

Große Pufferspeicher für nachhaltiges Heizen mit erneuerbaren Energien

Wärme aus Solarenergie und Biomasse effizient speichern

Dr. Katrin Zaß, M.Sc., Dipl.-Ing. Claudius Wilhelms, Dipl.-Ing. Roland Heinzen

Co-Autor: Prof. K. Vajen, Universität Kassel

In modernen, energieeffizienten Heizungssystemen für Wohngebäude und Industrie ist der Einsatz von großen Wärmepufferspeichern mit 1 m³ Wasservolumen und mehr unerlässlich. Sie ermöglichen erst den effizienten und verbreiteten Einsatz von energiesparenden und klimafreundlichen Techniken wie Solarthermie, Holzheizkesseln, Wärmepumpen oder Blockheizkraftwerken. Bisherige Speichertechnologien stoßen dabei aber an ihre Grenzen. Oberhalb von ca. 1 m³ wird die Einbringung von Speichern konventioneller Bauweise in bestehende Gebäude zur logistischen Herausforderung. In der Not werden oft Speicherkaskaden installiert, mit denen aber effiziente Raumausnutzung, hochwertige Wärmeisolierung und gute thermische Schichtung nicht erreichbar sind. An der Universität Kassel wurde, gefördert vom BMU, 2007 bis 2010 ein Mehrkomponentenspeicher entwickelt, mit dem bereits große Fortschritte bei der Bewältigung dieser Hindernisse erzielt werden konnten.



Abb.1: Passgenaue Installation eines FLEXSAVE-Speichers

Im Folgenden werden Anforderungen an große Pufferspeicher und mögliche technische Lösungen beschrieben, die für eine weitere Verbreitung effizient arbeitender ökologischer Heizsysteme von hoher Bedeutung sind.

Im Folgenden werden Anforderungen an große Pufferspeicher und mögliche technische Lösungen beschrieben, die für eine weitere Verbreitung effizient arbeitender ökologischer Heizsysteme von hoher Bedeutung sind.

EINBRINGUNG INS GEBÄUDE

Die meisten Heizungssysteme werden in Bestandsgebäuden realisiert. Die einfache Einbringung des Pufferspeichers in bestehende Gebäude mit lichten Breiten um die 80 cm muss im Fokus einer effizienten Pufferspeicherlösung stehen. Hier bieten vor Ort gefertigte bzw. modular aufgebaute Speicher große Vorteile gegenüber der bisher immer noch durchgeführten Installation mehrerer kleiner Einzel tanks. Diese können in Einzelteilen

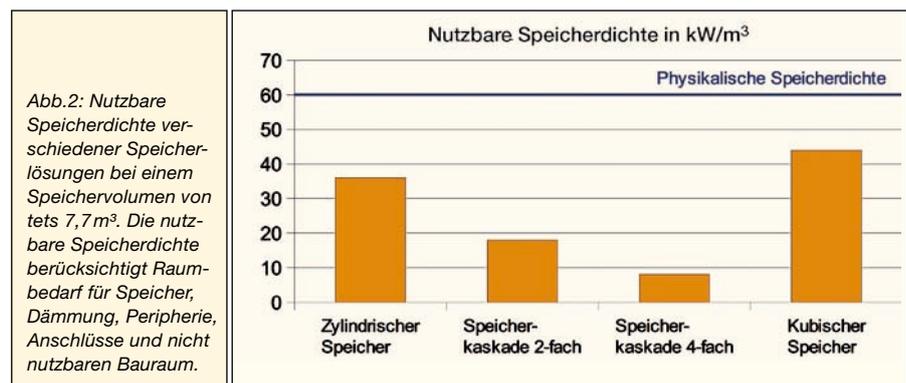
zerlegt problemlos an den Montageort transportiert werden.

Auch die Belastung des Montagepersonals ist wesentlich reduziert, da selbst die schwersten Teile eines modularen Pufferspeichers deutlich unter 50 kg wiegen.

EFFIZIENTE RAUMAUSNUTZUNG

In der Regel ist der für große Speicher verfügbare Bauraum begrenzt.

Auf den ersten Blick vielversprechend erscheint hier der Einsatz alternativer Speichermedien mit einer höheren physikalischen Speicherdichte als Wasser



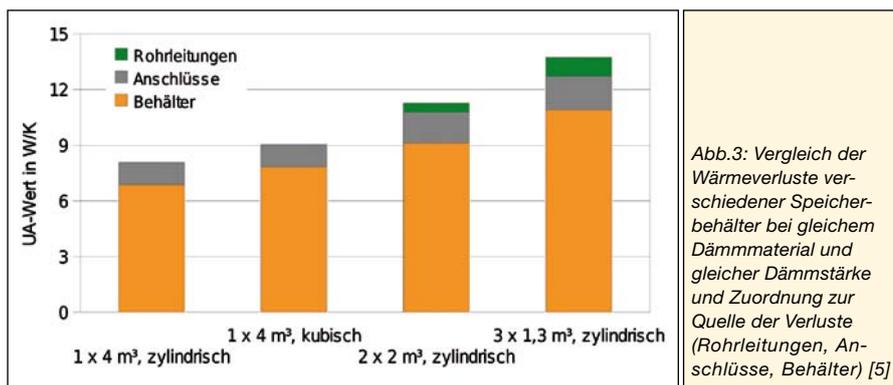


Abb.3: Vergleich der Wärmeverluste verschiedener Speicherbehälter bei gleichem Dämmmaterial und gleicher Dämmstärke und Zuordnung zur Quelle der Verluste (Rohrleitungen, Anschlüsse, Behälter) [5]

(ca. 60 kW/m³). Als Alternative wird seit Jahren der Einsatz von Materialien zur Latentwärmespeicherung (z.B. Salzhidrathate, Paraffine) mit physikalischen Energiedichten bis 120 kWh/m³ oder zur thermochemischen Speicherung (z.B. Metallhydride, Silikageele, Zeolithe) mit physikalischen Energiedichten von 200 kWh/m³ bis 500 kWh/m³ intensiv erforscht. Diese Technologien sind bis heute nicht verfügbar und bilden ebenfalls nur einen Teil der Lösung.

Zusätzlich zu berücksichtigen ist, dass das Volumen des Speichermediums selbst nur einen Teil des Raumbedarfs ausmacht. Hinzu kommt der notwendige Raum für Behälter, Wärmedämmung, Be- und Entladestation, Verrohrung, sowie nicht nutzbaren Bauraum aufgrund der Geometrie des Speichers (z.B. zylindrischer Speicher). Die nutzbare Speicherdichte üblicher Speicherkonfigurationen liegt deutlich unter der physikalischen Speicherdichte. Es zeigt sich,

dass die nutzbare Speicherdichte eines kubischen Speichers, der den Raum optimal ausnutzt, um etwa einen Faktor 5 über der einer 4-fach-Kaskade aus zylindrischen Speichern liegt, s. Abb.2.

HOCHWERTIGE WÄRMEDÄMMUNG

In fast allen Anwendungsgebieten thermischer Speicher sind niedrige Wärmeverluste des Speichers an seine Umgebung entscheidend für Funktionstüchtigkeit und Wirtschaftlichkeit. Besonders bei solarthermischen Kombianlagen ist für die Erreichung hoher Deckungsgraden eine Speicherung von Wärme über Wochen oder gar Monate erforderlich. Dann muss ein Dämmmaterial mit geringster Wärmeleitfähigkeit zum Einsatz kommen. Heutzutage üblicherweise verwendete Weichschäume können diese Anforderungen nicht erfüllen. Neben der Wärmedämmung des Behälters ist auch die Vermeidung von Wärmebrücken (z.B. über metallische Standfü-

Erneuerbare Energien jetzt nutzen, messen und abrechnen

Nachhaltige Energiemanagement Services von ista

- Geothermie
- Solaranlagen
- Blockheizkraftwerke inklusive Stromverteilung



ße) und die möglichst gute Isolation der Rohranschlüsse am Speicher wichtig. Insbesondere bei einer Kaskadenschal-



Abb.4: Einbringung der Betonhülle eines erdvergrabenen Pufferspeichers.

tung von Einzelspeichern können die Wärmeverluste durch die zahlreichen Anschlüsse und Rohrleitungen drastisch zunehmen (s. Abb.3).

GUTE THERMISCHE SCHICHTUNG

Für den effizienten Betrieb von Solar Kollektoren, Wärmepumpen oder Holzheizkesseln und zwecks Erreichung einer hohen (und möglichst konstanten) Nutztemperatur sind der Aufbau und die Aufrechterhaltung einer thermischen Schichtung innerhalb des Speichers von Bedeutung.

In früheren Untersuchungen wird beispielsweise gezeigt, dass eine signifikante Verbesserung des Schichtverhaltens mit für die Anwendung angepassten Beladetassen und -rohren möglich ist ^[1]. Desweiteren gilt es Speicheranschlüsse, die durch direkte Einströmung be- oder entladen werden, beispielsweise durch Prallplatten zu vermindern und Vermischungen zu verhindern. Auch über die Speicherwand wird Wärme von den warmen zu den kalten Schichten des Speichers transportiert. Eine Speicherwand mit geringer Wärmeleitfähigkeit, also z.B. aus Kunststoff statt Stahl, ist daher von Vorteil. Ein Höhe-zu-Durchmesser-Verhältnis des Speichers von zwei bis drei begünstigt weiterhin das Schichtungsverhalten. Bei Großspeichern, die nach-

träglich beispielsweise in Kellerräume installiert werden, liegt dieses Verhältnis wegen der begrenzenden Deckenhöhe meist deutlich niedriger, zum Teil unter eins. Dieser Umstand wirkt sich zwar nachteilig auf das Schichtungsverhalten aus, jedoch sind die Wärmeverluste durch die kompaktere Bauform geringer und je besser der Speicher gedämmt ist, desto geringer ist der Einfluss des Höhe-zu-Durchmesser-Verhältnisses auf die Schichtung des Speichers, s.Abb.3.

HYDRAULISCHE EINBINDUNG

Bei der Realisierung großer Speichervolumina kommen immer häufiger auch drucklose Konzepte zum Einsatz. Vorteil eines drucklosen Speichers ist, dass kein Ausdehnungsvolumen für die große Wassermenge notwendig ist und somit Kosten- und Platzeinsparungen entstehen.

Allerdings erfordert es eine Systemtrennung zu druckbehafteten Teilen der Heizungsinstallation. Dies ist im Solar- oder Wärmepumpenkreis und zur hygi-

enischen Erwärmung des Trinkwassers ohnehin üblich. In den hydraulischen Kreisen der Raumheizung und des Kessels sind zusätzliche Wärmeübertrager vorzusehen.

In einigen Fällen können Kessel zwar auch drucklos an einen Pufferspeicher angeschlossen werden, das Angebot geeigneter Produkte ist bislang allerdings noch gering. Eine nahe liegende, aber kostenintensive Lösung ist hier der Einsatz zusätzlicher externer Wärmeübertragerstationen, die zusätzlich erforderliche Umwälzpumpe erhöht allerdings den elektrischen Energiebedarf und Wartungsaufwand. Einfacher und kostengünstiger ist der Einsatz interner Wärmeübertrager aus Kupfer- oder Edelstahlwellrohr.

STAND DER TECHNIK UND NEUE ENTWICKLUNGEN

Zur Realisierung großer Speichervolumina mit Wasser als Speichermedium werden im Wesentlichen sechs Technologien angeboten:



Abb.5: Aufbau des FLEXSAVE-Speichers vor Ort

Speicher-kaskade aus zylindrischen Einzeltanks

Zwar lässt sich die Einbringung bei der Verschaltung mehrerer Einzelspeicher sehr einfach realisieren, der Verrohrungs-aufwand vor Ort ist allerdings erheblich. Insgesamt sind Speicher-kaskaden wegen der Kosten, der thermischen Ver-luste und auch wegen des hohen Raum-bedarfs als ungünstig einzustufen.

werden meist drucklos betrieben. Eine individuelle Anpassung der Speicher-geometrie, z.B. an Kellerhöhen, ist möglich. Nachteilig allerdings sind der vergleichs-weise hohe Montageaufwand, die Be-triebssicherheit und die Lebensdauer solcher Lösungen (Korrosion des Stahl-blechs im drucklosen Betrieb). Leider werden Speicher dieser Bauart zudem häufig unzureichend wärme-gedämmt.

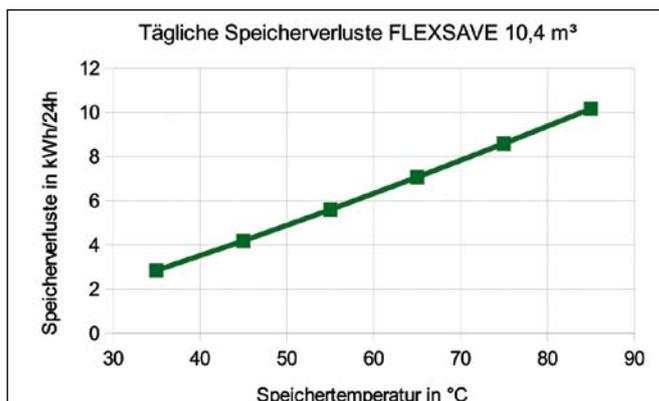


Abb.6: Speicher-verluste eines 10,4 m³ - FLEXSAVE-Speichers bei einer Raumtemperatur von 15°C

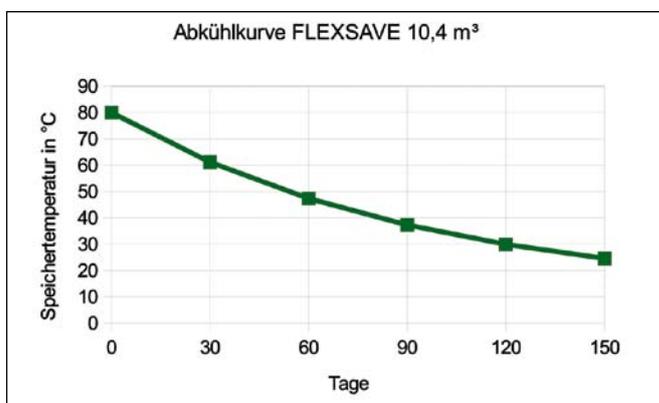


Abb.7: Abkühlkurve eines 10,4 m³ - FLEXSAVE-Speichers

Monolithische Stahl-Großspeicher

Für die Installation solcher Großspeicher sind bei Bestandsbauten in der Regel umfangreiche Umbaumaßnahmen am Gebäude erforderlich. Für Neubauten bieten Sie eine gute Lösungsmöglichkeit.

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

Ortslamierte Pufferspeicher aus glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK)

Diese Technologie ermöglicht eine komfortable Einbringung großer Solarpufferspeicher. Speicher dieser Bauweise werden zylindrisch ausgeführt und meistens drucklos betrieben. Die Montage dieser Speicher geschieht über Einbringung aufgerollter glasfaserverstärkter Kunststoffbahnen, welche z.B. im Kellerraum aufgestellt werden. Durch Laminieren vor Ort werden die Bahnen abgedichtet und mit Boden und Decke verbunden.

simplex

Energiesparbox mit Bedienkomfort



- Flexible Rücklauf-temperatur
- Volumenstrom-regulierung
- Individuelle Programmierbarkeit
- Integrierbarkeit in verschiedene Schalter-serien mit DIN-Einbaurahmen
- Elegantes Design
- Zuschüsse vom Staat bei Installation eines energiesparenden Thermostats

Spielend leichte Handhabung, sichere Verbindungen, flexibler Einsatz. Wir bieten Ihnen Produktlösungen mit System – für höchsten Komfort.

Simplex Armaturen & Systeme GmbH
Isnyer Straße 28
88260 Argenbühl / Eisenharz
Tel. +49 7566 9408-0



www.simplex-armaturen.de

Erdreichvergrabene Pufferspeicher

Eine besonders elegante Lösung zur Unterbringung eines großen Speichers ist das Erdreich. Abb.4 zeigt einen erdreichvergrabenen Speicher, der am Institut für Solarenergieforschung Hameln/Emmerthal entwickelt wurde. Hier ist die Raumausnutzung relativ unerheblich; der Speicher kann großzügig dimensioniert werden.

Die Erwärmung des umliegenden Erdreichs kann sich positiv auf die Speicherkapazität auswirken, andererseits ist bei grundwasserführenden Schichten eine Auskühlung kaum zu vermeiden.

DAS FLEXSAVE-KONZEPT: DER RECHTECKIGE KUNSTSTOFF-SPEICHER

Um die aufgeführten Probleme mit großen Wärmespeichern in Bestandsbauten überwinden zu können, wurde im Auftrag des Bundesumweltministeriums an der Universität Kassel ein neuartiges modulares Speicherkonzept entwickelt. Dieses Speicherkonzept wurde von der Fa. FSAVE Solartechnik zur Marktreife gebracht und wird seit 3 Jahren von ihr produziert und installiert.

Über die konstruktiven Vorteile hinaus erreicht dieses Konzept durch den Einsatz kostengünstiger Materialien und eine vereinfachte Einbringung in Gebäude sogar noch Kostenvorteile gegenüber herkömmlichen Stahlspeichern.

Speicherform

Zur Erreichung einer maximalen Raumausnutzung wurde der FLEXSAVE Speicher als quaderförmiger und in seinen Außenabmaßen variabler Pufferspeicher konzipiert. Bis auf wenige Zentimeter kann der Speicher bis an die umlaufenden Wände und die Decke heran gebaut werden und erreicht auf diese Weise die maximal mögliche nutzbare Speicherdichte. Abb.5 zeigt wie passgenau sich der Speicher in Innenräume fügt.

Speichervolumina und Speicherabmessungen

Die Pfosten- und Riegelkonstruktion des Speichers erlaubt die Realisierung von

Einzel speichern mit Volumina von 1,5 bis 150 m³ bis zu einer Höhe von 5 m.

Durch Anpassung des Konzepts sind aber auch Volumina bis 300 m³ realisierbar. Abb.1 zeigt einen 20 m³ Pufferspeicher.

Einbringung

Unabhängig vom Speichervolumen beträgt die Breite des größten Bauteils, welches in das Gebäude eingebracht werden muss, nur 60 cm. Damit ist der einfache Zugang in nahezu alle Bestandsgebäude gegeben. In Abb.5 ist die Einbringung und Montage an einem Fallbeispiel dargestellt.

Wärmedämmung

Als Wärmedämmung werden dickwandige Polyurethan-Hartschaumplatten der WLG 025 eingesetzt (Abb.5, Schritt 3). Die Paneele verfügen mit einem U-Wert von 0,12 W/(m² K) bei 200 mm Dämmstärke über äußerst hochwertige Dämmeigenschaften.

Durch eine konsequente Minimierung von Wärmebrücken, durch formschlüssige Verschäumung des Behälters sowie Eliminierung gut wärmeleitender Teile im Bereich von Wanddurchführungen, Behälterwandungen etc. sind Speicherverluste von unter 6 W/K erreichbar (bei einem Speichervolumen von 10 m³). In der Abb.6 und Abb.7 werden die Speicherverluste pro Tag und die Abkühlkurve eines 10,4 m³-Puffers dargestellt.

Man erkennt, dass auch schon ein 10 m³-Pufferspeicher 30 Tage lang eine Temperatur von mehr als 60°C (ohne Entnahme) erhalten kann.

Die kubische Form des Speichers bringt nicht nur den Vorteil durch ein geringes Verhältnis von Oberfläche zu Volumen, sie erlaubt darüber hinaus auch eine Installation von Vakuuminisationspaneelen (VIPs). VIP-Dämmung hat eine nochmals um den Faktor 10 geringere Wärmeleitfähigkeit als PU-Dämmung.

Die Kombination dieser Komponenten und die kubische Form des Speichers ergibt daher ein fortschrittliches Dämmkonzept mit äußerst geringen Wärmeverlusten.

Wasserdichtigkeit

Für eine dauerhafte Wasserdichtigkeit wird der Speicher mit Kunststoffplatten aus Polypropylen-Homopolymer (PP-H) ausgekleidet. Dieser langjährig bewährte Werkstoff aus dem technischen Behälterbau für die chemische Industrie ist dauerbeständig bei 95°C. Die PP-H-Platten werden mittels speziell entwickelter Fügetechnik verschweißt (Abb.5, Schritt 4). Die Dichtigkeit der Auskleidung wird vor der Befüllung des Speichers nochmals mit hochfrequenter Funkenprüftechnik und speziellen Vakuumglocken geprüft.

Thermische Speicherschichtung

Vorgegeben durch die Geometrie des Installationsraumes ist das Höhe-zu-Durchmesser-Verhältnis häufig kleiner 1 und somit ungünstig für eine gute thermische Speicherschichtung. Der große Speicherraum und die Verwendung von Kunststoff bieten jedoch einen großen Spielraum für die Einbringung von Schichtlanzen, Prallplatten und Verteilerbalken, mit deren Hilfe eine Durchmischung des Speichers verhindert und der Aufbau einer Schichtung erreicht wird (Abb.5, Schritt 5). Diese Einbauten können individuell aus PP-Halbzügen angefertigt werden.

Eine weitere Ursache für die Durchmischung von Speichern, die vertikale Wärmeleitung entlang der Speicherwand, ist – anders als bei Stahlspeichern – durch den Einsatz von Kunststoffen praktisch nicht vorhanden.

FAZIT

Große Wärmepufferspeicher sind unerlässlich für den verbreiteten Einsatz von regenerativen Heiztechnologien wie Solarthermie, Holzheizkesseln, Wärmepumpen oder Blockheizkraftwerken.

In den letzten Jahren wurden verstärkte Konzepte für großvolumige Wärmespeicher entwickelt und auf den Markt gebracht. Diese Konzepte wurden beschrieben und besonders hinsichtlich der identifizierten Anforderungen Einbringung, Raumausnutzung, Wärmedämmung, thermische Schichtung und hydraulische Einbindung betrachtet. Mit dem von der Universität Kassel entwi-

ckelten modularen Pufferspeicher von der Fa. FSAVE Solartechnik wurde außerdem ein Konzept vorgestellt, das praktisch alle Anforderungen erfüllen kann. Handlungsbedarf wird noch bei der hydraulischen Einbindung von drucklosen Speicherkonzepten gesehen. Hier können durch vermehrten Einsatz moderner Heizungstechnik (z.B. Fußbodenheizungen, drucklos betreibbare Kessel) Wärmeübertrager und somit Kosten eingespart werden.

Autoren

Dr. Katrin Zaß, M.Sc.

Dipl.-Ing. Claudius Wilhelms,

Dipl.-Ing. Roland Heinzen,

FSAVE Solartechnik, Kassel

Koautor: Prof. K. Vajen, Universität Kassel,

Institut für Thermische Energietechnik

www.fsavae.de

Fotos/Grafiken:

1 und 5: FSAVE Solartechnik

2 und 3: Universität Kassel

4: Institut für Solarenergieforschung

Hameln/Emmerthal (ISFH)

Anmerkung

[1] Göppert S., Lohse R., Urbaneck T., Schirmer U., Platzer B., Bühl J., Nilius A.: Solarthermie 2000plus – Weiterentwicklung und Optimierung von Be- und Entladesystemen für Tank- und Erdbeckenspeicher, BMU Forschungsbericht, 2008.

Literaturhinweise

[1] FIZ Karlsruhe (Hrsg.), Projektinfo 2/01: Thermochemische Speicher, Bine Informationsdienst, Bonn, 2001.

[2] Göppert S., Lohse R., Urbaneck T., Schirmer U., Platzer B., Bühl J., Nilius A.: Solarthermie 2000plus – Weiterentwicklung und Optimierung von Be- und Entladesystemen für Tank- und Erdbeckenspeicher, BMU Forschungsbericht, 2008.

[3] Lundh M., Zass K., Wilhelms C., Vajen K., Jordan U.: Influence of store dimensions and auxiliary volume configuration on the performance of medium-sized solar combisystems, Solar Energy, Jg. 84, H. 7, S. 1095–1102, 2010.

[4] Vajen K., Zaß K., Wilhelms C., Jordan U.: Verbundprojekt Solare Gebäudeheizung: Entwicklung kompakter Be- und Entladestationen in Modulbauweise für große Kombispeicher. Mitarbeit in dem Task 32 des IEA Solar Heating and Cooling Programm. Schlussbericht. Universität Kassel, Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik, Institut für Thermische Energietechnik. Kassel, 2009.

[5] Wilhelms C., Zass K., Vajen K., Jordan U.: Serienschaltung von Solarspeichern – eine sinnvolle Systemtechnik?, 18. Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein (DE), 23. - 25.4.2008 (S. 290-295).

[6] Wilhelms C., Zaß K., Vajen K., Jordan U.: Solarthermie2000plus: Theoretische und experimentelle Untersuchungen großer kostengünstiger Solarspeicher in Mehrkomponentenbauweise. Schlussbericht. Universität Kassel, Institut für Thermische Energietechnik. Kassel, 2011.

[7] Wilhelms, C., Zass, K., Vajen, K., Kerskes, H., Müller-Steinhagen, H.: Bewertung verschiedener Wärmespeicherkonzepte hinsichtlich ihres effektiven Raumbedarfs, Tagungsbericht 19. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, 06.05. bis 08.05.2009 (S. 276-281).