

MODULAR AUFGEBAUTER WARMWASSERSPEICHER MIT POLYMER-ABDICHTUNGSBAHN FÜR GROßE SOLARTHERMISCHE ANLAGEN

Claudius Wilhelms, Katrin Zaß, Klaus Vajen, Ulrike Jordan
Institut für Thermische Energietechnik
Universität Kassel
Kurt-Wolters-Str. 3, D-34109 Kassel
Tel.: +49 (561) 804 2675
wilhelms@uni-kassel.de

1 Einleitung

Der fossile Energiebedarf für die Beheizung insbesondere von Bestands-Wohngebäuden kann u.a. durch den Einsatz einer groß dimensionierten solarthermischen Anlage zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung deutlich gesenkt werden. Die Anlagengröße solcher so genannter Kombisysteme für den Einfamilienhausbereich ist häufig durch die Größe des einzubringenden Solar-Pufferspeichers begrenzt. Schon bei Speichervolumina ab 1 m³ stoßen konventionelle Stahl-Warmwasserspeicher bei der Installation an ihre Grenzen. Um jedoch hohe solare Deckungsraten mit diesen Anlagen erzielen zu können, bedarf es deutlich größerer Speicher. Je nach Gebäude-Dämmstandard lassen sich solare Deckungsraten von über 50 % bei einer Kollektorfläche von 35 m² und einem Speichervolumen von 10 m³ erzielen /Drück04/. Speicher in dieser Größenordnung werden üblicherweise aufwändig vor Ort geschweißt /Röpke07/ oder es werden mehrere Einzelspeicher kaskadiert. Dies bringt Nachteile bzgl. Kosten, Montage und Fehleranfälligkeit mit sich.

Um die Realisierung großer solarthermischer Kombianlagen zu erleichtern und gleichzeitig die Kosten solcher Systeme zu senken, wird seit Januar 2007 im Rahmen eines BMU-geförderten Forschungsvorhabens ein leicht zu montierender, kostengünstiger und leistungsfähiger Warmwasserspeicher in der Größenordnung von 3 bis 30 m³ entwickelt. Neben der Anwendung im Einfamilienhausbereich eignet sich der Speicher ebenso für große Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung für Mehrfamilienhäuser und Nichtwohngebäude.

Sowohl in Labor- als auch Feldversuchen werden Prototypen des modularen Speichers die Funktionstüchtigkeit des Konzepts unter Beweis stellen; Abb. 1 zeigt einen ersten Labor-Prototypen.



Abb. 1: Labor-Prototyp des modularen Speichers, aus /Wilh05/

2 Anforderungen an die Konstruktion

Um sowohl eine einfache Einbringung als auch eine hohe Leistungsfähigkeit zu erreichen, werden bei der Konstruktion des modularen Speichers die funktionalen Einheiten „Wasserdichtigkeit“, „Formstabilität“ und „Wärmedämmung“ getrennt. Die Wasserdichtigkeit wird über eine polymere Abdichtungsbahn sichergestellt und die Formstabilität mit einer Metall-Rahmenkonstruktion gewährleistet. Als Wärmedämmung kommen Wandelemente mit einer Polyurethan-Hartschaum-Füllung zum Einsatz.

2.1 Anforderungen an die Kunststoff-Abdichtungsbahn

Zur Erfüllung der Funktion „Wasserdichtigkeit“ ist ein flexibler Behälter vorgesehen, der aus polymeren Abdichtungsbahnen konfektioniert wird. Die wichtigsten Anforderungen an die Dichtungsbahnen sind im Folgenden aufgeführt.

2.2 Temperaturbeständigkeit

Mittels dynamischen Simulationen (TRNSYS 16.1) werden Temperaturverlaufprofile im Solarspeicher erstellt. Abb. 2 zeigt ein typisches Temperaturprofil im Jahresverlauf sowie die wichtigsten Simulationsparameter. Die mittlere Temperatur im oberen Teil des Speichers beträgt $74,3^{\circ}\text{C}$, im unteren Teil $59,3^{\circ}\text{C}$. Hinsichtlich der Materialauswahl wird 95°C als Maximaltemperatur sowie 75°C als Dauergebrauchstemperatur festgelegt.

| | |
|-----------------------------|--------------------------|
| Simulationsdauer | 8760 h (1 Jahr) |
| Zeitschrittweite | 6 min |
| Standort | Zürich |
| Gebäudefläche | 145 m ² |
| Endenergiebedarf | 14.400 kWh/a |
| $\eta_{\text{Nachheizung}}$ | 0,85 |
| Kollektorfläche | 20 m ² |
| Ausrichtung | Süd |
| Neigungswinkel | 45° |
| Speichervolumen | 10 m ³ |
| U-Wert Dämmung | 0,2 W/(m ² K) |

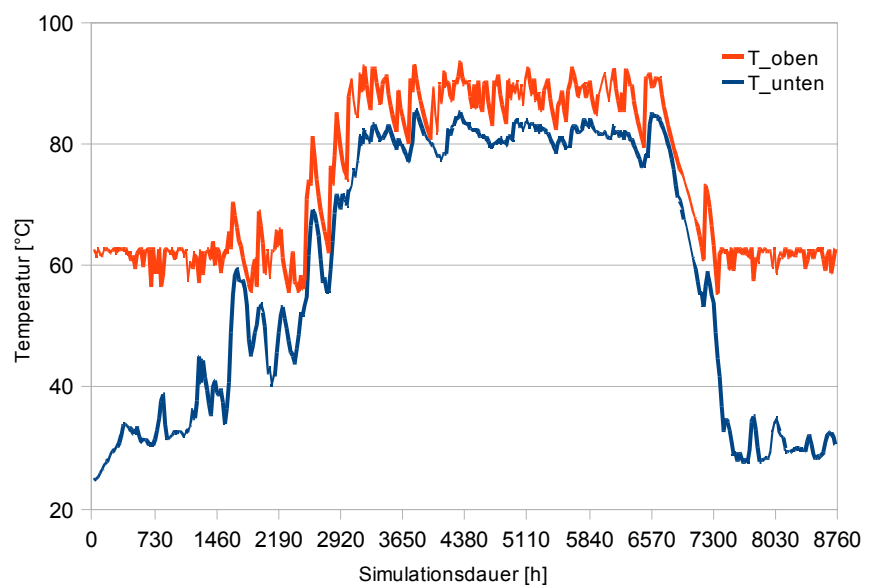


Abb. 2: Jährlicher Temperaturverlauf im oberen und unteren Teil eines Pufferspeichers vom 1. Januar bis 31. Dezember. In der Tabelle links sind die wichtigsten Simulationsparameter aufgeführt.

2.3 Mechanische Festigkeit

Hinsichtlich einer mechanischen Beanspruchung wird der flexible Behälter derart dimensioniert, dass rechnerisch keine Zugkräfte im Material auftreten; eine statische Belastung ist allein über den hydrostatischen Druck des Speicherwassers gegeben. Spannungsspitzen in der Folie können allerdings bei der Montage, in den Eckbereichen des Behälters und an Befestigungsstellen auftreten und sind entsprechend zu berücksichtigen.

2.4 Wasserdampfdiffusionsdichtigkeit

Polymer-Abdichtungsbahnen weisen, im Gegensatz zu Stahl oder Aluminium, stets eine gewisse Gasdurchlässigkeit auf. Insbesondere der Transport von Wasserdampf aus dem Behälter heraus ist unerwünscht, da hierdurch Bauteile beschädigt, Teile der Dämmung durchfeuchtet und Funktionen beeinträchtigt werden können. Die Wasserdampfdiffusionsdichtigkeit verschiedener Abdichtungsbahnen aus Polyolefinen und Elastomeren wurde in /Ochs05/ untersucht. Es hat sich gezeigt, dass neben hoch diffusionsdichten (aber sehr teuren) Kunststoffen wie ETFE oder PVDF kein auf dem Markt verfügbarer Kunststoff die geforderte Wasserdampfdiffusionsdichtigkeit aufweist. Hier ist Entwicklungsbedarf bei der Folienherstellung erforderlich.

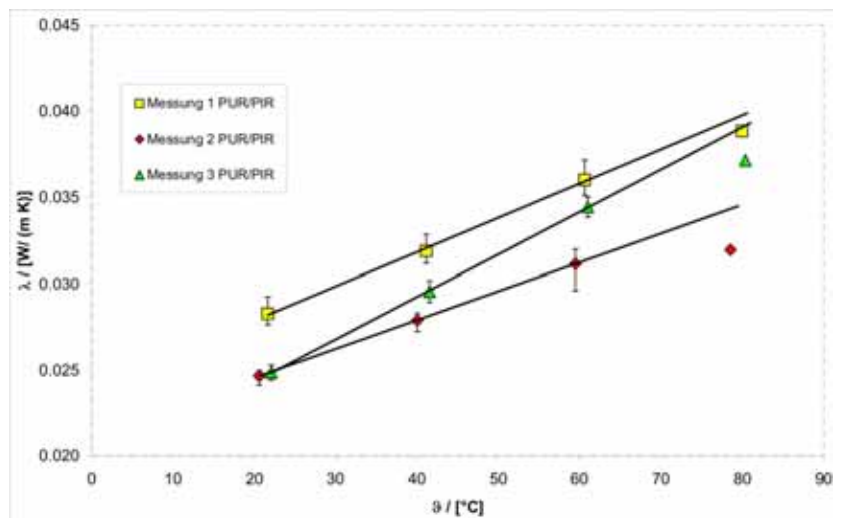
2.5 Langzeitbeständigkeit

Bei der Auswahl des Polymers ist die Langzeitbeständigkeit ein wichtiges Kriterium. Bei einer Nutzungsdauer des Speichers von mindestens 20 Jahren ist es erforderlich, verlässliche Vorhersagen über das Alterungsverhalten treffen zu können. Im Rahmen des IEA Task 39, „Polymeric Materials for Solar Thermal Applications“, /Köh106/, werden verschiedene Untersuchungen durchgeführt, die insbesondere das Alterungsverhalten verschiedener Folien im Langzeitversuch näher untersuchen. Ziel ist es, bei den Alterungstests den Einbauzustand der Kunststoffbahnen im modularen Speicher möglichst praxisnah abzubilden und die Ergebnisse mit anderen Auslagerungsversuchen zu vergleichen, z.B. /Brown01, Groß84/.

3 Anforderungen an die Wärmedämmung

Bei großen Solarspeichern mit Saisonalcharakter treten zwar durch das vergleichsweise niedrige A/V-Verhältnis nur relativ geringe Wärmeverluste auf, eine hochwertige Dämmung um den Speicherbehälter ist allerdings unverzichtbar, um die thermische Energie hinreichend lange speichern zu können. Abb. 3 zeigt die Wärmeleitfähigkeit des verwendeten Wandmaterials. Die mittlere Wärmeleitfähigkeit des verwendeten PU-Hartschaums liegt mit $\lambda = 0,033 \text{ W/(mK)}$ rund 60 % unterhalb derer herkömmlicher Weichschaumdämmungen. Ziel bei der Konstruktion ist weiterhin, zusätzliche Wärmeverluste aufgrund von Wärmebrücken, Rohrleitungen und Anschlüssen zu minimieren.

Abb. 3:
Temperaturabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit der Wandelemente im Neuzustand (Messung 2) sowie nach einjähriger Alterung (Messung 1+3)

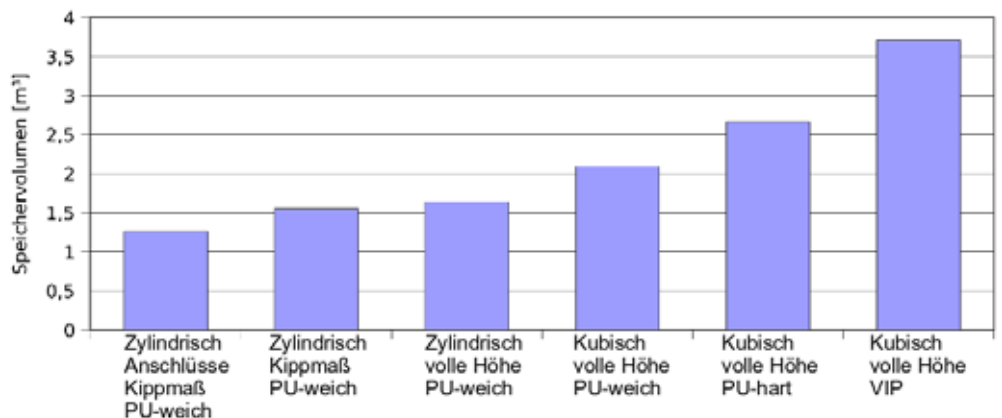


Messung: ITW Stuttgart

4 Nutzung des zur Verfügung stehenden Bauraums

Während bei konventionellen Solarspeichern in Druckbehälterbauweise der zur Verfügung stehende Raum durch die zylindrische Bauform nicht optimal ausgenutzt wird, ermöglicht der modulare Speicher durch seine kubische Geometrie und die hochwertige Wärmedämmung eine weitaus bessere Raumausnutzung. Dies führt zu einer effektiven Steigerung der Speicherdichte um ca. Faktor 2, siehe Abb. 4. Es zeigt sich, dass die Speicher-geometrie als auch die Wahl des Dämmmaterials großen Einfluss auf die Raumausnutzung haben. Beim Einsatz von Vakuuminisulationspaneelen kann die Speicherdichte sogar rund um Faktor 3 gesteigert werden.

Abb. 4:
Realisierbares Speichervolumen durch Veränderungen von Bauhöhe, Geometrie und Dämmqualität bei 2 m^2 verfügbarer Fläche und 2 m Raumhöhe.



$U_{\text{PU-weich}} = 0,55 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
 $U_{\text{PU-hart}} = 0,33 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

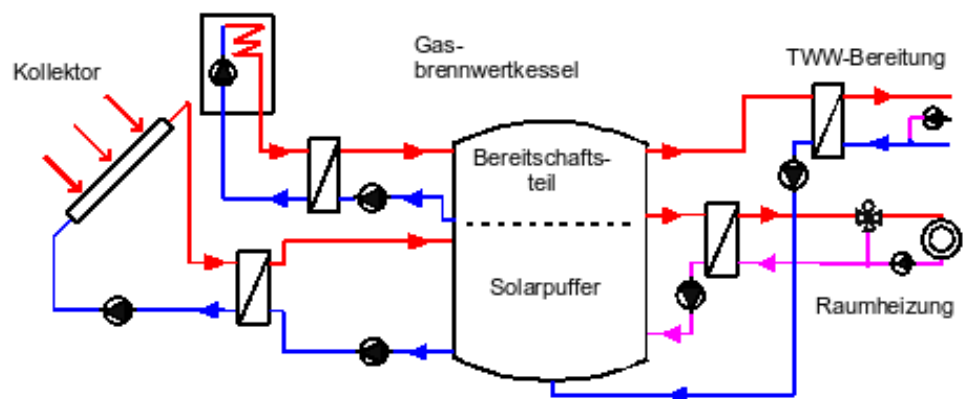
Untersuchungen zu Beladestrategien /Zaß07/ haben gezeigt, dass der Systemnutzen durch eine Mehrzonenbeladung und/oder Schichtbeladeeinrichtung bei großvolumigen Speichern nicht signifikant ist und deshalb keine erhöhten Kosten rechtfertigt. Auch bei dem modularen beschriebene Speicherkonzept wird daher auf Einrichtungen dieser Art verzichtet, was zudem der Einfachheit und Überschaubarkeit des Systems zugute kommt.

5 Hydraulische Einbindung

Bedingt durch die kubische Bauform und die verwendeten Materialien ist eine Druckbeaufschlagung des modularen Speichers nicht möglich. Bei der Anbindung des Speichers an Kollektorkreis, Heizkreis und Trinkwarmwasserkreis müssen deshalb jeweils Wärmeübertrager eingesetzt werden. Dies hat gewisse Nachteile hinsichtlich Anlagenwirkungsgrad und Kosten. Andererseits ist das Wärmeträgermedium, welches sich im Speicher befindet, separiert und kann keine Schäden in der Peripherie verursachen wie z.B. Sauerstoffeintrag in Heizkreise und damit verbundene Korrosion oder Verschmutzungen durch den Transport von abgelagerten Partikeln im Speicher. In Abb. 5 ist beispielhaft ein Hydraulikschema dargestellt. Bei großen Solaranlagen zur reinen Trinkwassererwärmung ist die indirekte Einbindung von Pufferspeichern ohnehin Stand der Technik und benötigt somit keine Anpassung der Systemtechnik.

Nach /Por06/ verursacht der Wärmeübertrager zwischen Kollektorkreis und Speicher, der die Medien Glykol und Heizungswasser trennt, deutlich größere solare Leistungseinbußen als die Wärmeübertrager zu Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung. Ein mittelfristiges Ziel könnte also sein, drucklose Speicher mit selbstentleerenden, kostengünstigen Kollektoren aus Polymerwerkstoffen zu kombinieren, um auf den Kollektorkreis-Wärmeübertrager verzichten zu können /Wal06, Weiß07/.

Abb. 5:
Denkbare hydraulische Einbindung eines drucklosen Speichers in ein Kombisystem mittels externer Wärmeübertrager für die einzelnen Kreise.



6 Literatur

- /Brown01/ **Brown R.P., Butler T., Hawley S.W.**, (2001), Ageing of Rubber - Accelerated Heat Aging Test Results, Rapra Technology Limited, Shawbury (UK)
- /Drück04/ **Drück H., Weidemann W., Müller-Steinhagen H.**, (2004), Advanced Storage Concepts for Solar Combisystems, Proceedings Eurosun 2004, Freiburg
- /Groß84/ **Großkurth K.P.**, (1984), Langzeitmaterialuntersuchungen für den Langzeit-Wärmespeicher Prototyp Wolfsburg, BMFT-Forschungsbericht zum Vorhaben 03E-8325-A, Braunschweig
- /Köhl06/ **Köhl M.**, (2006), Polymere Materialien für Solarthermische Systeme, Erneuerbare Energie 4-2006, Österreich
- /Ochs05/ **Ochs F.**, (2005), Sachstandsbericht zum Projekt „Weiterentwicklung der Erdbecken-Wärmespeichertechnologie“, Stuttgart
- /Peus02/ **Peuser F.**, (2002), Große Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung, BINE Informationsdienst, Karlsruhe
- /Por06/ **Poretti M.**, (2006), Direct Feed Flow Controlled Solar Combisystem with Non-pressurized Storage: a Simulation Case , Diplomarbeit ETHZ Zürich, Institute of Energy Technology
- /Röpke07/ **Röpke I.**, (2007), Wie der Großspeicher in den Keller kommt, Sonne Wind & Wärme 12/2007, S. 70
- /Wal06/ **Wallner G.M., Lang R. W.**, (2006), Kunststoffe-Neue Möglichkeiten in der Solarthermie, Erneuerbare Energie 2-2006, AEE-Intec, Österreich
- /Weiß07/ **Weiß K.-A.**, (2007), Polymeric Materials for Solar Thermal Collectors – A Feasibility Study, Proceedings of the 3rd European Solar Thermal Energy Conference, Freiburg
- /Wilh05/ **Wilhelms C.**, (2005), Theoretische und experimentelle Untersuchung neuartiger Konzepte zur Warmwasserspeicherung für thermische Solaranlagen, Diplomarbeit, Universität Kassel, FB Maschinenbau
- /Zaß07/ **Zaß K., Wilhelms C., Jordan U., Vajen K.**, (2007), Influence of Different Charge and Discharge Strategies on the Performance of Medium-sized Solar Combisystems , Proc. ISES Solar World Congress, Peking