

# Preiswerte und kontinuierliche Schichtladeeinrichtung für Solar- und Pufferspeicher

Elimar Frank, Peter Vogelsanger\*, Heinz Marty

SPF Institut für Solartechnik  
Oberseestr. 10, CH-8640 Rapperswil  
+41 (0)55 222 4823, fax -4844  
elimar.frank@solarenergy.ch  
www.solarenergy.ch

\* Ingenieurbüro  
Nidelbadstrasse 94, CH-8038 Zürich  
+41 (0)44 480 05 88  
peter@vogelsanger.ch

## Einleitung

Die Temperaturschichtung im Speicher ist bedeutend für die Funktion und den Ertrag von Solaranlagen [1][2]. Deswegen ist anzustreben, beim Einbringen der Wärme von der Solaranlage und/oder vom Heizungsrücklauf temperaturabhängig auf der richtigen Höhe einzuschichten. Eine Möglichkeit dazu ist die Beladung eines Speichers über einen externen Wärmeübertrager mit passiver Schichtbeladung. Im Gegensatz zu einer aktiven Schichtbeladung (beispielsweise über 3-Wege-Ventile) kann hier aufgrund des üblicherweise geringeren apparativen Aufwands in einer diskreten Anzahl von Eintrittshöhen [3] oder kontinuierlich [4] eingespeist werden. Für die passive Schichtbeladung ist kaum zusätzlicher Regelungsaufwand nötig. Nachteilig ist jedoch häufig eine aufwändige und/oder fehleranfällige Konstruktion der Schichtladeeinrichtung bzw. des damit ausgestatteten Speichers.

In diesem Beitrag werden Experimente vorgestellt und ausgewertet, die am SPF mit dem Ziel durchgeführt wurden, eine kontinuierliche Einschichtung des einströmenden Fluids in den Speicher mit einem möglichst einfachen und günstigen Konzept zu ermöglichen [5].

## Konstruktion der Schichtladeeinrichtung

Die am SPF entwickelte Lösung besteht aus einer Anordnung von zwei annähernd parallelen Platten in geringem Abstand, die senkrecht im Speicher installiert werden (vgl. Abb. 1). Das in den Speicher einzuspeisende Fluid wird durch einen Anschluss in der äusseren der beiden Platten in den Zwischenraum eingebracht und verteilt sich dort zunächst, wobei das resultierende Geschwindigkeitsfeld der Strömung vor allem vom Abstand der beiden Platten abhängt. Durch die aus dem Temperatur- bzw. Dichteunterschied zwischen dem einströmenden und dem sich im Speicher befindlichen Wasser resultierende Auftriebskraft wird das Wasser bei geeignetem

Plattenabstand zwischen den Platten laminar bis zu der Höhe transportiert, wo die Temperatur derjenigen des umgebenden Speicherwassers entspricht. Aufgrund der Verdrängung durch das nachströmende Wasser erfolgt eine horizontale Einschichtung durch den umgebenden Spalt am Rand der parallelen Platten. Durch die minimale Kontaktfläche zwischen einströmendem Warmwasser und dem Speicherwasser aufgrund der kleinen Spaltbreite zwischen den Platten wird eine ungewollte Durchmischung dieser beiden Wasserphasen im unteren Speicherbereich vermieden.



Abb. 1: Am SPF entwickelte Schichtladeeinrichtung aus zwei parallelen Platten.

## Experimentelle Untersuchungen

Da die Apparatur für low flow drainback-Systeme entwickelt wurde, sind Volumenströme im Bereich von 30..100 l/h an einem zylindrischen Glasspeicher ( $d_i = 380$  mm,  $H = 1.5$  m) überprüft worden. Hierzu wurden neben der Konfiguration der Schichtbeladeeinrichtung Beladevolumenströme, Speicherausgangszustand und Beladetemperatur variiert. Die Schichtvorgänge im Speicher wurden durch die Zugabe von Farbstoff in den Beladestrom visualisiert und anhand von Temperaturmessungen überprüft.

Die vorwiegende Schwierigkeit dieses Funktionsprinzips zweier paralleler Platten ist die Wahl einer geeigneten Spaltbreite. Abhängig von Temperatur und Volumenstrom, mit dem das Warmwasser zwischen die Platten einströmt, wäre theoretisch eine jeweils spezifische Spaltbreite optimal. Hinzu kommt, dass die Plattenbreite hinreichend gross gewählt werden muss, dass das in den Speicher eingebrachte Wasser aufgrund der Einströmgeschwindigkeit die Beladeeinrichtung nicht bereits auf der Eintrittshöhe verlässt. Aufgrund verschiedener Experimente erwies sich für den genannten Volumenstrombereich und für alle untersuchten Betriebssituationen (vgl. Tab. 1) eine Plattenanordnung als geeignet, bei welcher der Einlass horizontal versetzt angebracht wurde (vgl. Abb. 3). Auf der dem Einlass nähergelegenen Seite wurde der Spalt geschlossen. Die Spaltbreite beträgt auf der Einlassseite 4 mm und auf der einlassabgewandten Seite 3 mm. Durch die Verringerung der Spaltbreite auf der Seite, wo die Einschichtung erfolgt, wird erreicht, dass der Druckabfall in Richtung des Plattenrandes steigt und somit zu frühes Heraustreten des warmen Wassers sowie übermässiges Eintreten von Speicherwasser in den Spalt verhindert werden.

Im Laufe der Experimente wurde zudem der Einlass angepasst. Bei der Einströmung zwischen die Platten muss zur Vermeidung von Verwirbelungen, die zum Ansaugen von kaltem Speicherwasser führen, die Strömungsgeschwindigkeit klein sein. Andererseits darf sie nicht so klein werden, dass schon am Warmwassereintritt kaltes

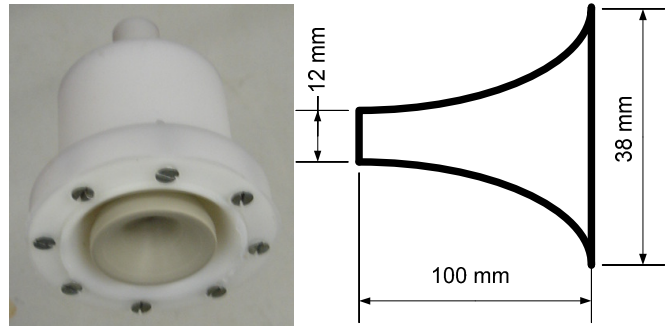


Abb. 2: Aufgrund der Experimente angepasster Diffusor, bei dem die Einströmgeschwindigkeit zur Vermeidung von Turbulenzen verringert wird.

Speicherwasser in den Einlass zurückströmt und sich dort mit Warmwasser vermischt. Für den genannten Volumenstrombereich wurde ein geeigneter Diffusor entwickelt, dessen Abmessungen in Abb. 2 dargestellt sind.

Tabelle 1: In verschiedenen Experimenten variierte Parameter und Auswertung der Ergebnisse

Varierte Parameter	Auswertung
Spaltbreite $s$	Zu klein: Ausbreitung des Einlassvolumenstroms über die Plattenbreite hinaus etwa auf Einlasshöhe. Zu gross: Hohe Steiggeschwindigkeit führt zu Turbulenzen und Vermischung.
Einlassposition horizontal	Wenn der Speicherdurchmesser nicht für entsprechend breite Platten mit mittiger Anordnung des Einlasses ausreicht, kann dieser seitlich versetzt werden, wobei der seitliche Austritt auf dieser Seite geschlossen wird.
Einlassposition vertikal	Nicht abschliessend geklärt.
Diffusorgeometrie	Bei scharfkantigem Einlass (in Kombination mit geringer Spaltbreite $s$ ): Strömungsablösungen am Eintritt, Turbulenzen und starke Vermischung mit Speicherwasser. Bei zu starker Verringerung der Einströmgeschwindigkeit: Gefahr der Rezirkulation von (kaltem) Speicherwasser in den Diffusor.
Distanzscheibenform	Rechteckige Distanzplättchen führten in den ersten Versuchen zu Turbulenzen → Ersetzen durch runde Distanzscheiben.
Speicherinitialisierung und Einströmtemperatur	Für Speichertemperaturen von 15°C (komplett), zusätzlich einer heissen Schicht (60°C) im oberen Abschnitt und zusätzlich einer mittelwarmen Schicht (35°C) im mittleren Abschnitt wurden

	Einschichtversuche mit unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt. Mit der Beladeeinrichtung steigt bei geeignetem Plattenabstand das einströmende Wasser bis zur richtigen Höhe auf bzw. ab, aber nicht darüber hinaus.
Volumenstrom	Der Einfluss des Beladevolumenstroms auf die Breite der Strömungsverteilung zwischen den Platten war bei festem Plattenabstand im genannten Bereich überraschenderweise kaum bedeutsam.

Die Dicke der Plexiglasplatten betrug in allen Experimenten 5 mm. Im Laufe der Experimente wurden die Platten mit U-Profilen aus Aluminium verstärkt (vgl. Abb. 1), da sonst je nach Volumenstrom, Plattenabstand und Anordnung des Einlasses eine teilweise Durchbiegung der Platten beobachtet wurde, die das Strömungsverhalten zwischen den Platten erheblich beeinflusst.

Speicherinitialisierung	Siehe Bild
Eintrittstemperatur	38..43 °C
Eintrittsvolumenstrom (variiert)	30 l/h 70 l/h 85 l/h 100 l/h
Spaltbreite links/rechts (linke Seite geschlossen)	4mm / 3mm

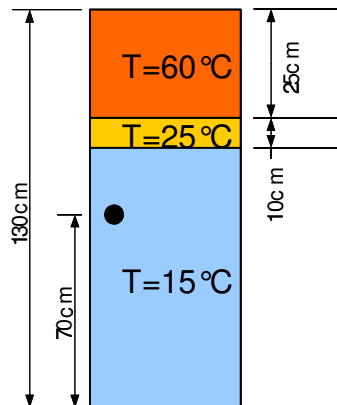


Abb. 3: Versuchsbedingungen eines ausgewählten Experiments mit bestehender Schichtung zu Beginn des Versuchs und Einspeisung mit unterschiedlichen Volumenströmen.



Abb. 4: Resultierende Einschichtung des einströmenden Wassers mit etwa 40 °C.

Je nach vorwiegender Betriebssituation des Speichers und Beladevolumenstrom kann die Spaltbreite variiert werden. Für höhere Volumenströme wäre den Experimenten zufolge eine grössere Spaltbreite vorzusehen, welche den seitlichen Druckverlust verringert und somit verhindert, dass das einströmende warme Wasser in der Beladeeinrichtung zu hoch steigt. Für kleine Volumenströme sollte ein eher kleiner Spalt gewählt werden, der ein Ansaugen und Durchmischen des Speicherwassers mit dem einströmenden Wasser minimiert.

## Zusammenfassung und Ausblick

Es konnte durch qualitative Untersuchungen gezeigt werden, dass mit der in diesem Beitrag vorgestellten einfachen Einrichtung ein gutes und stufenloses Schichtbeladungsverhalten erreicht werden kann. Die für einen Volumenstrombereich zwischen 30 – 100 l/h optimale Lösung besteht in einem schrägen, auf der breiteren Seite geschlossenen Spalt mit versetzter Einlassposition. Um einerseits Verwirbelungen am Einlass und andererseits Rezirkulationen zu vermeiden, wurde der Einlassstutzen für geeignete Einströmgeschwindigkeiten angepasst. In den Untersuchungen konnten die wichtigen Parameter und ihre Einflüsse evaluiert werden. Vorteilhaft bei dieser einfachen Einrichtung ist die Tatsache, dass es keine beweglichen Teile gibt.

Für von den Experimenten abweichende Volumenstrombereiche muss der Abstand der Platten angepasst werden. Auch die Anpassung der Plattengeometrie (z.B. abgerundete Platten) kann zu einem verbesserten Einschichtverhalten führen. In weiteren Versuchen könnte (beispielsweise anhand von particle image velocimetry in Kombination mit laser induced fluorescence) eine Quantifizierung der Ergebnisse erfolgen. Je nach Speicherform und -material wäre auch die Nutzung der Speicherwand als Platte denkbar.

## Danksagung

Das SPF dankt dem Bundesamt für Energie für die Unterstützung der dargestellten Forschungsaktivitäten.

## Literatur

- [1] Hadorn, J.-C. (Ed.): Thermal Energy Storage for Solar and Low Energy Houses. Report of IEA Solar Heating and Cooling Task 32, 2005.
- [2] Weiss, W. (Ed.): Solar Heating Systems for Houses. A Design Handbook for Solar Combisystems. James & James, London, 2003.
- [3] Solvis: Technische Daten. Verfügbar unter [www.solvis.de](http://www.solvis.de), 2007.
- [4] Andersen, E., Furbo, S., Fan, J.: Multilayer fabric stratification pipes for solar tanks. Solar Energy 81, 2007, pp. 1219-1226.
- [5] Cinelli, M.: Entwicklung einer Schichtladeeinrichtung. Diplomarbeit, Hochschule für Technik Rapperswil, 2004.