V206

Die Wärmepumpe

Niko Salewski
niko.salewski@tu-dortmund.de

Julian Hochhaus
julian.hochhaus@tu-dortmund

Durchführung: 08.11.16

Abgabe: 15.11.16

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung

In dem vorliegenden Versuch soll der Transport von Wärmeenergie entgegen des Wärmeflusses, realisiert durch eine Wärmepumpe, untersucht werden. Hierbei sollen die Güteziffer, der Massendurchsatz des Transportmediums und der Wirkungsgrad des Kompressors untersucht werden, um Aussagen über die Qualität der Wärmepumpe zu treffen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Das Prinzip der Wärmepumpe

Betrachtet man zwei Flüssigkeitsreservoire mit den Temperaturen T_1 und T_2, wobei $T_1 > T_2$ gilt, dann wird solange Wärmeenergie vom Reservoir 1 zum Reservoir 2 übertragen, bis die Temperaturdifferenz $\Delta T := T_1 - T_2$ gleich Null ist, also die Temperaturen gleich sind. Dieser Wärmetransport lässt sich allerdings mit Hilfe einer Wärmepumpe umkehren. Unter Aufwendung von mechanischer Arbeit kann einem kälteren Reservoir Wärmeenergie entzogen werden und dem wärmeren Reservoir hinzugefügt werden. Eine Kenngröße für die Effizienz einer Wärmepumpe ist die Güteziffer ν (auch effektive Leistungszahl [2]). Im Folgenden soll nun ein Ausdruck für die effektive Leistungszahl hergeleitet werden.

Die Wärmepumpe wird idealisierend als abgeschlossenes System aufgefasst. Demnach gilt nach dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik, dass die von einem Transportmedium an das Reservoir 1 übertragene Wärmemenge Q_1 gleich der Summe der vom Reservoir 2 entzogenen Wärmemenge Q_2 und der verrichteten Arbeit A ist. Also gilt:

$$Q_1 = Q_2 + A \tag{1}$$

Offensichtlich ist eine Wärmepumpe umso effizienter, wenn eine möglichst kleine mechanische Arbeit für eine möglichst große übertragene Wärmemenge Q_1 benötigt wird. Daher wird die Güteziffer ν wie folgt definiert:

$$\nu := \frac{Q_1}{A} \tag{2}$$

Aus der Annahme, dass die Wärmepumpe als abgeschlossenes isoliertes System angenommen wird, ergibt sich für die Entropieänderung $\mathrm{d}S$ des Systems

$$\mathrm{d}S = \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} \tag{3}$$

Die Entropieänderung eines isolierten Systems ist gleich Null, wenn die Wärmeübertragung reversibel verläuft. Ein reversibler Umwandlungsprozess entspricht der Annahme, dass während der Wärmeübertragung die Temperaturen T_1 und T_2, sowie die zugehörigen Drücke p_b und p_a konstant bleiben. Der Prozess müsste also unendlich langsam verlaufen. Dies muss erfüllt sein, damit die vom Transportmedium aufgenommene Energie jederzeit in einem umgekehrtem Prozess wieder zurückgewonnen werden kann [1].

Aus den Gleichungen (1), (2) und (3) erhält man nun für die Güteziffer den Ausdruck:

$$\nu = \frac{Q_1}{A} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \tag{4}$$

Allerdings gilt Gleichung (4) nicht für den realen irreversiblen Fall. Dann ist nämlich $\mathrm{d}S > 0$ und es gilt für die reale Güteziffer:

$$\nu_{real} < \frac{T_1}{T_1 - T_2} \tag{5}$$

Die Wärmepumpe arbeitet also umso effektiver, je kleiner die Temperaturdifferenz ΔT ist.

Verwendet wird die Wärmepumpe, um preiswert zu heizen. Wird mechanische Arbeit unmittelbar in Wärme umgewandelt, ist die übertragene Wärmemenge höchstens so groß wie die aufgewendete Arbeit A. Mit Hilfe einer Wärmepumpe kann Wärmeenergie allerdings viel effektiver übertragen werden. Es gilt:

$$Q_{1_{real}} < A\frac{T_1}{T_1 - T_2} \tag{6}$$

2.2 Die Arbeitsweise einer Wärmepumpe

2.3 Bestimmung von Kenngrößen einer realen Wärmepumpe

Bei einer Wärmepumpe sind drei Kenngrößen von besonderer Bedeutung.

1. Die Güteziffer ν
2. Der Massendurchsatz
3. Die mechanische Kompressionsleistung N_{mech}

2.3.1 Güteziffer

Für die Güteziffer gilt $\nu = \frac{Q_1}{A}$. Mit der Kompressorleistung N in einem Zeitintervall Δt ergibt sich für die Güteziffer:

$$\nu = \frac{\Delta Q_1}{\Delta t N} \tag{7}$$

Wegen dem Zusammenhang $C = \frac{\Delta Q_1}{\Delta T_1}$ (Wärmekapazität C) erhält man:

$$\nu = (m_1 c_W + m_k c_k)\frac{\Delta T_1}{\Delta t N} \tag{8}$$

Wobei $m_1 c_W$ der Wärmekapazität des Reservoirs 1 und $m_k c_k$ der Wärmekapazität der Kupferschlange und des Eimers entspricht.

2.3.2 Massendurchsatz

Für die vom Reservoir 2 abgegebene Wärmemenge ΔQ_2 pro Zeitintervall Δt gilt analog zu 2.3.1

$$\frac{\Delta Q_2}{\Delta t} = (m_2 c_W + m_k c_k)\frac{\Delta T_2}{\Delta t} \tag{9}$$

mit der Wärmekapazität des Reservoirs 2 $m_2 c_W$. Die Wärmeabgabe wird durch die Verdampfung des Transportmediums realisiert. Da die Verdampfungswärme L pro Gramm definiert wurde, ist die abgegebene Wärmemenge $Q_2 = L\Delta m$. Damit ergibt sich für den Massendurchsatz mit gegebenem L:

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_2}{L\Delta t} \tag{10}$$

2.3.3 Mechanische Kompressorleistung

Wird das Volumen V_a des Transportmediums auf das Volumen V_b komprimiert, so muss der Kompressor die Kompressionsarbeit $A_{Kompression}$ verrichten. Es gilt:

$$A_{Kompression} = -\int_{V_a}^{V_b} p \mathrm{d}V \tag{11}$$

Nun soll eine adiabatische Kompression betrachtet werden - es soll also keine Wärme mit der Umgebung ausgetauscht werden. Dann gilt die Poissonsche Gleichung und man erhält für die Kompressionsarbeit $A_{Kompression}$:

$$-p_a V_a^\kappa \int_{V_a}^{V_b} V^{-\kappa} \mathrm{d}V = \frac{1}{\kappa - 1}(p_b \sqrt[\kappa]{\frac{p_a}{p_b}} - p_a)V_a \tag{12}$$

Dabei ist $\kappa := \frac{c_p}{c_V}$, wobei c_p die Wärmekapazität des Transportmediums bei konstantem Druck p und c_V die Wärmekapazität bei konstantem Volumen V ist.

Man verwende nun, dass $N_{mech} = \frac{\Delta A_m}{\Delta t}$ und $\Delta V_a = \frac{\Delta m}{\rho}$ ist und somit ergibt sich schließlich für die Kompressorleistung N_{mech}:

$$N_{mech} = \frac{1}{\kappa - 1}(p_b \sqrt[\kappa]{\frac{p_a}{p_b}} - p_a)\frac{1}{\rho}\frac{\Delta m}{\Delta t} \tag{13}$$

Zu erwähnen ist, dass die Dichte des Transportmediums ρ beim Druck p_a vorliegt.

3 Durchführung

3.1 Prinzipieller Aufbau einer Wärmepumpe

3.2 Versuchsbeschreibung

3.3 Versuchsdurchführung?

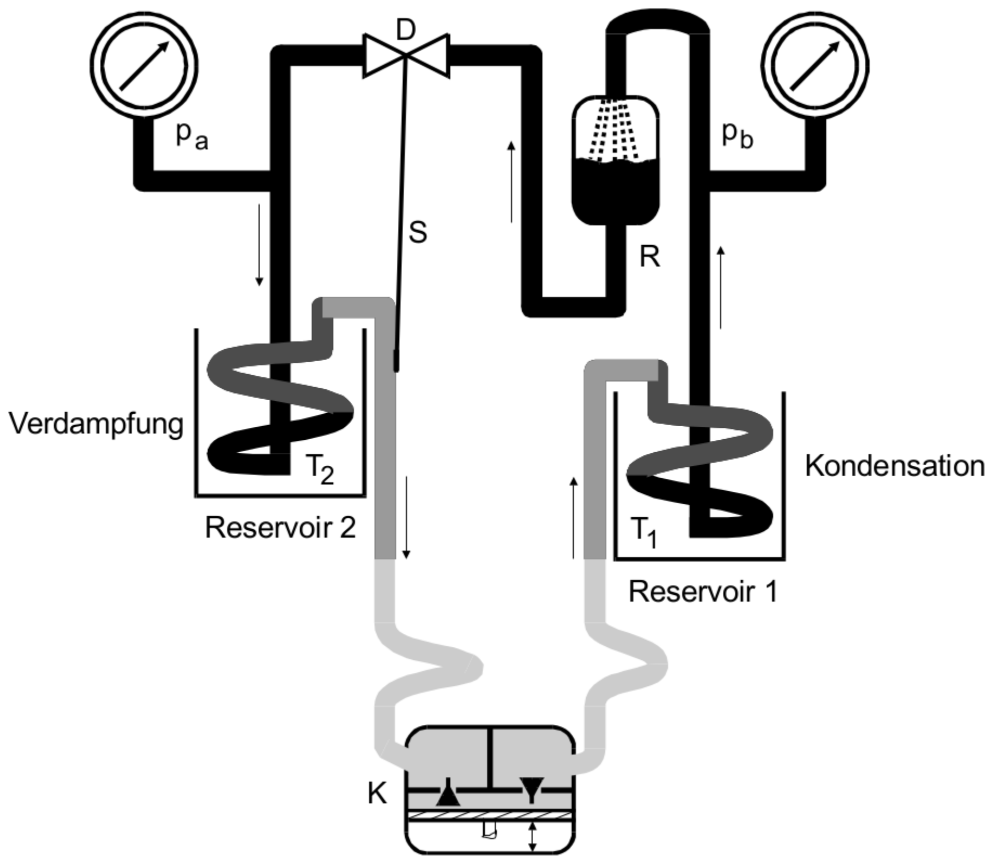

Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau einer Wärmepumpe [1]

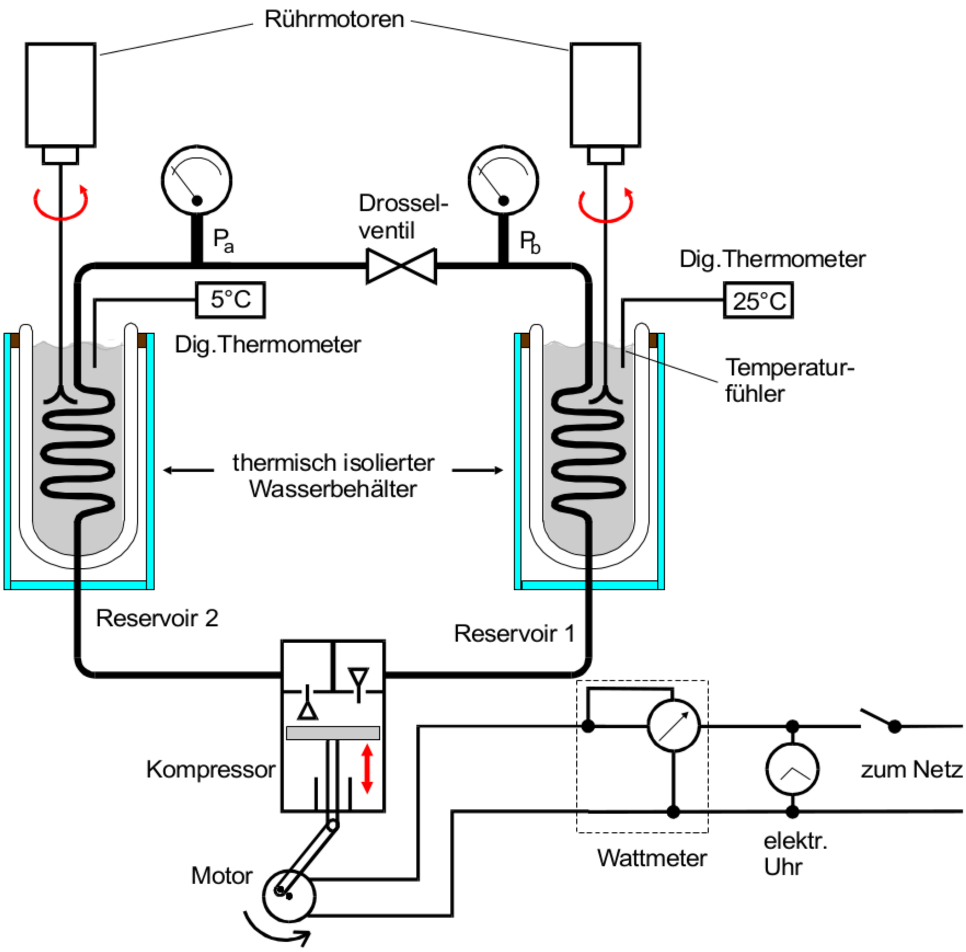

Abbildung 2: Schematischer Aufbau der Messapparatur [1]

4 Auswertung

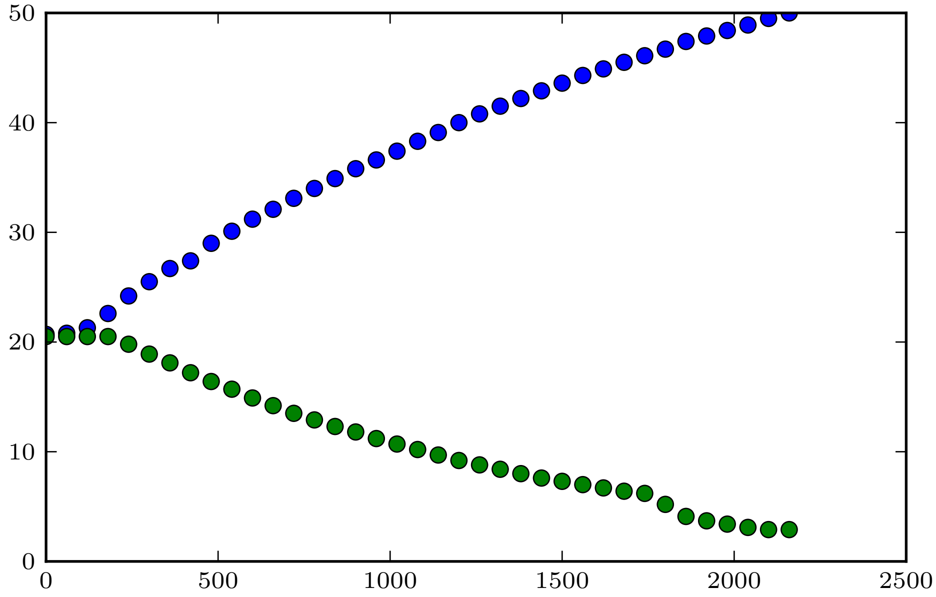

Abbildung 3: Plot

5 Diskussion

Literatur

[1] TU Dortmund. *Versuch 206: Die Wärmepumpe*. 2016.

[2] Dieter Geschke. *Physikalisches Praktikum*. 12. Auflage. B.G. Teubner GmbH.