

Versuchsprotokoll zum Versuch Nr. 206

Die Wärmepumpe

Johannes Kollek	Jean-Marco Alameddine
johannes.kollek@udo.edu	jean-marco.alameddine@udo.edu

Durchführung: 20.10.2015

Abgabe: 27.10.2015

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	3
2	Aufbau und Durchführung	3
2.1	Aufbau	3
2.2	Durchführung	4
3	Auswertung	4
3.1	Bestimmung einer Ausgleichskurve	4
3.2	Güteziffervergleich	6
3.3	Massendurchsatz	7
4	Diskussion	7
	Literatur	7

1 Theorie

Aus dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik geht hervor, dass es unmöglich ist, ohne äußere Einwirkung einem kälteren Reservoir Teile dessen Wärmemenge zu entziehen, um sie einem wärmeren Reservoir zuzuführen. Der erste Hauptsatz beinhaltet jedoch die Möglichkeit, durch Zuführen zusätzlicher Arbeit auch den umgekehrten Prozess zu realisieren. Die zusätzliche Wärmemenge Q_1 im wärmeren Reservoir R_1 entspricht nun der aufgewendeten Arbeit A addiert mit der aus dem kälteren Reservoir R_2 entzogenen Wärmemenge Q_2 . Eine Wärmepumpe kann dies leisten.

Die Effizienz wird durch ihre Gütezahl bestimmt. Sie stellt sich zusammen aus der zugeführten Wärmemenge und der zu diesem Zweck aufgewendeten Arbeit:

$$v = \frac{Q_1}{A} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}. \quad (1)$$

Dabei ist T_1 die Temperatur in R_1 und T_2 die Temperatur in R_2 . Erfahrungsgemäß ist es jedoch schwierig ein absolut geschlossenes System innerhalb der Wärmepumpe zu gewährleisten, wodurch

$$Q_1 < Q_2 + A \quad (2)$$

ist. Für die reale Gütezahl gilt dann

$$v_{real} < \frac{T_1}{T_1 - T_2}. \quad (3)$$

[1]

2 Aufbau und Durchführung

2.1 Aufbau

Das Grundgerüst der Wärmepumpe bildet ein Kupferrohr, welches ein Transportmedium beinhaltet. Dieses Medium kann Wärmeenergie in Form von Phasenumwandlungsenergie aufnehmen bzw. abgeben. Es empfiehlt sich, einen Stoff mit möglichst hoher Kondensationswärme zu verwenden, um einen möglichst effizienten Wärmetransport zu ermöglichen. Deshalb wird beim vorliegenden Aufbau Dichlordifluormethan ($\text{Cl}_2\text{F}_2\text{C}$) eingesetzt.

Vom Kompressor K, welcher den Mediumkreislauf ermöglicht, durchläuft es das erste Reservoir R_1 . Unser reales Gas wurde nun so gewählt, dass es in R_1 bei der Temperatur T_1 sowie dem Druck p_b flüssig wird. Jenes Medium gibt beim Phasenübergang von gasförmig zu flüssig die Kondensationswärme ab, die es im Reservoir R_2 als Verdampfungswärme L pro Gramm aufgenommen hat. Daraufhin durchläuft die Flüssigkeit ein Drosselventil. Der Strömungswiderstand am Drosselventil sorgt für den nötigen Druckunterschied $p_b - p_a$. Hinter dem Druckventil durchläuft das Medium das Reservoir R_2 . Durch den hier vorherrschenden Druck p_a und die Temperatur T_2 verdampft die Flüssigkeit und

nimmt die latente Wärme L auf. Wieder im Kompressor angekommen wird das Gas nahezu adiabatisch komprimiert. Der Druck steigt erneut an, so dass sich das Medium wieder verflüssigt und der Kreislauf fortgesetzt wird.

Zusätzlich befindet sich zwischen dem Reservoir R_1 und dem Drosselventil D ein Reiniger C , welcher die Flüssigkeit von Gasrückständen befreit. Gleichzeitig bewahrt das Drosselventil D den Kompressor davor, dass Flüssigkeitsreste in ihn gelangen. Beide Elemente sind jedoch nur aus Sicherheitsgründen installiert, so dass eine problemlose Durchführung gewährleistet ist. Sie spielen physikalisch für das Ergebnis keine Rolle.

Die beiden Rührmotoren gewährleisten eine gleichmäßige Temperaturverteilung im jeweiligen Reservoir.

Die interessanten Größen in diesem Versuch sind die Temperaturen T_1 und T_2 , die Drücke p_b und p_a sowie die Kompressorleistung P .

2.2 Durchführung

Vor Versuchsbeginn wurden die beiden Reservoirs mit genau abgemessenen 4l Wasser befüllt. Danach wurden sie möglichst isoliert an den vorgegebenen Kupferspiralen positioniert. Unmittelbar nach dem Einschalten der Rührmotoren und des Kompressors wurden ab Minute 0 im Abstand von einer Minute die Temperaturen T_1 und T_2 an den jeweiligen Thermometern, sowie die beiden Drücke p_b und p_a an den jeweiligen Manometern und die Kompressorleistung P_K am Wattmeter gemessen und tabellarisch notiert.

Die Temperaturen wurden auf 0,1 °C genau gemessen. Die Druckskala von p_b konnte man auf 0.1 bar ablesen, die von p_a auf 0.2 bar. Die Kompressorleistung wurde auf 1 W genau bestimmt.

Der Versuch endete nach dem Erreichen von 50 °C in R_1 (nach 30 min). Anschließend wurden noch den beiden Manometern die Drucktemperaturen zum Erstellen einer Dampfdruckkurve entnommen.

3 Auswertung

3.1 Bestimmung einer Ausgleichskurve

Die gemessenen Daten für die Temperatur T_1 des wärmeren sowie die Temperatur T_2 des kälteren Reservoirs wurden gegen die Zeit t in Minuten abgetragen. Mithilfe von SciPy wurde jeweils eine Ausgleichskurve für die folgende Funktion berechnet:

$$T(t) = A \cdot t^2 + B \cdot t + C \quad (4)$$

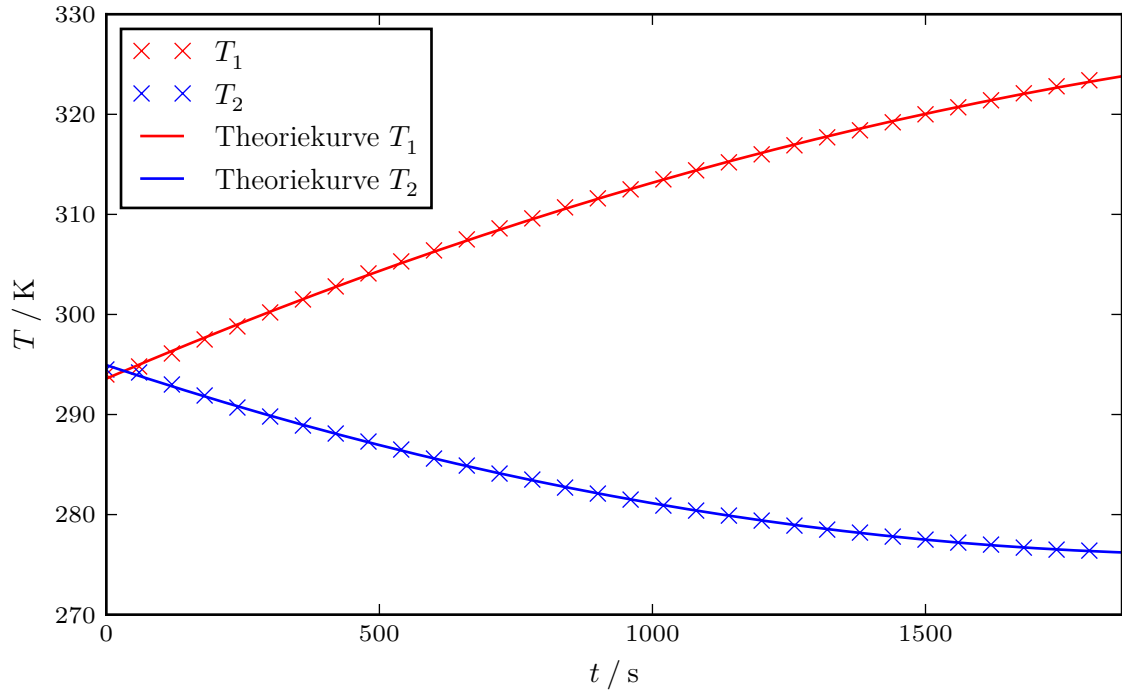


Abbildung 1: Plot.

Die Parameter A , B und C wurden bestimmt zu

$$\begin{aligned}
 A_{T_1} &= (-3.876\,01 \pm 0.103\,82) \cdot 10^{-6} \text{ K/s}^2 \\
 B_{T_1} &= (0.023\,45 \pm 0.000\,19) \text{ K s}^{-1} \\
 C_{T_1} &= (293.592 \pm 0.062) \text{ K} \\
 A_{T_2} &= (4.348\,79 \pm 0.085\,33) \cdot 10^{-6} \text{ K/s}^2 \\
 B_{T_2} &= (-0.018\,15 \pm 0.000\,16) \text{ K s}^{-1} \\
 C_{T_2} &= (294.936 \pm 0.062) \text{ K}
 \end{aligned}$$

Durch Ableiten und Einsetzen in die Ausgleichskurve

$$\frac{dT}{dt} = 2 \cdot A \cdot t + B \quad (5)$$

erhält man die Werte der Differentialquotienten, welche der Tabelle 1 entnommen werden können.

Für die Fehlerrechnung wurde bei der vorliegenden Rechnung und bei allen folgenden Rechnungen das Gaußsche Fehlerfortpflanzungsgesetz

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta x_n\right)^2} \quad (6)$$

für eine Funktion $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ bei denen die Größen x_1, x_2, \dots, x_n voneinander unabhängig sind.

Tabelle 1: Differentialquotienten

$t[s]$	$T_1[K]$	$T_2[K]$	$\frac{dT_1}{dt}[K s^{-1}]$	$\frac{dT_2}{dt}[K s^{-1}]$
420	29.6 ± 0.1	14.9 ± 0.1	$0.021\,954 \pm 0.000\,212$	$-0.014\,500 \pm 0.000\,174$
840	37.5 ± 0.1	19.5 ± 0.1	$0.016\,940 \pm 0.000\,260$	$-0.010\,846 \pm 0.000\,214$
1260	43.7 ± 0.1	5.7 ± 0.1	$0.013\,684 \pm 0.000\,325$	$-0.007\,193 \pm 0.000\,267$
1680	48.9 ± 0.1	3.5 ± 0.1	$0.010\,428 \pm 0.000\,399$	$-0.003\,988 \pm 0.000\,328$

3.2 Güteziffervergleich

Für eine ideale Wärmepumpe gilt

$$v_{ideal} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}. \quad (7)$$

Für die reale Wärmepumpe gilt jedoch die Formel

$$v_{real} = \frac{dQ_1}{dtN} = (m_1 c_w + m_k c_k) \frac{dT_1}{dtN}. \quad (8)$$

wobei N = die Kompressorleistung, m_1 die Masse des Wassers in R_1 , m_k die Masse des zu heizenden Reservoirs inklusive Kupferrohre, c_w die spezifische Wärmekapazität des Wassers sowie c_k die spezifische Wärmekapazität des Reservoirs und der Kuperrohre ist. Da bei der Durchführung des Versuches 4l Wasser für R_1 verwendet wurden, berechnet sich m_1 zu $m_1 = \rho_{H_2O} \cdot V = 4176.48 \text{ kg}$, wobei der Werte für ρ_{H_2O} der Literatur entnommen wurde. Das Produkt aus m_k und c_k wurde vom Versuchsaufbau zu 750 J K^{-1} abgelesen, c_w wurde ebenfalls der Literatur zu $4.1819 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}$ entnommen. Die Kompressorleistung ergibt sich aus dem arithmetischen Mittelwert der Messdaten zu $N = 124.77$. Für die Differenzenquotienten wurden die Werte der Ausgleichskurve, angegeben in Tabelle 1 verwendet.

Tabelle 2: Güteziffervergleich

$t[s]$	$T_1[K]$	$T_2[K]$	$\Delta T[K]$	v_{real,T_1}	v_{real,T_2}	v_{ideal}
420	29.6 ± 0.1	14.9 ± 0.1	14.7 ± 0.1	2.948 ± 0.039	-2.117 ± 0.031	20.599 ± 0.193
840	37.5 ± 0.1	19.5 ± 0.1	18.0 ± 0.1	2.473 ± 0.043	-1.584 ± 0.034	11.096 ± 0.054
1260	43.7 ± 0.1	5.7 ± 0.1	38.0 ± 0.1	1.998 ± 0.050	-1.050 ± 0.040	8.339 ± 0.029
1680	48.9 ± 0.1	3.5 ± 0.1	45.4 ± 0.1	1.522 ± 0.059	-0.517 ± 0.048	7.095 ± 0.021

Es fällt auf, dass sich die reale Güteziffer deutlich von der idealen Güteziffer unterscheidet. Gründe für diese Differenz werden im Kapitel Diskussion besprochen.

3.3 Massendurchsatz

4 Diskussion

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch zum Literaturverzeichnis*. 2014.