Versuch D206 "Die Wärmepumpe"

Henry Krämerkämper Christopher Breitfeld

29.10.2020

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

Der Versuch "Die Wärmepumpe", welcher im folgenden erklärt und durchgeführt wird, behandelt den Transport von Wärmeenergie von einem kälteren zu einem wärmeren Reservoire. Nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik sind beide Flussrichtungen möglich, nur ist für den Transport vom kälteren zum wärmeren Reservoir zusätzliche Arbeit nötig. Diese verrichtet die Wärmepumpe. Im folgenden werden Merkmale dieser behandelt, in etwa die Güteziffer der Pumpe sowie ihr Massendurchsatz und der Wirkungsgrad des Kompressors.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Die Güteziffer

Die hier verwendete Wärmepumpe wird unter anderem charakterisiert durch die Güteziffer v. Sie gibt das Verhältnis zwischen der aufgewendeten Arbeit für den Wärmetransport A und der transportierten Wärmeenergie Q_{transp} an. Eine Formel für die Berechnung der Güteziffer lässt sich wie folgt herleiten:

Wir bezeichnen die den wärmeren Reservoire 1 zugeführte Wärmeenergie als Q_1 sowie die dem kälteren Reservoire 2 entnommene Wärmeenergie als Q_2. Dann gilt nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik

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

Dann ist das Verhältnis zwischen transportierter Wärmeenergie und aufgewendeter Arbeit

$$\frac{Q_1}{A} = v. \tag{2}$$

Um die Güteziffer einer idealen Wärmepumpe zu berechnen, betrachten wir die Zusammenhänge nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik:

$$\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = 0 \tag{3}$$

Gleichung (3) gilt nur unter der Vorraussetzung, dass der Prozess reversibel abläuft. Da dies in der Realität nicht möglich ist, muss (3) im Falle eines irreversiblen Prozesses anders formuliert werden:

$$\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} > 0 \tag{4}$$

Aus Gleichung (1) und Gleichung (4) sowie der Definition der Güteziffer (2) ergibt sich die Güteziffer einer idealen Wärmepumpe zu

$$v_{\text{ideal}} = \frac{Q_1}{A} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \tag{5}$$

Dann gilt analog zu (5) für die reale Güteziffer:

$$v_{\text{real}} < \frac{T_1}{T_1 - T_2} \tag{6}$$

An (5) und (6) kann man ablesen, dass eine Wärmepumpe eine höhere Güte hat, wenn der Temperaturunterschied zwischen Reservoire 1 und Reservoire 2 möglichst gering ist. Das bedeutet, dass der Arbeitsaufwand für geringe Temperaturunterschiede am kleinsten ist.

2.2 Der Massendurchsatz

Der Massendurchsatz einer Wärmepumpe beschreibt, wieviel Wärme aus dem kälteren Reservoire 2 pro Zeiteinheit entnommen wird.
Mitlhilfe des gemessenen Differenzenquotienten $\frac{\Delta T_2}{\Delta t}$ sowie der Wärmekapazität von Reservoire 2 $m_2 c_{\text{w}}$ und der Wärmekapazität der Kupferschlange und des Eimers $m_{\text{k}} c_{\text{k}}$ ergibt sich der Massendurchsatz zu

$$\frac{\Delta Q_2}{\Delta t} = (m_2 c_{\text{w}} + m_{\text{k}} c_{\text{k}}) \frac{\Delta T_2}{t}. \tag{7}$$

Da der Wärmetransport über Verdampfung eines Mediums stattfindet, kann man (7) auch mithilfe der Verdampfungswärme L schreiben:

$$\frac{\Delta Q_2}{\Delta t} = L \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t} \tag{8}$$

2.3 Die mechanische Kompressorleistung

Für die verrichtete Arbeit A_{m}, die der Kompressor bei einer Volumenänderung von V_{a} auf V_{b} leistet, gilt

$$A_{\text{m}} = -\int_{V_{\text{a}}}^{V_{\text{b}}} p \mathrm{d}V. \tag{9}$$

Dann ist die Leistung des Kompressors

$$N_{\text{mech}} = \frac{\mathrm{d}A_{\text{m}}}{\mathrm{d}t}. \tag{10}$$

Mit der Annahme, das die Kompression ein annähernd adiabatisch ablaufender Vorgang ist, und unter Verwendung der Poissonschen Gleichung erhählt man für N_{mech}

$$N_{\text{mech}} = \frac{1}{\kappa - 1} \left(p_{\text{b}} \sqrt[\kappa]{\frac{p_{\text{a}}}{p_{\text{b}}}} - p_{\text{a}} \right) \frac{\Delta V_{\text{a}}}{\Delta t}. \tag{11}$$

3 Aufbau des Experiments

Über ein Transportmedium, welches duch Verdampfung und Kondensation Wärme ab- oder aufnimmt, wird in Form von Phasenumwandlungsenergie Wärme aus Reservoire 2 in Reservoire 1 abgegeben.

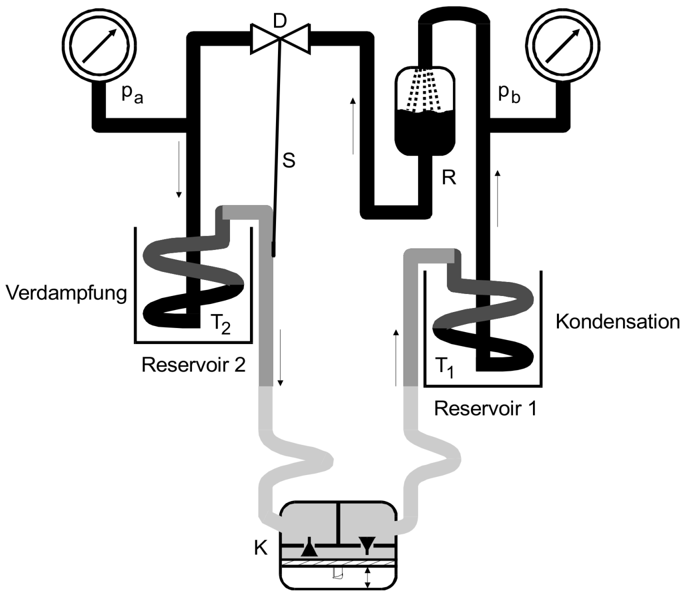

Abbildung 1: Schematische Darstellung einer Wärmepumpe.

4 Aufgabenteil a)

Man stelle die gemessenen Temperaturverläufe in einem geeigneten Diagramm dar.

Im folgenden Diagramm werden die Verläufe der Temperaturen T1 und T2 in Abhängigkeit der Zeit aufgetragen. Alle Werte wurden in SI-Einheiten konvertiert.

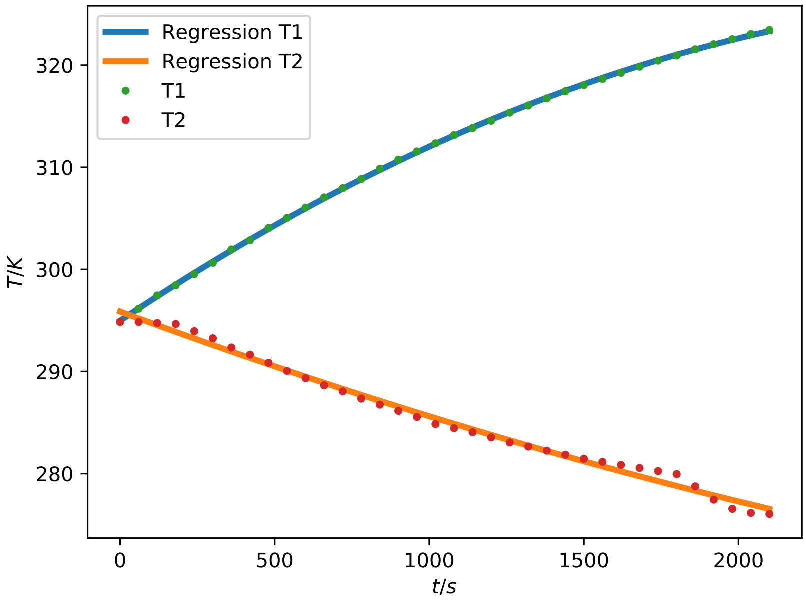

Abbildung 2: Die beiden Temperaturverläufe der Reservoire 1 und 2.

5 Aufgabenteil b)

Man versuche mit Hilfe einer nicht-linearen Ausgleichsrechnung die gemessenen Temperaturverläufe durch einfache Gleichungen zu approximieren.
Die Ausgleichsgleichungen sind ebenfalls in 2 skizziert. Der gewählte Ansatz ist

$$T(t) = \mathrm{A} \cdot t^2 + \mathrm{B} \cdot t + \mathrm{C}. \tag{12}$$

Hierbei ist