

# **Versuch 206**

## **Die Wärmepumpe**

Jonah Nitschke  
lejonah@web.de

Sebastian Pape  
sepa@gmx.de

Durchführung: 15.11.2016

Abgabe: 22.11.2016

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
2.1	Bestimmung der realen Güteziffer $\nu$ . . . . .	4
2.2	Bestimmung des Massendurchsatzes . . . . .	4
2.3	Bestimmung der mechanischen Kompressorleistung $N_{mech}$ . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Aufbau und Durchführung</b>	<b>5</b>
3.1	Aufbau . . . . .	5
3.2	Durchführung . . . . .	6
3.3	Messwerte . . . . .	7

# 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 warmem 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  $\nu$  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:

$$\nu_{id} = \frac{Q_1}{A} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad (6)$$

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

Die Gleichungen (6) und (7) 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 Güteziffer $\nu$

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

$$\frac{\Delta Q_1}{\Delta t} = (m_1 c_w + m_k c_k) \frac{\Delta T_1}{\Delta t} \quad (8)$$

$$\nu = \frac{\Delta Q_1}{\Delta t N} \quad (9)$$

$m_1 c_w$  und  $m_k c_k$  entsprechen dabei den Wärmekapazitäten der Kupferschlange und des Eimers. Für die Güteziffer 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  $\Delta m$  berechnet werden:

$$\frac{\Delta Q_2}{\Delta t} = (m_2 c_w + m_k c_k) \frac{\Delta T_2}{\Delta t} \quad (10)$$

$$\frac{\Delta Q_2}{\Delta t} = L \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (11)$$

## 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:

$$A_m = \frac{1}{\kappa - 1} \left( p_b \sqrt[\kappa]{\frac{p_a}{p_b}} - p_a \right) V_a \quad (12)$$

Für den Kompressor wird nun näherungsweise angenommen, dass es sich um eine adiabatische Komprimierung handelt, sodass die Poisson-Gleichung als Zusammenhang zwischen Druck und Volumen gilt:

$$p_a V_a^\kappa = p_b V_b^\kappa = p V^\kappa. \quad (13)$$

Mit der Dichte  $\rho$  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. Grundlegend sind zwei thermisch isolierte Reservoirs mit einer festgelegten Wassermenge. Durch beide Reservoirs läuft ein Kupferrohr, in dem sich das Gas Dichlodifluormethan befindet. Der Kompressor erzeugt mithilfe der eingebrachten Leistung  $L$  in beiden Hälften unterschiedliche Drücke, indem er das Gas "adiabatisch" komprimiert. Das anfangs kondensierte Gas durchströmt zuerst das Kupferrohr in Reservoir 2 und verdampft unter dem dort herrschenden Druck  $p_a$  bei der Temperatur  $T_2$ . Dabei entzieht es dem Reservoir die Verdampfungswärme und wird danach weiter zum Kompressor geleitet. Dort wird es solange komprimiert, bis der Druck  $p_b$  im Reservoir 1 hoch genug ist, um das Gas bei der Temperatur  $T_1$  kondensieren zu lassen. Die entstehende Kondensationswärme wird dort ans Wasser abgegeben, sodass dieses sich erhitzt. In einem nachgeschalteten Reiniger wird die Flüssigkeit von Gasresten getrennt, um eine blasenfreie Flüssigkeitszufuhr zum folgenden Drosselventil zu gewährleisten. Damit in den Kompressor keine Flüssigkeitsreste gelangen, wird eine Steuervorrichtung angebracht, welche über die Temperaturdifferenz zwischen Ausgang und Eingang des Kompressors die Flüssigkeitszufuhr steuert um eine eventuell zu niedrige Verdampfungsrate in Reservoir 2 auszugleichen.

### 3.2 Durchführung

Am Anfang des Experimentes werden die beiden Reservoirs mithilfe eines Messkolbens mit 4 Litern Wasser befüllt. Nach Einbau der beiden Reservoirs in die Apparatur werden Rührstäbe und Kompressor eingeschaltet. Um die beiden Reservoirs optimal anzudichten, werden unter die beiden Behälter noch Holzkeile geschoben. Nun werden im Abstand von einer Minute die verschiedenen Drücke und Temperaturen von Reservoir 2  $[p_a, T_2]$  und Reservoir 1  $[p_b, T_1]$ , sowie die durch den Kompressor eingebrachte Leistung  $L$  gemessen und notiert. Bei dem Druck wird dabei die innere schwarze Skala abgelesen und am Ende wird bei allen Werten noch 1 bar hinzuaddiert. Sobald die Temperatur im Reservoir 2 die 50 °C Marke erreicht, wird der Kompressor wieder ausgeschaltet.

### 3.3 Messwerte

Tabelle 1: Messwerte des Versuchs

$\Delta t$	$T_2$	$p_a$	$T_1$	$p_b$	$L$
1	21.4	3.3	21.6	5.0	115
2	20.5	3.6	22.8	5.2	120
3	19.3	3.7	24.0	5.4	125
4	18.1	3.86	25.3	5.9	125
5	17.1	3.8	26.7	6.0	127
6	16.2	3.7	28.0	6.1	126
7	15.4	3.6	29.2	6.5	125
8	14.6	3.5	30.5	6.8	124
9	13.9	3.4	31.7	7.0	123
10	13.2	3.3	33.9	7.1	123
11	12.5	3.2	34.0	7.2	122
12	11.8	3.1	35.1	7.6	121
13	11.1	3.0	36.1	7.9	121
14	10.4	3.0	37.1	8.0	122
15	9.80	2.9	38.1	8.1	121
16	9.20	2.8	39.0	8.3	123
17	8.60	2.8	40.0	8.7	124
18	8.00	2.78	40.9	8.9	125
19	7.50	2.7	41.8	9.1	125
20	7.10	2.7	42.6	9.2	125
21	6.60	2.6	43.4	9.5	125
22	6.20	2.6	44.2	9.8	125
23	5.80	2.6	45.0	9.9	125
24	5.40	2.57	45.8	10.0	125
25	5.00	2.57	46.5	10.2	125
26	4.70	2.5	47.3	10.5	125
27	4.40	2.5	47.9	10.7	125
28	4.10	2.5	48.6	10.9	125
29	3.80	2.5	49.3	11.0	125
30	3.60	2.4	50.0	11.1	125

$\Delta t$  in min., T in °C, L in Watt, p in bar