

Verbesserung des Betriebsverhaltens von Solaranlagen

Stillstand ist unvermeidbar

Der zunehmende Einsatz von Solaranlagen zur Heizungsunterstützung sowie die hohen Anlagenwirkungsgrade führen im Sommer teilweise zu Stillstandszeiten mit hohen Temperaturen. Nur wenn man die Vorgänge des Stillstands genau kennt, lassen sich die Belastungen für die Anlage so gering wie möglich gestalten. Welche Möglichkeiten Hersteller, Planer und Installateure hierbei haben, wird nachfolgend aufgezeigt.



Thermische Solaranlagen werden zum überwiegenden Teil zur Erwärmung von Trinkwasser eingesetzt. In den letzten Jahren kommen auch immer mehr Systeme zur Heizungsunterstützung auf den Markt (Kombianlagen). Aufgrund des Ziels, auch in der Heizperiode nennenswerte Erträge in das Heizsystem zu liefern, befinden sich diese Anlagen im Sommer zeitweise im Stillstand. Gleichzeitig ist in den letzten Jahren der Wirkungsgrad der Kollektoren immer wieder verbessert worden, so daß zusätzlich auch die maximal im Stillstand erreichbaren Temperaturen gestiegen sind. Daher ist es notwendig, die Vorgänge des Stillstands genau zu kennen, um die Belastungen für die Anlage so gering wie möglich gestalten zu können. Nachfolgend soll gezeigt werden, daß es für Hersteller, Planer und Installateure Möglichkeiten gibt, diese Belastungen zu minimieren und so einen über viele Jahre hinweg zuverlässigen Betrieb der Solaranlage zu gewährleisten.

Was ist ein Stillstandsprozeß?

Der Stillstandsprozeß wird dadurch eingeleitet, daß der Speicher komplett auf seine maximal zulässige Temperatur erwärmt ist, und die Pumpe von der Regelung abge-

schaltet wird. Erwärmt sich nun der Kollektor weiter, so wird das Medium im Kollektor auf Siedetemperatur erwärmt und beginnt zu verdampfen. Da ein Tropfen Wasser in Dampfform ein 1000fach größeres Volumen einnimmt, wird das noch nicht verdampfte Medium in das Ausdehnungsgefäß gedrückt, und die Solaranlage geht in Stillstand. Geht die Sonneneinstrahlung wieder zurück (z. B. am Abend oder durch Wolken), dann kondensiert der Dampf, und das Ausdehnungsgefäß kann das Medium – aufgrund seines Vordruckes – wieder zurück in die Leitungen und den Kollektor drücken. So weit so gut. Allerdings treten in der täglichen Praxis mitunter Probleme beim Stillstandsverhalten auf, die stark vom Anlagentyp sowie von weiteren Einflußfaktoren abzuhängen scheinen:

- Verstopfungen im Kollektor
 - Öffnen des Überdruckventils, obwohl übliche Auslegungsrichtlinien bezüglich Ausdehnungsgefäßgröße eingehalten wurden
 - Kondensationsschläge (Druckbelastung der Komponenten sowie akustische Belastungen)
 - Frühzeitige Alterung des Wärmeträgers und dadurch verursachte Ablagerungen.
- Aus diesem Grunde wurde in einem von der EU unterstützten Forschungsprojekt unter der wissenschaftlichen Leitung des

Fraunhofer ISE und der AEE (Arbeitsgemeinschaft erneuerbare Energie) sowie den Firmen Solvis, Sonnenkraft, Scherzinger, Technische Alternative und Tyforop den Ursachen für oben beschriebene Probleme nachgegangen.

Stillstandsverlauf in fünf Phasen

Durch gleichzeitige Messung des Anlagen-drucks und von Temperaturen an verschiedenen Stellen im System und innerhalb des Kollektors (Bild 1) konnte der in der Tabelle beschriebene grundsätzliche Stillstandsverlauf erkannt werden. Die Bilder 2 und 3 bilden die Meßdaten zu den in der Tabelle beschriebenen Vorgängen ab: Bild 2 zeigt die Meßdaten einer Großanlage auf, die ungünstig verschaltet ist: die Entleerung in Phase 2 erfolgt unvollständig, und Phase 3 dauert somit ca. eine Stunde (Medium Wasser, daher Verdampfung schon bei knapp 110°C). Bild 3 hingegen zeigt den Temperatur- und Druckverlauf beim System „SolvisIntegral“ bzw. „SolvisMax“. Aufgrund der seriellen Kollektorhydraulik entleert sich der Kollektor komplett in Phase 2, und die kritische Phase 3 findet gar nicht statt. Die Sattdampf Temperatur beträgt ca. 140 °C, die maximale Röhrenkollektortemperatur 260 °C.

Phase	Vorgang	Besonderheiten
1	Flüssigkeitsausdehnung aufgrund der Erwärmung des Solarmediums bis zur Verdampfungstemperatur	
2	Ausdrücken des Solarmediums aus dem Kollektor durch erste Dampfbildung, dadurch rascher Druckanstieg (und somit Erhöhung der Verdampfungstemperatur)	Je nach System entleert sich der Kollektor vollständig oder fast gar nicht Dauer: einige Minuten
3	Leersieden des Kollektors (Sattdampf), geringer Druckanstieg. Ein kleiner Teil des Kollektordinhaltes ist in den Absorber- und Sammelrohren noch in flüssiger Form vorhanden und produziert ständig neuen Dampf , der es aber nicht schafft, alle Flüssigkeit herauszuschieben, so daß noch lange ein Rest im Kollektor verbleibt.	Höchste Belastung der Komponenten außerhalb des Kollektors und des Mediums. Dauer: je nach Anlage nicht vorhanden bis zu mehreren Stunden
4	Der Kollektor ist „leer“ so daß der Dampf im Kollektor überhitzt (auf Temperaturen über Verdampfungstemperatur). Dadurch sinkt der Kollektorwirkungsgrad, der Energieeintrag in das System geht zurück, keine neue Dampfbildung mehr.	Maximale Kollektortemperaturen, aber keine Schädigung des Mediums oder von Komponenten, da sich die Hitze nicht ins System weiter ausbreitet. Dauer: an wolkenlosen Tagen stabiler Zustand für mehrere Stunden
5	Wiederbefüllen des Kollektors: Der Kollektor wird aus dem Membrandruckausgleichsgefäß heraus wiederbefüllt, wobei die Temperaturen rasch absinken	

Die wesentlichen Erkenntnisse aus diesem Verlauf sind somit:

- Die Verdampfung beginnt in der Regel im oberen Bereich in der Mitte des Kollektors, da hier die höchsten Temperaturen herrschen und gleichzeitig der Druck am geringsten ist und damit auch die Siedetemperatur niedriger ist.
- Für ein günstiges Stillstandsverhalten ist es wichtig, daß in Phase 2 möglichst viel Fluid aus dem Kollektor verdrängt wird.
- Als kritischste Phase für die Anlagenkomponenten erweist sich die Phase 3. Die Menge der Flüssigkeit, die in dieser Phase im Kollektor zur Verdampfung zur Verfügung steht, bestimmt die Zeitdauer der extremen Temperaturbelastungen der Anlagenkomponenten und die Reichweite des Dampfes. Denn die Wärme, die der Kollektor nun noch aufnimmt, führt zum ständigen Verdampfen des Restmediums. Bei großen Mengen an Restflüssigkeit im Kollektor werden die Vor- und Rücklaufleitungen zunehmend nach unten in Richtung Technik- oder Kellerraum mit etwa gleichem Flüssigkeitsniveau leergedrückt. Sogar der Wärmetauscher kann vom Dampf erreicht werden. Es können in waagerechten Leitungen Dampfschläge entstehen.
- Ist am Ende der Phase 2 der Absorber nahezu frei von Restflüssigkeit, kann sich Phase 3 (Sattdampf transportiert Energie) praktisch nicht ausbilden. Die Systemkomponenten werden nicht durch Sattdampf belastet, da dieser sich auf den unmittelbaren Kollektorbereich – inklusive kurzer

Tabelle Grundsätzlicher Stillstandsverlauf in fünf Phasen

Sensorenübersicht:

Anlegefühler

- 4 Absorberfühler (kalibriert)
- 1 Glasscheibentemperaturfühler (kalibriert)
- 1 Temperatur in der Dämmung (DIN B)
- 1 Temperatur an Kollektorrückseite (DIN B)
- 3 Speicherwandtemperaturfühler (kalibriert)
- 1 Pumpengehäusetemperaturfühler (DIN B)
- 1 Temperatur am MAG Gehäuse (DIN B)

Fluidfühler

- Kollektorein-/austritt (kalibriert)
- WTein-/austritt (kalibriert)

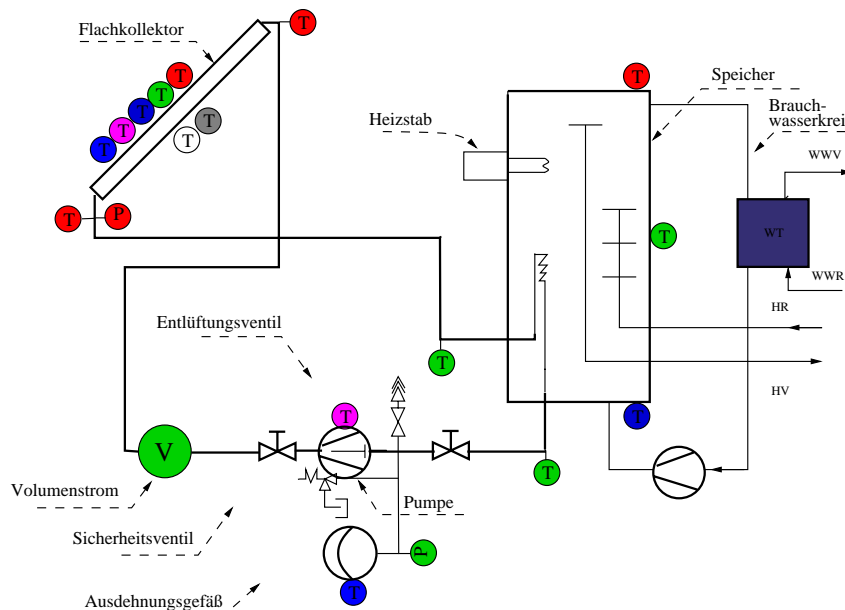
Drucktransmitter

- 2 Standard HT 06 bar (geprüft)

Volumenstrom

- Krone MID (kalibriert)

Bild 1 Meßaufbau zur Ermittlung des Stillstandsverlaufs [1]



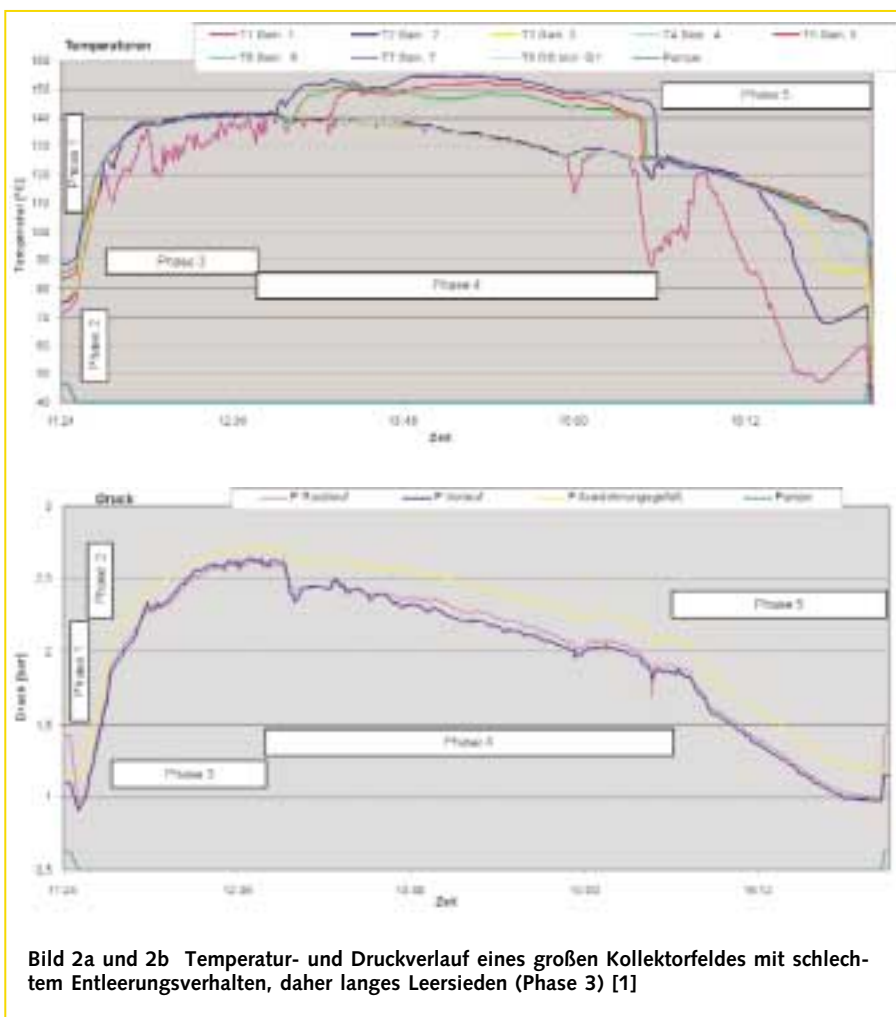


Bild 2a und 2b Temperatur- und Druckverlauf eines großen Kollektorfeldes mit schlechtem Entleerungsverhalten, daher langes Leersieden (Phase 3) [1]

Vor- und Rücklaufleitungsstücke – beschränkt. Die Phase 4 (Überhitzung des Kollektors) wird dann praktisch unmittelbar nach Ende von Phase 2 beginnen.

Ziel: schnelle und vollständige Entleerung

Fazit aus den oben genannten Punkten: Es sollte das Ziel sein, das System so zu konzipieren, daß sich das Kollektorfeld möglichst vollständig in Phase 2 entleert. Wie läßt sich dies in der Praxis erreichen?

Regel 1: Serielle statt parallele Kollektorverschaltung

Üblicherweise werden in einem Absorber mehrere Absorberrohre parallel verschaltet. In diesem Fall wird das Medium beim Verdampfen von einem Rohr in das nächste gedrückt, anstatt aus dem Kollektor herausgedrückt zu werden. Eine wesentlich bessere Anordnung ist eine serielle Verschaltung der einzelnen Kollektorröhrchen, wie sie in den Low-Flow-Kollektoren „Sol-

vis Fera“, „SolvisCala“ und „SolvisLuna“ konsequent umgesetzt ist (siehe Bild 4). Hier können „sich die Dauer und das Ausmaß der kritischen Stagnationsphase 3 sogar soweit reduzieren, daß die Bereiche mit Sattdampf nur knapp unter das Kollektorniveau reichen“ (Abschlußbericht [1]).

Regel 2: Abfluß durch Schwerkraft (Anschlüsse von unten)

Bei der Verschaltung des Kollektors sollte darauf geachtet werden, daß die Flüssigkeit aus allen Absorberbereichen frei nach unten durch Schwerkraft abfließen und den Kollektor nahezu vollständig verlassen kann (siehe Bild 5). In Bild 6 hingegen ist die Verschaltung des Kollektors so gewählt worden, daß das Medium von oben in den Kollektor ein- bzw. austritt. Hier bilden sich dann bei Verdampfung zwangsläufig Flüssigkeitssäcke, die zu einer ständigen Dampfbildung in Phase 3 führen.

Regel 3: Keine längeren horizontalen Rohrstrecken

Kritisch sind im Entleerungsverhalten längere horizontale Rohrstrecken, also Absorber- oder Sammelrohre, die direkter Sonnenbestrahlung oder indirekter Wärmebeaufschlagung durch Wärmeleitung aus den Absorberrohren ausgesetzt sind. Diese werden durch Schwerkrafteinwirkung nur langsam entleert oder enthalten – infolge von nicht exakt horizontaler Aufstellung oder wegen Durchhängens – Restflüssigkeit.

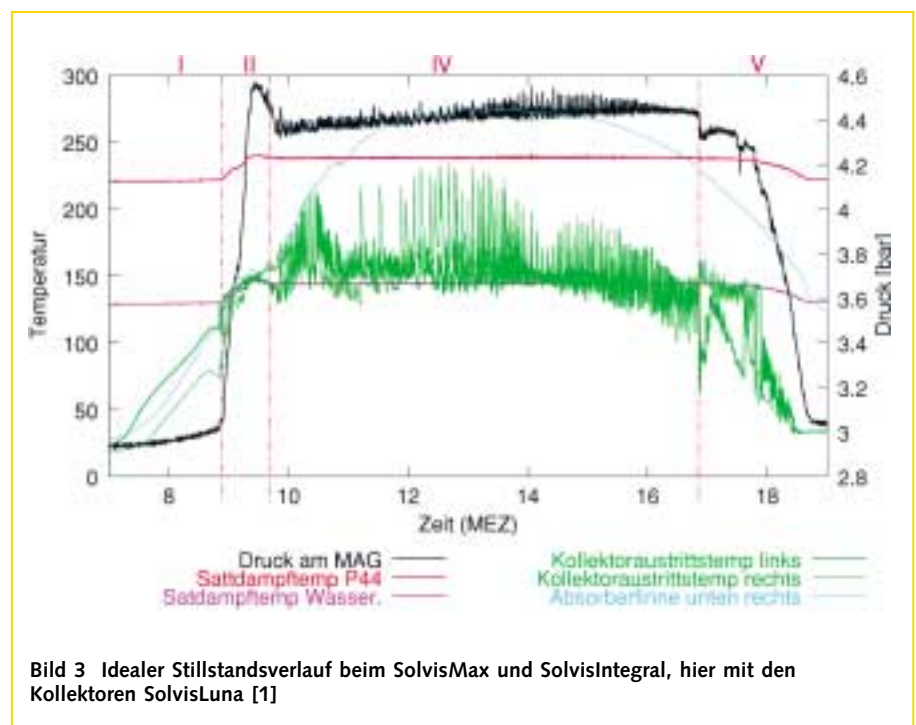


Bild 3 Idealer Stillstandsverlauf beim SolvisMax und SolvisIntegral, hier mit den Kollektoren SolvisLuna [1]

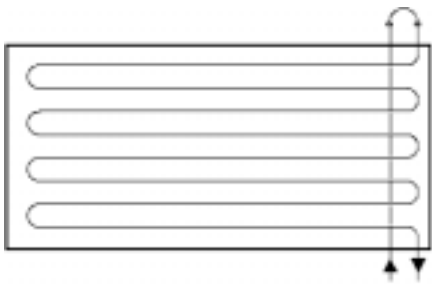


Bild 4 Serielle Kollektorverschaltung im SolvisFera

Regel 4:

Für das Kollektorfeld gilt das gleiche

Auch wenn der einzelne Kollektor ideal verrohrt ist, kann es zu drastischer Dampfbildung in Phase 3 kommen, wenn beim Zusammenschalten der einzelnen Kollektoren z. B. nach oben geführte Rohre verwendet werden. Es sind deshalb für die Verrohrung des gesamten Kollektorfeldes die gleichen Kriterien einzuhalten, wie für die Verrohrung des einzelnen Kollektors. Beispielhaft ist die Verschaltung des Kollektorfeldes „SolvisLuna“; hier werden sogar drei Module seriell durchströmt (Bild 4).

Regel 5: Position der Rückschlagklappe

Um die schnelle und vollständige Entleerung des Kollektorfeldes zu unterstützen, muß die Position der Rückschlagklappe berücksichtigt werden. Bild 7 zeigt eine günstige und eine ungünstige Anordnung der Rückschlagklappe: Im günstigsten Fall kann sich der Kollektor über beide Seiten (Vor- und Rücklaufstrang) entleeren. Die Pumpe ist zudem durch die Rückschlagklappe vor zu heißen Temperaturen geschützt. Das Ausdehnungsgefäß sitzt zwar auf der Druckseite der Pumpe, dennoch be-

steht bei den in Solaranlagen üblichen hohen Systemvordrücken nicht die Gefahr der Kavitation. Im ungünstigen Fall (klassische Anordnung in der Heizungstechnik) ist der direkte Weg zum Ausdehnungsgefäß dem Fluid versperrt: die Verdampfung beginnt im oberen Kollektorbereich, der entstehende Dampf kann den oberen Teil des Kollektors leer drücken, aber nicht den unteren Teil: eine lange Phase 3 mit viel Dampf- bildung ist vorbestimmt.

Bei speziellen Low-Flow-Pumpen mit Förderhöhen über 20 m muß das Ausdehnungsgefäß allerdings auf der Saugseite der Pumpe angeordnet werden, um Kavitation in der Pumpe zu vermeiden. Da diese Verdrängerpumpen aufgrund ihrer Bauart auch die Funktion einer Rückschlagklappe darstellen (im ausgeschalteten Zustand sperren sie den Durchgang) kann die Entleerung nicht über beide Stränge erfolgen. Hier muß genau darauf geachtet werden, daß der untere Kollektoranschluß ohne Absper- rung direkt zum Ausdehnungsgefäß führt. Solvis baut das System so auf, daß der heiße Kollektorvorlauf unten am Kollektor ange- schlossen wird. Somit wird das im Stillstand herausgedrückte Medium zuerst durch den im Behälter integrierten Wärmetauscher geführt (und dort weiter abgekühlt), bevor es das Ausdehnungsgefäß bzw. die Pumpe erreicht. Somit wurde an der Pumpe bzw. am Ausdehnungsgefäß im Rahmen des Projektes nie eine Temperatur über 70 °C gemessen.

Dampf in den Leitungen und Extrembelastungen

Erfolgt eine rasche Entleerung des Kollektors in Phase II, so kann die Phase 3 der extremen Dampf- bildung vermieden werden. In diesem Falle wird der Dampf nur

bis zur Kollektorunterkante in den Rohrlei- tungen stehen. Ist die Phase 3 jedoch lang- anhaltend, so kann der Dampf bis in den Technikraum bzw. Heizungskeller gelan- gen. Bei Großanlagen mit externem Solar- Wärmetauscher wurde sogar Dampf auf der sekundären Speicherseite festgestellt. Daher sollte der Speicher nicht oberhalb der „Unterkante Kollektoranschluß“ aufgestellt werden, damit der Dampf leicht bis zum Speicher und den vorgeschalteten Armatu- ren dringen kann.

Höchste Systemdrücke und damit Tempe- raturbelastungen treten an den Anlagen nicht an den wolkenlosen Tagen auf, son- dern an klaren Tagen mit wechselnder Be- wölkung. Letztere bewirkt einen sehr ho- hen Diffusanteil der Strahlung, und die Glo- balstrahlung in Kollektorebene erreicht ma-ximale Werte. So wurden an solchen Tagen des öfteren kurzfristig (einige Minuten) Globalstrahlungswerte in Kollektorebene von über 1200 W/m² gemessen, welche zu deutlich höherem Dampf- volumen und da- mit weitreichenderer Temperaturbelastung der Anlagenkomponenten führte, als an wolkenlosen Tagen.

Einflüsse auf das Wärmeträgermedium

Aufgrund immer höherer Stillstandtempe- raturen von Flach- und Vakuumröhren- Kollektoren ist die reversible Auflösbarkeit von Korrosionsschutz- Inhibitoren auf der Basis von Salzen nicht mehr gewährleistet. Es kann unter Umständen zu Verengungen der Rohrquerschnitte (mit einhergehender starker Verminderung der Kollektorlei- stung) bis hin zur Verstopfung der Strö- mungskanäle kommen. Aus diesem Grund wurde von Tyforop ein verbessertes Wärmeträgermedium entwickelt: „Tyfocor

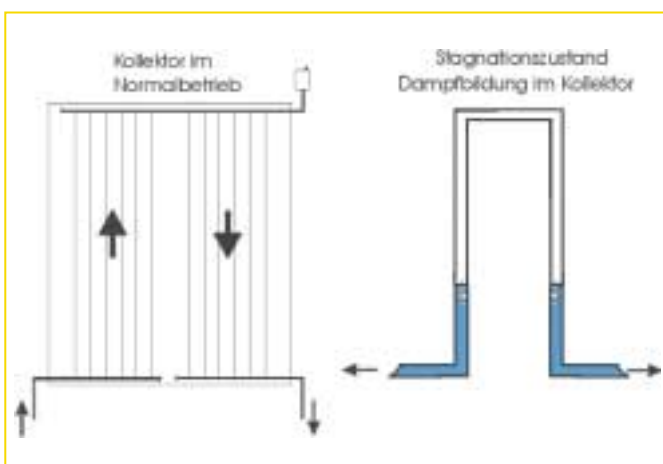


Bild 5 Kollektorentleerung nach unten ist möglich

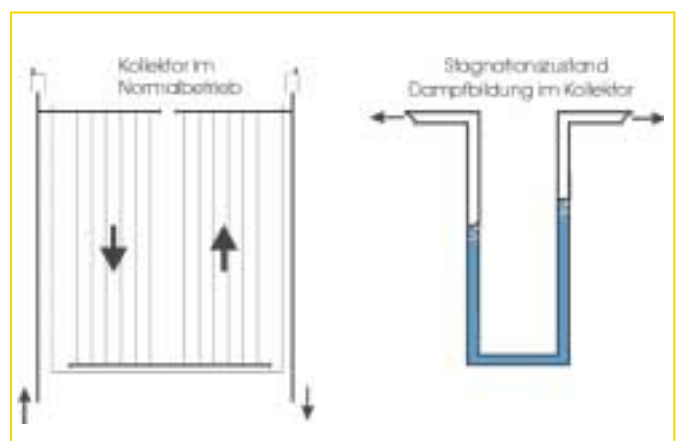


Bild 6 Kollektorentleerung nach unten ist nicht möglich – ständige Dampf- bildung im Stillstand

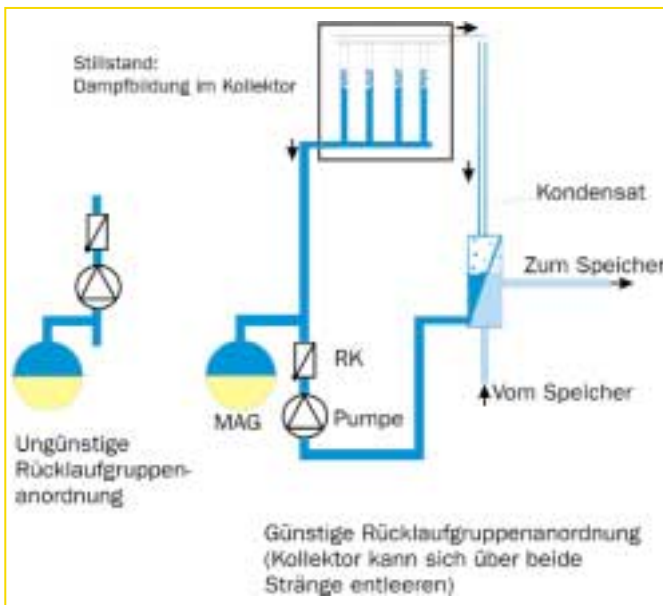


Bild 7 Anordnung der Rücklaufgruppe bei Standard-Solaranlagen

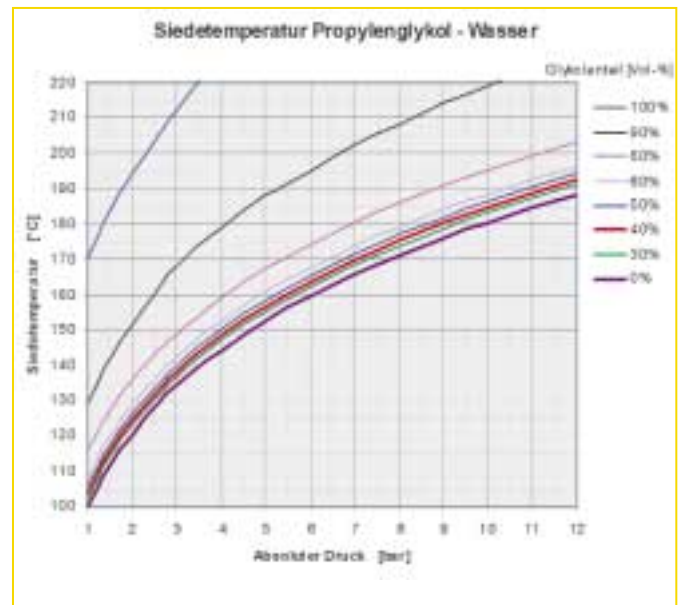


Bild 8 Siedetemperatur in Abhängigkeit vom Anlagendruck

LS“ besteht nur noch aus flüssigen Komponenten, die im Stillstand aus dem Kollektor verdampfen können. Durch Verwendung destillierten Wassers und durch Konzeption des Mediums als Fertigmischung konnte weiterhin auf den bisher als Feststoff vorliegenden Härtestabilisator verzichtet werden. Dieses Medium setzt Solvis als Präventiv-Maßnahme seit 1998 in allen Kleinanlagen und seit 2001 auch konsequent bei allen Großanlagen ein. Zusätzlich bietet es den Vorteil, daß die Reserve-Alkalität etwa doppelt so hoch ist wie beim herkömmlichen Mittel, so daß die Lebensdauer des Wärmeträgermediums verlängert werden konnte.

Rasche Alterung vermeiden

In der Phase 4 (leerer Kollektor, überhitzter Dampf) treten die höchsten Absorbertemperaturen auf, im Rahmen des Projektes wurden im Flachkollektor bis zu 210 °C gemessen. Diese Temperaturen stellen für die in einem modernen Kollektor verwendeten Materialien keine Probleme dar. Eine Schädigung des Wärmeträgermediums kann jedoch erfolgen, wenn das Medium permanent Temperaturen von mehr als 200 °C ausgesetzt wird. Diese Temperaturen können u. a. dadurch erreicht werden, daß bei ungünstiger Kollektorkonstruktion größere Mengen an Restflüssigkeit dem Verdampfen ausgesetzt werden, so daß eine laufende Konzentrationssteigerung mit einem entsprechenden Anstieg der lokalen Siedetemperatur erfolgt. Dies kann dazu führen, daß die hochkonzentrierte Restflüssigkeit nicht mehr verdampft und somit

extrem lange hohen Temperaturbelastungen mit entsprechenden Alterungsvorgängen ausgesetzt ist. Kollektoren mit gutem Entleerungsverhalten minimieren diese Problematik.

Alterung beurteilen

Eine Alterung des Wärmeträgermediums kann an folgenden Kennzeichen beurteilt werden:

- Dunkelfärbung
 - Geruchsentwicklung
 - Abfall von Reserve-Alkalität und pH-Wert
 - erhöhter Inhibitor-Verbrauch
 - Bildung von Ablagerungen durch Verdampfungsrückstände/Zersetzungsprodukte
- Sinkt der pH-Wert unter 7, sollte das Medium gewechselt werden.

Anlagen-Druckerhöhung

Ein weiterer Diskussionspunkt beim Thema „Stillstandsverhalten“ ist die sogenannte „Druckerhöhung“. Durch Wahl des Systemdrucks werden folgende Kennpunkte des Systems festgelegt:

- (a) den Beginn des Siedens in Phase 2 und damit, bei welcher Temperatur der Kollektor (mehr oder weniger) entleert wird – also das Wärmeträgermedium aus dem heißen Bereich entfernt wird (Bild 8)
- (b) die Temperatur des Sattdampfes, der nun in Phase 3 entsteht (Leersieden des Kollektors) und u.U. bis zu den Sicherheitsbaugruppen am Speicher gelangt
- (c) die Häufigkeit des Auftretens des „in Stillstand gehen“ der Anlage.

Um die Temperaturbelastungen nach (a) und (b) gering zu halten, sollte ein niedriger Systemdruck gewählt werden. Andererseits ist für die Häufigkeit (c) ein hoher Druck sehr günstig. Dieser kann bei den im mitteleuropäischen Raum üblichen Systemdrücken jedoch ein Sieden nicht ganz vermeiden. Erfahrungen aus Schweden, wo mit extrem hohen Anlagendrücken Dampf-bildung vermieden und somit sehr kleine Ausdehnungsgefäße eingesetzt werden konnten, zeigen, daß der Wärmeträger dort bereits nach kurzer Zeit starke Veränderungen aufwies.

Bei höherem Systemdruck sinkt die Zahl der Stillstandsstunden für die Anlage, aber die Temperatur, die in diesen wenigen Stunden dann auf das Medium einwirkt, ist wesentlich höher – so daß die Alterung des Mediums trotzdem beschleunigt wird. Nebenbei treten in diesen Stunden u. U. (abhängig vom Entleerungsverhalten des Kollektorfeldes) wesentlich höhere Temperaturen im System auf, die zu weiteren Schädigungen an Komponenten führen können.

Vergleich Röhre/Flachkollektor

Im Rahmen des Projektes wurden parallel an verschiedenen Anlagen Alterungsuntersuchungen durchgeführt. Um die Ergebnisse besser miteinander vergleichen zu können, wurde von folgender Annahme ausgegangen: Im wesentlichen wird nur derjenige Teil des Fluids belastet, der im Absorber steht. Das bedeutet, daß auch das Verhältnis des Volumens des Absorbers zum Gesamtvolumen der Anlage einen

Einfluß auf die Abnahme der Reserve-Alkalität haben sollte. Aus Bild 9 läßt sich ableiten, daß die Alterung bei Röhrenkollektoren deutlich schneller erfolgt als bei Flachkollektoren.

Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß alle Ergebnisse zu Vakuumröhrenkollektoren von reduzierten Systemen (mit häufigerer Verdampfung) und alle Ergebnisse zu Flachkollektoren von Feldanlagen (mit weniger häufiger Verdampfung, weil sie im Betrieb waren) stammen. Aus diesen Ergebnissen resultieren neue Fragestellungen für weitere Untersuchungen, die aber nicht mehr im Projekt vorgenommen werden konnten.

Druckstöße und Kondensatschläge

Im Verlauf des Stillstandsprozesses einer Solaranlage können mitunter Druckstöße beobachtet werden. Es wurde vermutet, daß diese Stöße eventuell auch zu einem Ansprechen des Sicherheitsventils führen könnten. Messungen im Rahmen dieses Forschungsprojektes zeigten jedoch, daß die kurzzeitigen Druckstöße, die während der Sattdampfphase und der Phase mit überhitztem Dampf auftreten, in ihrer Amplitude nicht ausreichen (etwa maximal $\pm 0,1$ bar), um ein Ansprechen des Sicherheitsventils zu verursachen.

Die Art der Leitungsführung hat auf die Entstehung von Kondensationsschlägen einen bedeutenden Einfluß. Insbesondere längere horizontale Rohrstücke (wahrscheinlich) oder Rohrsenken (sicher) wurden als Ursache von Druckschlägen erkannt. In Rohrleitungen, die unter Dampf stehen und die

nicht mit Wärme beaufschlagt sind, kondensiert Dampf und ein geringer (je nach Dämmung) andauernder Flüssigkeitsstrom fließt nach unten ab. In horizontalen Rohrbereichen und insbesondere in Rohrabsenkungen wird sich diese Flüssigkeit ansammeln und bei längerem Verlauf zum Einschließen von Dampfbereichen führen. Eingeschlossene Dampfbereiche kondensieren weiter und verursachen Dampfschläge (siehe Bild 10). Auch das Entleerungsverhalten der Kollektoren spielt hier eine Rolle. Sind mehrere schlecht entleerende Kollektorfelder vorhanden, so kann sich eine Dampfkreisströmung einstellen. An den Verzweigungspunkten der Rück- bzw. Vorlaufleitung wird es dann beim Wiederbefüllen zu Mischungen Flüssigkeit/Dampf mit entsprechenden Dampfschlägen kommen.

Dimensionierung des Ausdehnungsgefäßes

Die üblichen Dimensionierungsrichtlinien für das Ausdehnungsgefäß gehen von der Annahme aus, daß im Stagnationsfall Dampf nur innerhalb des Kollektors vorhanden ist und vergrößern dieses Dampfvolumen aus Sicherheitsgründen um 10 % (Aufschlag für etwas Dampf außerhalb des Kollektors). Des weiteren wird die Flüssigkeitsdehnung durch Erwärmung mit 10 % des Anlagenvolumens berücksichtigt.

Um ein Ansprechen des Sicherheitsventils sicher zu vermeiden, ist bei der Dimensionierung des Ausdehnungsgefäßes anstelle des pauschal angenommenen 1,1fachen Kollektorstadiums das gesamte, sich maximal einstellende Dampfvolumen in Rech-

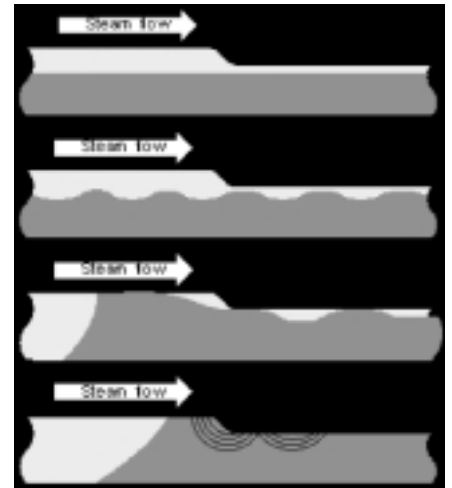


Bild 10 Entstehung von Kondensationsstößen in waagerechten Rohrleitungen durch Einschluß von Dampfbereichen [1]

nung zu stellen. Dieses entspricht im Idealfall (sich schnell entleeres Kollektorfeld mit idealer Leitungsführung zum Speicher) mindestens dem Volumen oberhalb „Unterkante Kollektor“; i. d. R. fallen damit die Kollektorfeld-Verbindungsleitungen mit in das zu berücksichtigende Volumen.

Läßt sich diese ideale Entleerung jedoch nicht garantieren, kann das sich maximal einstellende Dampfvolumen wesentlich größer sein als die üblicherweise angenommenen 10 %. Daher schlägt Solvis bei der Berechnung des Dampfvolumens die Kollektor-Verrohrung grundsätzlich mit zu berücksichtigen und mit einem Sicherheitsaufschlag von 40 % für das gesamte Dampfvolumen zu rechnen (zusätzlich zur Flüssigkeitsdehnung durch Erwärmung).

Stillstand kann nicht vermieden werden

Aus dem oben dargestellten Zusammenhängen lassen sich u. a. folgende Aussagen zusammenfassend ableiten:

- Heutige Flachkollektoren erreichen Stillstandstemperaturen bis über 200 °C, so daß selbst bei einem erhöhten Anlagendruck der Stillstand nicht vermieden wird (Beispiel: der notwendige Systemdruck, um ein Sieden erst ab 200 °C zuzulassen, beträgt ca. 17 bar)
- Stillstand kann auch bei einem Fehler im System auftreten: Regelung oder Pumpe defekt, Stromausfall etc.
- Drainback-Systeme:
 - können nicht in allen Anlagenverhältnissen montiert werden
 - bergen bei fehlerhafter Rohrverlegung Risiken: Zerstörung bei Frost

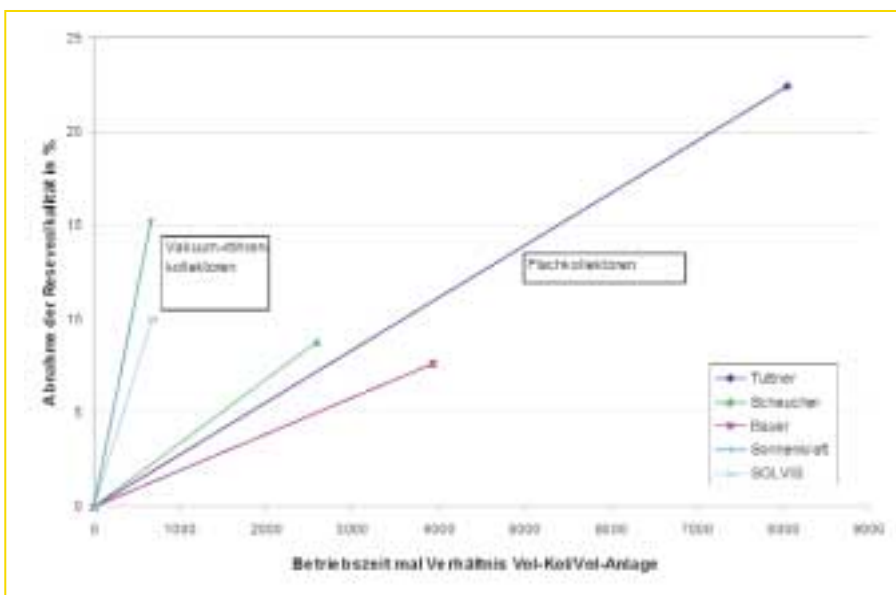


Bild 9 Vergleich der Alterung des Wärmeträgermediums bei verschiedenen Anlagenkonfigurationen

- lassen sich nicht mit Low-Flow-Technik kombinieren
- Stillstand durch aktive Bauteile reduzieren ist aufwendig:
 - zusätzliche Kosten für Ventile, Regelungsausgänge etc.
 - zusätzliche Energiekosten für Pumpen
- geringere solare Systemerträge bei aktiver Kühlung des Speichers
- Aufheizen der Kellerräume wird von Kunden nicht akzeptiert
- Die Solvis-Systeme sind so konstruiert, daß sie mit dem „Stillstand als normalem Betriebszustand“ klar kommen und nicht in ihrer Haltbarkeit beeinträchtigt werden:
 - Reduzierung der Stillstandtemperatur durch einen niedrigen Systemdruck (max. 4 bar). Dadurch geht die Anlage zwar relativ „früh“ in Stillstand, aber dafür werden die Komponenten eben nur mit einer niedrigen Dampftemperatur in Kontakt

gebracht. Auch das Medium selbst erreicht nur niedrigere Temperaturen. Von den nach dem Leerdrücken des Kollektors auftretenden hohen Temperaturen des überhitzten Dampfes sind nur einige ml des Mediums betroffen.

- Einsatz eines Solarmediums, das speziell für höhere Temperaturen ausgelegt ist und dessen Additive mit dem Medium verdampfen
- Einsatz von hochtemperatur-beständigen Materialien in den betroffenen Anlagenkomponenten des Kollektorkreises (z.B. Dichtungen etc.)
- Durchströmung des Kollektors so, daß er sich im Stillstand schnell und komplett entleert (leerdrückt)
- Anordnung der empfindlicheren Komponenten hinter dem Solarwärmetauscher, wo kältere Mediumtemperaturen herrschen

Quellen:

- [1] M. Rommel: Final Report: Stagnation Technology for thermal solar systems (01.01.1999 to 31.12.2000)
- [2] Robert Hausner, Christian Fink: Stagnation behaviour of thermal solar systems, Eurosun 2000
- [3] Konrad Lustig, Matthias Rommel, Dirk Stankowski: Experimental Research of stagnation in solar thermal systems, Eurosun 2000



Dipl. Ing. Thomas Krause

war nach seinem Maschinenbaustudium zunächst Entwicklungsingenieur im Solvis Labor und anschließend Systemtechniker für den Bereich Speicher-, Brennwert- und Regelungstechnik. Solvis, 38112 Braunschweig, Telefon (05 31) 28 90 40, Telefax (05 31) 2 89 04-52, www.solvis.de