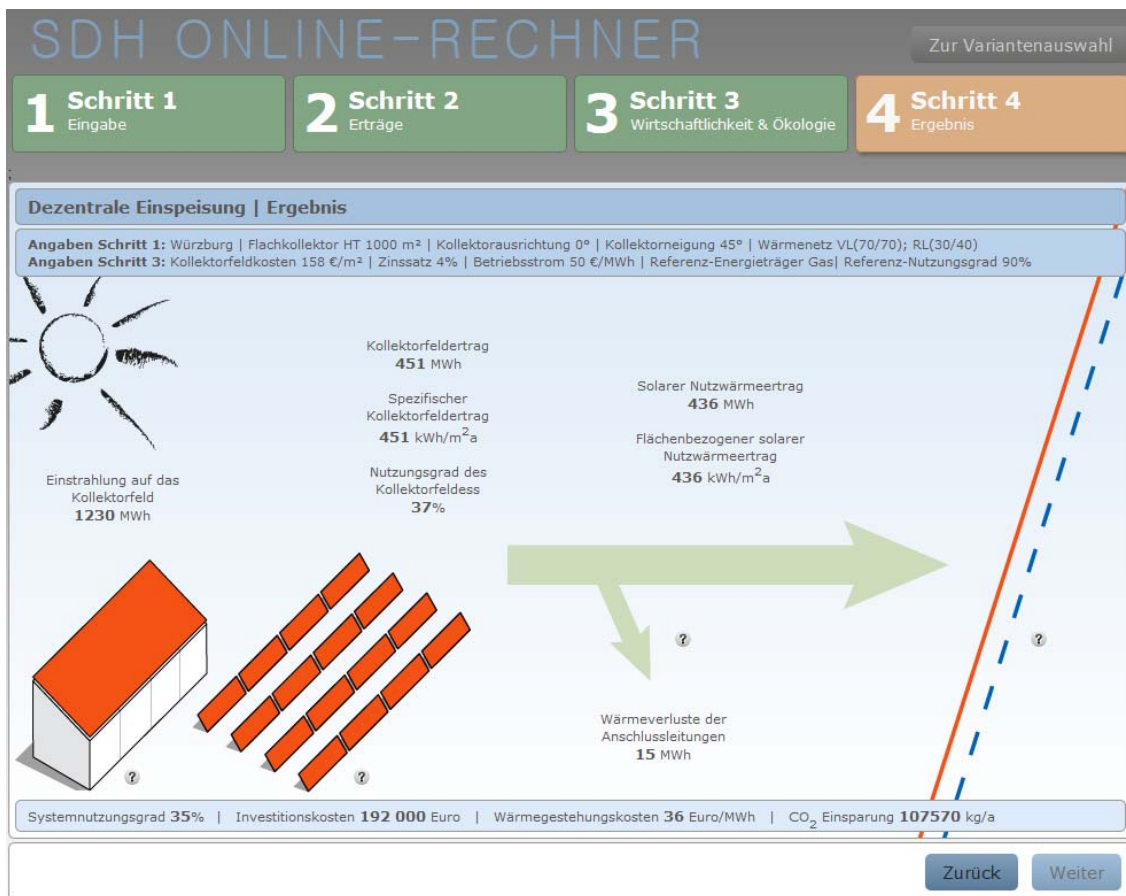


Bild 2: Ergebnismaske des Rechenprogramms für die dezentrale solare Wärmeeinspeisung

Eingabeparameter:

- Kollektorfläche [m²], Azimuth [°] und Anstellwinkel [°]
- Kollektortyp [Flachkollektor, HT-Flachkollektor, CPC-Kollektor, VRK]
- Standort und Wetterdaten, siehe Abschnitt 2.2
- Vor- und Rücklauftemperaturen des Wärmenetzes
- Parameter zur Wirtschaftlichkeitsberechnung

Ausgabegrößen:

- Kollektornutzungsgrad und Ertrag
- Netzverluste
- Eingespeiste solare Nutzwärme
- Systemnutzungsgrad
- Investitionskosten
- Wärmekosten
- CO₂-Einsparung

2.3.2. Zentrale solare Wärmeeinspeisung

Bei der zentralen Einspeisung wird die solare Wärme nicht direkt in das Wärmenetz, sondern in die Heizzentrale eines Wärmenetzes eingespeist, siehe Bild 3. Dabei werden auch ein Wärmespeicher und eine Nachheizung berücksichtigt. Die Pumpen auf der Primär- und der Sekundärseite des Solar-Wärmeübertragers werden auch in diesem Fall mit einer Zieltemperaturregelung betrieben.

In Zeiten, in denen solare Wärme geliefert wird, jedoch kein Wärmebedarf im Wärmenetz vorliegt, wird Überschusswärme in den Wärmespeicher eingespeichert, die zu einem späteren Zeitpunkt wieder entnommen werden kann. Je nachdem, wie die Temperaturverhältnisse im Speicher im Verhältnis zu der von den Solarkollektoren gelieferten Temperatur sind, wird die Wärme entweder oben oder in der Mitte des Wärmespeichers eingespeichert. Auf diese Weise wird die thermische Schichtung im Speicher verbessert. Wenn gleichzeitig Wärmebedarf und eine solare Wärmelieferung vorliegen, kann Solarwärme direkt zur Vorwärmung des Wärmenetz-Rücklaufs genutzt werden. Ebenso ist eine gleichzeitige Be- (in der Mitte) und Entladung (oben) des Wärmespeichers möglich, wenn z.B. die Solaranlage in Schlechtwetterperioden lediglich Niedertemperaturwärme liefern kann, oben im Wärmespeicher jedoch Wärme bei ausreichend hoher Temperatur für eine Nutzung im Wärmenetz zur Verfügung steht.

Eine Nachheizung in der Heizzentrale vervollständigt die Wärmeversorgung und ermöglicht eine vollständige Deckung des Wärmebedarfs im Wärmenetz.

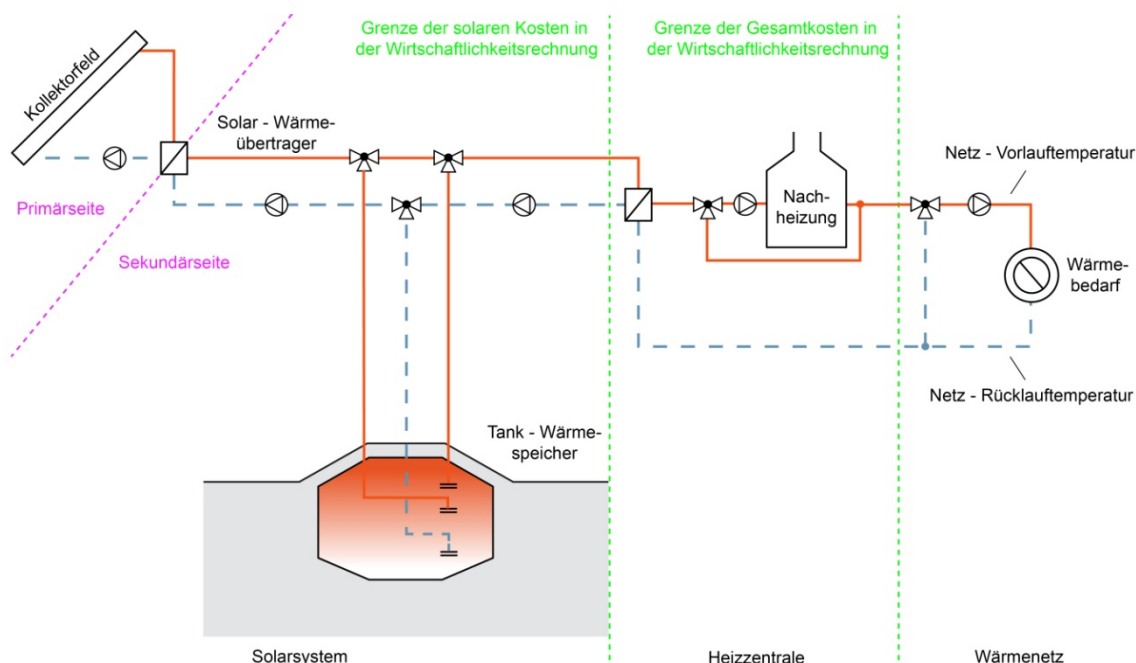


Bild 3: Hydraulikkonzept der zentralen solaren Wärmeeinspeisung in die Heizzentrale eines Wärmenetzes

WÄRMELAST

Die Wärmelast im Wärmenetz für verschiedene Standorte wurde ebenfalls mit Hilfe von TRNSYS Simulationen für durchschnittliche, über ein Wärmenetz versorgte Wohngebäude ermittelt. Berücksichtigt wurde dabei auch der Wärmebedarf zur Warmwasserbereitung, der mit Hilfe statistischer Zapfprofile aus [Jordan & Vajen, 2011] ermittelt wurde.

Für jeden Standort wurde ein Referenz-Wärmelastgang in halbstündlicher Auflösung erstellt, um für verschiedene klimatische Verhältnisse die unterschiedlichen Anteile für die Heizwärmeversorgung und die Warmwasserbereitung und die zeitlich diskreten Vor- und Rücklauftemperaturen zu berücksichtigen.

Im Simulationsmodell wird ein Skalierungsfaktor auf den Referenz-Wärmelastgang angewandt, um verschiedene Netzgrößen abzubilden. Bild 4 zeigt beispielhaft monatliche Mittelwerte des Gesamtwärmebedarfs sowie der volumenstromgewichteten Vor- und Rücklauftemperaturen im Wärmenetz für den Standort Frankfurt a.M. und ein Wärmenetz mit 50 Mehrfamiliengebäuden.

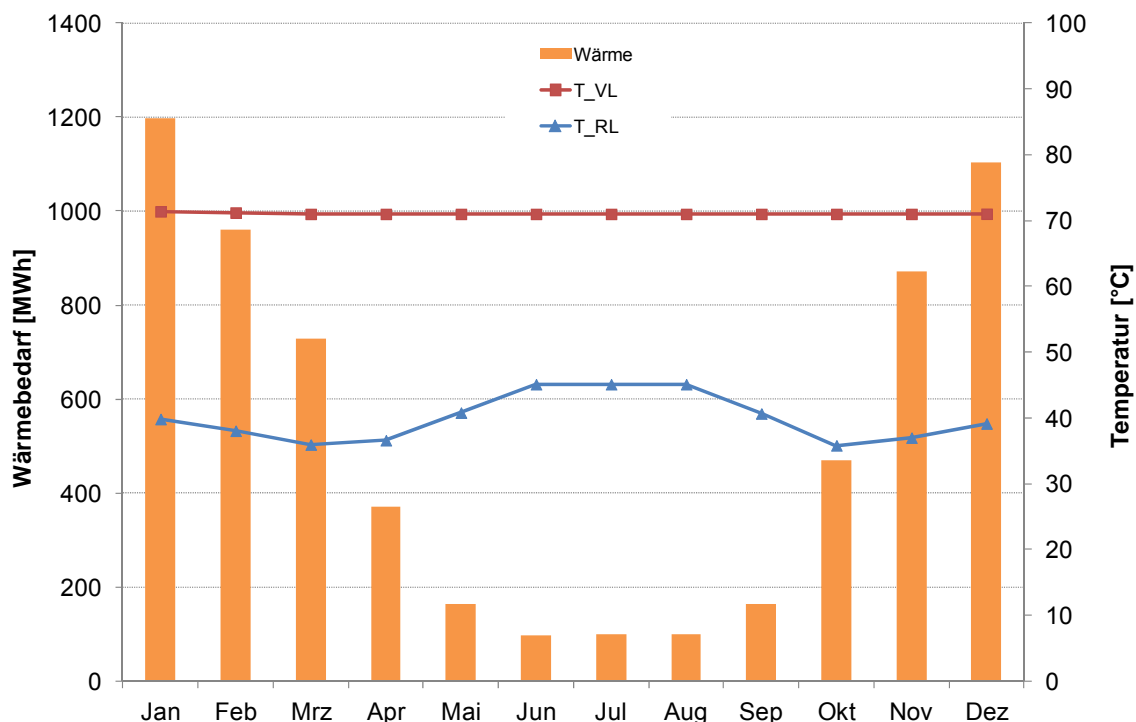


Bild 4: Monatlicher Wärmebedarf für ein Beispiel-Wärmenetz bestehend aus 50 Mehrfamiliengebäuden in Frankfurt a.M. T_VL und T_RL sind die volumenstromgewichteten Monatsmitteltemperaturen des Wärmenetz-Vor- und -Rücklaufs.

Für jeden in Tabelle 1 angegebenen Standort wurde ein eigener Referenz-Wärmelastgang ermittelt.

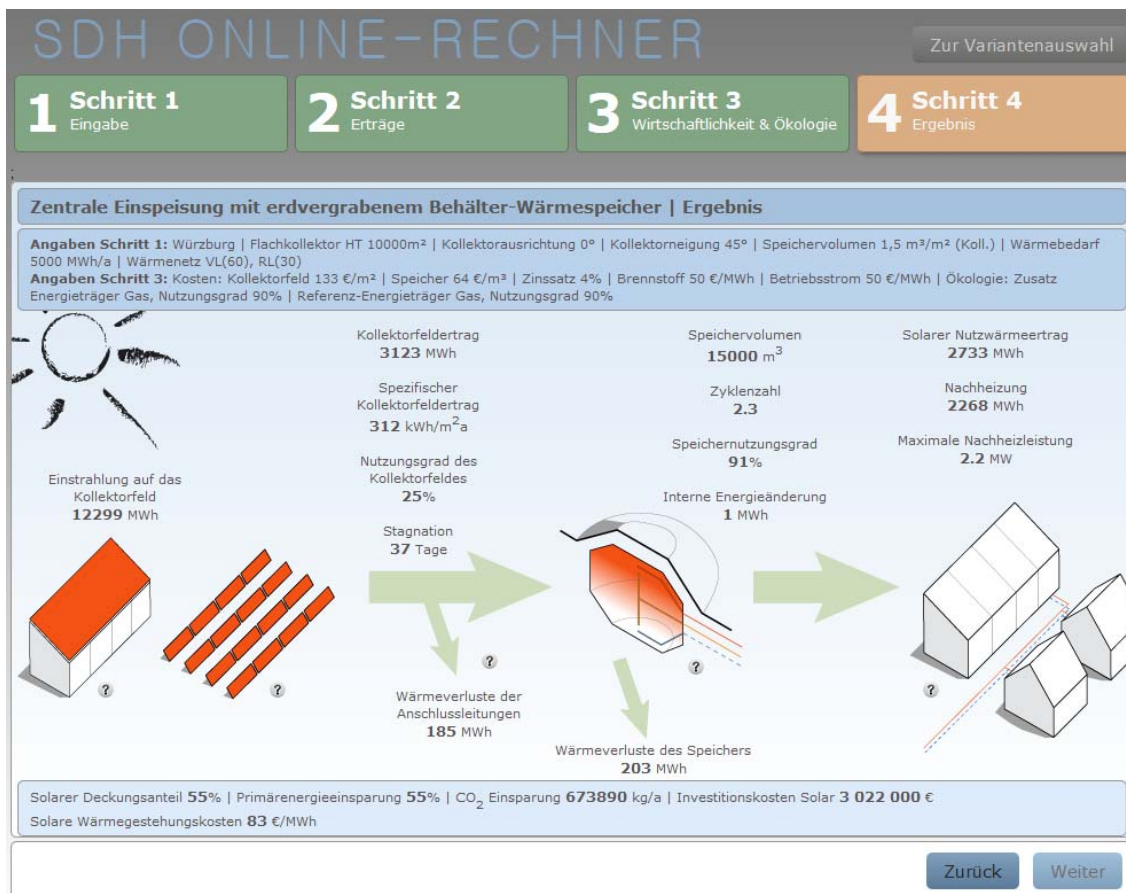


Bild 5: Ergebnismaske des Rechenprogramms für die zentrale solare Wärmeeinspeisung mit (Langzeit-) Wärmespeicher

Eingabeparameter zusätzlich zu den in Abschnitt 2.3.1 genannten Parametern:

- spezifisches Speichervolumen
- Wärmebedarf im Wärmenetz

Ausgabegrößen zusätzlich zu den in Abschnitt 2.3.1 genannten Größen:

- Stagnationszeit der Kollektoren
- Speichernutzungsgrad
- Speicher-Zyklenzahl
- Interne Energieänderung des Wärmespeichers
- Wärmeverluste des Wärmespeichers
- solarer Deckungsanteil
- Nachheiz-Wärmebedarf
- Max. erforderliche Nachheiz-Wärmeleistung
- Primärenergieeinsparung und vermiedene CO₂-Äq. Emissionen

2.4. Ergebnisse

Eine Zusammenfassung der Ausgabegrößen des Rechenprogramms wurde bereits bei den Beschreibungen der beiden Systemvarianten aufgeführt. In diesem Abschnitt werden weitere Erläuterungen zu ausgewählten Größen und Berechnungen gegeben.

2.4.1. Technische Kenngrößen

Neben den relevanten Energieertragswerten werden die folgenden charakteristischen Kenngrößen zur Bewertung des betrachteten Systems berechnet:

- Solarer Deckungsanteil:

$$F_{Sol} = \frac{Q_{Last} - Q_{Aux}}{Q_{Last}} = \left(1 - \frac{Q_{Aux}}{Q_{Last}}\right)$$

Q_{Last} : Gesamt-Wärmebedarf des Wärmenetzes

Q_{Aux} : Nachheiz-Energiebedarf des betrachteten Systems

- Nutzungsgrad des Kollektorfeldes

$$\eta_{Koll} = \frac{G_{Sol}}{Q_{Koll}}$$

G_{Sol} : Eingestrahlte Energiemenge

Q_{Koll} : Wärmelieferung des Kollektorfeldes an das System

- Speichernutzungsgrad

$$\eta_{TES} = \frac{Q_{TES,out} + dQ_{TES}}{Q_{TES,in}} \quad (\text{TES: Thermal Energy Storage})$$

$Q_{TES,in}$: In den Wärmespeicher eingespeicherte Wärme

$Q_{TES,out}$: Aus dem Wärmespeicher ausgespeicherte Wärme

dQ_{TES} : Änderung des Energieinhalts im Wärmespeicher

- Speicher-Zyklenzahl

$$N_{cyc} = \frac{Q_{TES,out}}{Q_{TES,max}}$$

$Q_{TES,max}$: Maximale Wärmekapazität des Wärmespeichers

2.4.2. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde eine vereinfachte Berechnung nach VDI 2067 in das Rechenprogramm implementiert. Direkte Berücksichtigung finden dabei lediglich die Hauptkomponenten. Nebenkosten sind über Aufschläge enthalten.

Für die Investitionskosten der Hauptkomponenten Kollektorfelder, Wärmespeicher und Solarnetz sind im Programm größenabhängige Standardwerte hinterlegt, die dem Benutzer eine erste Berechnung erlauben, auch wenn er keine Kostendaten zur Verfügung hat. Es können jedoch alternativ eigene Kostenangaben verwendet werden. Außerdem ist es möglich, separate Förderquoten auf Kollektorfelder und Wärmespeicher zu berücksichtigen.

Als Aufschläge auf die Gesamt-Investitionskosten der Hauptkomponenten werden verwendet:

- Anlagentechnik 7 %
- Gebäude und Gelände 5 %
- MSR-Technik 3 %

Darüber hinaus werden 10 % Aufschlag auf die gesamten Investitionskosten für die Planung bei der zentralen solaren Wärmeeinspeisung angesetzt, bei der dezentralen solaren Wärmeeinspeisung 5 %.

Der Kalkulations-Zinssatz kann vom Benutzer frei gewählt werden, ebenso die Brennstoffkosten für die Nachheizung (nur bei der zentralen solaren Wärmeeinspeisung) und die Kosten für Betriebsstrom. Sonstige, fest hinterlegte Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung

	Nutzungsdauer (Jahre)	Instandsetzung (% der Inv.-Kosten)	Wartungskosten (% der Inv.-Kosten)
Vakuurröhrenkollektoren	25 ¹	0,50 %	0,50 %
Flachkollektoren	25 ¹	0,50 %	0,50 %
Wärmespeicher	40	1,00 %	0,25 %
Solarnetz	40	1,00 %	0,00 %
Anlagentechnik	15	1,50 %	0,75 %
Gebäude	50	1,00 %	1,00 %
MSR-Technik	20	1,50 %	1,00 %

¹ Siehe z.B. <http://www.solar-district-heating.eu/ServicesTools/Plantdatabase.aspx> oder [Mauthner, Weiss 2013]

2.4.3. Ökologische Berechnungen

Zur ökologischen Bewertung werden die CO₂-Äquivalent-Einsparung und die Primärenergieeinsparung (nur bei der zentralen solaren Wärmeeinspeisung) im Vergleich zu einer Referenzvariante berechnet. Der Benutzer muss hierzu die entsprechenden Angaben zu Energieträgern und Nutzungsgraden der Referenz- bzw. der Zusatz-Wärmeerzeuger machen. Für die Berechnungen werden die in Tabelle 3 aufgeführten Werte verwendet.

Tabelle 3: Primärenergiefaktoren und CO₂- Äquivalent Emissionsfaktoren [Martinsson et.al. 2011]

	Primärenergiefaktor	CO ₂ -Äq, Emissionsfaktoren In g/kWh
Biomasse	0,2	7
Gas	1,1	222
Kohle	1,1	369
Öl	1,1	283
Strom	2,6	420
Solarthermie	0,0	0

Die Primärenergieeinsparung im Vergleich zu einem konventionell versorgten Referenzsystem wird nach folgender Beziehung berechnet:

$$F_{Save,PE} = 1 - \frac{\sum_i \frac{Q_{Aux,i}}{\eta_{Aux,i}} * f_{PE,Aux,i} + \sum_i E_{el,i} * f_{PE,el}}{\sum_i \frac{Q_{Aux,ref,i}}{\eta_{Aux,ref,i}} * f_{PE,Aux,ref,i} + \sum_i E_{el,ref,i} * f_{PE,el}}$$

Q_{Aux} : Nachheiz-Energiebedarf des betrachteten Systems

$Q_{Aux,ref}$: Konventioneller Energiebedarf des Referenzsystems

E_{el} : Strombedarf für Pumpen etc,

η : Nutzungsgrad der konventionellen Wärmebereitstellung

f_{PE} : Primärenergiefaktor des Brennstoffs

Die Berechnung der CO₂-Äquivalent Einsparung erfolgt nach:

$$F_{CO_2-\ddot{A}q} = \sum_i \frac{Q_{ref,i}}{\eta_{ref,i}} * f_{CO_2-\ddot{A}q,ref,i} - \sum_i \frac{Q_{Aux,i}}{\eta_{Aux,i}} * f_{CO_2-\ddot{A}q,Aux,i}$$

Q_{ref} : Energiebedarf des konventionellen Referenzsystems

$F_{CO_2-\ddot{A}q}$: CO₂-Äq, Emissionsfaktor des Referenz-Brennstoffs

3. Danksagung

Die hier vorgestellten Inhalte wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert, Die Autoren danken für die Unterstützung, Weder die Autoren noch das BMU sind verantwortlich für jegliche Nutzung, die mit Hilfe dieses Rechners erzeugt wurde.

4. Literatur

- Jordan, U., Vajen, K, DHW-calc Version 1,10, Universität Kassel, <http://solar.umwelt-uni-kassel.de/download>, Kassel, 2010
- Martinsson, F., Gode, J., Höglund, J., Ecoheat4cities – Technical report on labelling criteria for DHC, www.ecoheat4cities.eu, IVL Swedish Environmental Research Institute, Sweden, 2011
- Mauthner, F., Weiss, W, Solar Heat Worldwide – 2013 Edition, IEA-SHC Report, AEE - Institute for Sustainable Technologies, Gleisdorf, Austria, 2013
- Meteonorm
Meteonorm Software - Globale meteorologische Datenbank,
www.meteonorm.com, Meteotest, Bern, Schweiz, 2011
- TRNSYS
A Transient System Simulation Program, Solar Energy Laboratory,
University of Wisconsin, Madison, USA und Transsolar, Stuttgart,
2012