

Versuch 206

Die Wärmepumpe

Stefanie Hilgers
Stefanie.Hilgers@tu-dortmund.de

Lara Nollen
Lara.Nollen@tu-dortmund.de

Durchführung: 16.01.2018

Abgabe: 23.01.2018

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
2.1	Die Wärmepumpe	3
2.2	Kenngößen der Wärmepumpe	4
3	Durchführung	5
4	Auswertung	6
5	Diskussion	6

1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll der Wärmetransport zwischen zwei Wärmeresevoiren untersucht werden. Normalerweise wird in einem abgeschlossenen System die Wärmeenergie von dem wärmeren Reservoir zum kälteren Reservoir transportiert. Im folgenden soll der Wärmefluss umgekehrt werden, also vom kälteren Reservoir zum wärmeren. Dies ist nur möglich, wenn zusätzliche Energie aufgewendet wird.

2 Theorie

2.1 Die Wärmepumpe

Bei einer Wärmepumpe wird ein reales Gas als Transportmedium verwendet. Dieses transportiert die Wärme in Form von Phasenumwandlungsenergie, anders ausgedrückt: das Gas nimmt beim verdampfen Wärme auf und gibt diese beim kondensieren wieder ab. Daher sind Gase mit einer möglichst hohen Kondensationswärme gut geeignet.

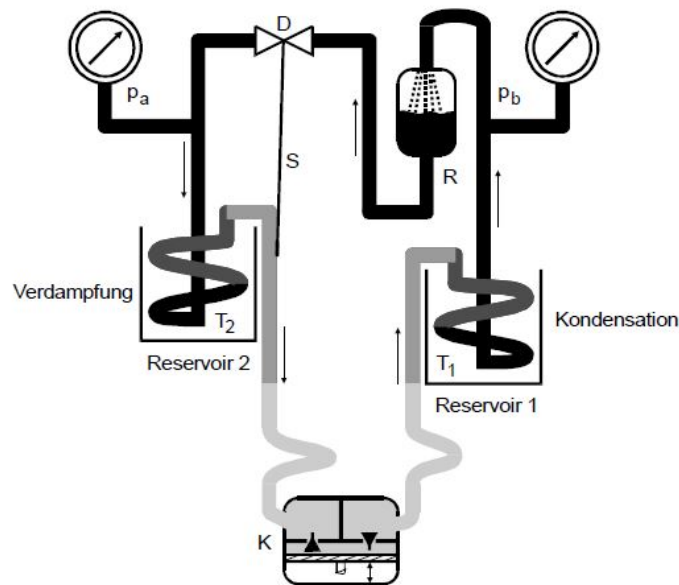


Abbildung 1: Aufbau einer Wärmepumpe ($p_b > p_a$, $T_1 > T_2$)
[1].

Bei der Temperatur T_1 und dem Druck p_b ist das Gas flüssig, nachdem es das Drosselventil D durchströmt hat, verdampft das Gas im Reservoir 2 aufgrund des geringen Drucks p_a . Dabei wird dem Reservoir 2 die Verdampfungswärme L pro Gramm Substanz entzogen, also gibt Reservoir 2 die Wärme ab und ist damit das kältere Reservoir. Im Kompressor, der für einen Mediumkreislauf sorgt, wird das Gas nun adiabatisch komprimiert, wobei es sich stark erwärmt und aufgrund des steigenden Drucks wieder verflüssigt. Bei der Kondensation des Gases wird die Kondensationswärme L pro Gramm an das Reservoir 1

abgegeben, wodurch sich dieser erwärmt.

Für den reibungsfreien Ablauf werden weitere Apparaturen benötigt, dazu zählt der Reiniger R , der die übrigen Gasblasen aus dem verflüssigten Gas entfernt, sowie die Steuervorrichtung S . Diese sorgt dafür, dass keine Flüssigkeitsreste des Gases in den Kompressor gelangen. Außerdem muss die Durchlässigkeit des Drosselventils gesteuert werden, dies geschieht über die Temperaturdifferenz am Ein- und Ausgang der Reservoirs 2.

2.2 Kenngrößen der Wärmepumpe

Bei einer realen Wärmepumpe sind folgende Kenngrößen von besonderem Interesse:

- Güteziffer
- Massendurchsatz $\frac{dm}{dt}$ des Transportmediums
- Wirkungsgrad des Kompressors.

Aus dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik folgt unter der Annahme, dass sich die Temperaturen T_1 und T_2 der Reservoirs praktisch nicht ändern für den realen, irreversiblen Fall die Relation

$$\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} > 0. \quad (1)$$

Wobei Q_1 die vom Transportmedium an das wärmere Reservoir abgegebene Wärmemenge bezeichnet und Q_2 die vom kälteren Wärmereservoir aufgenommene Wärmemenge.

Eine wichtige Größe zur Beschreibung der Wärmepumpe ist die Güteziffer ν , sie ist definiert als das Verhältnis der transportierten Wärmemenge Q_1 zur geleisteten Arbeit A :

$$\nu = \frac{Q_1}{A}. \quad (2)$$

Mit dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik lässt sich Q_1 auch als $Q_1 = Q_2 + A$ schreiben.

Unter der Verwendung von Gleichung 1 lässt sich die ideale Güteziffer auch als

$$\nu_{id} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad (3)$$

schreiben. Aus dieser Gleichung lässt sich folgender Zusammenhang folgern: Je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen den Reservoirs ist, desto weniger Arbeit muss die Pumpe leisten.

Aus der Messreihe T_1 wird der Differenzenquotient $\Delta T_1 / \Delta t$ bestimmt, woraus zunächst eine Relation für $\frac{\Delta Q_1}{\Delta t}$ bestimmt wird.

$$\frac{\Delta Q_1}{\Delta t} = (m_1 c_w + m_k c_k) \frac{\Delta T_1}{\Delta t} \quad (4)$$

Hierbei bezeichnet $m_1 c_w$ die Wärmekapazität des Wassers in Reservoir 1 und $m_k c_k$ die Wärmekapazität der Kupferschlange, in der sich das Gas befindet und des Eimers, der das Wasserreservoir darstellt.

Mit der Größe N als über über das Zeitintervall Δt gemittelte Leistungsaufnahme des Kompressors kann folgende Formel für die Gütezahl bestimmt werden.

$$\nu = \frac{\Delta Q_1}{\Delta t N}. \quad (5)$$

Aus der Messreihe T_2 wird ebenfalls der Differenzenquotient $\Delta T_2 / \Delta t$ bestimmt, um folgende Relation zu erhalten:

$$\frac{\Delta Q_2}{\Delta t} = (m_2 c_w + m_k c_k) \frac{\Delta T_2}{\Delta t}. \quad (6)$$

Hier beschreibt $\Delta Q_2 / \Delta t$ die pro Zeiteinheit aus dem Wärmereservoir 2 entnommene Wärmemenge. Da dem Reservoir die Wärmemenge durch verdampfen entzogen wird, wird pro Zeit- und Masseneinheit die Verdampfungswärme L verbraucht. Damit folgt die Relation

$$\frac{\Delta Q_2}{\Delta t} = L \frac{\Delta m}{\Delta t}. \quad (7)$$

Wenn die Verdampfungswärme L bekannt ist, kann so der Massendurchsatz $\frac{dm}{dt}$ des Transportmediums bestimmt werden.

Um die mechanisch Kompressionsleistung N_{mech} zu bestimmen, wird zunächst die Arbeit A_m des Kompressors definiert, die verrichtet wird, wenn ein Gasvolumen von V_a zu V_b komprimiert wird:

$$A_m = - \int_{V_a}^{V_b} p dV. \quad (8)$$

Für eine adiabatische Kompression gilt:

$$p_a V_a^{(\kappa)} = p_b V_b^{(\kappa)} = p V^{(\kappa)}, \quad (9)$$

damit, und der Definition $N_{mech} = \frac{dA_m}{dt}$ folgt für die mechanische Kompressionsleistung

$$N_{mech} = \frac{1}{\kappa - 1} \left(p_b \sqrt[\kappa]{\frac{p_a}{p_b}} - p_a \right) \frac{\Delta V_a}{\Delta} = \frac{1}{\kappa - 1} \left(p_b \sqrt[\kappa]{\frac{p_a}{p_b}} - p_a \right) \frac{\Delta m}{\rho \Delta t} \quad (10)$$

wobei ρ die Dichte des Gases beschreibt.

3 Durchführung

In Abbildung ?? ist die verwendete Messapparatur dargestellt:

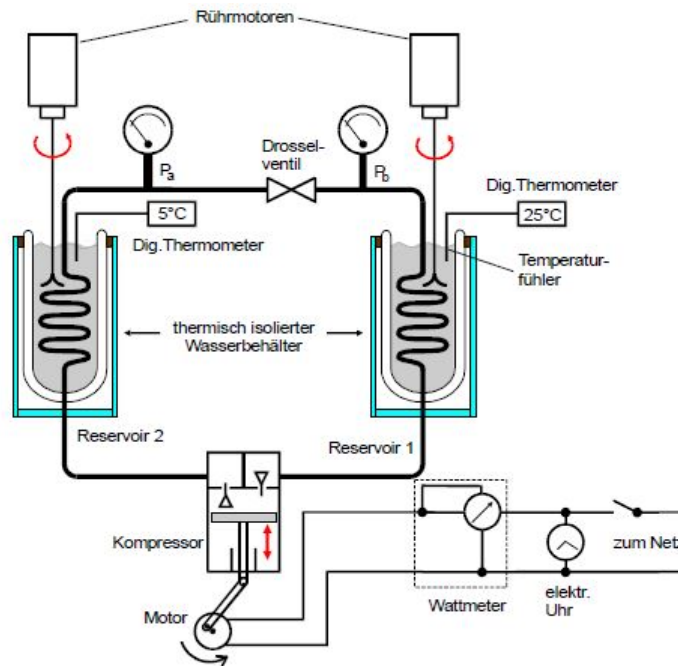


Abbildung 2: Darstellung der Messapparatur
[1].

Zu Beginn des Versuches werden die Wasserbehälter mit 4 Liter Wasser gefüllt und die Rührmotoren werden eingeschaltet, um die Wassertemperatur auf ein konstantes Niveau zu bringen. Außerdem werden die beiden Temperaturen an den Thermometern und die Drücke an den Manometern abgelesen. Jetzt wird der Kompressor angeschaltet, nun sind im Minutentakt folgende Werte zuzunotieren: Zeit, beide Temperaturen, beide Drücke sowie die Leistungsaufnahme des Kompressors. Die Messreihe wird beendet, bevor das warme Reservoir 50 °C erreicht.

Es ist anzumerken, dass sowohl die Wärmereservoirs als auch die Leitungen isoliert sind, um Wärmeverluste zu vermeiden.

4 Auswertung

Test

5 Diskussion

Literatur

[1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch 206, Die Wärmepumpe.*