

Neue Ansätze zur Kostenreduzierung von solarthermischen Systemen

- Erste Ergebnisse des Forschungsprojekts „KoST“ -

*Stephan Fischer, Stephan Bachmann, Markus Gerschitzka, Harald Drück
Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)*

Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS)

Pfaffenwaldring 6, 70550 Stuttgart

Tel.: +49 (0) 711 / 685-63231, Fax: +49 (0) 711 / 685-63242

Email: fischer@itw.uni-stuttgart.de

Internet: www.itw.uni-stuttgart.de

1. Einleitung

Das Ziel des Forschungsprojekts "KoST" (Kostenreduktion in der Solarthermie durch standardisierte Komponenten und Schnittstellen) ist eine Verringerung des solaren Wärmepreises um ca. 40 % zur weiteren Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der Solarthermie gegenüber anderen Wärmeenergieerzeugungstechnologien. Dieses Ziel soll primär durch die folgenden drei Maßnahmen erreicht werden:

1. Standardisierung von Komponenten wie Kollektoren, Speichern, Regelungen und Montagesystemen, verbunden mit den Zielen einer deutlichen Vereinfachung der Montage sowie einer Erhöhung der Kombinationsmöglichkeiten und des damit einhergehenden Wettbewerbs.
2. Reduktion der Herstellungskosten durch eine Vereinheitlichung und verstärkte Massenfertigung, insbesondere von sogenannten B- und C-Teilen, die als einzelnes Teil einen relativ geringen monetären Wert besitzen, aber aufgrund der Häufigkeit ihrer Verwendung die Gesamtkosten maßgeblich beeinflussen.
3. Steigerung der thermischen Leistungsfähigkeit der Anlagen durch die Vermeidung von Installationsfehlern, wie z. B. einer unzureichenden Wärmedämmung hydraulischer Anschlüsse oder falsch positionierter Temperaturfühler. Erreicht werden kann dies durch mitgelieferte einfach zu montierende Anlagenteile wie z.B. Wärmedämmungen für Armaturen sowie durch einen hohen industriellen Vorfertigungsgrad.

Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über ausgewählte Ergebnisse der ersten 10 Monate des Projekts.

2. Referenzanlagen

Um die innerhalb des Projekts zu entwickelnden bzw. zu definierenden Kosteneinsparmaßnahmen in Bezug auf den solaren Wärmepreis zu quantifizieren wurden zunächst 3 Referenzanlagen definiert:

1. Eine konventionelle, mit Gas als Brennstoff betriebene Anlage zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung
2. Eine solare Trinkwassererwärmungsanlage

3. Eine solare Kombianlage (Solaranlage zur kombinierten Trinkwassererwärmung und Raumheizung)

Die solaren Referenzanlagen und die dazugehörigen Investitionskosten wurden auf der Grundlage einer Analyse von insgesamt 260 von der BAFA zur Verfügung gestellten Rechnungen definiert bzw. ermittelt. Die konventionelle Referenzanlage und die dazugehörigen Investitionskosten wurden in Absprache mit Vertretern der deutschen Heizungsbranche festgelegt. Die solaren bzw. konventionellen Wärmepreise wurden im Anschluss nach der Methode der Levelized Cost of Heat (LCoH) [1] berechnet. Die so ermittelten Wärmekosten stellen den Bezugswert bzw. Benchmark für alle innerhalb des Projekts erarbeiteten Kostenreduzierungsmaßnahmen dar.

Als konventionelle Referenzanlage zur Bereitstellung von Warmwasser und Raumwärme wurde eine Anlage mit Gasbrennwertkessel (19 kW) in Verbindung mit einem Trinkwasserspeicher (150 l) gewählt (siehe Bild 1). Der Trinkwasserspeicher weist eine effektive Wärmeverlustrate von insgesamt 2,71 W/K auf. In diesem Wert ist die Wärmeverlustrate des Warmwasseranschlusses in Höhe von 0,66 W/K enthalten. Diese resultiert insbesondere aus Wärmeverlusten, die sich aufgrund von Mikrozirkulationsströmungen in der angeschlossenen Warmwasserleitung ergeben. Für den Warmwasserbedarf wurde das EU-Zapfprofil „L“ [2] gewählt, woraus eine jährliche Warmwasserlast von 4.254 kWh/a resultiert. Als Heizungslast wurde entsprechend der EN 12977-2:2012 das Einfamilienhaus am Standort Würzburg (Wohnfläche 128 m²) gewählt, das für das Test-Referenzjahr Würzburg einen Heizungswärmebedarf von 9.090 kWh/a aufweist. Aus der Jahressimulation dieser Anlage wurde ein Wärmeverlust des Trinkwasserspeichers von 751 kWh/a ermittelt. Es ergibt sich somit ein Gesamtwärmebedarf von 14.095 kWh/a. In Verbindung mit einem jahresmittleren Nutzungsgrad des Gasbrennwertkessels von 90 % ergibt sich somit ein Erdgasverbrauch von $E_t = 15.661$ kWh/a. Die Pumpenlaufzeiten für die Speicherbeladung und die Raumheizung betragen 4041 h/a. Bei der Pumpe handelt es sich um eine Standard-Heizungspumpe mit einer Leistungsaufnahme von 55 W. Für die Leistung des Heizungsreglers wurde ein Wert von 3 W angenommen. Damit ergibt sich ein Strombedarf von insgesamt 248,5 kWh/a. Zur Berechnung der Energiekosten wurde für Erdgas ein Bezugspreis von 6,6 €/ct/kWh und für Strom ein Preis von

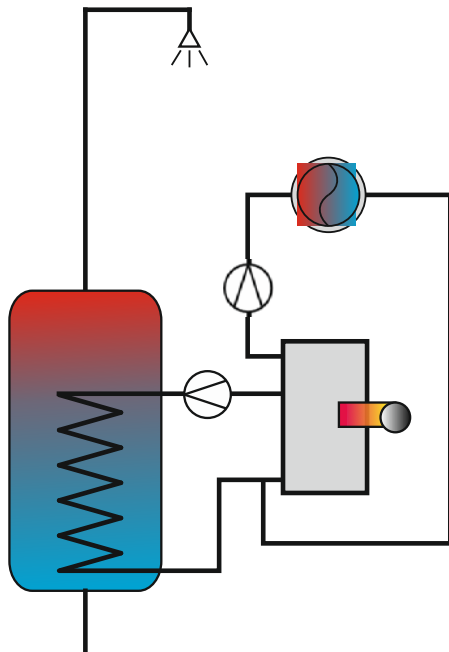


Bild 1: Konventionelle Referenzanlage

25,4 €/ct/kWh angenommen. Unter der Annahme von Wartungskosten von 200 €/a und der Grundgebühr für den Gasanschluss von 130 €/a ergeben sich somit jährliche Betriebskosten C_t von € 1.427,-. Die Wärmegestehungskosten (LCoH) wurden gemäß Gleichung (1) ermittelt (alle Kosten ohne USt.):

$$LCoH = (I_0 + n \cdot C_t) / (n \cdot E_t) \quad (1)$$

Mit Investitionskosten in Höhe von $I_0 = 6.500,-$ € und einer angenommenen Betriebsdauer von $n = 20$ Jahren ergeben sich Wärmegestehungskosten in Höhe von 11,2 €/ct/kWh.

Die **Referenz-Solaranlage für die Trinkwassererwärmung** mit Flachkollektoren (Bruttofläche 5 m²) in Verbindung mit einem bivalenten Trinkwasserspeicher (300 l) zeigt Bild 2. Der Trinkwasserspeicher weist eine effektive Wärmeverlustrate von 3,56 W/K (incl. Wärmeverlustrate des Warmwasseranschlusses von 0,66 W/K) auf. Durch die Solaranlage reduziert sich mit für das Testreferenzjahr Würzburg und mit dem EU-Zapfprofil „L“ der konventionelle Wärmebedarf für die Trinkwassererwärmung auf 3.002 kWh. Es ergibt sich somit bei einem Heizwärmebedarf von 9090 kWh/a ein Gesamtwärmebedarf von 12092 kWh/a der von dem Gasbrennwertkessel gedeckt werden muss. In Verbindung mit einem jahresmittleren Nutzungs-

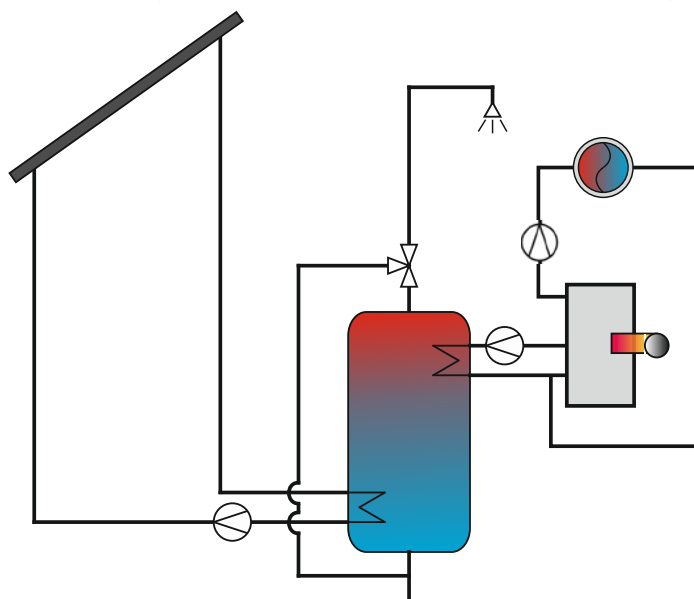


Bild 2: Referenz-Solaranlage zur Trinkwassererwärmung

grad des Gasbrennwertkessels von 90 % ergibt sich ein Erdgasverbrauch von $E_t = 13436$ kWh/a. Die Pumpenlaufzeit für die Speicherbelegung und die Raumheizung beträgt 3.999 h/a. Der Strombedarf der gesamten Anlage beträgt 329 kWh/a unter Zugrundelegung einer Kollektorkreispumpe mit einer Leistungsaufnahme von 40 W und eines Solarreglers mit einer Leistungsaufnahme von 3 W. Die Investitionskosten der Solaranlage incl. Installation wurden zu

€ 4.850,- ermittelt. Die Investitionskosten der gesamten Anlage betragen unter Berücksichtigung einer Gutschrift in Höhe von € 1.000,- für den konventionellen Trinkwasserspeicher incl. Installation € 10.350,-. Für die Wartungskosten der Solaranlage wurden 100 €/a angesetzt (ca. 2 % der Investitionskosten). Mit diesen Daten lassen sich nun die Wärmepreise (LCoH) gemäß Gleichung (1) sowohl für den konventionellen Teil der Anlage, als auch für den Solarteil sowie für die gesamte Anlage ermitteln. Tabelle 1 zeigt die ermittelten Werte ohne USt. Vergleicht man diese Werte mit dem Wärmepreis der konventionellen Anlage von 11,2 €/ct/kWh, so

ist die solar erzeugte Wärme unter den genannten Bedingungen um ca. 26 % teurer. Betrachtet man allerdings die gesamte Anlage, so ist die erzeugte Wärme nur um 9 % teurer.

Tabelle 1: Wärmepreise für die Referenz-Solaranlage zur Trinkwassererwärmung

	konventioneller Teil	Solarteil	gesamte Anlage
LCoH [€ct /kWh]	11,6	14,1	12,2

Die **Referenz-Kombianlage**, eine Anlage mit Flachkollektoren (Bruttofläche 15 m²) in Verbindung mit einem Kombispeicher (800 l) zeigt Bild 3. Bei dem Kombispeicher wird das Trinkwasser im Durchlauf in einem Edelstahl-Wellrohr erwärmt. Die Raumheizung wird nach dem Prinzip der Rücklaufanhebung an den Speicher angeschlossen. Der Speicher weist eine effektive Wärmeverlustrate von 5,72 W/K (incl. Wärmeverlustrate des Vor- und Rücklaufs für die Nachheizung, bzw. des Vorlaufs für die Raumheizung von 2 x 0,66 W/K) auf. Durch die Kombianlage reduziert sich mit dem Testreferenzjahr Würzburg und dem EU-Zapfprofil „L“ der konventionelle Nachheiz-Wärmebedarf der von dem Gasbrennwertkessel gedeckt werden muss auf 11.249 kWh/a. In Verbindung mit einem jahresmittleren Nutzungsgrad des Gasbrennwertkessels von 90 % ergibt sich ein Erdgasverbrauch

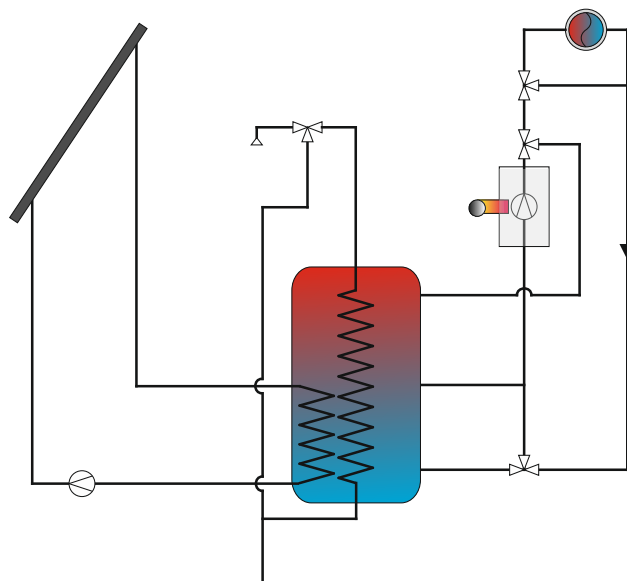


Bild 3: Referenz-Kombianlage

von $E_t = 12.499$ kWh/a. Die Pumpenlaufzeit für die Speicherbe-
ladung und die Raumheizung be-
trägt 3.973 h/a. Der Strombedarf
der gesamten Anlage beträgt
330 kWh/a unter Zugrundelegung
einer Kollektorkreispumpe mit
einer Leistungsaufnahme von
50 W und eines Solarreglers mit
einer Leistungsaufnahme von
3 W. Die Investitionskosten der
Solaranlage incl. Installation
wurden zu €10.000,- ermittelt. Die
Investitionskosten der gesamten
Anlage betragen unter Berück-
sichtigung einer Gutschrift in Höhe

von €1.000,- für den konventionellen Trinkwasserspeicher incl. Installation €15.500,-. Für die Wartungskosten der Solaranlage wurden 180 €/a angesetzt. Mit diesen Daten lassen sich nun wieder die Wärmepreise (LCoH) gemäß Gleichung (1) sowohl für den konventionellen Teil der Anlage, als auch für den Solarteil sowie für die gesamte Anlage ermitteln. Tabelle 2 zeigt die ermittelten Werte ohne USt. Vergleicht man diese Werte wieder mit dem Wärmepreis der konventionellen Anlage von 11,2 €ct/kWh, so ist die solar erzeugte Wärme unter den genannten Be-

dingungen um ca. 84 % teurer. Betrachtet man allerdings die gesamte Anlage, so ist die erzeugte Wärme in dieser Kombianlage nur um 28 % teurer.

Tabelle 2: Wärmepreise für Referenz-Kombianlage

	konventioneller Teil	Solarteil	gesamte Anlage
LCoH [€/kWh]	11,9	20,6	14,3

3. Sensitivitätsanalyse

Ausgehend von den Referenzsystemen wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um zu ermitteln wie sich die Änderung der Investitionskosten, Brennstoffeinsparung, Betriebs- und Wartungskosten sowie Lebensdauer auf den solaren Wärmepreis auswirken. Bild 4 zeigt das Ergebnis am Beispiel der Referenz-Solaranlage zur Trinkwassererwärmung. Es ist ersichtlich, dass durch Änderung eines einzelnen Parameters allein (insbesondere in einem realistischen Bereich) die erstrebte Reduzierung des solaren Wärmepreises von 40 % nicht erreicht werden kann. Durch die Kombination von mehreren Einflussfaktoren lässt sich jedoch eine signifikante Einsparung erzielen. So führt z. B. die Erhöhung der Brennstoffeinsparung und Lebensdauer um jeweils 20 % zusammen mit der Reduktion der Investitions- und Betriebskosten um jeweils 10 % zu einer Reduktion des solaren Wärmepreises von insgesamt ca. 33 % (15 % Brennstoffeinsparung + 10 % Lebensdauer + 4 % Betriebs- und Wartungskosten + 6 % Investitionskosten).

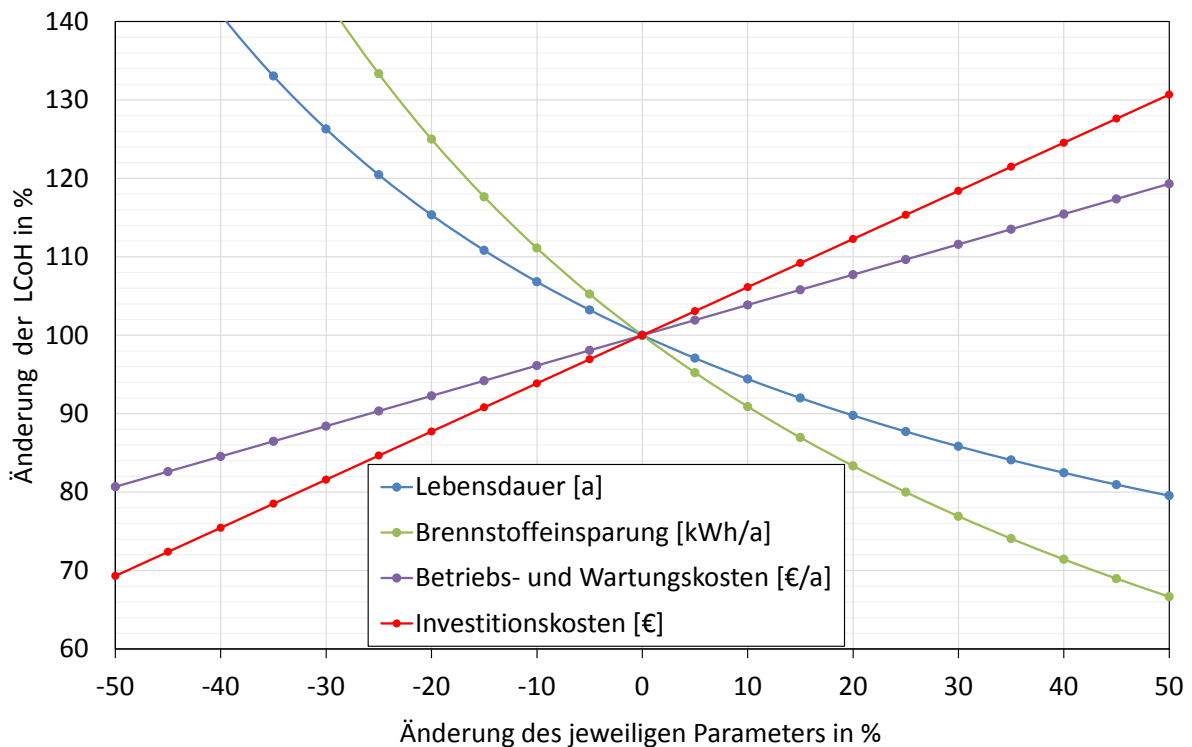


Bild 4: Einfluss verschiedener Parameter auf den solaren Wärmepreis

Zur Untersuchung des Einflusses der thermischen Leistungsfähigkeit einzelner Komponenten auf den solaren Wärmepreis wurden in der Referenzanlage der Einfluss einer Verringerung der effektiven Wärmeverlustrate des Speichers durch den Einsatz einer Mikrozirkulationsbremse (vgl. hierzu auch Abschnitt 5) am Warmwasseranschluss, die Verbesserung der Wärmedämmung des Speichers und der Einsatz eines leistungsfähigeren Kollektor sowie die Kombination aus diesen Einzelmaßnahmen untersucht. Hierzu wurde die Wärmedämmung des Speichers schrittweise verbessert, sodass der Speicher, der ursprünglich die Energieeffizienzklasse „E“ aufwies, die Effizienzklasse „C“, „B“, oder „A“ erreicht. Außerdem wurde der Einfluss der Lebensdauer untersucht. Tabelle 3 zeigt die ermittelten Ergebnisse.

Tabelle 3: Einfluss einzelner Maßnahmen zur Steigerung der thermischen Leistungsfähigkeit auf die Investitionskosten, die Energieeinsparung und den solaren Wärmepreis der solaren Trinkwassererwärmungsanlage

Referenz bzw. Änderung	Investitionskosten [%]	anteilige Energieeinsparung [%]	eingesparter Brennstoff [kWh/a]	solarer Wärmepreis [%]
Referenzanlage	100	40,0	2.226	100
Wellrohrsiphon am WW-Anschluss	101	42,0	2.337	96
Speicher: Effizienzklasse „C“	101	43,1	2.395	94
Speicher: Effizienzklasse „B“	104	45,7	2.539	91
Speicher: Effizienzklasse „A“	107	47,5	2.641	88
leistungsfähigerer Kollektor	103	45,1	2.508	90
leistungsfähigerer Kollektor und Speicher: Effizienzklasse „B“	106	50,7	2.818	82
leistungsfähigerer Kollektor und Speicher: Effizienzklasse „B“ und 25 statt 20 Jahre Lebensdauer	106	50,7	2.818	72

Tabelle 3 zeigt, dass die Verwendung leistungsfähigerer Komponenten zu deutlich höheren Brennstoffeinsparungen führt und bei einer moderater Erhöhung der Investitionskosten auch zu einer signifikanten Reduktion des solaren Wärmepreises.

Langlebige Produkte haben ebenfalls eine deutliche Verringerung des solaren Wärmepreises zur Folge.

4. Marktrecherchen

Um den Stand der Technik im Speicher-, Kollektor- und Regelungsbereich hinsichtlich ausgewählter Größen, wie z. B. der Art und Geometrie der Anschlüsse, der Art und Stärke der Wärmedämmung, der Regelein- und -ausgänge, u. v. m. zu analysieren, wird für die einzelnen Komponenten eine Marktrecherche durchgeführt. Die Marktrecherche zu den Kollektoren ist noch nicht abgeschlossen und wird zu einem späteren Zeitpunkt vorgestellt. Die Marktrecherche der Regler wurde vom Fraunhofer ISE mit Unterstützung des ITW durchgeführt und ist in einem separaten Bericht [3] zusammengefasst. Der Stand der Marktrecherche zu den Speichern wird im Folgenden vorgestellt.

4.1 Speicher

Auf den Grundlagen der am Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS) am ITW in Stuttgart durchgeführten Speicherprüfungen wurde eine Datenbank aufgebaut, die detaillierte Informationen zu Volumina, Abmessungen, Speicherkonzept, Ausführung der Wärmedämmung, hydraulischen Anschlüssen und Temperaturfühlern für 17 Trinkwasserspeicher mit Nennvolumina von 160 l bis 500 l und 52 Kombi- bzw. Pufferspeicher mit Nennvolumina von 300 l bis 2000 l enthält. Bei den Trinkwasserspeichern ist der bisherige Standard ein emaillierter Stahlbehälter mit einem Durchmesser von 0,45 m bis 0,65 m und einer Gesamthöhe von 1,3 m bis 2,0 m mit einer Magnesium-Schutzanode im Deckel, der für ein Volumen bis max. 400 l mit PU-Schaum fest eingeschäumt ist (siehe Bild 5). Für größere Volumina wird meist eine abnehmbare Wärmedämmung aus Polyester-Faservlies verwendet. Im Speicher sind meist 2 Glattrohr-Wärmeübertrager (emailliert) eingebaut, zur Anbindung des Kollektorkreises (unten) und des Nachheizkreises (oben). Außerdem besitzen fast alle bivalenten Trinkwasserspeicher einen 6/4“-Anschluss für einen elektrischen Heizstab auf etwa halber Speicherhöhe als alternative Nachheizmöglichkeit des Bereitschaftsteils, einen Reinigungsflansch (Durchmesser 100 mm bis 120 mm) im unteren Speicherbereich und einen Zirkulationsanschluss (3/4“). Alle anderen Anschlüsse sind in den Größen 3/4“ oder 1“, meist mit Außengewinde ausgeführt. Nur ein Hersteller bietet bisher standardmäßig eine Vorrichtung zur Reduzierung der sogenannten Einrohrkonvektion an den Anschlüssen an. Die Temperaturfühler werden meist in Tauchhülsen eingeschoben. Bei den Kombi- und Pufferspeichern ist die Typenvielfalt deutlich größer. Es handelt sich aber meist um zylindrische Stahlbehälter mit einem Durchmesser von 0,65 m bis 1,2 m und einer Höhe von 1,6 m bis 2,4 m. Vereinzelt werden auch Kunststoff

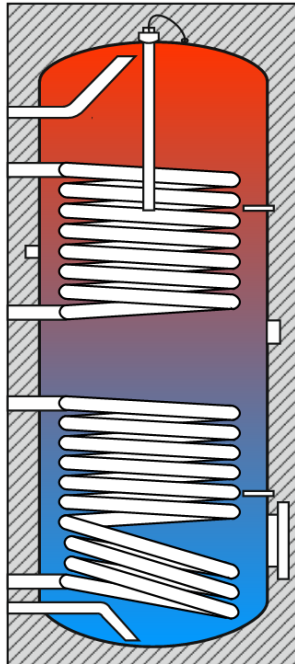


Bild 5: Typischer bivalenter Trinkwasserspeicher

speicher in kubischer oder zylindrischer bzw. ovaler Form am Markt angeboten. Als kubische oder ovale Speicher sind sie drucklos, als zylindrische Speicher sind sie auch als Druckspeicher verfügbar. Etwa die Hälfte der geprüften Kombispeicher hat eine thermische Schichtbeladeeinrichtung, meist für den Kollektorkreis, teilweise auch für die Einspeisung des Raumheizungs-rücklaufs. Sowohl die Anzahl der Anschlüsse (6 - 14) als auch die Größe (3/4" bis 6/4") variieren stark, je nach Speicher- bzw. Anlagengröße und Verwendung wie z. B. für den Anschluss von Zirkulation, Trinkwasser, Wärmepumpe. Außen- und Innengewinde kommen etwa gleich häufig vor. Auch hier bietet nur ein Hersteller standardmäßig eine

Vorrichtung zur Reduzierung von Einrohrkonvektion an den Anschlüssen an. Die Speichertemperaturfühler werden meist mit Hilfe von Klemmleisten montiert. Die Wärmedämmung besteht überwiegend aus abnehmbarem Polyester-Faservlies, das mit einer Hakenleiste am Mantel geschlossen wird. Die Dämmstärken liegen meist zwischen 100 mm und 120 mm für den Mantel und Deckel und bei ca. 50 mm für den Boden.

Eine Analyse der im Jahr 2015 und 2016 über das MAP (Marktanreizprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt) geförderten thermischen Solaranlagen ergab, dass die meisten Trinkwasserspeicher ein Nennvolumen von 300 l oder 400 l haben. Die am häufigsten installierten Kombispeicher verfügen über ein Nennvolumen von 800 l bis 1000 l. Die Trinkwassererwärmung erfolgt bei den Kombispeichern zu ca. 40 % über einen externen Plattenwärmeübertrager und zu ca. 60 % über einen internen Wärmeübertrager, der meist als Edelstahl-Wellrohr ausgeführt ist. Die meisten Kombispeicher haben einen internen Kollektorkreis-Wärmeübertrager, nur ca. 14 % nutzen einen externen Platten-Wärmeübertrager. Sogenannte „Tank-im-Tank Speicher“ mit einem in den eigentlichen Speicherbehälter eingehängten Trinkwassertank waren bei den geförderten Anlagen nicht vorhanden.

5. Entwicklung Mikrozirkulationsbremse

Die durchgeführte Sensitivitätsanalyse (vgl. Kapitel 3) hat u.a. gezeigt, dass die Reduktion der effektiven Wärmeverlustrate des Speichers ein zentraler Baustein für die Steigerung der thermischen Leistungsfähigkeit der Gesamtanlage und damit auch zur Reduktion der solaren Wärmekosten ist. Da bei der Wärmedämmung des Speichers bereits ein relativ gutes Niveau erreicht ist, wurde hier der Fokus auf die Reduzierung der Wärmeverluste an den hydraulischen Anschlüssen des Speichers gelegt, die sich aufgrund von Mikrozirkulationsströmungen in der angeschlossenen Warmwasserleitungen ergeben. Zu diesem Zweck wird innerhalb des Projekts KoST eine Vorrichtung zur Reduzierung der rohrinternen Gegenstromzirkulation in den Anschlussleitungen eines Warmwasserspeichers, im Folgenden als Mikrozirkulationsbremse bezeichnet, entwickelt.

Hierzu ist zunächst ein Prüfstand zur Visualisierung der rohrinternen Gegenstromzirkulation durch Einfärbung des Fluids in einer Anschlussleitung eines Warmwasserspeichers aufgebaut worden, siehe Bild 6. Ein beidseitig abgeschlossenes Glasrohr wird einseitig an einem Abschlussstutzen beheizt, sodass sich durch die am nicht wärmedämmten Glasrohr auftretenden Wärmeverluste eine stationäre rohrinterne Gegenstromzirkulation ausbildet. Diese wird durch lokale Farbzugabe visualisiert. Die Ergebnisse der an diesem Prüfstand durchgeführten Untersuchungen dienen der Erweiterung des Verständnisses der Strömungsvorgänge innerhalb der Anschlussleitung eines Warmwasserspeichers und zur Validierung der im weiteren Entwicklungsprozess durchgeführten Strömungssimulationen.

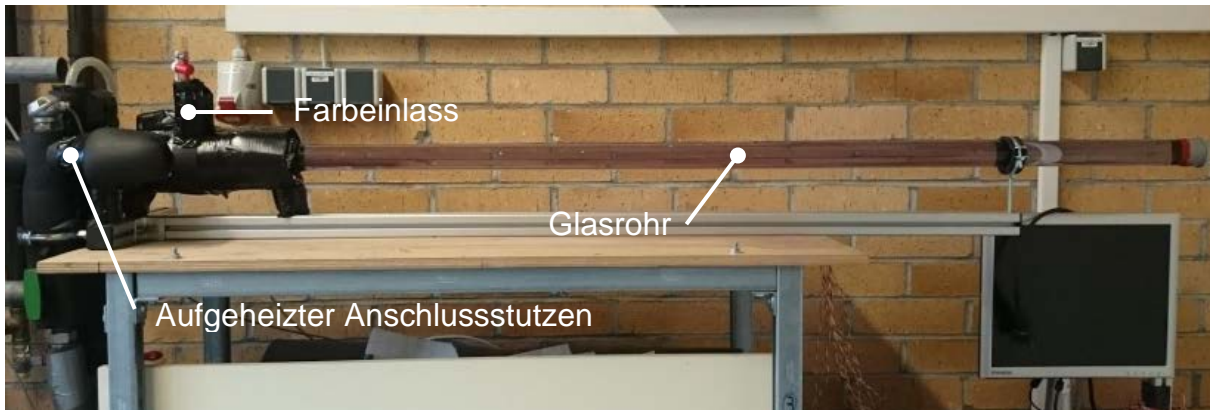


Bild 6: Prüfstand zur Visualisierung der rohrinternen Gegenstromzirkulation

Um das Potential zur Reduktion der Wärmeverluste eines Warmwasserspeichers durch den Einsatz einer Mikrozirkulationsbremse bewerten zu können, wurden aus der Literatur bekannte [4] und am Markt verfügbare Vorrichtungen mit Hilfe von CFD-Simulationen (CFD: Computational Fluid Dynamics) untersucht. Hierzu sind die Wärmeverluste eines Anschlussrohres an einem Warmwasserspeicher beim Einsatz verschiedener Konzepte zur Reduzierung der rohrinternen Gegenstromzirkulation mit der Software Comsol Multiphysics in instationären 3D-Simulationen vergleichend

betrachtet worden. Die als laminar angenommene, freie Konvektionsströmung wurde durch eine parallel zum Schwerfeld der Erde ausgerichtete Volumenkraft im Strömungsgebiet unter Annahme der Boussinesq-Approximation modelliert. Ein exemplarisches Simulationsergebnis einer einfachen Rückschlagklappe ist in Bild 7 gezeigt. Es ist das Temperaturprofil und das Geschwindigkeitsfeld in Form von Stromlinien im Bereich des Speicheranschlusses dargestellt.

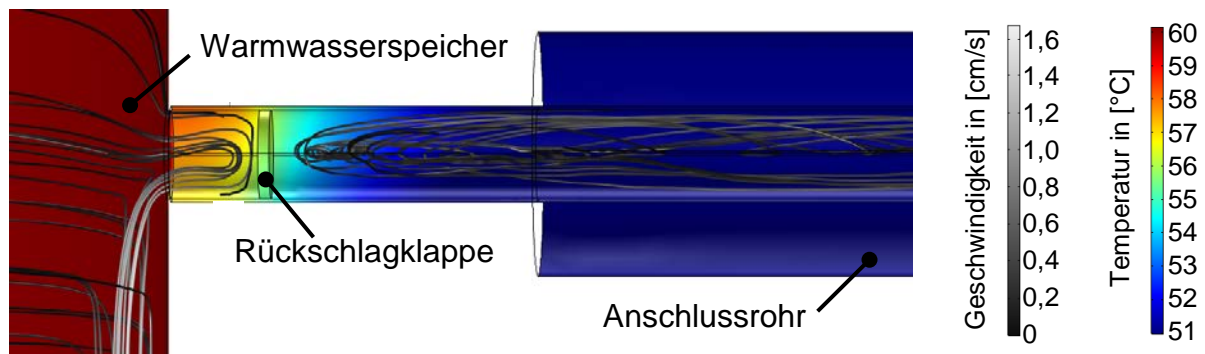


Bild 7: Simulation einer geschlossenen Rückschlagklappe zwischen Warmwasserspeicher und Anschlussrohr; dargestellt ist das Temperaturprofil und das Geschwindigkeitsfeld in Form von Stromlinien

Erste Simulationsergebnisse zeigen, dass eine siphonartige Rohrführung und schräge Anschlussstutzen am Warmwasserspeicher rohrintegrierten Mikrozirkulationsbremsen, wie z. B. Rückschlagklappen, im Hinblick auf die Reduktion der Wärmeverluste überlegen sind. So konnte z.B. durch die Integration einer siphonartigen Rohrführung (Schenkellänge: 6 cm) zwischen Warmwasserspeicher und wärmegeädämmten Anschlussrohr (Rohrlänge: 2 m) der Wärmeverluststrom über das Anschlussrohr (Speichertemperatur 60 °C) in der CFD-Simulation um 45 % reduziert werden.

Aufbauend auf der Potentialabschätzung durch die Strömungssimulationen sind mehrere und auf unterschiedlichen Konzepten basierende Prototypen gefertigt worden. Eine Auswahl dieser Prototypen ist in Bild 8 dargestellt. Diese werden gegenwärtig, d.h. im Frühjahr 2017, durch die messtechnische Bestimmung der Wärmeverluste in Kombination mit einem Referenzspeicher mittels eines modellbasierten Prüfverfahrens in Anlehnung an die EN 12977-3:2012 [5] untersucht und bewertet. Erste mit dem modellbasierten Prüfverfahren ermittelte Ergebnisse zeigen, dass Mikrozirkulationsbremsen in Form einer siphonartigen Rohrführung aus Edelstahl-Wellrohr die durch ein wärmegeädämmtes Anschlussrohr (Länge: 4 m) verursachten Wärmeverluste im Vergleich zu anderen Konzepten am stärksten reduzieren. Während die aus Kupfer gefertigten Mikrozirkulationsbremsen (siehe Abbildungen C und D in Bild 8) die durch ein Anschlussrohr verursachten Wärmeverluste im Mittel um 45 % reduzieren, senken die aus Edelstahlwellrohr gefertigten Mikrozirkulationsbremsen (siehe Abbildungen A und B in Abbildung 8)

diese im Mittel um 72 %. Ein Rückschlagventil reduziert die durch das Anschlussrohr verursachten Wärmeverluste im Vergleich nur um im Mittel 24 %.

Ursächlich für die größere Reduktion der Wärmeverluste durch die Edelstahlwellrohre ist die geringere Wärmeleitfähigkeit von Edelstahl gegenüber Kupfer sowie die zirkulationshemmende Geometrie der Wellrohrstruktur.

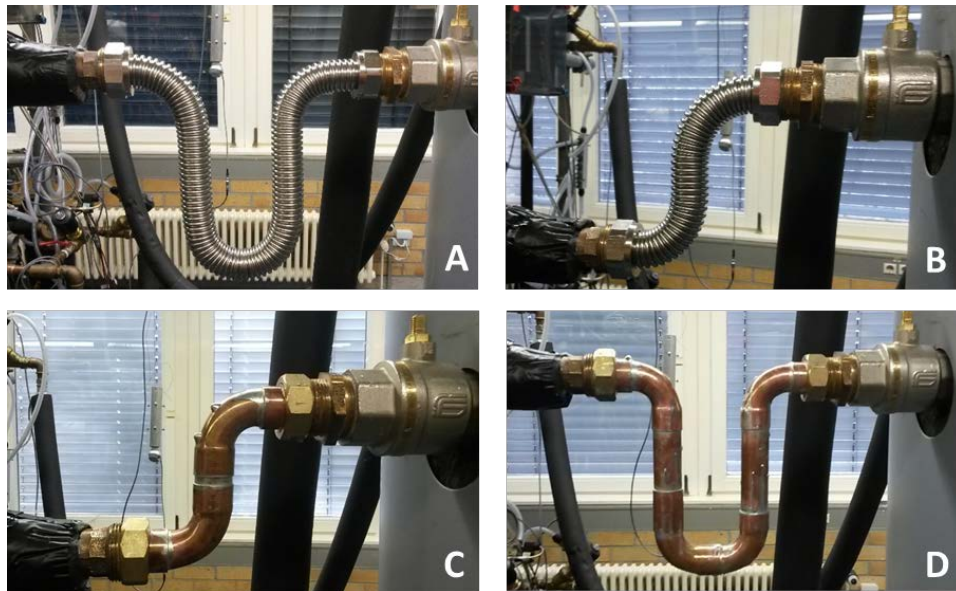


Bild 8: Messtechnisch untersuchte Mikrozirkulationsbremsen (A: Wellrohr-U-Siphon, B: Wellrohr-Z-Siphon, C: Kupfer-Z-Siphon, D: Kupfer-U-Siphon); aufgrund deutlicherer Sichtbarkeit ohne Wärmedämmung dargestellt

6. Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel des Forschungsprojekts "KoST" (Kostenreduktion in der Solarthermie durch standardisierte Komponenten und Schnittstellen) ist eine Verringerung des solaren Wärmepreises um ca. 40 %.

Zur Quantifizierung der innerhalb des Projekts zu entwickelnden Maßnahmen zur Kostenreduktion wurden zunächst 3 Referenzanlagen definiert und deren Wärmepreise auf Grundlage der Analyse der Kosten von installierter Anlagen und des LCoH-Verfahrens ermittelt. Ausgehend davon wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt die zum Einen den Einfluss der Investitionskosten, Betriebskosten, eingesparten Brennstoffkosten sowie der Lebensdauer darstellt und zum Anderen an konkreten Beispielen die mögliche Reduktion des solaren Wärmepreises aufgezeigt. Gegenüber der Referenzanlage zur Trinkwassererwärmung lässt sich bereits durch die Auswahl leistungsfähiger Produkte der solare Wärmepreis um bis zu 18 % reduzieren. Wenn zusätzlich Komponenten verwendet deren Lebensdauer mit 25 Jahren um 5 Jahren über der Referenzanlage liegt, so ergibt sich bereits eine Reduktion des solaren Wärmepreises um bis zu 28 %. Weitere mögliche Reduzierungen der solaren Wärmepreise durch standardisierte Schnittstellen und vereinfachte Installation sind Bestandteil der aktuellen Untersuchungen.

Der Stand der Technik bei Speichern, Kollektoren und Regelungen ist hinsichtlich ausgewählter Größen, wie z. B. der Geometrie der Anschlüsse, der Art und Stärke der Wärmedämmung sowie der Regelungsein- und -ausgänge, analysiert worden und wird derzeit in Berichten zusammengefasst.

Zur Visualisierung der rohrinternen Gegenstromzirkulation durch Einfärbung des Fluids in einer Anschlussleitung eines Warmwasserspeichers wurde ein Prüfstand aufgebaut und CFD-Simulationen durchgeführt. Aufbauend auf einer Potentialabschätzung durch die für unterschiedliche Mikrozirkulationsbremsen durchgeführten Strömungssimulationen wurden mehrere Prototypen von Mikrozirkulationsbremsen gefertigt und deren Einfluss auf die Reduktion der effektiven Wärmeverluste eines Referenzspeichers messtechnisch in Anlehnung an die EN 12977-3:2012 [5] untersucht und bewertet. Im besten Fall konnten die durch ein Anschlussrohr verursachten Wärmeverluste um ca. 70 % reduziert werden.

Im Fokus der nächsten Arbeiten stehen die Kostensenkung durch standardisierte Schnittstellen sowie die damit verbundene Reduktion der Installationskosten und die allgemeine Optimierung der Installationsprozesse bzw. eine Verringerung der benötigten Arbeitszeit. Aufgrund der bereits erzielten Ergebnisse sowie der identifizierten Ansätze für signifikante Kostenreduktionen und zur Steigerung der thermischen Leistungsfähigkeit der Gesamtanlage ist das Projektkonsortium zuversichtlich, dass das zentrale Projektziel, die Verringerung des solaren Wärmepreises um ca. 40 %, erreicht werden kann.

Danksagung:

Das Forschungsprojekt „Kostenreduktion in der Solarthermie durch standardisierte Komponenten und Schnittstellen“, Akronym „KoST“, wird aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) über den Projektträger Jülich (PtJ) unter dem Förderkennzeichen 0325860A gefördert sowie von den beteiligten Industriepartnern mitfinanziert. Die Autoren danken für die Unterstützung und übernehmen die Verantwortung für den Inhalt dieses Beitrags.

Literaturverzeichnis

- [1] Louvet Y. et. al., Entwicklung eines Verfahrens für die Wirtschaftlichkeitsberechnung solarthermischer Anlagen: die LCoH Methode, 27. Symposium Thermische Solarenergie, Kloster Banz, 2017
- [2] Commission delegated regulation (EU) No 812/2013, Annex VII
- [3] Geimer K., „Marktanalyse Solarregler“ im Rahmen des geförderten Verbundprojekts Kostenreduktion in der Solarthermie durch standardisierte Komponenten und Schnittstellen „KoST“, Fraunhofer ISE, Februar 2017

- [4] Steinweg J., Kliem F., Rockendorf G., Abschlussbericht - Einrohrzirkulation an Speicheranschlüssen - Bewertung und Vermeidung, Institut für Solarenergieforschung GmbH Hameln/Emmerthal (ISFH), Abschlussbericht zum Forschungsprojekt Az: 29647, Hameln, 2014.
- [5] EN 12977-3:2012, Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile – Kundenspezifisch gefertigte Anlagen – Teil 3: Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen, 2012.