

# **V206 - Die Wärmepumpe**

Jan Herdieckerhoff  
jan.herdieckerhoff@tu-dortmund.de

Karina Overhoff  
karina.overhoff@tu-dortmund.de

Durchführung: 18.12.2018, Abgabe: 08.01.2018

TU Dortmund – Fakultät Physik

## **Inhaltsverzeichnis**

# 1 Ziel

Die Funktionsweise und das physikalische Verhalten einer Wärmepumpe soll bei diesem Versuch übermittelt werden.

## 2 Theorie

### 2.1 Theoretische Grundlagen einer Wärmepumpe

Die thermische Energie geht in einem abgeschlossenen System immer vom heißeren zum kälteren Körper über. Es ist möglich, die Richtung des Wärmeflusses mit der Aufwendung zusätzlicher Energie umzukehren. Eine Vorrichtung, die diesen Prozess durchführt, ist eine sogenannte Wärmepumpe.

Das Verhältnis aus der transportierten Wärmemenge und der dafür aufgebrauchten Arbeit nennt man Gütezahl  $\nu$  der Wärmepumpe. Aus dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik lässt sich ableiten, dass sich die abgegebene Wärmemenge  $Q_1$  aus der Summe der entnommenen Wärmemenge  $Q_2$  und der aufgewandten Energie  $W$  bestimmt. Somit gilt

$$Q_1 = Q_2 + W.$$

Die Gütezahl ergibt sich zu

$$\nu = \frac{Q_1}{W}.$$

Aus dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik ergibt sich, dass zwischen den Wärmemengen  $Q_1$  und  $Q_2$  und den Temperaturen  $T_1$  und  $T_2$  in einem idealen System folgende Beziehung besteht:

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

Für die Richtigkeit dieser Gleichung muss aber die Voraussetzung gelten, dass der Prozess der Wärmeübertragung reversibel, also umkehrbar, ist.

Aus diesen Gleichungen folgt, dass

$$Q_1 = W + \frac{T_2}{T_1} Q_1$$

gilt und sich die Gütezahl  $\nu$  zu folgender Gleichung ergibt:

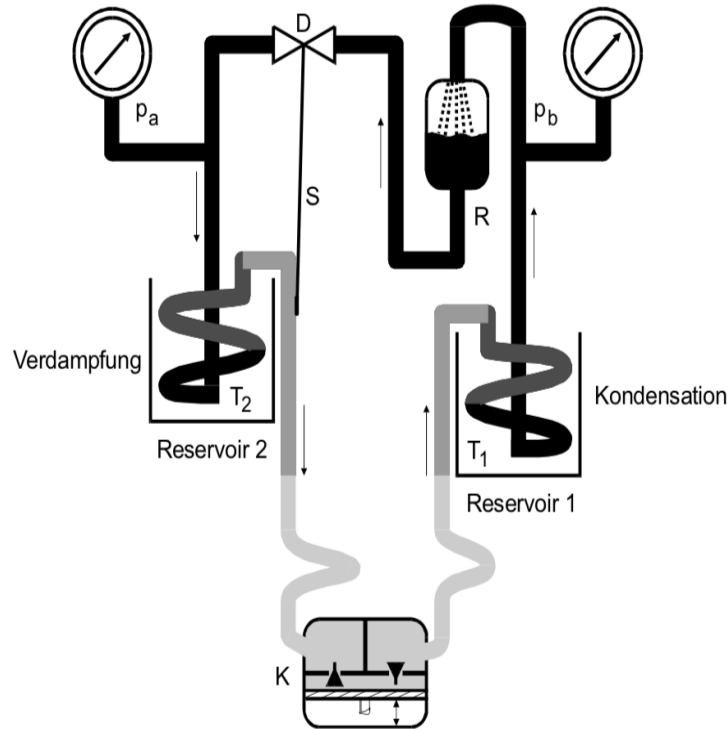
$$\nu_{id} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}. \quad (1)$$

Dies gilt aber nur im Idealfall. Für die reale Wärmepumpe gilt die Ungleichung:

$$\nu_{real} < \frac{T_1}{T_1 - T_2}.$$

## 2.2 Funktionsweise einer Wärmepumpe

Die Wärme wird innerhalb der Pumpe als Phasenumwandlungsenergie eines Gases transportiert, das beim Verdampfen Wärme aufnimmt und bei der Verflüssigung wieder abgibt. Der schematische Aufbau der hier verwendeten Apparatur ist in Abb. 1 zu erkennen.



**Abbildung 1:** Schematischer Aufbau einer Wärmepumpe. Der Druck  $p_b$  und die Temperatur  $T_1$  beziehen sich auf das Reservoir 1. Der Druck  $p_a$  und die Temperatur  $T_2$  beziehen sich auf das Reservoir 2.  $p_b$  und  $T_1$  sind jeweils größer als die anderen Werte.

## 2.3 Bestimmung der Güteziffer

Aus dem Quotienten aus  $\Delta T_1$  und  $\Delta t$  ergibt sich die pro Zeiteinheit gewonnene Wärmemenge zu

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

$m_1 c_w$  ist dabei die Wärmekapazität des Wassers in Reservoir 1.  $m_k c_k$  ist die Wärmekapazität der Kupferschlange und des Eimers. Für die Güteziffer ergibt sich dann mit  $N$  als die vom Wattmeter angezeigte und über das Zeitintervall  $\Delta t$  gemittelte Leistungsaufnahme des Kompressors:

$$\nu = \frac{\Delta Q_1}{\Delta t \cdot N} = \frac{(m_1 c_w + m_k c_k)}{N} \frac{\Delta T_1}{\Delta t}. \quad (2)$$

## 2.4 Bestimmung des Massendurchsatzes

Für  $Q_2$  lässt sich die Gleichung ?? analog anwenden. Für die Wärmeentnahme durch Verdampfung des Transportmediums wird pro Massen- und Zeiteinheit die Verdampfungswärme  $L$  verbraucht:

$$\frac{\Delta Q_2}{\Delta t} = L \frac{\Delta m}{\Delta t}.$$

Der Massendurchsatz wird also durch

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta t \cdot L} \quad (3)$$

bestimmt.

## 2.5 Bestimmung der mechanischen Kompressorleistung

Die mechanische Kompressorleistung  $N_{mech}$  ergibt sich zu

$$N_{mech} = \frac{1}{\kappa - 1} (p_b \sqrt[\kappa]{\frac{p_a}{p_b}} - p_a) \frac{1}{\rho} \frac{\Delta m}{\Delta t}. \quad (4)$$

Dabei ist  $\kappa$  das Verhältnis der Molwärmen  $C_P$  und  $C_V$ .  $\rho$  ist die Dichte des Transportmediums im gasförmigen Zustand. Diese wird bestimmt durch

$$\rho = \frac{p_a}{p_0} \frac{T_0}{T_2} \rho_0.$$

Die Normalbedingungen lauten  $p_0 = 10^5$  Pa und  $T_0 = 273,15$  K.

## 3 Fehlerrechnung

$$\sqrt{\frac{T^2 c_w^2 \sigma_{m_1}^2}{N^2 t^2} + \frac{T^2 \sigma_t^2}{N^2 t^4} (c_k m_k + c_w m_1)^2 + \frac{\sigma_T^2}{N^2 t^2} (c_k m_k + c_w m_1)^2 + \frac{T^2 \sigma_N^2}{N^4 t^2} (c_k m_k + c_w m_1)^2}$$

## 4 Durchführung

Die Reservoirs der in Abb. ?? dargestellten Apparatur werden jeweils mit einer Wassermenge von 3 L aufgefüllt. Anschließend werden die Temperaturen  $T_1$  und  $T_2$  in den Reservoirs, die Drücke  $p_a$  und  $p_b$  im Verdampfungs- bzw. Verflüssigungsbereich und die Leistungsaufnahme des Kompressors gemessen. Der Zeittakt beträgt dabei eine Minute. Die Messung wird abgebrochen, sobald  $T_1$  einen Wert von ca. 50 °C erreicht hat.