

PILOTANLAGE ZUR BEREITSTELLUNG SOLARER PROZESSWÄRME BEI DER HÜTT-BRAUEREI

C. Lauterbach, B. Schmitt, K. Vajen
Universität Kassel, Institut für Thermische Energietechnik
Kurt-Wolters-Str. 3, 34109 Kassel, Germany
Tel.: +49-561 / 804 3890
E-Mail: solar@uni-kassel.de

1 Einleitung

Bisher werden thermische Solaranlagen fast ausschließlich zur Warmwasserbereitung und Raumheizungsunterstützung im Wohn- und Beherbergungsbereich sowie zur Wassererwärmung in Schwimmbädern verwendet. Thermische Solaranlagen sind im industriellen Bereich wegen des hohen und oft konstanten Grundlastbedarfs sowie der Möglichkeit prozessinterne Speicher einzubinden eigentlich deutlich wirtschaftlicher zu betreiben als in Wohngebäuden. Obwohl also technisch und ökonomisch nahe liegend, werden solarthermische Anlagen aber sowohl in Deutschland als auch in anderen Ländern bisher nur sehr selten in industrielle Prozesse integriert. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde ein umfassendes Energiekonzept für das Sudhaus der Hütt-Brauerei umgesetzt. Der Kern des Energiekonzeptes ist eine solarthermische Pilotanlage zur Bereitstellung von Prozesswärme. Diese Pilotanlage soll dazu beitragen im Industriesektor das Bewusstsein zu schaffen, dass thermische Solarenergie eine gute Möglichkeit zur nachhaltigen Wärmebereitstellung darstellt. Zudem sollen die im Rahmen der Umsetzung gesammelten Erkenntnisse dazu genutzt werden, den Integrationsaufwand einer thermischen Solaranlage in die bestehenden Strukturen eines Industrieunternehmens durch geeignete Vorgehensweisen und Hilfsmittel zu minimieren. Längerfristig kann damit das enorme Potential erschlossen werden, welches im industriellen Sektor zur Nutzung solarer Prozesswärme vorhanden ist.

2 Systembeschreibung

Das im Rahmen des Pilotprojekts bei der Hütt-Brauerei erarbeitete Konzept kombiniert eine Effizienzmaßnahme mit verbesserter Wärmerückgewinnung und Nutzung thermischer Solarenergie. Die Maßnahme zur Steigerung der Energieeffizienz war in diesem Falle die Umstellung der atmosphärischen Würzekochung auf ein neues, effizienteres Verfahren. Dabei fiel die Wahl der Brauerei auf das Vakuumkochverfahren VarioBoil der Firma Nerb. Die Brauwasser-versorgung im Sudhaus bei Projektbeginn zeigt Abbildung 1. Das während der Kochung verdampfte Wasser wird über den Dunstschlot der Pfanne in einen liegenden Rohrbündelwärmeübertrager (sog. Pfannendunstkondensator) geleitet und erwärmt kaltes Brauwasser auf etwa 80 °C. Das erwärmte Wasser gelangt in die Brauwasserreserve, die aus zwei seriell verschalteten Speichern mit jeweils 51,5 m³ besteht.

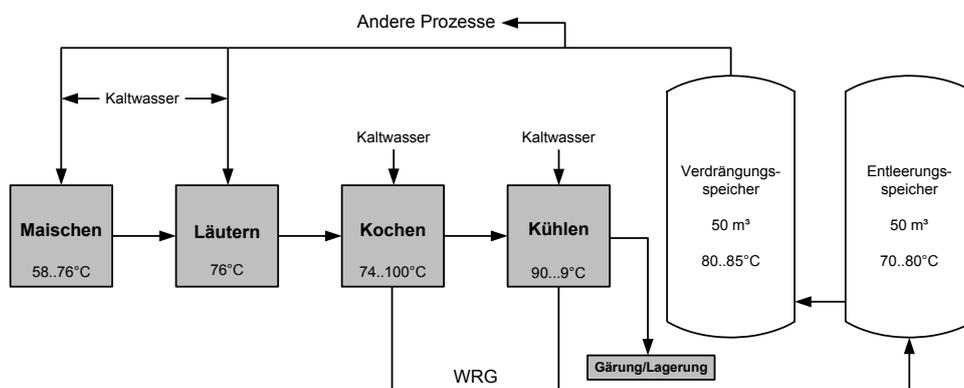


Abb. 1 - Brauwasserversorgung im Sudhaus bei Projektbeginn

Ein Speicher fungiert als Entleerungsspeicher mit variablem Volumen und speist den Verdrängungsspeicher, welcher stets vollständig gefüllt sein muss. Neben dem Eintrag von Warmwasser vom Pfannendunstkondensator wird der Entleerungsspeicher durch die Wärmerückgewinnung während der Würzekühlung gespeist. Sollte der Wasserstand des Entleerungsspeichers ausreichend hoch sein, wird der Pfannendunstkondensator nicht mehr zur Aufheizung von Kaltwasser, sondern zur Aufheizung des Verdrängungsspeichers im Umlaufbetrieb verwendet. Dabei kann Wasser aus dem unteren Teil des Verdrängungsspeichers abgezogen, über den Pfannendunstkondensator geleitet und in den oberen Teil des Speichers eingeleitet werden.

Im Zuge der Umstellung der Würzekochung wurde auch die Wärmerückgewinnung während der Kochung verbessert. Dazu wurde der verwendete Rohrbündelwärmeübertrager überholt, zwei weitere Wärmeübertrager (WÜT) zur Läuterwürzeaufheizung eingebunden und die Betriebsweise der Wärmerückgewinnung angepasst. Der WÜT zur Läuterwürzeaufheizung hat die Aufgabe, die Würze während des Umpumpens vom Läutern zum Kochen aufzuheizen. Als Wärmequelle für diesen Aufheizevorgang soll, wie in Abbildung 2 gezeigt, Warmwasser aus dem Verdrängungsspeicher verwendet werden. Das Wasser wird aus dem oberen Teil des Verdrängungsspeichers abgezogen und über den Plattenwärmeübertrager im Gegenstrom zur Würze gefahren, wodurch diese sich in Abhängigkeit der Temperatur im oberen Teil des Verdrängungsspeichers aufheizt, sodass Dampf während des Kochens eingespart werden kann. Um die geforderten Temperaturen für diesen Aufheizevorgang im Verdrängungsspeicher gewährleisten zu können, musste die alte Betriebsweise der Wärmerückgewinnung umgestellt werden. Anstatt mit dem Pfannendunstkondensator Kaltwasser aufzuheizen und in den Entleerungsspeicher einzuspeisen, muss der Pfannendunstkondensator während des Kochvorganges Wassers aus dem unteren Teil des Verdrängungsspeichers (70..80 °C) abziehen und auf eine Temperatur möglichst nahe 100 °C aufheizen. Dadurch kann das Wasser im oberen Teil des Verdrängungsspeichers zur Aufheizung der Läuterwürze verwendet werden.

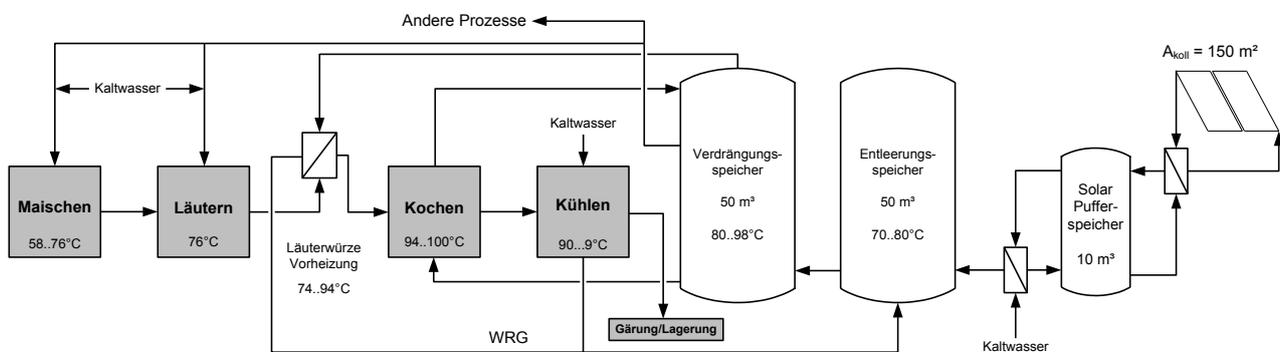


Abb. 2 - Brauwasserversorgung mit Unterstützung durch Solaranlage

Nach der Umstellung der Wärmerückgewinnung zur Aufheizung der Läuterwürze stand für die Produktionsprozesse weniger Warmwasser im Entleerungsspeicher zur Verfügung. Dadurch ergab sich die Möglichkeit zur Integration einer thermischen Solaranlage in die Brauwasserreserve. Die Solaranlage, bestehend aus 155 m² Flachkollektoren und einem 10 m³ Pufferspeicher, wurde im Juni 2010 nach einer Bauzeit von gut sechs Wochen in Betrieb genommen. Die thermische Solaranlage erwärmt kaltes Brauwasser und speist dieses in Abhängigkeit des Füllstandes in die Brauwasserreserve der Brauerei ein. Dies geschieht hauptsächlich in den frühen Morgenstunden und Freitagnachmittags. Die Investitionskosten von knapp 100.000 € wurden zur Hälfte vom Bundesumweltministerium im Rahmen des Programms Solarthermie2000plus gefördert. Abbildung 3 zeigt die Hydraulik der Solaranlage bei der Hütt-Brauerei mit den installierten Sensoren, die für Regelung und Monitoring der Anlage benötigt

werden. Die blau markierten Sensoren werden zusätzlich für die Anlagenregelung verwendet, bevor die Messwerte im Datenlogger erfasst werden.

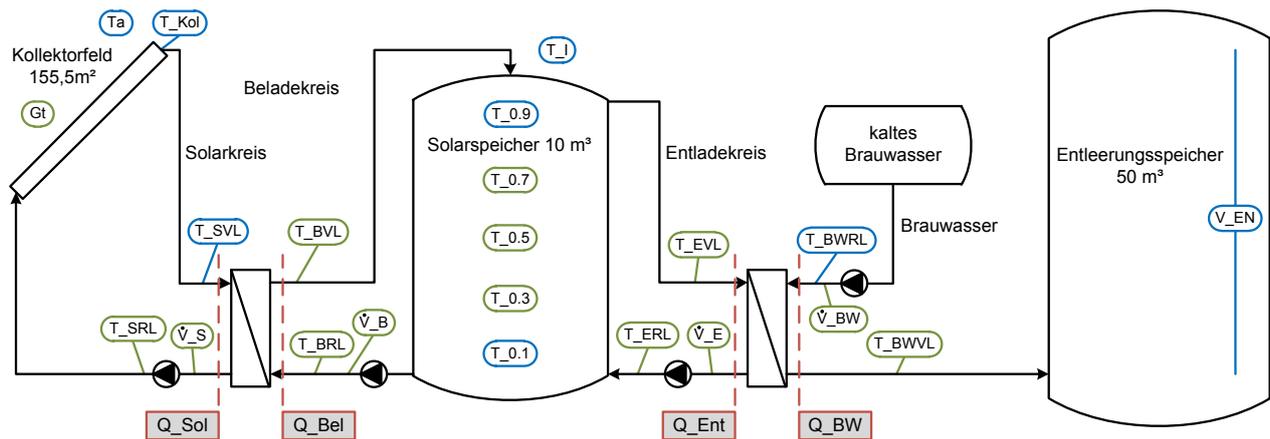


Abb. 3 - Hydraulik der Solaranlage, installierte Messtechnik und Bilanzgrenzen für die Ertragsbilanzen; blaue Sensoren werden auch zur Regelung verwendet

Für die Bilanzierung der Wärmemengen der Solaranlage sind vier Bilanzgrenzen möglich. Dies sind die Wärmemengen im Solar-, Belade-, Entlade- und Brauwasserkreis. In Abbildung 3 sind die Bilanzgrenzen und verwendeten Messstellen eingezeichnet.

3 Ertragsbilanzen

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit den Ertragsbilanzen der thermischen Solaranlage bei der Hütt-Brauerei. Folgende Kennzahlen, die Peuser et al., 2009) und (Mies et al., 2006) entnommen sind, werden im anschließenden Abschnitt zur Bewertung des Betriebes der Solaranlage verwendet.

Zu Berechnung des Kollektorkreisnutzungsgrades wird die Energie im Beladekreis (Q_{Bel}) verwendet, da diese genauer zu messen ist (kein Glykolgemisch als Wärmeträger wie im Solarkreis). Da im WÜT kaum thermische Verluste auftreten, ist dieses Verfahren zulässig (Mies et al., 2006). Der Solarsystemnutzungsgrad ist hier definiert als das Verhältnis von an das Brauwasser abgegebener Wärme (Q_{BW}) zur Gesamtstrahlung E_t , die im gleichen Zeitraum auf die Kollektorfläche aufgetroffen ist.

Die erste Messperiode umfasst den Zeitraum vom 1.7.2010 bis 30.6.2011. Tabelle 1 stellt die wichtigsten Messdaten und Kennzahlen dieser Messperiode dar. Von der Einstrahlung auf das Kollektorfeld von $1.145 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ wurden $316 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ vom Belade-WÜT an den Beladekreis und den Solarspeicher abgegeben. Damit liegt der Kollektorkreisnutzungsgrad bei 27,6 %. Vom Entlade-WÜT wurden $238 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ an den Brauwasserkreis abgegeben, was einen Solarsystemnutzungsgrad von 20,8 % bedeutet. Die zweite Messperiode umfasst den Zeitraum vom 1.7.2011 bis 30.06.2011. Von der Einstrahlung auf das Kollektorfeld von $1.088 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ wurden $345 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ vom Belade-WÜT an den Beladekreis und den Solarspeicher abgegeben. Damit liegt der Kollektorkreisnutzungsgrad bei 31,7 % und um ca. 4 % - Punkte höher als in der Messperiode 1. Vom Entlade-WÜT wurden $272 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ an den Brauwasserkreis abgegeben, was einen Solarsystemnutzungsgrad von 25,0 % bedeutet.

Tabelle 1 - Messdaten und Kennzahlen beider Messperioden

Bezeichnung	Abk.	Messperiode 1.7.10 - 30.06.11		Messperiode 1.7.11 - 30.06.12	
		absolut [MWh]	spezifisch [kWh/(m ² *a)]	absolut [MWh]	spezifisch [kWh/(m ² *a)]
Einstrahlung auf Kollektorfeld	Et	178,0	1.145	169,1	1.088
Energie Beladung Solarspeicher (Beladekreis)	Q_Bel	49,2	316	53,7	345
Energie Entladung Solarspeicher (Entladekreis)	Q_Ent	38,0	244	43,9	282
Energie ans Brauwasser (Brauwasserkreis)	Q_BW	37,0	238	42,3	272
Energie Nachtauskühlung (Beladekreis)	-	-2,9	-19	-1,0	-7
Energie Nachtauskühlung (Entladekreis)	-	-0,8	-5	-0,3	-2
Kollektorkreisnutzungsgrad	η_{Kol}	27,6%		31,7%	
Solarsystemnutzungsgrad	η_{Sys}	20,8%		25,0%	

Der geplante Kollektorkreisnutzungsgrad von im Jahresmittel 45 % wurde deutlich verfehlt. Wie Abbildung 4 zeigt, war der Kollektorkreisnutzungsgrad insbesondere im Sommer 2010 sehr niedrig ist. Im Sommer 2011 werden schon deutlich höhere Werte erreicht. Der Hauptgrund für den schlechten Solarertrag und Nutzungsgrad der Solaranlage liegt in einer zu seltenen Entladung des Solarspeichers. Dies führte im Sommer 2010 zu Beginn des Betriebes der Solaranlage dazu, dass die Anlage häufig in Stagnation ging. Dies wird auch durch die höhere Wärmeabfuhr über Belade- und Entladekreis der automatisch gesteuerten Nachtauskühlung in der Messperiode 1 deutlich, die Tabelle 1 zeigt. Die mangelnde Entladung des Solarspeichers zeigte sich auch anhand der erheblichen Differenz in den Betriebsstunden von Entladekreis- und Brauwasserpumpe. Das Problem einer mangelnden Solarspeicherentladung wird noch im Abschnitt 5 „Betriebserfahrungen“ diskutiert. Des Weiteren fällt in Tabelle 1 auf, dass die Energien zur Be- und Entladung des Solarspeichers deutliche Abweichungen aufweisen. Ein Teil dieser Abweichungen ist durch die häufige Nachtauskühlung begründet, durch die nachts Energie aus dem Solarspeicher abgeführt wird.

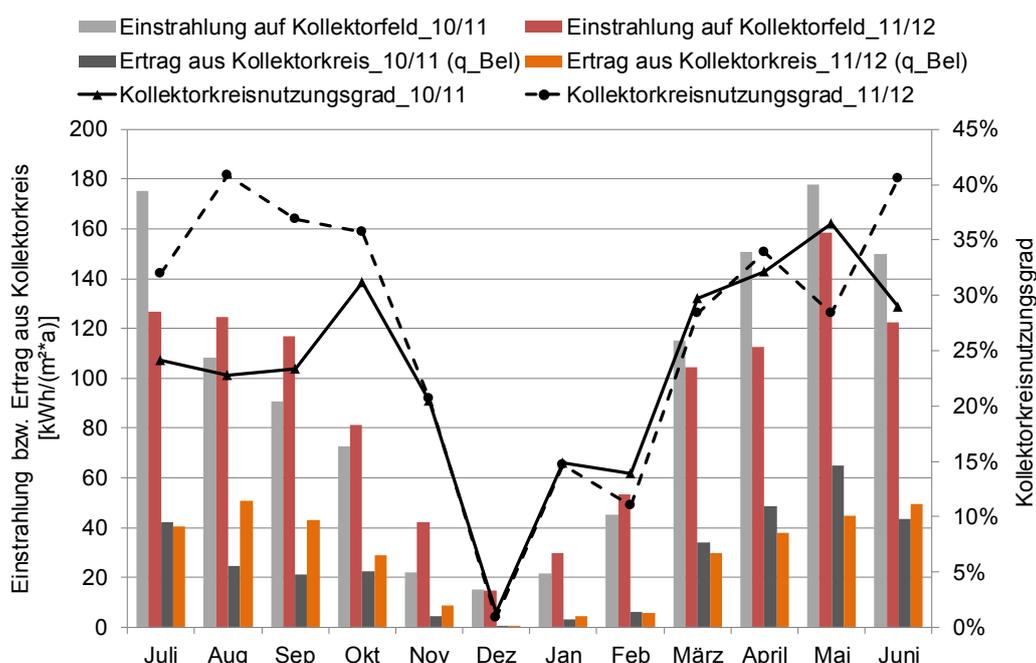


Abb. 4 - Spezifische Strahlungsenergie, Energie (pro m² Aperturfläche) zur Beladung des Solarspeichers und monatlicher Kollektorkreisnutzungsgrad

Da dies die Differenz nicht vollständig erklärt und Gründe für den gegenüber der Planung schlechteren Ertrag der Solaranlage identifiziert werden sollen, werden die einzelnen Komponenten im Abschnitt 4 genauer untersucht.

4 Komponentenuntersuchung

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Komponenten der Solaranlage untersucht, um festzustellen, ob sie den technischen Spezifikationen aus der Planung entsprechen.

4.1 Kollektorfeld und Rohrleitungen

Zunächst soll der aus Messdaten berechnete Wirkungsgrad des installierten Kollektorfeldes mit der Wirkungsgradkennlinie der verwendenden Kollektoren verglichen werden. Zur Ermittlung des Wirkungsgrades wurden die Temperaturen und der Volumenstrom im Beladekreis verwendet, da diese Temperatursensoren im eingebauten Zustand kalibriert wurden und der Volumenstrom genauer gemessen werden kann als im Wasser-Glykol gefüllten Solarkreis. Daher sind in den ermittelten Wirkungsgraden nicht nur die Verluste des Kollektorfeldes, die durch die Kollektorkennlinie wiedergegeben werden, sondern zusätzliche thermische Verluste durch die Verrohrung des Kollektorfeldes, Verrohrung des Solarkreises und am Belade-WÜT enthalten. Aus diesem Grund sind im Vergleich zur Kollektorkennlinie etwas niedrigere Wirkungsgrade zu erwarten. Für die Ermittlung der Wirkungsgrade wurden Betriebszustände ausgewählt, in denen sich die Solaranlage in einem annähernd stationären Betrieb befand. Daher wurden Betriebszustände an wolkenlosen Tagen um die Mittagszeit (12 bis 16 Uhr, da Ausrichtung 40° Südwest) ausgewählt und nur Datensätze (Minutenwerte) verwendet, bei denen die Einstrahlung auf die Kollektorfläche über 850 W/m² lag. Des Weiteren wurden Datensätze ausgeschlossen, bei denen sich einer der beiden Temperatursensoren (T_{BVL}; T_{BRL}) zu stark ($\pm 0,7\text{K}$) im Vergleich zum vorherigen Datensatz änderte oder die Einstrahlung (G_t) um mehr als 30 W/m² schwankt. Für die verbleibenden Datensätze wurde der Wirkungsgrad ermittelt, indem die Leistung im Beladekreis berechnet und durch die Einstrahlung auf das Kollektorfeld geteilt wurde. Abbildung 5 zeigt die Wirkungsgrade der ausgewählten Betriebszustände und die Kollektorkennlinie.

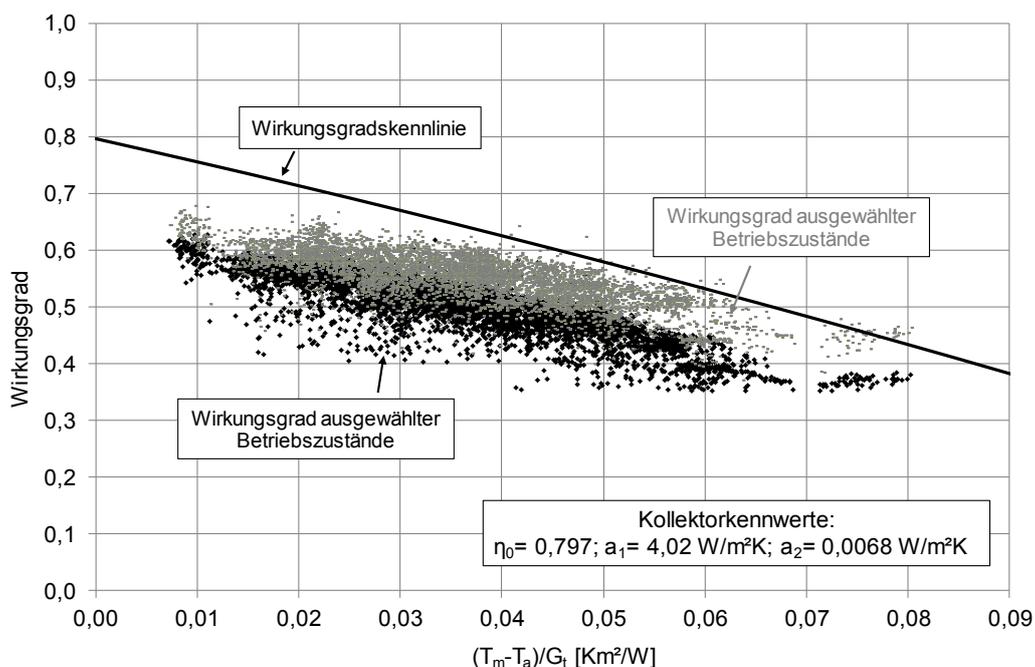


Abb. 5 – Wirkungsgrad ausgewählter Betriebszustände mit und ohne Rohrverluste im Vergleich zur Wirkungsgradkennlinie aus dem Kolleortest

Es ist zu erkennen, dass die berechneten Wirkungsgrade erwartungsgemäß unter der Kollektorkennlinie liegen. Um auch die Verluste in den Rohrleitungen für die Berechnung des Wirkungsgrades zu berücksichtigen, wurden diese für den Solarkreis aus den Messdaten ermittelt. Für den Solarkreis-Vorlauf können die Verluste direkt über die Temperaturdifferenz zwischen Kollektortemperatur (T_{Kol}) und Temperatur im Solarkreis-Vorlauf (T_{SVL}) ermittelt werden. Für den Solarkreis-Rücklauf wurden die Verluste über den im Vorlauf ermittelte UA-Wert der Rohrleitung und Temperatur im Solarkreis-Rücklauf (T_{SRL}) abgeschätzt. Wie in Abbildung 5 gezeigt, nähern sich die ermittelten Wirkungsgrade inkl. der Rohrverluste der Wirkungsgradkennlinie an. Insgesamt scheint die Qualität der installierten Kollektoren dem getesteten Kollektor recht nahe zu kommen. Lediglich der optische Wirkungsgrad erreicht nach Abbildung 4 nicht ganz den Wert aus dem Kollektortest. Da der Wirkungsgrad aber nicht unter optimalen Bedingungen (z.B. wechselnde Einstrahlungswinkel ohne Berücksichtigung des IAM) ermittelt wird und gewisse Unsicherheiten (z.B. Genauigkeit der Messtechnik) beinhaltet, scheinen die Kollektoren nicht die Hauptursache für den verminderten Ertrag zu sein.

Um die Qualität der Dämmung der Rohrleitungen zu überprüfen wurde deren Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) aus Messdaten bestimmt und mit dem U-Wert verglichen, der aus Materialkennwerten der verwendeten Isolierung berechnet werden kann.

Bei einer Wärmeleitfähigkeit von $0,04 \text{ W/mK}$ und einer 100 % Dämmung ($d_i=0,04\text{m}$; $d_a=0,124\text{m}$) liegt dieser theoretische U-Wert bei $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Zur Berechnung des U-Wertes aus Messdaten wurde zunächst für einen zweiwöchigen Zeitraum in denjenigen Zeitschritten der UA-Wert der Rohrstrecke des Solarkreis-Vorlaufs berechnet, in denen sowohl Solarkreis als auch Beladekreis in Betrieb waren. Aus den so berechneten UA-Werten wurde der Mittelwert gebildet und durch die Rohroberfläche dividiert, um den U-Wert zu erhalten. Danach ergeben sich ein UA-Wert von $26,8 \text{ W/K}$ und ein U-Wert von $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Da Rohrwärmedämmungen in der Realität nicht ideal installiert werden und zusätzliche Wärmeverluste über Armaturen auftreten, ist der ermittelte U-Wert, zwar hoch, aber nicht unrealistisch.

4.2 Speicher

Aus Tabelle 1 geht hervor, dass es zwischen den gemessenen Wärmemengen im Be- und Entladekreis deutliche Abweichungen gibt, auf die im Folgenden näher eingegangen werden soll. Um die Wärmeverluste des installierten Speichers bewerten zu können, wurde zunächst der theoretische UA-Wert auf Basis der geometrischen Daten ($d_i=2,06\text{m}$; $d_a=2,46\text{m}$; $h=3\text{m}$) und der Wärmeleitfähigkeit von $0,04 \text{ W/mK}$ des Dämmstoffes berechnet. Dieser theoretische UA-Wert liegt bei 6 W/K . Zusätzlich wurden in beiden Messperioden mehrere Zeiträume analysiert, in denen der Speicher weder be- noch entladen wurde. Insgesamt wurden elf Zeiträume mit Dauern zwischen 24 und 336 h untersucht und ein mittlerer UA-Wert von $13,8 \text{ W/K}$ ermittelt mit einer Unsicherheit von $\pm 3,3 \text{ W/K}$. Um die recht hohen Wärmeverluste des Speichers genauer zu untersuchen, zeigt Abbildung 6 die Temperaturverläufe im Solarspeicher, dem Entladerücklauf und der Raumtemperatur an zwei Tagen im August 2010. Zusätzlich sind die Volumenströme des Belade-, Entlade- und Brauwasserkreises dargestellt. Zunächst ist an diesem Tag der Einfluss der manuellen Steuerung (1) der Brauwasserpumpe zu erkennen, der in Abschnitt 5 näher erläutert wird. Die Entladung des Solarspeichers startet um ca. 4 Uhr, da jedoch die Brauwasserpumpe manuell ausgeschaltet und erst um ca. 5 Uhr wieder eingeschaltet wurde, wird der Speicher durch den Entladekreis durchmischt. Im Entladerücklauf stellt sich eine Temperatur nahe der oberen Speichertemperatur ein und der untere Teil des Speichers heizt sich auf (2). Erst nach knapp eineinhalb Stunden wird die Brauwasserpumpe manuell eingeschaltet und die Temperatur von Entladerücklauf und unterem Teil des Speichers sinken ab. Nach Ende der Beladung um ca. 16 Uhr ist zu erkennen, dass sowohl die obere als auch die untere Speichertemperatur innerhalb der folgenden zwölf Stunden schneller absinken (3) als die Mittlere, welche verhältnismäßig konstant bleibt. Dies ist darauf zurück zu führen,

dass der Boden des Speichers nicht isoliert wurde. Da der Pufferspeicher auf einem Metallring steht, ergibt sich zwischen Speicher und Boden ein Luftspalt von 10..30 cm, der lediglich am Rand durch die Mantelisolierung begrenzt ist. Auch die Isolierung des oberen Speicherteils ist im Vergleich zur Mantelisolierung eher schlecht ausgeführt. Hierbei wurden Viertelkreise aus Schaumstoff verwendet. Ein zusätzlicher Verluststrom entsteht über den Entladerücklauf.

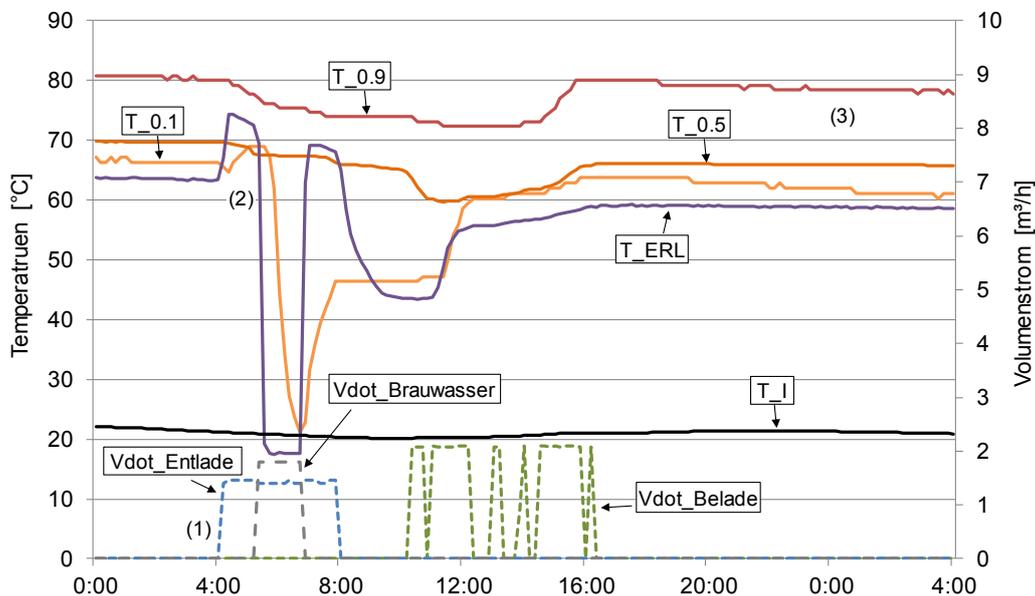


Abb. 6 - Temperaturverläufe in Solarspeicher (T_0.1 unten bis 0.9 oben) und Entladerücklauf sowie Volumenströme in Belade-, Entlade- und Brauwasserkreis am 25. und 26.08.2010

Wie Abbildung 5 zeigt, sinkt nach Abschluss der Entladung die Temperatur des Entladerücklaufs wie zu erwarten ab, allerdings nur bis knapp unter die Temperatur im unteren Teil des Solarspeichers. Dieses Verhalten zeigt sich auch im weiteren Verlauf. Die Temperatur liegt stets nahe der Temperatur T_0.1. Dies basiert auf dem Versäumnis, am Speicheranschluss eine Konvektionsbremse vorzusehen. So kann eine thermische Strömung einsetzen, die in den Entladekreis hineinreicht und durch die nicht isolierten Oberflächen von Pumpe, Volumenzähler und Volumenstromreguliertventil zu zusätzlichen Wärmeverlusten führt. Der gegenüber der Planung geringere Solarertrag und Nutzungsgrad können somit teilweise auf die fehlende Dämmung und Rückschlagklappe des Solarspeichers zurückgeführt werden.

4.3 Wärmeübertrager

In diesem Abschnitt werden die beiden installierten Wärmeübertrager untersucht. Der Belade-WÜT wurde mit einer logarithmischen Temperaturdifferenz von 5,7 K bei einer Wärmeleistung von 115 kW und einem UA-Wert von 20,2 kW/K ausgelegt. Dies entspricht einem spezifischen Wert von $ua = 130 \text{ kW/m}^2_{\text{Kol}}\text{K}$, welcher damit über dem in der VDI-Richtlinie 6002 (VDI, 2004) empfohlenen Wert von $100 \text{ kW/m}^2_{\text{Kol}}\text{K}$ liegt. Der Entlade-WÜT weist laut Auslegungsdaten einen UA-Wert von 23,5 kW/K und eine logarithmische Temperaturdifferenz von 6,5 K bei einer Wärmeleistung von 153 kW auf. Während der Entlade-WÜT im Betrieb die geplante Leistung erreicht und damit gut funktioniert, war dies beim Belade-WÜT nicht der Fall. Abbildung 7 zeigt beispielhaft die Temperaturverläufe, die logarithmische Temperaturdifferenz und den UA-Wert des Belade-WÜT an drei aufeinander-folgenden Tagen. Wie die Abbildung zeigt, überschreitet die logarithmische Temperaturdifferenz den Auslegungswert von 5,7 K sehr deutlich und erreicht an allen drei Tagen Werte von über 20 K. Der UA-Wert liegt dagegen weit unterhalb des Auslegungswertes von 20,2 kW/K, nämlich bei durchschnittlich nur 2,7 kW/K. Aufgrund des

offensichtlichen Mangels wurde der WÜT reklamiert und festgestellt, dass ein falscher Typ geliefert wurde.

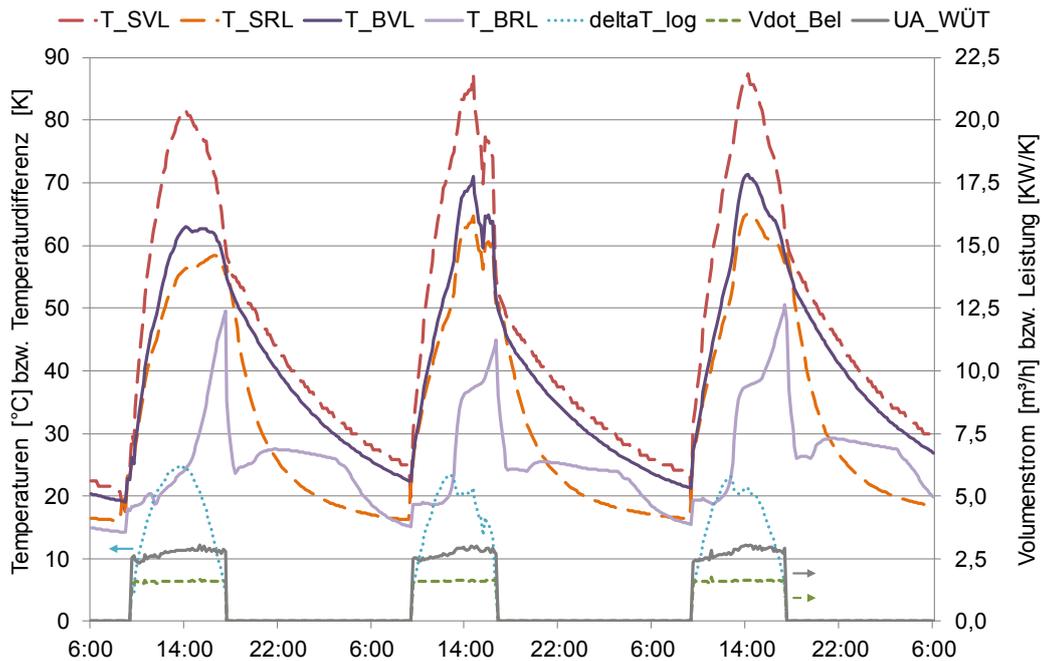


Abb. 7 - Temperaturverläufe am Belade-WÜT, logarithmische Temperaturdifferenz und UA-Wert des Belade-WÜT vom 19.3. bis 22.03.2012

Nach dem Austausch werden die Auslegungswerte nun erreicht. Da ein fehlerhafter WÜT zu erhöhten Temperaturen im Solarkreis führt, lassen sich durch den Austausch in Zukunft höhere solare Erträge und Nutzungsgrade erwarten.

5 Betriebserfahrungen

In diesem Abschnitt werden die Erfahrungen, die aus dem Betrieb der Solaranlage gewonnen wurden, dargestellt. Im Rahmen der messtechnischen Überwachung wurde deutlich, dass die Brauwasserpumpe teilweise per Hand ausgeschaltet wird, sodass eine thermische Entladung des Solarspeichers und Befüllung des Entleerungsspeichers nicht bzw. nicht ausreichend lange möglich sind. Die Eingriffe wurden durch das Personal mit dem Füllstand des Entleerungsspeichers begründet, der zum Teil manuell überwacht wird. Der Füllstand sei zu hoch für die Einspeisung solar erwärmten Wassers. In Absprache mit der technischen Leitung wurde eine solare Beladung bis zu einem Füllstand des Entleerungsspeichers von 75% festgelegt. Ein Mitarbeiter ignoriert, mit Verweis auf seine 30-jährige Berufserfahrung, diesen Wert allerdings beharrlich und stellt die Brauwasserpumpe schon weit vorher ab. Abbildung 8 zeigt eine typische Produktionswoche mit Eingriffen in die Steuerung der Brauwasserpumpe. Es ist zu erkennen, dass schon zum Anfang der Woche die Brauwasserpumpe immer wieder abgeschaltet wird, bevor der Füllstand und damit die Regelgröße die Ausschaltsschwelle von 75 % erreicht. Da dieses manuelle Ausschalten nicht von der Regelung erfasst wird, läuft die Entladepumpe weiter. Dies geschah nahezu täglich. Die manuellen Eingriffe in den Betrieb der Brauwasserpumpe haben also zur Folge, dass weniger Brauwasser solar erwärmt wird und damit Ertrag und Nutzungsgrad der Anlage sinken. Ein weiteres Problem dieses Eingriffs stellt zudem das Weiterlaufen der Entladepumpe dar. Da im Brauwasserkreis kein Wasser zirkuliert, wird warmes Wasser aus dem oberen Teil des Solarpufferspeichers abgezogen und unten wieder eingespeist. Dadurch wird die thermische Schichtung des Speichers zerstört und der untere Bereich aufgeheizt. Dies resultiert bei Betrieb der Solaranlage ebenfalls in einer geringeren Effizienz, da im Solarrücklauf verhältnismäßig hohe Temperaturen anliegen. In den

Sommermonaten nach der Inbetriebnahme führten die manuellen Eingriffe daher zu sehr häufigen Stagnationszeiten.

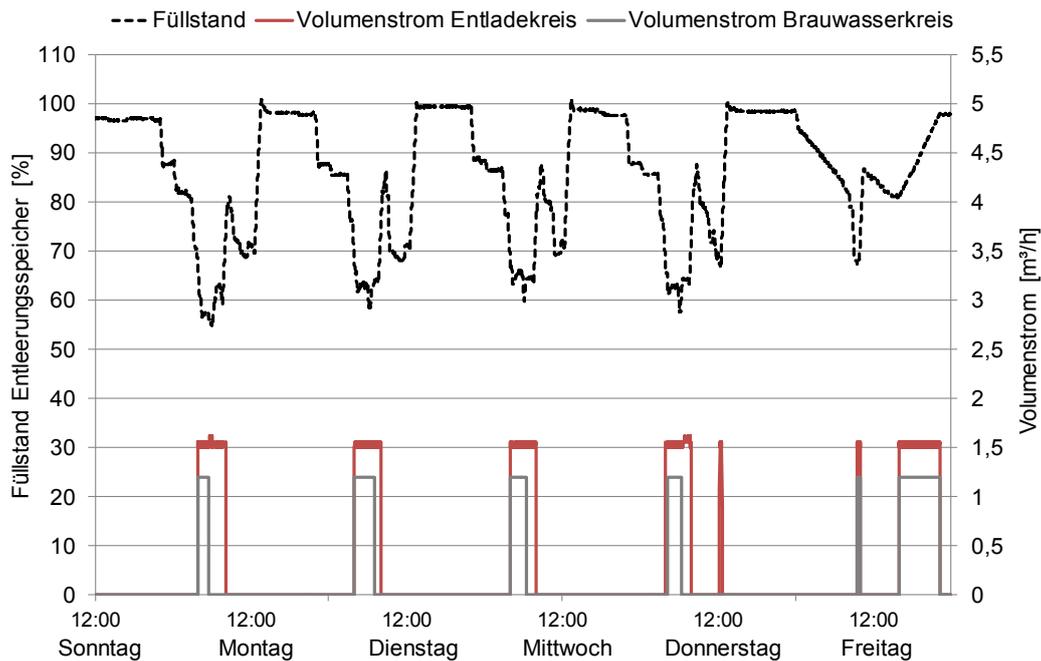


Abb. 8 - Füllstand des Entleerungsspeichers und Volumenströme von Entlade- und Brauwasserkreis im Zeitraum von Sonntag, den 3.4.11 bis Samstag, den 9.4.11

Nach der Inbetriebnahme wurde auch deutlich, dass die geplante Betriebsweise der Wärmerückgewinnung nicht wie vorgesehen umgesetzt wurde. In Betriebsphasen in denen die Wärmerückgewinnung wie geplant betrieben wurde und keine manuelle Eingriffe in die Brauwasserpumpe auftraten, stellte sich hingegen das geplante Anlagenverhalten mit dem erwartetem Ertrag ein. Bisher liegen sowohl Nutzungsgrad als auch Ertrag der Solaranlage unter den geplanten Werten. Ein weiterer Grund liegt in einer Mindesttemperatur im Brauwasser-Vorlauf von 40 °C, welche nachträglich auf Wunsch des Personals im Sudhaus für die Entladung implementiert wurde. Zur Erhöhung des Ertrags der Solaranlage sollte eine vollständige Automatisierung der Brauwasserversorgung umgesetzt werden.

6 Fazit

Im Rahmen des Forschungsvorhabens bei der Hütt-Brauerei in Kassel/Baunatal wurde ein Energiekonzept für das Sudhaus entwickelt und umgesetzt, das neben der Implementierung eines effizienten Kochverfahren und der Verbesserung der Wärmerückgewinnung, die Integration einer thermischen Solaranlage in die Brauwasserversorgung umfasst. Nach der Umsetzung des Konzeptes zeigte sich, dass mit der neuen Anlagentechnik und der veränderten Betriebsweise eine signifikante Energieeinsparung von etwa 400 MWh pro Jahr erzielt werden konnte. Für die Einbindung der thermischen Solaranlage war vor allem die Umstellung der Wärmerückgewinnung während der Würzekochung ausschlaggebend. Die Einbindung der Solaranlage in die Brauwasserreserve zur Aufheizung von kaltem Brauwasser war nur möglich, weil die Wärmerückgewinnung beim Kochen für die Läuterwürzeaufheizung, also für ein höheres Temperaturniveau, verwendet werden sollte.

Bei der Untersuchung der einzelnen Komponenten der Solaranlage wurde festgestellt, dass der Belade-Wärmeübertrager mangelhaft war, woraufhin dieser ausgetauscht wurde. Auch die mangelnde Dämmung unterhalb des Speichers und die fehlende Rückschlagklappe im Entlade-

Rücklauf tragen zur Verminderung des Solarertrags und Nutzungsgrads bei. Die verwendeten Kollektoren scheinen hingegen nicht Ursache für den verminderten Ertrag zu sein.

Zusammenfassend können für zukünftige Projekte zur Bereitstellung solarer Prozesswärme in der Industrie folgende Empfehlungen gegeben werden:

- Wenn technisch umsetzbar, sollte Solarwärme auf einem möglichst niedrigen Temperaturniveau eingebunden werden, da sich dies in der Regel direkt auf die Amortisationszeit bzw. Rendite auswirkt. Dabei kann es sinnvoll sein, bestehende Prozesse sowie die Anlagentechnik und Betriebsweise der vorhandenen Wärmerückgewinnung genauer zu untersuchen.
- Wenn ein geeigneter Punkt für die Einbindung solarer Wärme feststeht, ist vor allem die Kommunikation mit dem direkt betroffenen Produktionspersonal wichtig. Zum einen können dadurch wichtige Erkenntnisse zur Betriebsweise und Besonderheiten der in Wechselwirkung stehenden Prozesse gewonnen werden. Zum anderen sollte das Personal frühzeitig in die Umsetzung eingebunden werden, um zukünftig einen möglichst reibungslosen Betrieb der Solaranlage zu gewährleisten.
- Die Umsetzung eines Konzeptes zur Bereitstellung solarer Prozesswärme sollte nach Möglichkeit durch ein Unternehmen erfolgen, welches sowohl Installation als auch Integration und möglichst auch die Planung der Solaranlage durchführen kann. Dies vereinfacht den Ablauf und minimiert die Gefahr von Fehlkommunikation und ungeklärten Zuständigkeiten.
- Zumindest in den ersten zwei bis drei Betriebsjahren sollte die thermische Solaranlage einem Monitoring unterzogen werden, um das Zusammenspiel von Solaranlage und Wärmeabnehmer zu überwachen und ggf. Änderungen in Regelung vornehmen zu können.

7 Literatur

Mies, M., Rehrmann, U., Szablinski, D., (2006), Abschlussbericht für das Projekt Neubaugebiet "Badener Hof" Heilbronn. ZfS - Rationelle Energietechnik GmbH, Hilden.

Peuser, F., Croy, R., Mies, M., Rehrmann, U., Wirth, H., (2009), Solarthermie-2000, Teilprogramm 2 und Solarthermie2000plus - Wissenschaftlich-technische Programmbegleitung und Messprogramm (Phase 3). ZfS - Rationelle Energietechnik GmbH, Hilden, Germany.

Verein Deutscher Ingenieure (VDI), (2004), VDI Richtlinie 6002 Blatt 1: Solare Trinkwassererwärmung - Allgemeine Grundlagen, Systemtechnik und Anwendung im Wohnungsbau.