

Einfluss verschiedener Beladeeinrichtungen auf den Solarertrag eines typischen Kombisystems

Ulrike Jordan, Klaus Vajen

Universität Kassel, Institut für thermische Energietechnik, 34109 Kassel

Tel.: 0561 / 804-3891, Fax: / 804-3993, solar@uni-kassel.de

1. Zusammenfassung

Untersuchungsgegenstand dieses Beitrags sind verschiedene Konstruktionen zur Beladung von Kombispeichern mit Solarenergie. Als Schnittstelle zwischen Kollektorkreis und Speicher kommen in Kombianlagen externe, konventionelle interne und vom Speicherwasser thermosyphonisch durchströmte interne Wärmeübertrager zum Einsatz.

Darüber hinaus werden im vorliegenden Beitrag die Funktionsweise und Modellierung verschiedener thermosyphonisch durchströmter Beladeeinrichtungen dargestellt. Die untersuchten Beladeeinrichtungen unterscheiden sich durch die Anzahl von Austrittsöffnungen in verschiedenen Speicherhöhen und durch ihre Druckverlust-Charakteristiken.

Jahressimulationen wurden nach den Konventionen (reference conditions) des IEA SHC Task 26 („Solar Combisystems“) mit der Simulationsumgebung TRNSYS durchgeführt. Dabei kamen zur Simulation konventioneller externer und interner Wärmeübertrager kA -Wert-Charakteristiken handelsüblicher, vom ITW-Stuttgart vermessener Systeme zum Einsatz. Für die thermosyphonischen Systeme wurden dagegen durch eigene Messungen ermittelte kA -Wert- und Druckverlust-Charakteristiken verwendet. Jahressimulationsergebnisse zeigen, dass die gewählte Beladestrategie einen nur geringfügigen Einfluss auf den Solarertrag $f_{sav,ext}$ (nach IEA SHC Task 26) hat, falls die Komponenten jeweils geeignet dimensioniert werden. Im Vergleich zur Wahl der Beladestrategie kommt dagegen der Dimensionierung des gewählten Wärmeübertragungsvermögens eine hohe Bedeutung zu.

2. Die untersuchte Anlage

In Bild 1 ist die betrachtete Kombianlage skizziert. Sie besteht aus einem Pufferspeicher, der hydraulisch mit dem Raumheizungskreis verbunden ist. Trinkwasser wird über einen externen Wärmeübertrager entnommen. Das Kollektorfeld besteht aus 14 m² Flachkollektoren.

Für die Simulationen kamen die in IEA SHC Task 26 vereinbarten Trinkwasser- und Raumheizungslastprofile zum Einsatz.

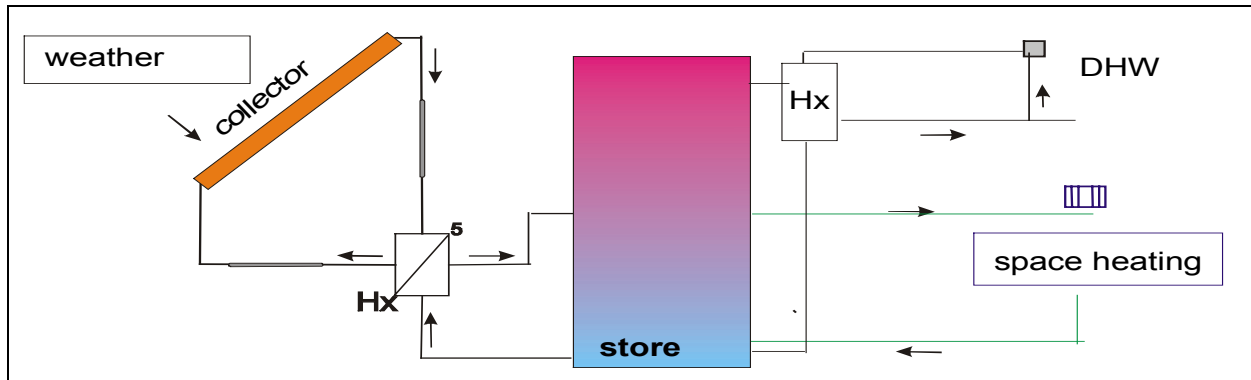


Bild 1: Kombi-Solaranlage mit Speicherung von Raumheizungswasser. Trinkwassererwärmung im externen Wärmeübertrager. 14 m² Kollektorfläche.

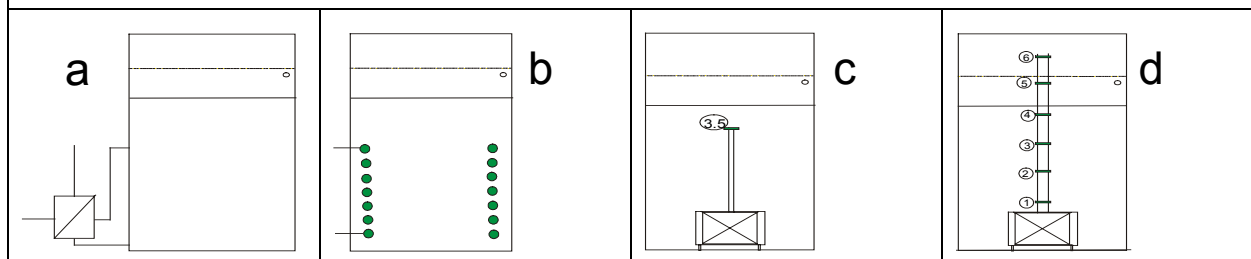


Bild 2: Beladekonzepte: a) Externer, b) interner sowie c, d) sekundärseitig thermosiphonisch durchströmte Wärmeübertrager.

3. Funktionsweise der thermosiphonischen Beladeeinheiten

Die betrachteten Belade-Varianten sind in Bild 2 skizziert. Die thermosiphonisch durchströmten Speicherbeladesysteme bestehen jeweils aus einem lamellierten Rohrbündel-Wärmeübertrager, der von einem Kunststoffgehäuse umgeben ist. Oberhalb des Wärmeübertragers befindet sich ein Kunststoffrohr, welches das vom Solarkreis erwärmte Speicherwasser in eine geeignete Speicherschicht leitet.

Während einer Speicherbeladung erfolgt die Umwälzung des Speicherwassers aufgrund temperaturbedingter Dichteunterschiede. Im Wärmeübertrager wird das Speicherwasser bei genügend hoher Sonneneinstrahlung durch den solaren Primärkreis erwärmt. Aufgrund seiner sinkenden Dichte steigt das erwärmte Wasser nach oben und fließt durch das Kunststoffrohr nach oben.

Die in Bild 2c dargestellte Beladeeinrichtung ist mit einer Austrittsöffnung sowie einem recht hohen Druckverlust im Beladerohr konstruiert. Dagegen ist das in Bild 2d dargestellte Beladesystem mit 6 Auslässen versehen. Für System d wurde angenommen, dass der gesamte Antriebsdruck des Speicherwassers am Wärmeübertrager abfällt. Die Speicher-Beladetemperaturen und –Volumenströme der verschiedenen Austrittsöffnungen wurden nacheinander unter der Annahme berechnet, dass jeweils alle übrigen Austrittsöffnungen verschlossen sind. Dabei ergeben sich dV/dT und T_{out} aus dem thermosiphonischen Antriebsdruck sowie dem volumenstromabhängigem Druckabfall im Strömungskanal. Für

Jahressimulationsrechnungen wurde jeweils diejenige Austrittsöffnung berücksichtigt, für die die Differenz der Austrittstemperatur und der Temperatur des umgebenden Speicherwassers minimal ist.

Für die Druckverlust-Charakteristiken wurde folgender Ansatz gewählt:

$$\Delta p_{\text{shear}} = \zeta \frac{\rho}{2} \omega_{\text{char}}$$

mit dem Druckverlustkoeffizienten $\zeta = \zeta_{1\text{outl}}$ für die Beladeeinheit mit einer Austrittsöffnung und $\zeta = \zeta_{6\text{outl}}$ für die Beladeeinheit mit sechs Austrittöffnungen.

$$\zeta_{1\text{outl}} = \zeta_0 + \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}} \frac{\ell}{d}, \quad \zeta_{6\text{outl}} = \zeta_0 + \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}}$$

mit: $\zeta_0 = \text{konst.}$: Druckverlustkoeffizient; Re : Reynoldzahl, für die charakteristische Länge wurde jeweils ein optimaler Parameter verwendet; ℓ : Länge des Steigrohrs; d : Durchmesser des Steigrohrs.

Die beiden Größen Austrittstemperatur und Volumenstrom werden in beiden Systemen sowohl von der Primärkreis-Leistung als auch von der Speichertemperatur beeinflusst. Dabei erhöhen sich bei steigender Einstrahlung sowohl die Austrittstemperatur als auch der Volumenstrom. Ein Anstieg der Speichertemperaturen bewirkt geringere Antriebskräfte und bei konstanter Einstrahlung dadurch ein Absinken des sekundären Volumenstroms und eine Erhöhung der sekundären Austrittstemperatur. Die thermosyphonischen Beladeeinheiten wirken daher zu einem gewissen Maße selbstregulierend. Temperaturinversionen im Speicher treten nur in geringem Umfang auf.

In Bild 3 sind beispielhaft Betriebszustände zweier thermosyphonisch durchströmter Beladeeinrichtungen bei vorgegebenen Speicherzuständen und einer Solareinstrahlung von $600 \text{ W/m}^2_{\text{Koll}}$ dargestellt. In dem in Bild 3 dargestellten Speicherzustand stellt sich bei gegebenen Randbedingungen im System mit nur einer Austrittsöffnung eine höhere Austrittstemperatur ein als in dem System mit sechs Auslässen. Die Austrittstemperatur liegt jedoch trotzdem unterhalb der Speichertemperatur des umgebenden Speicherwassers. In der Beladeeinheit Bild 3b wird das erwärmte Speicherwasser dagegen in eine niedrigere Speicherschicht (Auslass 3) eingespeist.

Das Ziel einer Kombisystem-Beladeeinheit besteht während der Heizungsperiode darin, bei möglichst niedrigem Temperaturniveau im Kollektorkreis eine Speicherbeladetemperatur bereitzustellen, die gerade noch oberhalb der Heizungsrücklaufatemperatur liegt. Dabei erweist es sich bei gegebenen Lastprofilen mit Raumheizungs-Rücklaufatemperaturen von ca. 35°C als sinnvoll, den Raumheizungs-Rücklaufanschluss möglichst weit unten am Speicher anzubringen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass während der Raumheizungsperiode das Wasser

im unteren Speicherbereich in der Regel täglich mehrfach umgewälzt wird. Eine Einschichtung in verschiedene Speicherhöhen ist daher in der untersuchten Kombianlage nur von geringer Bedeutung.

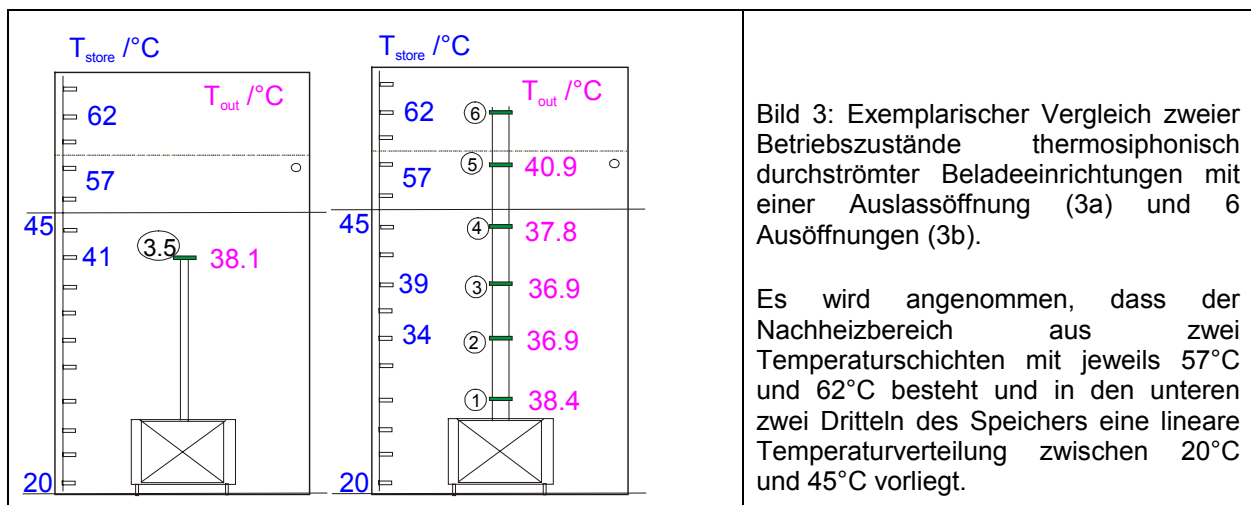


Bild 3: Exemplarischer Vergleich zweier Betriebszustände thermosiphonisch durchströmter Beladeeinrichtungen mit einer Auslassöffnung (3a) und 6 Ausöffnungen (3b).

Es wird angenommen, dass der Nachheizbereich aus zwei Temperaturschichten mit jeweils 57°C und 62°C besteht und in den unteren zwei Dritteln des Speichers eine lineare Temperaturverteilung zwischen 20°C und 45°C vorliegt.

4. Systemsimulationen

In Bild 4 sind Jahressimulationsergebnisse einer thermosiphonisch durchströmten internen Beladeeinrichtung mit einer Austrittsöffnung (vgl. Abb. 3 a) und zwei unterschiedlichen Steigrohrdurchmessern (Kurven I und II) in Abhängigkeit von der Eintrittshöhe in den Speicher (normierte Höhe) dargestellt. Die in Kurve I dargestellten Simulationsergebnisse basieren auf der Druckverlustcharakteristik einer vermessenen Beladeeinheit. In Kurve II sind Ergebnisse unter Verwendung eines optimierten Steigrohrdurchmessers dargestellt. Kurve III zeigt Simulationsergebnisse des Solaren Ertrages der in Bild 3b dargestellten Beladeeinheit in Abhängigkeit vom Druckverlustkoeffizienten ζ_1 .

Es ist zu erkennen, dass bei Verwendung des in Bild 3a dargestellten Beladesystems die gewählte Geometrie des Steigrohres, insbesondere der Rohrdurchmesser, eine erhebliche Rolle spielt.

Zur Modellierung mehrerer Austrittsöffnungen müssen Annahmen zum Strömungsverhalten des Speicherwassers getroffen werden. Da diese nicht messtechnisch untersucht wurden, kamen mehrere Modellansätze zum Einsatz. Bei idealem Einschichtverhalten lässt sich der Solarertrag im Vergleich zur Schichtbeladeeinrichtung mit einer Austrittsöffnung im Vergleich zum Optimum der Beladeeinheit mit einer Austrittsöffnung geringfügig steigern. Der Unterschied des Solarertrags beider Konstruktionen mit jeweils optimierter Geometrie liegt beim modellierten Kombisystem jedoch bei lediglich ca. 0.3 %-Punkten und damit innerhalb der Simulationsgenauigkeit.

In Bild 5 ist der Solarertrag $f_{sav,ext}$ in Abhängigkeit von den normierten kA-Charakteristiken kA/kA_0 des Belade-Wärmeübertragers aufgetragen. Die

Berechnungen erfolgten zunächst mit den handelsüblichen kA_0 und dann mit jeweils verdoppelten und halbierten kA -Wert-Funktionen. Es zeigt sich, dass Jahressimulationen unter Verwendung eines internen, eines externen sowie eines thermosiphonisch durchströmten Wärmeübertragers zu sehr ähnlichen Ergebnissen für den Solarertrag führen.

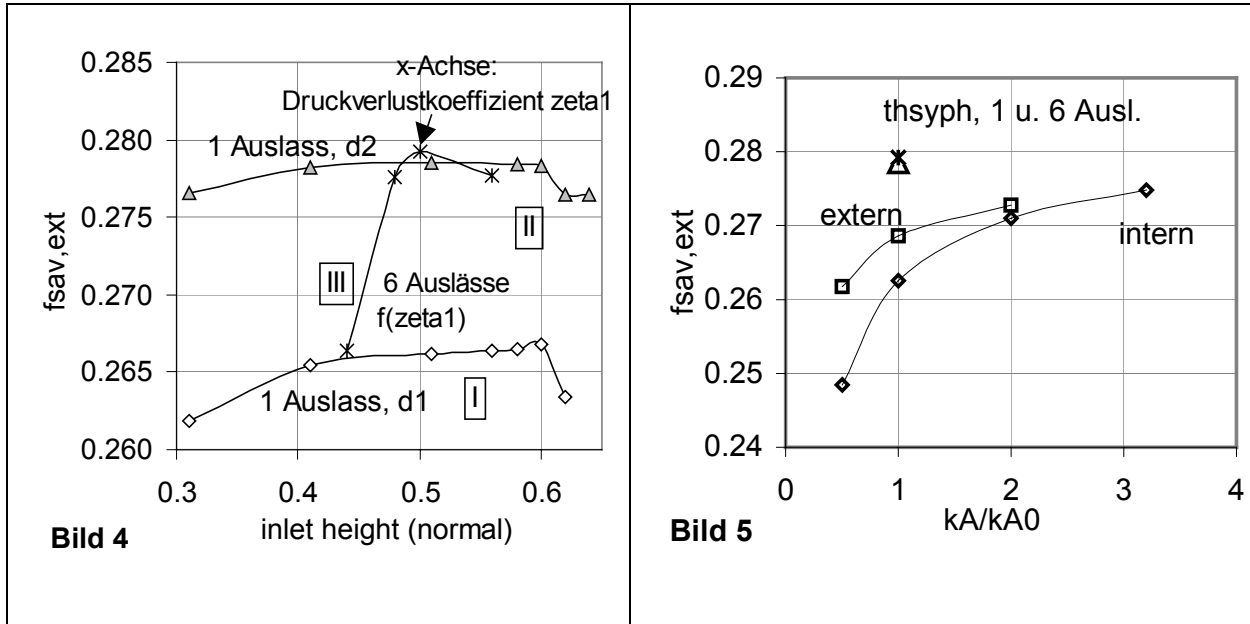


Bild 4: Jahressimulationsergebnisse des Solarer Energieertrag eines Kombisystems (extended definition of the fractional energy savings $f_{sav,ext}$ nach IEA-SHC-Task 26) in Abhängigkeit von der Eintrittshöhe des Sekundärkreises in den Speicher (Kurven I und II, $d_2/d_1 \approx 2$) und in Abhängigkeit vom Druckverlustkoeffizienten ζ_1 (Kurve III). Kurven I und II: thermosiphonisch durchströmte Beladeeinrichtungen mit einem Auslass, Kurve III: thermosiphonisch durchströmte Beladeeinrichtung mit 6 Auslässen. Kollektorstrom von $20 \text{ l}/(\text{m}^2_{\text{Koll}} \text{ h})$.

Bild 5: Solarertrag $f_{sav,ext}$ in Abhängigkeit von der Wärmedurchgangs-Charakteristik eines internen, externen und thermosiphonisch durchströmten Wärmeübertragers. Dabei wurden für die beiden thermosiphonisch durchströmten Wärmeübertrager die gleichen kA -Wert-Funktionen angenommen.

5. Fazit

- 1.) Der Solarertrag hängt stark vom kA -Wert des Belade-Wärmeübertragers ab.
- 2.) Die Solarerträge von Kombianlagen mit externen und internen Speicherbelade-Wärmeüberträgern weisen bei Berücksichtigung der für zusätzliche Pumpen aufgewandten elektrischen Energie keine wesentlichen Unterschiede auf.
- 3.) Auch der Vergleich des Solarertrages von Kombianlagen bei Verwendung unterschiedlicher thermosiphonischer Beladeeinheiten zeigt für verschiedene Beladevarianten nur geringe Unterschiede auf, die innerhalb der Simulationsgenauigkeit der abgebildeten Systeme liegen.

Bei geeigneter Dimensionierung der Komponenten haben Schichtbeladestrategien daher einen weit geringen Einfluss auf den Solarertrag als der kA -Wert des Wärmeübertragers.