

W 10 Wärmepumpe

1 Aufgabenstellung

Wasser-Wasser-Wärmepumpe

- 1.1 Die Temperaturen T_1 und T_2 des Kalt- und Warmwasser-Reservoirs und die Kompressor-Wirkleistung sind in Zeitabständen von 2 min zu messen, die Temperaturen sind in Abhängigkeit von der Betriebsdauer der Wärmepumpe graphisch darzustellen. In Zeitabständen von 5 min, zu Beginn und am Ende der Betriebszeit sind außerdem Verdampfer- und Verflüssiger-Überdruck p_1 und p_2 sowie die Temperatur T_{1a} am Ausgang des Verdampfers zu registrieren.
- 1.2 Aus den Messergebnissen von 1.1 ist der Wärmestrom zum Verflüssiger zu unterschiedlichen Zeitpunkten zu berechnen; daraus sind die Leistungszahl und der exergetische Wirkungsgrad (Carnotscher Gütegrad) der Wärmepumpe als Funktionen der Temperaturdifferenz ΔT zwischen den Reservoirs zu ermitteln und geglättet graphisch darzustellen.
- 1.3 Der Prozessverlauf gegen Ende der Betriebsdauer der Wärmepumpe ist im $\lg p, h$ - Diagramm maßstabsge-
recht darzustellen, die theoretische Leistungszahl der Wärmepumpe ist zu berechnen und dem experimentell
bestimmten Wert gegenüberzustellen.

Luft-Wasser-Wärmepumpe

- 1.4 Wenn die (zu messende) Temperatur T_{1a} am Ausgang des Verdampfers und der Druck p_1 nicht weiter sin-
ken, sind die Temperaturänderung des Warmwasser-Reservoirs T_2 und die verbrauchte Elektroenergie in ei-
nem vorgegebenen Zeitintervall von 5 ... 15 min für zwei der nachfolgend genannten Arbeitsregimes der
Luft-Wasser-Wärmepumpe zu messen:
 - ① Verdampfer in ruhender Raumluft
 - ② Kühlung des Verdampfers im Kaltluftstrom
 - ③ Heizung des Verdampfers im Heißluftstrom.
- 1.5 Aus den Messergebnissen von 1.4 sind der mittlere Wärmestrom zum Verflüssiger und die Leistungszahl
der Wärmepumpe für die beiden Arbeitsregimes zu berechnen und mit den Ergebnissen von 1.2 zu verglei-
chen.

2 Literatur

- 2.1 Baehr, H.D. Thermodynamik
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg
8. Auflage 1992, S. 385 - 390, 397 - 400
- 2.2 Bukau, F. Wärmepumpen-Technik
R. Oldenbourg Verlag München, Wien
1. Auflage 1983, S. 24 - 74
- 2.3 Bergmann, L.,
Schaefer, Cl.,
Gobrecht, H. Lehrbuch der Experimentalphysik Band I
Mechanik, Akustik, Wärme
Walter de Gruyter Berlin, New York
10. Auflage 1990, S. 710 - 717, 804 - 807, 814 - 815
- 2.4 Stroppe, H. Physik
Fachbuchverlag Leipzig, Köln
10. Auflage 1994, S. 147 - 150, 164 - 168, 179 - 181

und andere Lehrbücher der Experimentalphysik

3 Hinweise zum Versuch

3.1 Hinweise zum Betrieb der Wasser-Wasser-Wärmepumpe:

- ⇒ Die Anfangstemperatur des Wassers auf der Verdampferseite sollte bei $\approx 20^\circ\text{C}$ und nicht über der auf der Verflüssigerseite liegen!
- ⇒ Die Wärmeaustauscher müssen von Wasser bedeckt sein, die Wassermengen (ca. 4 l) werden volumetrisch bestimmt. Während des Betriebs der Wärmepumpe ist das Wasser in beiden Behältern langsam, aber kontinuierlich **umzurühren**.
- ⇒ Zur Messung der Kompressorleistung wird am Leistungsmesser die Funktion "W" angewählt, es kann jedoch auch der **Energieverbrauch** (Funktion "Ws") gemessen werden.
- ⇒ Vor Inbetriebnahme der Wärmepumpe sind die Temperaturen und Drücke (Ableseung an der inneren Manometerskala) zu registrieren.
- ⇒ Die Temperaturfühler sind in ihren Halterungen zu belassen. Zur Temperaturmessung am Kupferrohr ist der Fühler mit Wärmeleitpaste in die Bohrung des Kupfer-Meßschuhs eingesetzt.
- ⇒ Die Messbetriebszeit der Wärmepumpe liegt bei 20 ... 25 min; die Warmwassertemperatur darf 55°C nicht übersteigen!

3.2 Der Wärmestrom \dot{Q} wird aus der Temperaturänderung im Zeitintervall $\Delta t = 2$ min oder aus dem Anstieg der Temperatur-Zeit-Kurve bestimmt. Die Wärmekapazität des Wasserbehälters einschließlich des Wärmeaustauschers und Rührers liegt bei $K = (920 \pm 200)$ J/K.

Aus \dot{Q} und der Antriebsleistung P errechnet sich die Leistungszahl ε (auch Gütezahl) der Wärmepumpe. Der exergetische Wirkungsgrad ζ (auch Carnotscher Gütegrad genannt) ist das Verhältnis von ε und der Leistungszahl ε_{rev} einer reversiblen (Carnot-)Wärmepumpe. Die Kurven $\varepsilon = f(\Delta T)$ und $\zeta = f(\Delta T)$ sind graphisch oder rechnerisch zu **glätten**.

3.3 Der idealisierte Kreisprozess einer Kompressions-Wärmepumpe im p, V - Diagramm ist schematisch in Bild 1a dargestellt. In der Technik verbreiteter und nützlicher ist die Darstellung im $\lg p, h$ - (Mollier-)Diagramm (h - spezifische Enthalpie), da sich (bei Kenntnis der Temperaturen und Absolutdrücke) daraus die spezifischen Wärmemengen q_1 und q_2 sowie die spezifische Arbeit w unmittelbar entnehmen (siehe Bild 1b) und damit die theoretischen Leistungsfaktoren der Wärmepumpe und auch der Kältemaschine berechnen lassen.

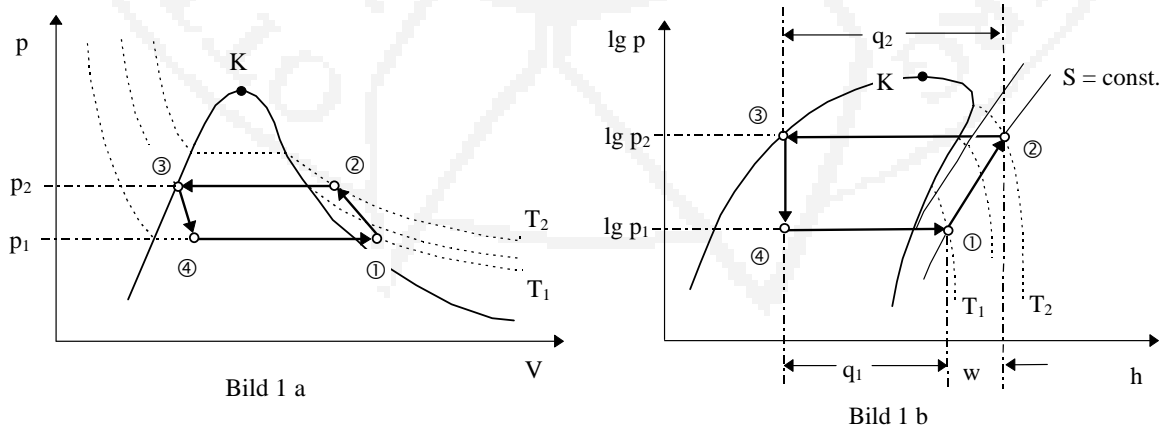


Bild 1: Idealisierter Kreisprozess einer Kompressions-Wärmepumpe

a) im p, V - Diagramm

b) im $\lg p, h$ - Diagramm

① → ② adiabatische Kompression ($S = \text{const.}$)

② → ③ Verflüssigung

③ → ④ gedrosselte Entspannung ($H = \text{const.}$)

④ → ① Verdampfung

Für die beiden isobaren Prozesse ② → ③ und ④ → ① gilt mit $h_4 = h_3$ (gedrosselte Entspannung)

$$q_2 = h_2 - h_3 \quad q_1 = h_1 - h_3 \quad w = \Delta q = h_2 - h_1 .$$

Die gemessenen (Über-)Drücke p_1 und p_2 sind zunächst durch Addition des Atmosphärendrucks auf Absolutdrücke umzurechnen. Mit p_1 und T_{1a} ist der Punkt ① im $\lg p, h$ - Diagramm aufzusuchen. Den Punkt ② erhält man als Schnittpunkt der von ① ausgehenden Isentropen mit der Horizontalen $p_2 = \text{const.}$, die Punkte ③ und ④ gemäß Bild 1b.

Der Prozessverlauf ist auf Transparentpapier durchzuzeichnen. Zur Berechnung des theoretischen Leistungsfaktors genügt es, die entsprechenden Strecken in mm zu vermessen. Zwecks Vergleichs mit dem experimentellen ε ist der theoretische Wert mit dem Wirkungsgrad η des Aggregats ($\eta = 0,8 \pm 0,05$) zu multiplizieren.

3.4 Hinweise zum Betrieb der **Luft-Wasser-Wärmepumpe**:

- ⇒ Der Wasserbehälter auf der Verdampferseite ist zu entfernen, der Wärmeaustauscher ist gut zu trocknen.
- ⇒ Die Ausgangstemperaturen und die Wassermengen auf der Verflüssigerseite sind in beiden Verdampferregimes gleich zu wählen.
- ⇒ Nach einer Einlaufzeit von ca. 10 min stellt sich, bedingt durch Vereisung des Verdampfers bzw. durch den Luftstrom eines Gebläses (Föns), eine konstante Verdampfertemperatur ein. Mit diesem Zeitpunkt beginnend, wird die Temperaturänderung T_2 und der Energieverbrauch (Leistungsmesser in Stellung "Ws") in einem vorgegebenen Zeitintervall von 5 ... 15 min gemessen. Starke Vereisung der Verdampferseite ist unbedingt zu vermeiden.

4 Zugeordnete Themenkomplexe

I. Hauptsatz der Thermodynamik, Anwendung auf spezielle Zustandsänderungen, Arbeitsberechnung

II. Hauptsatz der Thermodynamik; Entropie, Enthalpie

Carnotscher Kreisprozess; Wärmekraftmaschine, Wärmepumpe, Kältemaschine

Reale Gase; $p - V$ - Diagramm, van-der-Waalssche Zustandsgleichung