

Versuch 206

Die Wärmepumpe

Jonah Nitschke
lejonah@web.de

Sebastian Pape
sepa@gmx.de

Durchführung: 15.11.2016

Abgabe: 22.11.2016

1 Einführung

Im folgenden Versuch geht es um den transport von Wärmeenergie zwischen zwei Wärmereservoirien. Im Gegensatz zu der allgemein gültigen Regel wird hier nun mithilfe einer Wärmepumpe Wärmeenergie von einem Reservoir mit kaltem Wasser in ein Reservoir mit warmen Wasser transponiert. Während des Versuchs werden verschiedene Messwerte aufgenommen um hinterher das Verhältniss von Temperatur, Druck sowie aufgewandter Arbeit zu beurteilen.

2 Theorie

Um nun in dem folgenden Versuch einen Fluss der Wärmeenergie von dem kälteren Reservoir zu dem wärmeren Reservoir zu realisieren, muss zusätzliche Arbeit aufgewandt werden. Für diesen Prozess wird im folgenden eine Wärmepumpe benutzt, deren Aufbau später noch in Kapitel 3 erläutert wird und deren Bedingungen zur Vereinfachung der Berechnungen als idealisiert betrachtet werden.

Das Verhältniss von transponierter Wärmemenge zu aufgewandter Arbeit anzugeben, wird die Gütezahl ν eingeführt. Nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik (1) gilt für den Wärmenergietransport zwischen zwei Medien:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W \quad (1)$$

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

Die in unserem Fall geltende 2. Formel (2) sagt, dass die vom Transportmedium an Reservoir 2 abgegebene Wärmeenergie Q_1 der Summe der aus Reservoir 1 entnommenen Wärmeenergie Q_2 und der aufgewandten Arbeit A entsprechen muss. Die Gütezahl der Wärmepumpe kann somit über folgende Formel errechnet werden:

$$\nu = \frac{Q_1}{A} \quad (3)$$

Nach dem 2.HS der Thermodynamik lässt sich zudem die Beziehung zwischen den Wärmemengen und Temperaturen der beiden Reservoirien durch folgende Formel ausdrücken:

$$\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = 0 \quad (4)$$

Für die Gültigkeit dieser Formel muss jedoch gelten, dass der stattfindende Übertragungsprozess reversibel sein. Somit müsste die aufgewandte mechanische Energie jederzeit

vollständig zurückgewonnen werden können. Da es sich dabei um eine idealisierte Annahme handelt, die in der Realität nie zutrifft, muss (4) etwas umformuliert werden:

$$\frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} > 0 \quad (5)$$

Aus den Gleichungen (1) bis (4) folgt somit:

$$Q_1 = A + \frac{T_2}{T_1} Q_1 \quad (6)$$

$$\nu_{id} = \frac{Q_1}{A} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad (7)$$

$$\nu_{real} < \frac{Q_1}{A} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad (8)$$

Die Gleichungen (7) und (8) zeigen, dass eine Wärmepumpe umso effektiver eingestuft werden kann, je kleiner die Differenz zwischen T_1 und T_2 ist.

2.1 Bestimmung der realen Gütezahl ν

Mit den Werten von T_1 kann nun die pro Zeiteinheit gewonnene Wärmemenge berechnet werden:

$$\frac{\Delta Q_1}{\Delta t} = (m_1 c_w + m_k c_k) \frac{\Delta T_1}{\Delta t} \quad (9)$$

$$\nu = \frac{\Delta Q_1}{\Delta t N} \quad (10)$$

$m_1 c_w$ und $m_k c_k$ entsprechen dabei den Wärmekapazitäten der Kupferschlange und des Eimers. Für die Gütezahl wird noch N als die zeitlich gemittelte Leistung benötigt.

2.2 Bestimmung des Massendurchsatzes

Mit den Werten von T_2 und der Verdampfungswärme L kann nun der Massendurchsatz Δm berechnet werden:

$$\frac{\Delta Q_2}{\Delta t} = (m_2 c_w + m_k c_k) \frac{\Delta T_2}{\Delta t} \quad (11)$$

$$\frac{\Delta Q_2}{\Delta t} = L \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (12)$$

2.3 Bestimmung der mechanischen Kompressorleistung N_{mech}

Um die mechanische Kompressorleistung N_{mech} zu bestimmen muss vorher die vom Kompressor aufgebrauchte Arbeit zur Komprimierung des Volumens V_a auf das Volumen V_b berechnet werden:

$$A_m = \frac{1}{\kappa - 1} \left(p_b \sqrt[\kappa]{\frac{p_a}{p_b}} - p_a \right) V_a \quad (13)$$

Mit der Dichte ρ im gasförmigen Zustand, also beim Druck p_a , kann nun N_{mech} berechnet werden:

$$N_{mech} = \frac{\Delta A_m}{\Delta t} = \frac{1}{\kappa - 1} \left(p_b \sqrt[\kappa]{\frac{p_a}{p_b}} - p_a \right) \frac{1}{\rho} \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (14)$$

3 Aufbau und Durchführung

3.1 Aufbau

Die verwendete Wärmepumpe besteht aus mehreren Komponenten. Die Apparatur besteht aus zwei thermisch isolierten Reservoirern mit Wasser. Durch beide Reservoirs läuft ein Kupferrohr, in dem sich ein Gas befindet. Der Kompressor erzeugt in beiden Hälften unterschiedliche Drücke, indem er das Gas komprimiert. Das erst flüssige Gas durchströmt nun das Kupferrohr in Reservoir 2 und verdampft unter dort herrschenden Druck. Dabei nimmt es dem Reservoir die Verdampfungswärme und wird danach im Kompressor adiabatisch komprimiert, bis der Druck hoch genug ist, um das Gas im Reservoir 1 wieder zu verflüssigen. Die entstehende Kondensationswärme wird dort somit ans Wasser abgegeben. In einem nachgeschalteten Reiniger wird die Flüssigkeit von Gasresten getrennt und dann durch das Drosselventil geleitet, damit der Zyklus im Reservoir 2 von vorne beginnt. Damit in den Kompressor keine Flüssigkeitsreste gelangen, wird eine Steuervorrichtung angebracht. Dieser misst die Temperaturdifferenz zwischen Ausgang und Eingang und verringert die Flüssigkeitszufuhr, sollte die Verdampfungsrate im Reservoir 2 zu stark abfallen. So wird nach und nach das Reservoir 2 abgekühlt und das Reservoir 2 erwärmt und die Wärmeenergie vom 1. in das 2. Reservoir transportiert.

3.2 Durchführung

Am Anfang des Experimentes werden die beiden Reservoirs mit 4 Litern Wasser befüllt. Dann werden die beiden Reservoirs an der Apparatur befestigt, sodass das beide Behälter optimal abgedichtet sind. Anschließend werden die beiden Rührstäbe und der Kompressor

ein geschaltet. Nun werden im Abstand von einer Minute die verschiedenen Werte $[p_a, p_b, T_1, T_2, L]$ gemessen und notiert. Sobald die Temperatur im Reservoir 2 die 50 °C Marke erreicht, werden Kompressor und Rührstäbe ausgeschaltet und der Versuch ist beendet.