

W8 Wärmepumpe

Physikalische Grundlagen

Die Wärmepumpe ist eine periodisch arbeitende Maschine, die es unter Aufwand von mechanischer Arbeit ermöglicht, eine bestimmte Wärmemenge einem Reservoir (Quelle) mit der niedrigen Temperatur T_Q zu entziehen und in ein anderes Reservoir (Senke), das sich auf der höheren Temperatur T_S befindet, zu transportieren.

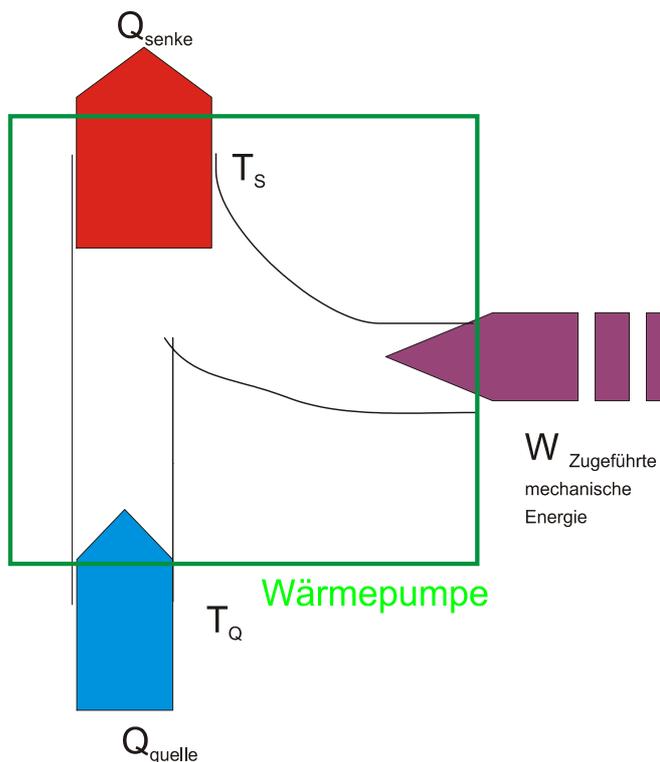


Abb. 1 Energieflussdiagramm Wärmepumpe

Entsprechend Abbildung 1 wird dem Behälter mit der niedrigen Temperatur T_Q durch die Wärmepumpe unter Aufwendung von mechanischer Arbeit W die Wärmemenge Q_Q entnommen. Beide Energien fließen als Wärmemenge $Q_S = Q_Q + W$ in das Wärmereservoir mit der hohen Temperatur T_S . Als charakteristische Kenngröße für die Güte einer Wärmepumpe führt man die Leistungszahl ε ein. Sie ist definiert als Verhältnis von Nutzenergie, d.h. der von der Senke aufgenommenen Wärmeenergie ΔQ_S zur aufgewandten mechanischen Arbeit W , wobei in der Regel die mechanische Arbeit im

Zeitintervall Δt von einem Kompressor mit der elektrischen Leistung P_{el} verrichtet wird.

$$\varepsilon = \frac{\Delta Q_S}{W} = \frac{\Delta Q_S}{P_{el} \Delta t} \quad (1)$$

Die Leistungszahl ε hängt u.a. von der Temperatur in den Reservoirs, der Umgebungstemperatur sowie von der Verteilung des Kältemittels in der Wärmepumpe ab. Die Reservoirs sind bei unserem Versuch (Wasser-Wasser-Wärmepumpe) mit Wasser gefüllte Behälter mit den Kenngrößen Masse des Wassers m , spezifische Wärmekapazität des Wassers c sowie der Wärmekapazität C des Behälters und des Wärmetauschers, womit sich die zu- oder abgeführte Wärmemenge nach der kalorischen Gleichung

$$\Delta Q = (cm + C)\Delta T \quad (2)$$

berechnet.

Im Falle einer Luft-Wasser-Wärmepumpe ist die Quelle von Luft umgeben.

In Abbildung 2 ist das Schaltbild der Kompressionswärmepumpe dargestellt.

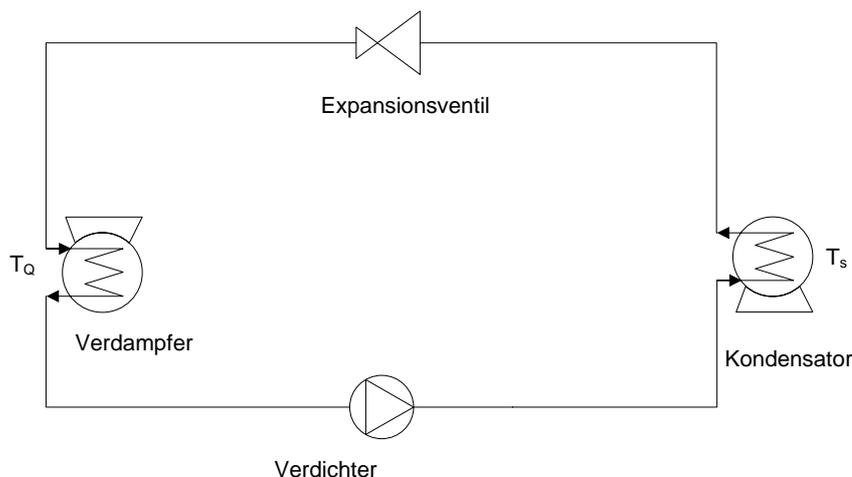


Abb. 2 Funktion der Kompressionswärmepumpe

Das gasförmige Arbeitsmittel (Kältemittel) wird vom Kompressor angesaugt und komprimiert. Dabei erhöhen sich der Druck und die Temperatur des Dampfes. Im Verflüssiger kühlt es sich unter Abgabe von Wärme auf Kondensationstemperatur ab. Danach erfolgt unter Abgabe von Kondensationswärme die Verflüssigung. Das Wasserreservoir der Senke wird erwärmt. Nach dem Kondensator gelangt das flüssige Kältemittel zum Drosselventil, welches den notwendigen Druckabfall zwischen Kondensator und Verdampfer aufrecht erhält.

Das Drosselventil wird auch als Expansionsventil bezeichnet und lässt vom Kältemittel nur soviel in den Verdampfer fließen wie dort vollständig verdampfen kann.

Die beim Sieden und Verdampfen des Kältemittels aufgenommene Wärmemenge führt zur Abkühlung des Verdampfers bzw. des ihn umgebenden Reservoirs (Quelle). Anschließend erreicht das Kältemittel wieder den Kompressor, wodurch der Kreisprozess geschlossen wird.

Manometer auf der Niederdruck- und auf der Hochdruckseite der Wärmepumpe ermöglichen die Messung des Druckes im Arbeitsmittel.

Versuchsvorbereitung

- Zustandsänderungen von Gasen, rechts- und linksläufige Kreisprozesse
- kalorische Grundgleichung, Phasenänderungen von Stoffen
- Zeichnen Sie für einen linksläufigen Carnot – Prozess das p-V-Diagramm
- Erklären Sie die prinzipiellen Unterschiede zwischen Wärmekraftmaschine, Wärmepumpe und Kältemaschine anhand von Energieflussschemen. Was ist der Nutzen bei einer Kältemaschine im Unterschied zu einer Wärmepumpe?

Aufgaben

1. Ermitteln Sie die Leistungszahl der Wärmepumpe bei einem Betrieb als Wasser-Wasser-Wärmepumpe über den gesamten Versuchszeitraum. Skizzieren Sie den Verlauf der Temperaturen von Quelle und Senke.
2. Ermitteln Sie für den gleichen Versuchszeitraum die Leistungszahl für den Betrieb als Kältemaschine.
3. Unterteilen Sie den gesamten Versuchszeitraum in 3 äquidistante Messperioden. Berechnen Sie für jede Periode die jeweiligen Leistungszahlen beim Betrieb als Wärmepumpe und die Temperaturdifferenz zwischen Quelle und Senke. Skizzieren Sie für die drei Wertepaare die Funktion $\varepsilon = f(\Delta T)$.
4. Berechnen Sie den absoluten und relativen Fehler für die Ermittlung der Leistungszahl der Wärmepumpe beim Betrieb als Wasser-Wasser-Wärmepumpe (also Aufgabe 1). Der Fehler der spezifischen Wärmekapazität von Wasser, der Wärmekapazität der Senke und der Wassermenge soll dabei vernachlässigt werden. Der systematische Fehler der Differenztemperaturmessung soll mit 0,25K angenommen werden. Der systematische Fehler der Energiemessung beträgt 3%.