
**Mode d'emploi
Instrucciones de servicio**
389 521
**Pompe à chaleur pT
Bomba de calor pT**

Fig. 1

Modèle didactique d'une pompe à chaleur avec compresseur, montée sur tableau de démonstration, utilisable comme pompe à chaleur air/eau ou eau/eau.

Exemples d'expériences:

- Indice de performance
- Mesure de la pression et de la température du réfrigérant en circulation, mesures pour le diagramme (h -, $lg\ p$) de Mollier
- Combinée au capteur solaire (389 50) et à la pompe miniature STE (579 22);
- Modèle de toit à capteurs solaires

Bibliographie: Manuel en allemand "Energie 2" (599 651)

1 Remarques de sécurité

- Toujours ranger, transporter et utiliser la pompe à chaleur en position verticale; après l'avoir faite basculer sur le côté, la mettre debout pendant au moins 7 heures avant de la mettre en service.
- Tension dangereuse aux contacts fortuits dans le circuit électrique du compresseur. Ne brancher les instruments de mesure à douilles de 4 mm qu'avec des câbles de sécurité (500 610 et réf. suivantes) et la boîte de connexion (v. fig. 3.1)
- Ne jamais essayer d'ouvrir le circuit de réfrigérant alors qu'il est sous pression!
- Ne jamais calorifuger le compresseur! Risque de surchauffe!
- Ne pas se servir du tuyau en cuivre comme poignée! Risque de déformation!

Modelo didáctico de una bomba de calor accionada por un compresor, sobre tablero de demostración, para ser empleada como bomba de calor aire/agua ó agua/agua.

Ejemplos de experimentos:

- Índice de eficacia
- Medición de la presión y temperatura en un circuito cerrado con refrigerante, medición para el diagrama de Mollier (h , $lg\ p$)
- Junto con el colector solar (389 50) y la bomba STE en miniatura (579 22);
- Modelo de un techo suministrador de energía

Literatura: libro "Energie 2" (599 651, en alemán)

1 Instrucciones de seguridad

- Operar, transportar y conservar la bomba de calor siempre en posición vertical; si se volteea, mantenerla parada por lo menos durante 7 horas antes de su puesta en servicio.
- ¡En el circuito del compresor hay tensiones de peligro de electrocución! Conectar los dispositivos de medición con clavijeros de 4 mm sólo a través de los cables de experimentación de seguridad (500 610 y siguientes) y de la caja para conexión de medidores (502 05), véase la Fig 3.1.
- ¡Cuidado, no intente abrir el circuito del refrigerante cuando está bajo presión!
- ¡No aislar térmicamente al compresor, hay peligro de sobre calentamiento!
- ¡No utilice los tubos de cobre como asideros, éstos pueden doblarse!

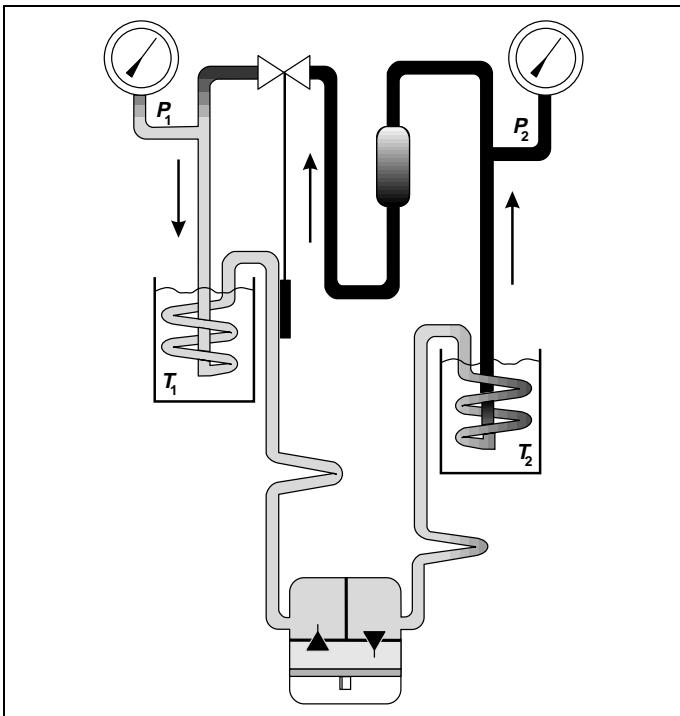


Fig. 2

Pompe à chaleur pT (389 521) avec représentation schématique des différents composants

Bomba de calor pT (389 521) con representación esquemática de sus elementos funcionales

2 Description, fournitures, caractéristiques techniques

2.1 Description des composants (fig. 2)

Réfrigérant: R134a (sans gaz propulseur)

- ① Compresseur 230 V; 50/60 Hz.
Puissance absorbée env. 130 W pour 50 Hz.
- ② Plaque pivotante pour le réservoir d'eau chaude marqué d'un trait rouge
- ③ Condenseur, diamètre intérieur d'env. 13 cm
- ④ Collecteur/épurateur
- ⑤ Vanne de détente à régulation thermostatique
- ⑥ Sonde de température de la vanne de détente, isolée thermiquement
- ⑦ Evaporateur, diamètre intérieur d'env. 13 cm
- ⑧ Plaque pivotante pour le réservoir d'eau froide marqué d'un trait bleu
- ⑨ Tuyau en serpentin comme liaison élastique entre le compresseur et l'échangeur thermique
- ⑩ Manostat
- ⑪ Support en plastique (2x) pour thermomètre et sonde de température à fixer au tuyau en cuivre, chacun des deux porte-thermomètres étant constitué d'une pince double et d'un tube en plastique.
- ⑫ Cosse de mesure en cuivre (2x) avec vis de fixation et perçages, Ø 2 mm, pour enficher des sondes de température destinées à la mesure de la température sur le tuyau en cuivre pour la circulation du réfrigérant.
- ⑬ Manomètre dans la partie basse pression;
échelle intérieure pour la mesure de la pression de -1 à +10 bars,
échelle extérieure avec température des points de rosée pour R134a de -60 °C à +40 °C.
- ⑭ Manomètre dans la partie haute pression; échelle intérieure:
pression de -1 à +30 bars, échelle extérieure avec température des points de rosée pour R 134a de -60 °C à + 85°C.

Remarque:

Les deux échelles de température centrales de ⑬ et ⑭ valent pour d'autres réfrigérants et n'ont donc aucune fonction dans le cas de cette pompe à chaleur.

2 Descripción, volumen de suministro y datos técnicos

2.1 Descripción de los componentes (Fig. 2)

Refrigerante: R134a (sin hidrocarburo clorofluorado)

- ① Compresor 230 V; 50/60 Hz
Consumo de potencia aprox. 130 W para 50 Hz
- ② Superficie de soporte girable, para el recipiente de agua caliente marcado con rojo
- ③ Licuefactor, diámetro interno aprox. 13 cm
- ④ Colector/depurador
- ⑤ Válvula de expansión, controlada termostáticamente
- ⑥ Sonda de temperatura de la válvula de expansión, aislada térmicamente
- ⑦ Evaporador, diámetro interno aprox. 13 cm
- ⑧ Superficie de soporte girable, para el recipiente de agua fría marcado con azul
- ⑨ Espira del tubo como unión elástica entre el compresor y el intercambiador de calor
- ⑩ Interruptor automático por caída de presión
- ⑪ Soporte de plástica (2 piezas) para termómetro y sonda de temperatura, para fijarlo al tubo de cobre, cada uno esta compuesto de una abrazadera de dos lados y tubo de plástico.
- ⑫ Zapato de medición de cobre (2 piezas) con tornillos de sujeción y perforaciones, Ø 2 mm, para insertar las sondas de medición de temperatura en los tubos de cobre del circuito cerrado del refrigerante.
- ⑬ Manómetro para el lado de baja presión;
con escala interior para la medición de presión -1 a +10 bar,
escala exterior con temperatura respectiva del punto de rocío del refrigerante R134a desde -60 °C hasta +40 °C.
- ⑭ Manómetro para el lado de presión alta; con escala interior:
presión desde -1 a +30 bar, escala exterior con respectiva temperatura del punto de rocío del refrigerante R134a desde -60 °C hasta + 85°C.

Nota:

Ambas escalas medias de temperatura de ⑬ y ⑭ se emplean con otros refrigerantes y no tienen ninguna relevancia para esta bomba de calor.

Sans illustration:

Réervoir d'eau froide, 5 l, à marque bleue
avec deux olives tubulaires pour le raccordement d'un circuit d'eau externe; échelle intérieure graduée en litres.

Réervoir d'eau chaude, 5 l, à marque rouge
avec deux olives tubulaires pour le raccordement d'un circuit d'eau externe; échelle intérieure graduée en litres.
2 tuyaux de 1 m de long, Ø 6 mm

Dimensions: 70 cm x 50 cm x 82 cm
Poids: 30 kg

2.2 Fonctionnement

Une pompe à chaleur prélève de la chaleur d'un réservoir de température T_1 pour la délivrer à un réservoir de température T_2 .

L'écart de température ($T_1 - T_2$) entre les deux réservoirs est ainsi accentué. Le transfert de chaleur se fait par un réfrigérant R134a qui吸 de la chaleur en s'évaporant et la délivre à nouveau en se condensant.

Les réservoirs de chaleur sont des récipients remplis d'eau dans lesquels sont immergés les deux «échangeurs thermiques» ③ et ⑦.

Le réfrigérant gazeux est comprimé par le compresseur ① tout en étant fortement chauffé. Il refroidit dans le serpentin en cuivre ③ du condenseur et se condense tout en délivrant sa chaleur de condensation à l'eau du réservoir d'eau chaude.

Le réfrigérant liquéfié mais encore traversé de bulles de gaz est filtré dans l'«épurateur» ④. Celui-ci agit simultanément comme «collecteur»: il se forme à l'intérieur un niveau de liquide qui assure une alimentation en liquide sans bulles pour la vanne de détente ⑤.

La vanne de détente est le pendant du compresseur: elle dose le réfrigérant délivré à l'évaporateur ⑦ où il est à basse tension superficielle, s'évapore tout en refroidissant considérablement et en prélevant ainsi de la chaleur du réservoir d'eau froide. Le réfrigérant désormais à nouveau gazeux est aspiré par le compresseur où tout recommence depuis le début. La vanne de détente ⑤ protège le compresseur contre les «attaques du liquide», c.-à-d. l'aspiration d'un réfrigérant liquide à laquelle succède la destruction du compresseur. L'amenée du réfrigérant à l'évaporateur est en effet régulée par une sonde de température ⑥ (d'où la désignation plus précise de «vanne de détente thermostatique»).

L'écart de température entre les tubes d'arrivée et de sortie de l'évaporateur sert de grandeur réglée. Si cette dernière tombe en-dessous d'une valeur précise réglée sur la vanne de détente - par ex. parce que l'alimentation en chaleur pour l'évaporateur ne suffit pas -, l'apport de réfrigérant est alors réduit.

Le manostat ⑩ met le compresseur hors service lorsque la pression côté condenseur est supérieure à 16 bars (réglage sur l'échelle de gauche). Cela peut arriver en cas de surchauffe ($T_2 > 60^\circ\text{C}$) du condenseur ③ suite à un fonctionnement sans réservoir d'eau. Le compresseur ne se remet en marche que lorsque la pression est tombée de la valeur (9 bars) réglée sur l'échelle de droite, en dessous de la pression de coupure.

Le tuyau en serpentin ⑨ à l'entrée et à la sortie du compresseur empêche les vibrations du compresseur de se répercuter sur tout l'appareil.

Sin figura:

Recipient de agua fría de 5 l, marcado con azul
con dos olivas de plástico para conectar un circuito de agua externo; escala interior con divisiones marcadoras de litros.

Recipient de agua caliente de 5 l, marcado con rojo
con dos olivas de plástico para conectar un circuito de agua externo; escala interior con divisiones marcadoras de litros.
2 mangueras, 1 m de longitud, Ø 6 mm

Dimensiones: 70 cm x 50 cm x 82 cm
Peso: 30 kg

2.2 Funcionamiento

Una bomba de calor extrae calor de un reservorio que está a una temperatura T_1 y lo suministra a un reservorio que está a temperatura T_2 .

De esta forma se incrementa la diferencia de temperaturas ($T_1 - T_2$) entre ambos reservorios. El transporte de calor se realiza mediante el refrigerante R134a, el cual absorbe calor al evaporarse y cede nuevamente calor al condensarse.

Los reservorios de calor son recipientes llenos de agua, en los cuales están sumergidos ambos "Intercambiadores de calor" ③ y ⑦.

El refrigerante en forma de gas es comprimido por el compresor ① y al mismo tiempo fuertemente calentado. Este se enfriá en el serpentín de cobre ③ del licuefactor y se condensa cediendo su calor de condensación al agua en el reservorio de agua caliente.

El refrigerante licuado que todavía contiene burbujas de gas se filtra en un "Depurador" ④. Este actúa simultáneamente como "Colector": en su interior se forma un nivel del líquido que garantiza que el líquido suministrado hacia la válvula de expansión ⑤ esté libre de burbujas.

La válvula de expansión es la contraparte del compresor: ésta dosifica el suministro del refrigerante al evaporador ⑦, en donde el refrigerante se expande y se evapora, al mismo tiempo se enfriá fuertemente y extrae calor del reservorio de agua fría. A continuación, el refrigerante en forma gaseosa es succionado nuevamente por el compresor, iniciando así el circuito. La válvula de expansión ⑤ protege al compresor frente a los "impactos de líquido", es decir, lo protege de una posible succión del refrigerante líquido, lo cual dañaría al compresor. La alimentación de refrigerante al evaporador es controlada por una sonda de temperatura ⑥ (de allí la denominación "Válvula termostática de expansión").

La diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del tubo del evaporador sirve como variable controlada. Si este valor cae por debajo de un determinado valor ajustado en la válvula de expansión -provocado p. ej. porque la alimentación al evaporador es muy pequeña- se estrangula el suministro de refrigerante.

El interruptor automático por caída de presión ⑩ desconecta el compresor si la presión del lado del licuefactor sobrepasa los 16 bar (ajuste sobre la escala izquierda). Esto puede suceder si el licuefactor ③ opera sin reservorio de agua, motivo por el cual se calentaría demasiado ($T_2 > 60^\circ\text{C}$). El compresor es conectado nuevamente cuando la presión ajustada en la escala de la derecha (9 bar) desciende hasta por debajo de la presión de desconexión.

Mediante la espira del tubo ⑨, a la salida y entrada del compresor, se evita la propagación de las vibraciones del compresor hacia todo el equipo.

3 Utilisation

Matériel supplémentaire nécessaire:

Pour la mesure de la température:

Thermomètre, plage 0 °C....50 °C, par ex.

2 sondes de température (666 193) avec thermomètre numérique à 4 entrées (666 210), voir Fig. 3.1, ou
2 thermomètres en verre -10 °C....+50 °C (382 35)

Pour l'affichage qualitatif de la température: Paire de feuilles de cristaux liquides (382 93)

Pour la mesure de la puissance du compresseur ou de l'énergie électrique développée:

Soit

1 compteur de courant alternatif (560 331)

ou (voir fig. 3.1)

1 joulemètre et wattmètre (531 83) avec boîte d'alimentation (502 05) et câbles de sécurité (500 610 et réf. suivantes)

ou

1 voltmètre et 1 ampèremètre (par ex. 2 x 531 911) avec boîte d'alimentation (502 05) et câbles de sécurité (500 610 et réf. suivantes)

1 chronomètre (par ex. 313 05)

3.1 Montage expérimental

Etablir les connexions requises entre les réservoirs d'eau et le circuit d'eau externe sinon relier entre elles l'olive supérieure et l'olive inférieure de chacun des réservoirs par des bouts de tuyaux.

Remplir les réservoirs d'eau jusqu'à la marque de 4 l, rabattre les plaques ② et ⑧, mettre les réservoirs d'eau en position expérimentale puis les poser sur les plaques ramenées à l'horizontale.

Fixer les porte-thermomètres au tuyau en cuivre au-dessus du condenseur ③ et de l'évaporateur ⑦ puis insérer les sondes de température dans les petits tubes en plastique des porte-thermomètres. En cas d'utilisation d'un thermomètre en verre, prudemment (!) placer celui-ci dans la pince au lieu de le mettre dans le tube en plastique après avoir fixé la pince au tuyau en cuivre.

3 Servicio

Se requiere adicionalmente los siguientes aparatos:

Para la medición de temperatura:

Termómetro, rango 0 °C....50 °C, p. ej.

2 sondas de temperatura (666 193) con termómetros digitales con 4 entradas (666 210), ver Fig. 3.1, ó
2 termómetros de vidrio -10 °C....+50 °C (382 35)

Para la indicación cualitativa de la temperatura: un juego de hojas de cristal líquido (382 93)

Para la medición del rendimiento del compresor o del trabajo eléctrico consumido:

O bien

1 contador de corriente alterna (560 331)

ó (véase Fig. 3.1)

1 medidor de potencia y energía (531 83) con caja para conexión de medidores (502 05) y cables de experimentación de seguridad (500 610 y siguientes)

ó

1 voltímetro y 1 amperímetro (p. ej. dos unidades 531 911) con caja para conexión de medidores (502 05) y cables de experimentación de seguridad (500 610 y siguientes)

1 cronómetro (p. ej. 313 05)

3.1 Montaje experimental

Emplee mangueras para efectuar las conexiones necesarias entre los recipientes de agua y el circuito externo, o de otro modo unir, en cada recipiente, las olivas superior e inferior respectivas mediante mangueras cortas.

Llene con agua los recipientes hasta la marca de 4 litros, gire las superficies de soporte ② y ⑧; mantenga los recipientes, uno tras otro, en la posición de montaje y luego gire hacia adentro la superficie de soporte para colocar sobre ésta al recipiente.

Monte fijamente los sujetadores de los termómetros a los tubos de cobre por encima del licuefactor ③ y del evaporador ⑦ e inserte las sondas de temperatura en los tubitos de plástico de los sujetadores de los termómetros. Si emplea termómetros de vidrio insértelos muy cuidadosamente en las abrazaderas en lugar de los tubitos de plástico, luego de que las abrazaderas hayan sido fijadas a los tubos de cobre.

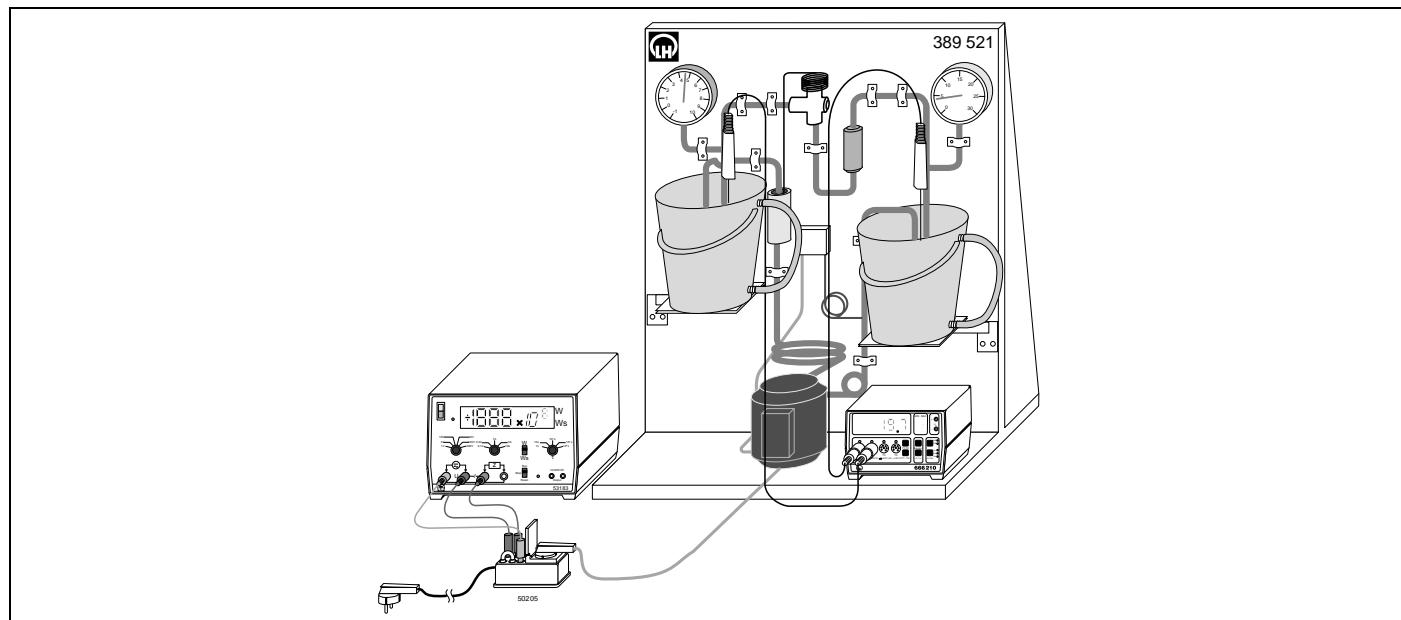


Fig. 3.1

Pompe à chaleur avec instruments pour la mesure de la température et de la puissance

Fig. 3.1

Bomba de calor con los dispositivos para la medición de temperatura y potencia

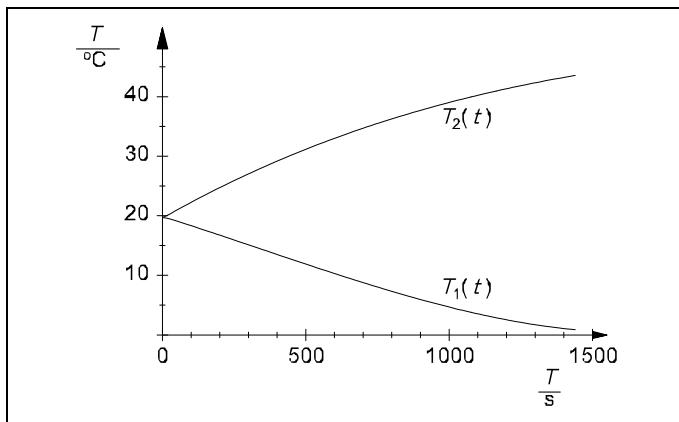


Fig. 3.2

Evolution de la température dans les réservoirs d'eau rouge et bleu en fonction du temps. Puissance du compresseur: $P = 127 \text{ W}$

Comportamiento de la temperatura en los recipientes rojo y azul en función del tiempo. Potencia del compresor: $P = 127 \text{ W}$

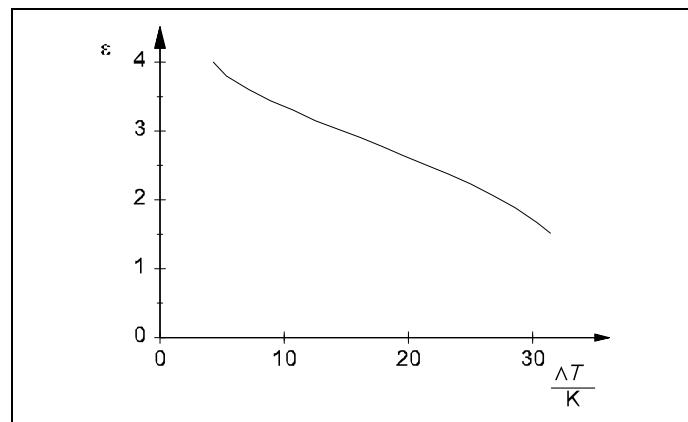


Fig. 3.3

Indice de performance $\varepsilon(\Delta T)$ en fonction de l'écart de température $\Delta T = T_2 - T_1$ entre le réservoir d'eau chaude et celui d'eau froide

Indice de eficacia $\varepsilon(\Delta T)$ en función de la diferencia de temperatura $\Delta T = T_2 - T_1$ entre los recipientes caliente y frío

3.2 Détermination de l'indice de performance ε

Raccorder la pompe à chaleur au réseau par ex. via un joulemètre et wattmètre. Utiliser la boîte d'alimentation et des câbles de sécurité(fig. 3.1)!

Mesure de la baisse de la température $T_1(t)$ dans le réservoir d'eau bleu et de la hausse de la température $T_2(t)$ dans le réservoir d'eau rouge (fig. 3.2) ainsi que de la puissance absorbée P du compresseur.

Durant l'expérience, ne jamais cesser d'agiter l'eau dans les deux réservoirs sans endommager les thermomètres: pour agiter l'eau, un instrument optimal: pilon à pommes de terre (ustensile de cuisine) ou pompe de circulation 306 98.

Exploitation

L'indice de performance ε est défini comme étant le rapport de la quantité de chaleur ΔQ délivrée au réservoir d'eau chaude par la pompe à chaleur par unité de temps Δt sur la puissance P du compresseur:

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

On a donc

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

c =capacité de chaleur massique de l'eau

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

m = Masse de l'eau = 4 kg

Si des pertes de chaleur dans l'environnement sont négligées, la pente

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

d'une tangente est proportionnelle au diagramme $T_2(t)$ de la puissance thermique

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

de la pompe à chaleur. Le résultat de l'exploitation est représenté à la fig. 3.3. L'indice de performance $\varepsilon(\Delta T)$ diminue au fur et à mesure que l'écart de température $\Delta T = T_2 - T_1$ entre le condenseur et l'évaporateur augmente (fig. 3.3) parce que le diagramme $T_2(t)$ s'aplatit pour un écart de température croissant. A des températures élevées, les pertes de chaleur par évaporation d'eau, émission et conduction thermiques du compresseur et du tuyau entre le compresseur et le condenseur contribuent à cet aplatissement du diagramme; leur influence ne peut être saisie quantitativement.

3.2 Determinación del índice de eficiencia ε

Conectar la bomba de calor a la red, p. ej. a través del medidor de potencia y energía. ¡Emplee la caja para la conexión de medidores y los cables de experimentación de seguridad Fig. 3.1!

Realizar la medición de la disminución de temperatura $T_1(t)$ en el recipiente azul, así como el aumento de temperatura $T_2(t)$ en el recipiente rojo (Fig. 3.2) y la medición del consumo de potencia P del compresor.

Durante el experimento remueva siempre el agua de ambos recipientes sin dañar los termómetros: para tal fin utilice, por ejemplo, una trituradora de patatas (utensilio de cocina) o una bomba de inmersión (306 98).

Evaluación

El índice de eficiencia ε está definido como la relación de la cantidad de calor ΔQ que es suministrada por la bomba de calor al reservorio de agua caliente por unidad de tiempo Δt , a la potencia P del compresor:

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

Como se cumple lo siguiente

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

c =Capacidad calorífica específica del agua

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

m = Masa de agua = 4 kg

Si despreciamos las pérdidas de calor hacia el medio ambiente, la pendiente

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

de una tangente del diagrama $T_2(t)$ es proporcional a la potencia térmica

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

de la bomba de calor. El resultado de la evaluación se muestra en la Fig. 3.3. El índice de eficiencia $\varepsilon(\Delta T)$ decrece cuando la diferencia de temperaturas $\Delta T = T_2 - T_1$ entre el licuefactor y el evaporador aumenta (Fig. 3.3), porque el diagrama $T_2(t)$ se suaviza al aumentar esta diferencia de temperaturas. A este aplanamiento contribuyen las pérdidas de calor, sobre todo a temperaturas altas, debido a la evaporación del agua, radiación de calor y conducción de calor del compresor y de los tubos entre el compresor y el licuefactor, cuya influencias no se pueden registrar cuantitativamente.

Optimisation de l'indice de performance

- a) Calorifuger les réservoirs d'eau et les conduites (mais pas le compresseur!) (avec des bandes de mousse).
- b) Amener le compresseur à sa température de service avant de commencer l'expérience (le faire marcher pendant env. 10 minutes) puis changer l'eau dans les réservoirs et commencer l'expérience.

Optimización del índice de eficacia

- a) Aíslle térmicamente los recipientes de agua y los tubos (¡A excepción del compresor!) con tiras de material esponjoso.
- b) Antes de empezar con el experimento deje que el compresor alcance su temperatura de operación (déjelo funcionar aprox. 10 minutos) y luego renueve el agua de los recipientes.