

Experimentelle Untersuchung der Schichtungseffizienz – Kombispeicher auf dem Prüfstand

R. Haberl, A. Reber, P. Persdorf, M.Y. Haller

Institut für Solartechnik SPF, Hochschule für Technik Rapperswil HSR

Oberseestr. 10, CH-8640 Rapperswil

Tel.: +41 (0) 55 222 48 32, Fax: +41 (0) 55 222 48 44

E-Mail: rhaberl@spf.ch

Internet: www.spf.ch

Einleitung

Der Kombispeicher ist ein zentrales Element von Solaranlagen für Warmwasser und Heizungsunterstützung. Durch den Speicher werden die Randbedingungen für andere Komponenten – insbesondere für die Kollektoren und die Nachheizung – bestimmt. Somit haben der Speicher und dessen Schichtungsverhalten einen entscheidenden Einfluss auf die Effizienz dieser Komponenten und damit auf die Effizienz der gesamten Anlage.

Insbesondere bei der Verwendung von Wärmepumpen ist der gegenseitige Einfluss gross: Einerseits ist die Leistungszahl (COP) einer Wärmepumpe (WP) abhängig von der Spreizung zwischen Quelle und Senke, andererseits wird der Speicher durch die grossen Durchflussraten, die bei Wärmepumpen üblich sind, vor besondere Herausforderungen gestellt.

Feldtests (Ruschenburg et al. 2012, Thür et al. 2012), Labortests (Haberl et al. 2014) und Simulationsstudien (Haller et al. 2013) haben teilweise unbefriedigende Ergebnisse für Heizsysteme präsentiert, die Wärmepumpen mit solaren Kombispeichern kombinieren. Teilweise wurde bemängelt, dass das Temperaturniveau der Wärmeabgabe der Wärmepumpe im Vergleich zum erforderlichen Niveau für Raumheizung und Warmwasser in diesen Anlagen viel höher war als erwartet. Dies kann eine Auswirkung ungenügender Speicherschichtung oder ungeschickter hydraulischer Einbindung und Regelung der Kombination Wärmepumpe und Kombispeicher sein.

Methode

Im Projekt „StorEx“ wurde deswegen eine Testmethode für die Beurteilung der Schichtungseffizienz von Kombispeichern inklusive der zugehörigen Hydraulik entwickelt (vgl. Persdorf et al. 2015 am 25. Symposium Thermische Solarenergie). Für die Ermittlung der Schichtungseffizienz wird ein Kombispeicher mit der Hydraulik zur Be- und Entladung im Prüfstand installiert (vgl. Abbildung 1). Der Prüfstand emuliert dann sowohl die Wärmesenken (Raumheizung und Warmwasser) als auch die Wärmequellen (Wärmepumpe und Kollektoren) während einem 24-stündigen

Testzyklus, der so oft wiederholt wird, bis die Auswertung einzelner Tages-Zyklen reproduzierbare Ergebnisse liefert.

Bei diesem Testzyklus beträgt die Raumheizungslast bei einer konstanten Aussentemperatur von 2.5 °C 42.5 kWh, der tägliche Warmwasser (WW) Bedarf beträgt 9.45 kWh (dies entspricht einem Verbrauch von 232 l bei einer Kaltwassertemperatur von 10 °C und einer Warmwassertemperatur von 45 °C nach dem Passiv-Mischer). Die Kollektor-Einstrahlung nach IAM beträgt 15.5 kWh/d auf das Kollektorfeld von 10 m². Die emulierte Luft-Wasser WP hat eine Leistung von 8 kW. Weitere Messungen wurden mit 12 kW oder 16 kW durchgeführt. Die zugehörigen Durchflussraten sind in Tabelle 1 zu sehen.

Tabelle 1: Wärmepumpenleistungen und Durchfluss am Kondensator.

Nennleistung (A7W35)	Massenstrom
8 kW	1370 kg/h
12 kW	2060 kg/h
16 kW	2740 kg/h

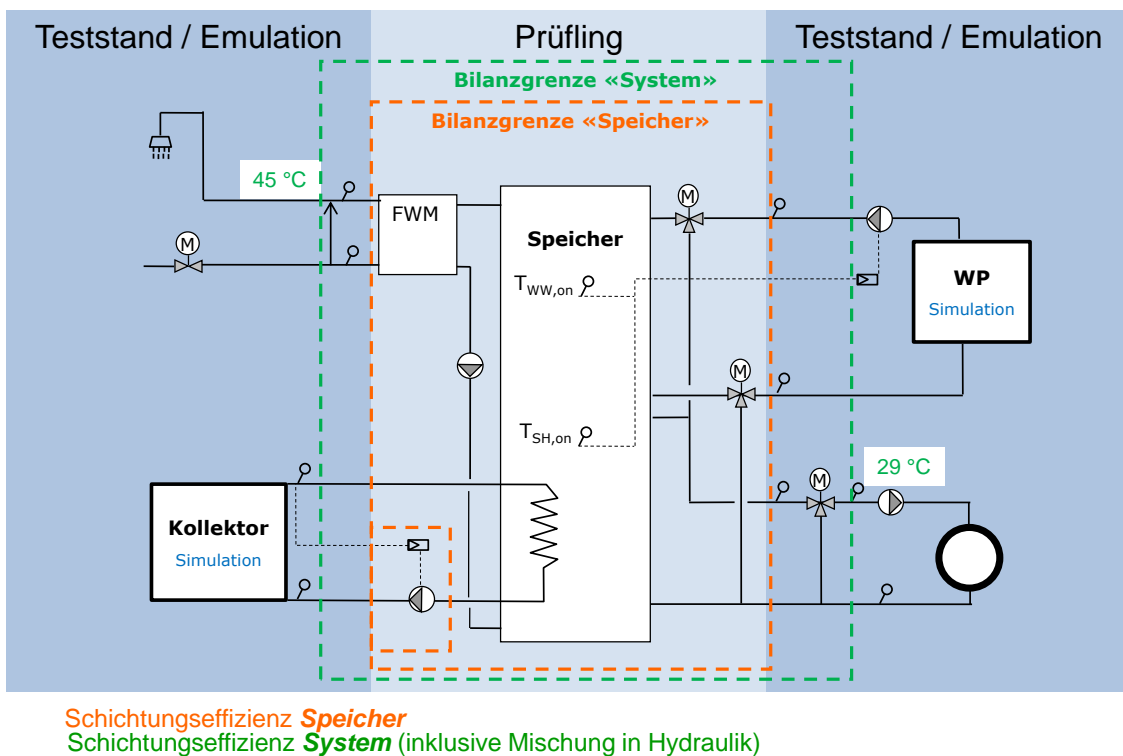


Abbildung 1: Systemgrenze für das getestete Speicher-System (Beispiel).

Die **Schichtungseffizienz** wird dann auf Grund der gemessenen Entropie- und Exergiebilanzen gebildet, indem die berechnete Entropieproduktion innerhalb der Bilanzierungsgrenze (Abbildung 1) verglichen wird mit der Entropieproduktion eines vollständig durchmischten Speichers. Beim vollständig durchmischten Speicher wird davon ausgegangen, dass die gesamte Wärmezufuhr auf einem Temperaturniveau von 55 °C erfolgen muss (worst case). Die Schichtungseffizienz wird sowohl für den

Speicher alleine, als auch für das Speicher-System inkl. der zugehörigen Hydraulik berechnet (vgl. orangefarbene und grüne Bilanzgrenze in Abbildung 1).

Die **Tagesarbeitszahl** (TAZ) der Wärmepumpe zeigt die auf Grund der gemessenen Temperaturen am Ein- und Austritt simulierte Effizienz der Wärmepumpe, die von der Einbindung in das System und von der Speicherschichtung abhängt.

Das **Warmwasser-Verhältnis** ist das Verhältnis aus der Wärmemenge, die durch die Wärmepumpe im WW-Modus geliefert wurde ($Q_{WP,WW}$), zum tatsächlichen Warmwasserbezug ab Speicher (Q_{WW}). Diese Zahl gibt einen wichtigen Anhaltspunkt über die Trennung der unterschiedlichen Temperaturbereiche für Warmwasser und Raumheizung im Speicher und ist dementsprechend ein guter Indikator für das Speicherkonzept und das Speichermanagement. Dabei ist ein möglichst tiefer Wert für das Warmwasser-Verhältnis anzustreben.

Eine genauere Beschreibung der Testmethode sowie der Kennzahlen ist in Persdorf et al. 2015 in diesem Tagungsband zu finden.

Geprüfte Speicher

Mithilfe dieser Testmethode wurde die Schichtungseffizienz von insgesamt 6 verschiedenen Kombispeichern verschiedener Hersteller bestimmt. Diese Speicher hatten Nennvolumen von 0.8 m^3 bis 0.9 m^3 , und verfolgten verschiedene Konzepte zur Einbindung der Wärmepumpe und der solarthermischen Kollektoren sowie zur Warmwasserbereitung.

Bei drei der geprüften Speicher erfolgt die **Bereitung des Brauchwarmwassers** mit internen Wellrohrwärmetauschern. Bei den restlichen Probanden wurde ein Frischwassermodul (FWM) verwendet.

Fünf der geprüften Speicher verwenden interne **Solar**-Wärmeübertrager, der sechste Prüfling setzt einen externen Wärmeübertrager für den Solarkreis ein.

Bei der **Einbindung der WP** setzten alle Hersteller auf eine Umschaltung des Rücklaufs nach dem Betriebszustand (WW oder Raumheizung). Der Vorlauf wurde bei vier Probanden mit Hilfe eines Umschaltventils an die entsprechende Position im Speicher geleitet, bei zwei Speichern ist die Eintrittsposition für WW- und Raumheizungs-Beladung identisch.

Der Vorlauf der **Raumheizung** zweigt bei drei Prüflingen vom Vorlauf der Wärmepumpe ab, bei den anderen Speichern gibt es einen eigenen Anschluss zur Entnahme für die Raumheizung aus dem Speicher. Der Rücklauf wird bei allen Probanden direkt in den Speicher geführt.

Testbedingungen

Es wurden für jeden Speicher (A bis F) drei verschiedene Tests durchgeführt:

Test I: Für den Standardversuch wird der Schichtungstest mit der 8 kW WP und zwei fixen Zeitfenstern für die WW-Bereitung (2 – 4 Uhr und 16 – 18 Uhr) durchgeführt. Außerhalb der Zeitfenster finden keine WW-Beladungen statt, während den Zeitfenstern hat die WW-Ladung Vorrang.

Test II: Im zweiten Test werden keine Zeitfenster für die WW-Bereitung vorgegeben. D.h. die WW-Ladung ist durchgehend erlaubt. Es wird ebenfalls eine 8 kW WP emuliert.

Test III: Der dritte Test wird wieder mit den Zeitfenstern für die WW-Bereitung durchgeführt. Der Unterschied zum Standardtest liegt in der Emulation der WP: Es wird entweder eine 12 kW oder eine 16 kW WP emuliert (Hersteller konnten frei wählen) um den Einfluss des grösseren Volumenstroms auf die Schichtungseffizienz zu ermitteln.

Resultate

Die Ergebnisse der Messungen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Ergebnisse der Speicherschichtungstests.

System	Testnummer	Leistung WP	Wärmelieferung WP [kWh]	el. Stromverbrauch WP [kW]	Kollektoreertrag [kWh]	Verluste [kWh]	TAZ WP	WW-Verhältnis	Schichtungseffizienz Speicher	Schichtungseffizienz System
A	I	8	46.5	13.0	7.9	2.5	3.6	1.3	83.32%	77.27%
	II	8	46.9	15.2	7.5	2.7	3.1	1.9	77.76%	67.96%
	III	16	47.1	13.6	7.7	2.4	3.5	1.5	82.05%	73.16%
B	I	8	45.5	12.5	7.8	1.4	3.6	1.0	83.48%	79.87%
	II	8	45.9	14.9	7.6	1.5	3.1	1.4	74.84%	69.87%
	III	12	44.8	12.3	7.8	1.3	3.7	1.0	83.17%	78.73%
C	I	8	48.0	12.8	6.7	2.4	3.7	0.7	80.46%	76.68%
	II	8	47.8	13.1	6.5	2.3	3.6	0.9	78.81%	75.04%
	III	16	48.2	13.2	6.8	2.6	3.7	0.9	78.61%	75.78%
D	I		46.0	12.9	7.6	1.2	3.6	1.0	80.96%	75.22%
	II	8	45.7	14.8	7.3	0.9	3.1	1.4	75.23%	67.80%
	III	16	46.1	16.3	7.3	1.5	2.8	1.8	68.22%	58.86% (a)
E	I	8	45.6	12.3	7.3	0.8	3.7	0.9	86.84%	83.84%
	II	8	46.0	14.9	7.0	1.0	3.1	1.8	77.96%	69.73%
	III	16	45.2	12.5	7.3	0.7	3.6	1.0	84.72%	78.38%
F	I	8	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a.	n. a. (b)
	II	8	47.4	13.9	6.4	2.0	3.4	1.4	74.56	68.30
	III	12	48.3	14.7	6.2	2.4	3.3	1.8	70.81	65.34 (a)

(a) Für Speicher D und F wurde der Test III jeweils, neben der grossen WP-Leistung, ohne Zeitfenster für die WW-Bereitung durchgeführt.

(b) Der Standardtest konnte mit diesem Speicher (F) nicht durchgeführt werden, da der WW-Komfort mit Zeitfenstern für die WW-Bereitung nicht eingehalten wurde.

Schichtungseffizienz

In Abbildung 2 ist die Schichtungseffizienz der Speicher abgebildet. In der Grafik ist jeweils der Verlust an Schichtungseffizienz dargestellt, welcher auf die Mischung im Speicher (gelb) bzw. in der Hydraulik (grün) zurückzuführen ist. Die gemessenen Werte auf Systemebene reichen von 59 % bis zu 84 %.

Der Standardtest (Test I) konnte nur bei fünf der Speicher erfolgreich durchgeführt werden. Im sechsten Test konnte die geforderte WW-Temperatur nicht jederzeit erreicht werden, da die Temperatur im oberen Teil des Speichers nach der Warmwasserladung zu schnell absank. Ansonsten bewegen sich die Ergebnisse der jeweiligen Standardtests in einem relativ engen Rahmen.

Demgegenüber fallen die Ergebnisse ohne Zeitfenster (Test II) generell auffällig niedriger – und mit einer deutlich grösseren Varianz aus.

Auch bei den Tests mit grosser WP (Test III) gibt es wieder deutliche Unterschiede im Ergebnis, wobei die besonders niedrigen Schichtungseffizienzen der Speicher D und F auf eine Kombination aus grosser WP und fehlenden WW-Zeitfenstern zurückzuführen sind. In diesen Tests führte der hohe Massenstrom der grösseren WP zu einer starken Durchmischung im Speicher. Diese Durchmischung führte wiederum dazu, dass der WW-Komfort mit Zeitfenster nicht gewährleistet werden konnte. Deshalb wurde in den beiden Tests die WW-Bereitung über 24 h freigegeben (keine Zeitfenster).

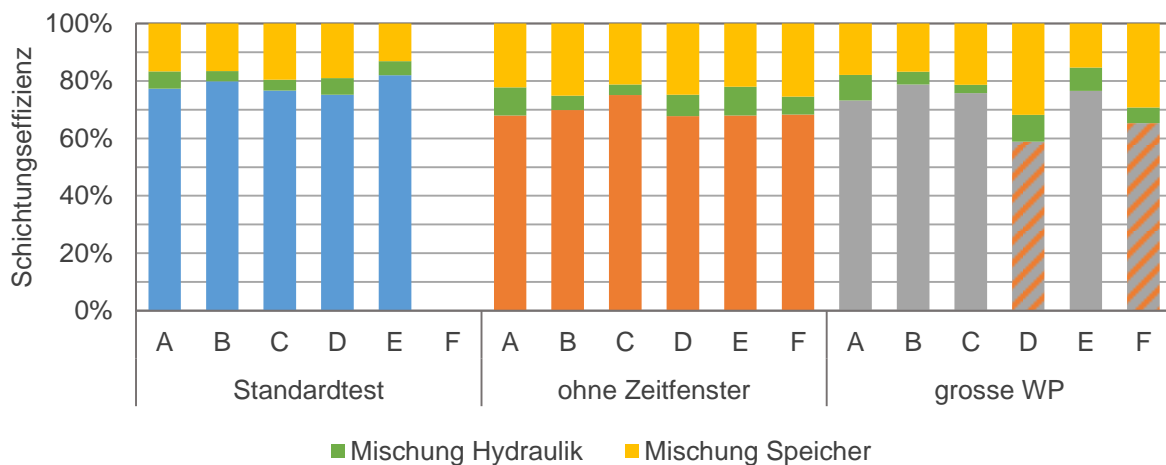


Abbildung 2: Schichtungseffizienz der getesteten Speicher. Die Messungen mit grosser WP der Hersteller D und F wurden ohne Zeitfenster für die WW-Bereitung durchgeführt.

WW-Verhältnis

Ein wichtiger Faktor zur Begrenzung des WW-Verhältnis sind die Zeitfenster, während denen die WW-Bereitung freigegeben ist. Entsprechend ist das WW-Verhältnis in den Tests mit Zeitfenstern bei allen Speicher-Systemen deutlich niedriger als in den Tests ohne Zeitfenster.

Insgesamt wurden 8 Messungen ohne WW-Zeitfenster durchgeführt: Die sechs Messungen, die dezidiert ohne Zeitfenster durchgeführt wurden (der jeweilige Test II)

sowie die beiden bereits erwähnten Messungen mit grosser WP. Lediglich Speicher C erreichte in allen Tests ein WW-Verhältnis < 1 (vgl. Abbildung 3).

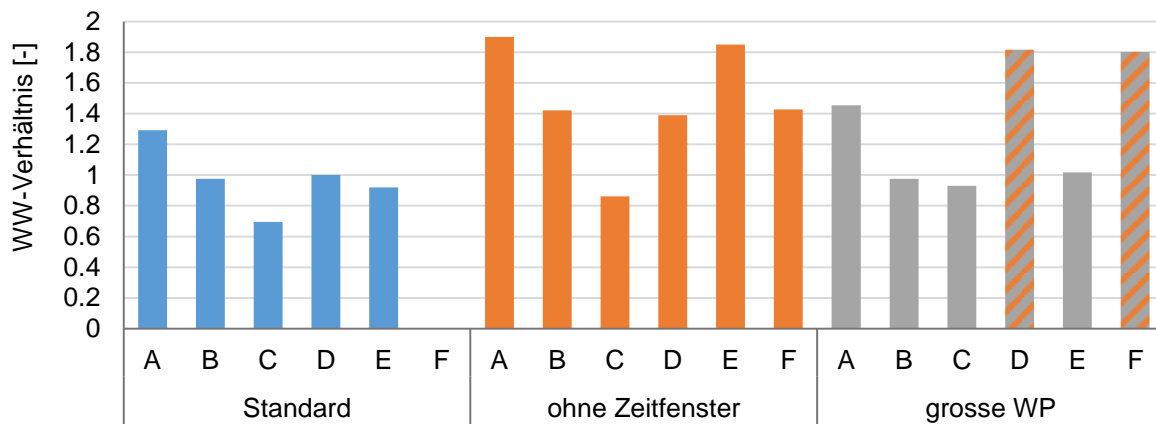


Abbildung 3: Von der WP im WW-Modus gelieferte Wärmemenge im Verhältnis zur bezogenen WW-Wärmemenge, aufgeteilt auf die verschiedenen Testbedingungen. Die schraffierten Tests unter „grosse WP“ wurden ohne Zeitfenster durchgeführt.

Der Einfluss des WW-Verhältnis auf die TAZ der WP ist in Abbildung 4 dargestellt. Das Bestimmtheitsmass beträgt (gerundet) 0.8 und legt einen Zusammenhang zwischen den beiden Grössen nahe. Mit steigendem WW-Verhältnis nimmt der COP der WP deutlich ab. In der Grafik ist zu erkennen, dass die Werte mit niedriger TAZ, respektive hohem WW-Verhältnis, vor allem aus Messungen ohne Zeitfenster resultieren (die beiden Messungen mit grosser WP ohne WW-Zeitfenster liegen bei 1.8).

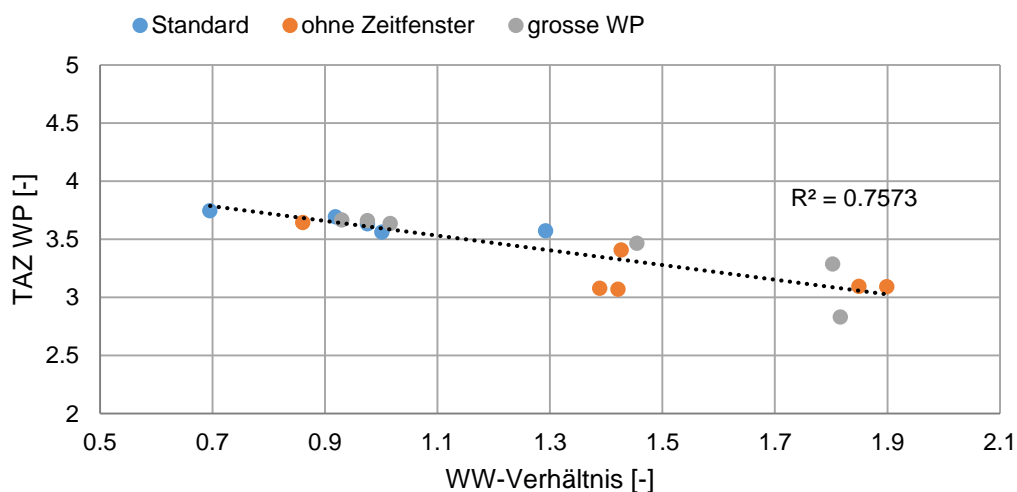


Abbildung 4: Zusammenhang aus dem WW-Verhältnis und der TAZ der WP.

EI. Leistungsaufnahme der WP

In Abbildung 5 ist der Zusammenhang aus der Schichtungseffizienz des Speichersystems und dem Bedarf an el. Energie der WP dargestellt. Es gibt eine eindeutige, lineare Abhängigkeit des Bedarfs an el. Energie von der Schichtungseffizienz des

Speichers. Dabei ist der Unterschied im Verbrauch an el. Energie der WP zur Deckung einer identischen Last beträchtlich. Im schlechtesten Fall wird um ca. 1/3 mehr el. Energie benötigt.

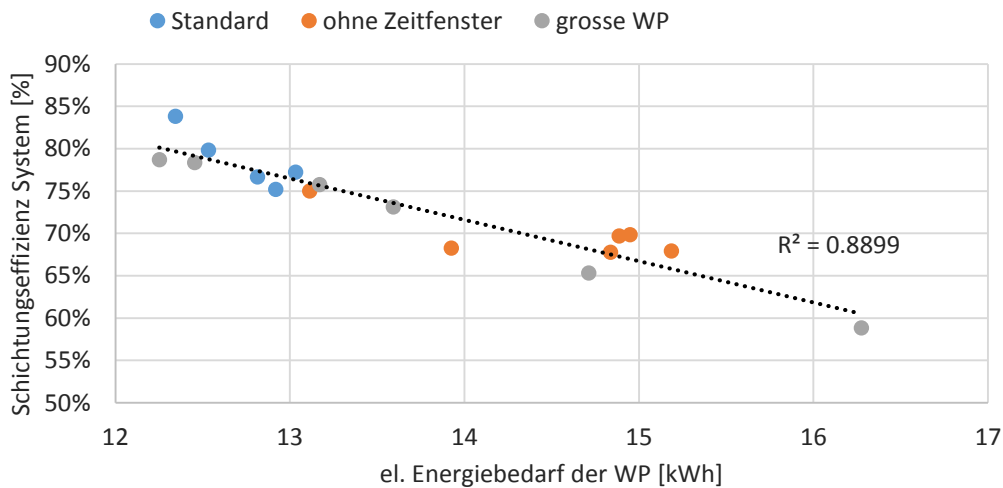


Abbildung 5: Zusammenhang aus der Schichtungseffizienz auf Systemebene und dem virtuellen Stromverbrauch der emulierten Wärmepumpe während des Prüfzyklus.

Nach thermischer Leistung gewichtetes Mittel der WP Vorlauftemperatur

Der Zusammenhang zwischen der Schichtungseffizienz eines Kombispeichers und dem Bedarf an el. Energie einer Wärmepumpe kann durch die Vorlauftemperatur erklärt werden, mit der die Wärmepumpe betrieben werden muss. Wenn im Speicher und dessen Hydraulik ausgeprägte Mischungsprozesse stattfinden, ist die Wärmepumpe gezwungen, im Mittel höhere Temperaturen zu liefern um die Last für Raumheizung und Warmwasser auf dem entsprechenden Temperaturniveau zu decken. Entsprechend der höheren Vorlauftemperatur steigt auch der Bedarf an el. Energie der Wärmepumpe. Um dies zu zeigen wurde das nach der thermischen Leistung gewichtete Mittel der Vorlauftemperatur der Wärmepumpe nach Formel 1 bestimmt.

Formel 1
$$\overline{T_{WP,VL}} = \frac{\sum (T_{WP-VL,i} \cdot \dot{Q}_{WP,i})}{\sum \dot{Q}_{WP,i}}$$

In Abbildung 6 ist der Zusammenhang zwischen der Schichtungseffizienz und dem gewichteten Mittel der WP-Vorlauftemperatur dargestellt. Wie erwartet zeigt sich eine lineare Abhängigkeit – analog zur Abhängigkeit des el. Strombedarfs der WP.

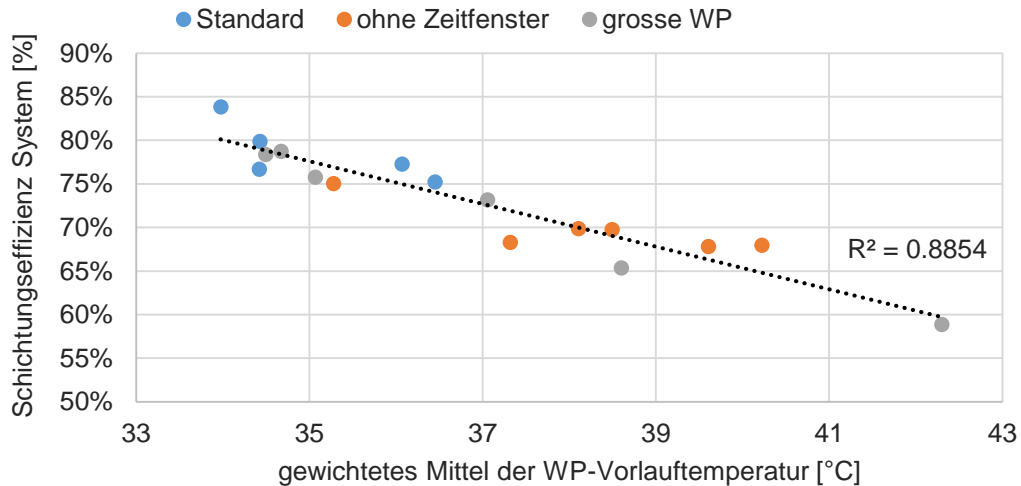


Abbildung 6: Zusammenhang aus der Schichtungseffizienz auf Systemebene und dem nach Leistung gewichteten Mittel der WP-Vorlauftemperatur während des Prüfzyklus.

Wärmeverluste

Sowohl die Lasten für Raumheizung und Warmwasser als auch das Angebot an Solarstrahlung des Prüftages sind für alle getestete Systeme dieselben. Erhöhte Wärmeverluste von Speicher und zugehöriger Hydraulik können nur durch mehr Wärmelieferung durch die Wärmepumpe oder effizientere Solarwärme-Nutzung kompensiert werden. Aus diesem Grund verwundert es nicht, dass die Wärmelieferung der WP und die Verluste korrelieren (vgl. Abbildung 7). Durch das Mehr an Wärmelieferung benötigt die WP zwangsläufig auch mehr el. Energie. Aber: Der gesamte Verbrauch an el. Energie der WP korreliert **nicht** mit den Verlusten (vgl. Abbildung 8). Damit zeigt sich, dass der Einfluss der Verluste auf den Verbrauch an el. Energie der WP in den durchgeführten Messungen nur marginal ist. Stattdessen wird der Verbrauch an el. Energie durch die Vorlauftemperatur der WP – und somit durch die Schichtungseffizienz des Speichers – dominiert.

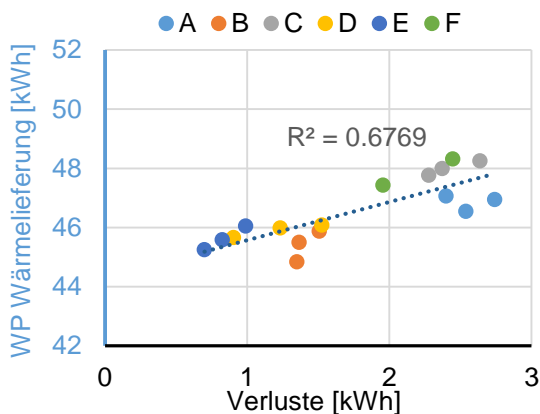


Abbildung 7: Zusammenhang zwischen Wärmelieferung der WP und den thermischen Verlusten des Speichersystems

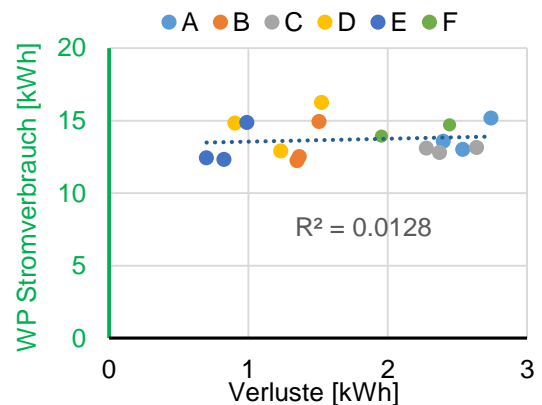


Abbildung 8: Kein Zusammenhang zwischen dem Verbrauch von el. Energie der WP und den thermischen Verlusten des Speichersystems.

Solarertrag

Überraschenderweise konnte ein genereller Zusammenhang zwischen der Schichtungseffizienz des Speichers und dem Solarertrag nicht festgestellt werden. Dagegen hat die Art der WW-Bereitung der geprüften Speichersysteme einen Einfluss auf den Solarertrag. Den niedrigsten Ertrag erreichten zwei der Speicher, die das WW mit einem Frischwassermodul bereiten. Bei allen Tests sank der Solarertrag, wenn keine Zeitfenster für die WW-Bereitung vorgegeben wurden (vgl. Abbildung 9).

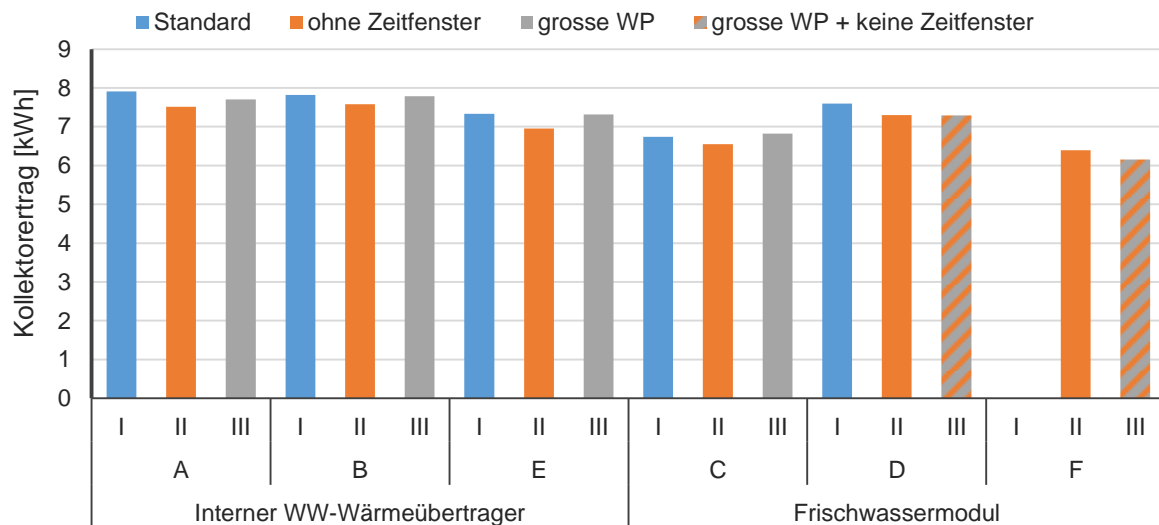


Abbildung 9: Kollektorertrag während der Speicherschichtungsmessungen.

Diskussion

Schichtungseffizienz und Verluste

Die Messungen zeigen, dass die Schichtungseffizienz des Speichersystems entscheidend ist für den Bedarf an elektrischer Energie für die Wärmepumpe. Im Vergleich dazu spielen die bis zu Faktor zwei unterschiedlichen Wärmeverluste nur eine untergeordnete Rolle. Einschränkend muss jedoch erwähnt werden, dass alle getesteten Speicher eine lückenlose Isolation aufweisen, die auch die Rohrleitungen und Ventilkörper umfasst.

Einfluss der Zeitfenster

Die Vorgabe von Zeitfenstern für die WW-Bereitung dient dazu, das WW-Verhältnis niedrig zu halten um die WP nicht unnötig oft bei hohen Temperaturen betreiben zu müssen. Diese Zeitfenster können jedoch durch den Installateur – oder auch den Endkunden – jederzeit gelöscht oder grosszügiger programmiert werden. Deshalb sollte aus Sicht der Autoren ein Kombispeicher auch ohne WW-Zeitfenster inhärent gute Resultate erzielen können.

Einfluss der Wärmepumpen-Leistung und des Volumenstroms

Aus einem Test mit einer bestimmten Leistung und einem bestimmten Volumenstrom für die Wärmepumpen-Beladung kann auf bessere Resultate mit geringerer Leistung, respektive geringerem Volumenstrom geschlossen werden. Es ist jedoch keine Aussage möglich, wie sehr sich die Resultate verschlechtern, wenn eine grössere Leistung und grössere Volumenströme gefahren werden.

Testergebnisse

Es wurde gezeigt, dass ein Speicher der unter Standardbedingungen gut funktioniert, dies nicht zwangsläufig auch unter anderen Bedingungen tut. Umgekehrt liefert ein Speicher, der ohne WW-Zeitfenster eine hohe Schichtungseffizienz erreicht auch mit der Vorgabe von Zeitfenstern ein gutes Ergebnis. Um einem Kunden ein umfassendes Bild des Speichers zu vermitteln, empfehlen wir, die Schichtungseffizienz im Betrieb ohne Zeitfenster darzustellen.

Testmethode generell

Das Schichtungsverhalten von Kombispeichern hat einen bedeutenden Einfluss auf die Effizienz der gesamten Heizungsanlage. Dies wurde durch die gezeigten Messungen bestätigt. Durch die neue Methode, die in den Messungen angewandt wurde, kann die Schichtungseffizienz nun mit einer einzigen Kennzahl quantifiziert, und das Verhalten charakterisiert werden. Dabei sind die Resultate innert kurzer Zeit und mit einer sehr guten Reproduzierbarkeit verfügbar.

Zusammenfassung und Ausblick

Neu kann das Schichtungsverhalten solarer Kombispeicher repräsentativ und vergleichbar unter realitätsnahen Bedingungen gemessen und mit einer einzigen aussagekräftigen Zahl quantifiziert werden.

Es wurden sechs verschiedene Kombispeicher mit der neu entwickelten Testmethode zur Bestimmung der Schichtungseffizienz ausgemessen. Es zeigt sich, dass die Methode verlässliche, reproduzierbare und aussagekräftige Ergebnisse innerhalb kurzer Zeit liefert. Erkenntnisse, die durch die Messungen gezeigt bzw. belegt werden konnten sind:

- Es gibt einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Schichtungseffizienz eines Speichers inklusive der zugehörigen Hydraulik und dem Bedarf an elektrischer Energie einer Wärmepumpe.
- Der Einfluss der Schichtungseffizienz auf den Bedarf an elektrischer Energie überwiegt den Einfluss der thermischen Verluste des Speichers deutlich.
- Ein Speicher, der unter Standardbedingungen funktioniert, tut dies nicht zwangsläufig unter anderen Rahmenbedingungen (zum Beispiel ohne Zeitfenster / mit grösserer Wärmepumpe).
- Warmwasser-Zeitfenster können die Performance massiv verbessern. Damit werden die Ergebnisse, die im Projekt Sol-Heap (Haller et al. 2013, Haller Et al. 2014, Haberl et al. 2014) auf Systemebene ermittelt wurden bestätigt.

In diesem Beitrag wurden Messungen an Speichern mit internen Wärmeübertragern und Frischwasser-Modulen zur Warmwasser-Bereitung gezeigt. Die Testmethode kann und soll in Zukunft aber auch für Tank-in-Tank-Systeme zur Anwendung kommen.

Danksagung

Das Forschungsprojekt „Storex – Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Schichtungseffizienz von Wärmespeichern“ wird durch das Schweizerische Bundesamt für Energie (BFE) finanziell unterstützt. Die Autoren danken für die gewährte Unterstützung sowie allen an den Tests beteiligten Firmen.

Bibliographie

- Haberl, R., Haller, M.Y., Frank, E., 2014. Solare Wärmepumpensysteme auf dem Prüfstand - Systemtests von 11 verschiedenen Systemen. In: 24. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, 7.-9. Mai 2014, Bad Staffelstein, Germany.
- Haller, M.Y., Haberl, R., Mojic, I., Frank, E., 2013. Solare Kombispeicher mit Wärmepumpen: Scheinbare Details entscheiden über die Performance! In: 23. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, 24.-26. April 2013, Bad Staffelstein, Germany.
- Haller, M.Y., Haberl, R., Carbonell, D., Philippen, D., Frank, E., 2014. SOLHEAP – Solar and Heat Pump Combisystems. Vertragsnummer SI/500494-02, Institut für Solartechnik SPF, Hochschule für Technik HSR, Rapperswil, Switzerland.
- Persdorf, P., Haberl, R., Reber, A., Haller, M.Y., 2015. Experimentelle Untersuchung der Schichtungseffizienz – Entwicklung einer Testmethode. In: 25. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, 6.-8. Mai 2015, Bad Staffelstein, Germany.
- Ruschenburg, J., Palzer, A., Günther, D. & Miara, M., 2012. Solare Wärmepumpensysteme in Einfamilienhäusern - Eine modellbasierte Analyse von Feldtestdaten. In: 23. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, 9.-11. Mai 2012, Bad Staffelstein, Germany.
- Thür, A., Vukits, M., Becke, W., Heinz, A. & Lerch, W., 2012. Ein Jahr Feldmessung von sechs Solar-Kombianlagen mit Wärmepumpen - Langfassung. In: 22. OTTI Symposium Thermische Solarenergie, 9.-11. Mai 2012, Bad Staffelstein, Germany.