

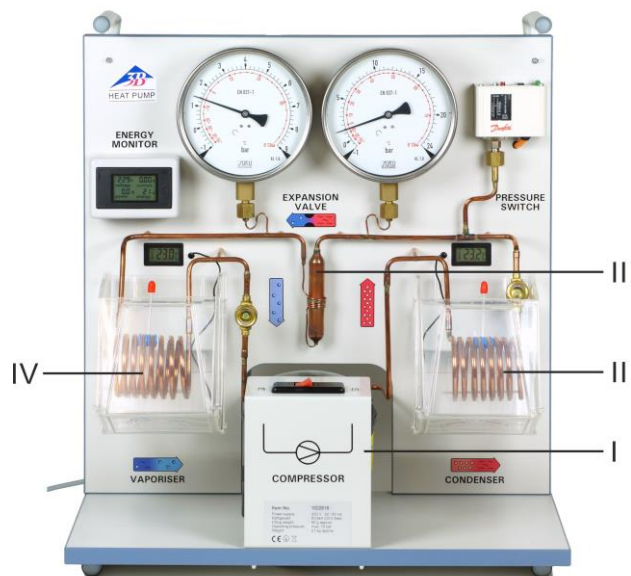
Wärmepumpe D

230 V, 50 Hz 1022618

115 V, 60 Hz 1022619

Bedienungsanleitung

03/20 JS/ALF/GH



- I Kompressor
- II Verflüssiger
- III Entspannungsventil
- IV Verdampfer

1. Beschreibung

Die Wärmepumpe D dient zur anschaulichen Darstellung der Funktionsweise eines Kälteschranks bzw. einer elektrischen Kompressionswärmepumpe.

Die Komponenten Kompressor, Verflüssiger, Expansionsventil und Verdampfer sind auf einem Grundbrett aufgebaut und können dank der übersichtlichen Anordnung unmittelbar mit der Abfolge der Zustandsänderungen im Kreisprozess der Wärmepumpe in Verbindung gebracht werden. Verdampfer und Verflüssiger sind als Kupferrohrwendeln ausgebildet und tauchen in je einen Wasserbehälter ein, der als Reservoir zur Bestimmung der aufgenommenen bzw. abgegebenen Wärme dient. Zwei Digitalthermometer ermöglichen die hierzu notwendige Temperaturmessung in den beiden Wasserbehältern.

Um den Aggregatzustand des Arbeitsmittels beobachten zu können, ist die Wärmepumpe hinter

dem Verdampfer und hinter dem Verflüssiger mit einem Schauglas ausgestattet. Zwei große Manometer zeigen den Druck vor bzw. hinter dem Entspannungsventil an. In den Netzspannungsanschluss integriert ist ein digitaler Energiemonitor zur Bestimmung der Netzspannung, der Stromstärke, der aktuellen Leistungsaufnahme sowie der aufgenommenen elektrischen Energie.

Ein Überdruck-Schutzschalter (8) schaltet den Kompressor bei einem Kühlmitteldruck von 15 bar vom Netz ab.

Die Wärmepumpe D wird in zwei Ausführungen geliefert:

1022618	230V (±10 %), 50 Hz
1022619	115V (±10 %), 60 Hz .

2. Sicherheitshinweise

Die Wärmepumpe D entspricht den Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte nach DIN EN 61010 Teil 1 und ist nach Schutzklasse I aufgebaut. Sie ist für den Betrieb in trockenen Räumen vorgesehen, die für elektrische Betriebsmittel geeignet sind.

Bei bestimmungsgemäßem Gebrauch ist der sichere Betrieb des Gerätes gewährleistet. Die Sicherheit ist jedoch nicht garantiert, wenn das Gerät unsachgemäß bedient oder unachtsam behandelt wird.

Wenn anzunehmen ist, dass ein gefahrloser Betrieb nicht mehr möglich ist (z.B. bei sichtbaren Schäden), ist das Gerät unverzüglich außer Betrieb zu setzen.

In Schulen und Ausbildungseinrichtungen ist der Betrieb des Gerätes durch geschultes Personal verantwortlich zu überwachen.

- Vor Erstinbetriebnahme überprüfen, ob der aufgedruckte Wert für die Netzanschlussspannung den örtlichen Anforderungen entspricht.
- Vor Inbetriebnahme das Gerät und die Netzleitung auf Beschädigungen untersuchen und bei sichtbaren Schäden das Gerät außer Betrieb setzen und gegen unbeabsichtigten Betrieb sichern.

- Gerät nur an Steckdosen mit geerdetem Schutzleiter anschließen.

Überhitzungsgefahr: Der Kompressor der Wärmepumpe wird im Betrieb sehr heiß.

- Freie Luftzirkulation um den Kompressor nicht behindern.
- Kompressor nicht thermisch isolieren.
- Einen Reset des Überdruckschalters frühestens 10 min nach dessen Ansprechen durchführen.

Das Arbeitsmittel in der Wärmepumpe steht auch bei ausgeschaltetem Kompressor unter Überdruck.

- Gerät nur an den Tragegriffen transportieren.
- Kupferleitungen auf keinen Fall verbiegen und beschädigen.

Das Arbeitsmittel darf nicht in flüssiger Phase in den Kompressor gelangen, da dieser überlastet würde. Das Schmiermittel aus dem Kompressor darf nicht in den Kühlkreislauf gelangen.

- Wärmepumpe immer senkrecht aufbewahren, transportieren und betreiben.
- Wärmepumpe vor Inbetriebnahme mindestens 7 h senkrecht stehen lassen, falls sie gekippt wurde.
- Wärmepumpe nur im Originalkarton aufrecht stehend auf der Einwegpalette verschicken.

3. Komponenten

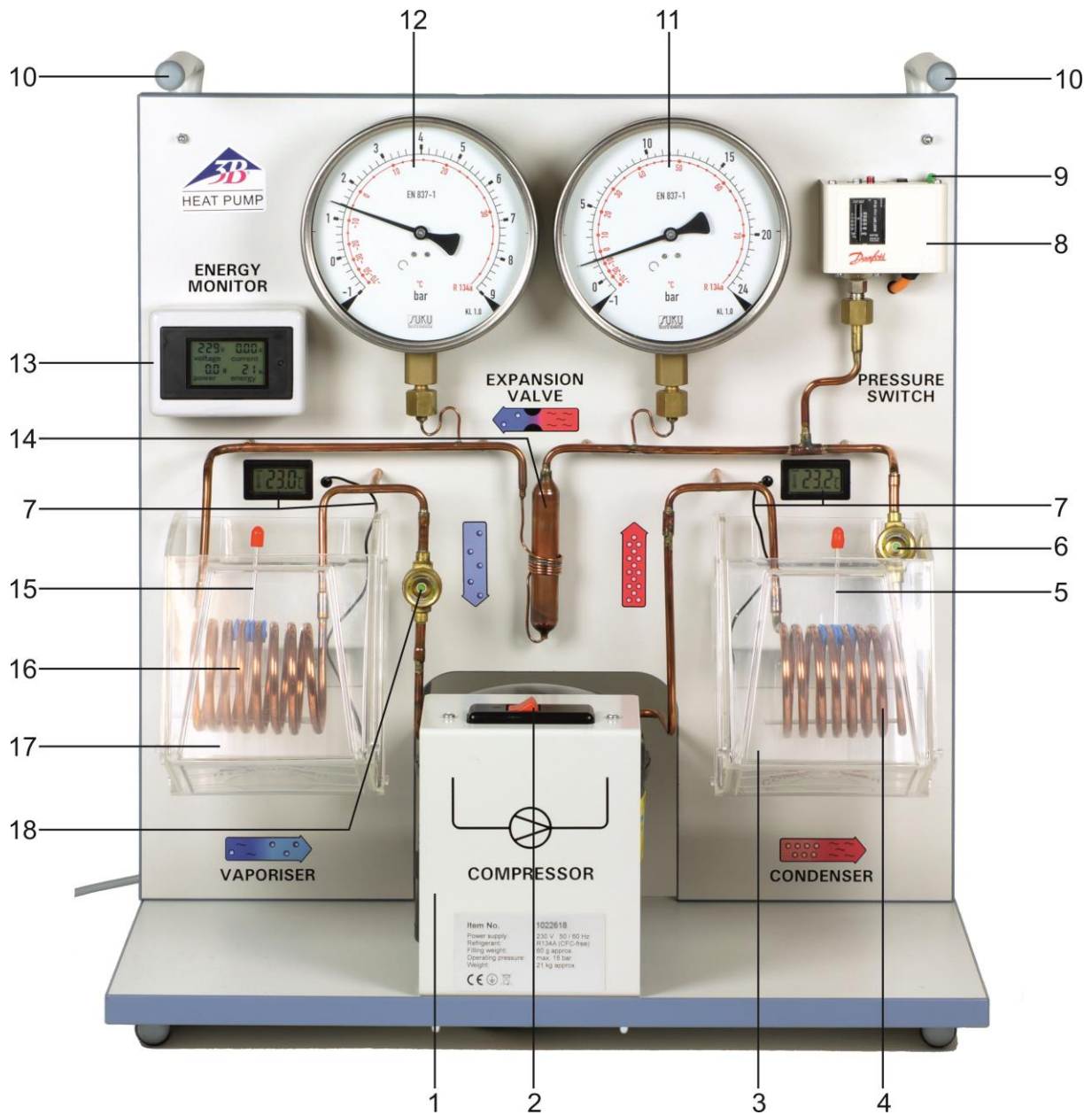


Fig. 1 Komponenten der Wärmepumpe

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1 Kompressor | 11 Manometer für Hochdruckseite |
| 2 Schalter für Kompressor | 12 Manometer für Niederdruckseite |
| 3 Wasserbehälter um Verflüssiger | 13 Energiemonitor |
| 4 Verflüssigerwendel | 14 Entspannungsventil |
| 5 Rührer, verflüssigerseitig | 15 Rührer, verdampferseitig |
| 6 Schauglas, verflüssigerseitig | 16 Verdampferwendel |
| 7 Digitalthermometer mit Temperaturfühler | 17 Wasserbehälter um Verdampfer |
| 8 Überdruck-Schutzschalter | 18 Schauglas, verdampferseitig |
| 9 Reset für Schutzschalter | Netzanschlusskabel (auf Rückseite) |
| 10 Tragegriffe | |

4. Zubehör

Zur Temperaturmessung an verschiedenen Stellen der Kupferleitung eignet sich der „Temperatursensor NTC mit Messklemme“ (1021479), da er mit gutem Wärmeübergang direkt an die Kupferleitung angeklemt werden kann. Er wird verwendet in Verbindung mit dem Datalogger „VinciLab“ (1021477).

5. Technische Daten

Kompressorleistung:	ca. 120 W, abhängig vom Betriebszustand
Arbeitsmittel:	R 134A (Tetrafluorethan C ₂ H ₂ F ₄)
Siedetemperatur:	-26°C bei 1 bar
Wasserbehälter:	je 2000 ml
Manometer:	160 mm Ø, bis 9 bar (Niederdruckseite, Saugleitung), bis 24 bar (Hochdruckseite, Druckleitung)
Schutzschalter:	schaltet bei 15 bar ab
Thermometer:	
Messtemperatur:	-20°C bis 110°C
Auflösung:	0,1°C
Genauigkeit:	±1°C
Messintervall:	ca. 10 s
Betriebsspannung:	aus zwei Knopfzellen LR44
Netzanschluss:	115 V, 60 Hz bzw. 230 V, 50 Hz
Abmessungen:	750 x 350 x 540 mm ³
Masse:	ca. 21 kg

6. Bedienung

6.1 Wasserbehälter füllen

- Wasserbehälter mit 2l Wasser füllen und mit der niedrigen Kante voran unter die Verdampfer- bzw. Verflüssigerwendel schieben.
- Wasserbehälter drehen, so dass die hohe Kante zur Rückwand zeigt.
- Wasserbehälter anheben, zur Rückwand kippen und in das Halblech einhängen.

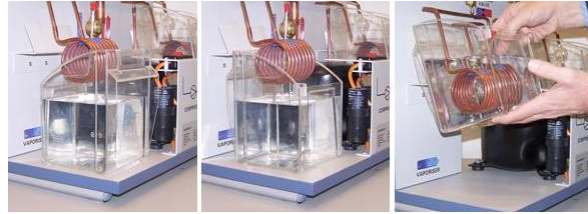


Fig. 3 Anbringen des Wasserbehälters an der Wärmepumpe
Links: Wasserbehälter mit niedriger Kante zur Wärmepumpe
Mitte: Wasserbehälter gedreht, mit niedriger Kante nach vorn zeigend
Rechts: Wasserbehälter wird ins Halblech eingehängt

6.2 Inbetriebnahme

- Beachtung der Sicherheitshinweise unter Punkt 2.
- Wärmepumpe vor Inbetriebnahme mindestens 7 h senkrecht stehen lassen, falls sie gekippt wurde.
- Wasserbehälter füllen (siehe Punkt 6.1)
- Kompressor einschalten.

Hinweis: Der Energiemesser arbeitet auch bei ausgeschaltetem Kompressor.

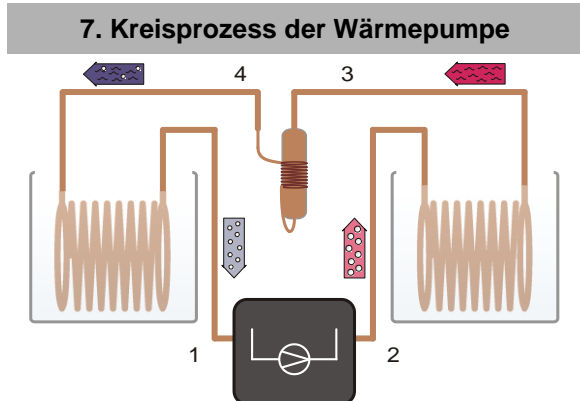


Fig. 4 Schematische Darstellung der Wärmepumpe mit Kompressor (1→2), Verflüssiger (2→3), Entspannungsventil (3→4) und Verdampfer (4→1)

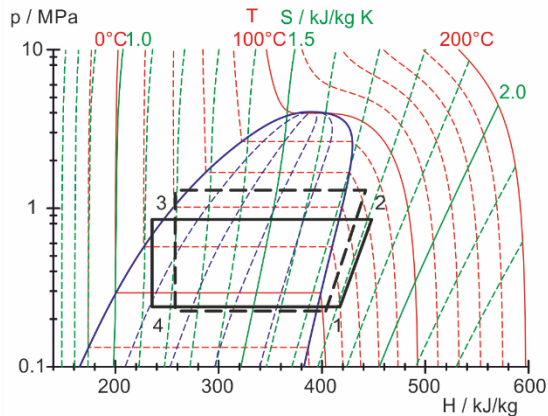


Fig. 5 Darstellung des idealisierten Kreisprozesses der Wärmepumpe im Mollier-Diagramm (siehe Abschnitt 8.2)

Der Kreisprozess der Wärmepumpe wird idealisiert in die vier Schritte Kompression (1→2), Verflüssigung (2→3), gedrosselte Entspannung (3→4) und Verdampfung (4→1) unterteilt:

Kompression:

Das gasförmige Arbeitsmittel wird vom Kompressor angesaugt, ohne Entropieänderung ($s_1 = s_2$) von p_1 auf p_2 komprimiert und dabei überhitzt. Die Temperatur steigt von T_1 auf T_2 . Die mechanische Verdichtungsarbeit pro Masseneinheit ist $\Delta w = h_2 - h_1$.

Verflüssigung:

Im Verflüssiger kühlt das Arbeitsmittel ab und kondensiert. Die frei werdende Wärme (Überhitzungswärme und Kondensationswärme) erwärmt das umgebende Reservoir auf die Temperatur T_2 . Sie beträgt pro Masseneinheit $\Delta q_2 = h_2 - h_3$.

Gedrosselte Entspannung:

Das kondensierte Arbeitsmittel gelangt zum Entspannungsventil, um dort gedrosselt (d.h. ohne mechanische Arbeit) auf niedrigeren Druck entspannt zu werden. Dabei nimmt auch die Temperatur ab, da Arbeit gegen die molekularen Anziehungskräfte im Arbeitsmittel verrichtet werden muss (Joule-Thomson-Effekt). Die Enthalpie bleibt konstant ($h_4 = h_3$).

Verdampfung:

Im Verdampfer verdampft das Arbeitsmittel unter Aufnahme von Wärme im Idealfall vollständig. Dies führt zur Abkühlung des umgebenden Reservoirs auf die Temperatur T_1 . Die aufgenommene Wärme pro Masseneinheit ist $\Delta q_1 = h_1 - h_4$.

Das verdampfte Arbeitsmittel wird zur erneuten Kompression wieder vom Kompressor angesaugt.

Hinweis:

Das entspannte Kältemittel verdampft und entzieht dem linken Reservoir Wärme.

Unter idealen Bedingungen führt das Rohrsystem vom Verdampfer über das Schauglas bis zum Verdichter ausschließlich gasförmiges Kältemittel.

Mit sinkender Wassertemperatur nimmt die Wärmehaufnahme über die Verdampferwendel ab und infolge dessen können im linken Schauglas Tropfen von Kältemittel sichtbar werden.

Dies hat praktisch keinen Einfluss auf die Funktion der Wärmepumpe, sollte jedoch durch ständiges Umwälzen des Wassers auf ein Minimum reduziert werden.

Für die Bestimmung der Leistungszahl wird ein eingeschränktes Temperaturfenster des Wassers empfohlen:

Ausgangstemperatur zu Beginn des Experiments in beiden Behältern ca. 20 bis 25°C, Abbruchtemperatur des heruntergekühlten Wassers im linken Reservoir etwa 10°C bis 12°C.

8. Experimentierbeispiele

8.1 Wirkungsgrad des Kompressors

Der Wirkungsgrad η_{∞} des Kompressors ergibt sich aus dem Verhältnis der Wärmemenge ΔQ_2 , die dem Warmwasserreservoir pro Zeitintervall Δt zugeführt wird, zur Antriebsleistung P des Kompressors. Sie nimmt mit wachsender Temperaturdifferenz zwischen Verflüssiger und Verdampfer ab.

Zur Bestimmung des Wirkungsgrades:

- Wärmepumpe ans Netz anschließen.
- Wasserbehälter mit je 2l Wasser befüllen und in das Halteblech einsetzen (siehe Punkt 6.1). Für die nachfolgende Messung zusätzlich mind. 4l Wasser mit 20°C bereit halten.
- Kompressor einschalten und ca. 10 Min. laufen lassen, so dass er seine Betriebstemperatur erreicht (die Erwärmung des Kompressors sollte nicht während der Messung erfolgen)
- Wasserbehälter leeren und mit dem auf 20°C temperierten Wasser befüllen. Energiemesser zurücksetzen (Punkt 9)
- Kompressor einschalten und Zeitmessung starten (Stoppuhr, Smartphone, etc.).
- Während des gesamten Experiments das Wasser in den Behältern immer gut umrühren.

- In gleichen Zeitintervallen Betriebsdauer, Leistungsaufnahme und die Wassertemperaturen notieren.
- Abbruch der Messung, bei ca. 10°C im linken Reservoir

Aus den Messwerten kann für den Verlauf des Experiments ein Gesamtwirkungsgrad, sowie für jedes Zeitintervall ein Teilwirkungsgrad berechnet werden.

$$\eta_{\text{co}} = \frac{\Delta Q_2}{P \cdot \Delta t} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T_2}{P \cdot \Delta t}$$

c = spezifische Wärmekapazität von Wasser
 m = Masse des Wassers.

8.2 Darstellung im Mollier-Diagramm

Der idealisierte Kreisprozess lässt sich im Mollier-Diagramm durch Messung der Drücke $p(3)$ und $p(4)$ vor und hinter dem Entspannungsventil und der Temperatur $T(1)$ vor dem Kompressor bestimmen:

$T(1)$ und $p(4)$ legen Punkt 1 im Mollier-Diagramm fest (siehe Fig. 5). Der Schnittpunkt der zugehörigen Isentropen mit der Horizontalen $p(3) = \text{const.}$ ergibt Punkt 2. Der Schnittpunkt der Horizontalen mit der Siedelinie führt zu Punkt 3 und das Lot auf die Horizontale $p(4) = \text{const.}$ zu Punkt 4.

Die zusätzliche Messung der Temperaturen $T(2)$, $T(3)$, und $T(4)$ gibt einen erweiterten Einblick in die in der Wärmepumpe ablaufenden Prozesse:

So stimmt die extern gemessene Temperatur $T(4)$ innerhalb der Messgenauigkeit mit der Temperatur überein, die der Temperaturskala des zugehörigen Manometers abgelesen wird. Diese Temperaturskala beruht auf der Dampfdruckkurve des Arbeitsmittels. Also zeigt die Messung, dass das Arbeitsmittel hinter dem Entspannungsventil ein Gemisch aus Flüssigkeit und Gas ist.

Die extern gemessene Temperatur $T(3)$ weicht dagegen von der auf dem Manometer der Hochdruckseite abgelesenen Temperatur ab. Das Arbeitsmittel enthält hier keine Gasanteile sondern ist vollständig flüssig.

8.3 Theoretische Leistungszahl

Die theoretische Leistungszahl des idealisierten Kreisprozesses lässt sich aus den im Mollier-Diagramm abgelesenen spezifischen Enthalpien h_1 , h_2 und h_3 berechnen:

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\Delta q_2}{\Delta w} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

8.4 Massestrom des Arbeitsmittels

Sind die Enthalpien h_2 und h_3 des idealisierten Kreisprozesses sowie die dem Warmwasserreservoir pro Zeitintervall Δt zugeführte Wärmemenge ΔQ_2 bestimmt, so lässt sich der Massestrom des Arbeitsmittels abschätzen.

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta t} \cdot \frac{1}{h_2 - h_3}$$

9. Energiemesser

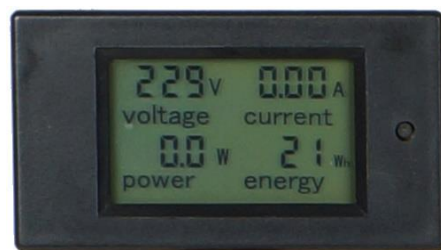


Fig. 6 Energiemesser

Auf dem Display vom Energiemesser können folgende Werte abgelesen werden:

Elektrische Spannung	Einheit: Volt
Elektrische Stromstärke	Einheit: Ampere
Elektrische Leistung	Einheit: Watt
Elektrische Energie	Einheit: Wattstunde

Um die elektrische Energie auf Null zurück zu setzen muss man mit einem spitzen Gegenstand den kleinen Taster rechts neben dem Display wie folgt betätigen.

- ca. 4 Sekunden lang halten bis der Wert der elektrischen Energie blinkt, danach noch einmal kurz betätigen.

Um das Display besser ablesen zu können, kann es geneigt werden.

10. Mollier-Diagramm

Zur Darstellung des Kreisprozesses einer Kompressions-Wärmepumpe verwendet man häufig das Mollier-Diagramm des Arbeitsmittels. Darin ist der Druck p gegen die spezifische Enthalpie h des Arbeitsmittels aufgetragen (die Enthalpie ist ein Maß für den Wärmehalt des Arbeitsmittels, sie wird im Allgemeinen mit wachsendem Druck und mit zunehmendem Gasanteil größer).

Außerdem werden die Isothermen ($T = \text{const.}$) und Isentropen ($S = \text{const.}$) sowie der relative Masseanteil der flüssigen Phase des Arbeitsmittels angegeben. Links von der sogenannten Siedelinie ist das Arbeitsmittel vollständig kondensiert. Rechts von der sogenannten Taulinie liegt das Arbeitsmittel als überhitzter Dampf und innerhalb beider Linien als Flüssigkeits-Gas-Gemisch vor. Die beiden Linien berühren sich im kritischen Punkt.

Siehe Fig.7 auf Seite 8.

11. Batteriewechsel

- Abdeckung auf der Rückseite des Thermometers öffnen und die leeren Batterien entnehmen.
- Batterien ersetzen. Dabei auf die richtige Polarität achten.
- Abdeckung wieder schließen.
- Vor längeren Pausen Batterien entnehmen.
- Leere Batterien nicht im Hausmüll entsorgen. Geltende gesetzlichen Vorschriften einhalten (D: BattG; EU: 2006/66/EG).

12. Aufbewahrung, Pflege und Wartung

Die Wärmepumpe ist wartungsfrei.

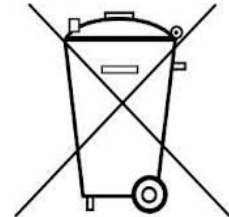
- Wärmepumpe an einem sauberen, trockenen und staubfreien Platz aufbewahren.
- Vor der Reinigung Wärmepumpe von der Stromversorgung trennen.

- Zum Reinigen ein weiches, feuchtes Tuch benutzen.

13. Entsorgung

- Für eventuelle Reparaturen, Rücksendung etc. muss die Wärmepumpe im Originalkarton aufrecht stehend auf der Einwegpalette verschickt werden. Deshalb Originalkarton und Einwegpalette nicht entsorgen.

- Sofern die Wärmepumpe selbst verschrottet werden soll, so gehört dieses nicht in den normalen Hausmüll. Es sind die lokalen Vorschriften zur Entsorgung von Elektroschrott einzuhalten.



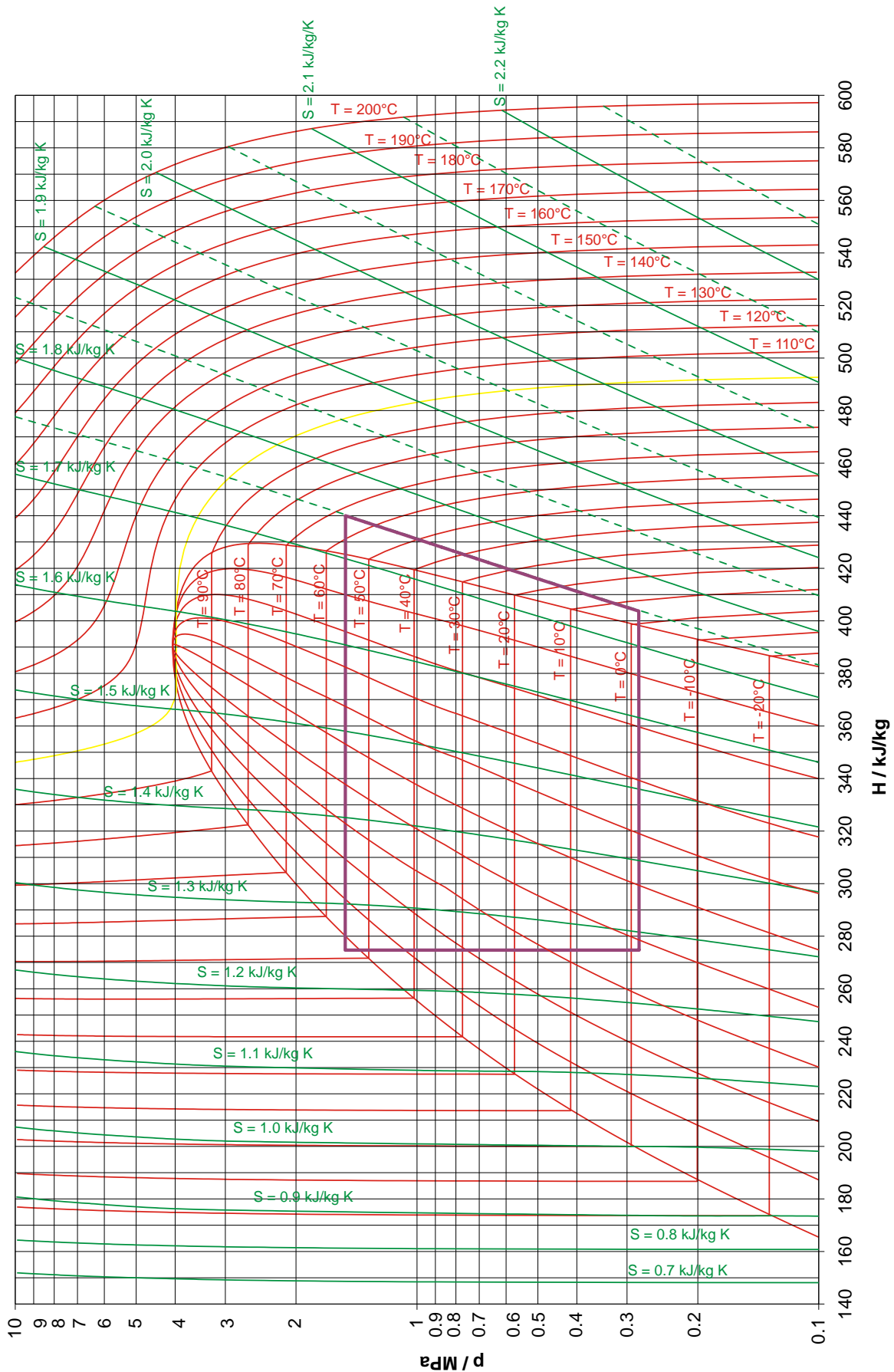


Fig. 7 Mollier-Diagramm