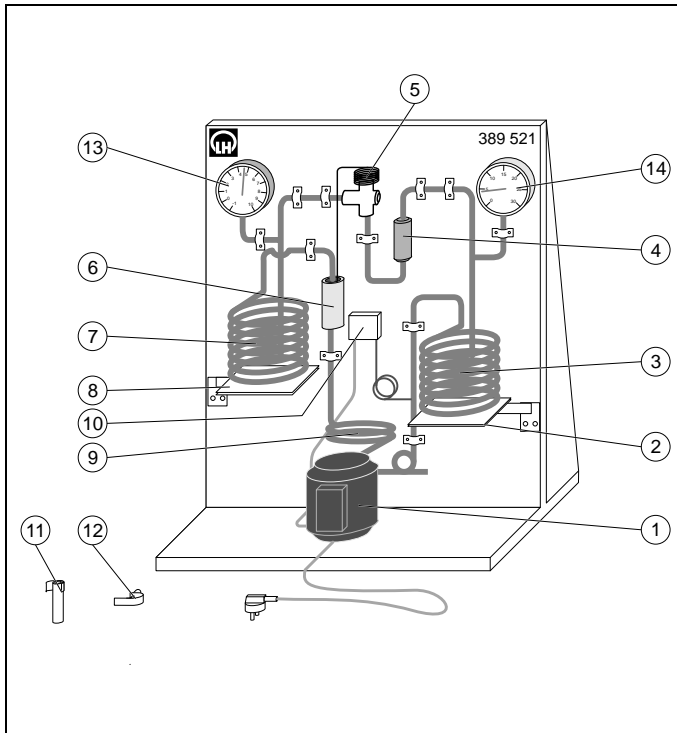


1/95-Sf-



Gebrauchsanweisung Instruction Sheet

389 521

Wärmepumpe pT. Heat Pump pT

Fig. 1

Lehrmodell einer Kompressionswärmepumpe auf Demonstrationstafel, als Luft/Wasser- oder Wasser/Wasser-Wärmepumpe verwendbar.

Teaching model of a compressor-type heat pump on demonstration panel, for use as air/water or water-water heat pump.

Versuchsbeispiele:

Experiment examples:

- Leistungszahl
- Druck- und Temperaturmessung am Kältemittelkreislauf, Messungen zum Mollier- (h -, $\lg p$)-Diagramm

- Coefficient of performance
- Measuring the pressure and temperature in the coolant circuit, measurements for Mollier (h , $\lg p$) diagrams
- Together with solar collector (389 50) and STE-miniature pump (579 22):
- Model of a solar roof

Zusammen mit Solarkollektor (389 50) und STE-Miniaturpumpe (579 22);

- Modell eines Energiedaches

Literature: book "Experiments on energy 2" (599 651, in German)

Literatur: Buch "Energie 2" (599 651)

1 Safety notes

1 Sicherheitshinweise

- Wärmepumpe immer vertikal aufbewahren, transportieren und betreiben; nach Kippen auf die Seite vor Inbetriebnahme mindestens 7 Stunden lang aufrecht stehen lassen.
- Berührungsfähige Spannung im Kompressor-Stromkreis! Meßgeräte mit 4-mm-Buchsen nur über Sicherheitsexperimentierkabel (500 610 ff) und Meßanschlußkasten (502 05) anschließen. (s. Fig. 3.1)
- Unter Druck stehenden Kältemittelkreislauf unter keinen Umständen zu öffnen versuchen!
- Kompressor nicht thermisch isolieren! Überhitzungsgefahr!
- Kupferrohre nicht als Griff benutzen! Verbiegungsgefahr!

- Always store, transport and operate the heat pump in a vertical position. If the apparatus is laid on its side, return it to the vertical and leave it in this position for at least 7 hours before putting it into operation.
- Dangerous contact voltages in compressor supply circuit! Connect measuring instruments with 4-mm sockets only via safety connecting leads (500 610 ff) and the measuring junction box (502 05); see Fig. 1.
- The coolant circuit is pressurized. Do not attempt to open this circuit under any circumstances!
- Do not thermally insulate the compressor; this can cause the device to overheat.
- Do not carry the apparatus by the copper tubing: danger of bending!

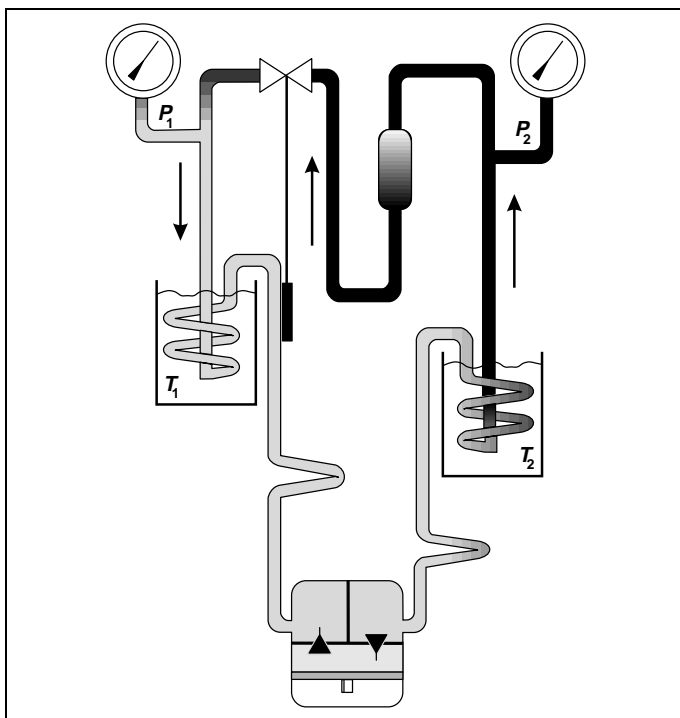


Fig. 2
Wärmepumpe pT (389 521) mit schematischer Darstellung der Funktionsteile
Heat pump pT (389 521) with schematic diagram of all functional components

2 Beschreibung Lieferumfang, technische Daten

2.1 Beschreibung der Komponenten (Fig. 2)

Kältemittel: R134a (FCKW-frei)

- ① Kompressor 230 V; 50/60 Hz.
Leistungsaufnahme ca. 130 W bei 50 Hz.
- ② ausschwenkbare Stellfläche für rot-markierten Warmwasserbehälter
- ③ Verflüssiger, Innendurchmesser ca. 13 cm
- ④ Sammler/Reiniger
- ⑤ Expansionsventil, thermostatisch geregelt
- ⑥ Temperaturfühler des Expansionsventils, thermisch isoliert
- ⑦ Verdampfer, Innendurchmesser ca. 13 cm
- ⑧ ausschwenkbare Stellfläche für blau-markierten Kaltwasserbehälter
- ⑨ Rohrwindungen als elastische Verbindung zwischen Kompressor und Wärmetauscher
- ⑩ Druckwächter
- ⑪ Kunststoffhalter (2x) für Thermometer und Temperaturfühler, zum Ankleben an Kupferrohre, jeweils bestehend aus doppelseitiger Klammer und Kunststoffrohr.
- ⑫ Kupfer-Meßschuh (2x) mit Klemmschrauben und Bohrungen, Ø 2 mm, zum Einstecken von Temperaturfühlern für Temperaturmessungen an den Kupferrohren des Kältemittelkreislaufs.
- ⑬ Manometer für die Niederdruckseite; innere Skala für Druckmessung von -1...+10 bar, äußerste Skala mit zugehöriger Taupunkttemperatur für R134a von -60 °C bis +40 °C.
- ⑭ Manometer für die Hochdruckseite; innere Skala: Druck von -1...+30 bar, äußerste Skala mit zugehöriger Taupunkttemperatur für R 134a von -60 °C bis + 85°C.

Hinweis:

Die beiden mittleren Temperaturskalen von ⑬ und ⑭ gelten für andere Kältemittel und sind daher bei dieser Wärmepumpe ohne Bedeutung.

2 Description, scope of supply, technical data

2.1 Description of components (Fig. 2)

Coolant: R134a (CFC-free)

- ① Compressor 230 V; 50/60 Hz.
Power consumption approx. 130 W at 50 Hz.
- ② Hinged support for water vessel with red mark
- ③ Liquefier, internal diameter approx. 13 cm
- ④ Collector/purifier
- ⑤ Expansion valve, thermostatically controlled
- ⑥ Temperature sensor for expansion valve, thermally insulated
- ⑦ Vaporizer, internal diameter approx. 13 cm
- ⑧ Hinged support for water vessel with blue mark
- ⑨ Spiral tubing as elastic connection between compressor and heat exchanger
- ⑩ Pressure switch
- ⑪ Plastic holders (2x) for thermometer and temperature sensor for clamping to copper tubing, each consisting of two-sided clamp and copper tube.
- ⑫ Copper measuring lug (2x) with terminal screws and holes 2 mm dia. for inserting temperature sensors for temperature measurements at the copper tubes of the coolant circuit.
- ⑬ Manometer for the low-pressure side; inner scale for pressure measurement from -1...+10 bar, outer scale with corresponding dew-point temperature of R134a from -60 °C to +40 °C.
- ⑭ Manometer for high-pressure side; inner scale for pressure measurement from -1...+30 bar, outer scale with corresponding dew-point temperature of R134a from -60 °C to + 85°C.

Note:

the two middle temperature scales of ⑬ and ⑭ apply for other coolants, and are thus irrelevant for this heat pump.

Ohne Abbildung:

Kaltwasserbehälter, 5 l, blau markiert
mit zwei Schlaucholiven zum Anschluß eines externen Wasserkreislaufs; Innenskala mit Literteilung.

Warmwasserbehälter, 5 l, rot markiert
mit zwei Schlaucholiven zum Anschluß eines externen Wasserkreislaufs; Innenskala mit Literteilung.
2 Schläuche, 1 m lang, Ø 6 mm

Abmessungen: 70 cm x 50 cm x 82 cm

Masse: 30 kg

2.2 Funktionsweise

Eine Wärmepumpe entzieht einem Reservoir der Temperatur T_1 Wärme und führt sie einem Reservoir der Temperatur T_2 zu.

Dadurch wird der Temperaturunterschied ($T_1 - T_2$) zwischen beiden Reservoiren vergrößert. Der Wärmetransport geschieht über ein Kältemittel R134a, das beim Verdampfen Wärme aufnimmt und sie beim Kondensieren wieder abgibt. Die Wärmereservoirs sind gefüllte Wasserbehälter, in die die beiden "Wärmetauscher" ③ und ⑦ eintauchen.

Das gasförmige Kältemittel wird vom Kompressor ① komprimiert und dabei stark erhitzt. Es kühlt sich in der Kupferrohrschlange ③ des Verflüssigers ab und kondensiert, wobei es seine Kondensationswärme an das Wasser im Warmwasserbehälter abgibt.

Das verflüssigte, aber noch mit Gasblasen durchsetzte Kältemittel wird im "Reiniger" ④ gefiltert. Dieser wirkt gleichzeitig als "Sammler": In seinem Innern bildet sich ein Flüssigkeitsspiegel, der eine blasenfreie Flüssigkeitszufuhr für das Expansionsventil ⑤ sicherstellt.

Das Expansionsventil ist das Gegenstück zum Kompressor: Es dosiert die Kältemittelzufuhr zum Verdampfer ⑦, wo das Kältemittel sich entspannt, verdampft, sich dabei stark abkühlt und so dem Kaltwasserreservoir Wärme entzieht. Das nun wieder gasförmige Kältemittel wird vom Kompressor angesaugt, wo der Kreislauf von vorne beginnt. Das Expansionsventil ⑤ schützt den Kompressor vor "Flüssigkeitsschlägen", d.h. Ansaugen flüssigen Kältemittels mit nachfolgender Zerstörung des Kompressors. Die Kältemittelzufuhr zum Verdampfer wird nämlich von einem Temperaturfühler ⑥ geregelt (daher auch die genauere Bezeichnung "thermostatisches Expansionsventil").

Als Regelgröße dient die Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Auslaßrohr des Verdampfers. Fällt diese unter einen bestimmten, am Expansionsventil fest eingestellten Wert - weil z.B. die Wärmezufuhr zum Verdampfer zu gering ist -, wird der Kältemittelnachschub gedrosselt.

Der Druckwächter ⑩ schaltet den Kompressor ab, wenn der Druck auf der Verflüssigerseite 16 bar überschreitet (Einstellung auf der linken Skala). Dies kann passieren, wenn der Verflüssiger ③ ohne Wasserreservoir betrieben und dadurch zu warm wird ($T_2 > 60$ °C). Der Kompressor schaltet sich erst dann wieder ein, wenn der Druck um den auf der rechten Skala eingestellten Betrag (9 bar) unter den Abschaltdruck gefallen ist.

Durch die Rohrwindungen ⑨ am Kompressor-Ein- und Auslaß wird verhindert, daß sich die Vibrationen des Kompressors auf das gesamte Gerät übertragen.

Not shown:

Cold-water vessel, 5 l, with blue mark
with two hose nipples for connecting an external water circuit; inner scale with liter divisions.

Warm-water vessel, 5 l, with red mark
with two hose nipples for connecting an external water circuit; inner scale with liter divisions.
2 tubes, 1 m long, 6 mm dia.

Dimensions: 70 cm x 50 cm x 82 cm

Weight: 30 kg

2.2 Function

A heat pump withdraws heat from a reservoir with the temperature T_1 and transports it to a reservoir with the temperature T_2 .

As a result, the temperature difference ($T_1 - T_2$) between the two reservoirs increases. The heat is transported by the coolant R134a, which absorbs heat through evaporation and releases it when it condenses.

The heat reservoirs are vessels filled with water, in which the two "heat exchangers" ③ and ⑦ are immersed.

The gaseous coolant is compressed in the compressor ①, which heats it significantly. It is cooled in the spiral of copper tubing ③ of the liquefier and condenses, in the process transferring its heat of condensation to the water in the vessel.

The liquified coolant still contains bubbles of gas, so it is filtered in the "purifier" ④. This simultaneously functions as a "collector": it accumulates a level of liquid which ensures that the expansion valve ⑤ always receives a bubble-free liquid supply.

The expansion valve is the counterpart of the compressor: it regulates the supply of coolant to the vaporizer ⑦, where the coolant expands and evaporates. In the process it cools down rapidly, and thus withdraws heat from the cold-water vessel. The coolant, once more in the gaseous state, is drawn into the compressor, and the cycle begins anew. The expansion valve ⑤ protects the compressor from "liquid shocks", i.e. suction of liquid coolant, which would otherwise destroy the compressor. The supply of coolant to the vaporizer is regulated by a temperature sensor ⑥ (thus the more precise designation "thermostatic expansion valve").

The temperature difference between the inlet and outlet tubes of the vaporizer serves as the controlled variable. If this value drops below a fixed value set at the expansion valve - e.g. because the supply of heat to the vaporizer is too low - the supply of coolant is reduced.

The pressure switch ⑩ shuts down the compressor when the pressure on the liquefier side exceeds 16 bar (setting on the left-hand scale). This can occur when the liquefier ③ is operated without a water reservoir and thus becomes too warm ($T_2 > 60$ °C). The compressor does not switch back on until the pressure drops below the shutoff pressure by the value set on the right side of the scale (9 bar).

The spiral tubing sections ⑨ at the compressor inlet and outlet prevent the vibrations of the compressor from being transmitted to the entire apparatus.

3 Bedienung

Zusätzlich erforderliche Geräte:

Zur Temperaturmessung:

Thermometer, Bereich 0 °C....50 °C, z.B.

2 Temperaturfühler (666 193) mit digitalem Temperaturmeßgerät mit 4 Eingängen (666 210) , s. Fig. 3.1 oder

2 Glasthermometer -10 °C....+50 °C (382 35)

Zur qualitativen Temperaturanzeige: Satz Flüssigkristallfolien (382 93)

Zur Messung der Kompressorleistung oder der aufgewandten elektrischen Arbeit:

Entweder

1 Wechselstromzähler (560 331)

oder (s. Fig. 3.1)

1 Leistungs- und Energiemesser (531 83) mit Meßanschlußkasten (502 05) und Sicherheitsexperimentierkabeln (500 610 ff) oder

1 Spannungs- und 1 Strommesser (z.B. 2 x 531 911) mit Meßanschlußkasten (502 05) und Sicherheits-Experimentierkabeln (500 610 ff)

1 Stoppuhr (z.B. 313 05)

3.1 Versuchsaufbau

Erforderliche Schlauchverbindungen zwischen Wasserbehälter und externem Wasserkreislauf herstellen, sonst jeweils obere und untere Schlaucholive jedes Behälters durch Schlauchstücke miteinander verbinden.

Behälter bis zur 4-l-Markierung mit Wasser füllen, Stellflächen ② und ⑧ ausschwenken, Wasserbehälter in Versuchsposition bringen und auf den wieder zurückgeschwenkten Stellflächen abstellen.

Thermometerhalter an den Kupferrohren oberhalb des Verflüssigers ③ und des Verdampfers ⑦ festklemmen und Temperaturfühler in die Kunststoffröhrchen der Thermometerhalter einsetzen. Bei Benutzung eines Glasthermometers dieses anstelle des Kunststoffröhrchens in die Klammer vorsichtig(!) einschieben, nachdem die Klammer an das Kupferrohr angeklemt wurde.

3 Operation

Additionally required:

For temperature measurement:

Thermometer, range 0 °C....50 °C, e.g.

2 temperature sensors (666 193) with digital thermometer with 4 inputs (666 210) see Fig. 3.1 or

2 glass thermometers -10 °C....+50 °C (382 35)

For qualitative temperature indication: set of liquid crystal foils (382 93)

For measuring the compressor power or the applied electrical work:

Either

1 alternating current meter (560 331)

or (see Fig. 3.1)

1 joule and wattmeter (531 83) with measuring junction box (502 05) and safety connecting leads (500 610 ff)

or

1 voltmeter and 1 ammeter (e.g. 2 x 531 911) with measuring junction box (502 05) and safety connecting leads (500 610 ff)

1 stopclock (e.g. 313 05)

3.1 Experiment setup

Make the appropriate hose connections between the water vessel and the external water circuit; alternatively, connect the top and bottom hose nipples of each vessel together using sections of tubing.

Fill each vessel with water up to the 4 l mark, fold up the supports ② and ⑧, place the water vessels in their experiment positions, then fold out the supports again and rest the water vessels on them.

Attach the thermometer holders to the copper tubes above the liquefier ③ and the vaporizer ⑦ and insert the temperature sensors in the plastic tubes of the thermometer holders. When using a glass thermometer, carefully (!) insert it in the clamp in place of the plastic tube, but only after you attach the clamp to the copper tube.

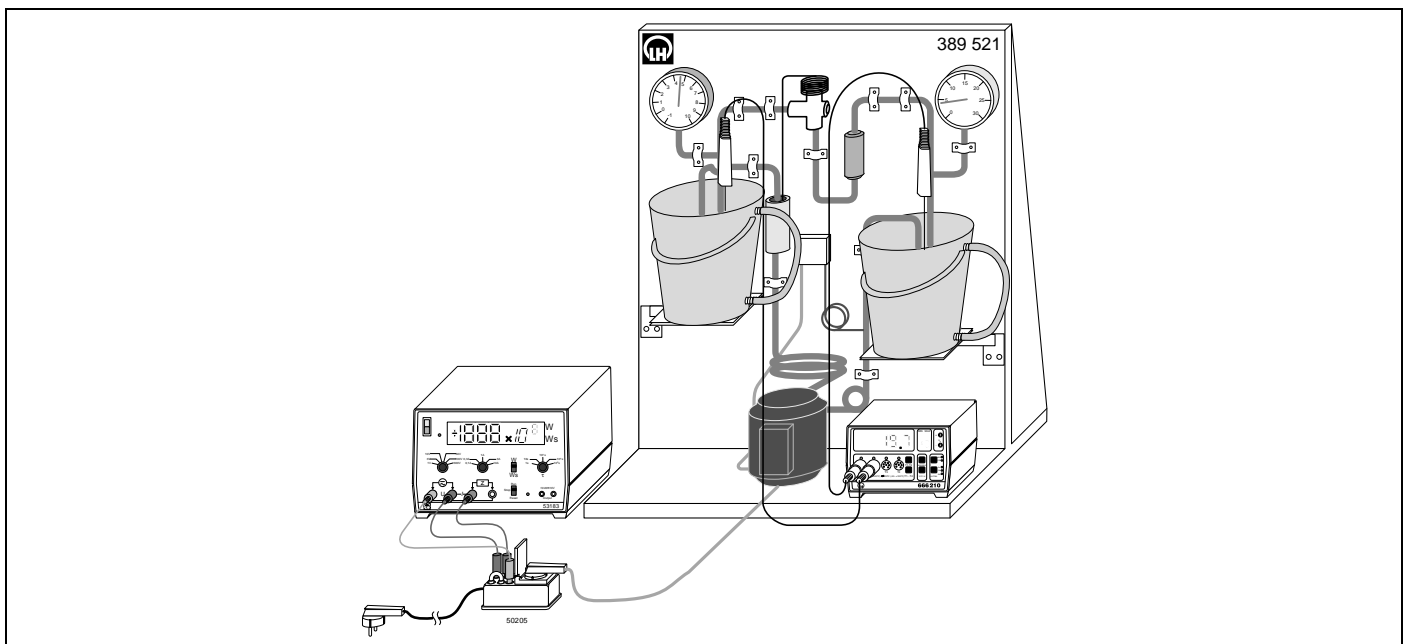


Fig. 3.1
Wärmepumpe mit Geräten zur Temperatur- und Leistungsmessung

Fig. 3.1
Heat pump with apparatus for measuring temperature and power

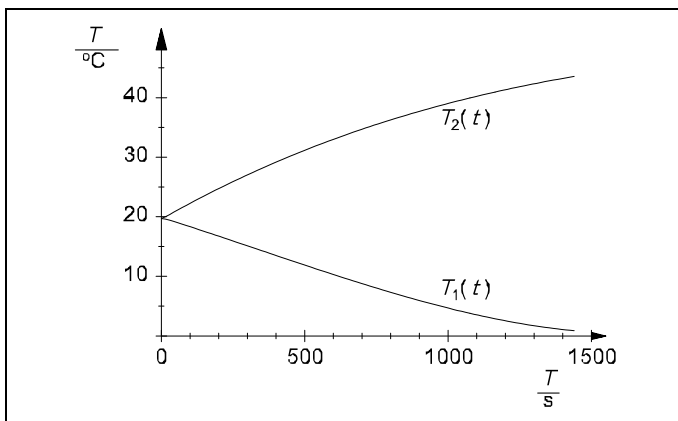


Fig. 3.2
Temperaturverlauf im roten und blauen Wasserbehälter als Funktion der Zeit. Kompressorleistung: $P = 127 \text{ W}$
Temperature curves in red and blue water vessels as a function of time; compressor power: $P = 127 \text{ W}$

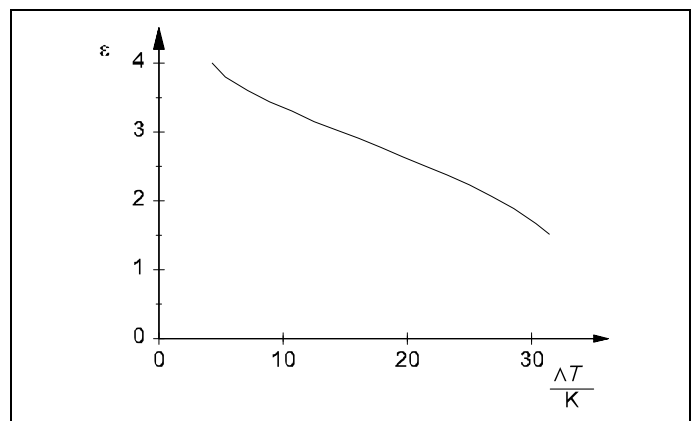


Fig. 3.3
Leistungszahl $\varepsilon(\Delta T)$ als Funktion der Temperaturdifferenz $\Delta T = T_2 - T_1$ zwischen Warm- und Kaltwasserbehälter
Coefficient of performance $\varepsilon(\Delta T)$ as a function of the temperature difference $\Delta T = T_2 - T_1$ between the warm-water and cold-water vessels

3.2 Bestimmung der Leistungszahl ε

Wärmepumpe z.B. über Leistungs- und Energiemesser an das Netz anschließen. Meßanschlußkasten und Sicherheitsexperimentierkabel verwenden (s. Fig. 3.1)!

Messung des Temperaturabfalls $T_1(t)$ im blauen Wasserbehälter sowie des Temperaturanstiegs $T_2(t)$ im roten Wasserbehälter (Fig. 3.2) sowie der Leistungsaufnahme P des Kompressors.

Während des Versuchs Wasser in beiden Wasserbehältern immer gut umrühren, ohne die Thermometer zu beschädigen: Zum Umrühren optimal geeignet: Kartoffelstampfer (Küchengerät) oder Eintauchpumpe 306 98.

Auswertung

Die Leistungszahl ε ist definiert als Verhältnis der Wärmemenge ΔQ , die von der Wärmepumpe pro Zeiteinheit Δt dem Warmwasserreservoir zugeführt wird, zur Leistung P des Kompressors:

$$\varepsilon = \frac{\Delta Q}{P \Delta t}$$

Dabei gilt

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T_2 \quad \text{mit}$$

c = spezifische Wärmekapazität von Wasser

$$= 4,19 \cdot 10^3 \text{ Ws kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

m = Masse des Wassers = 4 kg

Wenn Wärmeverluste in die Umgebung vernachlässigt werden, ist die Steigung

$$\frac{\Delta T_2(t)}{\Delta t}$$

einer Tangente an das $T_2(t)$ -Diagramm der thermischen Leistung

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

der Wärmepumpe proportional. Das Ergebnis der Auswertung zeigt Fig. 3.3. Die Leistungszahl $\varepsilon(\Delta T)$ nimmt mit wachsender Temperaturdifferenz $\Delta T = T_2 - T_1$ zwischen Verflüssiger und Verdampfer ab (Fig. 3.3), weil das $T_2(t)$ -Diagramm bei wachsender Temperaturdifferenz abflacht. Zu dieser Abflachung tragen bei hohen Temperaturen die Wärmeverluste durch Verdunsten des Wassers, Wärmeabstrahlung und -leitung des Kompressors und der Rohre zwischen Kompressor und Verflüssiger bei, deren Einfluß sich nicht quantitativ erfassen läßt.

3.2 Determining the coefficient of performance ε

Connect the heat pump to the mains e.g. via the joule and power meter. Use the measuring junction box and the safety connecting leads (s. Fig. 3.1)!

Measure the temperature drop $T_1(t)$ in the blue water vessel and the temperature rise $T_2(t)$ in the red water vessel (Fig. 3.2) as well as the power consumption P of the compressor.

During the experiment, stir the water in the two vessels well, being careful not to damage the thermometers; the most suitable stirring tools are a potato masher (from the kitchen) or the immersion pump 306 98.

Evaluation

The coefficient of performance ε is defined as the ratio of the amount of heat ΔQ supplied by the heat pump to the warm-water vessel per unit of time Δt , and the power P of the compressor:

$$\varepsilon = \frac{\Delta Q}{P \Delta t}$$

where

$$\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T_2 \quad \text{with}$$

c = specific heat capacity of water

$$= 4,19 \cdot 10^3 \text{ Ws kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

m = mass of water = 4 kg

When the ambient heat losses are ignored, the slope

$$\frac{\Delta T_2(t)}{\Delta t}$$

of a tangent to the $T_2(t)$ -diagram is proportional to the thermal power

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

of the heat pump. The result of the evaluation is shown in Fig. 3.3. The coefficient of performance $\varepsilon(\Delta T)$ decreases with the increasing temperature difference $\Delta T = T_2 - T_1$ between liquefier and vaporizer (Fig. 3.3), because the $T_2(t)$ diagram levels off with increasing temperature difference. At high temperatures, factors contributing to this leveling-off include heat losses due to water evaporation, heat radiation and conduction of the compressor and the tubes between compressor and liquefier; their influence cannot be quantitatively determined here.

Optimierung der Leistungszahl

- a) Wasserbehälter und Rohrleitungen (nicht aber Kompressor!) thermisch isolieren (Schaumstoffstreifen).
- b) Kompressor vor Versuchsbeginn auf Betriebstemperatur bringen (ca. 10 Minuten laufen lassen), dann Wasser in den Behälter erneuern und Versuch starten.

Optimizing the coefficient of performance

- a) Thermally insulate the water vessels and the tubes (but not the compressor!), e.g. with strips of foam rubber.
- b) Before starting the experiment, bring the compressor up to its operating temperature (let it run for approx. 10 minutes), then replace the water in the vessels and start the experiment.