

Latente Wärmemengen:

Erfordert die Überführung einer bestimmten Stoffmenge von der Phase i in die Phase k die Wärmemenge

$$Q_{ik}$$

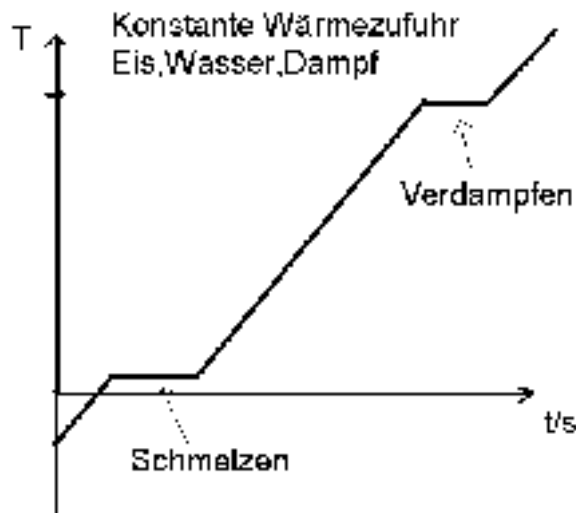
und umgekehrt von der Phase k in die Phase i eine Wärmemenge

$$Q_{ki}, \text{ so gilt } Q_{ki} = -Q_{ik}$$

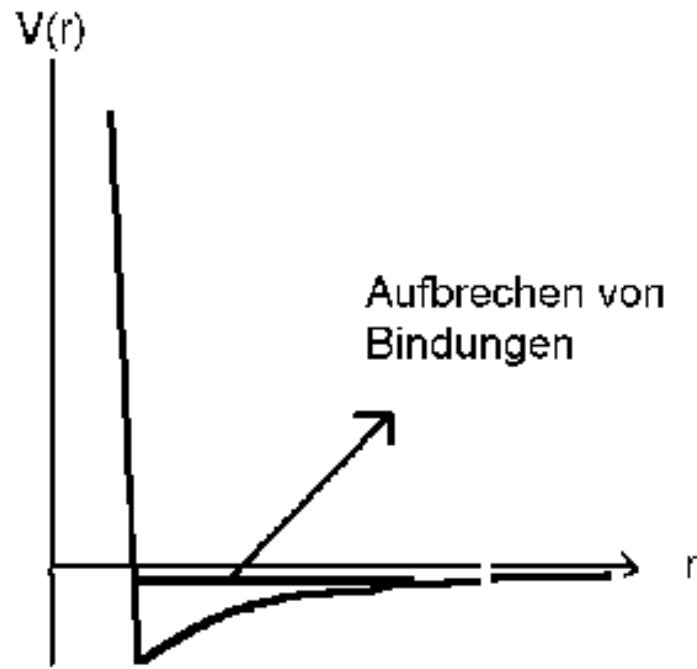
Bei $i \rightarrow k$ wird diese (latente) Wärme wieder frei!

$\lambda_{ik} = \frac{Q_{ik}}{m}$: spezifische Schmelz- ($\lambda_{F,Fl}$), – Verdampfungs- ($\lambda_{Fl,D}$)

und Sublimationswärme ($\lambda_{F,D}$) : $[\lambda_{ik}] = \frac{J}{kg}$



Da über einen Zeitbereich $T=0 \rightarrow$
die zugeführte Wärmemenge
erhöht die potentielle Energie



Dampfdrücke (gesättigter Dampf): p_s Wasser
 $(0^\circ) : 610 Pa,$

P_s Wasser $(20^\circ) : 2337 Pa$

Verdampfungswärme kommt aus der Umgebung

Siehe Exp.:

Äthyläther $(5.87 \cdot 10^4 Pa, T = 20^\circ)$

Beispiel: Wasser:

$$\lambda_{F,Fl} = 3.3 \cdot 10^5, \lambda_{Fl,D} = 2.3 \cdot 10^6$$

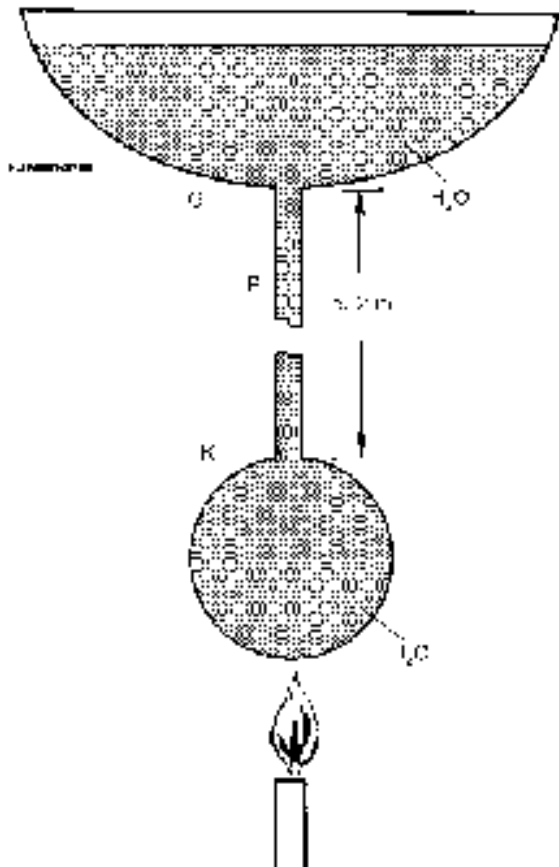
Gleichgewicht der Phasen an den Grenzflächen z.B:
 Flüssig - Dampf , gleichviele Moleküle treten ein und aus.

Sieden/Kondensation

Ist $p_s >$ äußerer Druck \rightarrow Dampf-Blasen im Innern

Wird der Dampfdruck der Flüssigkeit = Außendruck \rightarrow sieden!

Z.B: Geysir (wechselnder Druck auf dem Kolben)



Phasenwechsel bedürfen
Kondensations / Kristallisationskeime

Man beobachtet deshalb bei
Abwesenheit dieser:

Kondensationsverzug und Siedeverzug

Wird $p_s <$

als der äußere Dampfdruck:
Kondensation
z.B.: Wetter: Relative
Luftfeuchtigkeit

$$\varphi_{rel} = \frac{\varphi_a}{\varphi_S} = \frac{P_W}{P_S} \quad \text{mit } \varphi_a \text{ absolute Feuchte (g/m}^3\text{)}$$

$\varphi_S =$ Sättigungsfeuchte (g/m³)

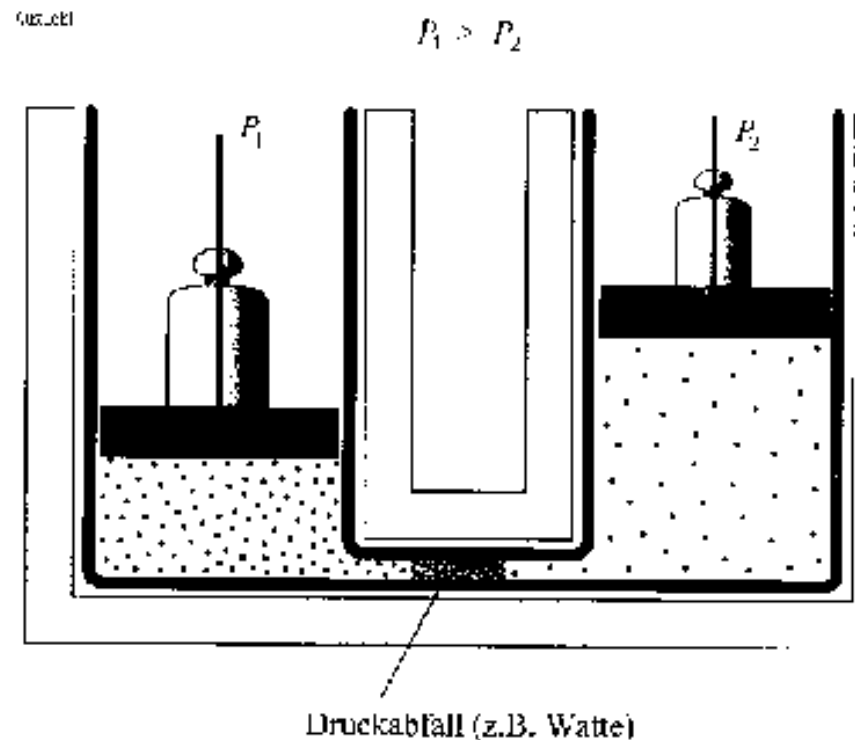
Es herrscht also eine Luftfeuchtigkeit von 40%, wenn der Partialdampfdruck des Wassers

$$P_W = 0.4 \cdot P_S(H_2O) \text{ ist.}$$

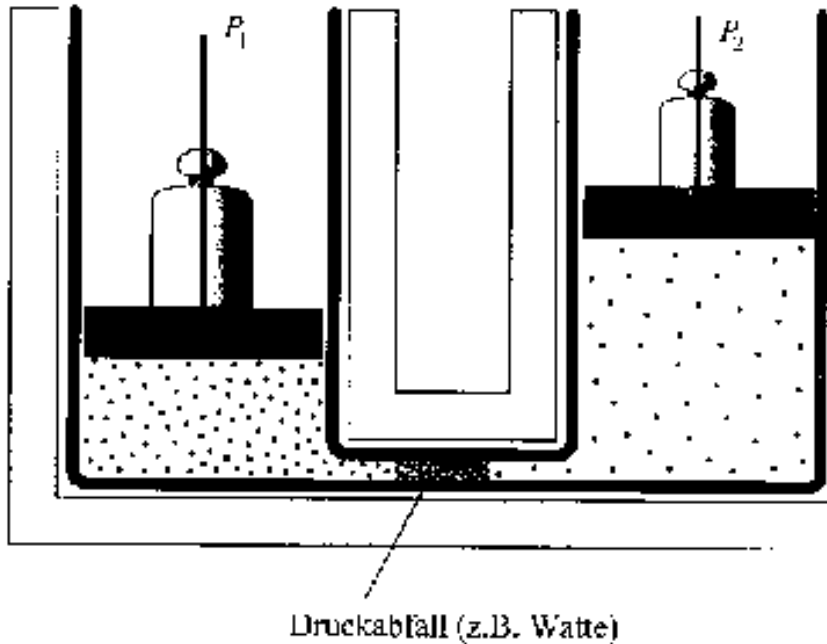
$\varphi_{rel} = 1$: *Taupunkt!*

Der Joule-Thomson-Effekt und die Gasverflüssigung

Wir betrachten adiabatische, gedrosselte Entspannung eines Gases:



$$P_1 > P_2$$



Adiabatische Expansion durch ein Drosselventil (hier Watte)

Anfang: Gas in $V_1, V_2 = 0$

Gefäßwände wärmeundurchlässig

$$\Delta Q = 0$$

Ende: Gas vollständig in V_2

1. Hauptsatz $U = -P_2 \cdot V_2 + P_1 \cdot V_1$

oder

$$U_2 - U_1 = -P_2 \cdot V_2 + P_1 \cdot V_1 \Leftrightarrow$$

$$U_1 + P_1 \cdot V_1 = U_2 + P_2 \cdot V_2 = H; \text{Enthalpie}$$

Ideales Gas: $U = c_V \cdot T, P \cdot V = R \cdot T \Rightarrow$

$$H = (c_V + R) \cdot T = c_P \cdot T \Rightarrow dT = 0$$

Oder (ideales Gas):

Links im Bild zugeführte Verdrängungsarbeit

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2,$$

$$\rightarrow U_1 = U_2 \Leftrightarrow T_1 = T_2$$

Was ändert sich beim realen Gas?

1. Binnendruck

$$\frac{a}{V^2}$$

Nach Drosselung Arbeit gegen die van der Waals -Kräfte

$$\Rightarrow U_1 > U_2 \Rightarrow T_2 < T_1$$

2. Kovolumen b:

$$P = \frac{v \cdot R \cdot T}{V - b}$$

größer als beim Idealen Gas:

Bei gleicher Teilchenzahl N
Druck eines realen Gases

$$\Rightarrow P_1 \cdot V_1 > P_2 \cdot V_2 \Rightarrow U_1 < U_2$$

$$\text{oder } T_2 > T_1$$

Rechnung :Ausgangspunkt: Van der Waals-Gleichung

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}; \quad \text{U kann geschrieben werden als}$$

$$U = "E_{kin}" + E_{pot} = \frac{f(\text{Freiheitsgrade})}{2} RT + \int_{\infty}^{V_1} \frac{a}{V^2} dV = -a/V_1$$

$$\Rightarrow H = U + P \cdot V = \frac{f \cdot RT}{2} - \frac{a}{V} + \left(\frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2} \right) \cdot V$$

$$= RT \left(\frac{f}{2} + \frac{V}{V-b} \right) - \frac{2a}{V} \quad \boxed{dH = \frac{\partial H}{\partial V} \cdot dV + \frac{\partial H}{\partial T} \cdot dT = 0}$$

$$\Rightarrow dT = - \frac{\frac{\partial H}{\partial V} \cdot dV}{\frac{\partial H}{\partial T}} = \frac{\frac{bT}{(V-b)^2} - \frac{2a}{R \cdot V^2}}{\frac{f}{2} + \frac{V}{V-b}} dV$$

mit Näherung $V \approx V-b \quad \Rightarrow dT \approx \frac{b \cdot R \cdot T - 2a}{\left(\frac{f}{2} + 1\right) R \cdot V^2} dV \Rightarrow$

Inversionstemperatur:

$$\boxed{T_I = \frac{2a}{bR}} \quad \text{d.h. für}$$

$T < T_I : \text{Abkühlung}$

$T > T_I : \text{Erwärmung}$

Beispiele:

Inversionstemperaturen

CO ₂	N ₂	O ₂	He	H ₂
2050K	850K	1040K	35K	35K

Beobachtungen: Luft aus Reifen schnell austreten lassen >
Ventil kühlt sich ab, wäre der Reifen mit Helium gefüllt, würde
sich das Ventil erwärmen!