



PRAKTIKUM SOLARTHERMISCHE KOMPONENTEN UND SYSTEME

TEIL 6: INBETRIEBNAHME EINER SOLARANLAGE

Lena Völlinger & Marvin Grosch

Praktikumstag: 08.09.2020
Erstabgabe: 05.10.2020
Zweitabgabe: 28.10.2020
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 Standard-Versuchsanlage	1
2.1.1 Dimensionierung des MAGs	1
2.1.2 Anlagenleistung	1
2.1.3 Fragestellungen	3
2.2 Drainback-System	4
2.3 Überprüfen des Wasser-Glykol-Gemischs	5

Abbildungsverzeichnis

1	Gemessene Einstrahlung während der Betriebsdauer der Standard Versuchsanlage	2
2	Theoretische Kennlinie des verwendeten Kollektors bei Einstrahlung $[G] = 1007,5 \text{ W/m}^2$	3

1 Einleitung

In dem Praktikumsversuch Inbetriebnahme einer Solaranlage sollte die Inbetriebnahme eines Drainback-Systems und eines Standard-Drucksystems sowie die Überprüfung derer Funktion erfolgen. Im Vorhinein wurde sich mit den verschiedenen Systemkomponenten der realen Anlagen vertraut gemacht.

Es sollte zusätzlich die Genauigkeit der Anzeigen der Solarstation für Temperatur und Durchfluss mit den eingebauten Messsensoren überprüft werden.

Als Letztes erfolgte die Prüfung dreier Proben von Solarflüssigkeit unterschiedlicher Konzentrationen und die Beurteilung ihrer Qualität und Verwendbarkeit.

2 Versuchsauswertung

2.1 Standard-Versuchsanlage

2.1.1 Dimensionierung des MAGs

Für die Inbetriebnahme der Standard-Druckanlage sollte zunächst die Dimensionierung des Ausdehnungsgefäßes (MAG) mit Hilfe der Gleichung nach Schnauss erfolgen. Nach Gleichung (1) gilt [aus Praktikumsskript entnommen]:

$$V_u = \frac{(V_t \cdot C_e + V_{\text{vap}} + V_r) \cdot (p_{\text{max}} + 1)}{(p_{\text{max}} - p_{\text{min}})} \quad (1)$$

V_u : Effektives Volumen des MAGs, V_t : Flüssigkeitsvolumen des Solarkreises, C_e : Ausdehnungskoeffizient des Wärmeträgerfluids, V_{vap} : entstehendes Dampfvolumen im Stagnationsfall, V_r : Reservevolumen, p_{max} : maximaler Druck = $p_{\text{vs}} \cdot 0,9$, p_{min} : minimaler Druck, p_{vs} : Auslösedruck des Sicherheitsventils.

Das Flüssigkeitsvolumen des Solarkreises setzt sich aus den Volumen des Kollektors, dem Inhalt der Rohrleitung und dem Inhalt der Amaturen und des Wärmeübertragers zusammen. Bei dem Kollektor handelt es sich um einen Flachkollektor des Typ Vaillant auroTHERM classic VFK 140/2D* mit gutmütigem Ausdampfverhalten ohne direkten Verbindungsleitungen und einem Fluidinhalt von 1,35 l. Für das Rohrleitungssystem wurde eine Länge von 30 m angenommen, bei denen es sich jeweils um 50 % Kupferrohr des Typs DN15 (0,1771 l/m) und 50 % Edelstahl-WR DN16 (0,2641 l/m). Der interne Wärmeübertrager wurde mit 2 m Edelstahl-WR DN20 mit 0,3941 l/m angenommen. Die Anlagenhöhe beträgt ca. 8 m und der Auslösedruck des Sicherheitsventils ist mit 6 bar angegeben. Als Wärmeträgerfluid wurde TYFOCOR LS angenommen. Aus dem Datenblatt wurde ein kubischer Ausdehnungskoeffizient für den maximalen Temperaturfall bei 120 °C von $74 \cdot 10^{-5}/\text{K}$ Wärmeträgerfluids und eine Dichte von $1013,5 \text{ kg/m}^3$ für eine Umgebungstemperatur von 25 °C approximiert. Unter der Angabe, dass der Kollektor keine direkte Verbindungsleitungen besitzt, entspricht das Verdampfungsvolumen näherungsweise dem Kollektorstutzenvolumen. Der minimale Anlagendruck beträgt dabei die Summe des statischen Drucks addiert zu 0,5 bar für den gasseitigen Druck und 0,3 bar für die Sicherheit.

V_u unter den angegebenen Bedingung folgenden Wert an:

$$V_u = 10,641$$

2.1.2 Anlagenleistung

In der folgenden Abbildung sind die Einstrahlungswerte über den gesamten Messzeitraum von ca. 54 min für die Standardversuchsanlage abgebildet. Die Einstrahlungswerte liegen über der durch

die Norm spezifizierten Randbedingung von mind. 800 W/m^2 bei denen die Leistungsparameter bestimmt wurden. Für die Auswertung wurden die Daten im Scanbereich 871 bis 1088 verwendet.

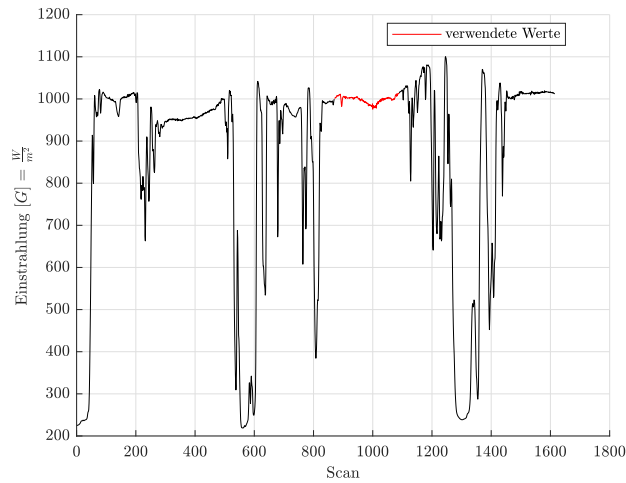


Abb. 1: Gemessene Einstrahlung während der Betriebsdauer der Standard Versuchsanlage.

Für den definierten Messbereich ergibt sich eine Einstrahlleistung von $(1007,5 \pm 4,1) \text{ W/m}^2$. Die momentane Kollektorleistung wurde nach Gleichung 2.4 des Praktikumsskripts berechnet. Der Anlagenwirkungsgrad wurde nach Gleichung 2.2 des Praktikumsskripts ermittelt. Somit ergeben sich für beide Anlagen folgende Betriebspunkte (s. Tabelle 1)

Tabelle 1: Ergebnisse der Anlagenleistung und Anlagenbilanz.

Anlage	$\eta_{\text{th, Kollektor}}$	$\left[\frac{\Delta T}{G}\right] = \text{m}^2 \cdot \text{K/kW}$	$q_{\text{th}} = \text{W/m}^2$	$\dot{Q}_{\text{Kollektor}}$
Drucksystem Drainback				
Anlage	$\eta_{\text{real, Kollektor}}$	$\dot{Q}_{\text{Solar, Speicher}} = \text{W}$	$\dot{Q}_{\text{Verlust, Zirkulation}} = \text{W}$	η_{Anlage}
Drucksystem Drainback				

Die theoretische Kennlinie des Kollektors wurde anhand der im Praktikumsskript angegebenen Daten für den Kollektor für die ermittelte Einstrahlung in der folgenden Abbildung dargestellt.

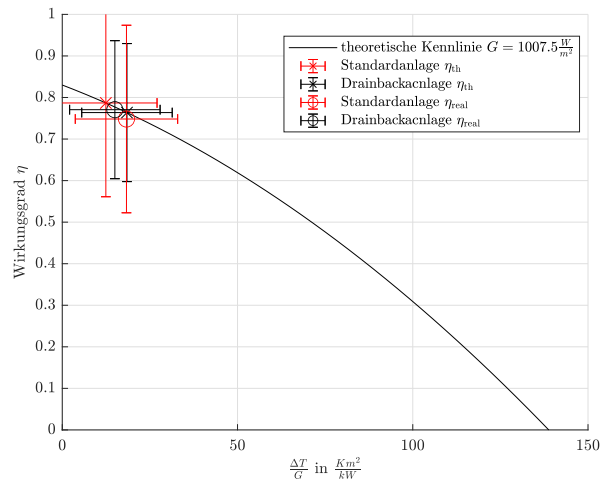


Abb. 2: Theoretische Kennlinie des verwendeten Kollektors bei Einstrahlung $[G] = 1007,5 \text{ W/m}^2$

Die Fehlerbalken in x und y Richtung wurden nach den Formeln 2.3 und 2.4 des Praktikums-kripts aufgetragen und nach Formel (2) welche die Maximalfehlerabschätzung darstellt, mit den abgeschätzten Fehlern in Tabelle 2, berechnet.

$$\Delta y = \sum_{i=1}^N \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \Delta x_i \right| \quad (2)$$

Tabelle 2: Fehler der Sensoren.

Sensor	Fehler Δx_i
T_{in}	2 K
T_{out}	2 K
T_{amb}	2 K
G	15 % v.M.
\dot{V}_{Vortex}	1 % v.E.
\dot{V}_{MID}	3 % v.M.

2.1.3 Fragestellungen

Funktioniert der in Betrieb genommene Kollektor wie erwartet?

Nach der Inbetriebnahme der Solaranlagen funktionierte diese wie zu erwarten.

Wie wäre es zu interpretieren, wenn das aus den Fehlerbalken gebildete Quadrat um den gemessenen Kollektorstandpunkt die Kollektorstandpunktkennlinie nie schneidet?

Welche Messstellen braucht ein Solarregler mindestens für eine ordnungsgemäße Funktion? An welchen Positionen werden die Einschalttemperaturen für die Solar-kreispumpe sinnvollerweise gemessen? Der Solarregler braucht Temperatursensoren für die Vor- und Rücklauftemperaturen am Kollektor und am Speicher. Die Temperatur sollte am Solarwärmeübertrager gemessen werden.

Welcher Volumenstrom wäre im Kollektorkreis ungefähr sinnvoll?

Wovon hängt die benötigte Pumpenleistung abhängig?

Die benötigte Pumpenleistung hängt von der Länge des Rohrleitungssystems und der zu überwindenden Höhendifferenz vom Speicher zum Dach/der Kollektorfläche ab.

Warum wird die Solaranlage gespült?

Die Solaranlage wird vor der Inbetriebnahme gespült, um die Luft aus dem Rohrleitungssystem und dem Kollektor zu drücken. Die Anlage muss über einen gewissen Zeitraum gespült werden, damit auch Luft, die an Rohrknicke und Engstellen verweilt, aus der Apparatur abfließen kann.

Warum darf keine Luft in der Anlage sein?

Luft ist ein sehr schlechter Wärmeübertrager und mindert die Anlagenleistung der Solaranlage. In der Luft vorhandener Sauerstoff kann im Rohrsystem zu Korrosion führen. Große Luftmengen im System können zusätzlich zu Versagen der Pumpe führen.

Wozu ist ein Ausdehnungsgefäß vorzusehen und wonach richtet sich dessen Volumen?

Veränderung der Umgebungstemperatur können zu Ausdehnung des Wärmetauscherfluids führen. Das Ausgleichsgefäß führt mit seiner Membran dazu, dass der Systemdruck im Stagnationsfall der Anlage fließt sämtliches Kollektorfluid in das Ausdehnungsgefäß, denn ein Verdampfen des Wärmefluids im Kollektor kann zum Auslösen des Überdruckventils und zur Zerstörung der Anlage führen. Im Stagnationsfall sollte daher das gesamte Kollektorstück in das Ausgleichsgefäß fließen können.

2.2 Drainback-System

Vorteile eines Drainback-Systems gegenüber einem druckbehafteten System:

Bei einer Drainback-Anlage wird kein externes Wärmeüberträgerfluid verwendet, sondern das Wasser aus dem Solarspeicher direkt durch den Kollektor gepumpt wird. Beim Stillstand der Solaranlage läuft das gesamte Solarkreisvolumen in den Speicher zurück, sodass das Rohrsystem komplett mit Luft gefüllt vorliegt. Es kann demzufolge nicht zu Frost- oder Überhitzungsschäden oder Stagnation kommen, was den Einsatz gerade in sehr heißen klimatischen Gebieten ohne Stagnation ermöglicht. Der Instandhaltungsaufwand ist durch die Verwendung einer Drainback-Anlage geringer, da das System weniger thermischen Belastungen ausgesetzt ist und beispielsweise kein Ausdehnungsgefäß, Überdruckventile oder Frostschutzmittel benötigt. Dadurch gestaltet sich eine Drainback-Anlage häufig kostengünstiger, die Installation einfacher und die Lebensdauer in den meisten Fällen erhöht.

Nachteile einer Drainback-Anlage:

Damit der Kollektor einer Drainback-Solaranlage im Stillstandsfall leer fließen kann, muss der Kollektor der höchste Punkt der Anlage darstellen, zusätzlich muss zwischen dem Kollektor und der Solarstation ein Gefälle von mindestens 4 % liegen, damit sich der Kollektor komplett entleeren kann. Der Abstand zwischen der Pumpe und dem höchsten Punkt des Kollektors sollte einen Höhenunterschied von ca. 12 m nicht überschreiten, da eine Standard Hocheffizienz Umwälzpumpe eine größere Differenz nicht ohne stark erhöhte Kosten leisten kann und viel mehr Energie verbrauchen würde.

Hydraulisches Phänomen beim Befüllen und Entleeren einer Drainback-Anlage:

Um eine entleerte Drainback-Anlage zu befüllen muss eine bestimmte Pumpenleistung/Pumpendrehzahl verwendet werden. Durch Ausprobieren wurde eine Pumpenleistung von 59 % ermittelt unter deren Bedingung sich der Solarkreis bis zum höchsten Punkt befüllte. Ist der Solarkreis mit Wasser gefüllt, kann die Pumpendrehzahl so weit zurück gedreht werden, dass bei Betrieb der

Anlage nur noch 5 % der Pumpenleistung benötigt werden. Dieses Phänomen kommt dadurch zustande, dass das in den Speicher herabfließende Wasser über ein statisches Vakuum frisches Wasser in den Solarkreis zieht. Aus diesen Gründen entleert sich bei Abstellen der Pumpe der gesamte Solarkreislauf.

2.3 Überprüfen des Wasser-Glykol-Gemischs

Für den Versuch wurden drei Proben des Wärmeträgerfluid Wasser-Propylenglykol mit Hilfe eines Refraktometers untersucht. Das Refraktometer wurde mit destilliertem Wasser gereinigt und kalibriert. Anschließend wurden jeweils wenige Tropfen der Proben 1-3 auf die Probenträgerfläche gegeben und gegen das Licht gehalten. Über die Messskala konnten dann die Konzentration und der Gefrierpunkt der Mischung abgelesen werden. Es wurden folgende Beobachtungen gemacht:

Tabelle 3: Mittels Refraktometer ermittelte Glykolkonzentration und Gefrierpunkte der Wärmeüberträgerfluidproben.

	Konzentration %	Gefrierpunkt °C
Probe 1	44	-24,0
Probe 2	51	-32,5
Probe 3	30	-13,0

Probe 1 hatte ein klares orange/pink fluoreszierendes Aussehen. Die Glykolkonzentration liegt bei dieser Probe im gängigen Normbereich, es besteht kein Handlungsbedarf das Wärmeübertragefluid auszutauschen.

Probe 2 zeigte eine etwas trübe bräunliche verschmutzte Färbung. Möglicherweise lag in der Solaranlage ein Stagnationsfall vor und das Wärmeträgerfluid wurde zu stark erhitzt. Die Konzentration und der Gefrierpunkt finden sich aber auch bei dieser Probe noch im Normbereich, das Wärmeträgerfluid sollte aufgrund der Verschmutzung aber ausgetauscht werden und der Solarkreis gründlich gespült werden.

Probe 3 lag tief braun und undurchsichtig vor. Die Glykol-Konzentration im Wärmeübertragerfluid ist zu niedrig, sodass der Gefrierpunkt des Fluids mit $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ so gering ist, dass es zum Gefrieren des Fluid und in folge dessen zum Bersten der Apparatur kommen kann. Möglicherweise ist durch Überhitzen und einen/mehrere Stagnationsfälle Wärmeträgerfluid aus dem Solarkreis ausgetreten und es wurde dieser mit Wasser aufgefüllt. Möglicherweise ist das Wärmeträgerfluid durch zu starke Überhitzung zu schaden gekommen. Es sollte bei dieser Anlage unbedingt ausgetauscht werden und die Anlage vor erneuter Benutzung unbedingt gründlich gespült werden, um Verunreinigung und Schädigung weiterer Anlagenkomponenten zu vermeiden.