

Entwicklung einer Testprozedur zum systematischen Vergleich von Frischwassermodulen

Florian Ruesch und Elimar Frank

SPF Institut für Solartechnik, Hochschule für Technik HSR

Oberseestr. 10 , CH-8640 Rapperswil

Tel.: +41 (0)55 222 48 21, Fax: +41 (0)55 222 48 44

E-Mail: florian.ruesch@solarenergy.ch

Internet: www.solarenergy.ch

Einleitung

Das Interesse an der Bereitstellung von Trinkwarmwasser mit externen Wärmeübertragern, die als Einheit mit Umwälzpumpe und Regelung als Frischwassermodule (FWM) bezeichnet werden, hat in den letzten Jahren stark zugenommen (vgl. Meyer, 2009). Die Erwärmung nach dem Durchlaufprinzip kann hygienisch vorteilhaft sein, da kein oder nur sehr geringe Mengen an Trinkwasser im für die Legionellenbildung kritischen Temperaturbereich bevorratet wird. Wenn speicherseitig niedrige Rücklauftemperaturen erreicht werden, können FWM eine gute Temperaturschichtung im Speicher unterstützen und bieten dann ein zusätzliches Einsparpotenzial nicht-solarer Energieträger im Vergleich zu speicherinternen Wärmeübertragern (vgl. Bales 2003). Für die Nutzung des Warmwassers sind darüber hinaus jedoch vor allem Komfortaspekte wie Temperaturschwankungen von zentraler Bedeutung.

Bisherige Vergleiche von Frischwassermodulen beschränken sich auf die energetische Bewertung von unterschiedlichen Steuer- oder Regelstrategien (Bales, 2003) oder auf den Vergleich von Herstellerangaben (Meyer, 2008). Zentrale Kenngrößen und Parameter der Module werden jedoch von unterschiedlichen Herstellern für unterschiedliche Betriebsbedingungen angegeben und können daher nur sehr eingeschränkt verglichen werden.

Mit dem Ziel der Definition einer standardisierten Prüfprozedur für Frischwassermodule wurde am SPF ein Teststand für Frischwassermodule entwickelt und aufgebaut. Mit diesem Teststand wurden umfangreiche Untersuchungen an handelsüblichen Produkten durchgeführt.

Teststand

Zentrales Element des Teststandes ist ein 300l Edelstahlspeicher, dessen Inhalt mit einer elektrischen Heizung (Nennleistung 32 kW) rasch auf die gewünschte Temperatur für den primären (speicherseitigen) Vorlauf des FWM erwärmt werden kann.

Zur Kaltwasserkonditionierung ist am sekundären (zapfseitigen) FWM-Eintritt ein zusätzlicher 500l Speicher vorgeschaltet. In seiner aktuellen Konfiguration ist der Teststand für Zapfleistungen bis 40 l/ min ausgelegt. Für die Analyse des FWM werden die Temperaturen grundsätzlich so nahe als möglich beim Modul gemessen, da jegliche Effekte von Leitung und Verbindungsstücken ausgeschlossen werden sollen. Um auch rasche Temperaturschwankungen erfassen zu können, wurden Widerstands-Temperaturfühler mit einer geringen thermischen Masse verwendet. Die Aufzeichnung der Messwerte erfolgt im Sekundentakt.

Der Zapfvolumenstrom wird über vier Regelkugelhahne mit Stellmotor eingestellt. Für ein hinreichend rasches Öffnen und Schliessen ist pro Strang zusätzlich ein Schrägsitzventil mit Druckluftantrieb eingebaut. Gemessen wird der Zapfvolumenstrom auf der Sekundärseite mit einem magnetisch-induktiven Durchflussmesser. Auf eine Durchflussmessung auf der Primärseite wurde bewusst verzichtet, da ein zusätzlicher Druckverlust die Leistungsfähigkeit des Modules einschränkt. Der elektrische Verbrauch des Moduls wird mit einem Messumformer ermittelt und direkt vom PC ausgelesen. Zusätzlich wird der Differenzdruck auf der Primärseite gemessen, um zu garantieren, dass der Druckverlust der Leitungen zum Speicher realitätsnahen Werten entspricht.

Messresultate

Von sechs führenden Herstellern wurden FWM für eine erste ausführliche Messreihe zur Verfügung gestellt, um die zentralen Leistungsmerkmalen und kritische Betriebsbedingungen von Frischwassermodulen zu identifizieren.

Alle Module wurden mit den Grundeinstellungen getestet, einzig die Solltemperatur wurde abweichend von den werkseitigen Einstellungen für alle Module auf zwei festgelegte Temperaturen (45°C und 60°C) eingestellt. Anschliessend wurde an der Regelung nichts mehr verändert, und alle weiteren Messungen wurden mit denselben Einstellungen durchgeführt.

Im Folgenden wird eine Auswahl der Messprozeduren für die Ermittlung zentraler Kenngrössen und das Verhalten in zu überprüfenden Betriebszuständen vorgestellt.

Maximaler Durchfluss

Als wichtiger Parameter zur Charakterisierung eines Frischwassermoduls wird der maximale Zapfvolumenstrom angegeben. Dieser hängt jedoch stark von der Kaltwassertemperatur und der Primärvorlaufemperatur ab. Zudem wird die eingestellte Solltemperatur je nach Regelung und Bauart des Moduls und in Abhängigkeit des Zapfvolumenstroms nicht exakt erreicht. Um für alle Module gleiche Testbedingungen zu erreichen, wurde als maximaler Durchfluss derjenige Punkt definiert, bei dem

die Zapftemperatur (bei eingestellter Solltemperatur von 45°C und einer Kaltwassertemperatur von 15°C) unter 42°C sinkt. Bei 60°C Solltemperatur wird ein Unterschreiten von 57°C als Leistungsgrenze definiert. Während der Messung wird der Zapfvolumenstrom schrittweise erhöht, bis die Sekundärvorlauftemperatur die definierte Grenze unterschreitet (vgl. Abbildung 1). Durch lineare Interpolation wird anschließend der Durchfluss ermittelt, bei dem (für $T_{\text{soll}} = 45^\circ\text{C}$) genau 42°C Sekundärvorlauftemperatur zu erwarten sind. Bei der in Abbildung 1 dargestellten Messung wurde beispielsweise ein maximaler Durchfluss von 20.7 l/min ermittelt.

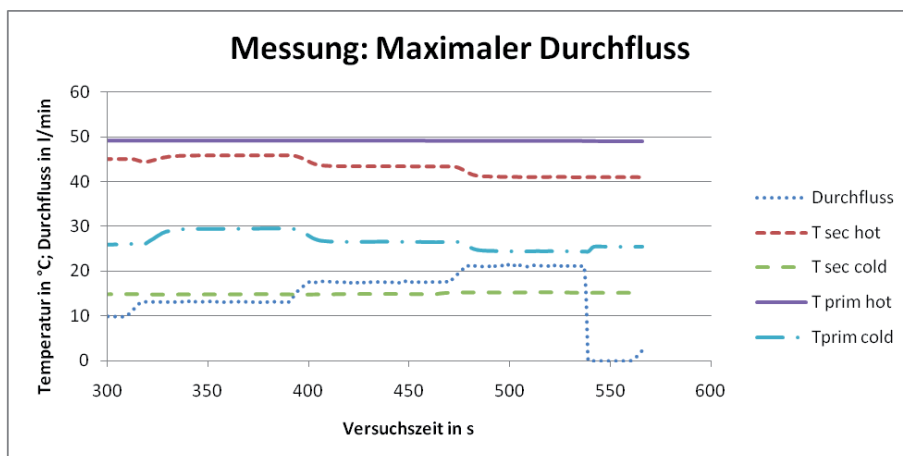


Abbildung 1 Darstellung einer Messung zum Ermitteln des maximalen Durchflusses. Dabei wurde der Durchfluss erhöht, bis die sekundärseitige Vorlauftemperatur (bei eingestellter Solltemperatur von 45°C) unter 42°C fiel.

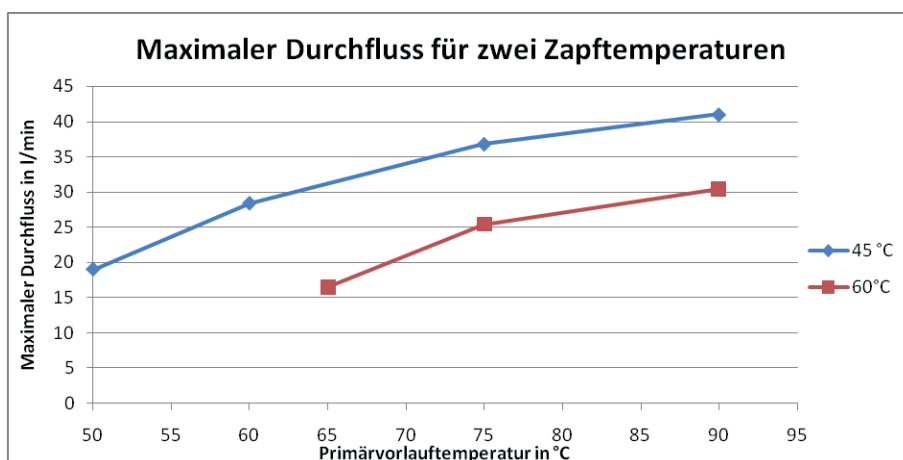


Abbildung 2 Die Leistungskurven für zwei eingestellte Solltemperaturen von 45°C und 60°C zeigen den gemessenen maximalen Durchfluss für unterschiedliche Primärvorlauftemperaturen.

Der maximale Durchfluss wird jeweils bei unterschiedlichen Primärvorlauftemperaturen und zwei eingestellten Solltemperaturen gemessen. Die Resultate können dann als Leistungskurven für Solltemperaturen von 45°C bzw. 60°C in einem Diagramm dargestellt werden (vgl. Abbildung 2).

Kleine Zapfvolumenströme

Während der Messungen wurde festgestellt, dass bei vielen Modulen kleine Zapfvolumenströme zu schwankenden Sekundärvorlauftemperaturen führen können. Aus diesem Grund wurden bei allen Modulen Durchflüsse von 3, 5, 7 und 10 l/min jeweils zwei mal eingestellt und gewartet, bis eine konstante Temperatur erreicht wurde. Bei

fortwährenden Schwankungen wurde jeweils nach 5 min abgebrochen. Dieser Vorgang wurde für jedes Modul bei unterschiedlichen Speichertemperaturen von 50°C bis 90°C mehrmals wiederholt. In Abbildung 3 wird das Verhalten eines Modules bei einer Primärvorlauftemperatur von 50°C dargestellt. In diesem Fall bleibt die eingestellte Solltemperatur nahezu konstant. Anhand des Verhaltens desselben FWM bei einer erhöhten Primärvorlauftemperatur von 90°C (Abbildung 4) können zwei Phänomene aufgezeigt werden, welche in unterschiedliche starker Ausprägung bei den meisten getesteten FWM beobachtet wurden. Einerseits traten deutliche Temperaturschwankungen auf (hier nur bei einem sekundärseitigen Durchfluss von 3 l/min), andererseits ändert sich die durchschnittliche Sekundärvorlauftemperatur von ca. 60°C (bei 3 l/min) auf die eingestellten 45 °C (bei 10 l/min)

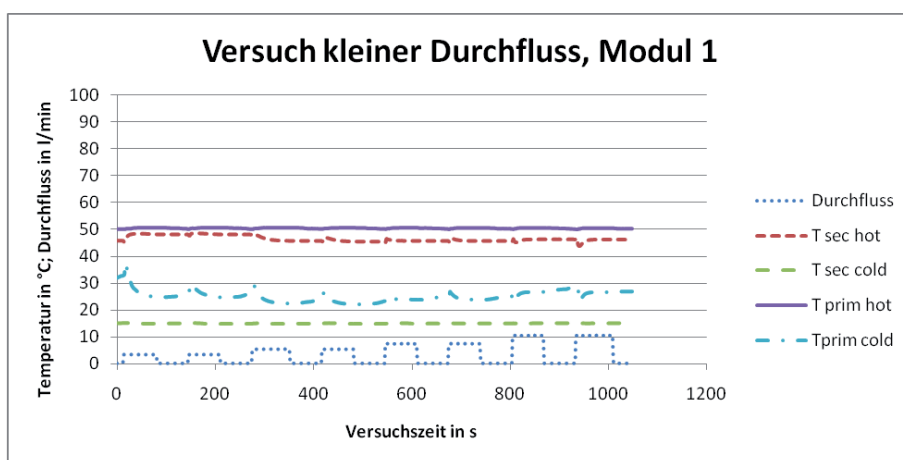


Abbildung 3 Beispiel einer Messung mit kleinen Durchflüssen (3,5,7,10l/min). Die Messung wurde mit einer eingestellten Solltemperatur von 45°C und einer Primärvorlauftemperatur von 50°C durchgeführt.

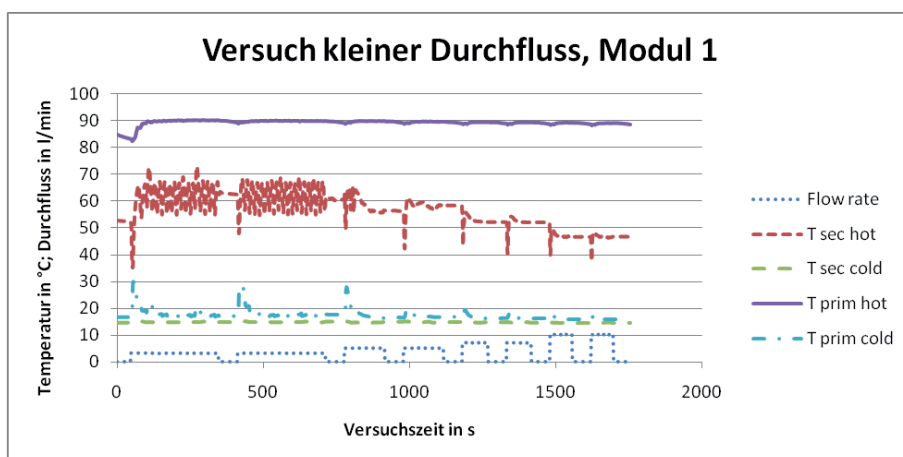


Abbildung 4 Beispiel einer Messung mit kleinen Durchflüssen (3,5,7,10l/min). Die Messung wurde mit einer eingestellten Solltemperatur von 45°C und einer Primärvorlauftemperatur von 90°C durchgeführt.

Lastwechsel im Zapfprofil

Zur Beurteilung von Komfortkriterien sollte die Reaktion eines Frischwassermoduls auf verschiedenartige Lastwechsel im Zapfprofil untersucht werden. Ein in der Praxis häufig auftretender Lastwechsel ist das Zu- und Wegschalten einer zusätzlichen Zapfung. Exemplarisch wurden Sprünge von 10 l/min (entspricht z.B. einer Dusche) bei unterschiedlichem Grunddurchsatz und bei unterschiedlicher Primärvorlauftem-

peratur getestet werden. In Abbildung 5 und Abbildung 6 werden zwei Beispiele gegeben, welche das gemessene Verhalten von unterschiedlichen Modulen bei unterschiedlicher Vorlauftemperatur wiedergeben. Das eine Modul reagiert mit der Veränderung der Sekundärvorlauftemperatur, welche sich aber praktisch unmittelbar und ohne Über- oder Unterschwingen einstellt. Das andere Modul reagiert mit Über- und Unterschwingern, nach einer kurzen Einschwingzeit stellt sich aber wieder dieselbe konstante Temperatur ein.

Zusätzlich zu den aufgezeigten Beispielen wurden auch grössere Lastwechsel (Sprünge von 20 und 30 l/min) und Störungen durch kurze ‚Schnapsglaszapfungen‘ untersucht.

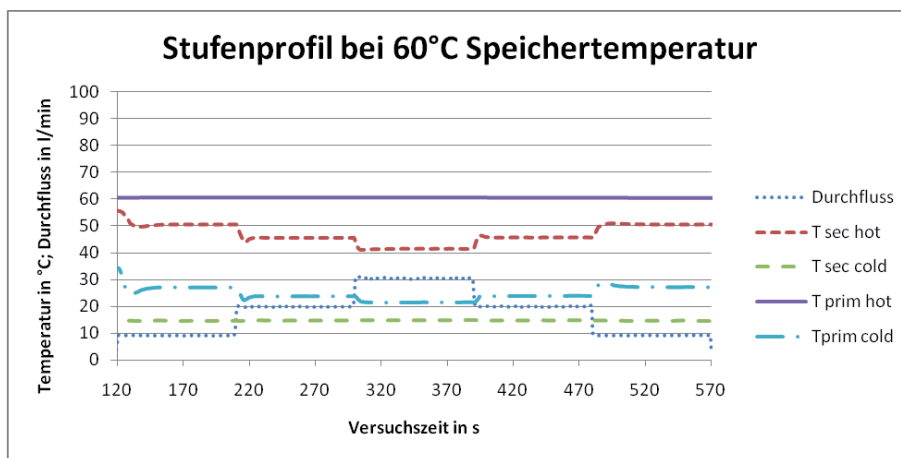


Abbildung 5 Beispiel einer Messung von 10l/min Sprüngen im Zapfvolumenstrom. Die Messung wurde mit einer eingestellten Solltemperatur von 45°C und einer Primärvorlauftemperatur von 60°C durchgeführt.

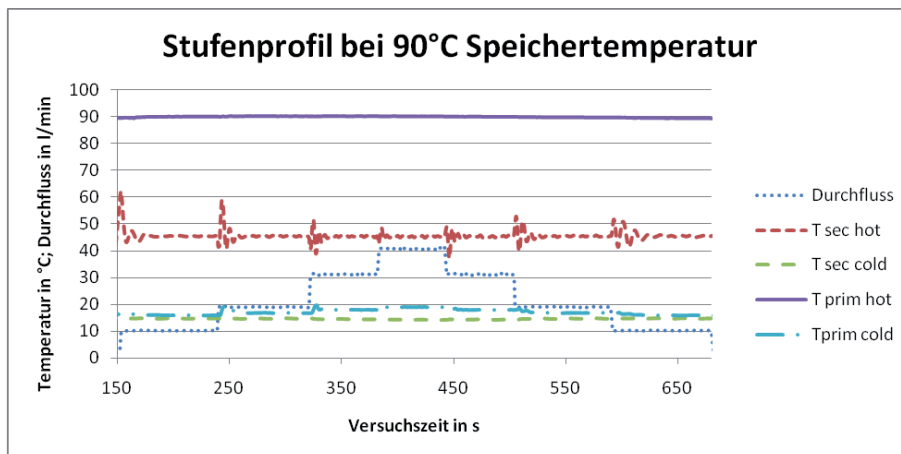


Abbildung 6 Beispiel einer Messung von 10l/min Sprüngen im Zapfvolumenstrom. Die Messung wurde mit einer eingestellten Solltemperatur von 45°C und einer Primärvorlauftemperatur von 90°C durchgeführt.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Ein Teststand zum untersuchen von FWM wurde konzipiert aufgebaut und erfolgreich in Betrieb genommen. In einer zweiten Phase wurden umfangreiche Test an sechs handelsüblichen FWM durchgeführt. U.a. wurde festgestellt, dass bei kleinen Zapfvolumenströme in Kombination mit hohen Primärvorlauftemperaturen teilweise erhebliche Temperaturschwankungen auftreten. Gerade bei sehr kleinen Durchflüs-

sen sollten jedoch Temperaturschwankungen nicht überbewertet werden, da diese in der Praxis meist nur beim Händewaschen auftreten und unter Komfort-Gesichtspunkten als deutlich weniger gravierend einzuschätzen sind als Temperaturschwankungen während eines Duschvorgang. Zusätzlich werden Temperaturschwankungen bei kleinen Durchflüssen von einer nachfolgenden Rohrleitung auch stärker gedämpft, was Teil einer separaten Untersuchung ist.

Bei Änderungen des Zapfvolumenstromes treten zwei unterschiedliche Phänomene auf. Einerseits kann sich die Sekundärvorlauftemperatur mit dem Zapfvolumenstrom ändern. Zum anderen zeigen einige Module unterschiedlich ausgeprägte Über- und Unterschwinger. Auch hierbei haben sich hohe Primärvorlauftemperaturen als besonders kritisch herausgestellt.

In diesem Beitrag wurde anhand der ausgewählt dargestellten Messungen exemplarisch das Vorgehen zur Messung einer Kenngröße aus dem Bereich „Leistungsfähigkeit“ (maximaler Durchfluss) und das Verhalten bei kritischen Betriebsbedingungen (Temperaturschwankungen bei kleinen Zapfvolumenströmen und Lastwechseln) beschrieben, was in den Bereich „Komfort“ fällt. Die Ausarbeitung einer Testprozedur, in welcher neben weiteren Kenngrößen in den Bereichen „Leistung“ und „Komfort“ auch die Bereiche „Effizienz“ (Rücklauftemperatur in den Speicher, Stromverbrauch, etc.) und „Wartung/Installation“ berücksichtigt werden, wird derzeit ausgearbeitet. Nach durchgeführten Erweiterungen am Teststand soll dazu eine weitere Messreihe von handelsüblichen Modulen nach genau definiertem Ablauf durchgeführt werden, welche eine vergleichende Bewertung ermöglicht.

Literatur

- Bales, C. und Persson, T. (2003): External DHW units for solar combisystems. Solar Energy 74 (2003), pp. 193–204.
- Meyer, J.P. (2008): Frisch gezapft, Sonne, Wind und Wärme 9/2008, pp. 68-75.
- Meyer, J.P.(2009): Frischwasserstationen - Kompakt und leicht, Sonne, Wind und Wärme, 9/2009, pp. 56-61.

Danksagung

Diese Arbeiten wurden mit der Finanzierung des Bundesamts für Energie (BFE) durchgeführt. Wir danken ebenfalls den an den Messreihen beteiligten Herstellern.