

Wer will da durchblicken?  
Und dann auch noch Fremdwörter!

## LOG(P)-H-DIAGRAMM

# Höhere Weihen der Kältetechnik

Wärmepumpen und Kältemaschinen funktionieren weltweit millionenfach. Und auch ohne dass man den Prozess in einem so genannten log(p)-h-Diagramm nachvollziehen kann, wird das Zusammenspiel der Komponenten weiterhin erfolgreich funktionieren. Strebt man jedoch nach höheren Weihen der Erkenntnis oder möchte bei einem Fachgespräch folgen können, ist der Durchblick durch dieses kurvenreiche Diagramm hilfreich.

**D**iagramme vereinfachen oft die Sicht der Dinge, so auch das  $\log(p)$ -h-Diagramm. Man sollte also zuerst einmal die Bedenken ablegen, man könnte dieses Kurven-Gedöns niemals durchblicken. Es bleiben am Ende einige wenige Zusammenhänge übrig, um das Wesentliche einer Kältemaschine oder Wärmepumpe erfassen zu können.

## LOG(P)

Um den Durchblick zu behalten, haben die Menschen Zahlen entwickelt. Die Naturwissenschaften lassen sich so deutlich besser erfassen, als wenn man nur die Eigenschaften viel oder wenig benutzen würde. Unser Zahlensystem kann man dabei grafisch an einem Zahlenstrahl auftragen. Der Abstand von der Zahl Eins zur Zwei und dann zur Drei ist immer gleich groß. Das hilft, wenn man sich den Abstand zwischen zwei Städten in Kilometern vorstellen möchte. Aber Prozesse laufen nicht immer so schlicht ab wie die Wanderung von Dortmund nach Köln. Beispielsweise der Druck auf ein verdampfendes Kältemittel hat einen komplizierten Einfluss auf den Energiegehalt dieses Kältemittels. Daher verlässt man zur besseren Darstellung dieses Zusammenhangs das gewohnte Zahlensystem und bedient sich des Logarithmus einer Zahl. Einige technische Diagramme verwenden diesen Trick. Es hilft ein wenig, wenn man weiß, der Logarithmus von 10 ist 1 der von 100 ist 2 der von 1000 ist 3 usw. Obwohl sich also die Werte von Zahlen erheblich unterscheiden, kann der Logarithmus dieser Zahlen auf einem Zahlenstrahl überraschend nah beieinander liegen. So ist jedenfalls die senkrechte Achse des Diagramms, also die y-Achse, aufgebaut. Sie stellt den Druck mit logarithmischer Teilung dar und steigt wie gewohnt von unten nach oben an. „ $\log(p)$ “ steht also für logarithmisch aufgetragenen Druck.

## H FÜR ENTHALPIE

Die Enthalpie wird mit dem Buchstaben H abgekürzt und ist aus dem Englischen für „heat content“ abgeleitet. Am einfachsten lässt es sich also mit dem Begriff Wärmeinhalt übersetzen und wird in der Einheit Joule (J) angegeben. Und die spezifische Enthalpie „h“ bezeichnet dann den Wärmeinhalt bezogen auf eine Masse, spezifisch eben. Der Wärmeinhalt bezogen auf eine Masse erhält dann in der Regel die Einheit



Bild Viessmann

**Das Herzstück einer Wärmepumpe, der Verdichter. Im Bild ein Scrollverdichter**

Kilojoule pro Kilogramm (kJ/kg). Waagrecht nimmt also der Wärmeinhalt von links nach rechts zu.

## ABLESEBEISPIEL

Dieses Diagramm gilt nur für das Kältemittel R407C. Das R in R407C steht übrigens schon für Refrigerant, also Kältemittel, weshalb man schlicht von R407C sprechen kann und allen Wissenden ist dann klar, dass es sich um ein Kältemittel handelt. Das abgebildete  $\log(p)$ -h-Diagramm beinhaltet ein



## FILM ZUM THEMA



**Ein aufschlussreicher Film zum Thema „Verdichter“ zeigt, mit welchen skurrilen Tricks die Kältemaschinen- und Wärmepumpenverdichter arbeiten.**

[www.sbz-monteur.de](http://www.sbz-monteur.de) → Das Heft → Lehrfilme zum Heft

Ablesebeispiel im Punkt (1). In diesem Diagramm sind die Informationen abzulesen für einen Zustand des Kältemittels bei einem Druck (p) von 3,0 bar und einer Enthalpie (h) von 220 kJ/kg. Rein optisch fällt sofort auf, dass dieser Punkt unterhalb der erkennbaren Glocke liegt. Es handelt sich daher ganz klar um das bereits siedende Kältemittel. Die Eingeweihnten wissen nämlich, links von der Glocke ist alles flüssig, rechts davon existiert überhitzter Dampf. Der Dampfanteil im Punkt (1) liegt bei genau 0,2, also 20 Prozent. Der Rest, also noch 80 Prozent des Kältemittels, ist flüssig. Die Temperatur des Kältemittels liegt bei minus 17 °C. Solange jetzt die Umgebung auch nur ein wenig wärmer ist als minus 17 °C, verdampft dieses Kältemittel und der Zustand verändert sich bei ansonsten gleichem Druck auf der waagerechten Drucklinie nach rechts. Die Enthalpie nimmt dabei kontinuierlich zu. Irgendwie unheimlich, nicht wahr? Minus 17 °C und die siedende Flüssigkeit nimmt tüchtig Energie auf und verdampft dabei immer mehr.

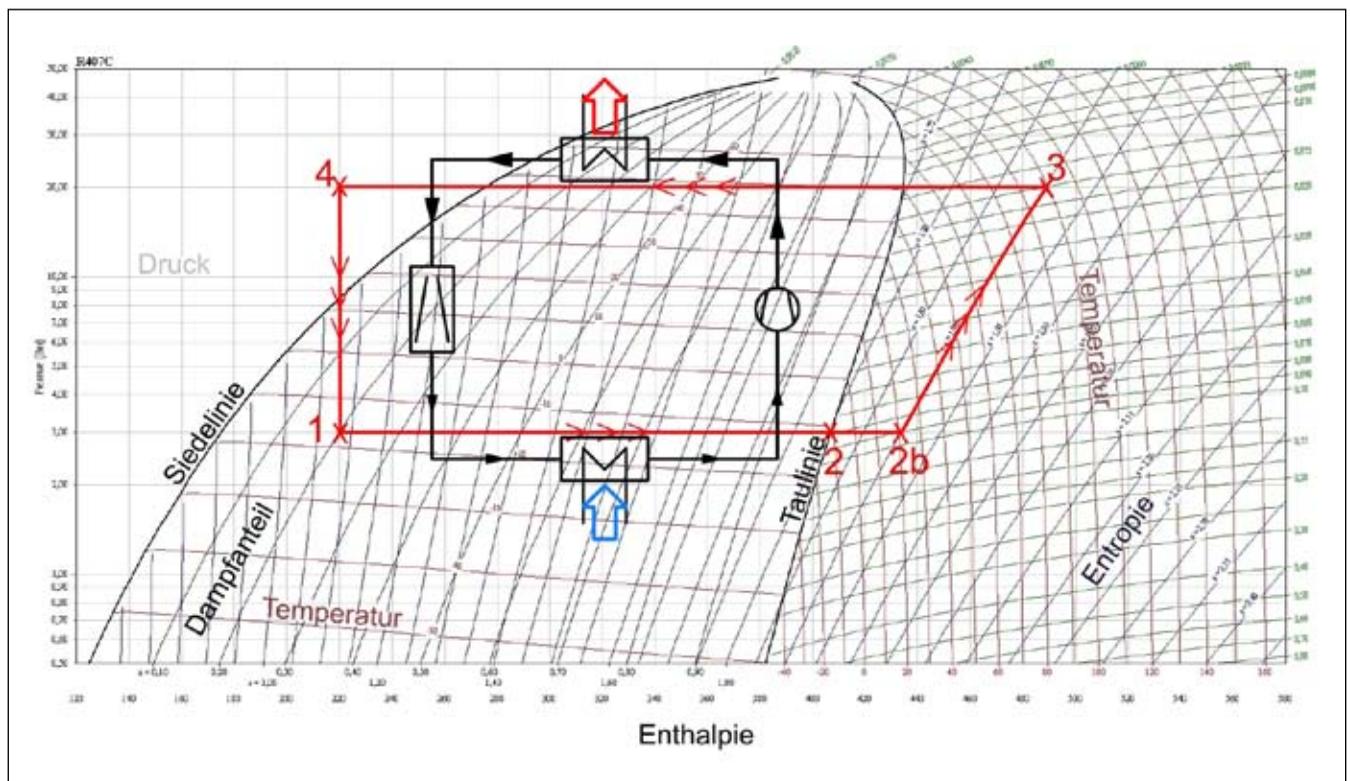
**FOLGEN FÜR DEN KREISLAUF**

Im Kältekreislauf würde der Ablesepunkt (1) eine Stelle im Verdampfer einer Kälteanlage oder Wärmepumpe markieren. Dort würde vom Kältemittel die Energie aus der Umgebung

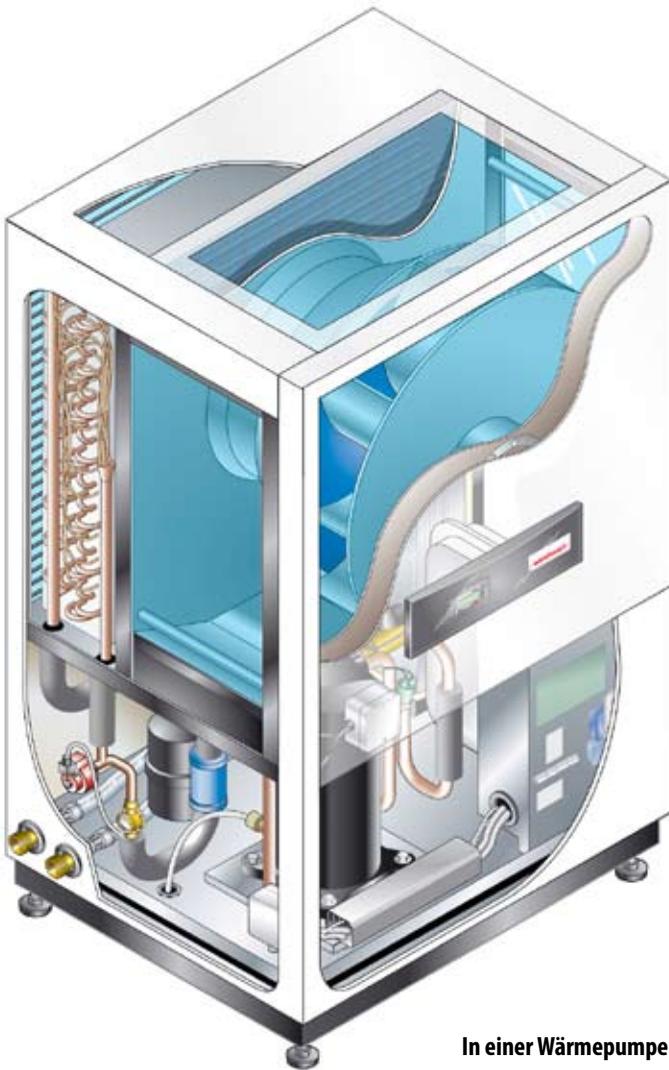
aufgenommen, sei es das Kühlhaus (Kälteanlage) oder das Erdreich (Wärmepumpe). Für dieses Kältemittel und bei genau 3,0 bar Druck wäre die Verdampfung fortlaufend bis zum Punkt (2) beobachtbar. Dann wäre das Kältemittel vollständig verdampft. In dem Kreisprozess einer Kältemaschine würde sicherheitshalber noch etwas nacherwärmt, um das Kältemittel ganz sicher dampfförmig zu erhalten. Die sogenannte Überhitzung würde erzwungen, der Punkt (2b) wird besetzt. Es darf nämlich für den dann in Aktion tretenden Kompressor keine noch so geringe Flüssigkeitsmenge vorhanden sein, der Kompressor könnte sonst zerstört werden. Wie auch immer, der Enthalpiegehalt beträgt nun 432 kJ/kg und ist damit um 212 kJ/kg angestiegen. Nur durch Umgebungswärme wohlgermerkt.

**KOMPRESSOR**

Ein Kompressor muss tun, was ein Kompressor tun muss, er komprimiert. Häufig werden die skurril anmutenden Scrollverdichter eingesetzt. Die Verdichtung findet statt bei gleichbleibender Entropie. Im Ablesebeispiel beträgt diese Entropie genau 1,9 kJ/kg. Die Entropie sollte nicht verwechselt werden mit der Enthalpie. Die Entropie kennzeichnet zwar ebenfalls einen Energiegehalt. Für das Verständnis des Kältekreislaufs ist



Log(p)-h-Diagramm mit den entsprechenden Komponenten



**In einer Wärmepumpe steckt eine Menge Technik, und die erfordert Erfahrung des Herstellers**

die genaue Kenntnis aber nicht notwendig. Es reicht die Tatsache zu berücksichtigen, dass die Kompression bei konstanter Entropie stattfindet. Im Ablesebeispiel schafft der Kompressor eine Verdichtung auf 20 bar und damit auf den Punkt (3) im Diagramm. Man kann jetzt ablesen, welche Temperatur das R407C angenommen hat, nämlich annähernd 100 °C bei einer Enthalpie von mittlerweile 488 kJ/kg. Während der Kompression hat die Enthalpie ja nochmals ein wenig zugelegt (56 kJ/kg). Der Hauptanteil (212 kJ/kg) stammt aber aus der Verdampfung.

## VERFLÜSSIGUNG

Wer den Kältekreislauf kennt, erwartet jetzt bereits den nächsten Schritt im Diagramm. Denn auf dem hohen Temperaturniveau kann jetzt Wärme an die Umgebung abgegeben

werden. Dabei wird ganz normal der Taupunkt unterschritten und mit weiter abnehmender Temperatur verflüssigen sich immer größere Anteile des Kältemittels. Bei konstantem Druck wandert also der Zustand von Punkt (3) zu (4). Die Enthalpie nimmt erheblich ab. Klar, die Energie wird an die Umgebung, oder im Falle einer Wärmepumpe an eine Fußbodenheizung, abgegeben.

## DRUCKSENKUNG

Senkt man jetzt den Druck, so wäre es, als würde man Feuerzuggas urplötzlich freisetzen, sprich entspannen. Der Zustand vom R407C wird mittels eines Expansionsventils von Punkt (4) zu (1) verändert und ist damit wieder in Ausgangsposition. Dieser Kreisprozess lässt sich also eindeutig einzelnen Komponenten zuordnen und im  $\log(p)$ - $h$ -Diagramm nachzeichnen. Über den Zusammenhang des Massenstroms eines eingesetzten Kältemittels kann auch die Leistung genau vorausgesagt werden. Der Zusammenhang ist ganz einfach. Während im normalen Sprachgebrauch die Energie in Kilowattstunden (kWh) und die Leistung in Kilowatt (kW) benannt wird, zeigt das  $\log(p)$ - $h$ -Diagramm bei der Enthalpie den Energiegehalt in Kilojoule pro Kilogramm (kJ/kg).

Der Bezug ist dann

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ Wattsekunde}$$

oder

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

und dann gilt natürlich auch

$$1 \text{ J/s} = 1 \text{ W}$$

Bei einer Enthalpiedifferenz von insgesamt 268 kJ/kg kann man annehmen, dass man eine Wärmepumpe mit ca. 268 kW Leistung betreiben würde, wenn man ein Kilogramm pro Sekunde (kg/s) unter diesen Umständen einsetzen würde. ■