

Pufferspeicher in Modulbauweise mit bis zu 50 m³ Speichervolumen

C. Wilhelms, K. Vajen, K. Zaß, R. Heinzen, U. Jordan
Universität Kassel, Institut für Thermische Energietechnik, D-34109 Kassel
Tel.: +49 561 / 804-3890, www.solar.uni-kassel.de, solar@uni-kassel.de

1. Stand der Technik

Bei der Vermarktung großer solarthermischer Anlagen mit Kollektorflächen von 20 m² und mehr setzt die zur Zeit verfügbare Speichertechnologie Grenzen hinsichtlich Umsetzbarkeit, Skalierbarkeit und Wirtschaftlichkeit. Insbesondere bei der Installation in Bestandsbauten sind Speichervolumina von mehr als 1 m³ nur mit großem Aufwand umsetzbar. Als Stand der Technik haben sich vier Technologien im Bereich der Warmwasserspeicher etabliert:

Speicher-kaskade aus Einzeltanks. Zwar lässt sich die Einbringung bei der Verschaltung mehrerer Einzelspeicher sehr einfach realisieren, der Verrohrungsaufwand vor Ort ist allerdings erheblich. Insgesamt sind Speicher-kaskaden wegen der Kosten, der thermischen Verluste und auch wegen des benötigten Raumbedarfs als eher ungünstig einzustufen, vgl. /Wilh08/.

Monolithische Stahl-Großspeicher. Für die Installation solcher Großspeicher sind bei Bestandsbauten in der Regel umfangreiche Umbaumaßnahmen am Gebäude erforderlich, die hohe Kosten verursachen.

Ortsgeschweißte Stahltanks. Ortsgeschweißte Stahltanks weisen eine hohe Flexibilität bei der Anpassung des Speichers an Kundenwünsche auf. Solche Speicher können zylindrisch oder quaderförmig ausgeführt werden und werden meist drucklos betrieben. Eine individuelle Anpassung der Speichergeometrie, z.B. an Kellerhöhen, ist möglich. Nachteilig allerdings sind der vergleichsweise hohe Montageaufwand, die Betriebssicherheit und die Lebensdauer solcher Lösungen. Häufig werden Speicher dieser Bauart zudem unzureichend wärmege-dämmt.

Ortslami-nierte Pufferspeicher aus glasfaserverstärkten Kunststoffen. Diese Technologie ermöglicht z.B. nach /Haas09/ eine komfortable Einbringung großer Solarpufferspeicher. Speicher dieser Bauweise werden zylindrisch ausgeführt, können im Gegensatz zu den ortsgeschweißten Stahltanks den Bauraum also nicht optimal ausnutzen.

2. Modularer Pufferspeicher

Im Rahmen eines BMU-geförderten Forschungsvorhabens¹ wurde ein neuartiger Pufferspeicher entwickelt, der durch günstige Nutzung des vorhandenen Bauraums, sehr einfache Einbringung und niedrige Herstellungskosten die Marktentwicklung großer solarthermischer Systeme deutlich voranbringen könnte. Konzeptionell wird der Speicheraufbau in seine drei wesentlichen Funktionen „Wasserdichtigkeit“, „Thermische Isolation“ und „Mechanische Stabilität“ zerlegt. Für diese einzelnen Funktionen werden im Folgenden Lösungen diskutiert, siehe auch /Wilh05/, die sowohl eine kubische Speichergeometrie als auch im Vergleich zu den in Kapitel 1 beschriebenen Speichertechnologien eine deutlich vereinfachte Montage ermöglichen.

2.1. Funktion „Wasserdichtigkeit“

Zur Abdichtung des modularen Pufferspeichers werden zwei Konzepte vorgeschlagen. Beide müssen den thermischen und funktionalen Anforderungen im Langzeiteinsatz genügen. Als Grundlage für die Materialauswahl wurde 95°C als Maximaltemperatur sowie 75°C als Dauergebrauchstemperatur festgelegt. 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 und Teile der Dämmung durchfeuchtet werden können. Im Rahmen des IEA-SHC Task 39, „Polymeric Materials for Solar Thermal Applications“ /Köhl06/, wurde ein Prüfstand entwickelt, mit dem die Wasserdampfdiffusionsraten von einer Reihe von Materialien und deren Alterungsverhalten im Milieu „Wasser/Luft“ untersucht werden. Die Alterungsuntersuchungen werden Ende 2009 abgeschlossen sein. Abb. 1 zeigt die

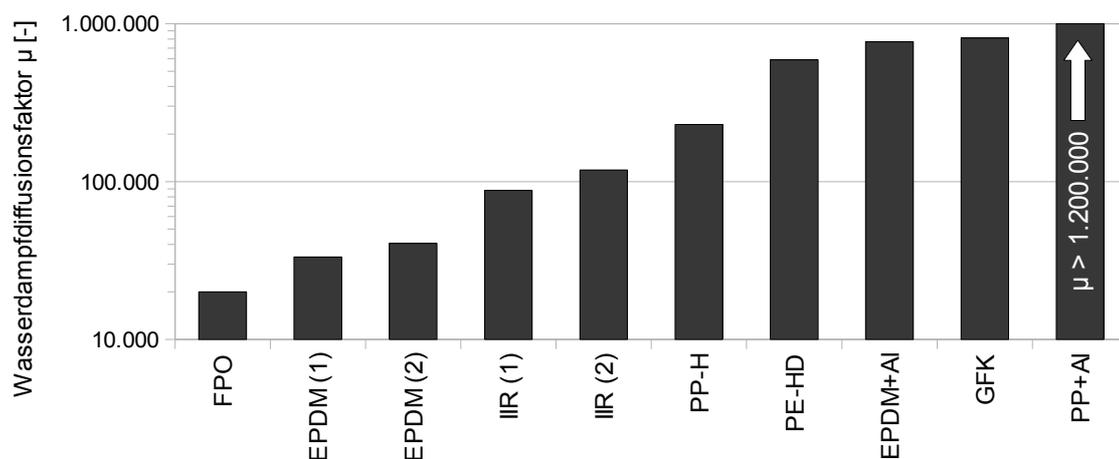


Abb. 1: Wasserdampfdiffusionsfaktor μ verschiedener Polymere, eigene Messungen

1 „Solarthermie2000plus: Theoretische und experimentelle Untersuchungen großer kostengünstiger Solarspeicher in Mehrkomponentenbauweise“, FKZ 0329284A

Ergebnisse der bisher durchgeführten Diffusionsmessungen. Als besonders geeignet für die Abdichtung wurden ein vulkanisierter flexibler Kautschukbehälter, siehe Abb. 2, sowie eine Abdichtung aus PP-H Platten identifiziert. Beide Systeme eignen sich hervorragend für den Aufbau eines modularen Pufferspeichers und bieten spezifische Vor- und Nachteile, die in Tab. 1 aufgeführt sind. Der wesentliche Unterschied der beiden Abdichtungstechniken besteht in den unterschiedlichen Montagestrategien: Während der flexible Behälter im Werk vorkonfektioniert werden kann, ist die PP-H Abdichtung aus Einzelplatten vor Ort herzustellen.



Abb. 2: Flexibler Kautschukbehälter bei einer Dichtheitsprüfung (links), Behälter mit 5 m³ Speichervolumen und Anschlüssen (rechts)

Tab. 1: Vor- und Nachteile der untersuchten Abdichtungstechnologien

	Elastomer (EPDM/IIR)	PP-H
Max. Dauergebrauchstemperatur	90..110° C	90..100° C
Wasserdampfdichtigkeit	niedrig (ohne Dampfsperre)	sehr hoch
Preis Rohmaterial (Platte 2 mm)	3..7 €/m ² (ohne Dampfsperre)	3..5 €/m ²
Konfektionierung	Vulkanisation ab Werk	Extrusions- bzw. Überlappschweißen vor Ort
Dichtigkeitsprüfung	Im Werk (ohne Anbauteile), Gasdichtprüfung	Im Einbauzustand (Funkenprüfung)
Reparaturfähigkeit vor Ort	schwierig	gut möglich
Einbauten in Speicher möglich	schwierig	gut möglich
Begehbarkeit des Speichers	nein	ja

2.2. Funktion „Thermische Isolation“

Bei großen Saisonal-Pufferspeichern 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. Es kommen sog. Sandwichplatten zum Einsatz, welche beidseitig mit Stahl-Deckschichten versehen sind. Die mittlere Wärmeleitfähigkeit des verwendeten PU-Hartschaums liegt nach Messungen am ITW Stuttgart mit $\lambda = 0,033 \text{ W/(mK)}$ rund 60 % unterhalb derer herkömmlicher Weichschaumdämmungen. Bei der Konstruktion der Speicherhülle wurden weiterhin zusätzliche Wärmeverluste aufgrund von Wärmebrücken, Rohrleitungen und Anschlüssen minimiert.

2.3. Funktion „Mechanische Stabilität“

Der flexible Behälter bzw. die Auskleidung kann derart konstruiert werden, dass theoretisch keine Zugkräfte im Material auftreten; eine statische Belastung ist allein über den hydrostatischen Druck des Speicherwassers gegeben. Spannungsspitzen in der Folie bzw. Platte können allerdings bei der Montage, in den Eckbereichen des Behälters und an Befestigungsstellen auftreten und sind entsprechend zu berücksichtigen. Die mechanische Stabilität kann durch einen Käfig aus Stahl-Einzelrahmen realisiert werden, welcher vor Ort verschraubt würde. Durch entsprechende Fertigungsabläufe kann ein solcher Rahmen zentimetergenau an die gegebene Raumhöhe angepasst werden. Dieser Rahmen ist formgebend für den Speicher und dient als Aufnahme für die verwendeten Dämmpaneele, welche durch ihre Sandwichbauweise eine hohe Eigensteifigkeit aufweisen und die Flächenlast innerhalb der Rahmenkonstruktion abfangen. An diesen Rahmen können nach Fertigstellung des Speichers Peripheriekomponenten und Rohrleitungen befestigt werden.



Abb. 3: Rahmenkonstruktion des modularen Pufferspeichers, teilweiser Aufbau

3. Hydraulische Anbindung

Eine hydraulische Einbindung des drucklos betriebenen Speichers wäre beispielsweise durch den Einsatz einer ebenfalls an der Universität Kassel entwickelten Be- und Entladestation möglich /Zaß09/. Eine hydraulische Trennung der druckbeaufschlagten Kreise vom Speicher wird hier durch externe Plattenwärmeübertrager realisiert. Kommt eine PPH-Abdichtung zum Einsatz, können problemlos ebenso interne Wärmeübertrager wie z.B. Edelstahlwellrohre verwendet werden.

4. Praxistauglichkeit

In Feldtests wurde die Praxistauglichkeit der Konstruktion und insbesondere der Montage bereits nachgewiesen. Selbst unter äußerst widrigen Einbringungsbedingungen, siehe Abb. 4, ließ sich ein $4,2\text{ m}^3$ -Speicher der modularen Bauart installieren. Im Funktionstest mit mehreren hydraulischen Kreisen befindet sich ein weiterer Speicher bei Fa. Wagner & Co. Solartechnik in Kirchhain, siehe Abb. 5.



Abb. 4: Einbringung des Speichers ($4,2\text{ m}^3$) in einem Bestandsgebäude: Beengter Zugang zum Kellerraum (l.), niedrige Raumhöhe (m), realisierter Speicher mit optimaler Raumausnutzung (r.)



Abb. 5: Modularer Pufferspeicher im Feldtest (Fa. Wagner & Co. Solartechnik, Kirchhain)

5. Vermarktung

Das vorgestellte Speicherkonzept wird von der Firma FSAVE Solartechnik GmbH, einer Ausgründung aus der Universität Kassel, seit Januar 2009 vermarktet. Die Serienproduktion wurde ab März in Betrieb genommen. Der Verkaufspreis des Speichers wird je nach Speichergröße bei 350 bis 1.200 €/m³ (Endverbraucherpreis zuzügl. MwSt.) liegen.

6. Ausblick

Drucklose, modulare Speicher bieten gegenüber den marktverfügbaren Speichertechnologien Vorteile bei Einbringung, Raumausnutzung und Anlagenkosten. Bei der Optimierung der hydraulischen Anbindung an druckführende Systeme sowie der Be- und Entladung von größeren Pufferspeichern im allgemeinen bestehen noch weitere Kostensenkungspotentiale.

7. Literatur

- /Haas09/ **Haase GFK-Technik GmbH**, (2009), Produktinformationen Wärmespeicher T400, <http://www.ichbin2.de/waermespeicher.html>, Stand Februar 2009
- /Köhl06/ **Köhl, M.**, (2006), Polymere Materialien für Solarthermische Systeme, Erneuerbare Energie 4-2006, Österreich
- /Wilh05/ **Wilhelms C.**, (2005), Theoretische und experimentelle Untersuchung neuartiger Konzepte zur Warmwasserspeicherung für thermische Solaranlagen, Diplomarbeit, Universität Kassel, FB Maschinenbau
- /Wilh08/ **Wilhelms C., Vajen K., Zaß, K. Jordan U.**, (2008), Serienschaltung von Solarspeichern – eine sinnvolle Systemtechnik ?, Tagungsbericht 18. Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein, 23.-25.04.08, S. 290-295
- /Zaß09/ **Zaß K., Wilhelms C., Vajen K., Jordan U.**, (2009), Entwicklung kompakter Be- und Entladestationen in Modulbauweise für große Kombispeicher, Tagungsbericht 19. Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein, 6.-8.5.09