



# 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 re<sup>2</sup>  
Semester: SoSe 2020  
Matrikelnr.: 35597894, 35598242

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	I
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Versuchsauswertung</b>	<b>1</b>
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 . . . . .	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,  $V_{\text{vap}}$ : entstehendes Dampfvolumen im Stagnationsfall,  $V_r$ : Reservevolumen,  $p_{\text{max}}$ : maximaler Druck =  $p_{\text{vs}} \cdot 0,9$ ,  $p_{\text{min}}$ : minimaler Druck,  $p_{\text{vs}}$ : 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.  $800 \text{ W/m}^2$  bei denen die Leistungsparameter bestimmt wurden. Für die Auswertung wurden die Daten im Scanbereich 871 bis 1088 verwendet.

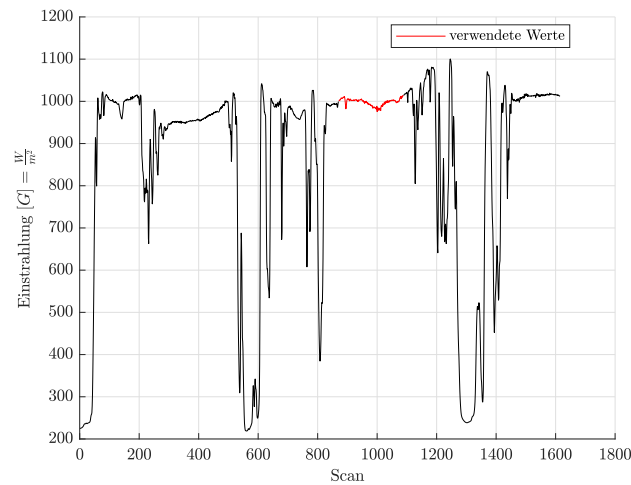


Abb. 1: Gemessene Einstrahlung während der Betriebsdauer der Standard Versuchsanlage.

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 Praktikumskripts berechnet. Der Anlagenwirkungsgrad wurde nach Gleichung 2.2 des Praktikumskripts ermittelt. Somit ergeben sich für beide Anlagen folgende Betriebspunkte (s. Tabelle 1)

Tab. 1: Ergebnisse der Anlagenleistung und Anlagenbilanz.

Anlage	$\dot{Q}_{\text{Kollektor}}$	$\dot{Q}_{\text{Solar, Speicher}}$	$\dot{Q}_{\text{Verlust, Zirkulation}}$
Drucksystem	1250 W	932 W	318 W
Drainback	1224 W	1072 W	152 W

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

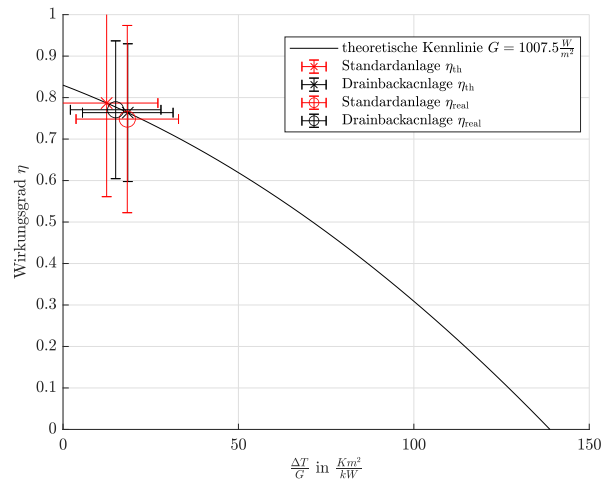


Abb. 2: Theoretische Kennlinie des verwendeten Kollektors bei Einstrahlung  $[G] = 1007,5 \text{ W/m}^2$

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

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

Tab. 2: Fehler der Sensoren.

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

### 2.1.3 Fragestellungen

#### Funktioniert der in Betrieb genommene Kollektor wie erwartet?

Nach der Inbetriebnahme funktionieren die Solaranlagen wie erwartet. Die ermittelten Wirkungsgrade schneiden die Kollektorkennlinie innerhalb ihrer Fehlerbalkenquadrate.

**Wie wäre es zu interpretieren, wenn das aus den Fehlerbalken gebildete Quadrat um den gemessenen Kollektorstandpunkt die Kollektorstandpunkt-kennlinie nie schneidet?** In diesem Fall würde ein nicht bekannter Fehler in der Messtechnik oder der Anlage selbst vorliegen. (Fehlerhafte Temperaturen, Ablagerungen, Durchfluss,...) Weiterhin könnte die reale Kennlinie auch von den theoretischen Angaben abweichen.

**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

Vorlauftemperatur des Kollektors sowie die obere und untere Speichertemperatur am Wärmeübertrager. Letztere dient als Regelgröße. Hiermit lassen sich Temperaturdifferenz-/Zieltemperaturregelungen realisieren.

**Welcher Volumenstrom wäre im Kollektorkreis ungefähr sinnvoll?** Die Auslegung des Volumenstroms erfolgt meist nach einfachen Faustformeln. Hierbei wird zwischen Low-Flow, High-Flow und Matched-Flow unterschieden. Der Volumenstrom ist stets ein Kompromiss zwischen höherer Kollektoreffizienz und erhöhtem Energiebedarf der Pumpe. Die benötigte Nachheizenergie (zzgl. Pumpenstrom) sollte minimiert werden.

**Wovon hängt die benötigte Pumpenleistung abhängig?** Die benötigte Leistung hängt vom Druckverlust der Einbauten ab. Viele Bögen/Engstellen sowie Ablagerungen im System können die benötigte Pumpenleistung erhöhen.

**Warum wird die Solaranlage gespült?** Die Solaranlage wird vor der Inbetriebnahme gespült, um die Luft aus dem Rohrleitungssystem und dem Kollektor zu drücken. Außerdem sollen Ausfällungen des Wärmeträgerfluids durch Stagnation aus dem System entfernt werden. 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, mindert die Anlagenleistung der Solaranlage und kann eine Stagnation begünstigen. Große Luftmengen im System können der Pumpe schaden. Im Gegensatz zu Wasser ist Luft kompressibel und kann die Funktion des MAG beeinträchtigen.

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

Im Stagnationsfall verdampft das Fluid und es kommt zur Ausdehnung, aber auch im normalen Betrieb schwankt das Volumen leicht. Das inkompressible Wasser soll daher aus dem System in das MAG gedrückt werden, um eine hohe Belastung der hydraulischen Komponenten zu vermeiden.

## 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. Beim Stillstand der Solaranlage läuft das gesamte Solarkreisvolumen in den Speicher zurück, sodass das Rohrsystem komplett mit Luft gefüllt ist. Es kann demzufolge nicht zu Frost- oder Überhitzungsschäden kommen, was den Einsatz gerade in sehr heißen 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 den höchsten 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 die Pumpe während des Befüllvorgangs den Druck der Wassersäule über die Förderhöhe zusätzlich bewältigen muss.

**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. Nach dem Befüllvorgang arbeiten die beiden Wassersäulen in Vor- und Rücklauf gegeneinander, sodass die Pumpe nur noch den Druckverlust der Komponenten stemmen muss. Die Funktionsweise der Drainback-Anlage erfordert eine Hydrostatische Druckdifferenz, beispielsweise durch einen Überdimensionierten Speicher.

### 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:

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

	Konzentration in %	Gefrierpunkt in °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 Wärmeübertragerfluid 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. Das Wasser könnte hierbei verdampft sein, wodurch das Frostschutzmittel aufkonzentriert wurde. Weiterhin ist die Wärmekapazität von Glykol geringer, als die von Wasser. eine unnötig hohe Konzentration beeinträchtigt somit den Wärmetransport. Prinzipiell ist der Betrieb weiterhin möglich, zur Sicherheit sollte der Kreislauf dennoch erneuert werden.

Probe 3 lag tief braun und undurchsichtig vor. Die Glykol-Konzentration im Wärmeübertragerfluid ist zu niedrig, sodass der Gefrierpunkt des Fluids mit  $-13\text{ °C}$  so gering ist, dass es zum Gefrieren des Fluid und in folge dessen zum Bersten der Apparatur kommen kann. Möglicherweise ist durch Überhitzen und anhaltende 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.