



PRAKTIKUM SOLARTHERMISCHE KOMPONENTEN

TEIL 5: SOLARSPEICHER

Lena Völlinger & Marvin Grosch

Praktikumstag: 08.09.2020
Erstabgabe: 05.10.2020
Betreuer: Markus Rusack & Christoph Schmelzer
Studiengang: Master re²
Semester: SoSe 2020
Matrikelnr.: 35597894, 35598242

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	I
1 Einleitung	1
2 Versuchsauswertung	1
2.1 Speicher A	1
2.1.1 UA-Wert Plattenwärmeübertrager	1
2.1.2 Füllvorgang	2
2.2 Speicher B	3
2.2.1 UA-Wert Rohrbündel	3
2.2.2 Volumenstrom Steigrohr	4

Abbildungsverzeichnis

1	Temperaturverläufe des Platten-WÜT	1
2	Temperaturverlauf Speicher A	2
3	Temperaturverläufe des Rohr-WÜT	3
4	Temperaturschichtung Speicher B	5

1 Einleitung

In dem Praktikumsversuch Solarthermische Speicher sollen verschiedene Speicherladesysteme untersucht werden. Hierzu stehen ein Speicher mit internem Wärmeübertrager und Steigrohr (Thermosyphonische Strömung) sowie ein Speicher mit externem Wärmeübertrager und drei unterschiedlichen Beladeeinrichtungen zur Verfügung.

2 Versuchsauswertung

2.1 Speicher A

2.1.1 UA-Wert Plattenwärmeübertrager

Zur Bestimmung des UA-Wertes wurden die zu Beginn der Speicherbeladung aufgenommenen Messdaten verwendet. Diese sind in Abbildung 1 gezeigt. Für die Berechnung wurde der Stationäre Temperaturverlauf zwischen den Scans 150 und 270 gemittelt. Zusätzlich wurde der Volumenstrom des orangenen MIDs zum gegebenen Zeitraum erfasst.

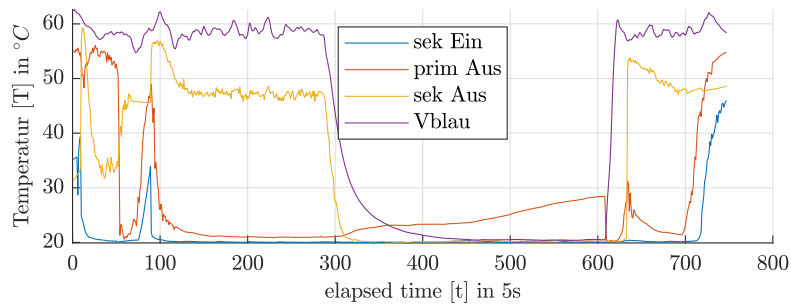


Abb. 1: Temperaturverläufe des Platten-WÜT

Die benötigten Temperaturen sind in folgender Tabelle zusammengefasst. Der Volumenstrom beträgt $0,0874 \pm 1,8614 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{h}$.

Messwert	Mittelwert [T] in °C
$T_{sek,ein}$	$20,06 \pm 0,04$
$T_{sek,aus}$	$47,16 \pm 0,57$
$T_{prim,ein}$	$58,85 \pm 0,84$
$T_{prim,aus}$	$21,02 \pm 0,10$

Tabelle 1: UA-Wert-Bestimmung Speicher A

Die Berechnung erfolgt gemäß Gleichung 1 bis 5. Näherungsweise wurden eine Wasserdichte von 1000 kg/m^3 und eine Wärmekapazität von $4190 \text{ J} \cdot \text{K/kg}$ angenommen.

$$\dot{Q}_{WÜT} = \rho_w \cdot \dot{V}_{MID,orange} \cdot c_{p,w} \cdot (T_{prim,ein} - T_{prim,aus}) = 3850 \text{ W} \quad (1)$$

$\dot{Q}_{W\ddot{U}T}$: Wärmestrom am WÜT, ρ_w : Dichte von Wasser, $c_{p,w}$: Wärmekapazität von Wasser

$$\Delta T_m = \frac{|\Delta T_0 - \Delta T_1|}{\ln(\frac{\Delta T_0}{\Delta T_1})} = 4,2840 \text{ K} \quad (2)$$

ΔT_m : Mittlere Temperaturdifferenz

mit

$$\Delta T_0 = T_{prim,ein} - T_{sek,aus} \quad (3)$$

$$\Delta T_1 = T_{prim,aus} - T_{sek,ein} \quad (4)$$

Der UA Wert ergibt sich aus dem Quotienten von Gleichung 1 und 2.

$$UA_{W\ddot{U}T} = \frac{\dot{Q}_{W\ddot{U}T}}{\Delta T_m} = 898,7 \text{ W/K} \quad (5)$$

2.1.2 Füllvorgang

Bei der Befüllung wurde der Temperaturverlauf an der Messlanze beobachtet und aufgezeichnet. Abbildung 2 zeigt den zugehörigen Datensatz mit den verschiedenen Messpunkten.

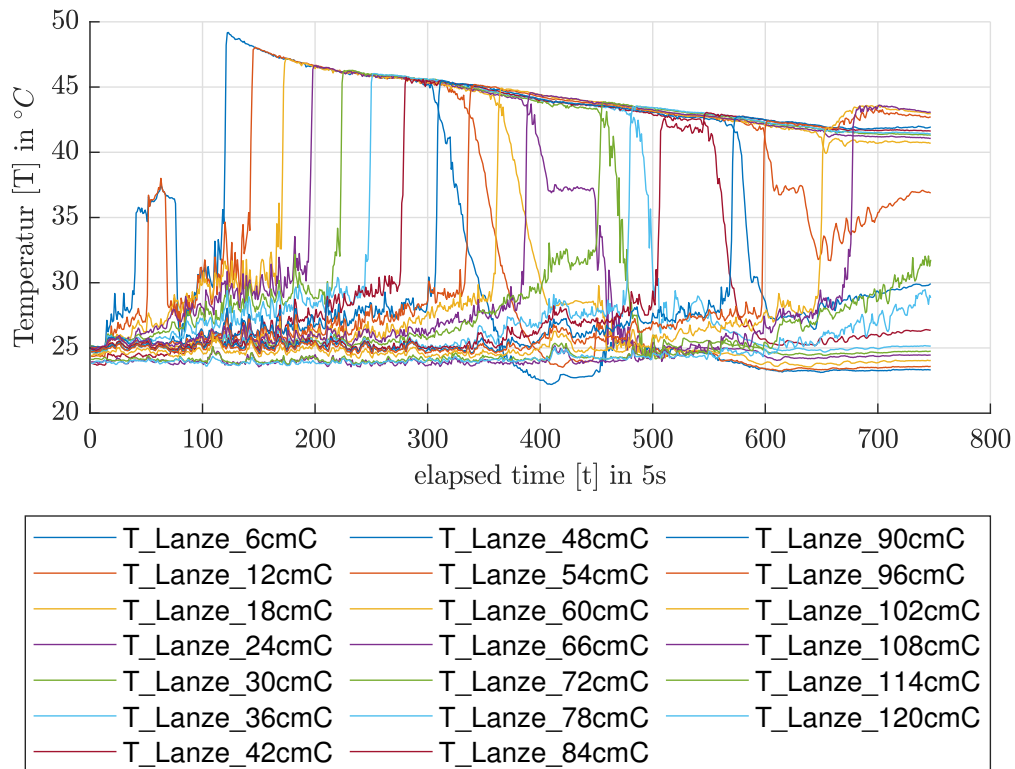


Abb. 2: Temperaturverlauf der Befüllung von Speicher A

Zunächst wurde erhitztes Wasser bis zur 30 L Markierung des Speichers durch den Bodeneinlass aufgefüllt. Beim eintauchen in das Wasser steigt die gemessene Temperatur an der jeweiligen Lanzenhöhe sehr schnell an. Aufgrund der Wärmeverluste und der Wärmeverteilung durch die Temperaturschichtung kann die Speichereintrittstemperatur nicht überall gehalten werden, an den höheren Sensoren wird daher eine etwas niedrigere Temperatur gemessen. Im nächsten Schritt wird der Speicher über die Prallplatte mit kaltem Wasser bis zur 50 L Markierung gefüllt. (Scan 300 bis 450). Die Temperatur fällt an den unteren Sensoren ab, an den oberen Sensoren bleibt die Temperatur stabil oder sinkt nur leicht. Beim Wechsel auf den Bodeneinlass (Scan 450 bis 500) wird die Schicht bis zu einer Speicherhöhe von 36 cm gestört. Beim Wechsel auf das Steigrohr (Scan 500 bis 650) tritt zunächst kein Temperatursprung auf, bis schließlich die Temperaturen auf einer Höhe zwischen 40 und 50 cm abfallen. Ein Zeichen dafür, dass die Schichtung funktioniert und durch den Zufluss des kalten Wassers die warme Schicht angehoben wird. Beim abschließenden Wechsel auf heißes Wasser ist ein Temperaturhub an den obersten Schichten festzustellen. Auch in diesem Fall erfüllt das Steigrohr seinen Zweck.

2.2 Speicher B

2.2.1 UA-Wert Rohrbündel

Bei der Ermittlung des UA-Wertes wird analog zum vorherigen Versuchsteil vorgegangen. Da das Steigrohr fast den Boden des Speichers berührt, wird dieses als Sekundärseite des Wärmeübertragers betrachtet. Der unterste Messpunkt der Temperaturlanze dient als Einlass, der am oberen Ende des Steigrohrs montierte Temperaturfühler als Auslass. Abbildung 3 zeigt den Messverlauf der beschriebenen Größen. Zur Berechnung wurden die letzten 15 Scans gemittelt und in Tabelle 2 zusammengefasst. Der blaue MID erfasst den Volumenstrom im Steigrohr, welcher nach Abzug des gegebenen Messfehlers $0,1175 \text{ m}^3/\text{h}$ beträgt.

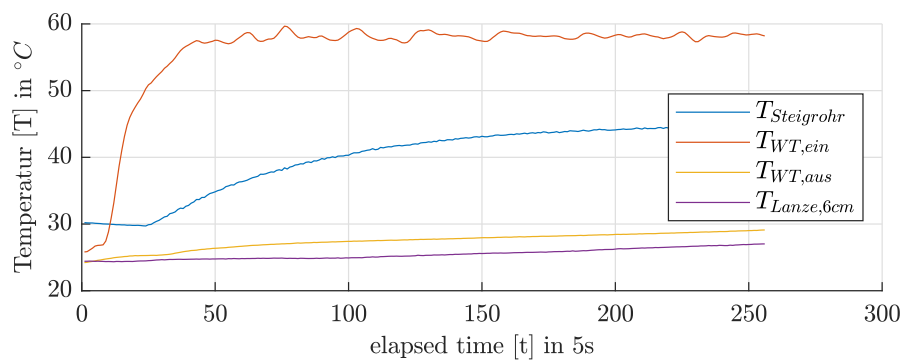


Abb. 3: Temperaturverläufe des Rohr-WÜT

Messwert	Mittelwert [T] in °C
$T_{Lanze,6cm}$	$26,63 \pm 0,23$
T_{pipe}	$44,47 \pm 0,18$
$T_{WT,ein}$	$58,22 \pm 0,31$
$T_{WT,aus}$	$28,74 \pm 0,20$

Tabelle 2: UA-Wert-Bestimmung Speicher B

Die Berechnung nach Gleichung 5 ergibt einen UA-Wert von

$$UA_{W\ddot{U}T} = \frac{4032,8 \text{ W}}{6,20 \text{ K}} = 650,3 \text{ W/K} \quad (6)$$

2.2.2 Volumenstrom Steigrohr

Neben der Messung mittels MID kann der Volumenstrom im Steigrohr auch über die sekundärseitige Energiebilanz des Wärmeübertragers bestimmt werden. Umstellen von Gleichung 1 und Einsetzen der Temperaturen und des Wärmestroms aus Gleichung 6 ergibt

$$\dot{V}_{Rohr} = \frac{\dot{Q}_{W\ddot{U}T}}{\rho_w \cdot c_{p,w} \cdot (T_{sek,aus} - T_{sek,ein})} = 0,194 \text{ m}^3/\text{h} \quad (7)$$

Der berechnete Wert liegt 65% über dem ausgegebenen Wert des MID. Grund dafür könnte das stark vereinfachte Modell zur Beschreibung des Wärmeübertragers sein. Die Temperatur der Sekundärseite wurde lediglich anhand der Messlanze geschätzt und komplexere Strömungseffekte im und am Steigrohr wurden vernachlässigt. Weiterhin wurde der Volumenstrom über die Dichteintegrale bestimmt (Gl. 8).

$$\Delta p_{drive} = g \cdot \left| \int_{h_1}^{h_2} \rho(T_{WS1}) dh' - \int_{h_1}^{h_2} \rho(T_{WS2}) dh' \right| = g \cdot \left| (\rho(T_{Lanze,6cm}) \cdot h_{Boden} + \rho((T_{W\ddot{U}T,ein} + T_{W\ddot{U}T,aus})/2) \cdot h_{W\ddot{U}T} + \rho(T_{pipe}) \cdot h_{pipe}) - \sum_{i=1}^{18} (\rho(T_i) \cdot \Delta h_i) \right| \quad (8)$$

Folgende Werte wurden neben den Temperaturen aus Tab. 2 verwendet:

Parameter	Wert
g	$9,81 \text{ m/s}^2$
h_{Boden}	$0,12 \text{ m}$
$h_{W\ddot{U}T}$	$0,23 \text{ m}$
h_{pipe}	$0,73 \text{ m}$
Δh_i	$0,06 \text{ m}$

Tabelle 3: Parameter zu Bestimmung der thermosiphonischen Strömung.

Zur Bestimmung der temperaturabhängigen Dichte von Wasser wurde folgende Näherung verwendet und in Gl. 8 implementiert:

$$\rho(T) = \frac{1000 \text{ kg/m}^3}{1 + 0.0002 \cdot T} \quad (9)$$

Der Antriebsdruck ergibt sich zu 74,35 Pa. Weiterhin gilt:

$$\Delta p_{drive} - \zeta \cdot \frac{\rho(T_{pipe})}{2} \cdot v_{pipe}^2 = 0 \quad (10)$$

$$\zeta = 1,44 + \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \cdot \frac{h_{pipe}}{d_{pipe}} \quad (11)$$

$$Re = \frac{\rho(T_{pipe}) \cdot v_{pipe} \cdot d_{pipe}}{\eta} \quad (12)$$

Einsetzen von Gl. 12 in Gl. 11 in Gl. 10 und Berechnung der Nullstelle (v_{pipe}) ergibt bei einem Steigrohrdurchmesser von 16 mm einen Volumenstrom von 0,155 m³/h. Dieser Wert liegt mit einer Abweichung von 32 % näher an der Anzeige des MID. Abbildung 4 zeigt, dass im verwendeten Datensatz keine ordentliche Temperaturschichtung im Speicher vorlag. Dieser Aspekt kann die thermosiphonische Berechnung verfälschen. Während bereits in der Speichermitte erhöhte Temperaturen auftreten, ist eine Temperaturspreizung am oberen Ende des Steigrohrs verglichen mit der Messlanze zu beobachten.

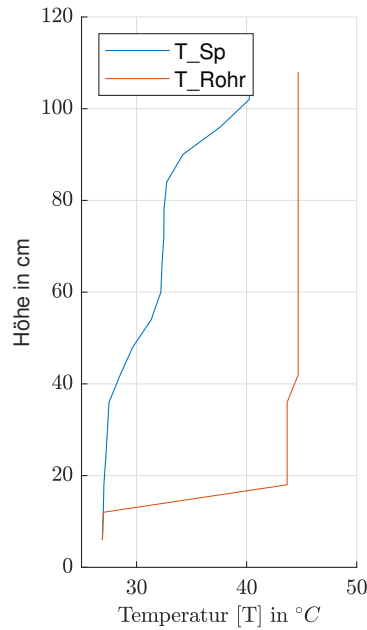


Abb. 4: Temperaturschichtung Speicher B

Die thermosiphonische Strömung kommt zum Erliegen, wenn sich die Temperatur (und somit die Dichte) innerhalb und außerhalb des Steigrohres angleicht. In diesem Fall gilt für die antreibende Druckdifferenz $\Delta p_{drive} = 0$.