

VERSUCHSBERICHT ZU

W1 - STIRLING-MOTOR

Gruppe 14Mo

Alexander Neuwirth (E-Mail: a_neuw01@wwu.de)
Leonhard Segger (E-Mail: l_segg03@uni-muenster.de)

durchgeführt am 14.05.2018
betreut von
Torsten Stiehm

26. Mai 2018

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	3
2	Methoden	3
3	Ergebnisse und Diskussion	3
3.1	Beobachtung	3
3.2	Datenanalyse	3
3.2.1	Unsicherheiten	3
3.2.2	Bestimmung der Reibungsverluste	3
3.2.3	Bestimmung der Kühlleistung	4
3.2.4	Bestimmung der Heizleistung	5
3.3	Diskussion	6
4	Schlussfolgerung	6

1 Kurzfassung

2 Methoden

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Beobachtung

3.2 Datenanalyse

3.2.1 Unsicherheiten

Die Unsicherheiten wurden gemäß GUM ermittelt. Außerdem wurde für Unsicherheitsrechnungen die Python Bibliothek „uncertainties“ verwendet.

Messzylinder Die Unsicherheit des Messzylinders wurde mit 0,04 mL abgeschätzt (dreieckige WDF).

Stoppuhr Die Stoppuhr zeigt Sekunden mit Zwei Nachkommastellen an, woraus eine Unsicherheit von 0,004 s folgt (rechteckige WDF), jedoch hat die Reaktionszeit einen größeren Einfluss, weshalb eine Unsicherheit von 0,1 s angenommen wird.

Pipette Auf der Pipette, die zum Füllen des Reagenzglases in Zylinderkopf verwendet wurde, ist eine Unsicherheit von 0,007 mL angegeben.

Thermometer Die Unsicherheit des Kühlwasserthermometers vom Typ K ist 1,5 °C in dem gemessenen Temperaturintervall. Da diese für das Messen von Temperaturdifferenzen kaum Einfluss hat, werden die Unsicherheiten aufgrund der Schwankungen mit 0,05 °C abgeschätzt.

Motorfrequenz Die Unsicherheit der, durch FFT ermittelten, Frequenzen wurde mit 0,01 Hz abgeschätzt, da die Frequenz kaum schwankte und keine anderen Frequenzen im FFT auftraten.

3.2.2 Bestimmung der Reibungsverluste

Die Reibungsverluste lassen sich aus der Erwärmung des Kühlwassers beim Betrieb der Wärmepumpe bzw. Kältemaschine bei offenem Zylinderkopf bestimmen. Die zugeführte Wärmemenge ΔQ ist proportional zur Temperaturänderung ΔT :

$$\Delta Q = C_W \cdot \Delta T = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (1)$$

Für Wasser beträgt die spezifische Wärme $c_{H_2O} = 4,185 \text{ J/g/K}$. Die Masse m im System ist nicht direkt bestimmbar, der Durchfluss des Kühlwasser $d = m/t$ hingegen schon. Somit lässt sich mit Gleichung (1) die an das Kühlwasser abgegebenen Leistung $\Delta Q/t$

ermitteln. Die gesuchte Reibungsarbeit pro Umlauf erhält man durch Division der Leistung durch die Frequenz des Motors. Es folgt:

$$W_R = c_{H_2O} \cdot \frac{d}{f} \cdot \Delta T \quad (2)$$

Der Durchfluss d ergibt sich indem man die geflossene Wassermenge v durch die gestoppte Zeit t dividiert und mit der Dichte ρ_{H_2O} multipliziert. Aus Tabelle 1 ergibt sich ein Mittelwert von $(4,61 \pm 0,13)$ mL/s und somit ein Durchfluss $d = (4,61 \pm 0,13)$ g/s.

Die Frequenz des Motors wurde mittels FFT auf $(3,15 \pm 0,01)$ Hz eingestellt (vgl. Abschnitt 2). Die Temperaturänderung des Kühlwassers ΔT betrug $(0,50 \pm 0,05)$ °C. Es folgt eine Reibungsarbeit pro Umlauf gemäß Gleichung (2) von $W_R = (2,76 \pm 0,29)$ J.

Tabelle 1: Gemessene Kühlwassermenge die durch den Striling-Motor in einer bestimmten Zeit fließt.

Wassermenge v in mL	Zeit t in s
$38,00 \pm 0,03$	$8,16 \pm 0,10$
$40,80 \pm 0,03$	$8,50 \pm 0,10$
$41,40 \pm 0,03$	$9,34 \pm 0,10$
$49,20 \pm 0,03$	$10,78 \pm 0,10$
$47,00 \pm 0,03$	$10,22 \pm 0,10$

3.2.3 Bestimmung der Kühlleistung

Die pro Umlauf aufzuwendende mechanische Arbeit $-W$ ist durch

$$W = Q_1 - Q_2 + W_R \quad (3)$$

gegeben. Die Wärme Q_2 wird dem Zylinderkopf pro Umlauf entzogen und die Wärme $-Q_1$ wird dem Kühlwasser zu geführt.

$Q_1 + W_R$ lässt sich analog zur Reibungsarbeit pro Umlauf mit Gleichung (2) bestimmen. Die gemessene Temperaturänderung des Kühlwassers betrug $\Delta T = (1,00 \pm 0,05)$ °C woraus $Q_1 + W_R = (5,53 \pm 0,33)$ J folgt.

Q_2 ergibt sich aus der Steigung der Messkurve in Abb. 1. Es wurde ein linearer Fit verwendet, um die Steigung nahe der Raumtemperatur zu Bestimmen. Die Kühlleistung $P_{Kühl}$ ist gegeben durch zeitliches Ableiten von Gleichung (1).

$$\dot{Q} = P_{Kühl} = c \cdot m \cdot s = c \cdot \rho \cdot V \cdot s \quad (4)$$

Mittels Division der Kühlleistung $P_{Kühl}$ durch die Frequenz des Motors erhält man die Wärme Q_2 pro Umlauf:

$$Q_2 = \frac{P_{Kühl}}{f} = c \cdot \rho \cdot V \cdot \frac{s}{f} \quad (5)$$

In dem Reagenzglas im Zylinderkopf befand sich $V = (1,0 \pm 0,7)$ mL destilliertes Wasser und die Steigung s beträgt $(0,2002 \pm 0,0002)$ °C/s. Folglich ist $P_{Kühl} = (0,838 \pm 0,006)$ W und $Q_2 = (0,266 \pm 0,002)$ J.

Die Leistungszahl ϵ ist der Quotient der entnommenen Wärmemenge Q_2 und aufgewandter Arbeit W :

$$\epsilon = \frac{|Q_2|}{|W|} \quad (6)$$

Hier beträgt $W = Q_1 + W_R - Q_2 = (5,26 \pm 0,33) \text{ J}$ woraus eine Leistungszahl von $\epsilon = (5,1 \pm 0,3) \%$ folgt.

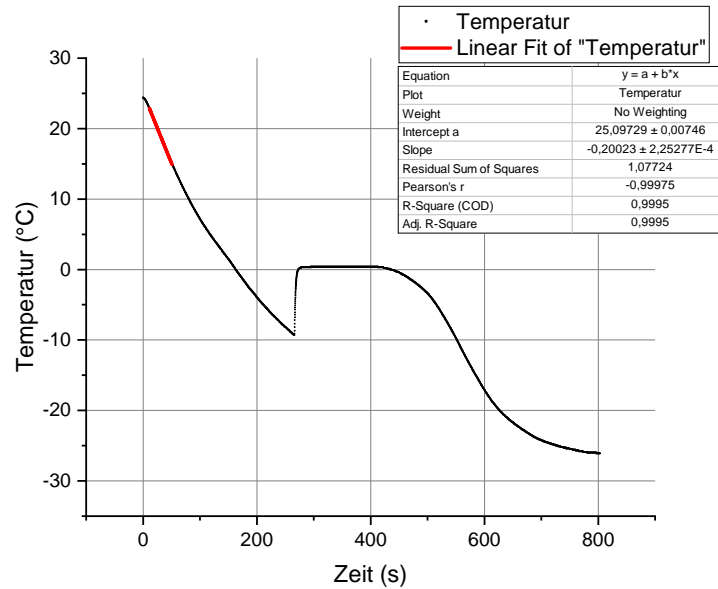


Abbildung 1: Gemessene Temperatur als Funktion der Zeit beim betreiben des Striling-Motors als Kältemaschine. Die Fehler sind kleiner als die Symbole.

Unter der Annahme, dass der Motor der Probe konstant Wärme entzieht, lässt sich die von dem Wasser beim Schmelzen abgegebene Wärme anhand von Abb. 1 abschätzen. Im Zeitraum von $(266 \pm 2) \text{ s}$ bis $(545 \pm 5) \text{ s}$ entzieht der Motor dem Wasser Wärme, die Anfangs- und Endtemperatur sind jedoch gleich. Folglich entspricht die entzogene Wärme pro Masse der Schmelzwärme $S = (233,7 \pm 4,5) \text{ J/g}$, gemäß:

$$S = \frac{Q}{m} = c \cdot s \cdot \Delta t \quad (7)$$

3.2.4 Bestimmung der Heizleistung

Die Heizleistung lässt sich analog zur Kühlleistung in Abschnitt 3.2.3 aus der Steigung s_1 der Messkurve bei Raumtemperatur in Abb. 2 bestimmen.

Die Steigung s_1 beträgt $(0,377 \pm 0,001) ^\circ\text{C/s}$ somit folgt aus Gleichung (4) eine Heizleistung P_{Heiz} von $(1,58 \pm 0,01) \text{ W}$. Analog lässt sich auch die Leistungszahl ϵ bestimmen. Die Temperaturänderung ΔT betrug $(0,30 \pm 0,05) ^\circ\text{C}$ woraus gemäß Gleichung (2) ein $Q_1 + W_R$ von $(1,66 \pm 0,28) \text{ J}$ folgt. Q_2 ergibt sich aus $P_{\text{Heiz}}/f = (0,501 \pm 0,004) \text{ J}$. Die Leistungszahl beträgt somit $(43,1 \pm 10,4) \%$.

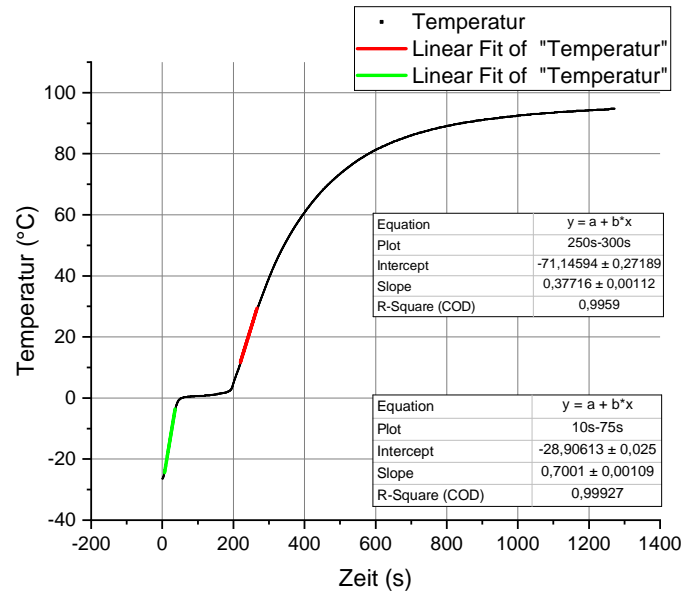


Abbildung 2: Gemessene Temperatur als Funktion der Zeit beim betreiben des Striling-Motors als Wärmepump. Die Fehler sind kleiner als die Symbole.

Die spezifische Wärme von Eis lässt sich aus Gleichung (4) bestimmen:

$$c_{\text{Eis}} = \frac{P_{\text{Heiz}}}{m \cdot s_s} = c_{H_2O} \frac{s_l}{s_s} \quad (8)$$

Die Steigung s_s nimmt einen Wert von $(0,700 \pm 0,001) ^\circ\text{C}/\text{s}$ im Bereich von $-25 ^\circ\text{C}$ bis $-5 ^\circ\text{C}$ an. Es ergibt sich eine spezifische Wärme für Eis c_{Eis} von $(2,254 \pm 0,007) \text{ J/g/K}$.

3.3 Diskussion

4 Schlussfolgerung