

10 Jahre Solarthermie-2000

D. Mangold¹⁾, F. A. Peuser²⁾

¹⁾Solar- und Wärmetechnik Stuttgart (SWT)

Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart

Tel. +49-711-685-3279, Fax: +49-711-685-3242

Email: mangold@swt-stuttgart.de, www.swt-stuttgart.de

²⁾ZFS - Rationelle Energietechnik GmbH

Verbindungsstr. 19, 40723 Hilden

Tel. +49-2103-2444-0, Fax: +49-2103-2444-40

Email: zfs.energie@t-online.de, www.zfs-energietechnik.de

Im Jahr 2003 besteht das bundesdeutsche Energieforschungsprogramm „Solarthermie-2000“ seit 10 Jahren. Dieser Artikel gibt einen Einblick in die umfangreichen Ergebnisse der Forschungsarbeiten und zeigt den erreichten Entwicklungsstand von solarthermischen Großanlagen mit Kollektorflächen von über 100 m².

1. Das Förderprogramm Solarthermie-2000

1993 begann das ehemalige Bundesforschungsministerium (BMF) mit dem Energieforschungsprogramm Solarthermie-2000 die Entwicklung der Technik solarthermischer Großanlagen und den Bau von Demonstrationsanlagen zu fördern. Solarthermie-2000 wurde von 1998 bis 2002 durch das damalige Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) weitergeführt und ist heute beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) angesiedelt. Solarthermie-2000 ist in drei Teilprogramme (TP) gegliedert:

TP 1: Langzeitverhalten thermischer Solaranlagen

Im Rahmen dieses Teilprogramms wurden an ausgewählten Solaranlagen des Zukunftsinvestitionsprogramms (ZIP), die bereits in den Jahren 1978-1983 installiert wurden, Untersuchungen zum Betriebsverhalten und zu Alterungserscheinungen nach über 15- bis 20-jährigem Anlagenbetrieb durchgeführt. Ein Hauptergebnis ist, dass eine Lebenserwartung der Solaranlagen von über 20 Jahren nachgewiesen werden konnte. Das Teilprogramm wurde im Juli 1997 abgeschlossen, die Ergebnisse sind detailliert z. B. in /1/ veröffentlicht.

TP 2: Große solarthermische Anlagen auf öffentlichen Gebäuden

Dieses Teilprogramm beinhaltet die Errichtung von bis zu 100 mittelgroßen Forschungs- und Demonstrationsanlagen mit mindestens 100 m² Kollektorfläche zur thermischen Nutzung der Sonnenenergie überwiegend für die Trinkwassererwärmung. Die Planung und der Bau der Anlagen werden technisch begleitet, ihr Betrieb wird wissenschaftlich analysiert. Ziel des Teilprogramms ist die Entwicklung der Technik für solche Großanlagen, die Erarbeitung von Planungs- und Auslegungsempfehlungen sowie die Etablierung dieser Technik im Markt.

TP 3: Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher

Wesentliches Ziel einer solar unterstützten Nahwärme mit Langzeit-Wärmespeicher ist es, durch saisonale Wärmespeicherung solare Deckungsanteile von ca. 50 % des Jahresheizwärmebedarfs für Heizung und Trinkwassererwärmung zu erreichen. Die dazu notwendige Kollektorfläche sollte mindestens 1000 m² groß sein. Unterschiedliche, aussichtsreiche Konzepte und Techniken von - wenn möglich - dachintegrierten Großkollektoren und Wärmespeichern werden in Pilot- und Demonstrationsanlagen erprobt. Die Projektentwicklung und Anlagendimensionierung werden ebenso wissenschaftlich begleitet wie die Planung und Bauausführung. Wie im TP 2 werden durch ein mehrjähriges Messprogramm die Anlagenfunktion und die Systemeffizienz evaluiert, begleitet durch FuE-Arbeiten zur Optimierung der System- und Speichertechniken. Ziel des Teilprogramms ist es, effiziente und kostengünstige Techniken zur solar unterstützten Nahwärmeversorgung und Langzeit-Wärmespeicherung zu entwickeln.

Die wissenschaftliche Begleitung der beiden Teilprogramme 2 und 3 wird jeweils von einem bundesweiten Netzwerk von Hochschulinstituten und Unternehmen durchgeführt. Das TP 2 wird von der ZFS geleitet, das TP 3 seit 1.2.03 von SWT, nachdem es zuvor vom Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Uni Stuttgart geleitet wurde. Ausführlichere Informationen zu Solarthermie-2000 sind unter www.solarthermie2000.de dargestellt.

2. Gebaute Demonstrationsanlagen

Innerhalb des Teilprogramms 2 sind mittlerweile 49 Pilotanlagen in Betrieb und vier im Bau. Bild 1 zeigt die Kollektorfläche und das Pufferspeichervolumen dieser Anlagen, gruppiert nach den Gebäudetypen, in denen die Solaranlagen eingesetzt sind. Die Anlagen erreichen solare Wärmekosten gemäß Planung von 10 bis 13 Cent/kWh, berechnet nach dem vereinfachten Solarthermie-2000-Standard /2/.

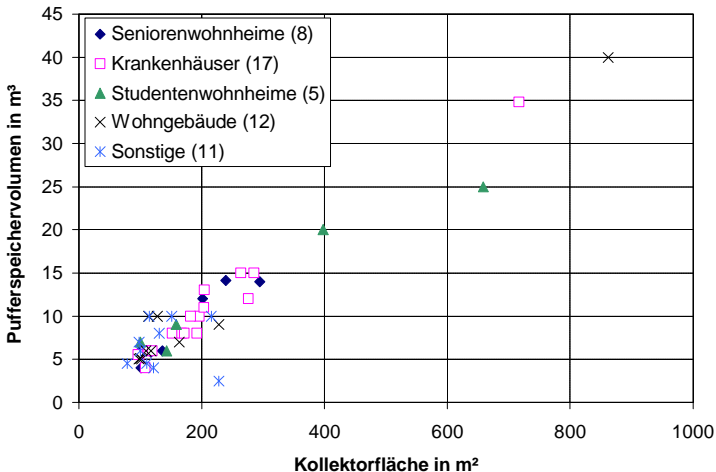


Bild 1: Gebaute Demonstrationsanlagen im Teilprogramm 2, in Klammern die jeweilige Anzahl der Anlagen

Nicht dargestellt ist die Siedlung Burgholzhof in Stuttgart, die derzeit größte Anlage im TP 2 mit 1543 m² Kollektorfläche und einem Pufferspeichervolumen von 90 m³.

In den Tabellen 1 und 2 sind die Eckdaten der innerhalb des TP 3 betreuten solar unterstützten Nahwärmearbeiten mit Langzeit-Wärmespeicher dargestellt. Die Stadtwerke Neckarsulm erhielten für das Projekt Neckarsulm-Amorbach den „Deutschen Solarpreis 1998“. Das im Rahmen des Programms „50 Solarsiedlungen in Nordrhein-Westfalen“ errichtete Projekt in Steinfurt-Borghorst wurde von Eurosolar mit dem „Deutschen Solarpreis 2001“ ausgezeichnet.

Tabelle 1: Demonstrationsanlagen der ersten Generation im Teilprogramm 3

	Hamburg	Friedrichshafen	Chemnitz ¹ 1. BA	Neckarsulm	Hannover ²
Jahr der Inbetriebnahme	1996	1996	2000	1997/ 2001	2000
Versorgungsgebiet	124 WE	Endausbau: 570 WE	Bürogebäude	140 WE, Schule, Altenwohnheim, Ladenzentrum	106 WE
beheizte Wohn-/ Nutzfläche in m ²	14.800	39.500	4.680	k. A.	7.365
Solaranlage (Planwerte)					
• Kollektorfläche in m ²	3.000	5.600	540 VR	6.500	1.350
• Speichertyp	Heißwasser	Heißwasser	Kies/Wasser	Erdsonden	Heißwasser
• Speichervolumen in m ³	4.500	12.000	8.000	63.300	2.750
Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale in MWh/a	1.610	4.106	1. BA: 573	3.960	694
Nutzwärmelieferung Solarsystem in MWh/a	789*	1.915*	1. BA:169*	2.018*	269*
Solarer Deckungsanteil in %	49*	47*	1. BA: 30*	50*	39*
Kosten Solarsystem in Mio. Euro	2,2	3,2	1. + 2. BA: 1,4	k. A.	1,2
Solare Wärmekosten in Ct/kWh (ohne Förderung, ohne MWSt., inkl. Planung)	25,7*	15,9*	1. + 2. BA: 24,0*	17,2*	41,4*
BA: Bauabschnitt, VR: Vakuumröhre, WE: Wohneinheit, *: mit TRNSYS berechnete Werte für den langfristigen Betrieb, ¹ : Angaben TU Chemnitz, ² : Angaben IGS, Uni Braunschweig, k. A.: keine Angabe					

Tabelle 2: Demonstrationsanlagen der zweiten und dritten Generation im Teilprogramm 3

	Steinfurt	Rostock ³	Attenkirchen ⁴	München ⁴
Jahr der Inbetriebnahme	1998	2000	2002	2004 [#]
Versorgungsgebiet	42 WE	108 WE	30 WE	272 WE
beheizte Wohn-/ Nutzfläche in m ²	3.800	7.000	6.200	22.610
Solaranlage (Planwerte)				
• Kollektorfläche in m ²	510	1.000	800	2.700
• Speichertyp	Kies/Wasser	Aquifer	Hybrid	
• Speichervolumen in m ³	1.500	20.000	500 + 9.350	~ 5.700
Gesamtwärmebedarf ab Heizzentrale in MWh/a	325	497	487	1.976
Nutzwärmelieferung Solarsystem in MWh/a	110*	307*	415	988 [†]
Solarer Deckungsanteil in %	34*	62*	55 [§]	50 [†]
Kosten Solarsystem in Mio. Euro	0,5	0,7	0,26	1,7 [#]
Solare Wärmekosten in Ct/kWh (ohne Förderung, ohne MWSt., inkl. Planung)	42,3*	25,5*	17,0*	16,0* [#]
WE: Wohneinheit, *: mit TRNSYS berechnete Werte für den langfristigen Betrieb, ³ : Angaben GTN, Neubrandenburg, ⁴ : Angaben ZAE Bayern, Garching, [#] : geplant, k. A.: keine Angabe, [§] : Primärenergieeinsparung				

Die Anlage in München befindet sich zur Zeit noch in der Planungsphase und wird als erste Anlage der dritten Generation am Ackermannbogen in der Nähe des Olympiaparks errichtet. Als Wärmespeicher kommt sowohl ein Kies/Wasser- als auch ein Heißwasser-Wärmespeicher in Betracht. Nach Ausschreibung beider Konzepte wird der an diesem Standort kostengünstigere Speichertyp realisiert.

3. Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitforschung

Im folgenden werden ausgewählte Ergebnisse aus der Projektbegleitung der Demonstrationsanlagen dargestellt. Ausführliche Informationen können der Literatur entnommen werden /2 bis 7/, unter anderem auch den Artikeln von M. Bodmann, R. Croy, M. Reuss und T. Schmidt im selben Tagungsband des OTTI-Symposiums.

3.1 Erstellung eines Energiekonzeptes

Vor der Verwirklichung einer solarthermischen Großanlage sollte ein Energiekonzept erstellt werden, das die mit der Solaranlage erzielbare Energieeinsparung sowie die hierfür notwendigen Investitions- sowie Betriebs- und Wartungskosten in Relation setzt zu weiteren möglichen Energieeinsparmaßnahmen. Soll die Anlage im Bestand errichtet werden, ist zuvor zu untersuchen, ob andere Möglichkeiten zur Minimierung des Energiebedarfs, wie z. B. Wärmedämmmaßnahmen, eine Erneuerung des Wärmeerzeugers oder auch eine Dachsanierung verwirklicht werden sollten, bevor eine Solaranlage installiert wird. Es ist nicht zweckmäßig, ein Solarsystem in ein nicht energetisch optimiertes, konventionelles Verbrauchs- oder Energieerzeugungssystem einzubinden. Durch die Betrachtung der Notwendigkeit und Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Energieeinsparmaßnahmen kann ein Maßnahmenpaket erstellt werden, das bei minimierten Kosten eine Solaranlage beinhaltet.

Vor dem Planungsbeginn eines Langzeit-Wärmespeichers muss untersucht werden, ob die angestrebte Minderung der CO₂-Emissionen von z. B. 50 % mit alternativen Techniken wie Kraft-Wärme-Kopplung, dem Einsatz von Biomasse oder Ähnlichem bei besserer Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage erreicht werden kann. Nur wenn mit dem Einsatz eines Langzeit-Wärmespeichers das angestrebte Umweltschutzziel in Abhängigkeit der örtlichen Randbedingungen mit den geringsten Mehrkosten erreicht werden kann, ist der Bau des Speichers zu empfehlen.

3.2 Frühzeitige Projektentwicklung

Die Verwirklichung einer solar unterstützten Nahwärme mit Langzeit-Wärmespeicher stellt an die Projektbeteiligten in der Regel Anforderungen, die oft neu und ungewohnt sind. Aus diesem Grund ist eine frühzeitig beginnende Projektentwicklung, die im Neubau noch vor der Verabschiedung eines Bebauungsplanes und im Bestand noch vor dem Beginn der Planung möglicher Sanierungsmaßnahmen einsetzt, unbedingt

notwendig für den Projekterfolg. Dieser kann durch einen integralen Planungsablauf, der von stadtplanerischen Festlegungen bis zur Wohnungsheizung und Trinkwassererwärmung alle Systeme und Randbedingungen umfasst, die ein solar unterstütztes Nahwärmesystem mit Langzeit-Wärmespeicher beeinflussen, sichergestellt werden. Zunehmend wichtig bei neueren Projekten wird hierbei das Vertragswerk zwischen dem Anlagenbetreiber, der Stadt und den Gebäudeeigentümern.

3.3 Anlagendimensionierung und Systemauswahl

Für das Teilprogramm 2 wurden von der ZFS Auslegungskennwerte entwickelt, die für Großanlagen zur Trinkwassererwärmung zu einem solaren Zapf-Deckungsanteil von 30 % führen. Dieses Konzept, die Solaranlagen relativ knapp zu dimensionieren, hat sich bewährt. Hierdurch werden unwirtschaftliche und eventuell die Lebensdauer der Kollektorkreis Komponenten negativ beeinflussende Stillstandszeiten des Kollektorfeldes vermieden. Pro ca. 65-70 l täglichem Warmwasserverbrauch soll höchstens 1 m² Flachkollektorfläche installiert werden. Für das Pufferspeichervolumen werden ca. 50 l je m² Flachkollektorfläche empfohlen.

Unter diesen Bedingungen gilt für den erzielbaren Solarertrag, dass bei einer Kollektorfelddorientierung zwischen Südost und Südwest und bei Neigungen zwischen ca. 20° und 50° gegenüber der Horizontalen dieser gegenüber dem maximalen Wert (bei Südausrichtung und 45 ° Neigung) nur um max. 7 % absinkt.

Für den Einsatz von Langzeit-Wärmespeichern gilt, dass für eine genaue Anlagendimensionierung detaillierte Simulationsrechnungen notwendig sind, die das thermische Verhalten der Energieerzeuger, der Wärmespeicher, ggf. des Nahwärmenetzes und der Wärmeverbraucher dynamisch berechnen. Mit diesen Simulationsrechnungen sollte zusätzlich die Funktion des geplanten Systems überprüft und bei Bedarf auf eine möglichst hohe Energieeinsparung bzw. niedrige Wärmekosten optimiert werden. Zur Erzielung eines möglichst hohen Solarertrages müssen die Kollektorflächen nach Süden ± 20° orientiert, und - je nach der Art des Gesamtsystems - ca. 35 bis 45° gegen die Horizontale geneigt sein. Bei der praktischen Umsetzung der Pilotanlagen hat sich gezeigt, dass vor allem im Geschosswohnungsbau eine bauliche Integration solch stark geneigter Kollektorflächen schwierig ist. Aus diesem Grund weisen etliche installierte Kollektorflächen nur 15 bis 25 ° Neigung gegen die Horizontale auf. Der Minderertrag im Vergleich zu steiler geneigten Kollektorflächen muss mit einer Vergrößerung der Kollektorfläche ausgeglichen werden. Bei einer Neigung von nur 15° gegen die Horizontale muss in der Regel die Kollektorfläche um ca. 13 bis 15 % vergrößert werden.

Bei allen solarthermischen Großanlagen bestimmt die Rücklauftemperatur zum Kollektorfeld die Effizienz der Solaranlage, die damit auch die Wirtschaftlichkeit des Solaranlagenbetriebes maßgebend beeinflusst. Für die solarthermischen Großanlagen

des TP 2 wurden daher Anlagenkonzepte entwickelt, die dem Kollektorfeld das niedrige Temperaturniveau des in den Trinkwasserspeicher nachströmenden Frischwassers möglichst direkt zur Verfügung stellt. Soll auch der Energiebedarf des Trinkwarmwasser-Zirkulationsnetzes zum Teil durch Solarenergie gedeckt werden, ist die Einbindung der Zirkulationsleitung sehr sorgfältig zu planen und auszuführen /3/.

In Nahwärmenetzen bestimmt die Netzzücklauftemperatur die Rücklauftemperatur zu den Kollektorfeldern. Eine um ein Kelvin abgesenkte Netzzücklauftemperatur erhöht bei Anlagen mit Langzeit-Wärmespeicher den solaren Deckungsanteil im Durchschnitt um einen Prozentpunkt (absolut)! Aus diesem Grund werden in neueren Anlagen des TP 3 (Steinfurt-Borghorst, Rostock, München) Niedertemperatur-Raumheizsysteme eingesetzt. Die Trinkwassererwärmung erfolgt wenn möglich im Durchflussprinzip und ohne Zirkulationsleitung.

Grundsätzlich ist anzustreben, den Systemaufbau und das Regelschema möglichst einfach zu gestalten, damit die Anfälligkeit für Störungen und der Aufwand für Instandhaltung und Wartung möglichst gering bleiben und eine hohe Betriebszuverlässigkeit erzielt wird.

4. Entwicklungsstand und Perspektiven von solarthermischen Großanlagen

Mit den ersten Pilotanlagen, wie z. B. der Anlage in Ravensburg, wurde die Kollektorbau- und Solarsystemtechnik für große Kollektorflächen (über 100 m²) entwickelt. Heute wird die Ausführung und die Wartung großer Kollektorflächen von mindestens elf Firmen am Markt in guter Qualität angeboten. Mit dem Bau der Pilotanlagen in Hamburg und Friedrichshafen wurde vom ITW eine technisch sinnvolle Bewertung großer Kollektorflächen in der Dampfkesselverordnung initiiert. Für auf Flachdächern aufgeständerte Kollektorflächen wurden im TP 2 Musterstatiken erstellt und kostengünstige Techniken zur Erstellung der Unterkonstruktion entwickelt /8/.

Bei allen Anlagen des Teilprogramms 2 muss der Anlagenersteller einen Mindestanlagenertrag garantieren. Zur Bestimmung dieses Ertrages werden ihm die Verbrauchsprofile in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung (ermittelt aus vorbereiteten Messungen) und Klimadaten für einen passenden Standort vorgegeben. Da diese Auslegungswerte im realen Betrieb später nie genau eingehalten werden, wird dieser Garantiewert auf die realen Betriebsbedingungen umgerechnet und danach mit den Messwerten verglichen /2/. Der gemessene Ertrag muss mindestens 90% des umgerechneten Garantiewertes erreichen, damit die Garantie erfüllt ist.

Bild 2 zeigt für die 34 Anlagen des TP 2, die mindestens ein Jahr in der Messphase sind, die erzielten Ertragsanteile am umgerechneten Garantiewert. Bis auf 8 Anlagen erreichen alle den Mindestwert von 90%. Einige haben sogar 100% überschritten.

6 der 8 Anlagen mit Minderleistung weichen nur gering vom Grenzwert ab. Durch kleinere Systemoptimierungen kann hier der garantierte Ertrag voraussichtlich in den Folgejahren erreicht werden. Bei den 2 Anlagen mit dem sehr niedrigen Anteil am garantierten Ertrag (ca. 60%) handelt es sich um Anlagen mit systembedingten Schwächen. Hier sind größere Umbauarbeiten notwendig.

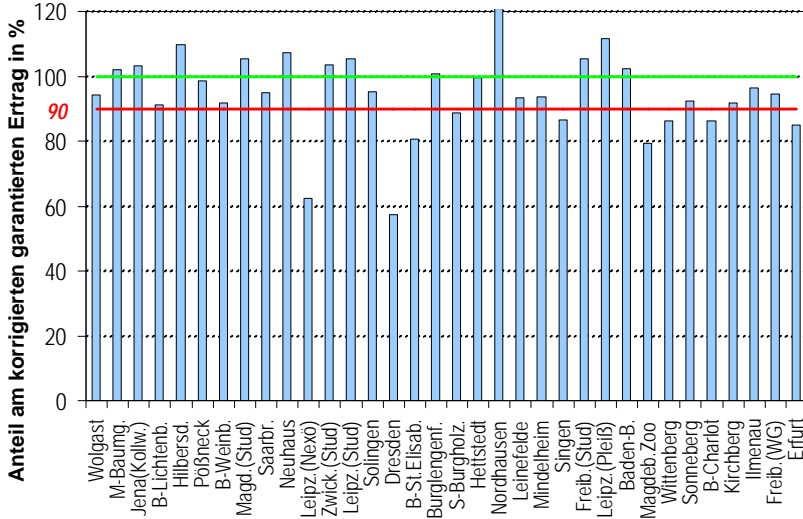


Bild 2: Erreichter Anteil am auf reale Betriebsbedingungen umgerechneten garantierten solaren Ertrag der Systeme von Solarthermie-2000, TP 2

Viele der aus den Erfahrungen abgeleiteten Vorschläge zum Systemaufbau, zur Systemdimensionierung und zur Komponentenauslegung der solarthermischen Großanlagen wurden bereits von Planern, Herstellern und Installateuren übernommen. Für Großanlagen zur Trinkwassererwärmung erscheint ca. Mitte 2003 die VDI-Richtlinie 6002 Blatt 1 als Gründruck.

Höhere Energieeinsparungen als mit Solaranlagen zur reinen Trinkwassererwärmung können erreicht werden, wenn auch die Heizung solar unterstützt wird. Bei Kleinanlagen werden solche Kombisysteme seit einigen Jahren zunehmend installiert. Für Großanlagen ist die Systemgestaltung, -auslegung und -anbindung wesentlich komplexer. Um eine ähnliche Entwicklung wie bei Kleinanlagen auch für Großanlagen anzustoßen, müssen in Zukunft auch für diesen Bereich Planungsgrundlagen auf Basis von Analysen an Forschungs- und Demonstrationsanlagen erarbeitet werden.

Zur Langzeit-Wärmespeicherung wurden vier Konzepte entwickelt: Heißwasser-, Kies/Wasser-, Erdsonden- und Aquifer-Wärmespeicher. Seit Beginn des Jahres 2000

ist jeder Speichertyp in mindestens einer Pilotanlage gebaut und in Betrieb. Es konnte gezeigt werden, dass saisonale Wärmespeicherung in großem Maßstab in der Praxis anwendbar ist – und funktioniert.

Das Interesse an solar unterstützten Nahwärmanlagen und Langzeit-Wärmespeichern steigt spürbar und das Wissen über diese Technik hat mittlerweile Eingang in die Zielbranchen (Städte, Stadtwerke, Bauträger und Planungsbüros) gefunden. Die Weiterentwicklung dieser Techniken soll zu weiteren Kostenreduzierungen auf ca. das Doppelte der Wärmekosten konventioneller Fernwärme führen, die bei rund 4 bis 6 Cent/kWh liegen. Wichtige Erweiterungen der Anwendungsgebiete von Langzeit-Wärmespeichern sind die Erschließung des Bestandes sowie die Einbindung großer Speicher in Wärme- und Kältemanagementsysteme, auch von Industrie- und Bürobauten.

5. Literatur

- /1/ F.A. Peuser, K.-H. Remmers, M. Schnauss:
Langzeiterfahrung Solarthermie, Wegweiser für das erfolgreiche Planen und Bauen von Solaranlagen, Solarpraxis AG, Berlin, 2001, ISBN 3-934595-07-3
- /2/ F. A. Peuser, R. Croy, U. Rehrmann, H. P. Wirth:
Solare Trinkwassererwärmung mit Großanlagen, Hrsg.: Fachinformationszentrum Karlsruhe; TÜV Verlag, Köln, 1999; ISBN 3-8249-0541-8
- /3/ F. A. Peuser, F. Meyer:
BINE-Themeninfo III/02: "Große Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung"
Hrsg.: Fachinformationszentrum Karlsruhe, 2003; ISSN: 1610-8302
- /4/ M. Benner, B. Mahler, D. Mangold, T. Schmidt, M. Schulz, H. Seiwald, E. Hahne:
Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher, Forschungsbericht zum BMFT-Vorhaben 0329606C, ITW, Universität Stuttgart, 1999
- /5/ D. Mangold, J. Nußbicker, S. Raab, T. Schmidt, H. Müller-Steinhagen:
Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher, Forschungsbericht zum BMWi-Vorhaben 0329606S, ITW, Universität Stuttgart, 2003
- /6/ E. Hahne et al. :
Solare Nahwärme - Ein Leitfaden für die Praxis, BINE-Informationspaket, TÜV-Verlag, Köln, 1998, ISBN 3-8249-0470-5
- /7/ D. Mangold, M. Benner, T. Schmidt:
Langzeit-Wärmespeicher und solare Nahwärme, BINE-Profiinfo 1/01, Bonn, 2001, ISSN 1436-2066
- /8/ Thomas Delzer et. al.:
Tragkonstruktionen für Solaranlagen - Planungshandbuch zur Aufständerung von Solarkollektoren, Solarpraxis AG, Berlin, ISBN: 3-934595-11-1

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Forschungsvorhaben wurden seit 1993 mit Mitteln mehrerer Bundesministerien gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.