

VERSUCHSBERICHT ZU

W1 – STIRLING-MOTOR

Gruppe Mi 11

Alex Oster(a_oste16@uni-muenster.de)
Jonathan Sigrist(j_sigr01@uni-muenster.de)

durchgeführt am 09.05.2018
betreut von Torsten Stiehm

15. Mai 2018

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	1
2	Methoden	1
2.1	Aufbau und Funktionsweise	1
2.2	Unsicherheiten	2
3	Durchführung und Datenanalyse	3
4	Diskussion	5
5	Schlussfolgerung	7
6	Anhang	8
6.1	Unsicherheitsrechnung	8
6.2	anderes	8
	Literatur	9

1 Kurzfassung

Dieser Bericht beschäftigt sich mit der Untersuchung des Stirling-Motors. Bei diesem handelt es sich um eine der ersten Wärmekraftmaschinen. In Abhängigkeit der Drehrichtung des Motors, lässt sich dieser flexibel als Kältemaschine oder auch Wärmepumpe verwenden. Wie auch bei vielen mechanischen Systemen trägt Reibung eine Rolle. Die dadurch verrichtete Reibungsarbeit wird bei dieser Untersuchung über die Erwärmung des Kühlwassers ermittelt. Des Weiteren werden Heiz- und Kühlleistung des Systems bestimmt. Dazu wird ein Millimeter destillierten Wassers in das System gegeben und die Temperatur dessen für Kältemaschine und Wärmepumpe aufgezeichnet. Neben der Leistungen lassen sich dadurch auch die Schmelzwärme des Wassers und die spezifische Wärme von Eis bestimmen. Ziel der Untersuchung ist eine Übereinstimmung dieser Schmelz- und spezifischen Wärme mit der Literatur, wie auch physikalisch sinnvolle Ergebnisse für die Reibungsarbeit, sowie der Heiz- und Kühlleistung.

Die Ergebnisse zeigen eine Abweichung von

2 Methoden

Dieser Abschnitt befasst sich mit dem Aufbau des Versuches und den dabei auftretenden Unsicherheiten.

2.1 Aufbau und Funktionsweise

Der Versuchsaufbau besteht im Wesentlichen aus einem Stirling-Motor, ein mit dem Motor verbundenes Kühlwasserreservoir und einem Messgerät für die Rotation des Motors sowie der Temperatur des Wassers, welches sich in einem Reagenzglas an dem verschraubbaren Zylinderkopf des Stirling-Motors befindet. Das Messgerät ist an einen Computer geschlossen, sodass bei der Messung der Rotation zeitgleich ein FFT angewendet werden kann, um den Motor auf 3 Hz zu kalibrieren. Zur Messung der Temperatur des

abfließenden Kühlwassers, bzw. der im Reservoir wird ein einfaches Digital-Thermometer verwendet.

Abb. 1 stellt die Funktionsweise des Stirling-Motors schematisch dar. Hierbei handelt es sich um einen Kreisprozess aus zwei isothermen und zwei isochoren Zustandsänderungen. Je nachdem in welche Richtung das Schwungrad (bzw. der Motor) dreht, wird der Stirling-Motor zur Kältemaschine (entgegen des Uhrzeigersinn) oder zur Wärmepumpe (im Uhrzeigersinn).

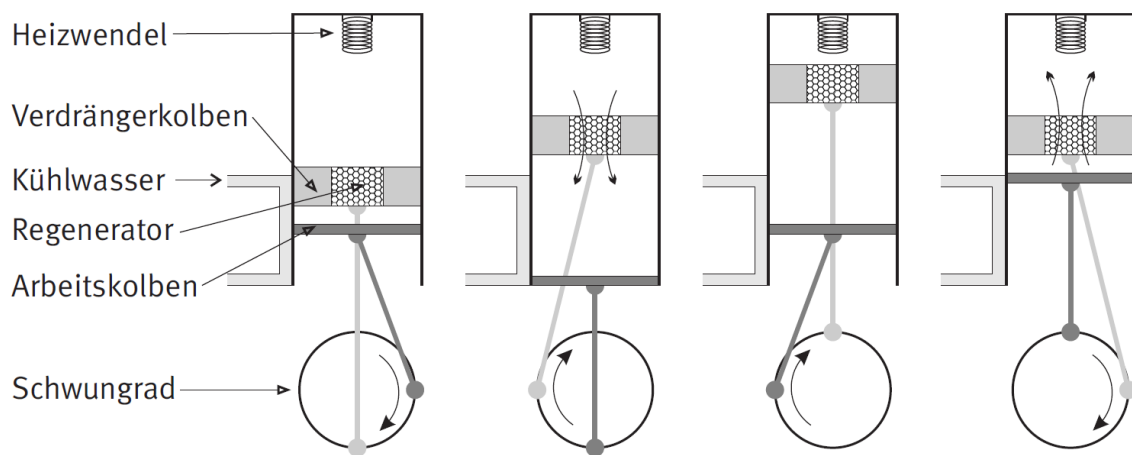


Abbildung 1: Darstellung der Takte des Stirling-Motors. Isotherme Expansion, isochore Abkühlung, isotherme Kompression und isochore Erwärmung (von links nach rechts).[1]

2.2 Unsicherheiten

Jegliche Unsicherheiten werden nach GUM bestimmt und berechnet¹. Für die Unsicherheitsrechnungen wurde die Python Bibliothek „uncertainties“ herangezogen, welche den Richtlinien des GUM folgt.

Für digitale Messungen wird eine Unsicherheit von $u(X) = \frac{\Delta X}{\sqrt{3}}$ angenommen, bei analogen eine von $u(X) = \frac{\Delta X}{\sqrt{6}}$.

- hier konkrete Unsicherheiten beim Messen

¹Die Gleichungen dazu finden sich im Anhang unter 6, 7.

3 Durchführung und Datenanalyse

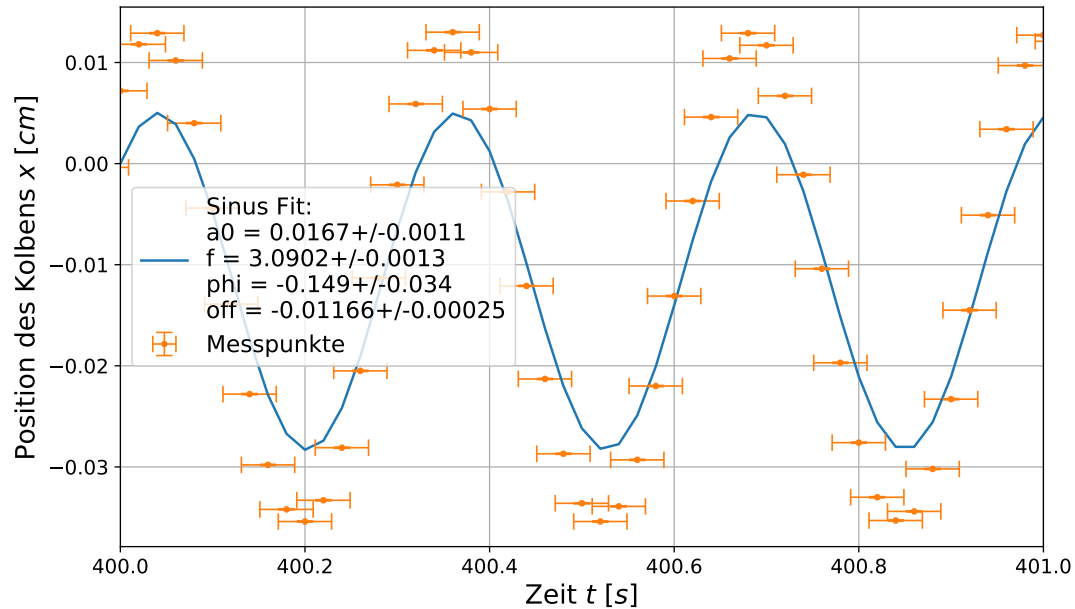


Abbildung 2: Sinus-Fit zur Rotation des Motors.

Damit der Motor mit einer Frequenz von ≈ 3 Hz arbeiten konnte, wurde seine Rotation aufgenommen und das Zeitbild am Computer fourier-transformiert, sodass eine passende Frequenz über Geschwindigkeitsänderung des Motors festgelegt werden konnte. Diese Messung ist in Abb. 2 mit einem Sinus-Fit dargestellt. Daraus folgte eine Frequenz von ca. 3,09 Hz, welche für die weiteren Berechnungen verwendet wurden.

Zur Bestimmung der Reibungsarbeit wurde zunächst der Zylinderkopf des Stirling-Motors abgenommen und die Temperatur $T_0 = (24,50 \pm 0,03)^\circ\text{C}$ des Kühlwassers an diesem gemessen. Dann wurde der Motor als Wärmepumpe in Betrieb genommen. Ab dem Punkt, an dem die Temperatur des Kühlwassers sich nicht mehr änderte, bei $T_{max} = (25,00 \pm 0,03)^\circ\text{C}$, wurde der Volumendurchfluss an dem Kühlwasserreservoir gemessen. Daraus ergab sich eine Zeit $\delta t = (11,470 \pm 0,003)$ s für $(50,0 \pm 0,2)$ mL.

Nun zu der Verwendung des Motors als Kältemaschine. Dazu wurde der Zylinderkopf wieder verschraubt und 1 mL destilliertes Wasser in das daran befestigte Reagenzglas

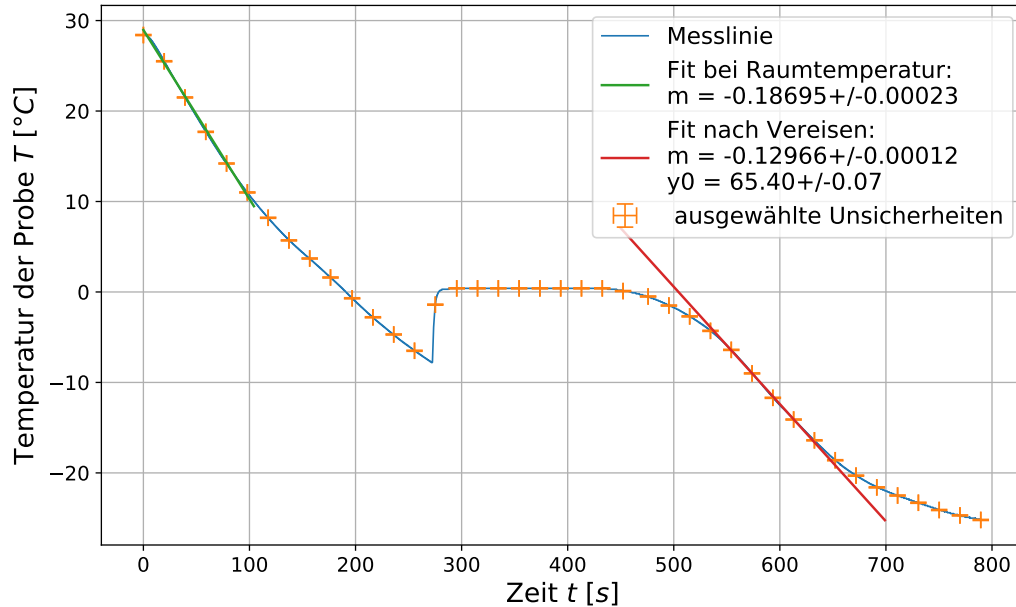


Abbildung 3: Temperatur-Verlauf des Wassers bei der Kältemaschine.

gefüllt. Abbildung 3 zeigt den aufgenommen Verlauf der Temperatur des Wassers mit einer Abtastrate von 10 Hz. Auffällig daran ist der schlagartige Anstieg von ca. 8°C auf ungefähr 0°C und der darauf folgende konstante Bereich, bis die Temperatur wieder anfängt zu sinken. Dieser Sprung wird in Abbildung 4 deutlicher dargestellt. Nachdem eine Temperatur von ca. $-26,7^\circ\text{C}$ erreicht wurde, wurde zudem eine Messung der Temperatur des abfließenden Kühlwassers $T_{\text{Abfluss}} = (26,60 \pm 0,03)^\circ\text{C}$ und der im Reservoir $T_{\text{Reservoir}} = (25,30 \pm 0,03)^\circ\text{C}$ durchgeführt. Die Schmelzwärme des Wassers lässt sich über ... abschätzen. Für die Kühlleistung ...

Analog zur Kältemaschine verlief die Untersuchung der Wärmepumpe. Die Temperatur des Wassers bei diesem Vorgang ist in Abb. 5 aufgetragen. Bei dieser Kurve wurde ein ähnlicher Verlauf verzeichnet. Hier tritt jedoch kein Sprung auf, die Temperatur bleibt jedoch wie zuvor bei ungefähr 0°C für einige Zeit konstant, bevor sie wieder ansteigt. Auch hier wurde erneut eine Messung der Temperatur des abfließenden Kühlwassers $T_{\text{Abfluss}} = (25,50 \pm 0,03)^\circ\text{C}$ und der im Reservoir $T_{\text{Reservoir}} = (25,50 \pm 0,03)^\circ\text{C}$ durchgeführt. Dies geschah bei der Temperatur des Wassers von ca. $40,4^\circ\text{C}$. Die Berechnung der

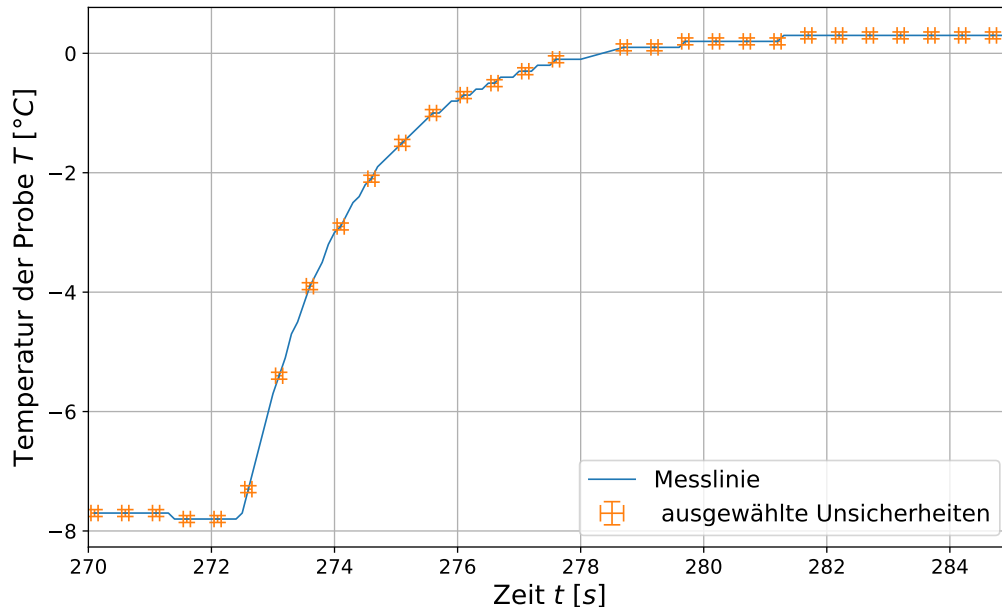


Abbildung 4: Genauere Darstellung des Sprungs in der Temperaturkurve der Kältemaschine.

Schmelzwärme und der Heizleistung aus dieser Kurve verlaufen analog zu denen bei der Kältemaschine.

4 Diskussion

Nun stellt sich die Frage, ob die Ziele der Untersuchung erreicht wurden. Dazu wird zunächst betrachtet, ob die Werte für Reibungsarbeit und Heiz- bzw. Kühlleistung physikalisch sinnvoll sind. Der ermittelte Wert für die Reibungsarbeit entspricht Dieser ist Für Heiz- und Kühlleistung ergaben sich Bei diesen

Der Sprung bei dem Verlauf der Temperatur und der darauffolgende konstante Bereich bei der Kältemaschine lässt sich über die Schmelzwärme erklären. Diese Wärme wird benötigt um von dem festen Zustand in den flüssigen zu wechseln. Umgekehrt wird diese Wärme freigelassen, wenn der Wechsel von flüssig nach fest stattfindet. Dies geschieht nicht direkt bei 0°C, sondern erst nachdem sich Kristalle in der Flüssigkeit gebildet haben, welche sich schlagartig vermehren und zu dem Gefrieren der Flüssigkeit führen.

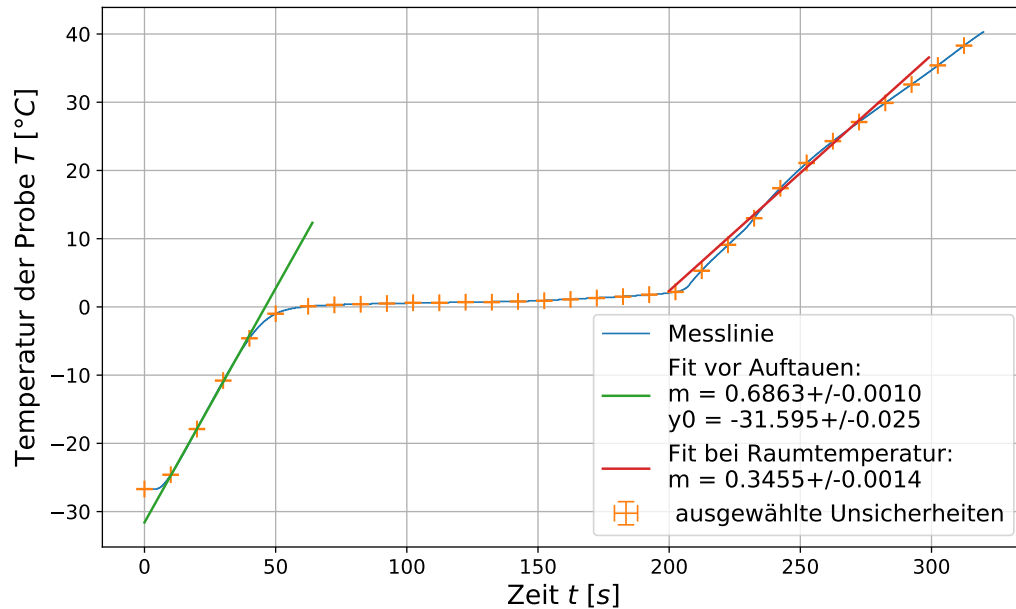


Abbildung 5: Temperatur-Verlauf des Wassers bei der Wärmepumpe.

Bis zur kompletten Kristallisierung bleibt die Temperatur bei ungefähr 0 °C und fällt danach wieder ab. Umgekehrt muss bei der Wärmepumpe die erforderliche Schmelzwärme dem Eis hinzu geführt werden, weswegen auch hier der Temperaturverlauf für einige Zeit konstant bleibt. Dass die ermittelten Werte für die Schmelzwärme aus beiden Messungen exakt übereinstimmen ist hervorragend. Zudem unterscheidet sich dieser Wert um ?% von dem Literaturwert.

Bei der spezifischen Wärme von Eis wurde hier ein Wert von ... bestimmt. Dieser unterscheidet sich um ?% von dem Literaturwert.

5 Schlussfolgerung

6 Anhang

6.1 Unsicherheitsrechnung

$$x = \sum_{i=1}^N x_i; \quad u(x) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u(x_i)^2}$$

Abbildung 6: Formel für kombinierte Unsicherheiten des selben Typs nach GUM.

$$f = f(x_1, \dots, x_N); \quad u(f) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right)^2}$$

Abbildung 7: Formel für sich fortpflanzende Unsicherheiten nach GUM.

6.2 anderes

Literatur

- [1] WWU Münster. *W1 - Stirling Motor*. URL: <https://sso.uni-muenster.de/LearnWeb/learnweb2/course/view.php?id=28561§ion=26> (besucht am 13.05.2018).