

V206 Die Wärmepumpe

Alina Landmann, alina.landmann@tu-dortmund.de
Jannine Salewski, jannine.salewski@tu-dortmund.de

Durchführung: 21.12.2017

Abgabe: 12.01.2018

TU Dortmund - Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Auswertung	1
1.1	Temperaturverläufe	1
1.2	Gütezahl	3
1.3	Massendurchsatz	4
1.4	Mechanische Kompressorleistung	5
2	Diskussion	6
	Literatur	7

1 Auswertung

1.1 Temperaturverläufe

In Tabelle 1 sind die im Wärme- beziehungsweise Kältereservoir gemessenen Temperaturen T_1 und T_2 mit den zugehörigen Drücken P_1 und P_2 , sowie die generierte Leistung der Wärmepumpe aufgelistet. Zu den Drücken P_1 und P_2 wurde bereits ein bar Atmosphärendruck dazuaddiert.

Tabelle 1: Messwerte zur Erstellung der Plots

t / s	T_1 / °C	T_2 / °C	P_1 / bar	P_2 / bar	P / W
0	20.3	20.4	5.1	8.00	210
60	21.3	20.4	2.4	7.75	160
120	22.1	20.3	2.7	7.00	175
180	23.4	19.4	2.9	7.50	185
240	25.1	17.9	3.0	7.75	195
300	27.0	16.0	3.1	8.00	200
360	29.0	14.1	3.2	8.50	203
420	31.0	12.3	3.2	9.00	205
480	33.0	10.5	3.2	9.50	206
540	34.9	8.6	3.1	9.75	206
600	36.7	6.8	3.2	10.25	210
660	38.5	5.2	3.2	10.50	211
720	40.2	3.6	3.2	11.00	215
780	41.9	2.2	3.2	11.50	215
840	43.5	1.2	3.2	11.75	215
900	45.1	0.4	3.2	12.00	213
960	46.5	0.0	3.2	12.50	210
1020	48.0	-0.6	3.2	12.75	207
1080	49.1	-1.0	3.1	13.00	205
1140	50.3	-1.4	3.1	13.50	205

Der Temperaturverlauf in den beiden Reservoirs ist in Abbildung 1 zu sehen. Die eingezeichnete Ausgleichsfunktion der beiden Temperaturverläufe wird mittels der Funktion

$$T(t) = At^2 + Bt + C$$

beschrieben.

Die Koeffizienten für das Wärmereservoir werden mit Hilfe des Programms `scipy.optimize`

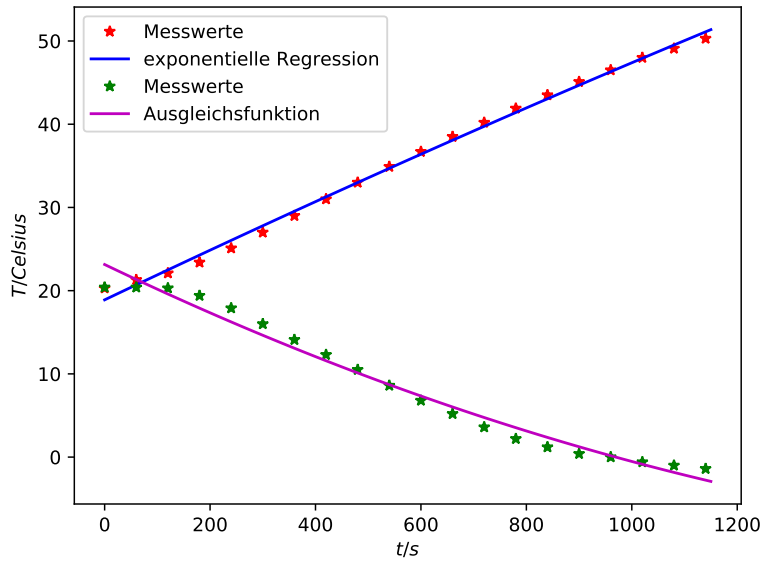


Abbildung 1: Temperaturverläufe in den Reservoirs gegen die Zeit aufgetragen

ermittelt und betragen:

$$\begin{aligned} A_1 &= (-1.7 \pm 1.4) \mu\text{K/s}^2 \\ B_1 &= (0.0302 \pm 0.0016) \frac{\text{K}}{\text{s}} \\ C_1 &= (292.05 \pm 0.40) \text{K} \end{aligned}$$

Die Koeffizienten für das Kältereservoir betragen:

$$\begin{aligned} A_2 &= (6.7 \pm 1.4) \mu\text{K/s}^2 \\ B_2 &= (0.0303 \pm 0.0031) \frac{\text{K}}{\text{s}} \\ C_2 &= (296.25 \pm 273.55) \text{K} \end{aligned}$$

In Tabelle 2 sind die Differenzenquotienten $f = \frac{\partial T}{\partial t}$ für die beiden Reservoirs, die nach folgender Formel berechnet wurden:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = At + B,$$

zu sehen.

Tabelle 2: Differenzenquotienten des Wärme- und Kältereservoirs

t / s	$\frac{\Delta T_1}{\Delta t} / \text{K/s}$	$\frac{\Delta T_2}{\Delta t} / \text{K/s}$
120	$0,0300 \pm 0,0016$	$0,0295 \pm 0,0031$
240	$0,0298 \pm 0,0016$	$0,0287 \pm 0,0031$
480	$0,0294 \pm 0,0017$	$0,0271 \pm 0,0032$
960	$0,0210 \pm 0,0021$	$0,0239 \pm 0,0034$

Der Fehler für den Differenzenquotienten wird mit Hilfe der Gaußschen Fehlerfortpflanzung berechnet, da in dessen Berechnung zwei fehlerbehaftete Größen A und B auftauchen:

$$\Delta f = \sqrt{(A \cdot \Delta A)^2 + \Delta B^2}$$

1.2 Güteziffer

Im Anschluss daran wird mittels der Formel:

$$\nu_{\text{real}} = \frac{1}{P} (m_1 c_w + m_k c_k) \frac{\Delta T_1}{\Delta t}$$

die reale Güteziffer der im Experiment verwendeten Wärmepumpe berechnet und mit dem Theoriewert für die ideale Güteziffer verglichen, der sich aus folgender Gleichung ergibt:

$$\nu_{\text{ideal}} = \frac{T_1}{(T_1 - T_2)}.$$

Der Wert $c_k m_k$ ist dabei mit 660 J/K die spezifische Wärmekapazität der verwendeten Apparatur. Die Masse des Wassers m_1 beträgt in diesem Fall 3 kg und dessen spezifische Wärmekapazität c_w beträgt 4183 J/K [Lum]. Die Leistung der Wärmepumpe ist für die verschiedenen Zeiten unterschiedlich und ist ebenfalls zusammen mit den Ergebnissen in 3 angegeben:

Tabelle 3: Ideale und reale Güteziffer der Wärmepumpe im Vergleich

t / s	P / W	ν_{ideal}	ν_{real}	Abweichung / %
120	175	12,27	$2,26 \pm 0,12$	81,51
240	195	3,49	$2,02 \pm 0,11$	42,12
480	206	1,46	$1,88 \pm 0,11$	28,76
960	210	0,99	$1,80 \pm 0,13$	81,82

1.3 Massendurchsatz

Der Massendurchsatz lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$(m_2 c_w + m_k c_k) \frac{\Delta T_2}{\Delta t} = L \frac{\Delta m}{\Delta t}.$$

Um dies zu berechnen, muss zunächst die Verdampfungswärme L des Transportgases Dichloridfluormethan bestimmt werden. Dies geschieht, indem eine lineare Ausgleichsrechnung durchgeführt wird:

$$\ln(P_1) = a \frac{1}{T_1} + b$$

Der Logarithmus von P_1 wird dann gegen die Temperatur aufgetragen, was in Abbildung 2 zu sehen ist. Für a ergibt sich dann ein Wert von 2180 ± 90

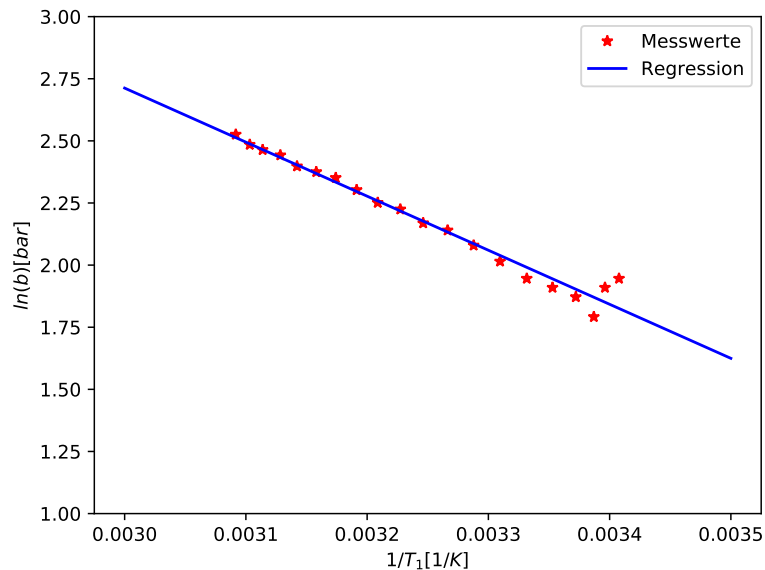


Abbildung 2: Lineare Regression zur Bestimmung von L

Mit diesem Wert a lässt sich dann L berechnen :

$$L = -aR$$

R ist die ideale Gaskonstante mit $8.314 \text{ J/mol [Dem]}$. So ergibt sich ein Wert für L :

$$L = (18.1 \pm 0.7) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

Die molare Masse von Dichloridfluormethan beträgt 120.91 g/mol [Lum], woraus sich für L folgender Wert ergibt: $L = (150 \pm 6) \text{ J/g}$. Der Fehler für die Verdampfungswärme errechnet sich mit der Formel:

$$\Delta L = -R\Delta a.$$

Der Massendurchsatz g lässt sich dann einfach berechnen, wobei sich der Fehler hierfür aus folgender Formel berechnet:

$$\Delta g = \sqrt{\left((m_2 c_w + m_k c_k) \frac{\Delta T_2}{L^2 \Delta t} \Delta L\right)^2 + \left(\frac{(m_2 c_w + m_k c_k)}{L} \Delta \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta t}\right)\right)^2}$$

Hierbei beträgt m_2 wie m_1 3 kg.

Tabelle 4: Massendurchsatz der Wärmepumpe zu verschiedenen Zeiten

t / s	$\frac{\Delta m}{\Delta t} / \text{g/s}$
120	2,60 $\pm 0,29$
240	2,53 $\pm 0,29$
480	2,39 $\pm 0,30$
960	2,10 $\pm 0,31$

1.4 Mechanische Kompressorleistung

Zur Bestimmung der mechanischen Kompressorleistung:

$$N_{\text{mech}} = \frac{1}{\kappa - 1} \left(P_2 \sqrt[\kappa]{\frac{P_1}{P_2}} - P_1 \right) \frac{1}{\rho} \frac{\Delta m}{\Delta t},$$

muss zunächst ρ bestimmt werden. Dies geschieht mit Hilfe folgender Formel:

$$\rho = \frac{\rho_0 P_1 T_0}{p_0 T_2}.$$

Hierbei ist $\rho_0 = 5.51 \text{ g/l}$, $T = 273.15 \text{ K}$, $p = 1 \text{ bar}$ und $\kappa = 1,14$ in der Versuchsanleitung angegeben. Der Fehler für die mechanische Kompressorleistung, der sich aus der weiteren Berechnung mit Hilfe des fehlerbehafteten Massendurchsatzes ergibt, wird mit Hilfe folgender Formel berechnet:

$$\Delta N = \frac{1}{\kappa - 1} \left(P_2 \sqrt[\kappa]{\frac{P_1}{P_2}} - P_1 \right) \frac{1}{\rho} \cdot \Delta \left(\frac{\Delta m}{\Delta t} \right)$$

Tabelle 5: Mechanische Kompressorleistung

t / s	$\rho / \text{kg/m}^3$	$N_{\text{mech}} / \text{W}$
120	13,85	$4,5 \pm 0,5$
240	15,51	$4,3 \pm 0,5$
480	16,98	$4,6 \pm 0,6$
960	17,63	$5,0 \pm 0,7$

2 Diskussion

Beim Vergleich der realen mit der idealen Gütezahl fallen sofort große Abweichungen auf. Diese sind eventuell durch eine nicht ausreichende Isolierung der beiden Reservoirs und der Wärmeleitungen zu erklären. Des Weiteren wurde das Abfüllen der Wassermengen für die Reservoirs lediglich ein einfacher Kolben mit einer Markierung verwendet und die Menge wurde im Anschluss nicht exakt vermessen, weshalb in der Auswertung immer von exakt drei Kilogramm Wassermenge ausgegangen wurde. Um hier genauer vorzugehen, müsste die Wassermenge, die sich in den beiden Behältern befindet, exakt bestimmt werden. Eine weitere Fehlerquelle bei der Durchführung des Versuchs besteht darin, dass es nicht möglich ist alle vier Messdaten simultan von den weit auseinanderliegenden Messuhren abzulesen. Ebenfalls ist nicht davon auszugehen, dass es sich bei dem in der verwendeten Wärmepumpe befindlichen Gas um ein ideales Gas handelt. Des weiteren erfolgt die Kompression des Gases keinesfalls adiabatisch, was bedeutet, dass davon auszugehen ist, dass es im Innern der Leitungen zu Reibung kommt, die wiederum zu einem irreversiblen Wärmeverlust führen. Die ebenfalls sehr geringe mechanische Kompressorleistung könnte ein weiteres Indiz dafür sein, dass es im Innern der Leitungen zu Reibungsverlusten kommt, weshalb nicht die gesamte Leistung in der Wärmepumpe umgewandelt wird.

Literatur

- [Dem] Wolfgang Demtröder. *Experimentalphysik 1*. 7.Auflage.
- [Dor] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch Nr. 206 Die Wärmepumpe*. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/MEDPHYS/BACHELOR/AP/SKRIPT/V206.pdf> (besucht am).
- [Lum] Lumitos. *Dichloridfluormethan*. URL: <http://www.chemie.de/lexikon/Dichlordifluormethan.html> (besucht am).