

Kombispeicher auf dem Prüfstand

H. Drück, E. Hahne

Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)

Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart

Tel.: 0711/685-3536, Fax: 0711/685-3503

Einleitung

Solaranlagen zur kombinierten Brauchwassererwärmung und Raumheizung, sogenannte Kombianlagen, gewinnen gegenwärtig eine zunehmende Marktrelevanz. Bei diesen Anlagen kommt dem Wärmespeicher eine entscheidende Bedeutung zu, da er sowohl für die Solaranlage als Kurzzeitspeicher als auch für den Heizkessel als Pufferspeicher dient.

Im Rahmen eines umfangreichen Vergleichstests wurden am ITW 1997 acht Kombianlagen untersucht. Der Test dieser Anlagen erfolgte in Anlehnung an den europäischen Normentwurf prEN 12977 mit einem komponentenorientierten Testverfahren.

In diesem Beitrag wird die Vorgehensweise beim Test von Wärmespeichern zur kombinierten Speicherung von Wärme für die Brauchwassererwärmung und Raumheizung, im folgenden Kombispeicher genannt, beschrieben. Testergebnisse für einige ausgewählte Speicher werden vorgestellt und diskutiert. Zusätzlich wird das Zusammenwirken der einzelnen Speicher mit der Solaranlage untersucht. Hierzu werden die Speicher in eine 'Standard-Kombianlage' integriert und für festgelegte Referenzbedingungen (Meteorologie, Lastprofile) wird die Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen Konfigurationen durch Simulation ermittelt.

Testverfahren

Die Vorgehensweise beim Test von Kombispeichern stellt eine Weiterentwicklung des in /1/ beschriebenen Verfahrens zur thermischen Prüfung von Warmwasserspeichern dar. Das Ziel ist die Ermittlung von Kennwerten, die in Verbindung mit einem geeigneten numerischen Rechenmodell eine detaillierte Beschreibung des thermischen Verhaltens des Speichers ermöglichen.

Das Testverfahren läßt sich in folgende Schritte untergliedern:

- Betrieb des Speichers am Teststand entsprechend definierter Testsequenzen. Hierbei werden sämtliche Ein- und Austrittsgrößen (Volumenströme und Temperaturen), die Umgebungstemperatur sowie die Temperaturen an den Positionen für die Temperaturfühler zur Regelung der Solaranlage gemessen und aufgezeichnet. Im Inneren des Speichers werden keine Messungen vorgenommen, um die Schichtung nicht durch die eingebaute Meßtechnik zu beeinflussen.
- Bestimmung der Speicherkennwerte (z. B. Wärmeübertragungsvermögen der Wärmeübertrager, vertikale Position der Anschlüsse und Temperaturfühler) durch Parameteridentifikation auf der Basis der Meßdaten in Verbindung mit einem numerischen Rechenmodell für den Speicher.
- Verifizierung der beim Test ermittelten Kennwerte bzw. des Rechenmodells durch die 'Nachsimulation' einer sogenannten Verifizierungssequenz.

Untersuchte Kombispeicher

Für den Vergleich wurden von den 10 getesteten Speichern vier typische Kombispeicher ausgewählt (vgl. Bild 1). Bei allen Speichern erfolgt die solare Beladung über einen eingetauchten Wärmeübertrager. Das Brauchwasser wird, mit Ausnahme von Speicher B, ebenfalls über einen eingetauchten Wärmeübertrager erwärmt. Die Wärmedämmung erfolgt mit Weichschaum-Formteilen, die nach dem Aufstellen des Speichers angebracht werden.

Die Besonderheiten der einzelnen Speicher werden im folgenden kurz beschrieben:

Speicher A: Über dem Solarkreis-Wärmeübertrager ist ein Konvektionskamin angebracht, um eine geschichtete Beladung des Speichers zu ermöglichen. Aufgrund der relativ groß dimensionierten Öffnungen unten am Konvektionskamin ergibt sich auf der Sekundärseite des Wärmeübertragers (also im Speicher) ein Massenstrom, der etwa zwei- bis dreimal so groß ist wie der Massenstrom durch den Wärmeübertrager.

Für die Erwärmung des Brauchwassers befindet sich im Speicher ein Glattrrohr-Wärmeübertrager aus Kupfer, der sich über die gesamte Höhe des Speichers erstreckt.

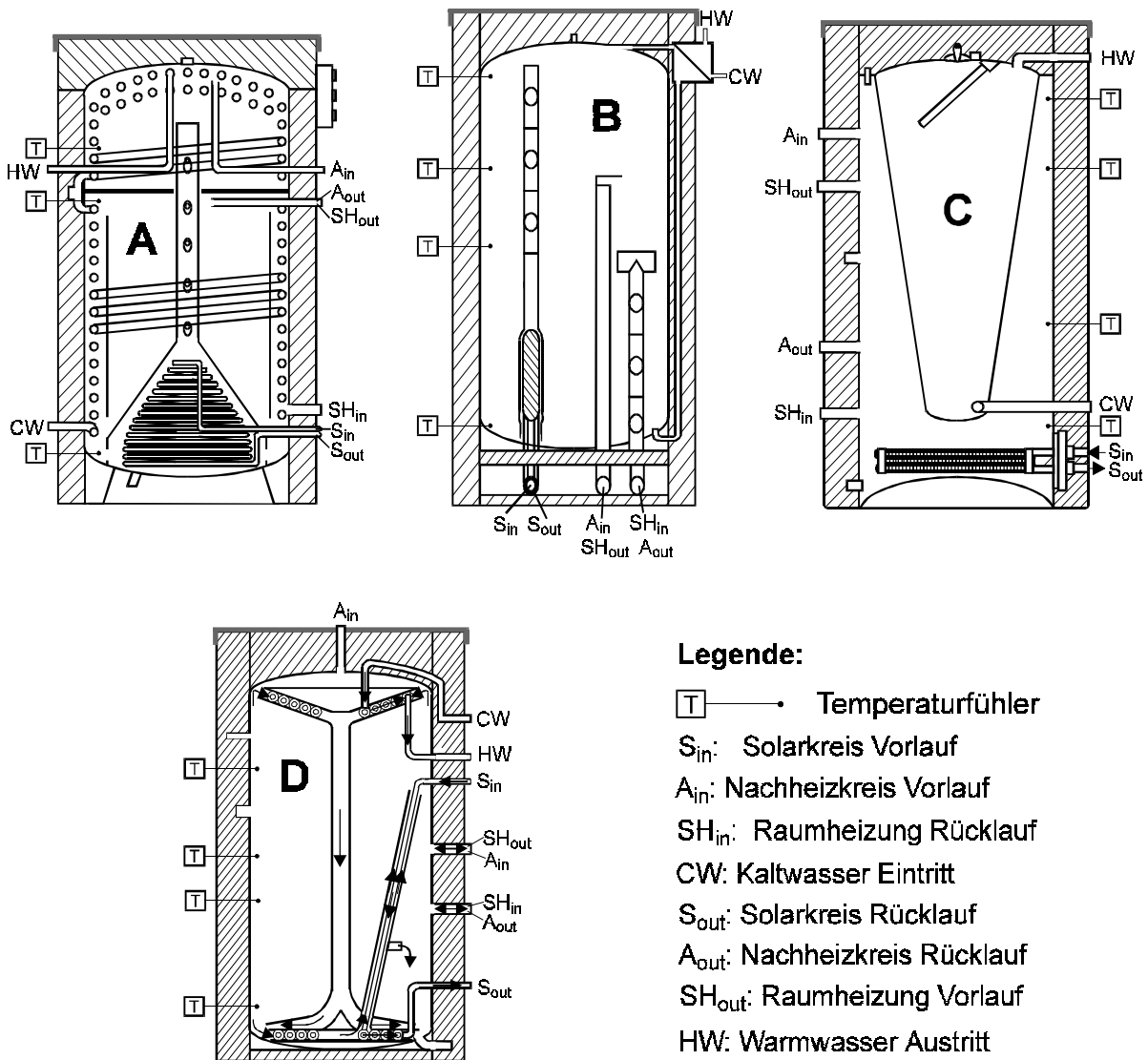


Bild 1: Schematischer Aufbau der vier untersuchten Kombispeicher

Der Bereitschaftsteil für die Raumheizung und die Brauchwassererwärmung ist vom unteren Bereich des Speichers durch eine horizontale Platte separiert. Hierdurch soll der Abbau der Temperaturschichtung durch eine Reduzierung des vertikalen Wärmetransports vermindert werden.

Speicher B: Zur geschichteten solaren Beladung des Speichers befindet sich über dem Solarkreis-Wärmeübertrager ein Rohr mit diversen Auslässen, die mit Klappen versehen sind. Um hohe Vorlauftemperaturen und eine ausgeprägte Temperaturschichtung im Speicher zu erreichen muß dieser in eine Solaranlage integriert werden, die nach dem 'low flow' - Prinzip arbeitet.

Das vom Raumheizungskreis zurückkommende Wasser wird ebenfalls durch ein entsprechendes Schichtungsrohr in den Speicher eingeschichtet.

Die Erwärmung des Brauchwassers erfolgt durch einen externen Platten-Wärmeübertrager der an der Außenseite des Speicherbehälters innerhalb der Wärmedämmung angebracht ist.

Speicher C: Dieser Speicher wird als sogenannter 'Tank-in-Tank-Speicher' bezeichnet, da sich im eigentlichen Speicher ein zweiter, kleinerer Speicher für das Brauchwasser befindet. Diesem wird die Wärme durch das ihn umgebende Heizungswasser zugeführt.

Die Solarenergie wird dem Speicher über einen waagrecht eingebauten Rippenrohr-Wärmeübertrager aus Kupfer zugeführt.

Speicher D: Hier ist sowohl der Solarkreis-Wärmeübertrager als auch der Brauchwasser-Wärmeübertrager mit entsprechenden Vorrichtungen versehen, um eine geschichtete Be- bzw. Entladung des Speichers zu ermöglichen. Damit eine ausgeprägte Temperaturschichtung während der Beladung des Speichers aufgebaut werden kann, muß der Speicher in Verbindung mit einer 'low flow'- Solaranlage betrieben werden.

Vergleich der Kombispeicher

Beim Test der Speicher werden eine Reihe von Speicherkennwerten ermittelt, die gemeinsam mit dem Rechenmodell 'MULTIPOINT' eine detaillierte Beschreibung des thermischen Verhaltens des Speichers ermöglichen. Einige dieser Kennwerte, wie z. B. die Wärmeverlustrate, können direkt miteinander verglichen und beurteilt werden. Andere, wie z. B. die vertikalen Positionen der Anschlüsse und Temperaturfühler sind ebenfalls für die Beschreibung des Speichers wichtig, da durch sie z. B. das zur Verfügung stehende Bereitschafts- oder Puffervolumen festgelegt wird. Eine direkte Bewertung dieser Kennwerte ist jedoch nur sehr eingeschränkt möglich.

In Bild 2 sind für die vier untersuchten Kombispeicher die Entnahmeprofile bei der Entladung des Bereitschaftsteils sowie die an den individuellen Positionen der Temperaturfühler gemessenen Temperaturverläufe dargestellt. Vor Beginn der Beladung des Bereitschaftsteils, die entsprechend den Vorgaben des Herstellers erfolgte, herrschte im Speicher eine einheitliche Temperatur von 20 °C. Ein Vergleich der Temperaturverläufe von Speicher A und D zeigt, daß bei der Entladung von Speicher D die Temperaturschichtung im Vergleich zu Speicher A deutlich stärker ausgeprägt ist. Andererseits wird beim Betrachten der Temperaturdifferenz zwischen der Temperatur am obersten Fühler und der Warmwasseraustrittstemperatur deutlich, daß das Wärmeübertragungsvermögen des Brauchwasser-Wärmeübertragers im Speicher A besser ist als jenes des Speichers D. Beide Effekte sind also gegenläufig: Gute Temperaturschichtung einerseits und hohe Temperaturen andererseits.

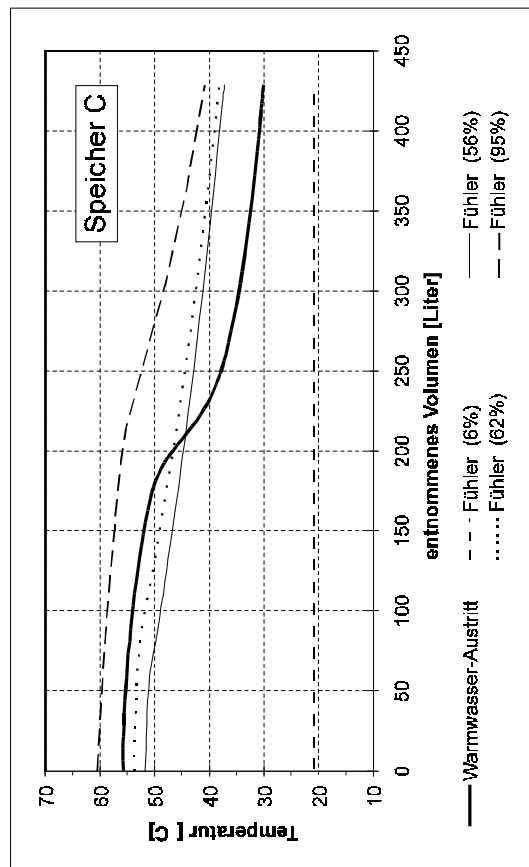
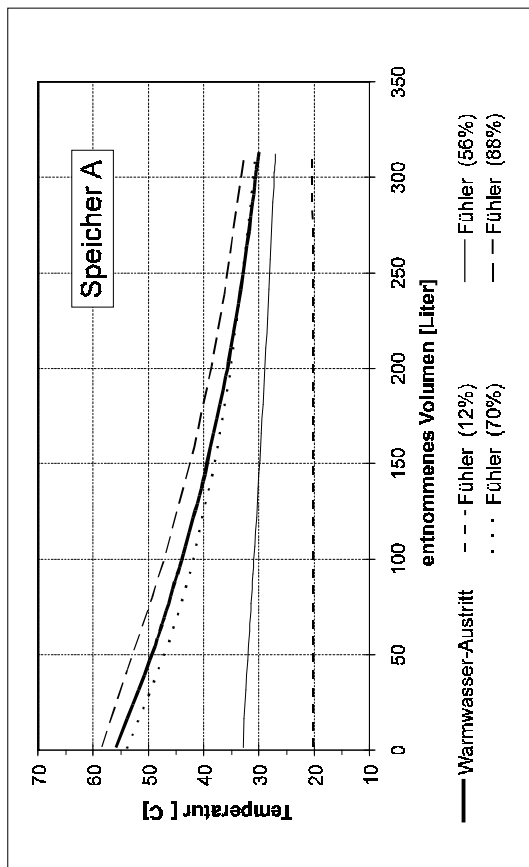
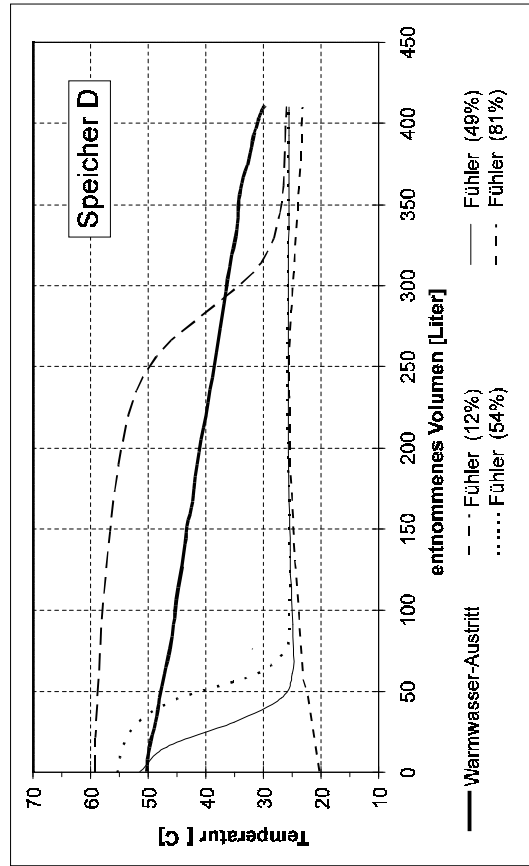
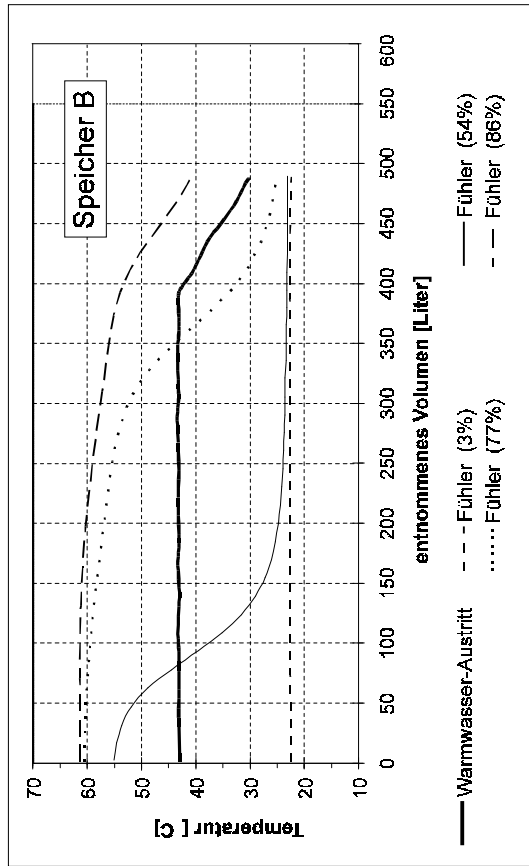


Bild 2: Warmwasser-Austrittstemperatur und Speichertemperaturen bei der Entladung der Bereitschaftsteile ($\dot{m}=600 \text{ kg/h}$) der vier Speicher (vertikale Position der Temperaturfühler in [%] der Speicherhöhe)

Wie an diesem Beispiel deutlich wird, kann eine objektive Beurteilung der Speicher nur auf der Basis von Simulationsrechnungen durchgeführt werden. Hierzu wurden die einzelnen Speicher in eine 'Standard-Kombianlage' mit 10 m² Flachkollektor integriert und Jahressimulationen für die in /2/ beschriebenen Randbedingungen durchgeführt. Als Bewertungsgröße wurde die jährliche anteilige Energieeinsparung (f_{sav}) herangezogen. Diese gibt an, welche prozentuale Energieeinsparung durch die Kombianlage im Vergleich zu einer konventionellen Wärmeversorgung (Brauchwassererwärmung und Raumheizung) erzielt werden kann.

Die Nachheizung für das Brauchwasser erfolgte mit einem Massenstrom von 450 kg/h und einer Eintrittstemperatur, die um 5 K über der Brauchwassersolltemperatur $T_{BW,soll}$ lag. Diese wurde so gewählt, daß die Brauchwasserlast gerade gedeckt werden konnte.

Als wichtigste Speicherkennwerte sind in Tab. 1 das nutzbare Speichervolumen, die effektive vertikale Wärmeleitfähigkeit (λ_{eff}) und die Wärmeverlustrate angegeben. Zusätzlich sind die für $T_{BW,soll}$ ermittelten Temperaturen sowie die berechneten Werte für f_{sav} angegeben.

Speicher	V_{nutz} [Liter]	λ_{eff} [W/(mK)]	Wärmeverlustrate [W/K]	$T_{BW,soll}$ [°C]	high-flow f_{sav} [%]	low-flow f_{sav} [%]
A	693	1,80	3,43	54	20,8	20,0
B	769	1,01	2,53	49	20,2	20,8
C	755	1,71	3,59	43	20,2	19,2
D	549	1,06	3,48	52	18,3	18,3

Tab. 1: Speicherkennwerte, Brauchwassersolltemperatur und berechnete anteilige Energieeinsparung

Die maximalen Unterschiede bei f_{sav} betragen 2,5 Prozentpunkte, was ca. 470 kWh oder etwa 12 % der jährlichen anteiligen Energieeinsparung entspricht. Speicher D weist im Vergleich das geringste Volumen auf. Hätte auch er ein Volumen von 750 Litern, so würde sich f_{sav} auf 18,8 % erhöhen.

Bezogen auf das nutzbare Volumen weist Speicher B mit Abstand die geringste Wärmeverlustrate auf. Im Vergleich zu Speicher A ist hierfür primär die bessere Wärmedämmung im Bereich des Bodens ausschlaggebend. Bei den Speichern C und D treten die Wärmeverluste hauptsächlich im Bereich des Speichermantels auf. Wäre hier die Wärmedämmung genauso gut wie bei Speicher B, so würde sich f_{sav} für die Speicher C und D um etwa einen Prozentpunkt erhöhen.

Schlußfolgerung

Die Simulationsrechnungen ergaben, daß sich ein guter Kombispeicher insbesondere durch ein niedriges Temperaturniveau im Bereitschaftsteil für die Brauchwassererwärmung sowie eine gute Wärmedämmung auszeichnet. Der Bereitschaftsteil sollte genau auf die Bedürfnisse angepaßt und keinesfalls überdimensioniert sein. Erst wenn diese Voraussetzungen erfüllt sind, ist es sinnvoll Schichtbe- bzw. Entladevorrichtungen zur weiteren Ertragssteigerung einzusetzen. In diesem Fall ist es sehr wichtig, daß die gesamte Anlagentechnik hierauf abgestimmt ist.

Literatur:

/1/ H. Drück, M. N. Fisch: Verfahren zur thermischen Prüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen, Tagungsband zum fünften Symposium Thermische Solarenergie, Seite 190 - 194, Kloster Banz, Juni 1995

/2/ Th. Pauschinger, E. Hahne: Vergleichstest von Solaranlagen zur Brauchwassererwärmung und Raumheizung, Veröffentlichung in: Tagungsband zum achten Symposium Thermische Solarenergie, Kloster Banz, Mai 1998