

WÄRMESPEICHER FÜR SOLARANLAGEN - HISTORIE UND ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN

Harald Drück, Stephan Bachmann, Hans Müller-Steinhagen
Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW), Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 6, 70550 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711/685-63536, Fax: +49 (0)711/685-63503
E-Mail: drueck@itw.uni-stuttgart.de

Kurzfassung

Ausgehend von ersten, vor mehr als 100 Jahren in den USA eingesetzten Warmwasserspeichern für thermische Solaranlagen wird über den aktuellen Entwicklungsstand der Speichertechnologie berichtet. Die heute für Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und für solare Kombianlagen üblichen Speicherkonzepte werden vorgestellt. Im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen werden die Potenziale innovativer Speichertechnologien auf der Basis einer Simulationsstudie untersucht. Als Ergebnis dieser Untersuchung wird gezeigt, dass durch den Einsatz von Latent- und Sorptionsspeichern eine deutliche Reduktion des Speichervolumens bei gleicher Wärmekapazität bzw. gleicher anteiliger Energieeinsparung der Gesamtanlage erreicht werden kann.

1 Einleitung

Aufgrund seiner thermodynamischen Eigenschaften und der daraus resultierenden Vorteile wird in Wärmespeichern für haustechnische Anlagen fast ausschließlich Wasser als Speichermedium eingesetzt. Entscheidend hierfür ist insbesondere die hohe volumetrische Wärmekapazität von Wasser, sowie die mit der Temperatur abnehmende Dichte, die eine Ausprägung einer stabilen thermischen Schichtung in Warmwasserspeichern ermöglicht.

Obwohl Warmwasserspeicher, im Folgenden vereinfachend meist Speicher genannt, bereits seit längerem Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen und Forschungsarbeiten sind, existieren noch eine Reihe offener Fragen. Von besonderem Interesse ist hier insbesondere das genaue Verständnis und die numerische Berechnung der in den Speichern auftretenden Wärmetransport- und Strömungsvorgänge. Ebenso sind die Optimierung und die Entwicklung von Verfahren zur Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern Gegenstand mehrerer wissenschaftlicher Arbeiten.

2 Historie

1909 war die Geburtsstunde der Warmwasserspeicher in Solaranlagen, als William Bailey in den USA den sogenannten „Day and Night“-Kollektor entwickelte. Im Gegensatz zu den zuerst üblichen „Integrierten-Kollektor-Speicheranlagen“ (IKS-Systeme) waren hier erstmalig Kollektor und Speicher getrennt. Dies führte zu einer deutlichen Steigerung des Wirkungsgrads. Bei der Entwicklung von William Bailey handelte es sich um eine thermosiphonisch betriebene Anlage mit einem drucklosen Speicher der direkt be- und entladen wurde (Abb. 1).

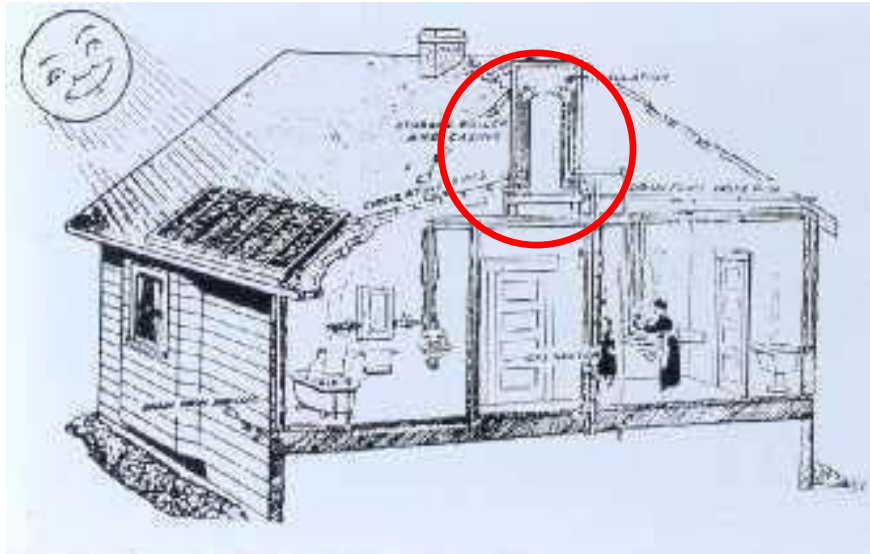


Abbildung 1: Erster (druckloser) Speicher in Solaranlagen in den USA im Jahr 1909

Auftretende Frostschäden an Kollektor und Speicher führten bald danach zu einer Trennung von Kollektor- und Wasserkreislauf, so dass im Jahr 1913 die ersten Wärmeübertrager in die Speicher eingebaut wurden.

In den folgenden Jahren verlor jedoch die thermische Nutzung der Solarenergie an Bedeutung, da für die Warmwasserbereitung die damals in Amerika neu entdeckten Erdöl- und Erdgasvorkommen sowie die zunehmend verbreitete Elektrizität genutzt wurden. Eine weitere Entwicklung von Solarspeichern erfolgte daher zunächst nicht.

Der Einsatz von Warmwasserspeichern hat insbesondere mit dem wachsenden Hygiene- und Komfortbedürfnis der im Wohlstand lebenden Menschen stark zugenommen. In Verbindung mit dem gegen Ende des 19. Jahrhunderts zu beobachtenden Aufkommen von Zentralheizungsanlagen mit Wasser als Wärmeträgermedium wurde auch der Einsatz von Warmwasserspeichern eine Selbstverständlichkeit.

Ausgelöst durch die Öl(Preis)Krisen wird seit den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts erneut über die Nutzung von Solarenergie zur Erwärmung des Trinkwassers und zur Raumheizung nachgedacht. Die Einkoppelung solar gewonnener Wärme in die Haustechnik führte zur Entwicklung neuer Speichertechniken.

3 Aktueller Status

Für die solare Trinkwassererwärmung wurden sogenannte bivalente Speicher entwickelt. Der Aufbau eines solchen Speichers, wie er in Deutschland häufig in Verbindung mit einer Solaranlage zur Trinkwassererwärmung eingesetzt wird, ist in Abb. 2 dargestellt.

Als Speichermedium dient das Trinkwasser, welches sich im Wasserraum befindet. Die Sonnenenergie wird dem Trinkwasser durch den Kollektorkreislauf mittels eines Wärmeträgerfluids (Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel) über den unteren Wärmeübertrager zugeführt. Da der jährliche Warmwasserbedarf nicht vollständig solar gedeckt wird, befindet sich im oberen Bereich des Speichers (Bereitschaftsvolumen) ein elektrischer Heizstab oder ein zweiter Wärmeübertrager, der an den Heizkessel der Zentralheizung des Gebäudes angeschlossen ist. Für den Anschluss einer Zirkulations-

leitung oder für die direkte Beladung des oberen Speicherbereiches ist im Bereich des Bereitschaftsteils noch ein weiterer Anschluss angebracht.

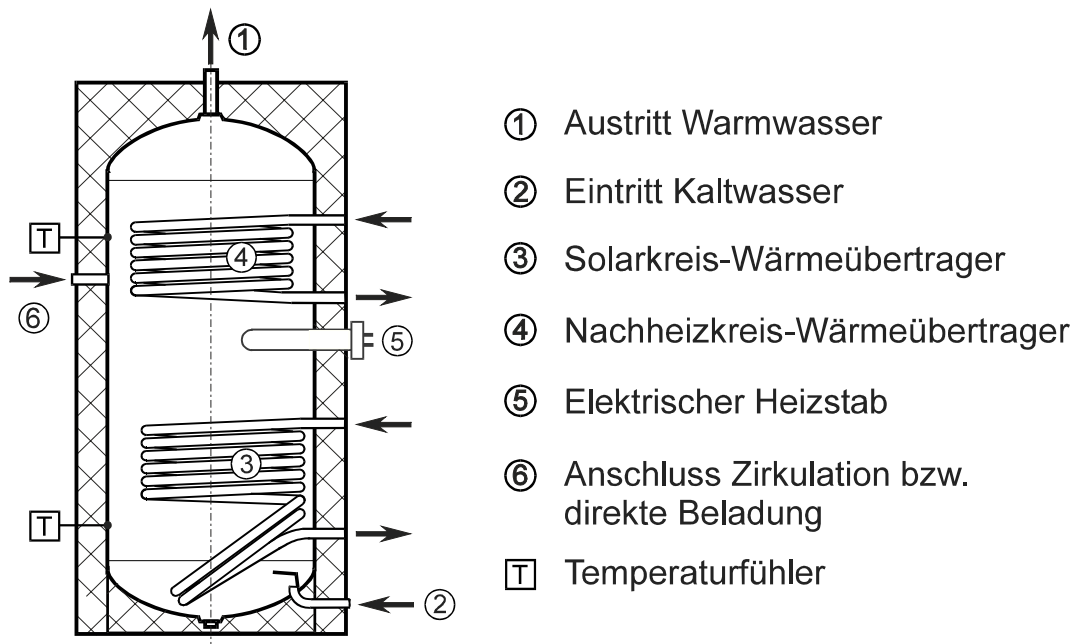


Abbildung 2: Prinzipieller Aufbau eines Speichers einer Solaranlage zur Trinkwassererwärmung

Die solare Unterstützung der Raumheizung wurde zunächst als Erweiterung der Solaranlage zur Trinkwassererwärmung als 2-Speicher-Anlage mit zusätzlichem Pufferspeicher für die Raumheizung ausgeführt. Der hohe Platzbedarf, der große Installationsaufwand und die hohen Wärmeverluste der beiden Speicher führten bald darauf zur Entwicklung von Kombispeichern, die sowohl die Funktion des Trinkwasserspeichers als auch des Heizungspufferspeichers übernehmen. In den letzten Jahren sind hier eine Vielzahl unterschiedlicher Kombispeichertypen für den Einsatz in Ein- und Zweifamilienhäusern entwickelt worden. Gleichzeitig mit der Entwicklung der Kombispeicher ging auch die Entwicklung von Einrichtungen zur thermisch geschichteten Be- und Entladung einher, durch die eine Steigerung der Effizienz der Speicher erreicht werden kann. Der prinzipielle Aufbau einer solaren Kombianlage ist in Abb. 3 dargestellt.

In einer solaren Kombianlage stellt der Kombispeicher die zentrale Komponente für die Sammlung, Speicherung und Verteilung der Energie dar. Im Einzelnen muss er die folgenden vier elementaren Aufgaben wahrnehmen:

- Aufnahme der von der Solaranlage gelieferten Energie
- Aufnahme der vom Heizkessel abgegebenen Energie bzw. Bereitstellung eines Bereitschaftsvolumens für die Trinkwassererwärmung
- Erwärmung des Trinkwassers
- Wärmeversorgung der Raumheizung

Die Erfüllung dieser Aufgaben kann durch diverse konstruktive Ausführungen realisiert werden. Auf dem Markt gibt es daher eine Vielzahl von unterschiedlichen Kombispeichern. Eine Diskussion der unterschiedlichen Konzepte sowie der individuellen Vor- und Nachteile wurde z.B. in /1/ vorgenommen.

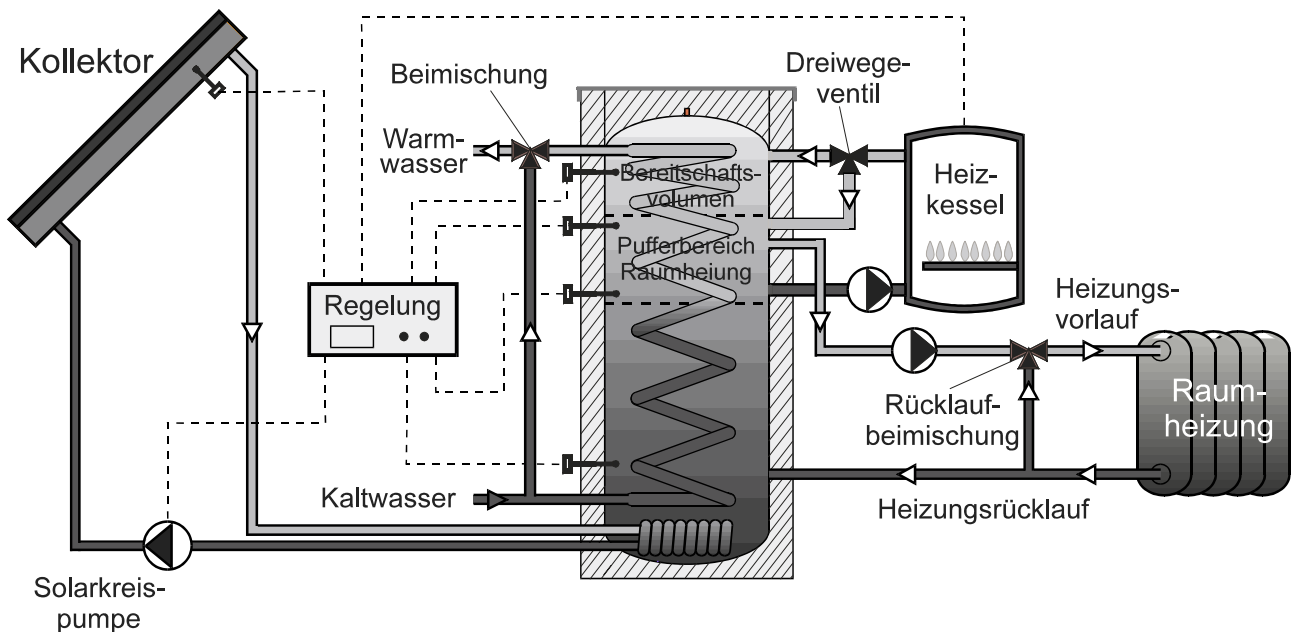


Abbildung 3: Prinzipieller Aufbau einer solaren Kombianlage mit einem Kombispeicher

Für die Beschreibung des thermischen Verhaltens von Solarspeichern werden Informationen über die folgenden Kennwerte benötigt:

- Wärmekapazität bzw. Speichervolumen
- Wärmeverlustrate
- Wärmeübertragungsvermögen, Anlauf- und Schichtungsverhalten der Wärmeübertrager
- Bereitschaftsvolumen oder nutzbares Warmwasservolumen
- Radiale Anschlüsse für direkte Be- und Entladung
- Temperatschichtung bei der Entnahme
- Temperatschichtung im Stillstand
- Positionen der Temperaturfühler

Eine Ermittlung dieser Kennwerte ist nach der europäischen Vornorm ENV 12977-3 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile, Kundenspezifisch gefertigte Anlagen, Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen“ möglich. Diese Vornorm wurde in den Jahren 1996 bis 2000 unter maßgeblicher Mitarbeit des ITW entwickelt und im Jahr 2001 verabschiedet. Gegenwärtig wird sie überarbeitet und insbesondere im Hinblick auf Kombispeicher erweitert.

Einer der wichtigsten Kennwerte eines Speichers ist seine Wärmeverlustrate. Diese Größe gibt an, welcher Wärmeverluststrom je Kelvin Temperaturdifferenz zwischen Speichermedium und Umgebung an die Umgebung abgeführt wird. In Abbildung 4 ist die Wärmeverlustrate der in den letzten Jahren am ITW geprüften Speicher dargestellt. Zusätzlich ist die nach ENV 12977-1 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile, Kundenspezifisch gefertigte Anlagen, Allgemeine Anforderungen“ maximal zulässige Wärmeverlustrate eingezeichnet.

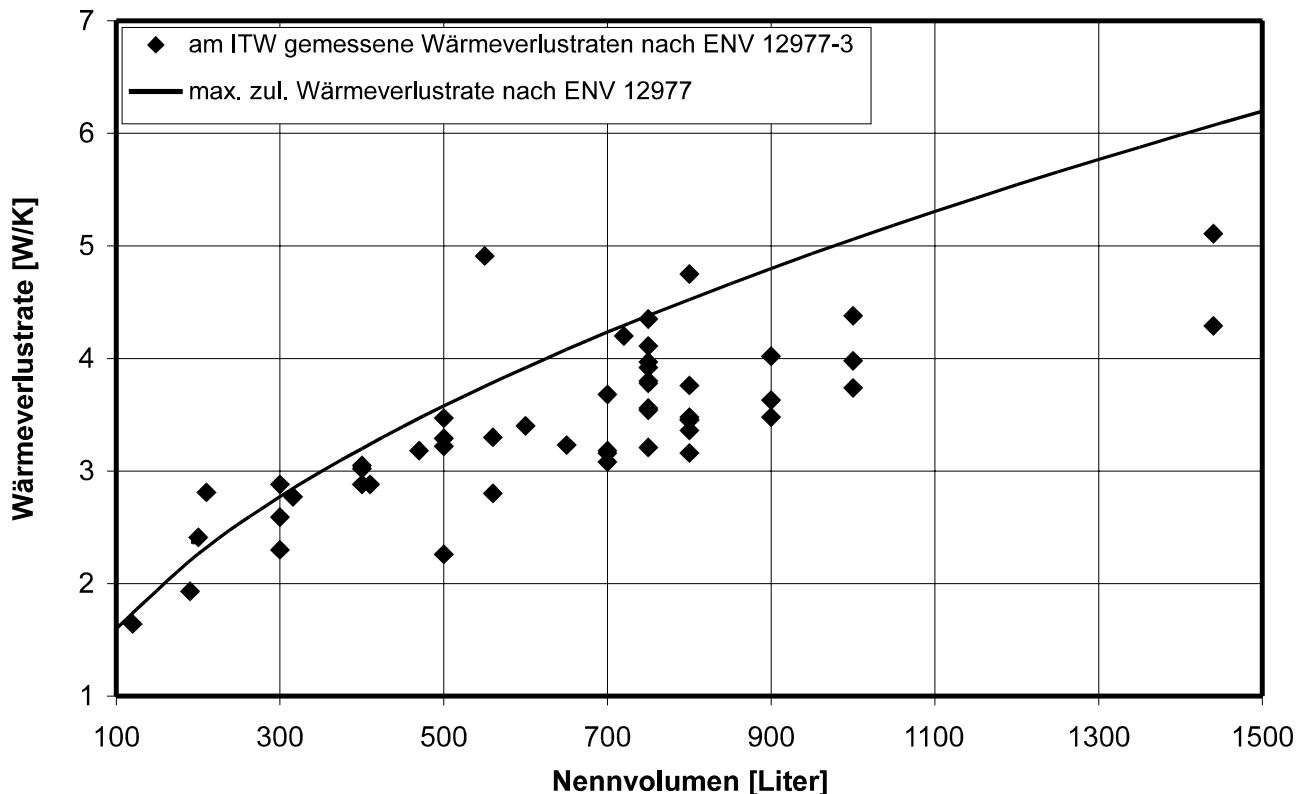


Abbildung 4: Wärmeverlustrate der am ITW geprüften Speicher

Wie aus Abb. 4 ersichtlich ist, erfüllen die meisten der auf dem deutschen Markt angebotenen Solarspeicher die Anforderungen nach ENV 12977-1. Des Weiteren ist aus Abb. 4 ersichtlich, dass die Wärmeverlustraten von Speichern (bei gleichem Volumen) teilweise um bis zu 30 % differieren. Der hieraus resultierende Einfluss auf die thermische Leistungsfähigkeit einer Solaranlage ist um ein Vielfaches größer, als die Ertragssteigerungen, die durch den Einsatz von Schichtbeladeeinrichtungen erzielbar sind.

4 Innovative Speicherkonzepte

Es ist offensichtlich, dass ein Ziel zukünftiger Entwicklungen eine deutliche Steigerung des solaren Deckungsanteils sein muss. Hierbei stehen solare Kombianlagen im Fokus, da sie zusätzlich zur Trinkwassererwärmung auch einen solaren Beitrag zur Raumheizung leisten und somit insgesamt eine größere Energieeinsparung ermöglichen. Welche Potenziale hierbei durch den Einsatz innovativer Speicherkonzepte vorhanden sind, wurde im Rahmen einer Simulationsstudie untersucht.

4.1 Randbedingungen

Die Simulationsstudie basiert auf einem Einfamilienhaus am Standort Würzburg mit einer Wohnfläche von 128 m². Die Dachfläche, auf welcher die Kollektoren montiert sind, ist nach Süden ausgerichtet und weist eine Dachneigung von 45° auf. Der Heizwärmebedarf des Gebäudes, das der Energieeinsparverordnung (EnEv) entspricht, beträgt 71 kWh/(m²a) bzw. 9090 kWh/a. Die Heizungsregelung wurde witterungsgeführt mit maximalen Vor- / Rücklauftemperaturen von 50/30 °C gewählt. Der Warmwasserwärmebedarf für eine tägliche Entnahme von 200 Litern bei 45 °C beträgt 28 kWh/(m²a)

bzw. 3590 kWh/a. Der Gesamtwärmebedarf für die Trinkwassererwärmung und Raumheizung ergibt sich somit zu 12680 kWh/a. Beim Einsatz eines Öl- oder Gasheizkessels mit einem Nutzungsgrad von 85 % beträgt der insgesamt jährlich benötigte Energiebedarf ca. 14900 kWh. Als Bewertungsgröße für die Solaranlage dient die jährliche anteilige Energieeinsparung f_{sav} . Diese Größe gibt an, wie viel Energie durch die Solaranlage im Vergleich zu einer konventionellen, nicht solaren Wärmeversorgungsanlage eingespart werden kann.

4.2 Große Warmwasserspeicher

Zunächst wurde untersucht, welche Energieeinsparungen sich durch den Einsatz von Speichern mit Wasser als Speichermedium erreichen lassen. Diese auf dem Einsatz konventioneller Speichertechnologien basierenden Varianten weisen im Gegensatz zu den unter Punkt 4.3 angeführten Entwicklungen neuer bzw. innovativer Speichertechnologien den Vorteil auf, dass sie zu großen Teilen auf eine bereits bekannte Technologie zurückgreifen und daher in einem kürzeren Zeitrahmen realisierbar sind.

In Abb. 5 ist die erzielbare anteilige Energieeinsparung in Abhängigkeit von der Kollektorfläche und vom Speichervolumen eines mit Wasser gefüllten Pufferspeichers dargestellt. Für den Kollektor wurden hierbei die Kennwerte eines „guten“ Flachkollektors¹⁾ (FK) angenommen.

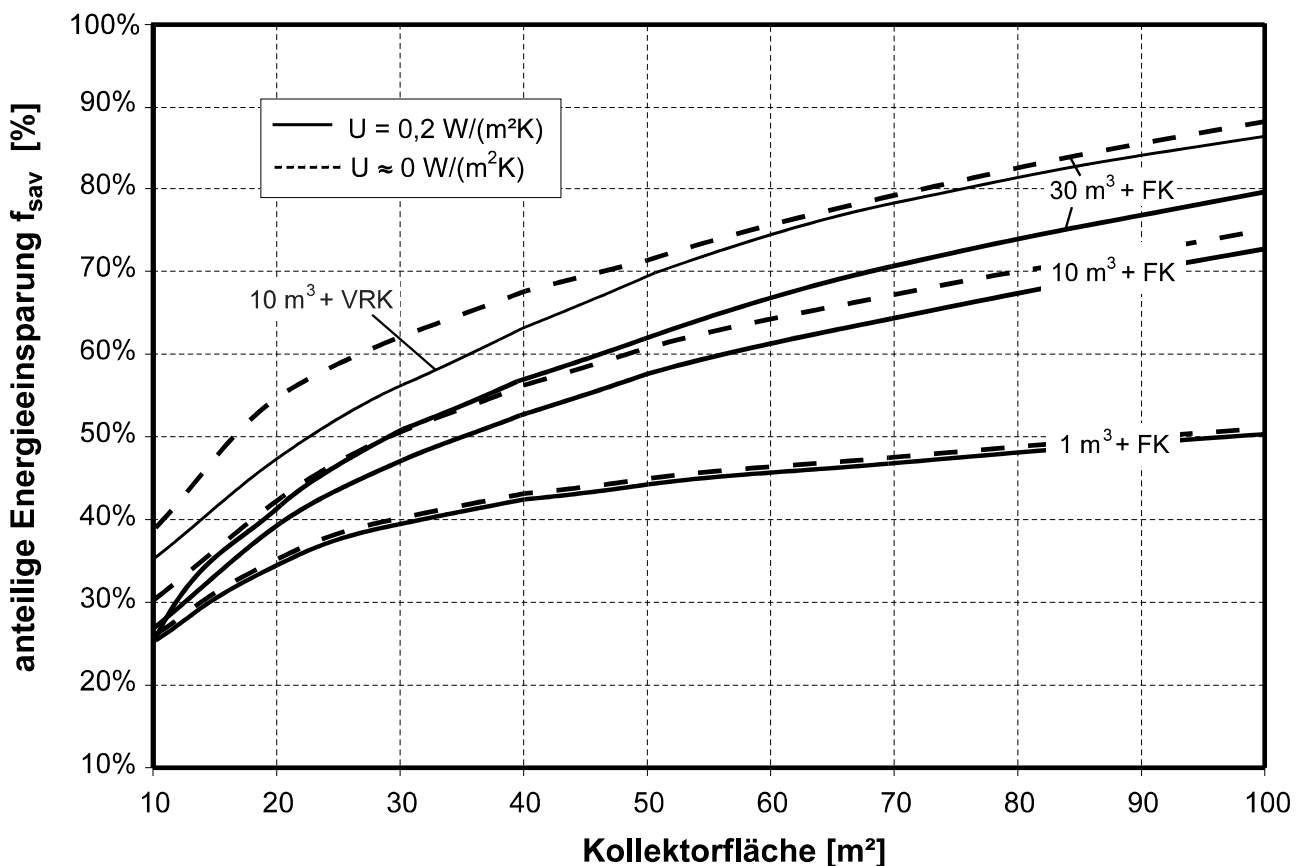


Abbildung 5: Einfluss Kollektorfläche (Flachkollektor) und Pufferspeichervolumen auf die anteilige Energieeinsparung (Volumen Trinkwasserspeicher 300 Liter).

¹⁾ Jahresenergieertrag 485 kWh/(m^2a) nach ITW-Randbedingungen bei $A_c = 5 \text{ m}^2$ am Standort Würzburg

Um aufzuzeigen, welches Potenzial sich durch mögliche Optimierungsmaßnahmen realisieren lässt, ist in dem Diagramm zusätzlich noch die Energieeinsparung eingezeichnet die sich für einen verlustfreien Speicher (Wärmedurchgangskoeffizient $U \approx 0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) ergeben würde.

Wie aus Abb. 5 ersichtlich ist, kann eine anteilige Energieeinsparung von 50 % bei Verwendung von Wasser als Speichermedium mit 10 m^3 Volumen und - je nach eingesetzter Wärmedämmung – mit einer Kollektorfläche von 30 bis 35 m^2 erzielt werden. Insbesondere beim Einsatz von solchen, relativ großen Speichern im Gebäudebestand



Abbildung 6: Speicher aus glasfaserverstärktem Kunststoff

kann der Einbau im Gebäude praktische Probleme bereiten. Wenn das Einbringen komplett vorgefertigter Stahl-Speicher nicht möglich ist, werden diese bisher häufig im Keller aus einzelnen Segmenten zusammengesweißt. Diese Vorgehensweise ist relativ aufwändig und damit kostenintensiv. Eine interessante Alternative stellt daher die Verwendung von Kunststoff als Behältermaterial dar. Von der Fa. Haase aus Großröhrsdorf (Internet: www.ichbin2.de) werden Speicher bis zu einem Volumen von 40 m^3 angeboten, die vor Ort aus glasfaserverstärktem Kunststoff aufgebaut werden können. Hierbei sind die einzelnen Segmente und die Wärmedämmung so ausgeführt, dass sie durch Türen üblicher Größe in das Gebäude eingebracht werden können.

In Abbildung 6 ist exemplarisch der Aufbau eines Speichers aus glasfaserverstärktem Kunststoff dargestellt.

4.3 Latent- und Sorptionsspeicher

Auf der Basis der Simulationsstudie wurden ebenfalls die Potenziale von Latent- und Sorptionsspeichern untersucht. Die hierfür ermittelten Ergebnisse sind in Abbildung 7 zusammengestellt. Als Referenz sind hier zusätzlich zwei Kurven für einen Warmwasserspeicher mit konventioneller Wärmedämmung eingezeichnet (vgl. Kapitel 4.2).

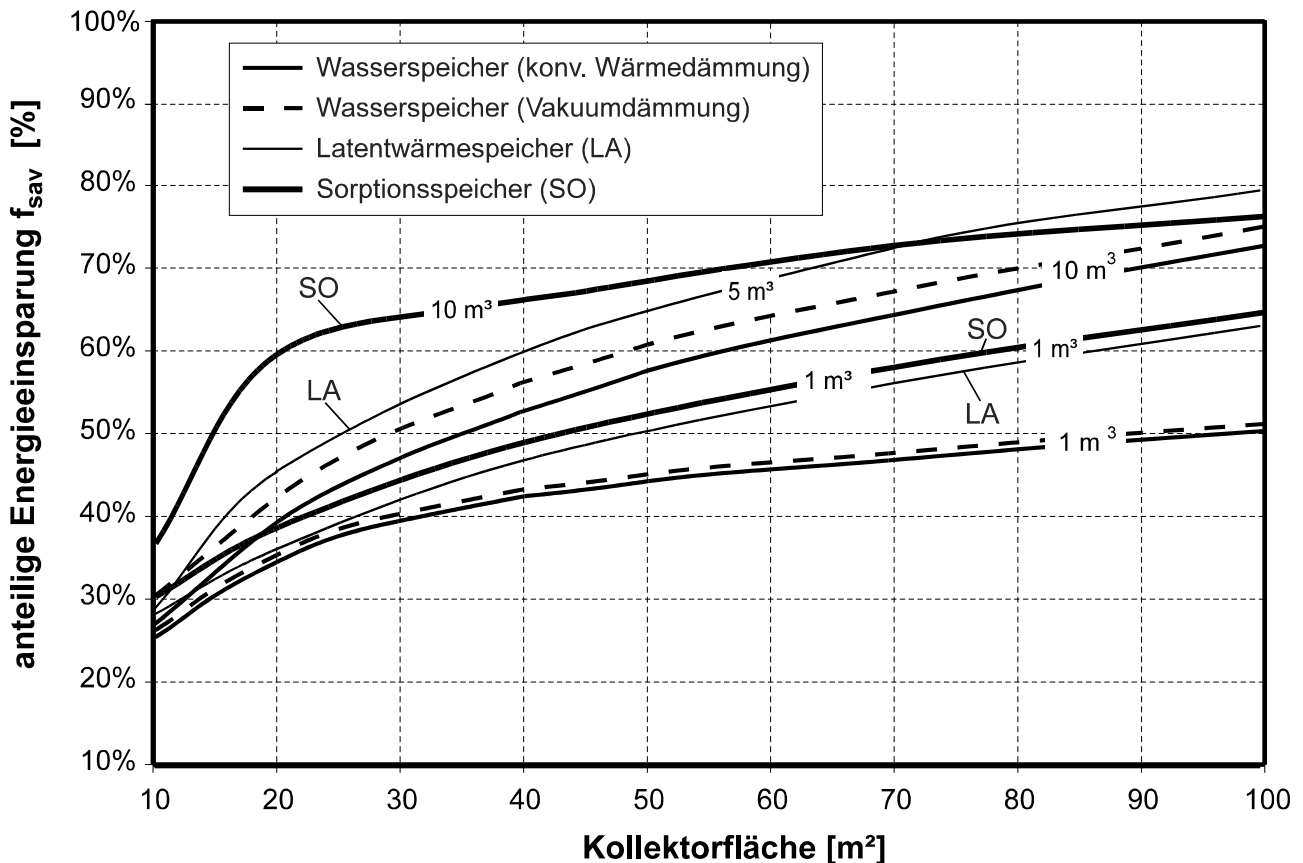


Abbildung 7: Anteilige Energieeinsparung für unterschiedliche Speichertechnologien und Speichervolumina (zzgl. 750 Liter Volumen des „konventionellen“ Kombispeichers) in Abhängigkeit von der Kollektorfläche (Flachkollektor)

Aus Abb. 7 ist ersichtlich, dass es beim Einsatz von Latentwärme- oder Sorptionspeichern bereits mit einem wirksamen Speichervolumen von ca. 1 m³ (zzgl. 750 Litern für einen „konventionellen“ Kombispeicher) und Kollektorflächen im Bereich von etwa 45 m² bis 50 m² (Flachkollektor) möglich ist mehr als die Hälfte des Wärmebedarfs durch Solarenergie zu decken. Bei Einsatz eines konventionellen Wasserspeichers wäre hierfür bei einem Volumen von 10 m³ eine Kollektorfläche von 35 m² erforderlich.

Bei den in Abb.7 für die Latent- und Sorptionspeicher angegebenen Speichervolumina ist allerdings zu berücksichtigen, dass es sich aufgrund der hier idealisiert getroffenen Annahmen um die effektiv wirksamen Speichervolumina handelt und die tatsächlich benötigten Volumina aufgrund der notwendigen Wärmeübertrager bzw. Kondensatbehälter durchaus um den Faktor zwei größer sein können.

Gegenwärtig befindet sich sowohl die Latentwärme- als auch die Sorptionspeichertechnologie für den hier zugrunde gelegten Anwendungsfall noch in der wissenschaftlichen und industriellen Entwicklungsphase. Entsprechende Speicher werden bisher nur von einigen wenigen Firmen angeboten. Langfristig sollte jedoch kein Weg an diesen Technologien vorbei führen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde über die historische Entwicklung, den aktuellen Stand sowie die Potenziale zukünftiger, innovativer Speichertechnologien berichtet.

Die zu Beginn der thermischen Solarenergienutzung vor bereits mehr als 100 Jahren in den USA in Solaranlagen eingesetzten Warmwasserspeicher wurden vorgestellt. Der prinzipielle Aufbau und die Funktion der heute in Verbindung mit Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und für solare Kombianlagen verwendeten Speicherbauweisen wurde beschrieben. Abschließend ist auf der Basis einer Simulationsstudie aufgezeigt worden, welche Potenziale beim Einsatz innovativer Speicherkonzepte vorhanden sind.

Die kostengünstige, effiziente und umweltfreundliche Speicherung von Wärme ist eine der Schlüsseltechnologien für die weitere Entwicklung der Solartechnik. Im Hinblick auf das sich aufgrund der Siedlungsstruktur und des zur Modernisierung anstehenden Gebäudebestandes zur Verfügung stehende Marktpotenzial gilt dies insbesondere für sogenannte solarthermische „Kleinanlagen“.

Aus diesem Grunde wurde, unter maßgeblicher Mitarbeit des ITW, von der IEA (Internationale Energieagentur) im Solar Heating and Cooling Program eine entsprechende Arbeitsgruppe (Task 32) etabliert. Die Task 32 hat die Bezeichnung „Advanced Storage Concepts for Solar Buildings“ /3/. In ihr bemühen sich gegenwärtig europäische Firmen und Forschungsinstitute gemeinsam darum, die Speichertechnologie und damit auch die Solartechnologie einen entscheidenden Schritt voran zu bringen.

6 Literatur

/1/ Drück H., Hahne E., (1998), Kombispeicher auf dem Prüfstand, Tagungsband zum achten Symposium Thermische Solarenergie, Seiten 90 - 94, Otti-Technologie-Kolleg, Regensburg

/2/ Drück H., Heidemann W., Müller-Steinhagen H., (2004), Potenziale innovativer Speichertechnologien für solare Kombianlagen, Tagungsband zum 14. Symposium Thermische Solarenergie, Seiten 104 – 109, Otti, Regensburg, 2004, ISBN 3-934681-33-6

/3/ Kerskes H., Drück H., Müller-Steinhagen H., (2006), Verbesserte Speicherkonzepte für solare Gebäude und Niedrigenergie-Häuser – Ein Überblick über die Arbeiten der IEA-SHC Task 32, Tagungsband zum 16. Symposium Thermische Solarenergie, Otti, Regensburg