

## Bestimmung des Wirkungsgrades eines Solarkollektors in Abhängigkeit vom Volumendurchsatz des Wassers

### Versuchsziele

- Aufnahme des Temperaturverlaufes beim Zwangsumlauf in Abhängigkeit von der Zeit.
- Abschätzung des Wirkungsgrades.

### Grundlagen

Ein Solarkollektor absorbiert Strahlungsenergie und erwärmt damit sich selbst und das durchfließende Wasser.

Der Wirkungsgrad  $\eta$  ist das Verhältnis der vom Wasser aufgenommenen Wärmeenergie  $\Delta Q$  (Nutzenergie) zur Strahlungsenergie  $\Delta E$ :

$$\eta = \frac{\Delta Q}{\Delta E}$$

Dabei gilt für Strahlungsenergie

$$\Delta E = \Phi \cdot \Delta t$$

mit  $\Phi$  : Strahlungsleistung.

Wenn der Kollektor wärmer als die Umgebung ist, gibt er Energie durch Strahlung, Konvektion und Wärmeleitung an die Umgebung ab. Durch diese Verluste sinkt der Wirkungsgrad.

Beim Schwerkraftumlauf entsteht die treibende Kraft für den Wasserkreislauf durch den Unterschied der Dichten des warmen Wassers im Kollektor und der des kalten Wassers im Vorratsbehälter. Das warme Wasser steigt hoch und wird vom nachströmenden kalten Wasser verdrängt. Das Einsetzen des Umwälzens des Wassers bzw. die Umwälzgeschwindigkeit hängt von einer starken Erwärmung des Kollektors ab. Da der Kollektor dabei eine hohe Temperatur annehmen muss, sind die Verluste groß und es wird viel Wärmeenergie an die Umgebung abgegeben.

Deswegen wird im Versuch mit Hilfe einer Umwälzpumpe ein Zwangsumlauf erzeugt. Die aufgenommene Wärmeenergie wird dabei im gesamten System (Kollektor, Schläuche und Vorratsbehälter) auf das Wasser verteilt, so dass die Temperatur des eigentlichen Solarkollektors niedriger bleibt.

Im Versuch wird eine Wasserpumpe mit verschiedenen Spannungen betrieben, d.h. es wird mit verschiedenen Umwälzgeschwindigkeiten gearbeitet. Dabei wird der zeitliche Temperaturverlauf im Vorratsbehälter gemessen.



Abb. 1: Versuchsaufbau

**Geräte**

1 Solarkollektor.....	389 50
1 Fotoleuchte 1000 W, mit Lichtklappen.....	450 72
1 Wasserpumpe STE 2/50.....	579 220
1 Kleinspannungsstelltrafo S.....	521 35
1 Experimentierkabel 100 cm, rot/blau, Paar....	501 46
1 Mobile-CASSY.....	524 009A
1 NiCr-Ni-Adapter S, Typ K.....	524 0673
2 Temperaturfühler NiCr-Ni, 1,5 mm, Typ K.....	529 676
1 Rollbandmaß 2 m.....	311 77
1 Handstoppuhr II, mechanisch.....	313 17
2 Stativfuß V-förmig, klein.....	300 02
1 Stativstange 25 cm, 12 mm Ø.....	300 41
1 Stativstange 47 cm, 12 mm Ø.....	30042
1 Stativstange 75 cm, 12 mm Ø.....	30043
3 Leybold-Muffe.....	301 01
1 Universalklemme 0...80 mm.....	666 555
1 Kunststoffbecher.....	590 06
1 Silikonschlauch 5 mm Ø, 1 m.....	604 431
1 Silikonschlauch 6 mm Ø, 1 m.....	604 432
1 Silikonschlauch 8 mm Ø, 1 m.....	604 434
1 Verbindungsstück PP, gerade, 6/8 mm Ø.....	665 226

**Versuchsaufbau****a) Wasserkreislauf**

Versuch gemäß Abb. 1 aufbauen. Zur Verbindung der Schläuche mit den Stutzen passende Silikonschläuche und Verbinder benutzen.

- Die Wasserpumpe so anschließen, dass sie das Wasser von unten durch den Solarkollektor pumpt, d.h. Pumpstutzen mit dem Stutzen der Einflusskammer verbinden.
- Direkt an der Ausflusskammer einen Temperaturfühler mit Hilfe des Gummistopfens mit 1,5-mm-Bohrung anschließen. Dieser Temperaturmesspunkt dient auch dazu eine Überhitzung des Solarkollektors zu vermeiden. Die Wassertemperatur darf 60 °C nicht überschreiten.
- Den Anschlussstutzen der Ausflusskammer mit dem Einlaufstutzen des Vorratsbehälters verbinden.
- Den Auslaufstutzen des Vorratsbehälters mit dem Ansaugstutzen der Wasserpumpe verbinden.
- 1000 ml Wasser in den Vorratsbehälter einfüllen.
- Vorratsbehälter anheben, so dass das Wasser durch die Wasserpumpe in den Solarkollektor fließt und am Einlaufstutzen wieder in den Vorratsbehälter fließt. Die Schläuche dürfen nicht geknickt werden, so dass das Wasser ohne Behinderung fließen kann.
- Vorratsbehälter an die dafür vorgesehen Stativstange hängen.
- Netzgerät einschalten und Wasserpumpe mit ca. 6 V betreiben, dabei Polarität beachten.
- Darauf achten, dass nun das Schlauchsystem blasenfrei vom Wasser durchflossen wird.

**b) Temperaturmessung**

- Den zweiten Temperaturfühler von oben in das Wasser des Vorratsbehälters mit der Universalklemme halten.
- Temperaturfühler an den NiCr-Ni-Adapter und an das Mobile-CASSY anschließen.

**c) Beleuchtung**

- Die Fotoleuchte auf einem Stativfuß ca. 50 cm vor dem Solarkollektor aufstellen.
- Fotoleuchte einschalten und so ausrichten, dass die eigentliche Solarkollektorfläche ausgeleuchtet wird. Ggf. Klappen etwas verstellen, so dass das Kunststoffgehäuse möglichst nicht beleuchtet wird.
- Vor dem Versuchsbeginn Fotoleuchte ausschalten und Solarkollektor abkühlen lassen.

**Versuchsdurchführung****a) Vorbereitung**

- Bei eingeschaltetem Wasserkreislauf die Temperaturen messen und warten, bis die Temperaturen sich nicht mehr ändern.

**a) Messung**

- Spannung an der Wasserpumpe so reduzieren (auf ca. 2,5 V), dass nur eine geringe Umwälzgeschwindigkeit erreicht wird, d.h. nur ein schwacher Wasserfluss beim Einströmen in den Vorratsbehälter beobachtet werden kann.
- Die Temperatur im Vorratsbehälter notieren und die Temperatur in der Ausflusskammer beobachten.
- Gleichzeitig Fotoleuchte einschalten und Stoppuhr starten. Jede Minute einen Messwert aufnehmen.

**Sicherheitshinweis**

Maximal zulässige Wassertemperatur  $T = 60 \text{ °C}$  nicht überschreiten!

- Nach ca. 10 Minuten Versuch beenden.
- Hinweis: Bei längeren Messzeiten maximal erlaubte Temperatur beachten.*
- Wasser gegen kaltes Wasser austauschen. Dabei darauf achten, dass die gleiche Menge Wasser genommen wird. Die Versuche sollten möglichst mit gleicher Anfangstemperatur gestartet werden.
  - Spannung (ca. 4 V) an der Wasserpumpe so einstellen, dass ein mittlerer Wasserfluss im Vorratsbehälter beobachtet werden kann.
  - Versuch wiederholen.
  - Versuch mit einer höheren Spannung (ca. 7 V), d.h. mit großer Umwälzgeschwindigkeit wiederholen.

Messbeispiele

Tab. 1: Temperaturverlauf im Vorratsbehälter

Zeit	Umwälzgeschwindigkeit		
	gering	mittel	groß
$t$ min	$T_1$ °C	$T_2$ °C	$T_3$ °C
0	21,2	21,2	21,2
1	22,0	22,5	22,9
2	23,5	24,6	24,7
3	25,7	26,2	26,6
4	27,4	28,0	28,3
5	28,7	29,7	30,3
6	29,9	31,4	31,9
7	31,6	32,9	33,6
8	33,3	34,5	35,1
9	34,7	36,0	36,5
10	35,7	37,4	37,9

Tab. 2: Temperaturdifferenz zwischen der Ausflussskammer des Solarkollektors und dem Vorratsbehälter

Umwälzgeschwindigkeit		
gering	mittel	stark
Temperaturdifferenz		
$\frac{\Delta T_1}{\text{°C}}$	$\frac{\Delta T_2}{\text{°C}}$	$\frac{\Delta T_3}{\text{°C}}$
ca. 6	ca. 3	ca. 1

Auswertung

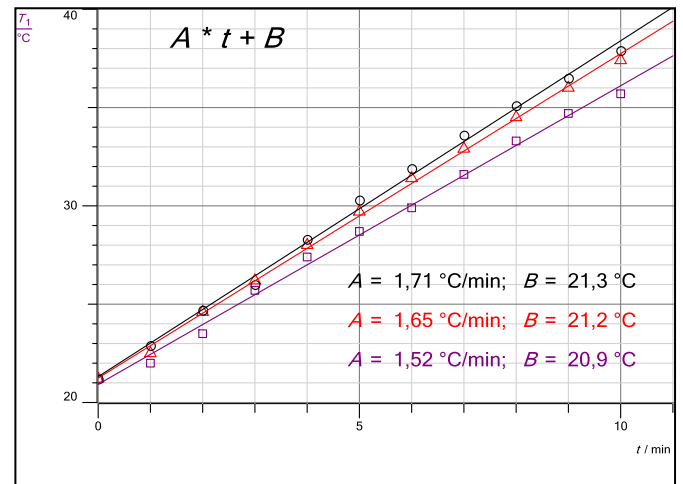


Diagramm: Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Zeit (Quadrate: geringe, Dreiecke: mittlere, Kreise: große Umwälzgeschwindigkeit)

Im Diagramm wird deutlich, dass die Temperaturzunahme im untersuchten Zeitraum noch als linear angesehen werden kann.

Mit zunehmender Umwälzgeschwindigkeit ist die Temperaturzunahme pro Zeit (Anstieg A im Diagramm) größer, d.h. es wird mehr Strahlungsenergie vom Wasser aufgenommen. Damit ist das Verhältnis von Nutzenergie (Wärmeenergie des Wassers) zur zugeführten Strahlungsenergie größer.

Direkt am Ausfluss des Solarkollektors ist die Temperatur bei geringerer Umwälzgeschwindigkeit höher, s. Tab. 2. Durch diese höhere Temperatur der Solarkollektorfläche geht mehr Wärmeenergie dem System wieder verloren.

Als grobe Abschätzung des Wirkungsgrades des gesamten Versuchsaufbaues wird die elektrische Leistung der Lampe zugrunde gelegt:

Die Lampe wird mit einer elektrischen Leistung von 1000 W betrieben. Ein Teil dieser Leistung führt zur Erwärmung der Lampe. Ein Teil der austretenden Strahlung trifft nicht auf den Solarkollektor, ein Teil davon wiederum wird reflektiert. Damit ist die Strahlungsleistung auf den Solarkollektor deutlich kleiner als 1000 W.

Die pro Zeit aufgenommene Wärmeenergie des Wassers (Nutzenergie) ergibt sich aus der Masse  $m$  und der spezifischen Wärmekapazität  $c$  des Wassers:

$$\frac{Q}{t} = c \cdot m \cdot \frac{\Delta T}{t}$$

Ein weiterer Teil der aufgenommenen Strahlungsenergie führt zur Erwärmung des Systems.

Beispiel mit dem Wert bei geringer Umwälzgeschwindigkeit:

$$4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 1 \text{ kg} \cdot 1,52 \frac{\text{K}}{\text{min}} \approx 100 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 100 \text{ W}$$

Der Wirkungsgrad des gesamten Systems liegt damit in der Größenordnung von 0,1 bei geringer Umwälzgeschwindigkeit bzw. 0,12 bei großer Umwälzgeschwindigkeit.

Der eigentliche Wirkungsgrad (Verhältnis von Nutzenergie zu tatsächlicher Strahlungsleistung) liegt aber deutlich über dieser Größenordnung. Bei realen Anlagen werden Werte von bis zu 80 % angegeben.