

# Bewertung verschiedener Wärmespeicherkonzepte hinsichtlich ihres effektiven Raumbedarfs

C. Wilhelms, K. Zaß, K. Vajen

Universität Kassel, Institut für Thermische Energietechnik, D-34109 Kassel

Tel.: +49 561 / 804-3890, [www.solar.uni-kassel.de](http://www.solar.uni-kassel.de), [solar@uni-kassel.de](mailto:solar@uni-kassel.de)

H. Kerskes, H. Müller-Steinhagen

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, D-70550 Stuttgart

Tel.: +49 711 / 685-63536, [www.itw.uni-stuttgart.de](http://www.itw.uni-stuttgart.de), [kerskes@itw.uni-stuttgart.de](mailto:kerskes@itw.uni-stuttgart.de)

## Einleitung

Aktuelle Forschungsvorhaben im Bereich „Energiespeicherung“ zielen darauf ab, die Speicherdichte von Wärmespeichern zu erhöhen, um damit größeren Speicherkapazitäten und dementsprechend auch solarthermischen Anlagen mit hohem solaren Deckungsanteil den Markt zu öffnen. Neue Speichertechnologien, die Phasenwechselmaterialien als Speichermedium verwenden oder chemische Reaktionswärme nutzbar machen, bieten zwar im Vergleich zum Speichermedium Wasser deutlich höhere physikalische Speicherdichten, erfordern im Betrieb in der Regel aber auch zusätzliche Peripheriekomponenten. In der hier beschriebenen Untersuchung wird der tatsächlich benötigte Raumbedarf als Kenngröße definiert und beispielhaft für unterschiedliche Speicherkonfigurationen ermittelt. Abb. 1 veranschaulicht die wichtigsten Einflussgrößen.

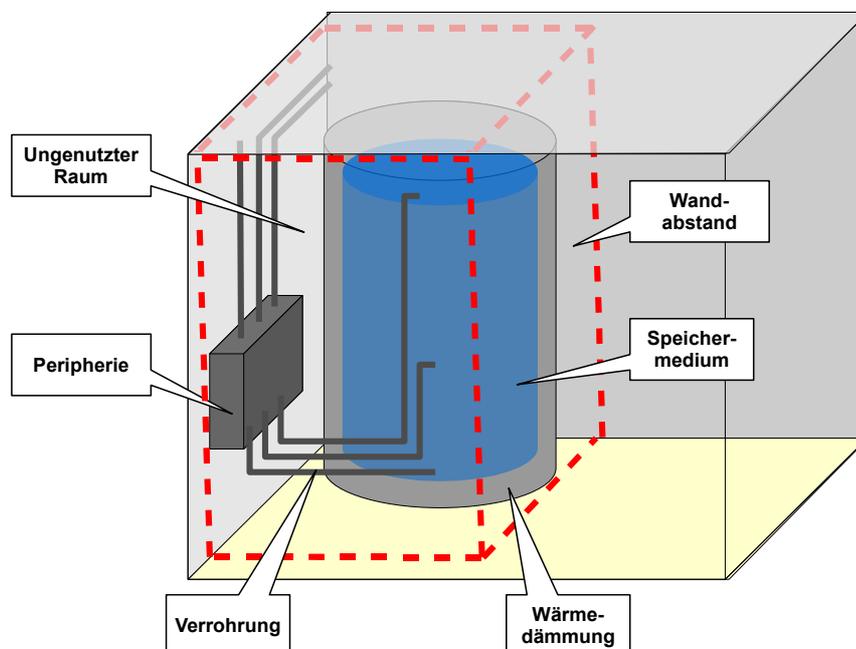


Abb. 1: Beispielhafte Darstellung des tatsächlich benötigten Raumbedarfs (rot gestrichelt) eines zylindrischen Warmwasserspeichers mit Peripherie, Verrohrung und ungenutztem Bauraum.

## Definition der Speicherdichte-Kenngrößen

Die wichtigsten Größen, die bei der Definition der „effektiven“ und „tatsächlichen Speicherdichte“, also gespeicherter Wärme pro benötigtem Bauraum in kWh/m<sup>3</sup>, zu berücksichtigen sind

- Energiespeicherdichte des Speichermediums,
- Raumbedarf des Speichermediums,
- Raumbedarf des Behälters,
- Raumbedarf der Behälter-Wärmedämmung,
- Raumbedarf der Peripherie (z.B. Ausdehnungsgefäß),
- Raumbedarf der Verrohrung,
- ungenutzter Bauraum wg. der Geometrie (z.B. zylindrischer Speicher) und
- ungenutzter Bauraum wg. Einbringung und Handling (z.B. Kippmaß).

Neben der physikalischen Speicherdichte  $S_{Phys}$  wird die Größe „Effektive Speicherdichte“  $S_{Eff}$  eingeführt, die sowohl das Volumen von Wärmedämmung und Behälterkonstruktion als auch die zum Betrieb des Wärmespeichers erforderliche Peripherie incl. Rohrleitungen berücksichtigt. Die Kenngröße „Tatsächliche Speicherdichte“,  $S_{Eff,ext}$ , schließlich berücksichtigt zusätzlich nicht nutzbaren Bauraum durch ungünstige Speichergeometrien und/oder den zur Montage bzw. Wartung erforderlichen Bauraum.  $Q_{Speichermedium}$  ist die „gespeicherte“ Enthalpie des Mediums.

$$S_{Phys} = \frac{Q_{Speichermedium}}{V_{Speichermedium}} \quad S_{Eff} = S_{Phys} + \frac{Q_{Speichermedium}}{V_{Dämmung} + V_{Peripherie}} \quad S_{Eff,ext} = S_{Eff} + \frac{Q_{Speichermedium}}{V_{ungenutzt}}$$

## Beispielhafter Vergleich verschiedener Wärmespeichersysteme

Für vier unterschiedliche Speicherkonfigurationen wurden die Kenngrößen  $S_{Phys}$ ,  $S_{Eff}$  und  $S_{Eff,ext}$  abgeschätzt. Dabei wird die Speicherkapazität für alle Konfigurationen mit 50 kWh, 500 kWh bzw. 1.000 kWh als jeweils konstant gewählt. Die nutzbare mittlere Temperaturdifferenz innerhalb des Speichers beträgt bei den wassergeführten Systemen 60 K. Die zur Verfügung stehende Raumhöhe wird auf 2,2 m festgelegt; die Speichersysteme weisen je nach Wärmemenge unterschiedliche Abmaße auf. Die Dämmstärke aller Systeme beträgt 15 cm. Abb. 2 zeigt die Speicherkonfigurationen. Die ersten beiden Beispiele repräsentieren marktübliche Konfigurationen. In Beispiel 3 kommt ein kubischer, druckloser Warmwasserspeicher zur Anwendung<sup>1</sup>. Zur Ergänzung ist in Beispiel 4 ein Sorptionswärmespeicher (MonoSorp), wie er in /Kersk08/ beschrieben ist, dargestellt<sup>2</sup>. Es soll

1 *Aktuelles Forschungsvorhaben gefördert vom Bundesumweltministerium.*

2 *Die MonoSorp-Entwicklung wurde vom Umweltministerium Baden-Württemberg gefördert.*

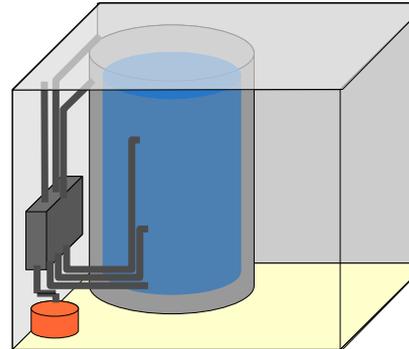
untersucht werden, in wie weit der Vorteil der höheren physikalischen Speicherdichte dieses Systems unter Berücksichtigung der oben angeführten Kriterien zum Tragen kommt.

**Beispiel 1:**

Zylindrischer Stahlspeicher, druckbeaufschlagt

Peripherie:  
Verrohrung  
Ausdehnungsgefäß

Höhe Speicher	1,6 m	(50 kWh)
incl. Dämmung	1,8 m	(500 kWh)
	2 m	(1.000 kWh)



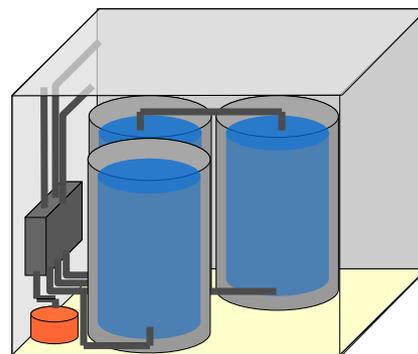
**Beispiel 2:**

Kaskade von zylindrischen Stahlspeichern

Anzahl 2 und 3 (500 kWh),  
2 und 4 (1.000 kWh)

Peripherie:  
Verrohrung (auch zwischen Speichern)  
Ausdehnungsgefäß

Höhe Speicher	1,8 m	(500 kWh)
incl. Dämmung	2 m	(1.000 kWh)

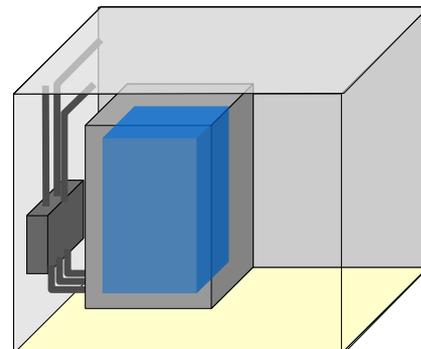


**Beispiel 3:**

Kubischer, druckloser Pufferspeicher

Peripherie:  
Verrohrung

Höhe Speicher	1,6 m	(50 kWh)
incl. Dämmung	1,8 m	(500 kWh)
	2 m	(1.000 kWh)



**Beispiel 4:**

MonoSorp System (Zeolithspeicher)

Peripherie:  
Kollektorverrohrung  
Luft/Wasser-Wärmeübertrager

Höhe Speicher	1,6 m	(50 kWh)
incl. Dämmung	1,8 m	(500 kWh)
	1,8 m	(1.000 kWh)

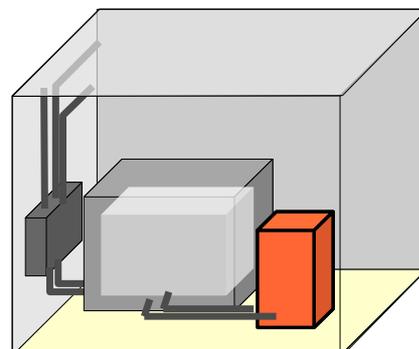


Abb. 2: Beispiele für vier Speicherkonfigurationen, für die  $S_{Phys}$ ,  $S_{Eff}$  und  $S_{Eff,ext}$  ermittelt wurden, vgl. /Kersk08/, /Wilh08/ und /Wilh09/

Abbildung 3 bis 5 zeigen die Ergebnisse des Vergleichs. Es ist auffällig, dass die effektive Speicherdichte insbesondere bei kleinvolumigen Speichersystemen deutlich geringer als die physikalische Speicherdichte. Dies gilt für alle Speichersysteme und ist auf den vergleichsweise hohen Raumbedarf für die Wärmedämmung und die notwendige Speicherperipherie zurückzuführen. Mit zunehmender Speichergöße wird dieser Einfluss geringer. Besonders ungünstig ist das Verhältnis bei Kaskadensystemen aus zylindrischen Einzelspeichern, die in den untersuchten Beispielen tatsächliche Speicherdichten von 7 bis 16 kWh/m<sup>3</sup> aufweisen.

Das MonoSorp-System bietet eine fast doppelt so hohe physikalische Speicherdichte wie die Wasserspeicher. Auch hier macht sich der Raumbedarf für Wärmedämmung und Speicherperipherie (insbes. Luft/Wasser-Wärmeübertrager) besonders bei kleinen Speichern bemerkbar, die tatsächliche Speicherdichte liegt jedoch im Vergleich zu einem zylindrischen Warmwasserspeicher bei den untersuchten Speichergößen um 70 bis 100 % höher.

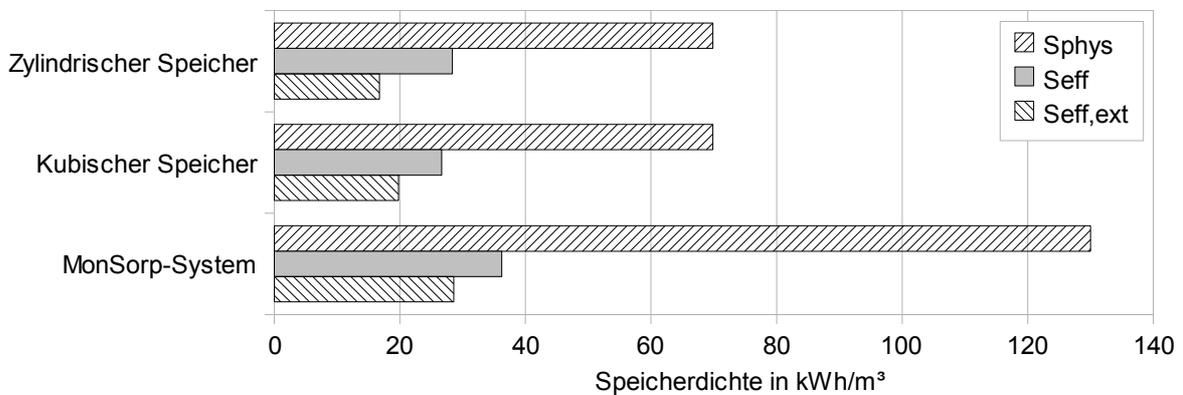


Abb. 3:  $S_{Phys}$ ,  $S_{Eff}$  und  $S_{Eff,ext}$  bei einer Wärmemenge von  $Q=50$  kWh. Dies entspricht in diesen Beispielen  $0,7$  m<sup>3</sup> Wasservolumen bzw.  $0,4$  m<sup>3</sup> Zeolithvolumen.

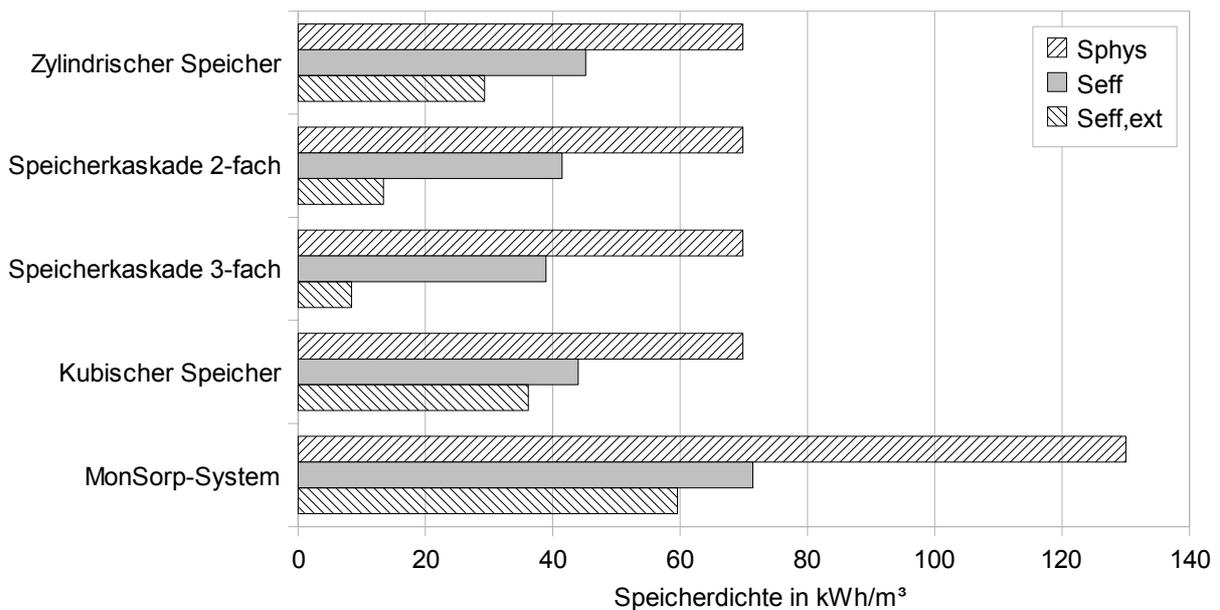


Abb. 4:  $S_{Phys}$ ,  $S_{Eff}$  und  $S_{Eff,ext}$  bei einer Wärmemenge von  $Q=500$  kWh. Dies entspricht in diesen Beispielen  $6,6$  m<sup>3</sup> Wasservolumen bzw.  $3,8$  m<sup>3</sup> Zeolithvolumen.

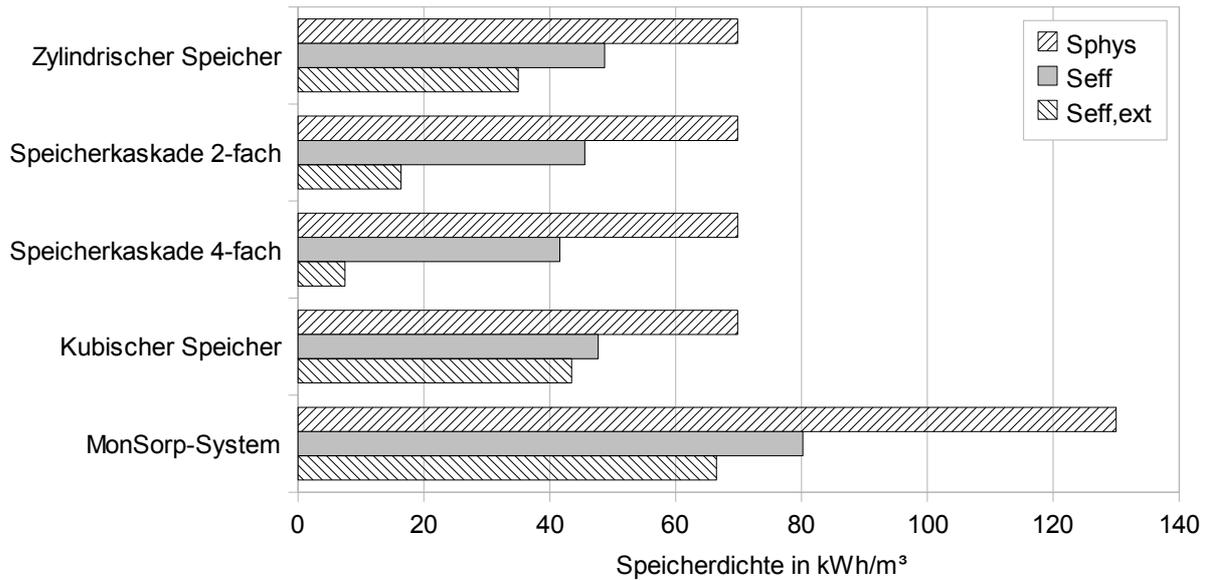


Abb. 5:  $S_{Phys}$ ,  $S_{Eff}$  und  $S_{Eff,ext}$  bei einer Wärmemenge von  $Q=1.000$  kWh. Dies entspricht in diesen Beispielen  $13,2$  m<sup>3</sup> Wasservolumen bzw.  $7,7$  m<sup>3</sup> Zeolithvolumen.

Abb. 6 zeigt die Optimierungspotentiale bei der Wahl des Dämmwerkstoffs. Bei kubischen Speichersystemen ließe sich bei gleichem UA-Wert mit Vakuumdämmung eine Erhöhung der tatsächlichen Speicherdichte um etwa 35 % im Vergleich zu der marktüblichen Weichschaumdämmung erzielen.

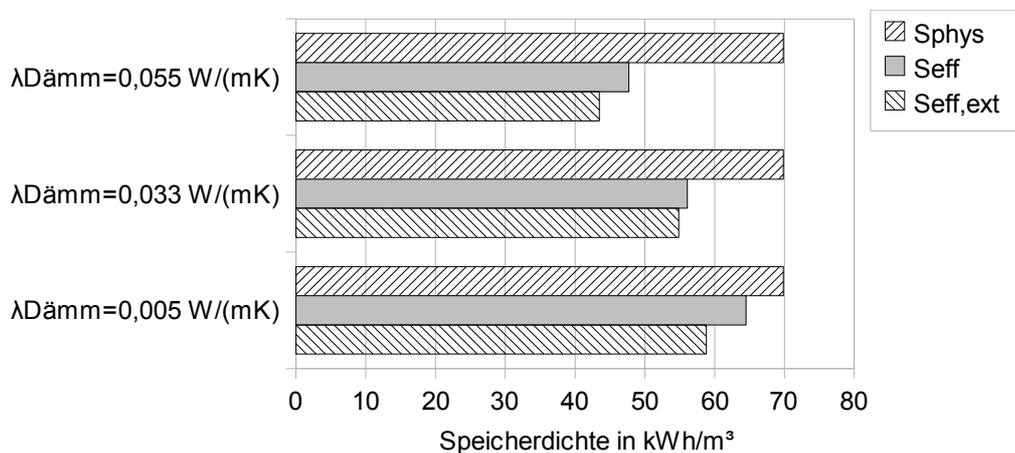


Abb. 6:  $S_{Phys}$ ,  $S_{Eff}$  und  $S_{Eff,ext}$  von kubischen Speichersystemen bei einer Wärmemenge von  $Q=1.000$  kWh und variierender Dämmstärke bzw. Wärmeleitfähigkeit.

## Fazit

Bei der Diskussion um die Erhöhung der Speicherdichte von Solarspeichern um den Faktor 8 /Bokh06/ genügt nicht allein die Berücksichtigung der physikalischen Speicherdichte. Aktuelle Warmwasserspeicher weisen unter Berücksichtigung von ungenutztem Bauraum sowie Raumbedarf für Dämmung und Peripherie tatsächliche Speicherdichten auf, die um das 5- bis 10-fache unter der physikalische Speicherdichte von Wasser liegen. Die tatsächliche Speicherdichte bei Warmwasserspeichern lässt sich durch Optimierung der Speichergeometrie und Verbesserung der Wärmedämmung deutlich verbessern. Auch bei dem untersuchten Sorptionsspeicher MonoSorp liegt die tatsächliche Speicherdichte deutlich unter der physikalischen: Für hohe Speicherkapazitäten (1.000 kWh) werden ca. 50 % der physikalischen Speicherkapazität erreicht, die sich in Verbindung mit einer raumsparenden Vakuumdämmung auf ca. 75 % verbessern lässt.

## Literatur

- /Bokh06/ **Bokhoven T., Cotton N., Drück H., Pilgaard O. et al.**, (2006), Solar Thermal Vision 2030 - First Version of the Vision Document for the Start of the European Solar Thermal Technology Platform (ESTTP), Brüssel
- /Kersk08/ **Kerskes H., Müller-Steinhagen H.**, (2008), MonoSorp - Ein integrales Konzept zur solaren Gebäudebeheizung mit Sorptionsspeicher, Tagungsbericht 18. Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein, 23.-25.4.08
- /Wilh08/ **Wilhelms C., Vajen K. Zaß, K., Jordan U.**, (2008), Serienverschaltung von Solarspeichern – eine sinnvolle Systemtechnik ?, Tagungsbericht 18. Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein, 23.-25.04.08, S. 290-295
- /Wilh09/ **Wilhelms C., Vajen K., Zaß K., Heinzen R., Jordan U.**, (2009), Pufferspeicher in Modulbauweise mit bis zu 50 m<sup>3</sup> Speichervolumen, Tagungsbericht 19. Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein, 6.5.-8.5.09