

TU Dortmund

V206 - Die Wärmepumpe

Markus Stabrin
markus.stabrin@tu-dortmund.de

Kevin Heinicke
kevin.heinicke@tu-dortmund.de

Versuchsdatum: 2. Juli 2013

Abgabedatum: 9. Juli 2013

1 Einleitung

Der Transport von Wärmeenergie zwischen verschiedenen Reservoirs stellt eine essenzielle technische Anwendung physikalischer Mechanismen in unserem Alltag dar. Dabei lehrt die Erfahrung, dass Wärmeenergie in einem abgeschlossenen System stets vom wärmeren in das kühleren Reservoir übergeht. Durch Aufwendung äußerer Arbeit lässt sich dieser Prozess jedoch umkehren.

1.1 Ableitungen aus dem Energiesatz

Der Energiesatz besagt, dass die Gesamtenergie eines abgeschlossenen Systemes zeitlich konstant bleibt. Das abgeschlossene System der Wärmepumpe enthält unter idealisierter Betrachtung zwei Wärmereservoirs, die Wärme über ein Transportmedium austauschen können.

Wenn die äußere Arbeit A am System verrichtet wird, besagt der Energiesatz für die Wärmemenge Q_1 , die vom Transportmedium an das wärmere Reservoir abgegeben wird und für die aus dem kälteren Reservoir entnommene Wärmemenge Q_2 :

$$Q_1 = Q_2 + A.$$

Damit wird der Quotient ν

$$\nu = \frac{Q_1}{A}$$

als Gütezahl der Wärmepumpe bezeichnet. Mit Hilfe des 2. Hauptsatzes der Wärmelehre lässt sich herleiten, dass

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

gilt. Hierbei bezeichnet T_1 die Temperatur des wärmeren und T_2 die Temperatur des kälteren Reservoirs. Dies bezieht sich jedoch auf die idealisierten Umstände. In der Realität nimmt diese Gleichung auf Grund von Verlusten folgende Gestalt an:

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

Damit folgt für die Gütezahl ν_r einer realen Wärmepumpe:

$$\nu_r < \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad (2)$$

Eine große Gütezahl ν bedeutet dabei, dass nur eine geringe Arbeit A geleistet werden muss, um eine gewünschte Wärmemenge Q_2 aus dem entsprechenden Reservoir zu entnehmen. Dabei kann die zugeführte Arbeit A viel kleiner sein als die beförderte Energie $Q_{1,\text{rev}}$. Dies stellt den großen Vorteil der Wärmepumpe dar, denn bei mechanischen Wärmegewinnungsverfahren ist die erlangte Wärmemenge $Q_{1,\text{direkt}}$ höchstens so groß wie die Arbeit A :

$$\begin{aligned} Q_{1,\text{direkt}} &\leq A, \\ Q_{1,\text{rev}} &\leq \frac{T_1}{T_1 - T_2} A. \end{aligned}$$

2 Aufbau der Wärmepumpe

Im Folgenden wird der Aufbau einer Wärmepumpe erläutert. Abbildung 1 skizziert den Aufbau der hier verwendeten Apparatur.

Um eine Wärmepumpe zu realisieren, benutzt man zunächst als Transportmedium ein Gas, das beim Verdampfen Wärme aufnimmt und diese beim Kondensieren wieder abgibt. Die beiden Wärmereservoirs sind durch Rohre verbunden, in denen das Gas fließen kann. Es wird durch einen Kompressor zwischen den Reservoirs bewegt.

Ein Drosselventil sorgt dafür, dass sich auf einer Seite des Ventils ein Druck p_b aufbaut. Auf dieser Seite befindet sich das zu wärmende Reservoir 1, welches die Temperatur T_1 besitzt.

Am Ventil fällt der Druck ab, sodass auf der Seite von Reservoir 2 (mit Temperatur T_2) ein geringerer Druck p_a herrscht.

Mit der Durchlässigkeit des Ventils lassen sich die beiden Drücke p_a und p_b so steuern, dass das Transportmedium im Reservoir 2 in den gasförmigen Zustand wechselt und dabei die Wärmemenge Q_2 aufnimmt.

Das aufgewärmte Gas wird dann durch den Kompressor in den Bereich des höheren Druckes p_b gepresst. Wenn es dort durch Reservoir 1 geleitet wird, kondensiert es, wobei die zuvor aufgenommene Wärmemenge Q_2 wieder abgegeben wird. Das Medium durchläuft anschließend das Drosselventil und der Prozess beginnt von Neuem.

Somit wird dem Reservoir 1 sukzessive Wärme aus Reservoir 2 zugeführt.

Die Drücke p_a und p_b lassen sich beim hier verwendeten Aufbau durch Manometer ablesen. Jedes Reservoir besteht aus einem thermisch isolierten Wasserbehälter, dessen Wassertemperatur mit Hilfe von Thermometern abgelesen werden kann. Zudem sorgen Rührmotoren für eine ständige Durchmischung des Wassers.

Die Leistung des Kompressors kann ebenfalls mittels eines Wattmeters abgelesen werden.

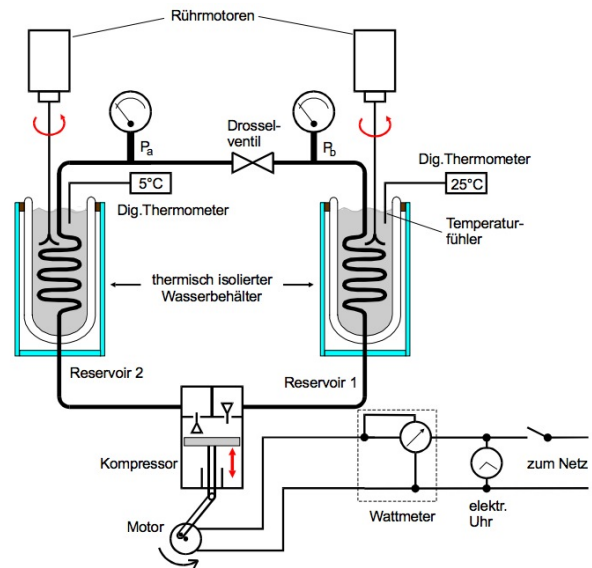


Abbildung 1: Schemenhafter Aufbau der verwendeten Wärmepumpe

3 Durchführung

Zunächst werden die Wasserbehälter mit einer bestimmten Wassermenge m gefüllt. Der Kompressor wird eingeschaltet und es werden die Werte der Drücke p_a und p_b , die Temperaturen T_1 und T_2 , sowie die Leistungsaufnahme W des Kompressors in Abhängigkeit von der Zeit t gemessen. Beim hier verwendeten Gas handelt es sich um Dichlordifluormethan.

Aus den Messdaten soll dann die reale Gütezahl ν bestimmt werden. Mit Hilfe des Differenzenquotienten der Temperatur T_1 zur Zeit t lässt sich ν durch Ausgleichsrechnung ermitteln. Es gilt

$$\nu = (m_1 c_W + m_k c_k) \frac{\Delta T_1}{\Delta t} \frac{1}{W}, \quad (3)$$

wobei $m_1 c_W$ die Wärmekapazität des Wassers, $M_k c_k$ die Wärmekapazität des Gefäßes mit Kupferrohr und W die zeitlich gemittelte Leistung des Kompressors bezeichnet.

Anschließend wird der Massendurchsatz $\Delta m / \Delta t$ des Transportmediums berechnet. Bei der Verdampfung des Mediums wird pro Zeit und Masse die Verdampfungswärme L verbraucht und es gilt

$$(m_2 c_W + m_k c_k) \frac{\Delta T_2}{\Delta t} = L \frac{\Delta m}{\Delta t}. \quad (4)$$

Schließlich soll die mechanische Kompressorleistung W_m bestimmt werden. Durch Integration des Druckes im Kompressor und Hinzunahme der Poissonschen Gleichung lässt sich diese bestimmen. Mit κ , dem Verhältnis der Molwärmen c_p und c_v sowie ρ , der Dichte des Transportmediums gilt

$$W_m = \frac{1}{\kappa - 1} \left[p_b \left(\frac{p_a}{p_b} \right)^{\frac{1}{\kappa}} - p_a \right] \frac{1}{\rho} \frac{\Delta m}{\Delta t}. \quad (5)$$

4 Auswertung

5 Diskussion

Literatur

- [1] Physikalisches Anfängerpraktikum der TU Dortmund: Versuch V206 - Die Wärmepumpe. <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V206.pdf>. Stand: Juli 2013.