

## 2.7 Wirkungsgrad einer Wärmepumpe

### 1 Theorie und Aufbau

Unter *idealen, thermodynamischen Maschinen* versteht man periodisch arbeitende Maschinen, die unter Aufwand oder Gewinn von mechanischer Arbeit, Energie in Form von Wärme zwischen zwei Wärmebädern transportieren. Eine *Wärmekraftmaschine* entnimmt einem Wärmebad höherer Temperatur Wärme und wandelt einen Teil in mechanische Arbeit (Abb. 1). Nach der *Kelvinschen Aussage* bleibt jedoch stets ein Rest Wärme, der an ein Wärmebad geringerer Temperatur abgegeben werden muss (*2. Hauptsatz der Thermodynamik*). Der maximal erreichbare Leistungsgrad einer Wärmekraftmaschine ist der des *Carnotschen Kreisprozesses*.

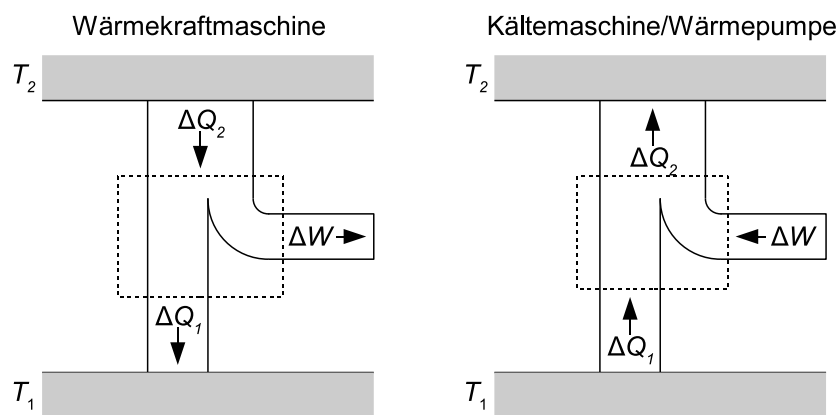


Abbildung 1: ideale Wärmekraftmaschine und Wärmepumpe

Eine Maschine, die Energie von einem Wärmebad geringerer Temperatur zu einem Wärmebad höherer Temperatur transportiert bezeichnet man aus Sicht des ersten Wärmebades als *Kältemaschine* und aus Sicht des zweiten als *Wärmepumpe*. Wärmepumpen funktionieren meist nach folgendem Prinzip: Auf der *Verdampferseite* wird das flüssige Betriebsmittel der Wärmepumpe durch Herabsetzen des Druckes zum Verdampfen gezwungen. Die hierzu nötige Verdampfungswärme wird der Umgebung entnommen, so dass es zu einer Temperaturerniedrigung kommt. Das nun gasförmige Betriebsmittel wird durch einen Kompressor abgesaugt und unter Erhöhung des Druckes auf die Verflüssigerseite transportiert. Der Druck ist hier derart dass das Betriebsmittel kondensiert. Die hierbei wieder abgegebene Verdampfungswärme führt zu einer Erwärmung.

### 2 Aufbau

Die hier verwendeten Messgeräte und die Wärmepumpe sind gemäß Abbildung 2 aufgebaut. Die Funktionsweise der Wärmepumpe ist in einer am Versuchsplatz ausliegenden Beschreibung ausführlich dargestellt. Die Wärmepumpe entzieht dem linken Wasserreservoir in einem Zeitraum  $\Delta t$  die Wärmemenge  $\Delta Q_1$  und führt sie dem rechten Wasserreservoir  $\Delta Q_2$  zu. Da die Reservoirs in ihrer Masse begrenzt sind, führt dies zu einer Temperaturänderung  $\Delta T_1$  bzw.  $\Delta T_2$ . Für die vom rechten Wasserreservoir aufgenommene Wärmeleistung

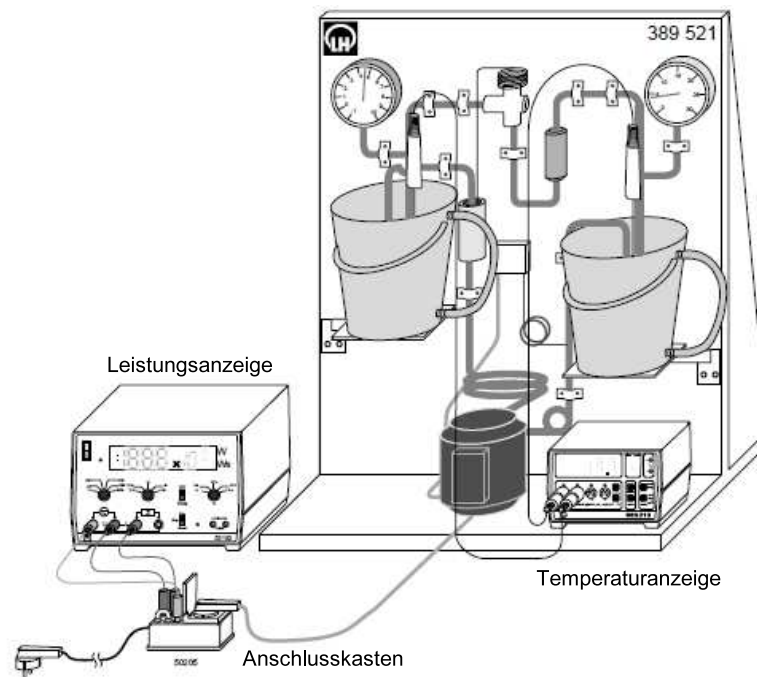


Abbildung 2: Versuchsaufbau der Wärmepumpe mit Messgeräten

$\Delta Q_2 / \Delta t$  gilt:

$$\frac{\Delta Q_2}{\Delta t} = \frac{\Delta T_2}{\Delta t} \cdot m \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \quad (1)$$

$m$  – Masse des Reservoirs  
 $c_{\text{H}_2\text{O}}$  – spezifische Wärme des Wassers

Die Leistungszahl  $\varepsilon$  der Wärmepumpe ist definiert als

$$\varepsilon = \frac{\Delta Q_2}{P \cdot \Delta t}, \quad (2)$$

und damit ein Maß für die transportierte Energie pro aufgewendeter Energieeinheit.  $P$  ist hierbei die Leistung des Kompressors.

### 3 Durchführung

Vor den eigentlichen Messungen muss die Wärmepumpe warmlaufen. Gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Trennen Sie die Wärmepumpe durch Ziehen des Kompressor-Steckers am Anschlusskasten vom Netz. Füllen Sie beide Wasserbehälter bis zur 4l-Marke und bringen Sie sie in die Versuchsposition.
2. Verbinden Sie den Kompressor wieder mit dem Anschlusskasten, und lassen Sie die Wärmepumpe ca. 10min warmlaufen.
3. Trennen Sie die Wärmepumpe wieder vom Netz und tauschen sie das Wasser in beiden Behältern aus.

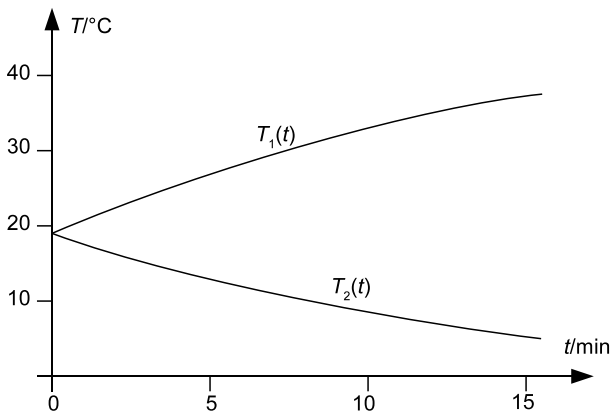


Abbildung 3: Beispiel für die zeitliche Änderung der Temperaturen  $T_1$  und  $T_2$

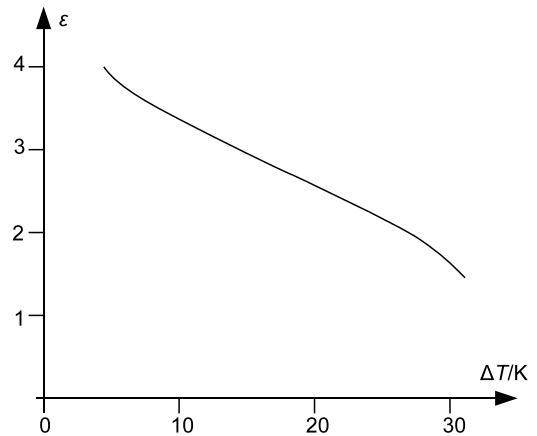


Abbildung 4: Beispiel für  $\epsilon$  als Funktion von  $\Delta T$

### 3.1 Bestimmung der Leistungszahl

Die Leistungszahl  $\epsilon$  kann nur größer als Eins sein, wenn durch das Kältemittel Wärme von der Verdampfer- auf die Verflüssigerseite transportiert wird. Im ersten Versuchsteil soll untersucht werden, wie wichtig der Wärmenachschub auf der Verdampferseite für  $\epsilon$  ist. Dazu wird der Einfluss der Temperaturdifferenz  $\Delta T = T_2 - T_1$  auf die Leistungszahl bestimmt.

#### Aufgaben:

1. Füllen Sie beide Behälter mit ca. 5l Wasser gleicher Starttemperatur  $T_1 = T_2$ .
2. Notieren Sie, nachdem Sie die Wärmepumpe angeschlossen und in Betrieb genommen haben, über einen Zeitraum von ca. 15 min alle 30s die Temperatur  $T_1$  des Kaltwasserbehälters, die Temperatur  $T_2$  des Warmwasserbehälters sowie die Leistung  $P$  des Kompressors. Während des gesamten Versuches ist das Wasser in den Behältern langsam aber kontinuierlich umzurühren!
3. Tragen Sie  $T_1$  und  $T_2$  in einem gemeinsamen Diagramm über der Zeit auf, und legen Sie „per Hand“ glatte Kurven durch ihre Messwerte (Abb. 3).
4. Bestimmen Sie grafisch durch Bildung der Differenzenquotienten  $(T_2(t + \Delta t) - T_2(t))/\Delta t$  die Steigung  $\Delta T_2/\Delta t$  von  $T_2$ . Wählen Sie hierbei  $\Delta t \approx 3$  min. Ermitteln Sie aus den gewonnenen Steigungen und den Werten

$$m = 5 \text{ kg}$$

$$c_{\text{H}_2\text{O}} = 4,19 \cdot 10^3 \text{ Jkg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

die Leistungszahl  $\epsilon$  gemäß Gleichung (2) und tragen Sie sie als Funktion von  $\Delta T = T_2 - T_1$  auf (Abb. 4). Ordnen Sie hierbei die  $\epsilon$ -Werte dem Mittelpunkt des Intervalles zu, in dem Sie die entsprechende Steigung gewonnen haben.

### 3.2 Bestimmung der Leistungszahl bei konstantem $T_1$

Nähere Untersuchungen, bei denen z.B. durch Zumischung von Wasser  $T_1$  oder  $T_2$  konstant gehalten wird, zeigen, dass vor allem die Erniedrigung von  $T_1$  für das Absinken von  $\epsilon$  verantwortlich ist. Im zweiten Teil des Versuches soll daher die  $\Delta T$ -Abhängigkeit von  $\epsilon$  bei möglichst konstantem  $T_1$  untersucht werden.

**Aufgaben:**

1. Füllen Sie beide Behälter mit 5l gleichwarmen Wasser.
2. Nehmen Sie die Wasserstrahlpumpe in Betrieb (Hahn ganz aufdrehen) und führen Sie über den unteren Zulauf gerade soviel Leitungswasser zu, wie nötig ist den Wasserstand konstant zu halten.
3. Bestimmen Sie nun wie ersten Versuchsteil  $\epsilon$  in Abhängigkeit von  $\Delta T$  und stellen sie grafisch dar.
4. Diskutieren Sie die Messergebnisse aus beiden Versuchsteilen!

**Literatur:**

Bergmann-Schaefer, Physik Band I, Mechanik, Akustik, Wärme  
Gerthsen Physik, Kap. 5.3

9.2010/Ra