

Bericht zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit des Solitherm-Pufferspeichers der Fa. Mall GmbH

Prüfstelle

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

Ansprechpartner Dipl.- Ing. (FH) Jan Steinweg
Tel.:05151/999645; Fax: -500
E-Mail: steinweg@isfh.de

Prüfgrundlage

Prüfung DIN EN 12977-3: 2008
in Anlehnung an

Prüfbericht

Nummer 110-11/SP
Datum 23.09.2011
Seitenzahl 15

Auftraggeber

Anschrift Mall GmbH
Hüfinger Straße 39-45
78166 Donaueschingen-Pföhren

Ansprechpartner Clemens Mauz
Tel.: 0771 / 8005-220
Fax: 0771 / 8005-3220
E-Mail: clemens.mauz@mall.info

Prüfkörper

Solitherm Pufferspeicher

Firma:	Mall GmbH	Seite:	2 von 15
Prüfbericht-Nummer:	110-11/SP	Prüfbericht-Datum:	29.08.11
Typ:	Solitherm Pufferspeicher		

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel der Prüfungen	3
2	Form der Prüfung.....	3
3	Technische Daten des Pufferspeichers	4
4	Prüfstand	6
5	Messkonzept am Pufferspeicher	6
6	Bestimmung der Wärmeverluste	7
6.1	Prüfverfahren	7
6.2	Grundlagen zur Auswertung der Messungen	7
6.3	Auswertung.....	8
7	Leistungsbestimmung der internen Wärmeübertrager	10
7.1	Prüfverfahren	10
7.2	Grundlagen zur Auswertung der Messungen	10
7.3	Auswertung.....	10
8	Ergebnisse.....	12
9	Literatur.....	14

Firma:	Mall GmbH	Seite:	3 von 15
Prüfbericht-Nummer:	110-11/SP	Prüfbericht-Datum:	29.08.11
Typ:	Solitherm Pufferspeicher		

1 Ziel der Prüfungen

Am ISFH wurde zur Erprobung eines neuen Wärmespeicherkonzepts ein Solitherm-Pufferspeicher der Fa. Mall GmbH installiert¹. Für die Untersuchungen wurden durch die Weiterentwicklung des Konzepts aus den Betriebserfahrungen insgesamt zwei Prototypen umgesetzt, die sich hinsichtlich ihres Aufbaus bzw. ihres Konzepts zur Aufnahme der Volumenausdehnung des Speicherwassers bei Erwärmung unterscheiden. Alle Messungen und weiteren Beschreibungen beziehen sich auf den zweiten Prototyp des Solitherm-Pufferspeichers mit dem in Kapitel 3 beschriebenen Aufbau. Nachträgliche Änderungen gegenüber dem hier untersuchten Speicherkonzept können die Messergebnisse beeinflussen.

Von Interesse ist die Leistungsfähigkeit des Speicherkonzepts, welche im Wesentlichen durch die Parameter „Wärmeverluste im Betrieb“ sowie die „Wärmeübertragungsleistung der internen Wellrohr-Wärmeübertrager“ charakterisiert werden soll. Für die Ermittlung der Kennwerte wird der Speicher verschiedenen Prüfungen unterzogen.

2 Form der Prüfung

Der Solitherm-Pufferspeicher wird am ISFH vorschriftsmäßig installiert und während der Prüfung in verschiedene Betriebssituationen gebracht, in denen die charakteristischen Kennwerte ermittelt werden können.

Die Wärmeverlustmessungen werden in Anlehnung an das Prüfverfahren der EN 12977-3 [1] im Standby-Betrieb durchgeführt und zusätzlich anhand von Wärmeverlustmessungen im stationären Betrieb (vgl. z.B. DIN 4753-8 [2]) auf Plausibilität geprüft. Aufgrund der Installation des Speichers im Erdreich ist aber eine vollständig normgerechte Prüfung unter Laborbedingungen ausgeschlossen.

Die Wärmeübertragerparameter wurden angelehnt an die Vorgaben der VDI 6002 [3] ausgelegt und werden entsprechend den dort beschriebenen Randbedingungen gemessen und überprüft. Die erreichte Wärmeübertragerleistung bei Be- und Entladung des Speichers unter Nennbetriebsbedingungen wird ausgewertet.

¹ Die Untersuchungen am Solitherm-Speicher der Fa. Mall fanden im Rahmen des vom Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten Forschungsprojekts „Neuartiges Konzept für kosteneffiziente erdvergrabene Heißwasserspeicher“ (FKZ: 0325950A) statt.

Firma:	Mall GmbH	Seite:	4 von 15
Prüfbericht-Nummer:	110-11/SP	Prüfbericht-Datum:	29.08.11
Typ:	Solitherm Pufferspeicher		

3 Technische Daten des Pufferspeichers

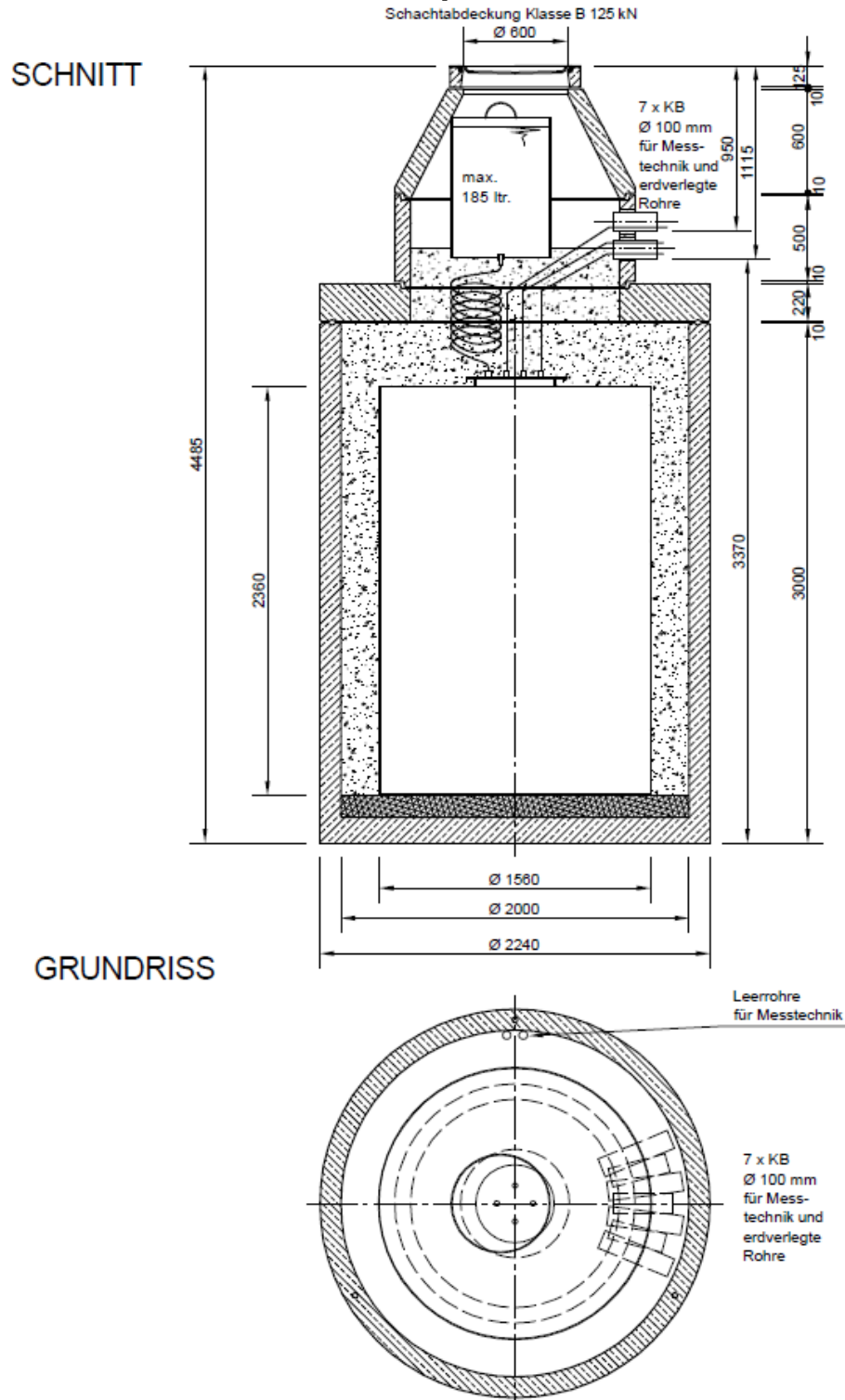


Abbildung 1: Schnittzeichnung des am ISFH installierten Pufferspeichers

Firma:	Mall GmbH	Seite:	5 von 15
Prüfbericht-Nummer:	110-11/SP	Prüfbericht-Datum:	29.08.11
Typ:	Solitherm Pufferspeicher		

Tabelle 1: Kennwerte des Solitherm-Pufferspeichers

Speicherbetriebsart	Drucklos, Luftpolster im Edelstahltank
Speichervolumen	4.2 m ³
Gesamthöhe	4485 mm
Außendurchmesser	2240 mm
Hydraulische Erschließung	Interne Wärmeübertrager aus Edelstahlwellrohr (DN 32) (1x Beladung, 1xEntladung)
Nennleistung der Wärmeübertrager	2x 15 kW
Oberfläche des Be- und Entladewärmeübertragers	2x 5.6 m ²
Anzahl der Erschließungsleitungen gesamt	6 2x indirekte Beladung (WÜT) 2x indirekte Entladung (WÜT) 2x direkte Be-/Entladung (nur für Testbetrieb)

Der Solitherm-Pufferspeicher besitzt als äußerste Hülle eine zylindrische Betonzisterne, die im Deckelbereich mit einem konischen Schacht und einer Schachtabdeckung mit Mannloch abschließt. Im Inneren befindet sich ein zylindrischer Edelstahltank, in dem sich das Speicherwasser und die Wärmeübertrager befinden. Zwischen Edelstahltank und Betonzisterne befindet sich die Behälterdämmung aus Blähglasgranulat. Im Bodenbereich des Speichers wird zur Dämmung eine zweiteilige PU-Platte verwendet, auf der der Edelstahltank steht.

In Abbildung 1 ist im Deckelbereich des Speichers neben den Erschließungsleitungen noch ein Ausgleichsgefäß mit einem Fassungsvermögen von 185 Litern enthalten. Dieses wurde wegen Betriebsproblemen vor Beginn der Prüfung entfernt. Weiterhin wurde das Wasservolumen von ursprünglich 4,5 m³ auf 4,2 m³ (bei 15°C Speichertemperatur) reduziert. Dadurch befindet sich im oberen Teil des Edelstahltanks ein Luftvolumen von 0,3 m³ im kalten Zustand. Bei Erwärmung des Speichers und der damit verbundenen Volumenausdehnung des Speicherwassers wird dieses Luftvolumen aus dem Edelstahltank verdrängt. Der Speicher wird somit drucklos und offen (Luftverbindung zur Atmosphäre) betrieben. Der Druckausgleich des Speichers findet zwischen dem Edelstahltank und der Umgebung statt und wird über eine Rohrverbindung realisiert. Dabei kommuniziert das sich im Edelstahltank befindende Luftpolster mit der Umgebungsluft außerhalb des Speichers.

Firma:	Mall GmbH	Seite:	6 von 15
Prüfbericht-Nummer:	110-11/SP	Prüfbericht-Datum:	29.08.11
Typ:	Solitherm Pufferspeicher		

4 Prüfstand

Der Solitherm-Pufferspeicher wird mit einem für Speicherprüfungen gemäß der EN 12977-3 und -4 zertifizierten Prüfstand hydraulisch und messtechnisch verbunden und betrieben. Der Prüfstand besteht aus insgesamt vier Modulen (2x Be-, 2x Entladung), von denen zwei für den Speicher verwendet und mit den Be- und Entladewärmeübertragern verbunden werden. Mithilfe der Module kann dem Speicher über die Regelung von Massenstrom, Eintrittstemperatur oder Be- bzw. Entladeleistung Energie zugeführt bzw. abgeführt werden.

Der Prüfstand funktioniert automatisiert und rechnergesteuert. Der Computer fungiert sowohl als Regelung der Modulleistung und -betriebsweise als auch als Messdatenerfassung. Alle Daten der Module und des Speichers werden im Intervall von 10 Sekunden erfasst und über 30 Sekunden gemittelt in einer Messwertdatei abgelegt.

5 Messkonzept am Pufferspeicher

- Feuchtemessung
 - Temperaturmessung
- } ● kombiniert

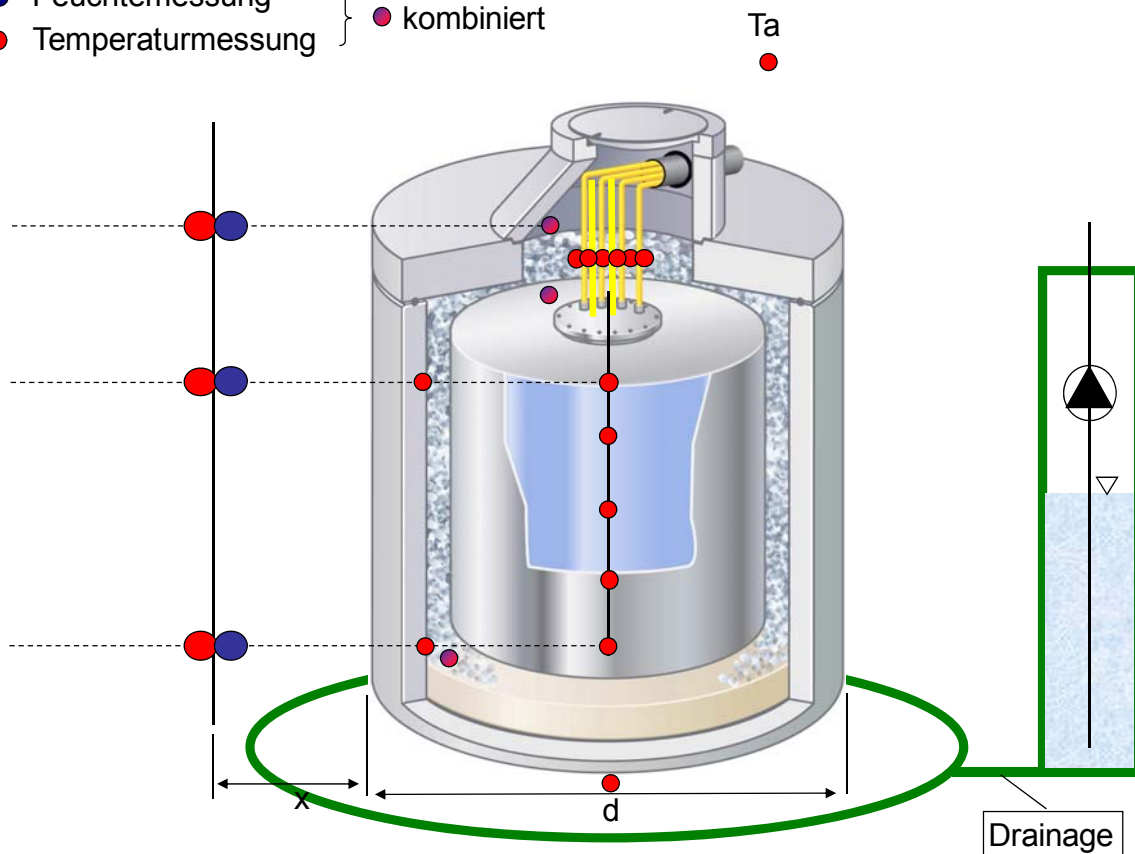


Abbildung 2: Messtechnische Ausrüstung des Solitherm-Speichers

Firma:	Mall GmbH	Seite:	7 von 15
Prüfbericht-Nummer:	110-11/SP	Prüfbericht-Datum:	29.08.11
Typ:	Solitherm Pufferspeicher		

Der Solitherm-Speicher wurde umfassend mit Temperatur- und Feuchtesensoren ausgestattet, die z.T. schon während des Speicherbaus installiert worden sind. Diese befinden sich im Wesentlichen im Dämmbereich, an der Betonwand und im Luftraum über der Dämmung sowie in den Anschlussleitungen. Im Speicherwasser wird die Wassertemperatur mithilfe einer Messlanze in 15 gleichmäßig im Speicher verteilten Schichten gemessen. Durch den festen Einbau der Messlanze und das sich bei Erwärmung verändernde Speichervolumen ist die dem obersten Temperatursensor zugeordnete Speicherschicht nicht konstant. Dieser Umstand wurde in den Auswertungen der Messungen berücksichtigt. Außerhalb des Erdreichs wird die Erdreichtemperatur und -feuchte im Abstand von 0.5 m von der Speicheraußenwand in drei verschiedenen Tiefen zwischen 0.6 m und 4.2 m gemessen. Zur Regulierung der Erdreichfeuchte gibt es einen Drainagebrunnen am Speicher, über den der Wasserstand im Erdreich überprüft und ggf. verändert werden kann.

6 Bestimmung der Wärmeverluste

6.1 Prüfverfahren

Die Wärmeverluste des Speichers werden im Standby aufgenommen. Das bedeutet, dass während einer Zeit ohne Energiezufuhr oder -entnahme die Enthalpieabnahme des Speichers berechnet und bilanziert wird, welche in diesem Fall nur durch die Wärmeverluste des Speichers entsteht. Obgleich kapazitive Effekte die Genauigkeit des Messverfahrens einschränken können, ist die Messgenauigkeit der Sensorik hoch. Die Wärmeverluste werden als UA-Wert des Speichers in W/K angegeben.

Ergänzend werden die Wärmeverluste des Speichers im stationären Betrieb ermittelt. Dafür wird der Speicher zunächst auf eine Mitteltemperatur von 90°C beheizt. Hat er diese Temperatur erreicht, kann vereinfacht die Energie, die nötig ist um ihn auf dieser Temperatur zu halten, gleich der Verlustenergie des Speichers angesehen werden. Damit lässt sich der UA-Wert des Speichers berechnen. Bei der stationären Wärmeverlustmessung spielen im Gegensatz zur Bilanzierung einer Standby-Phase kapazitive Effekte keine Rolle mehr, ist erstmal ein stationärer Zustand erreicht, jedoch ist die Messabweichung der Sensorik hier von größerem Einfluss. Dennoch ist dieses Verfahren gut geeignet, um die Ergebnisse der Wärmeverluste, die aus der Standby-Phase ermittelt werden, auf Plausibilität zu prüfen.

6.2 Grundlagen zur Auswertung der Messungen

Die für die Auswertung der Wärmeverlustmessungen im Standby angewendete Gleichung (6.1) lautet:

$$UA_{Sb} = \frac{\sum_j C_j \cdot (T_{t1} - T_{t2})_j}{\Delta t \cdot \sum_n (T_j - T_a)_n \cdot A_n} \cdot A_{Ges} \quad (6.1)$$

UA_{Sb}

Wärmeverluste des Speichers im Standby in W/K

C_j

Wärmekapazität der Speicherschicht j (j=1...15)

Firma:	Mall GmbH	Seite:	8 von 15
Prüfbericht-Nummer:	110-11/SP	Prüfbericht-Datum:	29.08.11
Typ:	Solitherm Pufferspeicher		

$(T_{t1}-T_{t2})_j$	Temperaturdifferenz der Speicherschicht j zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_2
Δt	Zeitraum zwischen Beginn und Ende der Standby-Phase
$(T_j-T_a)_n$	Temperaturdifferenz im Bereich n ($n=1\dots m$) zwischen der Speicherschicht j und der zugehörigen Umgebungstemperatur
A_n	Fläche des Bereichs n
A_{Ges}	Gesamtoberfläche des Speichers

Der UA-Wert des Speichers, der die Wärmeverluste in W/K beziffert, kann aus dem Quotient aus Enthalpieverlust, Zeit des Betriebs im Standby und der Temperaturdifferenz zwischen Speicher und Umgebung berechnet werden. Da, anders als bei Speichern die oberirdisch aufgestellt und von Luft umgeben sind, um den erdvergrabenen Speicher herum unterschiedliche Erdreichtemperaturen herrschen können, sollte die Temperaturdifferenz entsprechend der Anzahl und der Position der verwendeten Sensoren flächengewichtet berücksichtigt werden. Dies führt bei der Berechnung insbesondere dann, wenn sich die Umgebungstemperaturen lokal stark unterscheiden, zu einer höheren Rechengenauigkeit

Zur Berechnung der stationären Wärmeverluste wird folgende Formel (6.2) verwendet:

$$UA_{Stat} = \frac{\dot{C}(T_{ein} - T_{aus})}{\sum_{n=1}^{15} \left(\frac{T_n}{15} \right) - \sum_m \left(T_{a,m} \frac{A_n}{A_{Ges}} \right)} \quad (6.2)$$

UA_{Stat}	Wärmeverluste des Speichers im stationären Betrieb in W/K
\dot{C}	Wärmekapazitätsstrom durch den internen Wärmeübertrager
$(T_{ein}-T_{aus})$	Temperaturdifferenz zwischen Wärmeübertragerein- und -austritt
T_n	Speichertemperatur in der Schicht n ($n=1\dots 15$)
$T_{a,m}$	Umgebungstemperatur des Bereichs m ($m=1\dots i$)
A_m	Fläche der Position m
A_{Ges}	Gesamtoberfläche des Speichers

Aus der Gleichung resultiert ein berechneter UA-Wert für jedes Messintervall (hier 30 Sekunden, siehe Kapitel 4). Der in diesem Bereich aufgeführte Messwert für die stationären Wärmeverluste ergibt sich aus der Mittlung der berechneten UA-Werte über die letzten 12 Stunden der Messung.

6.3 Auswertung

In Abbildung 3 sind die Ergebnisse der insgesamt drei durchgeführten Wärmeverlustmessungen zusammengefasst dargestellt. Für die Standby-Versuche konnte ein UA-Wert von 6.4...6.7 W/K $\pm 1.2\%$ ermittelt werden. Der Unterschied der UA-Werte von 0.3 W/K resultiert den Betriebsbedingungen entsprechend aus dem Einfluss der zusätzlichen Speicherkapazi-

Firma:	Mall GmbH	Seite:	9 von 15
Prüfbericht-Nummer:	110-11/SP	Prüfbericht-Datum:	29.08.11
Typ:	Solitherm Pufferspeicher		

täten der Dämmung und des Edelstahlbehälters. Bei normgerechten Prüfungen nach EN 12977-3 wird, um diesem Einfluss zu begegnen, ein „effektives Speichervolumen“ berechnet, das in der Regel größer ist als das reine Wasservolumen und die zusätzliche Speicherkapazität des Speichermantels (durch Dämmung, Stahlhülle, Anschlüsse, usw.) berücksichtigt. Da dieses effektive Speichervolumen bei der Untersuchung des erdvergrabenen Solitherm-Speichers nicht bestimmt werden kann, müssen die Kapazitäten der Speicherhülle zu Beginn der Standby-Phase bereits ausgeglichen sein. Dieses wurde bei der zweiten Standby-Phase berücksichtigt. Dort resultierte ein UA-Wert von $6.4 \text{ W/K} \pm 1.2\%$.

Beim stationären Betrieb wurden Verluste von $6.4 \text{ W/K} \pm 7\%$ gemessen, welches das Ergebnis der Standby-Messungen bestätigt. Tabelle 2 zeigt weitere Angaben der Wärmeverluste, die aus den Messungen errechnet wurden.

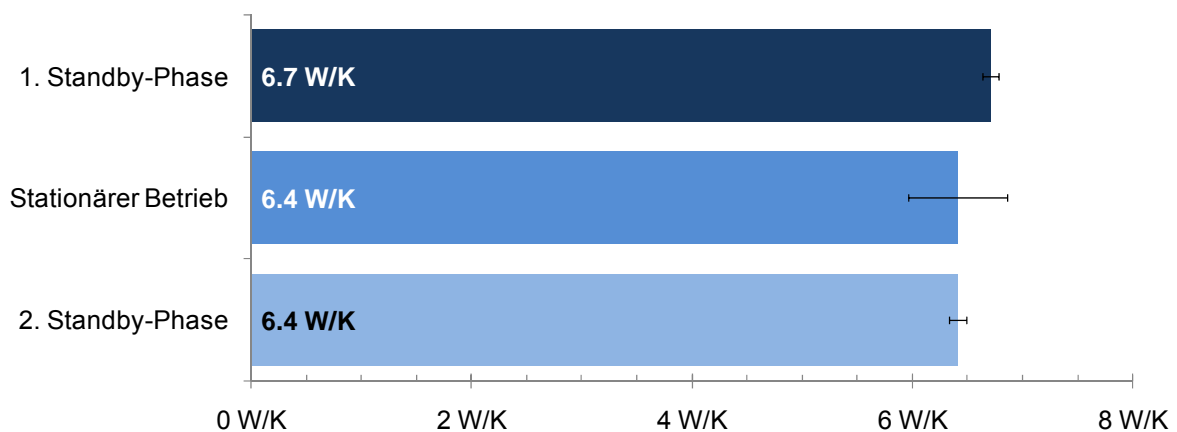


Abbildung 3: Ergebnisse der Wärmeverlustmessungen aus zwei Abkühlkurven und einem stationären Betrieb

Tabelle 2: Ergebnisse der Wärmeverlustmessungen in der Übersicht

	1. Standby-Phase	Stationärer Betrieb	2. Standby-Phase
Wärmeverlust des Speicher in W/K	6.7	6.4	6.4
Wärmedurchgangskoeffizient in $\text{W/m}^2\text{K}$	0.33	0.31	0.31
Temperaturverlust in K/d	1.5	--	1.5
Wärmeverlust in kWh/d bei einer Temperaturdifferenz von 45 K	7.2	6.9	6.9

Firma:	Mall GmbH	Seite:	10 von 15
Prüfbericht-Nummer:	110-11/SP	Prüfbericht-Datum:	29.08.11
Typ:	Solitherm Pufferspeicher		

7 Leistungsbestimmung der internen Wärmeübertrager

7.1 Prüfverfahren

Die Wärmeübertrager des Solitherm-Pufferspeichers wurden angelehnt an die VDI 6002 für eine Übertragungsleistung von 15 kW bei einer Auslegungstemperaturdifferenz von 10 K ausgelegt.

Für die Messung der Wärmeübertragerleistung wird der Speicher über die Wärmeübertrager beheizt bzw. gekühlt. Durch die Veränderung der zugeführten Leistung lässt sich die Temperaturdifferenz verändern. So kann messtechnisch ein Bereich um die Auslegungstemperaturdifferenz abgerastert und ausgewertet werden

7.2 Grundlagen zur Auswertung der Messungen

Die Wärmeübertragungsleistung des Be- und des Entladewärmeübertragers wird als UA-Wert in W/K angegeben und aus dem Quotient aus über den Wärmeübertrager zu- oder abgeführter Energie und der zugehörigen logarithmischen Temperaturdifferenz zwischen Wärmeübertragerfluid und der Speichertemperatur gemäß Gleichung (7.1) berechnet:

$$UA_{W\dot{U}T} = \frac{\dot{C}(T_{ein} - T_{aus})}{\ln\left(\frac{T_{ein} - T_{Sp}}{T_{aus} - T_{Sp}}\right)} \quad (7.1)$$

$UA_{W\dot{U}T}$	Wärmeübertragungsrate des Be- /Entladewärmeübertragers
$(T_{ein} - T_{aus})$	Temperaturdifferenz zwischen Wärmeübertragerein- und -austritt
T_{Sp}	Mittlere Speichertemperatur auf Höhe des Wärmeü- bertragers

7.3 Auswertung

Für den Beladewärmeübertrager kann für eine Temperaturdifferenz von 10 K zwischen Wärmeübertragerfluid und mittlerer Speichertemperatur ein UA-Wert von 1580 W/K gemessen werden. Damit liegt die im Auslegungsfall übertragbare thermische Leistung bei 15.8 kW.

Beim Entladewärmeübertrager konnten Betriebspunkte zwischen 7 K und 14 K Temperaturdifferenz aus technischen Gründen nicht realisiert werden. Da aber für kleinere bzw. größere Temperaturdifferenzen Werte vorliegen, wurden diese für eine Interpolation der Messdaten genutzt. Das Ergebnis zeigt, dass der Entladewärmeübertrager bei einer Temperaturdifferenz von 10 K auf einen UA-Wert von 1505 W/K kommen würde. Daraus resultiert bei Auslegungstemperaturdifferenz eine thermische Entnahmeleistung von 15.1 kW.

Firma:	Mall GmbH	Seite:	11 von 15
Prüfbericht-Nummer:	110-11/SP	Prüfbericht-Datum:	29.08.11
Typ:	Solitherm Pufferspeicher		

Weitere UA-Werte in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Wärmeübertragerfluid und mittlerer Speichertemperatur, wie sie aus den Messungen ermittelt werden konnten, sind in Abbildung 4 dargestellt.

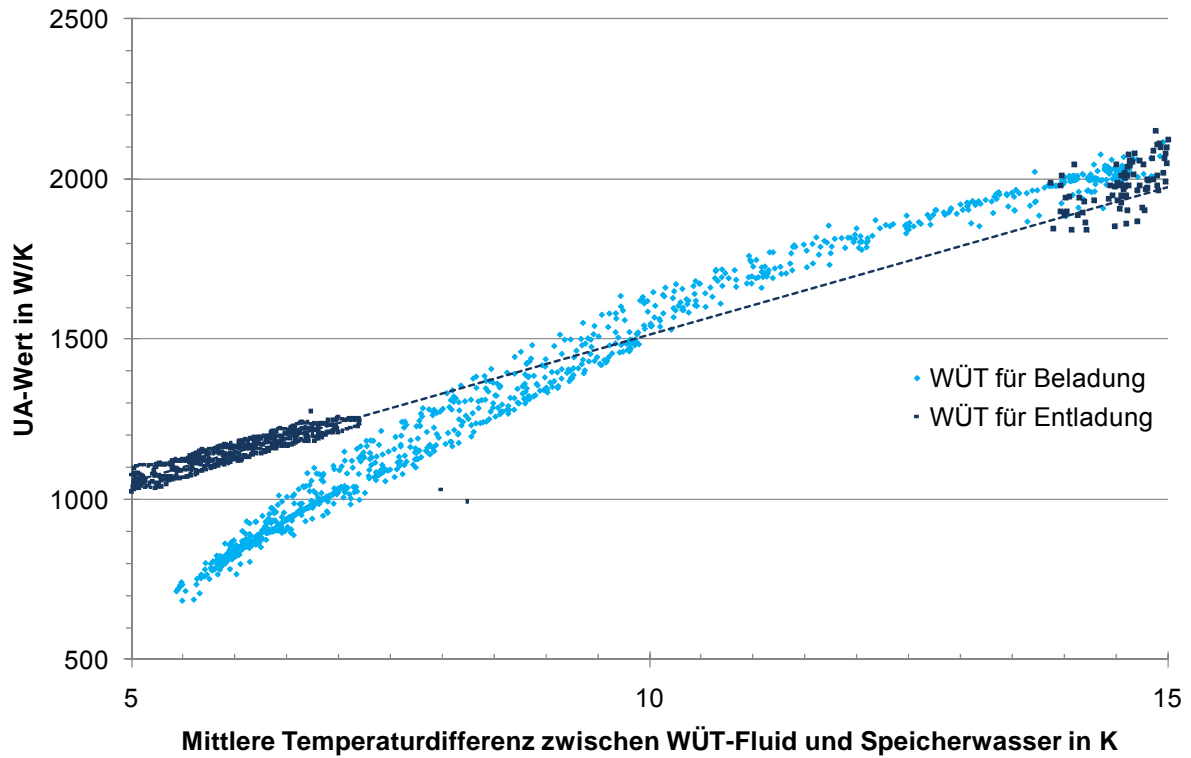


Abbildung 4: Ermittelte UA-Werte des Be- und Entladewärmeübertragers bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen zwischen Wärmeübertragerfluid und mittlerer Speichertemperatur

Firma:	Mall GmbH	Seite:	12 von 15
Prüfbericht-Nummer:	110-11/SP	Prüfbericht-Datum:	29.08.11
Typ:	Solitherm Pufferspeicher		

8 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Messungen stichpunktartig zusammengefasst:

- Die Wärmeverlustrate des untersuchten Solitherm-Pufferspeichers beträgt zwischen 6.4 W/K und 6.7 W/K. Dabei resultiert der höhere UA-Wert aus der ungenügenden Berücksichtigung der zusätzlichen Speicherkapazitäten, z.B. der Speicherdämmung oder des Edelstahlbehälters, aufgrund der nicht normgerechten Prüfbedingungen. Aus der Anpassung der Betriebsbedingungen zum Ausgleich der zusätzlichen Kapazitäten vor der Standby-Phase resultiert ein UA-Wert von 6.4 W/K. Der Vergleich der Ergebnisse der zwei angewendeten Messverfahren, Standby sowie stationärer Betrieb, zeigt eine gute und plausible Übereinstimmung der gemessenen Wärmeverluste.
- Die aus den Messungen ermittelten Werte würden die für einen Speicher gleicher Größe maximal zugelassenen Wärmeverluste nach ENV 12977-1 [4] um 40% unterschreiten. Allerdings bezieht sich das normative Messverfahren aus EN12977-3 und damit auch die Grenzwertangabe nur auf Speicher mit einem Volumen bis maximal 3 m³ und kann hier nur als grober Richtwert verstanden werden.
- Die Nennleistung der internen Wärmeübertrager des Solitherm-Pufferspeichers von 15 kW wurde in den Untersuchungen sowohl bei Be- als auch bei Entladung erreicht; bei der Beladung wurde der Wert um etwa 5% überschritten.
- Bedingt durch die Versuchsführung konnte der UA-Wert des Beladewärmeübertragers nur bei einer Speichertemperatur von 70°C gemessen werden, was ggf. eine Überbewertung der Wärmeübertragung bedeuten kann. Der UA-Wert für den Entladewärmeübertrager lies sich aufgrund von fehlenden Daten bei der Auslegungstemperaturdifferenz nur durch Interpolation bestimmen. Dem entsprechend kann hier keine Aussage zur zugehörigen Speichertemperatur gemacht werden.
- Unter Berücksichtigung der im letzten Punkt diskutierten Ungenauigkeiten und Einschränkungen, kann gefolgert werden, dass die Auslegungsvorgaben für Trinkwasserspeicher nach VDI 6002 mit guten Ergebnissen auch für Wärmeübertrager in großen Pufferspeichern angewendet werden können.

Firma:	Mall GmbH	Seite:	13 von 15
Prüfbericht-Nummer:	110-11/SP	Prüfbericht-Datum:	29.08.11
Typ:	Solitherm Pufferspeicher		

9 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) Maik Kirchner
Leiter Prüfstelle FE

Firma:	Mall GmbH	Seite:	14 von 15
Prüfbericht-Nummer:	110-11/SP	Prüfbericht-Datum:	29.08.11
Typ:	Solitherm Pufferspeicher		

10 Literatur

- [1] EN 12977-3:2008, Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile, Kundenspezifisch gefertigte Anlagen, Teil 3: Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen, Beuth Verlag GmbH, 2008, Berlin
- [2] DIN 4753-8, Wassererwärmer und Wassererwärmungsanlagen für Trink- und Betriebswasser, Teil 8: Wärmedämmung von Wassererwärmern bis 1000 l Nenninhalt, Anforderungen und Prüfungen, Beuth Verlag, 1996, Berlin
- [3] VDI 6002, Solare Trinkwassererwärmung, Allgemeine Grundlagen, Systemtechnik und Anwendung im Wohnungsbau, Verein Deutscher Ingenieure, 2004, Düsseldorf
- [4] ENV 12977-1:2001, Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile, Kundenspezifisch gefertigte Anlagen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Beuth Verlag GmbH, 2001, Berlin

Firma:	Mall GmbH	Seite:	15 von 15
Prüfbericht-Nummer:	110-11/SP	Prüfbericht-Datum:	29.08.11
Typ:	Solitherm Pufferspeicher		

11 Anhang

11.1 Wärmeverlustmessungen

	1. Standby-Phase	Stationärer Betrieb	2. Standby-Phase
UA-Wert in W/K	6.71±0.07	6.41±0.45	6.41±0.08
U-Wert in W/m²K	0.33±0.0035	0.32±0.0221	0.32±0.0037
Temperaturverlust in K/d	1.56±0.23	--	1.54±0.23
Wärmeverluste in kWh/d bei einer Temperaturdifferenz von 45 K	7.25±0.08	6.92±0.48	6.92±0.08

11.2 Leistung der internen Wärmeübertrager

	Belade-Wärmeübertrager	Entlade-Wärmeübertrager
UA-Wert in W/K	1580±40	1505±38
Übertragbare thermische Leistung bei dT=10K in kW	15.80±0.40	15.05±0.38

11.3 Messunsicherheiten der verwendeten Sensoren

Unsicherheit des Massenstrommessgeräts am Belade-Wärmeübertrager bei einem Massenstrom von 1000 kg/h in kg/h	±7.47
Unsicherheit des Massenstrommessgeräts am Entlade-Wärmeübertrager bei einem Massenstrom von 750 kg/h in kg/h	±1.61
Unsicherheit bei der Messung der Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Austritt des Belade-Wärmeübertragers in K	±0.039
Unsicherheit bei der Messung der Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Austritt des Entlade-Wärmeübertragers in K	±0.039
Unsicherheit bei der Messung der Speichertemperatur in K	±0.15