

# Serienverschaltung von Solarspeichern – eine sinnvolle Systemtechnik ?

C. Wilhelms, K. Vajen, K. Zaß, U. Jordan  
 Universität Kassel, Institut für Thermische Energietechnik  
 Kurt-Wolters-Str. 3, D-34109 Kassel  
 Tel.: 0561 / 804-3890, Fax: -3993  
 solar@uni-kassel.de  
 www.solar.uni-kassel.de

## Einleitung

Bei der Planung größerer solarthermischer Anlagen zur Trinkwassererwärmung oder mit kombinierter Heizungsunterstützung ist die sinnvolle Auslegung des Solarspeichers von zentraler Bedeutung. Ein Speichersystem muss nicht nur den Anforderungen der Solaranlage gerecht werden, es sind außerdem die räumlichen Begebenheiten in den Gebäuden zu berücksichtigen, in denen die Solartechnik installiert wird. Häufig ist die Einbringung großvolumiger Speicher aus Platzgründen nicht möglich. In der Praxis wird in den meisten Fällen auf Kaskadenschaltungen zurückgegriffen, das heißt die serielle, parallele oder kombinierte Verschaltung mehrerer kleiner Standardspeichers, siehe Abb. 1. Tab. 1 zeigt praxisübliche Kaskadenschaltungen und Speicherparameter, die auch als Grundlage der folgenden Untersuchungen dienen.



Abb. 1: Speicherkaskade (AEE INTEC 2002)

Tab. 1: Ausgewählte Speichersysteme und -parameter

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Speichertyp                    | Stahl-Pufferspeicher mit Bereitschaftsteil (0,3 m <sup>3</sup> )  |
| Speichervolumen                | 4 m <sup>3</sup>  |
| Kaskadenvarianten              | 1 x 4 m <sup>3</sup> , zylindrische oder kubische Bauform<br>2 x 2 m <sup>3</sup> , zylindrische Bauform<br>3 x 1,3 m <sup>3</sup> , zylindrische Bauform |
| Höhe des Speichers             | 2,1 m inkl. Dämmung   |
| Dämmstärke                     | 150 mm  |
| Wärmeleitfähigkeit der Dämmung | 0,055 W/(mK), PU-Weichschaum  |
| Anzahl der Anschlüsse          | 8 (seitlich am Speicher)  |

## Zur Verfügung stehender Bauraum

Bei der Installation größerer Speichereinheiten ist für den Endbenutzer neben dem nutzbaren Wasser-Speichervolumen das benötigte Bruttovolumen inkl. Dämmung und Armaturen von Bedeutung. Auch ungenutzter Bauraum durch ungünstige Geometrien ist dem Bruttovolumen zuzuordnen. Die Modifikation des vorhandenen Raumes durch Vertiefung des Bodens oder des Entferns von Wänden ist zwar möglich, jedoch technisch aufwändig und kostenintensiv. Der Raumbedarf verschiedener Speicherkonfigurationen wurde untersucht und verglichen. Abb. 1 zeigt den tatsächlichen Raumbedarf der untersuchten Speicherkonfigurationen. Es wird ersichtlich, dass das für die Aufstellung des Speichers benötigte Bauvolumen um bis zu einen Faktor 2,5 größer ist als das Wasser-Speichervolumen. Insbesondere das ungenutzte Volumen ist bei den zylindrischen Bauformen beträchtlich. Eine stärkere Dämmung der Einzelspeicher hätte thermische Vorteile, würde sich aber zusätzlich negativ auf die Raumausnutzung auswirken.

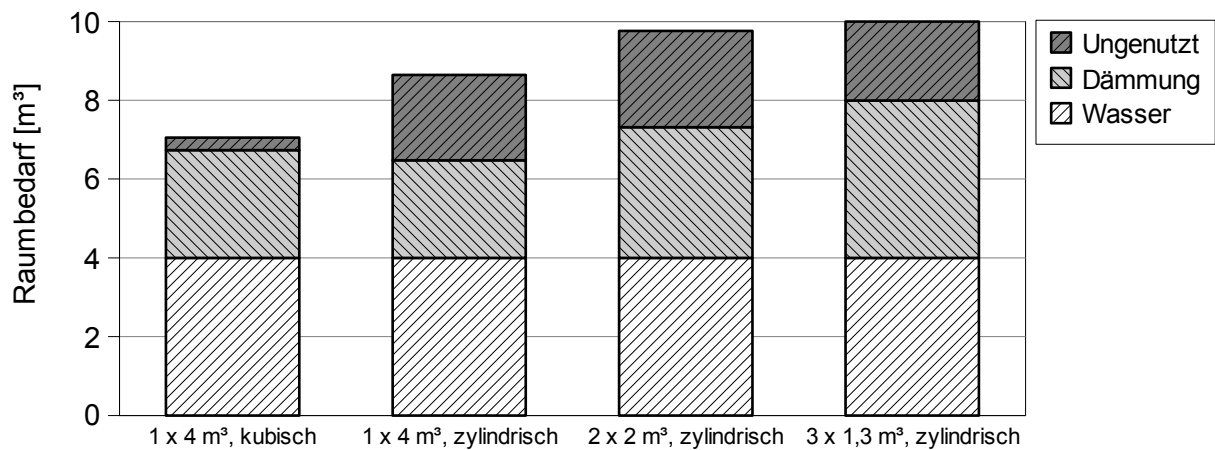


Abb. 1: Raumbedarf typischer Speicherkonfigurationen bei einem Speichervolumen von 4 m<sup>3</sup> und einer Raumhöhe von 2,2 m

## Wärmeverluste

Die Minimierung der Wärmeverluste des Solarspeichers über die Wandung ist besonders bei Anlagen wichtig, bei denen Warmwasser für mehrere Wochen oder Monate bereitgehalten wird. Auch bei kleineren Kombispeichern, die mit einem konventionell nachgeheiztem Bereitschaftsteil ausgestattet sind, wirken sich hohe Wärmeverluste negativ auf den Ertrag der Solaranlage aus. Bei vereinfachten Berechnungen der Wärmeverluste werden Wärmebrücken, Anschlüsse sowie Standfüße häufig nicht berücksichtigt, obwohl sie einen signifikanten Einfluss haben. Bei Speicherkaskaden sind weiterhin zusätzliche Verluste der Rohrleitungen zwischen den Einzelspeichern zu berücksichtigen. In Abb. 2 sind die Parameter für die einzelnen Wärmeverluste veranschaulicht, Abb. 3 zeigt die daraus resultierenden UA-Werte der ausgewählten Speicherkonfigurationen.

Abb. 2: Annahmen der Wärmeverluste am Speicher, Werte aus [1-5]

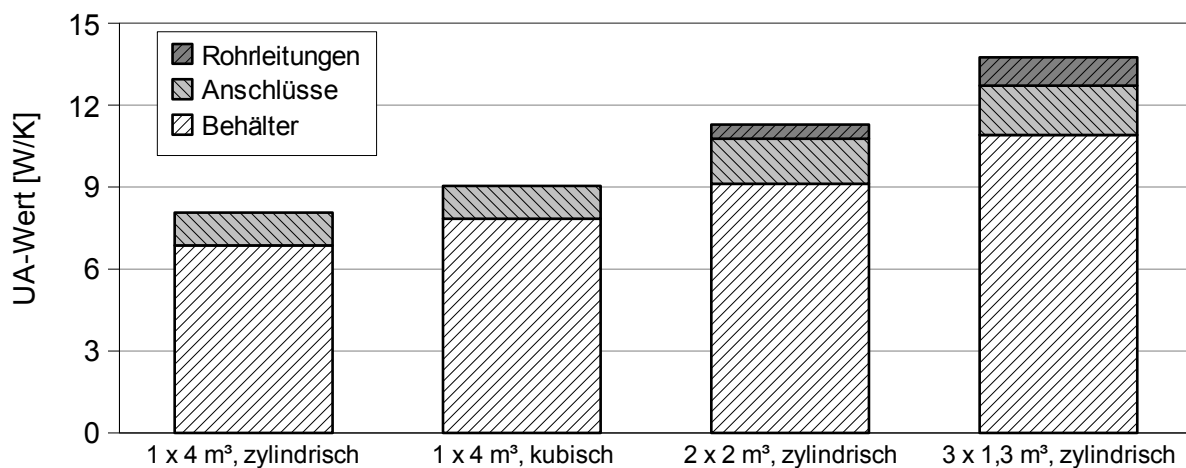
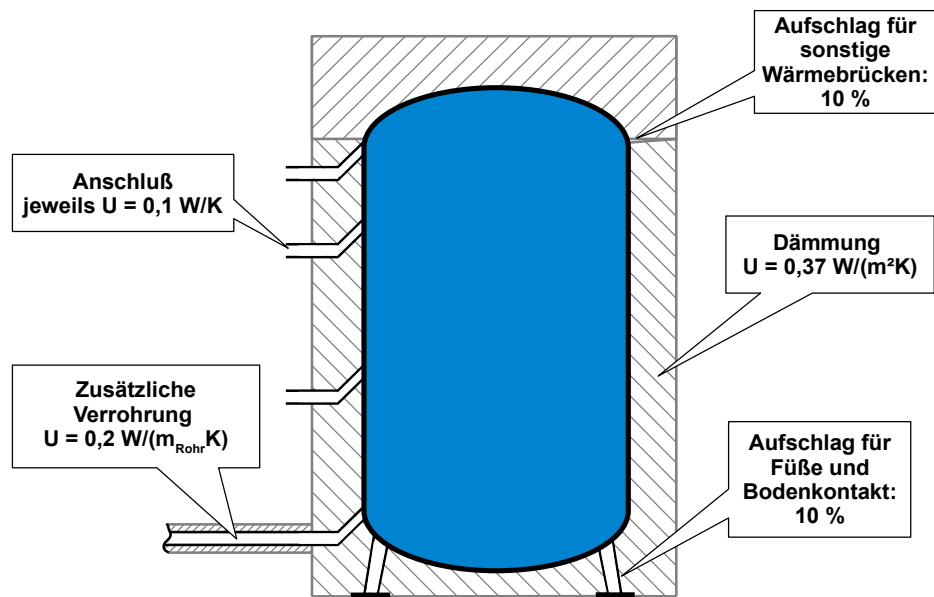


Abb. 3: UA-Werte der ausgewählten Speicherkonfigurationen

## Montageaufwand

Der Sinn von Speicherkaskaden ist, die Montage großer Speichervolumina überhaupt erst zu ermöglichen und, in Abgrenzung zu vor-Ort-geschweißten Lösungen die Montage zu vereinfachen. Die Einbringung gestaltet sich zumindest bei kleinen Einzelspeichern vergleichsweise komfortabel, der Verschaltungsaufwand vor Ort ist jedoch erheblich. Auch hier ist die Gefahr der fehlerhaften Montage im Vergleich zu Einzelspeichern groß. Die ökonomische Einbringung großer Einzelspeicher lässt sich ausschließlich mit der Verwendung alternativer Werkstoffe und der Entwicklung neuartiger Montagetechniken realisieren.

## Kosten

Zur Bestimmung der Kosten von Speicherkonfigurationen wurden Listenpreise namhafter Hersteller bzw. Anbieter von Standard-Pufferspeichern<sup>1</sup> bis 5 Kubikmetern recherchiert. Die zusätzlichen Montagekosten werden abgeschätzt, da diese Kosten von den örtlichen Randbedingungen abhängig sind. Weiterhin wird angenommen, dass für die Einbringung aller Speicher keinerlei Umbaumaßnahmen etc. vonnöten sind, was in der Realität nicht immer gegeben ist. Tab. 2 zeigt die umgerechneten Einzelkosten sowie die Endbenutzerkosten der Speicherkonfigurationen. Eine Kaskadenschaltung verursacht deutliche höhere Kosten als ein gleich großer Einzelspeicher, wenn dieser problemlos eingebracht werden kann.

Tab. 2: Gesamtkosten der Speicherkonfigurationen

| Speicher-konfiguration | Speicherkosten<br>[EUR] | Zusatzkosten<br>(Verrohrung)<br>[EUR] | Geschätzte Montagekosten<br>[EUR] | Endbenutzerkosten ohne MwSt<br>[EUR] |
|------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1 x 4 m <sup>3</sup>   | 3.850                   | 0                                     | 380                               | 4.230                                |
| 2 x 2 m <sup>3</sup>   | 4.460                   | 40                                    | 460                               | 4.960                                |
| 3 x 1,3 m <sup>3</sup> | 4.650                   | 80                                    | 910                               | 5.640                                |

## Systembetrachtungen

Zur Abschätzung der anteiligen Energieeinsparung  $f_{\text{sav,therm}}$  der jeweiligen Speicherkonfigurationen werden dynamische Jahressimulationen mit TRNSYS 16.1 durchgeführt. Für die Rechnungen wird „SOLAR-SDS Version 1.07“ verwendet, welches im Rahmen des IEA Task 32 „Advanced Storage Concepts for Solar and Low Energy Buildings“ [6] entwickelt wurde, siehe auch [7] und [8]. Die wichtigsten Parameter zeigt Tab. 3.

Das Speichervolumen wird mit 4 m<sup>3</sup> konstant gehalten, lediglich die Konfigurationen des Speichers ändern sich. Dies geschieht vereinfacht im Modell durch die Anpassung des

Tab. 3: Parameter für die Jahressimulationen

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Standort                     | Zürich   |
| Gebäude                      | 140 m <sup>2</sup><br>8.440 kWh/a                  |
| Heizsystem                   | 40/35, Brennwertkessel<br>( $\eta=0,85$ ), P=10 kW |
| Trinkwasserbedarf            | 200 l/d und 45°C<br>3.040 kWh/a                    |
| Primärenergiebedarf          | 14.270 kWh/a therm.                                |
| Kollektorfläche, -typ        | 20 m <sup>2</sup> , Flachkollektor                 |
| Ausrichtung, Neigung         | Süd, 45°   |
| Spez. Volumenstrom Kollektor | 15 l/(m <sup>2</sup> h)                            |
| Einspeisehöhe Kollektorkreis | 50 % der Speicherhöhe                              |
| Temperatur Bereitschaftsteil | 63°C   |
| Simulationsdauer             | 1 Jahr   |
| Zeitschrittweite             | 6 Minuten  |

<sup>1</sup> Fa. Wagner & Co., Jenni Energietechnik, Huch Behälterbau, Pink, Haase, Nau, Thüsolar, Sonnenkraft

Speichers in der Höhe und der UA-Werte. Rohrleitungs- und Anschlussverluste werden nicht explizit modelliert, sondern fließen als Korrekturwerte in den UA-Wert des Speichermodells ein. Abb. 4 veranschaulicht grafisch diese vereinfachende Annahme für die Simulationen.

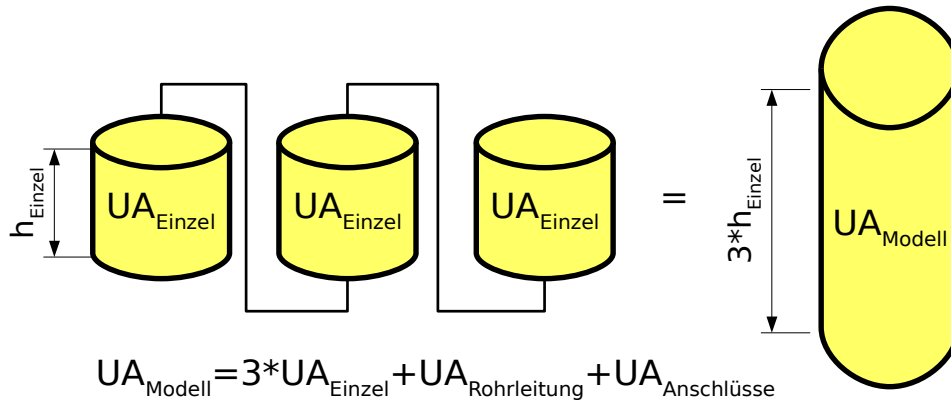


Abb. 4: Vereinfachte Modellierung der Speicherkaskade in TRNSYS, hier dargestellt für drei Einzelspeicher

Die Simulationen zeigen, dass die negativen Effekte einer Kaskadenverschaltung überwiegen: Die auf Grund der Seriellschaltung verbesserte thermische Schichtung hat offenbar einen kleineren Einfluss auf die anteilige Energieeinsparung als die dominierenden Wärmeverluste, siehe Tab. 4. Andersherum bedeutet das allerdings auch, dass eine parallele Verschaltung von Speichern aus solarthermischen Gesichtspunkten stets zu vermeiden ist.

Tab. 4: Anteilige Energieeinsparung der simulierten Kombianlage und Ergebnisse der Jahressimulationen

| Speicherkonfiguration                | UA<br>[W/K] | f <sub>sav,therm</sub><br>[%] |
|--------------------------------------|-------------|-------------------------------|
| 1 x 4 m <sup>3</sup> , zylindrisch   | 8,07        | 36,1                          |
| 1 x 4 m <sup>3</sup> , kubisch       | 9,04        | 35,3                          |
| 2 x 2 m <sup>3</sup> , zylindrisch   | 11,29       | 35,2                          |
| 3 x 1,3 m <sup>3</sup> , zylindrisch | 13,75       | 34,3                          |

## Zusammenfassung

Der Einfluss auf die anteilige Energieeinsparung ist bei den untersuchten Kombinationen mit den Simulationsparametern nach Tab. 3 mit maximal relativ 5 % verhältnismäßig gering. Bei einem Einsatz einer Speicherbatterie mit drei Speichern mit je 1,3 m<sup>3</sup> erhöht sich der Raumbedarf im Vergleich zu einem zylindrischen Einzelspeicher der Raumbedarf jedoch um 23 % und die Kosten um 33 %. Vergleicht man die 3-Speicherlösung mit einem kubischen Einzelspeicher, ist der Raumbedarf sogar um 51% höher.

Bei Kaskadenschaltungen ist allein die Möglichkeit der komfortablen Einbringung von

Vorteil. Die deutlich erhöhten Kosten der Kaskade wirken sich indes negativ auf die Marktentwicklung und -verbreitung größerer Solaranlagen aus. Hinsichtlich der Speicherkosten und der möglichen Raumausnutzung stellen große Einzelspeicher die sinnvollere Alternative dar. Tab. 5 zeigt eine Übersicht. Hier ist zukünftig das Problem der Einbringung durch den Einsatz innovativer Montagetechniken und die Verwendung alternativer Materialien, wie z.B. Polymermaterialien zu lösen.

Tab. 5: Gesamtvergleich der typischen Speicherkonfigurationen

| Speicherkonfiguration                | Raumbedarf<br>[m <sup>3</sup> ] | UA<br>[W/K] | f <sub>sav,therm</sub><br>[%] | Speicherkosten<br>[EUR] |
|--------------------------------------|---------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1 x 4 m <sup>3</sup> , zylindrisch   | 8,6                             | 8,1         | 36,1                          | 4.230                   |
| 1 x 4 m <sup>3</sup> , kubisch       | 7,1                             | 9,0         | 35,3                          | k.A.                    |
| 2 x 2 m <sup>3</sup> , zylindrisch   | 9,8                             | 11,3        | 35,2                          | 4.960                   |
| 3 x 1,3 m <sup>3</sup> , zylindrisch | 10,7                            | 13,8        | 34,3                          | 5.640                   |

## Literatur

- [1] **E. Andersen, J. Fan, S. Furbo**, Heat Losses From Pipes Connected to Hot Water Storage Tanks, Proceedings of ISES Solar World Congress, 2007
- [2] **S. Furbo**, Thermal bridges, Contribution to EU's SSTG Project, SSTG Final Report, 1989
- [3] **R. Meißner**, Fragen und Antworten zu Bereitschaftsverlusten von Speichern, 2000
- [4] **B. Menzi**, Wärmeverluste Speicheranschlüsse, Interne Studie, unveröffentlicht, 2001
- [5] **B. Schläpfer, K. Wellinger**, Wärmeverluste von 6 Wassererwärmern unterschiedlicher Form und Grösse, Praxisgerechte Regeln zur optimalen Planung und Ausführung von Sonnenenergieanlagen, Swiss Federal Office of Energy and Solar Energy, Schweiz 1984
- [6] **J.-C. Hadorn**, Advanced Storage Concepts for Solar and Low Energy Buildings, Genf (Schweiz), 2006
- [7] **C. Wilhelms, S. Küthe**, TRNSYS Simulation Studio & Complex Systems, e.g. Solar Thermal Combisystems, Vortrag IEA Task 32 - Meeting, Lyngby (Dänemark), 2006
- [8] **S. Küthe**, Modularisierung mit Simulation Studio am Beispiel von solarthermischen Kombisystemen, TRNSYS-Usertag '06, Stuttgart (Germany), 2006

**Die Durchführung der Forschungsarbeiten wird unterstützt vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), FKZ 0329284A**