

Bericht über vergleichende Prüfungen der Wärmeverlustrate zweier Warmwasserspeicher in Anlehnung an DIN EN 12977-3

Prüfstelle

Anschrift Institut für Solarenergieforschung GmbH,
Hameln/Emmerthal
Am Ohrberg 1
D- 31860 Emmerthal

Ansprechpartner Dipl.-Ing. (FH) Francis Kliem
Tel.: 05151/ 999-522; Fax: -500
E-Mail: Pruefstelle@isfh.de

Prüfgrundlage

Teilprüfung in Anlehnung DIN EN 12977-3:2008-11

Prüfbericht

Nummer 07-12/SP2
Berichtsdatum 03.05.2012
Seitenanzahl 11

Auftraggeber

Anschrift TWL-Technologie GmbH
Im Gewerbegebiet 8 - 12
D-92271 Freihung

Ansprechpartner Herr Thomas Gräf
Tel.: +49 (0) 09646/809 18 -10; Fax: -29

Prüfspeicher

| | | |
|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Typ | P800 PU | P800 WS |
| Hersteller | TWL-Technologie GmbH | TWL-Technologie GmbH |
| Serien- oder Prototyp | Serientyp | Serientyp |
| Herstelljahr | 2012 | 2012 |
| Herstellnummer | 2883 | 2885 |

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| 1. Technische Daten der Speicher | 3 |
| 1.1. Allgemeines | 3 |
| 1.2. Wärmedämmung | 3 |
| 1.3. Wasserraum | 3 |
| 1.4. Besonderheiten | 3 |
| 2. Foto und Skizze der Prüfspeicher | 4 |
| 3. Form der Prüfung | 5 |
| 4. Ermittlung der Stand-by-Wärmeverluste | 5 |
| 4.1. Prüfsequenzen | 5 |
| 4.2. Bestimmung der Speicherkennwerte | 11 |
| 5. Ergebnis | 11 |
| 6. Maßgaben der Prüfstelle | 11 |

1. Technische Daten der Speicher

Bemerkung: Angaben laut Hersteller, falls nicht ausdrücklich angegeben

1.1. Allgemeines

| | | |
|------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Hersteller | TWL-Technologie GmbH | |
| Typ | P800 PU | P800 WS |
| Bauart | Pufferspeicher, stehend, Serientyp | |
| Herstelljahr | 2012 | 2012 |
| Herstellnummer | 2883 | 2885 |
| Nennvolumen | 790 l | |
| Masse (leer, ohne Dämmung) | 108 kg | |
| Höhe ohne/mit Dämmung | 1840 mm / 1890 mm | 1840 mm / 1910 mm |
| Durchmesser ohne/mit Dämmung | 790 mm / 970 mm | 790 mm / 990 mm |

1.2. Wärmedämmung

| | | |
|---------------|--------------------------|-------------|
| Material | Polyurethan - Hartschaum | Weichschaum |
| Stärke Mantel | 90 mm | 100 mm |
| Stärke Deckel | 90 mm | 100 mm |
| Stärke Boden | 90 mm | keine |

1.3. Wasserraum

| | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| Volumen | 790 l |
| Material | Stahl S235JRG2 |
| Wasserseitiger Korrosionsschutz | keiner |
| zul. Betriebsüberdruck | 4.5 bar |
| zul. Betriebstemperatur | 95 °C |
| Anschlussart | Muffen (1/2", 3/4", 1", 1 1/2") |

1.4. Besonderheiten

| | |
|-------------|--|
| Aufstellung | 10 mm starke Siebdruckplatte (ISFH, keine Angabe des Herstellers) |
|-------------|--|

2. Foto und Skizze der Prüfspeicher



Abb. 2-1: Foto des Speichers Typ P800 PU im Prüflabor

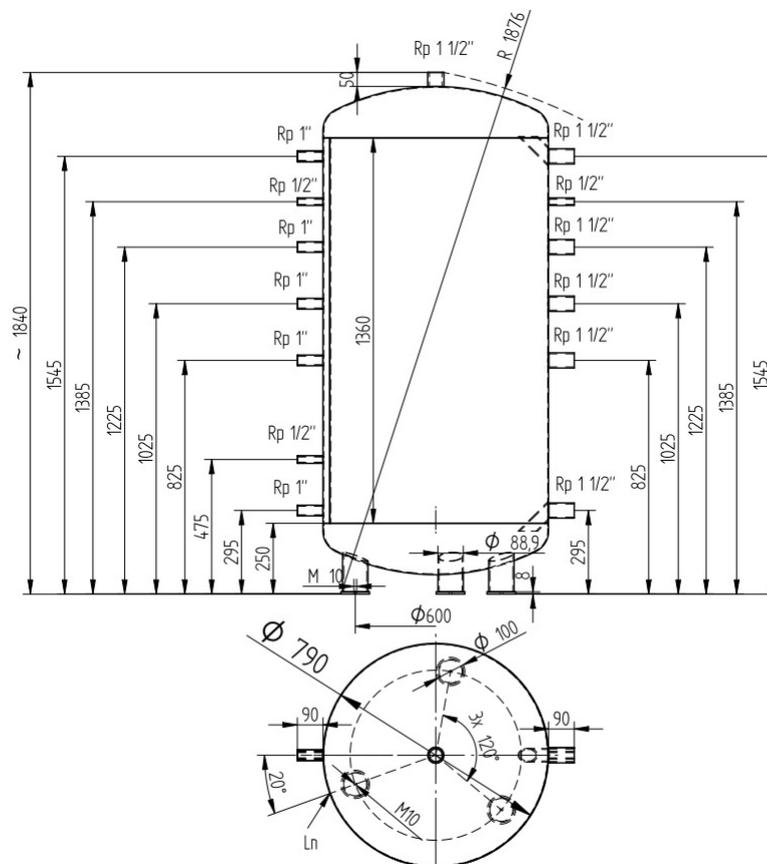


Abb. 2-2: Technische Zeichnung der Speicher

3. Form der Prüfung

Im Rahmen einer vergleichenden Prüfung werden die Stand-by Wärmeverluste zweier baugleicher Pufferspeicher, jedoch mit unterschiedlicher Wärmedämmung ermittelt. Der P800 PU besitzt eine 90 mm starke Dämmung aus Polyurethan - Hartschaum am Deckel, Boden und Mantel des Speichers. Am Deckel und Mantel des P800 WS wird eine 100 mm starke Dämmung aus Weichschaum verwendet. Im Gegensatz zum P800 PU besitzt der P800 WS keine Wärmedämmung am Speicherboden. Ansonsten sind die Speicher baugleich.

Die Prüfungen werden in Anlehnung an DIN EN 12977-3:2008-11 durchgeführt.

4. Ermittlung der Stand-by-Wärmeverluste

Die Ermittlung der Stand-by-Wärmeverluste erfolgt in Anlehnung an die DIN EN 12977-3:2008-11 („Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile - Kundenspezifisch gefertigte Anlagen - Teil 3: Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen“).

Zur Ermittlung der Stand-by Wärmeverluste der Speicher werden zunächst verschiedene Be- und Entladesequenzen durchgeführt. Mit den darin gemessenen Werten werden die charakteristischen Kenngrößen, zur Beschreibung der Wärmeverluste im Stillstand, in einem Parameterfeststellungs-Algorithmus und einem numerischen Speichermodell ermittelt.

4.1. Prüfsequenzen

Der Ablauf der Prüfsequenzen erfolgt nach den Vorgaben der DIN EN 12977-3:2008-11. Vor jeder Prüfsequenz erfolgt eine Konditionierung des Prüfkörpers, um gleiche Ausgangsbedingungen zu schaffen. Nach der folgenden Beladung des Speichers findet als abschließende Prüfphase eine Entladung des Speichers analog der Konditionierung zu Beginn der Prüfsequenz statt. Die Bedingungen während der Konditionierung und Entladung können der Tabelle 4-1 entnommen werden.

Die Be- und Entladungen erfolgen hierbei über den Kesselvor- und Kesselrücklauf, jedoch in einer entgegengesetzten Durchströmungsrichtung. Der Speicher wird für die Beladung von oben nach unten und für die Entladung umgekehrt durchströmt.

Tab. 4-1: Prüfbedingungen während der Konditionierung und Entladung

| | Nach DIN EN 12977- 3:2008-11 | Prüfbedingung |
|--|--|---------------|
| konstanter Volumendurchfluss \tilde{V} | $0.5 \times \dot{V}_n = 400 \text{ l/h}$ | 300 l/h |
| konstante Eintrittstemperatur $\tilde{\vartheta}_i$ | 20 °C | 20 °C |
| Stationarität ¹⁾ als Beendigungsbedingung | 0,1 K | 0,1 K |

1) Standardabweichung der Differenz von Ein- und Austrittstemperatur über die Dauer der Entladung des letzten halben Speichervolumens

Die Tabelle 4-2 bis Tabelle 4-4 zeigen den Zweck der Prüfsequenzen und dokumentieren die verwendeten Randbedingungen, die verwendeten Anschlüsse und die Beendigungsbedingungen.

In einem Punkt wird von der Norm abgewichen. Für Prüfsequenzen C, L, NA und NB wird ein Volumenstrom von 300 l/h verwendet und nicht 400 l/h, wie es von der Norm empfohlen wird. Diese Abweichung hat nach unserer Ansicht keine negative Auswirkung auf die Ermittlung der Stand-by-Wärmeverluste.

Tab. 4-2: Zweck der Prüfsequenzen

| Bestimmung der Parameter für | Prüfsequenz | Zur Bestimmung der Parameter | Datum | Prüfer |
|------------------------------|-------------|--|---------------------|-------------|
| Wasserraum - P800 PU | C | effektiv nutzbares Speichervolumen | 05. bis 06.03.12 | R. Hartmann |
| | L | Standby-Wärmeverluste über Speichermantel, Deckel und Boden (in Referenz zu Prüfung C) | 06. bis 08.03.12 | |
| | NA | Abbau der Temperaturschichtung im Standby | 08.03.12 | |
| | NB | | 08. bis 10.03.12 | |

| Bestimmung der Parameter für | Prüfsequenz | Zur Bestimmung der Parameter | Datum | Prüfer |
|------------------------------|-----------------|---|------------------|-------------|
| Wasserraum - P800 WS | C | effektiv nutzbares Speichervolumen | 16.03.12 | R. Hartmann |
| | L | Standby-Wärmeverluste über Speichermantel, Deckel und Boden (in Referenz zu Prüfung C) | 19. bis 22.03.12 | |
| | NA | Abbau der Temperaturschichtung im Standby | 22.03.12 | |
| | NB | | 22. bis 23.03.12 | |
| Diagramm | S ¹⁾ | Grafische Darstellung der Temperaturschichtung während der Entladung mit hohem Massenstrom in Referenz zu Prüfung C (Abbildung 4-1) | 12.03.12 | R. Hartmann |

1) Die Prüfung wird durchgeführt am Speicher Typ P800 PU.

Tab. 4-3: Randbedingungen der Prüfungen

| Prüfstand: | Speicherprüfstand 1 | | | | | |
|---------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|------------|--------------------|---------------------------|
| Umgebungstemperatur: | 20±2 °C | | | | | |
| Wärmeträger: | Wasser | | | | | |
| Kategorie der Parameter | Prüfung | Beladung | | Standby | Entladung | |
| | | Durchfluss in kg/h | Eintrittstemperatur in °C | Dauer in h | Durchfluss in kg/h | Eintrittstemperatur in °C |
| Speichervolumen - P800 PU | C | 300 | 61 | - | 300 | 20 |
| | L | 300 | 61 | 48 | 300 | 20 |
| | NA | 300 | 61 | - | 300 | 20 |
| | NB | 300 | 61 | 24 | 300 | 20 |
| Speichervolumen - P800 WS | C | 300 | 61 | - | 300 | 20 |
| | L | 300 | 61 | 48 | 300 | 20 |
| | NA | 300 | 61 | - | 300 | 20 |
| | NB | 300 | 61 | 24 | 300 | 20 |

Tab. 4-4: Bedingungen zur Beendigung der Be- und Entladungen

| Kategorie der Parameter | Prüfung | Anschlusspaare | | Bedingungen zur Beendigung | |
|------------------------------|---------|----------------|-----------|----------------------------|-------------------------|
| | | Beladung | Entladung | Beladung | Entladung ¹⁾ |
| Speichervolumen - P800 PU | C | TW | TW | 55 °C ²⁾ | 0,1 K |
| | L | TW | TW | 55 °C ²⁾ | 0,1 K |
| | NA | TW | TW | 80 min ³⁾ | 0,1 K |
| | NB | TW | TW | 80 min ³⁾ | 0,1 K |
| Speichervolumen - P800 WS | C | TW | TW | 55 °C ²⁾ | 0,1 K |
| | L | TW | TW | 55 °C ²⁾ | 0,1 K |
| | NA | TW | TW | 80 min ³⁾ | 0,1 K |
| | NB | TW | TW | 80 min ³⁾ | 0,1 K |

1) Standardabweichung der Differenz von Ein- und Austrittstemperatur über die Dauer der Entladung des letzten halben Speichervolumens

2) Temperatur am Auslass

3) Entspricht der Beladung des halben Speichervolumens

Legende:

TW: Kesselvor- und Kesselrücklauf - Anschlusspaar

In den Abbildungen 4-1 bis 4-3 sind die ermittelten Entladeprofile der durchgeführten Sequenzen dargestellt. Die Abbildung 4-2 enthält darüber hinaus das Beladeprofil der dargestellten Sequenz. In den Diagrammen sind jeweils die ermittelten Temperaturverläufe gegen das normierte Speichervolumen aufgetragen. Bei einem normierten Speichervolumen von 0.8 sind folglich 80% des Speicherinhalt entnommen worden.

Die Abbildung 4-1 zeigt die während den Sequenzen C und S erhaltenen Verläufe der Speicheraustrittstemperatur.

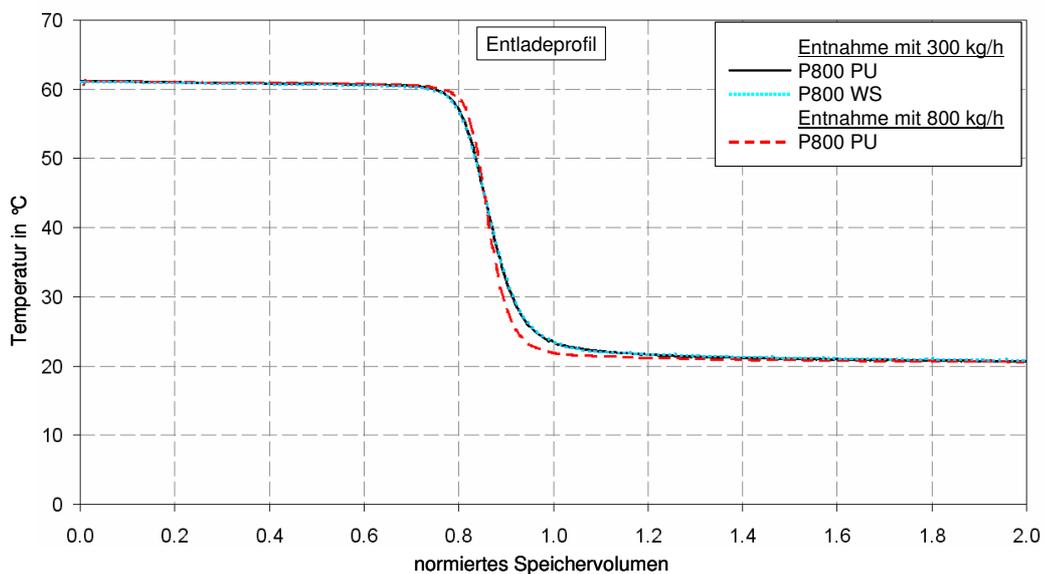


Abb. 4-1: Gemessene Entnahmepprofile bei unterschiedlichen Volumenströmen (Prüfung C und S)

In der Abbildung 4-2 sind die Temperaturverläufe am Ein- und Austritt der Speicher dargestellt, die im Zuge der Sequenz L erhalten wurden. Der Verlauf des jeweiligen Eintritt ist dabei an einem blauen und der des Austritt an einem roten beziehungsweise gelben Farbton zu erkennen. Dabei ist zu beachten, dass Be- und Entladung bei entgegengesetzter Durchströmung des Speicher erfolgen.

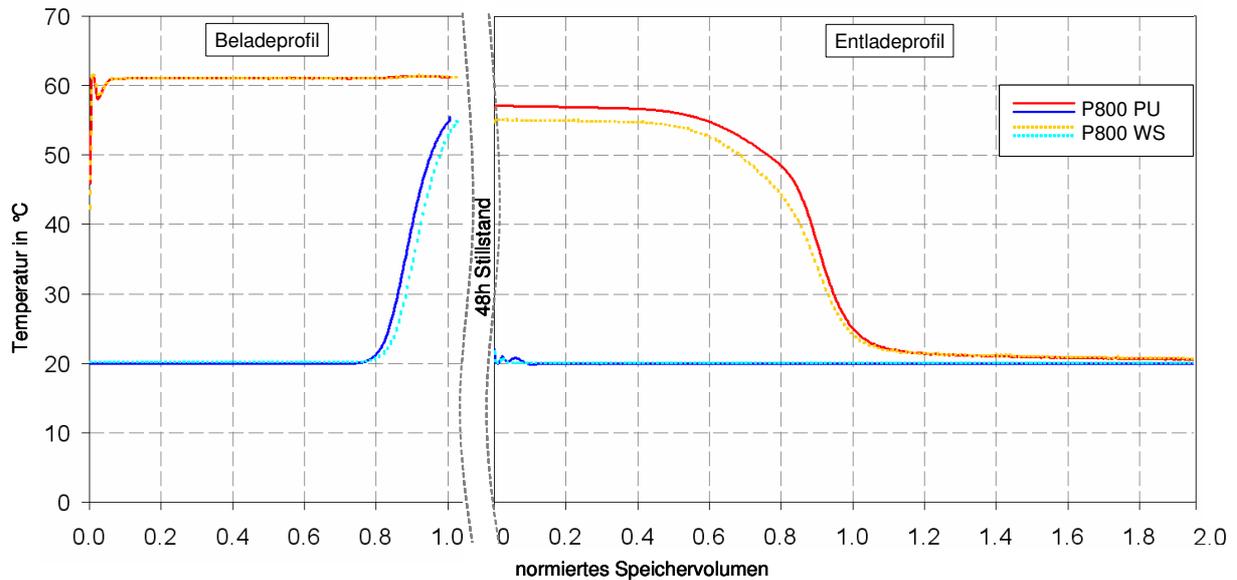


Abb. 4-2: Gemessene Beladeprofile bei direkter Beladung sowie Entladeprofile nach 48 h Stillstand (Prüfung L)

Der Abbildung 4-3 können die Verläufe der entsprechenden Speicheraustrittstemperatur, die während den Sequenzen NA und NB ermittelt wurden, entnommen werden. Es ist zu berücksichtigen, dass für die Sequenzen NA und NB nur das halbe Speichervolumen beladen wurde.

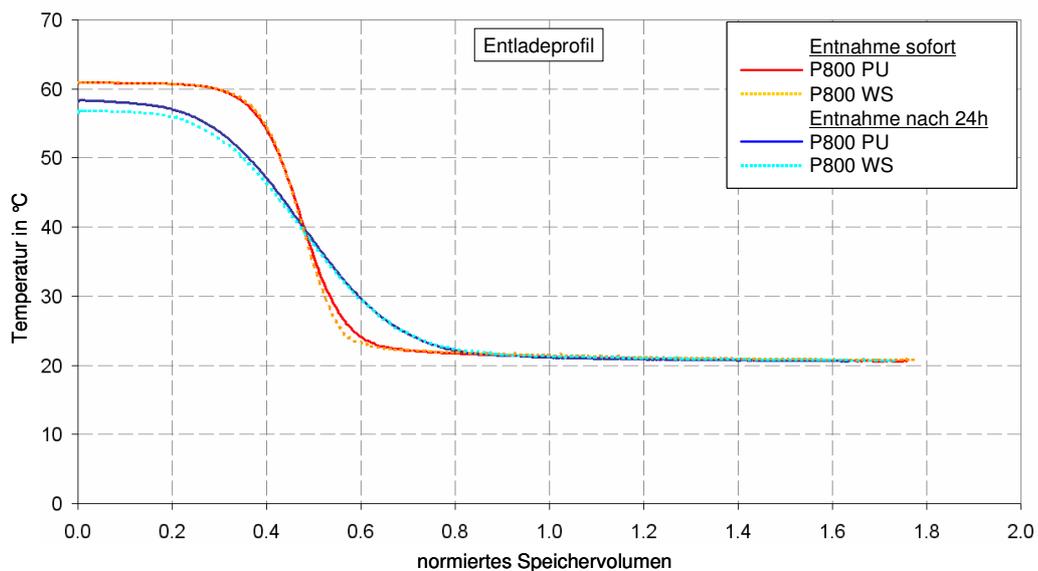


Abb. 4-3: Gemessene Entnahmeprofile sofort nach direkter Beladung der oberen Hälfte der Speicher sowie nach 24 h Stillstand (Prüfungen NA und NB)

4.2. Bestimmung der Speicherkennwerte

Unter Verwendung der Messdaten der Prüfungen und eines mathematischen Modells^a werden mit einem Optimierungsprogramm^b die Modellparameter ermittelt, welche das thermische Verhalten des Speichers beschreiben. Die ermittelten Parameter quantifizieren physikalische Effekte, müssen den tatsächlichen physikalischen Eigenschaften des Speichers aber nicht entsprechen. Das verwendete Speichermodell und die ermittelten Parameter stellen das Prüfergebnis dar. Um die Leistungsfähigkeit des Speichers bewerten zu können ist die Simulation notwendig.

Die durch Parameteridentifikation bestimmten Wärmeverlustraten sind in Tabelle 4-5 dargestellt.

Tab. 4-5: Ermittelte Wärmeverlustrate des P800 PU und P800 WS

| Beschreibung | Einheit | Wert | |
|-------------------------------|---------|---------|---------|
| | | P800 PU | P800 WS |
| Wärmeverlustrate des Speicher | kJ/hK | 8.293 | 14.587 |
| | W/K | 2.30 | 4.05 |

5. Ergebnis

Für den Speicher Typ P800 PU wurde eine Wärmeverlustrate von 2.30 W/K und für den Typ P800 WS von 4.05 W/K ermittelt.

6. Maßgaben der Prüfstelle

Eine Weitergabe oder Vervielfältigung von Auszügen des vorliegenden Berichts ist nur mit Genehmigung der Prüfstelle zulässig. Generell genehmigt wird die Weitergabe des vollständigen Berichts.

Prüfzentrum für solarthermische Komponenten und Systeme

i. A. 

Dipl.-Ing. (FH) Francis Kliem
stellv. Leiter Prüfstelle-FE

a. Type 340 „Multiport“ (Version 1.99F) in der Umgebung von TRNSYS 16.1 (Version 16.01.0003) mit einer Zeitschrittweite von 30 s
b. Softwarepaket DST (Version 2.7), entwickelt von W. Spirkel