

Das h-log-p (lg p-h)-Diagramm

Das h-log-p-Diagramm ist in der Kältetechnik das wichtigste Arbeitsinstrument neben den Dampftafeln für den gesättigten-, Naßdampf- und überhitzten Bereich. Im Gegensatz zu den Dampftafeln kann im Diagramm der **Kältekreislauf graphisch** sehr anschaulich dargestellt werden. Ein Nachteil ist die Tatsache, daß die zur Berechnungen benötigten Werte teilweise nur **ungenau abgelesen** werden können. Hier sind die Dampftafeln besser geeignet.

Bei Kältemitteln die aus mehreren Einzelkomponenten zusammengesetzt sind (sogenannte **Blends** bzw. **zeotrope Gemische** z.B. R404A oder R407C) ist der Druck-Temperaturverlauf speziell **im Nassdampfgebiet** des Verdampfers und im Verflüssiger durch den sogenannten "**Gleit oder Glide**" nicht parallel. Während der Verdampfung steigt die Temperatur im Verhältnis zum Druck an, bei der Verflüssigung sinkt sie, d.h. die Isobaren und Isothermen verlaufen in einen bestimmten Verhältnis versetzt.

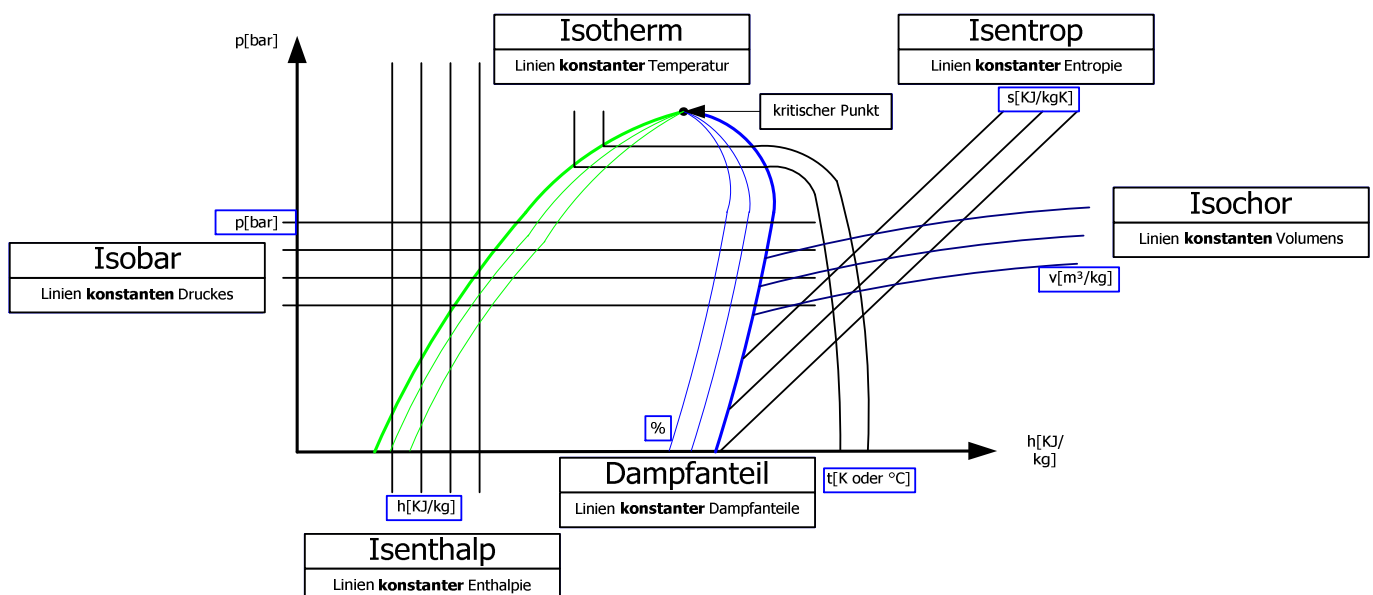
Dieser Gleitwert ist abhängig vom Stoffgemisch des zeotropen Kältemittels und liegt zwischen 0,7K für R404A und 7,4K für R407C!

Für die Praxis bedeutet dies, daß der abgelesene Druck auf dem Manometer (Sättigungsdruck) nicht direkt wie bei den Kältemitteln ohne Gleit einer dort ablesbaren Temperatur entspricht.

In der Regel wird die Temperatur saugseitig nur als **Dew-Point-Temperatur** und druckseitig als Bubble-Point-Temperatur auf dem Manometer angezeigt. Die **Bubble-Point-Temperatur** ist saugseitig und die Dew-Point-Temperatur ist druckseitig ausgeblendet. Es gibt aber auch Ausnahmen. Bei diesen Manometern sind beide Werte aufgedruckt. Dann ist darauf zu achten, ob saug- oder druckseitig gemessen wird!

Dies kann im Extremfall eine erhebliche Abweichung von den tatsächlichen Werten bedeuten, da der Gleitwert speziell in der Flüssigkeits- und Dampfphase starken Schwankungen unterliegen kann (Anlagentechnisch bedingt). Bei Leckagen sind für eine mögliche Verschiebung der Stoffkonzentrationen des Kältemittels nach dem Expansionsventil (Einspritzleitung), im Verdampfer im Verflüssiger und im Sammler die kritischsten Punkte. Hier kann sich innerhalb des Zweiphasengebietes des Kältemittels eine Konzentrationsverschiebung und somit veränderte thermodynamische Eigenschaften einstellen. Im übrigen sind zeotrope Gemische **flüssig** in die Kälteanlagen **einzufüllen**.

Im folgenden Bild wird der Aufbau des Diagramms mit den ablesbaren Werten dargestellt. Dieses Diagramm gilt speziell für Einstoff-Kältemittel wie z.B. R134a oder R22.



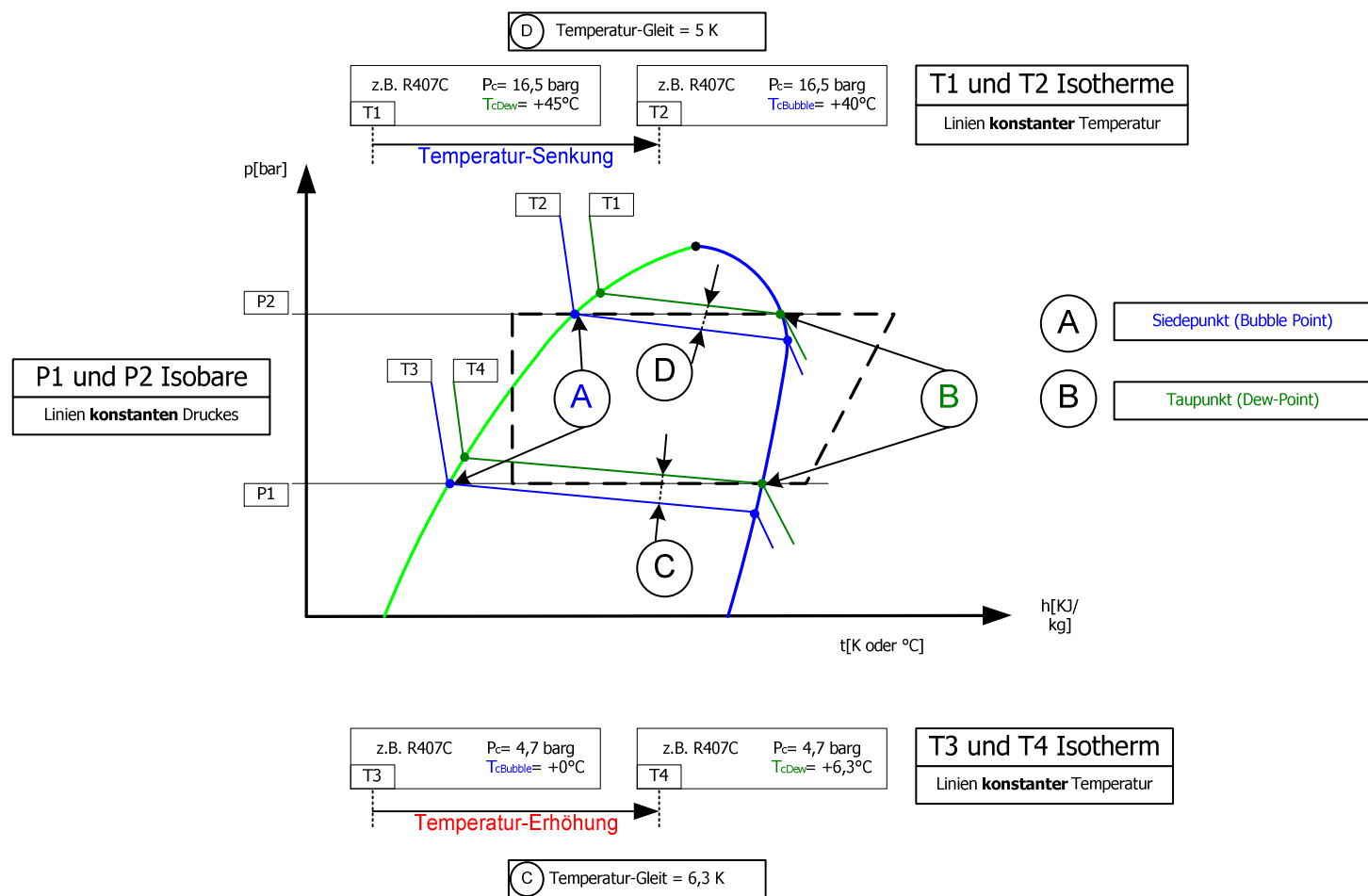
Nicht-azeotrope Kältemittel (zeotrope Kältemittel)

Die nicht-azeotropen Kältemittel, sind Kältemittel, die sich in gewissem Umfang wie echte azeotrope Mischungen verhalten. Aus diesem Grund werden sie allgemein als nicht-azeotrope Kältemittel oder teilweise als nah-azeotrope Kältemittel bezeichnet. Alle Kältemittel der R 400 Serie gehören dieser Gruppe an.

Diese beinhalten unter anderem R 401A, R 401B, R 402A, R 402B, R 404A, R 407C, R 410A.

Bei diesen Kältemitteln ist die Zusammensetzung der gesättigten Dampfphase nicht die gleiche wie die Zusammensetzung der gesättigten flüssigen Phase (Abb. 1). Das bedeutet während des Verdampfungsvorganges (wenn der Dampfgehalt im Verdampfer steigt (Naßdampfgebiet)), ändert sich die Zusammensetzung der siedenden Flüssigkeit.

Abb. 1



Diese Änderung der Zusammensetzung verursacht eine Änderung (einen Anstieg) der Siedetemperatur bei einem gegebenen Druck. Das heißt, während des Verdampfungsvorganges steigt die Temperatur bei konstantem Druck (nicht Überhitzung!). Dieser Temperaturanstieg (T3 nach T4) wird Temperaturgleit des Verdampfers genannt. Umgekehrt fällt die Kondensationstemperatur (T1 nach T2) während des Verflüssigungsvorganges (nicht Unterkühlung!) bei sinkendem Dampfgehalt. (Temperaturgleit des Verflüssigers).

Dieser Temperaturgleit ist für jedes Kältemittel unterschiedlich, und der Temperaturgleit bei der Verdampfung ist oft etwas anders als der Temperaturgleit bei der Verflüssigung. Im Fall der zeotropen Kältemittel variiert der Temperaturgleit innerhalb des Verdampfers zwischen z. B. für R 404A $\Rightarrow$ 0,4 K und für R 407C $\Rightarrow$ 7,4 K. Die Dampfdrucktabellen dieser nicht-azeotropen Kältemittel sind daher etwas unterschiedlich zu den von Einstoff-Kältemitteln oder azeotropen Kältemittelmischungen. Die nicht-azeotropen Kältemittel besitzen zwei verschiedene Dampfdruck-Temperaturkurven:

- eine für die gesättigte Flüssigkeit (Siedepunkt oder Bubble-Point) und
- eine für den gesättigten Dampf (Tau- bzw. Kondensationspunkt oder Dew-Point).

In den Tabellen der thermodynamischen Eigenschaften erscheinen daher zwei Druck/Temperaturwerte, für die gesättigte Flüssigkeit und für den gesättigten Dampf.

Auch die Druck-Enthalpie-Diagramme sehen verglichen mit denen von Einstoffkältemitteln etwas verändert aus. Die Isothermen, oder auch Linien konstanter Temperatur, verlaufen in der Zweiphasenregion nicht parallel zu den Isobaren, Linien konstanten Drucks. Abb. 1 zeigt die Temperaturgleits im Verdampfer und Verflüssiger.

Praktische Auswirkungen auf den Gebrauch von nicht-azeotropen (zeotropen) Kältemitteln

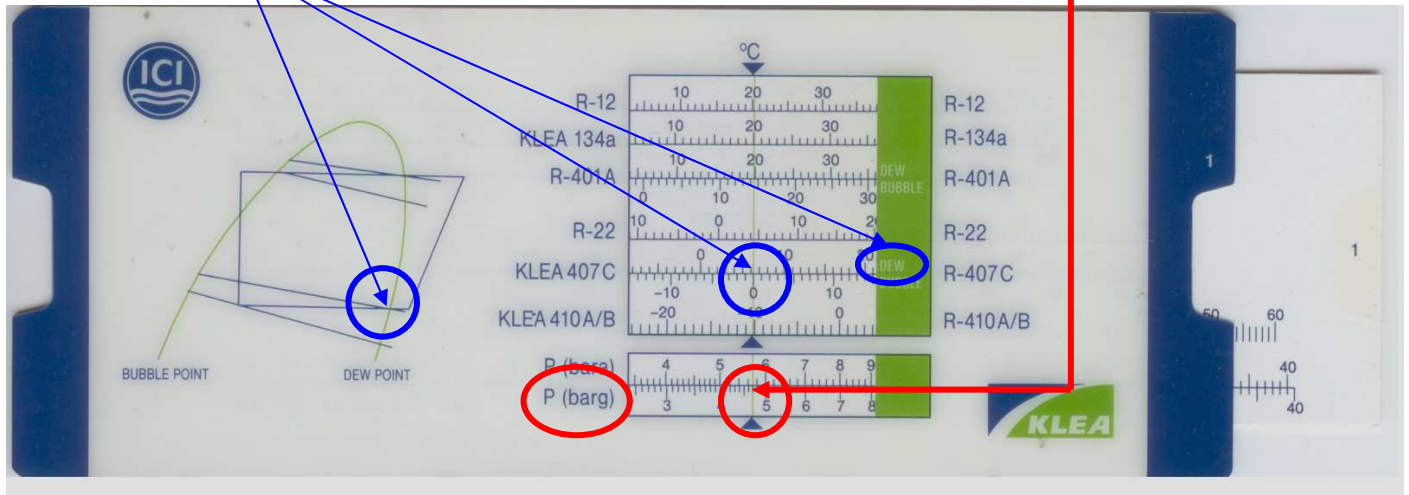
Es gibt ein paar wichtige Unterschiede von nichtazeotropen Kältemitteln zu Einstoffkältemitteln derer man sich beim Umgang mit Kältemittelmischungen bewusst sein muss.

- Es darf nur aus der flüssigen Phase des Transportbehälters (Kältemittelflasche) gefüllt werden. Da sich die durchschnittliche Dampfzusammensetzung von der der Flüssigkeit unterscheidet, muss das Kältemittel aus der flüssigen Phase des Behälters entnommen werden. Falls ein Behälter kein Tauchrohr besitzt, muss er auf den Kopf gestellt werden, diese Druckgasbehälter besitzen einen Kragen als Ventilschutz. Es besteht kein Problem, falls das flüssige Kältemittel nach Verlassen des Behälters verdampft. Es ist nicht notwendig, Flüssigkeit aus einem Behälter zu entnehmen, wenn der ganze Behälterinhalt in die zu füllende Anlage transferiert wird.
- Beim Justieren einer Kälteanlage ist es wichtig, die richtige Dampfdruckkurve zu verwenden. Für die Überhitzung am Verdampfer (Saugleitung) müssen die Werte des gesättigten Dampfes (Tau- bzw. **Kondensationswerte oder Dew-Point (Punkte B / T4)**) verwendet werden. Für die Unterkühlung am Verflüssiger sind die Werte der gesättigten Flüssigkeit (**Siedewerte oder Bubble-Point (Punkt A / T2)**) zu verwenden.
- Die effektive Verflüssigungstemperatur ist der Mittelwert von Siede- und Kondensationstemperatur. Bei der Berechnung der effektiven Verdampfungstemperatur ist die durchschnittliche Temperatur des "Flash Gases" anzusetzen.

Praktisches ablesen vom Kältemittel-Schieber

Verdampfungstemperatur R407C

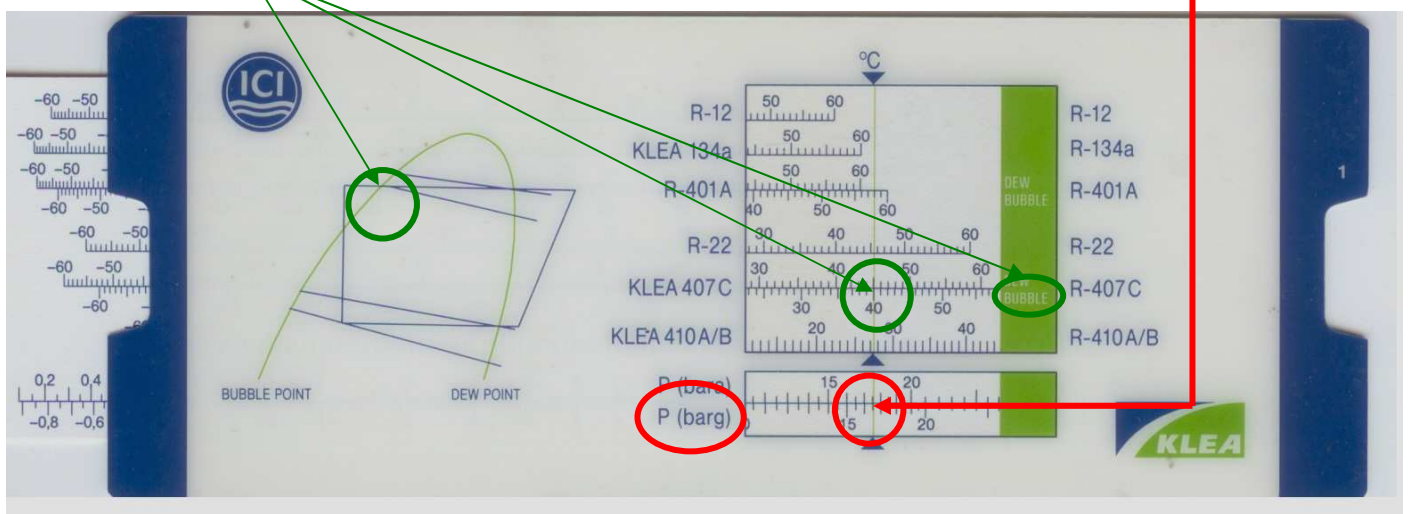
$P_e = 4,7 \text{ bar}$
 $t_{eDew Point} = 6,3^\circ\text{C}$



Dieser Wert entspricht dem Verdampfungstemperaturwert, den man bei einem Einstoff- oder azeotropen Kältemittel ablesen würde. Dies ist auch der Ausgangswert zur Ermittlung der Überhitzung im Verdampfer und zur Ermittlung der Verdichter-Endtemperatur (Verlängerung der p_e -Achse (im Beispiel 4,7 barg)) in den überhitzten Bereich. Im Wärmetauscher selbst ergibt sich durch den Gleit eine mittlere logarithmische Verdampfungstemperatur, die abhängig vom Dampfanteil in der siedenden Flüssigkeit ist.

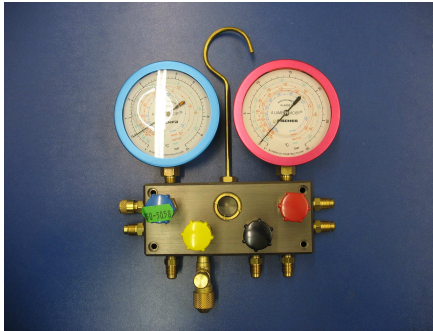
Verflüssigungstemperatur

$P_c = 16,5 \text{ bar}$
 $t_{cBubble Point} = 40^\circ\text{C}$



Dieser Wert entspricht dem Verflüssigungstemperaturwert, den man bei einem Einstoff- oder azeotropen Kältemittel ablesen würde. Dies ist auch der Ausgangswert zur Ermittlung der Unterkühlung im Verflüssiger (Verlängerung der p_e -Achse (im Beispiel 16,5 barg)) in den unterkühlten Bereich. Im Wärmetauscher selbst ergibt sich durch den Gleit eine mittlere logarithmische Verflüssigungstemperatur, die abhängig vom Flüssigkeitsanteil in dem kondensierendem Dampf ist.

Ablesen von der Monteur-Hilfe (Manometer)



Zum Ablesen der Verdampfungs- bzw. Verflüssigungstemperatur von der Monteurhilfe gibt es zwei Varianten:

Je nach Ausführung des Manometers kann es sein, dass die Anzeige den Sättigungsdruck (p) und **beide Temperaturangaben** Dew- (Taupunkt) Point und Bubble-(Siedepunkt) beinhaltet. Dann muss unterschieden werden, ob die Verdampfungs- (pe und Dew-Point-Temperatur) (ND-Seite), oder die Verflüssigungstemperatur (pc und Bubble-Point-Temperatur) (HD-Seite) ermittelt werden soll.

An Manometern **mit nur einer Temperaturskala** ist davon auszugehen, dass auf der ND-Seite (Saugdruck) die Dew-Point (Taupunkt)-Temperatur und auf der HD-Seite (Verflüssigungsdruck) die Bubble-Point (Siedepunkt)-Temperatur angegeben ist.

