

Einfluss des Klimas auf die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit solar unterstützter Nahwärmesysteme

S. Raab¹⁾, D. Mangold²⁾, W. Heidemann¹⁾, H. Müller-Steinhagen^{1) 2) 3)}

¹⁾Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart

Tel. +49-(0)711-685-3536, Fax: +49-(0)711-685-3242

Email: raab@itw.uni-stuttgart.de

²⁾Solar- und Wärmetechnik Stuttgart (SWT) – ein Forschungsinstitut
der Steinbeis-Stiftung

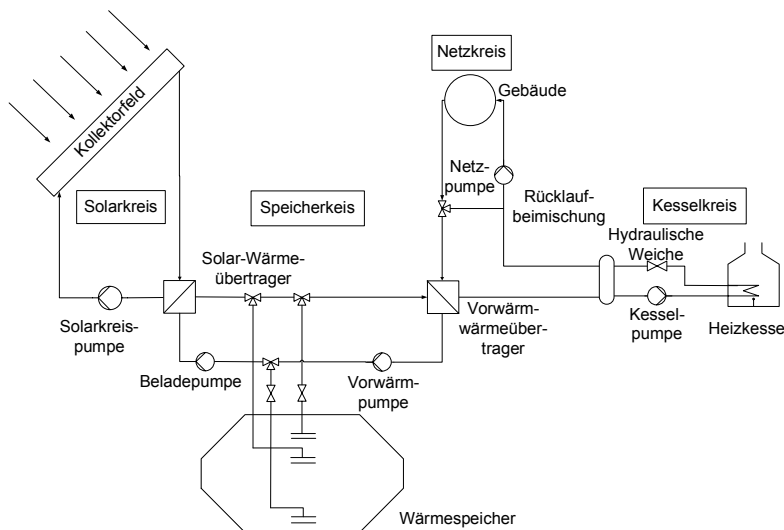
³⁾DLR Stuttgart, Institut für Technische Thermodynamik (ITT)

1. Einleitung

In dieser Studie werden solar unterstützte Nahwärmeversorgungen mit solarem Deckungsanteil von 35 % und 50 % für verschiedene klimatische Bedingungen in Deutschland durch dynamische Simulationen mit TRNSYS [1] auf maximale energetische Effizienz dimensioniert und deren Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit vergleichend bewertet. Es wird weiterhin eine eingehende kritische Betrachtung der Simulationsgrundlagen durchgeführt.

2. Hydraulisches Schema

Auf dem Stand der Technik solar unterstützter Nahwärmeversorgungen wie Friedrichshafen, Hamburg und Hannover basierend wurde ein Referenzsystem (siehe Bild 1) definiert. Der Solarkreis ist vom Speicherkreis durch einen Wärmeübertrager getrennt, da im Solarkreis ein Wasser-Glykol-Gemisch (60/40 Massen-%) eingesetzt wird, um die Flachkollektoren gegen Frostschäden zu schützen. Zur Erreichung von



Zieltemperaturen aus dem Solarkreis werden drehzahlgeregelte Pumpen verwendet. Als Wärmespeicher wird ein erdvergrabener, wärmege-dämmter Heißwasser-Wärmespeicher eingesetzt. Zur Be- und Entladung kommen drei verschiedene Ebenen zum Einsatz. Dadurch kann der Wärmespeicher gleichzeitig auch auf unterschiedlichen Temperaturniveaus be- und entladen werden. Ein weiterer Wärmeübertrager

Bild 1: Anlagenschema des Referenzsystems

trennt den Speicher- vom Netzkeis und dient der Vorwärmung des Rücklaufs des Nahwärmenetzes. Bei Bedarf garantiert eine fossile Nachheizung das Erreichen der

geforderten Netzvorlaufemperatur. Die Netzurücklaufbeimischung verhindert das Ein-speisen höherer als der geforderten Netzvorlaufemperaturen in das Nahwärmenetz.

3. Validierung des Simulationsmodells

Für die durchgeführten Untersuchungen kommt ein detailliert validiertes Simulationsmodell zur Abbildung des thermischen Verhaltens solar unterstützter Nahwärmeversorgungen zum Einsatz. Das Kollektormodell wurde bereits mehrfach eingehend untersucht [2]. Die Validierung des Modells zur Berechnung des thermischen Verhaltens des erdvergrabenen Wärmespeichers (XST) und des Gesamtsystems wurde mit Daten der solar unterstützten Nahwärmeversorgung Hannover für das Betriebsjahr 2002 [3] durch Koppelung von TRNSYS und des Parameteridentifikationsprogramms DF durchgeführt [4]. Der Heißwasser-Wärmespeicher in Hannover umfasst ein Volumen von 2.750 m³ bei einer Höhe von ca. 10 m und ist seit dem Jahr 2000 in Betrieb. Die berechneten und gemessenen Temperaturen im Speicher auf Höhe der oberen, mittleren und unteren Be- bzw. Entladeeinrichtungen stimmen gut überein (Abweichung < 2 K). Dieselbe Aussage ist für den Vergleich gemessener und berechneter Temperaturen unterhalb und neben dem Speicher im Erdreich ebenfalls zutreffend. Die Abweichungen gemessener und berechneter Wärmemengen in den und aus dem Wärmespeicher betragen über das Jahr gesehen maximal 2 %. Die wesentlichen mit dem Simulationsmodell berechneten und gemessenen Wärmemengen für die solar unterstützte Nahwärmeversorgung im Betriebsjahr 2002 weichen um maximal 4 % voneinander ab.

4. Klimadaten

Tabelle 1: Vergleich der jährlichen Globalstrahlungssumme E_{glob} und Umgebungstemperatur T_{amb}

Globalstrahlungssumme		Hannover	Frankfurt	Würzburg
TRY	E_{glob} [kWh/(m ² a)]	928	1.038	1.119
Meteonorm	E_{glob} [kWh/(m ² a)]	983	1.028	1.091
Messmittel (1983-2002)	E_{glob} [kWh/(m ² a)]	1.009	1.068	1.103
Messmittel (1993-2002)	E_{glob} [kWh/(m ² a)]	1.020	1.088	1.114
Umgebungstemperatur		Hannover	Frankfurt	Würzburg
TRY	T_{amb} [°C]	8,6	9,4	9,0
Meteonorm	T_{amb} [°C]	8,8	9,9	9,5
Messmittel (1983-2002)	T_{amb} [°C]	9,5	10,4	9,5
Messmittel (1993-2002)	T_{amb} [°C]	9,6	10,8	9,9

Eine wesentliche Einflussgröße auf die Effizienz solarthermischer Anlagen stellen die meteorologischen Bedingungen (insbesondere die Einstrahlung) des Standorts dar. Aus diesem Grund wurden die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) von 1983 bis 2002 gemessenen Einstrahlungs- und Temperaturdaten für eine in Deutschland relativ niedrige solare Einstrahlung (Hannover), für eine mittlere solare Einstrahlung (Frankfurt/Main) und für eine relativ hohe Ein-

strahlung (Würzburg) herangezogen. Diese wurden mit den kommerziell verfügbaren Datensätzen des DWD (Testreferenzjahre: TRY) [5] sowie den mit der Software Meteonorm generierten Datensätzen [6] für die entsprechenden Standorte verglichen. In Tabelle 1 ist die monatliche Einstrahlungssumme auf die Horizontale und die mittlere jährliche Umgebungstemperatur für die beiden Klimadatenätze und den Durchschnitt der Messwerte 1983 bis 2002 dargestellt. Die jährliche Globalstrahlungssumme in Hannover und Frankfurt wird durch den TRY-Datensatz gegenüber der Mes-

sung unterbewertet (-8,0 % bzw. -2,8 % gegenüber 20-jährigem Mittel), im Falle von Würzburg gut wiedergegeben (-1,5 %). Für den Standort Hannover beträgt die Abweichung der Globalstrahlungssumme des Meteonorm-Datensatzes vom 20-jährigen Mittel -2,6 %, für Frankfurt -3,7 % und für Würzburg -1,1 %. Generell liegen die Temperatur- und Strahlungswerte des 10-jährigen Mittels über denen des 20-jährigen Mittels. In Bild 2 sind am Beispiel von Würzburg die monatlichen Daten der Globalstrahlungssumme von Messdaten, 20-jährigem Mittel, TRY-Datensatz und Meteonorm-Datensatz dargestellt. Gegenüber der Mes-

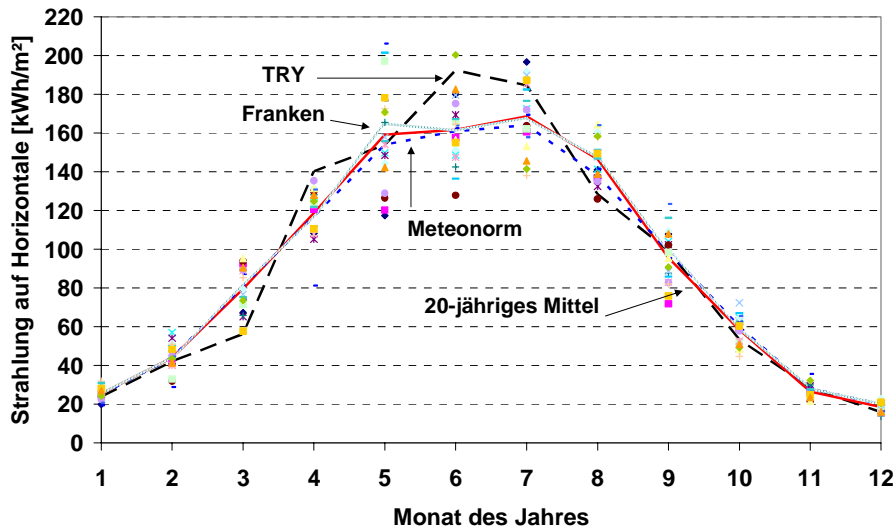


Bild 2: Einstrahlungsdaten für den Standort Würzburg (Punkte: Messdaten von 1983 bis 2002; Kurven: 20-jähriges Mittel, TRY-Datensatz, Meteonorm-Datensatz, Franken-Datensatz)

sung werden beim TRY-Datensatz die Globalstrahlungssummen der Monate April, Juni und Juli deutlich überbewertet, die Globalstrahlungssumme im März unterbewertet. Die Meteonorm-Datenkurve stimmt gut mit der Kurve des 20-jährigen Mittels überein. Aus der Variationsbreite der einzelnen Messjahre ist zu erkennen, dass die im TRY-Datensatz abgebildete Monatsabfolge von keinem der in den Jahren 1983 bis 2002 gemessenen monatlichen Globalstrahlungssummen wiedergegeben wird. Aufgrund der besonderen Auslegungsrelevanz für einige solar unterstützte Nahwärmerversorgungen mit Langzeit-Wärmespeicher wurde der Meteonorm-Datensatz für Würzburg (Klima repräsentativ für die Regionen Franken und nördliches Baden-Württemberg) so modifiziert, dass die Globalstrahlungssumme der des 10-jährigen Mittels entspricht. Der entstandene Datensatz Franken wird im Folgenden weiterverwendet.

5. Simulationsergebnisse

Die solar unterstützten Nahwärmerversorgungen werden am energetischen Optimum ausgelegt, d. h. die Kollektoren gehen zu keinem Zeitpunkt in Stagnation und der drucklose Wärmespeicher erreicht bei maximaler Beladung eine Temperatur von 98 °C. In Tabelle 2 sind die Auslegungsbeispiele für die verschiedenen Klimadaten-sätze aufgeführt. Die geringsten Wärmekosten und Investitionskosten ergeben sich bei Verwendung des Klimadaten-satzes Franken. Beim Vergleich der mit beiden Klimadaten-sätzen (TRY und alternativ) berechneten Ergebnisse für einen Standort ist festzustellen, dass die mit dem TRY ausgelegten Anlagen i. d. R. größere Speichervolumina und kleinere Kollektorfelder benötigen. Die Einstrahlung ist bei den TRY im

Sommer generell höher und im Winter generell niedriger als bei den alternativen Klimadatenansätzen und damit gegenläufig zum Wärmebedarf im Nahwärmenetz. Zum Erreichen eines hohen solaren Deckungsanteils von 50 % wird ein saisonaler Wärmespeicher nötig. Die Untersuchungen haben gezeigt, je saisonaler der Charakter der Wärmespeicherung und je größer die abgenommene Wärmemenge im Nahwärmenetz, desto geringer sind die Unterschiede der mit beiden Klimadatenansätzen ausgelegten Anlagen.

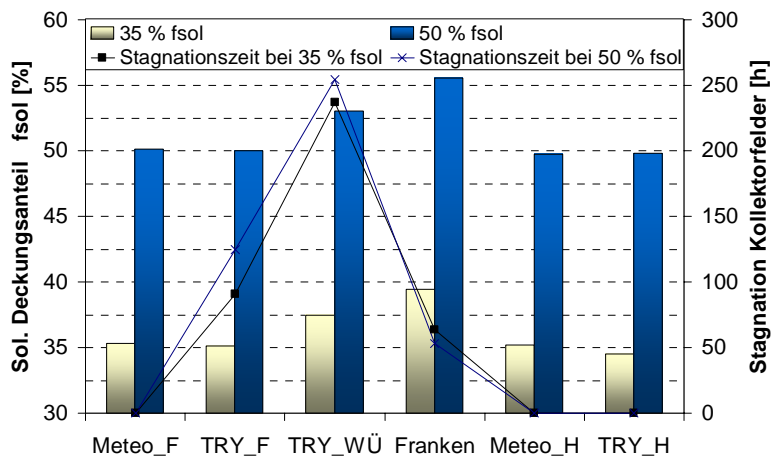


Bild 3: Thermisches Verhalten zweier mit dem Meteonorm-Datensatz für Frankfurt ausgelegter Systeme (500 MWh, 35 und 50 % solarer Deckungsanteil (fsol)) an anderen Standorten

In Bild 3 ist zu sehen, wie sich das thermische Verhalten zweier mit dem Meteonorm-Datensatz für Frankfurt ausgelegter Systeme ändert, wenn man veränderte klimatische Bedingungen zugrunde legt. Die solaren Deckungsanteile variieren für die insgesamt vier Klimadatenansätze Frankfurt und Hannover nur sehr wenig und betragen ca. 35 bzw.

50 %. Bei Annahme des Franken-Datensatzes ergeben sich die höchsten solaren Deckungsanteile von 39 bzw. 56 % verbunden mit Stagnation in den Kollektorfeldern von jeweils ca. 60 Stunden. Wird der TRY-Datensatz für Würzburg zugrunde gelegt, ergeben sich Stagnationszeiten von deutlich mehr als 200 Stunden.

6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurde ein Vergleich verschiedener Klimadatenansätze für Hannover (relativ niedrige solare Einstrahlung), Frankfurt (mittel) und Würzburg (relativ hoch) mit Messdaten der Jahre 1983 bis 2002 durchgeführt. Die Meteonorm-Datenansätze bilden das mittlere Klima der Standorte i. d. R. besser ab als die TRY-Datenansätze, die die Einstrahlung in den Sommermonaten sowie im April überbewerten und die Einstrahlung in den Übergangs- und Wintermonaten gegenüber den Messdaten der Jahre 1983 bis 2002 unterbewerten. Für die Standorte Hannover und Frankfurt stellen beide Klimadatenansätze (Meteonorm und TRY) hinsichtlich der Einstrahlung konservative Annahmen dar. Für den Standort Würzburg entspricht die jährliche Globalstrahlungssumme des TRY-Datenansatzes und des mit Hilfe von Meteonorm erstellten, modifizierten Datensatzes Franken sehr gut mit der des 10-jährigen Mittels überein.

Legt man bei einer Auslegung die TRY-Datenansätze zugrunde, führt dies zu größeren Wärmespeichern und kleineren Kollektorfeldern als bei Zugrundelegung der alternativen Datensätze. Bei der Dimensionierung einer solar unterstützten Nahwärmanlage steigen die Investitionskosten dadurch um bis zu 10 % bei kleinen Anlagen (Wärmebelastung: 500 MWh/a) gegenüber mit den alternativen Datensätzen auf Basis von aktuellen Messdaten ausgelegten Systemen an. Insbesondere bei Verwendung des

TRY-Datensatzes für Würzburg wird das System auf eine Einstrahlungsabfolge ausgelegt (u. a. zur Vermeidung von Stagnation), wie sie in den Jahren 1983 bis 2002 nicht gemessen wurde. Es ist generell und insbesondere für den Standort Würzburg ratsam, Auslegungsrechnungen für große solarthermische Anlagen mit den alternativen Klimadatenätzen bzw. dem Datensatz Franken durchzuführen.

Tabelle 2: Vergleich der Auslegungsbeispiele für verschiedene jährliche Wärmelasten (Netzvor- bzw. -rücklauftemperatur 68 bzw. 41 °C) und Klimate

	Klimadatenatz	A_{coll} [m ²]	V_{Sp}/A_{coll} [m ³ /m ²]	Invest. [10 ⁶ €]	Zyklus [*] [-]	Sol. Wärmekosten [Ct./kWh]	Vergl. Invest. [†] [%]
fso1 35 %, Wärmelast 500 MWh/a	Hannover TRY	1.025	0,50	0,63	4,2	31	-12
	Hannover Meteo	1.040	0,25	0,56	8,0	27	
	Frankfurt TRY	900	0,75	0,63	3,1	30	-2
	Frankfurt Meteo	1.000	0,50	0,62	4,2	30	
	Würzburg TRY	800	0,75	0,58	3,4	28	-10
	Franken	800	0,50	0,52	5,2	25	
fso1 35 %, Wärmelast 2.500 MWh/a	Hannover TRY	4.400	0,50	2,04	4,7	20	-3
	Hannover Meteo	4.250	0,50	1,98	4,8	20	
	Frankfurt TRY	3.900	0,75	1,99	3,5	19	-2
	Frankfurt Meteo	4.220	0,50	1,97	4,8	19	
	Würzburg TRY	3.410	0,75	1,78	4,0	17	-2
	Franken	3.325	0,75	1,75	4,1	17	
fso1 50 %, Wärmelast 500 MWh/a	Hannover TRY	1.560	1,00	1,03	2,0	35	0
	Hannover Meteo	1.700	0,75	1,03	2,5	35	
	Frankfurt TRY	1.400	1,25	1,01	1,8	34	2
	Frankfurt Meteo	1.550	1,00	1,03	2,0	35	
	Würzburg TRY	1.175	1,50	0,94	1,8	31	-4
	Franken	1.300	1,00	0,90	2,4	30	
fso1 50 %, Wärmelast 2.500 MWh/a	Hannover TRY	6.750	1,00	3,27	2,3	22	0
	Hannover Meteo	6.750	1,00	3,27	2,3	22	
	Frankfurt TRY	5.650	1,50	3,09	1,8	21	5
	Frankfurt Meteo	6.650	1,00	3,21	2,3	22	
	Würzburg TRY	4.800	1,75	2,82	1,8	19	-1
	Franken	5.250	1,25	2,80	2,3	19	

Literatur

- [1] TRNSYS Version 15.0 – User Manual. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison und Transsolar, Stuttgart.
- [2] Raab, S.; Mangold, D.; Heidemann, W.; Steinhagen-Müller, H.: Betriebs- und Leistungsüberwachung von großen Kollektorfeldern. 13. Symposium Thermische Solarenergie. 14. – 16. Mai 2003, Bad Staffelstein.
- [3] Bodmann, M: Messdaten der solar unterstützten Nahwärmeversorgung Hannover. Institut für Gebäude- und Solartechnik der TU Braunschweig.
- [4] DF- Dynamic Fitting Version 2.7, InSitu Scientific Software, c/o W. Spirkl, Germering.
- [5] Blümel, K.; Hollan, E.; Kähler, M.; Peter, R.: Entwicklung von Testreferenzjahren für die Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland. BMFT-Forschungsbericht T 86-051 FU Berlin, 1986.
- [6] Meteonorm 4.0 (November 1999). Meteotest, Bern (Schweiz).

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) unter dem Förderkennzeichen 0329607F gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

* Zyklus: Die Zykluszahl beschreibt das Verhältnis der pro Jahr aus dem Speicher entnommenen Wärmemenge und der maximalen Wärmemenge, die der Speicher bei gegebener Temperaturspreizung fassen kann.

† Vergl. Invest.: Prozentuale Änderung der Investitionskosten zwischen beiden Anlagen bezogen auf die mit dem TRY-Datensatz ausgelegte Anlage; alle Kostenangaben inkl. Planung und MWSt. und ohne Förderung