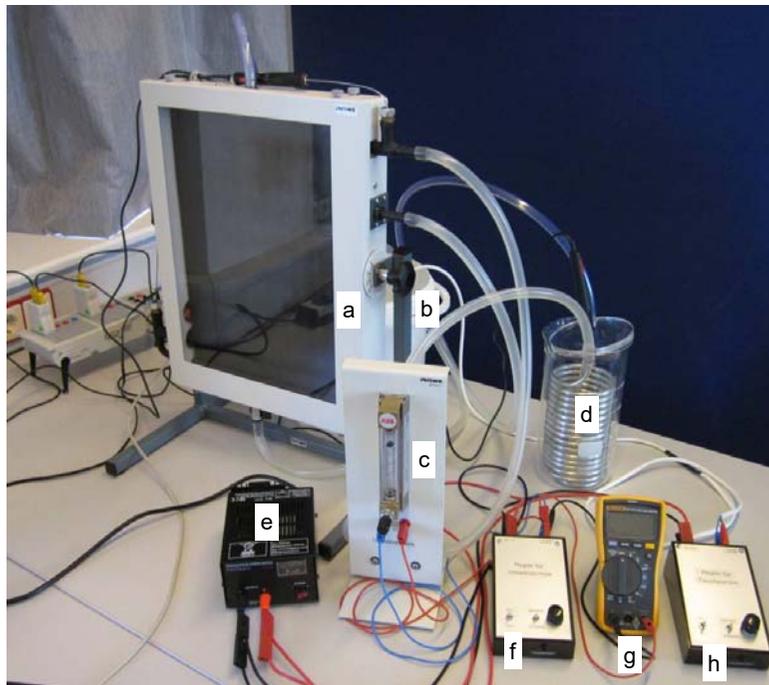


Labor für Technische Physik

Prof. Dr.-Ing. Dieter Kraus, Dipl.-Ing. W.Pieper

Versuch 12a: Sonnenkollektor



- | | |
|------------------------------|---------------------------------|
| a: Sonnenkollektor | b: Eimer mit Tauchpumpe |
| c: Umwälzpumpe | d: Becherglas mit Wärmetauscher |
| e: Festspannungsnetzteil 9 V | f: Regler für Umwälzpumpe |
| g: Multimeter | h: Regler für Tauchpumpe |

1. Versuchsziele

Ein Solarkollektorsystem wird mit Wasser durchströmt und von einer Fotoleuchte bestrahlt. Über die Temperaturdifferenz des Wassers zwischen Ein- und Ausgang und die bekannte eingestrahlte Leistung soll der Wirkungsgrad des Solarkollektors bestimmt werden.

2. Grundlagen

Ein Sonnenkollektor (auch Solarkollektor oder thermischer Kollektor) dient zur Umwandlung von Strahlungsenergie der Sonne in thermische Energie.

Die am häufigsten verwendete Bauform ist der Flachkollektor; er besteht im wesentlichen aus einem dunklen Absorber, durch den eine Flüssigkeit mit hoher Wärmekapazität (Wasser) zirkuliert, einer transparenten Frontscheibe und einer den Absorber umgebenden Wärmedämmung.

Auf der Absorberfläche wird die eintreffende Strahlung zu Wärmeenergie gewandelt. Diese wird über einen Flüssigkeitskreislauf per Pumpe und Wärmetauscher zu einem Wärmespeicher transportiert.

Der größte Anteil der Strahlung passiert die Glasplatte des Kollektors und wird auf der schwarzen Absorberoberfläche absorbiert. Der Absorptionsprozess wird beschrieben durch

$$q_a = \alpha \cdot \tau \cdot q_i \quad (1)$$

- q_a absorbierte Strahlungsenergie pro Zeit- und Flächeneinheit
- q_i Strahlungsintensität in der Kollektorebene
- α Absorptionsvermögen des Absorbers
- τ Transmissionsgrad der Glasdecke

Jedoch kann nicht die gesamte in Wärme umgewandelte Energie als Nutzenergie verwendet werden. Ein Teil der Energie geht durch Wärmestrahlung oder Wärmeleitung (Konvektion) an der Vorderseite oder durch Wärmeleitung an der rückseitigen Isolierung verloren. Ein anderer Teil verbleibt als Wärme im Kollektor und erhöht somit die Absorbentemperatur. Die Nutzenergie pro Zeit- und Flächeneinheit ergibt sich zu

$$q_n = q_a - q_v - q_{sp} \quad (2)$$

- q_n Nutzenergie
- q_v Verlustenergie
- q_{sp} im Absorber gespeicherte Energie

Die Verlustenergie ist abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Absorber und Umgebung

$$q_v = k \cdot (T_A - T_U) \quad (3)$$

k Wärmedurchgangskoeffizient des Kollektors
 T_A Temperatur des Absorbers
 T_U Temperatur der Umgebung

Das Verhältnis zwischen nutzbarer Leistung P_n und eingestrahelter Leistung P_s ist als Wirkungsgrad η definiert:

$$\eta = \frac{P_n}{P_s} = \frac{q_n}{q_i} = \frac{q_a - q_v - q}{q_i} = \frac{\alpha \cdot \tau \cdot q_i - k \cdot (T_A - T_U)}{q_i} \quad (4)$$

$$\eta = \alpha \tau - \frac{k \cdot (T_A - T_U)}{q_i} \quad (5)$$

Der Wärmeübergang zwischen Absorber und Wasser wird hierbei vernachlässigt.

Der Wirkungsgrad des Kollektors ist definiert als von Nutzleistung zu eingestrahelter Leistung.

Die eingestrahelte Leistung P_s berechnet sich aus dem Produkt der Bestrahlungsstärke E in der Kollektorebene und der Absorberfläche A .

$$P_s = E \cdot A \quad (6)$$

Die Nutzleistung P_n gibt die Menge der Wärmeenergie an, die pro Zeiteinheit aus dem Kollektor abgeführt wird. Sie berechnet sich im stationären Zustand aus dem Massenstrom \dot{m} und der Temperaturdifferenz von zu- und ablaufendem Wasser:

$$P_n = c \cdot \dot{m} \cdot (T_{Aus} - T_{Ein}) \quad (7)$$

c spezifische Wärmekapazität des Wassers: $c = 4182 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
 \dot{m} Massenstrom
 T_{Ein} Temperatur am Kollektoreingang
 T_{Aus} Temperatur am Kollektorausgang

Mit dem Massenstrom \dot{m} als Produkt aus Dichte ρ mal Volumenstrom \dot{V}

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} \quad (8)$$

ρ Dichte von Wasser ($\rho = 0,9982 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ bei 20°C)
 \dot{V} Volumenstrom

folgt für den Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{c \cdot \rho \cdot \dot{V} \cdot (T_{Aus} - T_{Ein})}{E \cdot A} \quad (9)$$

Literatur:

- [1] Hering, Martin, Stohrer: Physik für Ingenieure, Springer-Lehrbuch
 [2] Kuchling: Taschenbuch der Physik, Fachbuchverlag Leipzig
 [3] Eichler, Kronfeld, Sahn: Das Neue Physikalische Grundpraktikum, Springer-Lehrbuch

3. Versuchsaufbau

Geräteliste

1	Solarkollektor mit Gestell
1	Fotoleuchte, 1000 W mit Stativ
1	Tauchpumpe mit Regeleinheit
1	Umwälzpumpe mit Durchflussmesser
1	Netzgerät
2	Temperaturfühler NiCr-Ni
1	NiCr-Ni-Adapter S, Typ K
1	Wärmetauscher mit Becherglas
1	Eimer, 10 Liter
1	Kunststoff-Messbecher, 2000 ml
1	Sensor-CASSY
1	Computer mit CASSY Lab
	Kabel, Schläuche, Adapter

Aufbau des Kollektorsystems

- Den Solarkollektor und die Fotoleuchte in einem Abstand von 70 cm so aufstellen, dass der Lichtstrahl senkrecht einfällt und den Kollektor gleichmäßig ausleuchtet.
- Prüfen Sie ob die Temperaturfühler in den entsprechenden Öffnungen mit Gummiabdichtungen des Kollektors fixiert sind.
- Den Eimer zu 2/3 mit Wasser befüllen, hinter den Kollektor stellen, die Tauchpumpe hineinlegen und mit einem Schlauch an den unteren Füllstutzen mit Absperrhahn am Kollektor anschließen.
- Der Anschluss auf der Oberseite des Kollektors dient als Überdruckablauf; von hier einen transparenten Schlauch in den Eimer führen.

- Den Wärmetauscher in das Becherglas (1800 ml) stellen und mit Wasser füllen.
- Mit transparenten Schlauchstücken folgende Verbindungen herstellen:
 - Vom seitlich oberen Kollektoranschluss zum unteren Eingang der Umwälzpumpe
 - vom oberen Ausgang der Umwälzpumpe zum Wärmetauscher
 - vom Wärmetauscher über eine Steckverbindung zum unteren Kollektoranschluss
- Den runden Deckel mit den Aussparungen auf das Becherglas legen und einen Temperaturfühler durch das mittige Loch in das Wasser führen.
- Die Regler für die Tauchpumpe und die Umwälzpumpe mit 9 V vom Festspannungsnetzteil speisen. Beide Pumpen an die dazugehörigen Regler anschließen und nach Bedarf ein Spannungsmessgerät parallel schalten.
- Das Sensor-CASSY über ein 9 V Steckernetzteil mit Spannung versorgen und über ein USB-Kabel mit dem Computer verbinden.

Einstellungen in CASSY Lab:

Die Voreinstellungen aus der Versuchsparameterdatei

„V12a - Sonnenkollektor - Einstellungen für CASSY-Lab.labx“ laden

oder manuell folgende Einstellungen vornehmen:

Einstellungen aufrufen: F5 oder Button  - Baumstruktur öffnen

- CASSYs - Sensor-CASSY – Eingang A₁ und B₁ (NiCr-Ni-Adapter S)
 - Messgrößen: Temperatur ϑ_{A11} , ϑ_{A12} bzw., ϑ_{B11} , ϑ_{B12}
 - Bereich für alle: 0 °C ... 120 °C
 - Messwertaufnahme: gemittelte Werte (5000 ms), Nullpunkt: links
- Rechner - Formel
 - Name: Temperaturdifferenz, Symbol: &DT, Einheit: K, von 0 K bis 50 K
 - Formel &JA12-&JA11 eingetragen
- Darstellungen - Standard
 - x-Achse: t; y-Achsen: ϑ_{A11} , ϑ_{A12} , ϑ_{B11} , ΔT_A
 - x-Achse für alle Kurven dieser Darstellung, Stil (z.B. Farbe) wählen
- Messparameter (Menu ‚Fenster‘ - Messparameter anzeigen)
 - Aufnahme: automatisch
 - Messzeit: 20 min
 - Intervall: 5 s
- Den eventuell vorhandenen Offset zwischen Temperatur ϑ_{A11} und Temperatur ϑ_{A12} bei ϑ_{A12} korrigieren (Button ‚Korrigieren‘).

Bedienungshinweise zu CASSY Lab 2:

- Messung starten oder stoppen: Button  oder Taste F9.
- Letzte Messung löschen: Button  oder Taste F4
- Einstellungen anzeigen: Button  oder über Menü Fenster
- Im Kontextmenü (rechte Maustaste auf Tabelle oder Diagramm) gibt es weitere Einträge z.B. ‚Markierung setzen‘.

3. Versuchsdurchführung

Befüllen des Kollektorsystems mit Wasser

- Zunächst die Steckverbindung zwischen Wärmetauscher und dem unteren Kollektoranschluss offen lassen und die Schlauchenden vom Kollektor, Ablauf und Wärmetauscher in den Eimer führen.
- Den Hahn am Befülleingang des Kollektors öffnen und die im Wasser liegende Tauchpumpe einschalten (Schalter auf Vorgabe, U ≈ 4 V).
- Abwarten bis Wasser aus dem offenen Kollektorschlauch austritt.
- Dann dieses Schlauchende mit dem Finger dichthalten bis sich der Schlauch zur Umwälzpumpe mit Wasser gefüllt hat (evtl. auch den Ablaufschlauch dichthalten und die Pumpleistung anpassen). Danach die offenen Schlauchenden vom Kollektor und Ablauf ins Wasser tauchen.
- Die Umwälzpumpe einschalten (Schalter auf Vorgabe, U ≈ 3,8 V) und den Volumenstrom mit dem Drehknopf an der Umwälzpumpe auf ca. 200 cm³/min einstellen.
- Abwarten bis Wasser aus dem offenen Anschluss des Wärmetauschers austritt.
- Bestimmen Sie den tatsächlichen Volumenstrom der Umwälzpumpe indem Sie das Wasser aus dem offenen Anschluss des Wärmetauschers für eine bestimmte Zeitdauer (z.B. 2 min) in einen Messbecher fließen lassen.
- Danach die Verbindung vom Wärmetauscher zum Kollektor schließen.
- Abschließend den Hahn am Befüllstutzen des Kollektors schließen und die Tauchpumpe ausschalten.

Hinweis: Die Umwälzpumpe sollte keine Luft ansaugen können, deshalb auf eine möglichst hohe Wassersäule im Zulaufschlauch zur Pumpe achten.

Messung

Messen Sie mit Hilfe von CASSY Lab die Wassertemperaturen am Ein- und Auslauf des Kollektors entsprechend der nachfolgenden Messanweisung unter folgenden Betriebsbedingungen:

- 1) $U_{\text{Umwälzpumpe}} \approx 3,8 \text{ V}$; Volumenstrom mit Drehregler auf $200 \text{ cm}^3/\text{min}$
- 2) $U_{\text{Umwälzpumpe}} \approx 3,8 \text{ V}$; Volumenstrom mit Drehregler auf $100 \text{ cm}^3/\text{min}$

Messanweisung:

- Starten der Messung bei ausgeschalteter Leuchte
- Nach 30 s die Leuchte einschalten (oberer Schalter auf Maximum)
- Wenn sich ein konstanter Wert für ΔT_A eingestellt hat, die Leuchte ausschalten (ca. 12 min)
- Die Messung stoppen, wenn $\Delta T_A \leq 1 \text{ K}$ (max. 20 min)

Wichtig: Nach dem Ausschalten der Leuchte läuft der Ventilator weiter, um die Halogenlampe abzukühlen. Die Netzversorgung erst nach Abkühlung trennen!

Versuchsparameter:

- Abmessungen der Absorberfläche: $390 \text{ mm} \times 290 \text{ mm}$
- Wasserinhalt des Kollektors: ca. 350 cm^3
- Bestrahlungsstärke der Leuchte: $E = 1000 \text{ W/m}^2$ (im Abstand von 70 cm)

Nach Versuchsende Wasser ablassen

- Den Schlauch von der Tauchpumpe abnehmen und in einen tieferliegenden Behälter führen, den Hahn am Kollektor öffnen. Danach von oben die Verbindungen öffnen und die Schläuche entleeren.

Auswertung

- Stellen Sie die Messergebnisse grafisch in Form von Diagrammen dar.
- Beschreiben und analysieren Sie die Kurvenverläufe. Erläutern Sie dabei den Einfluss der Volumenstromänderung.
- Bestimmen Sie jeweils die Nutzleistung und den Wirkungsgrad.