

$$\frac{N_1}{N_0} = e^{-\frac{E_1}{kT}} \quad E_1 = mgh_1$$

$$pV = nRT \rightarrow pV = \frac{N}{N_A} RT$$

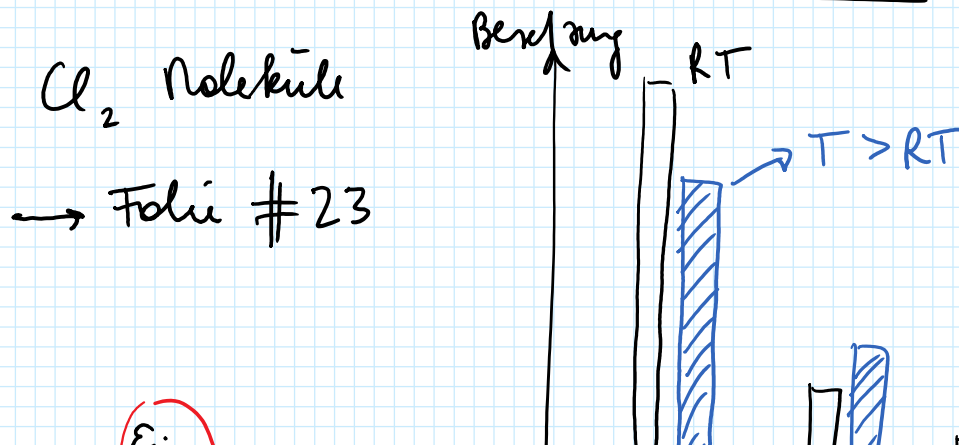
$$\left. \begin{array}{l} V = \text{const} \\ T = \text{const} \end{array} \right\} p \sim N$$

$$\frac{p_1}{p_0} = e^{-\frac{E_1}{kT}} = e^{-\frac{mgh}{kT}}$$

$$\Rightarrow p(h) = p_0 \cdot e^{-\frac{mgh}{kT}}$$

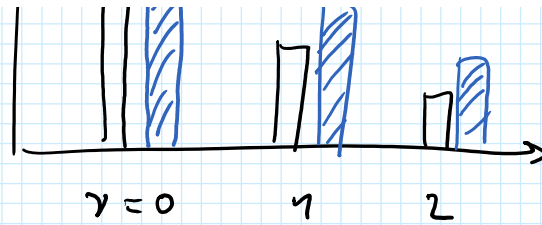
(barometrische Höhenformel)

## ② Verteilung von Molekülniveaus

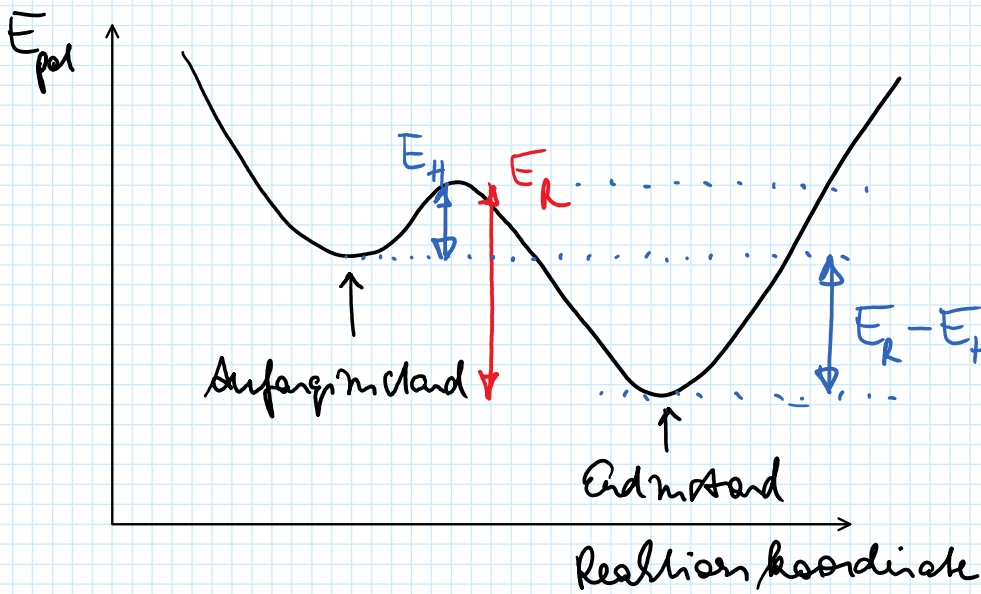


$$e^{-\frac{E_i}{RT}}$$

nicht bei  
höheren Temperaturen



### 3) Raten einer chem. Reaktion



$$k = A \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$$

Hinreaktion:  $k_{\text{hin}} = A_{\text{hin}} \cdot e^{-\frac{E_H}{RT}}$

Rückreaktion:  $k_{\text{rück}} = A_{\text{rück}} \cdot e^{-\frac{E_R}{RT}}$

Gleichgewicht:

$$\frac{C_{\text{Ausg}}}{C_{\text{End}}} = \frac{k_{\text{rück}}}{k_{\text{hin}}} = \frac{A_{\text{rück}}}{A_{\text{hin}}} \cdot \frac{e^{-\frac{E_R}{RT}}}{e^{-\frac{E_H}{RT}}}$$

$$= \frac{A_{\text{rück}}}{A_{\text{HIN}}} \cdot e^{-\frac{(E_R - E_H)}{RT}}$$

## VI Phasendiagramme und physikalische Umwandlungen

Phasendiagramm: Darstellung von Zustandsänderungen

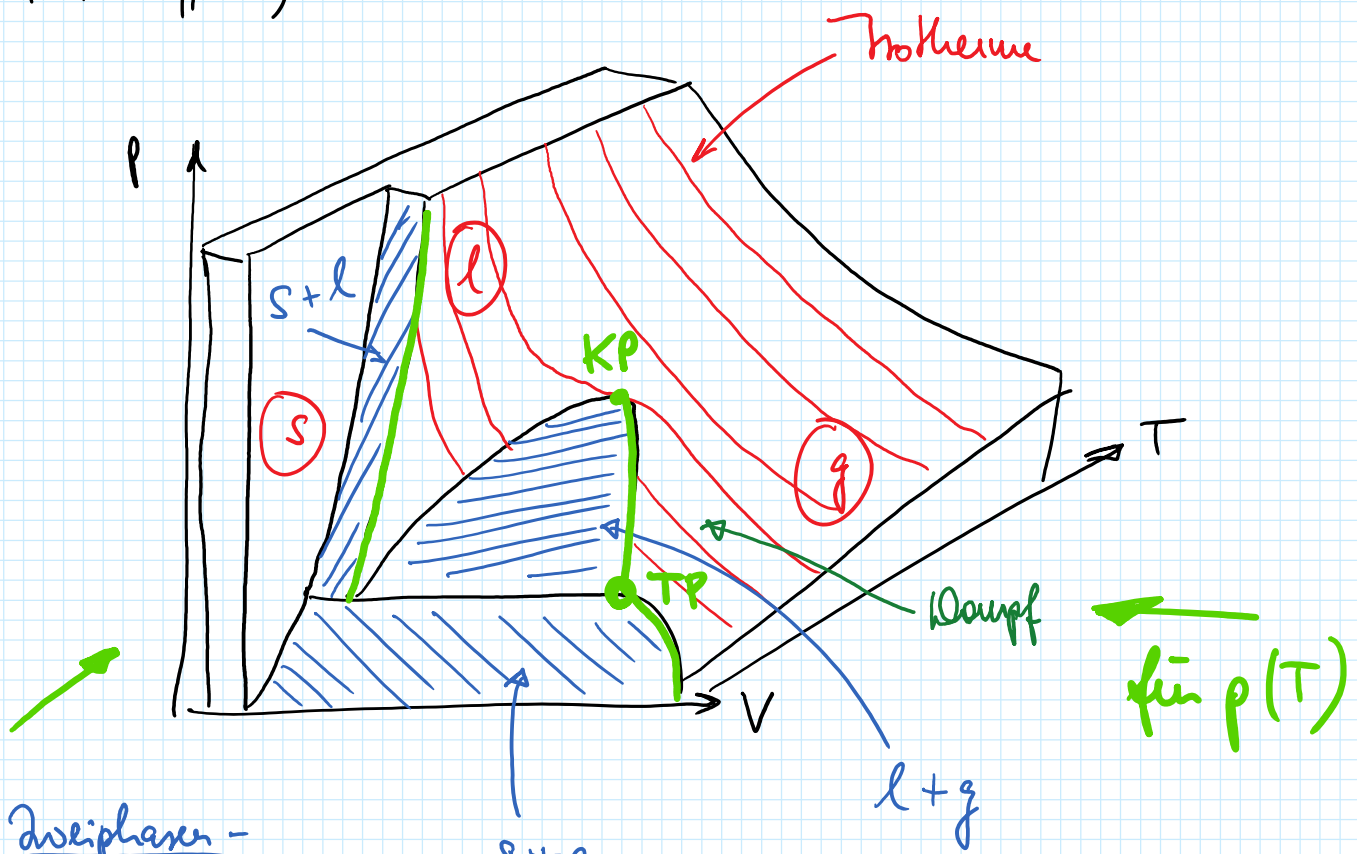
Phase: physikalischer Zustand eines Stoffes

(fest, flüssig, gasförmig)  
 $s$        $l$        $g$

$p(V)$  Diagramm (s.o.)

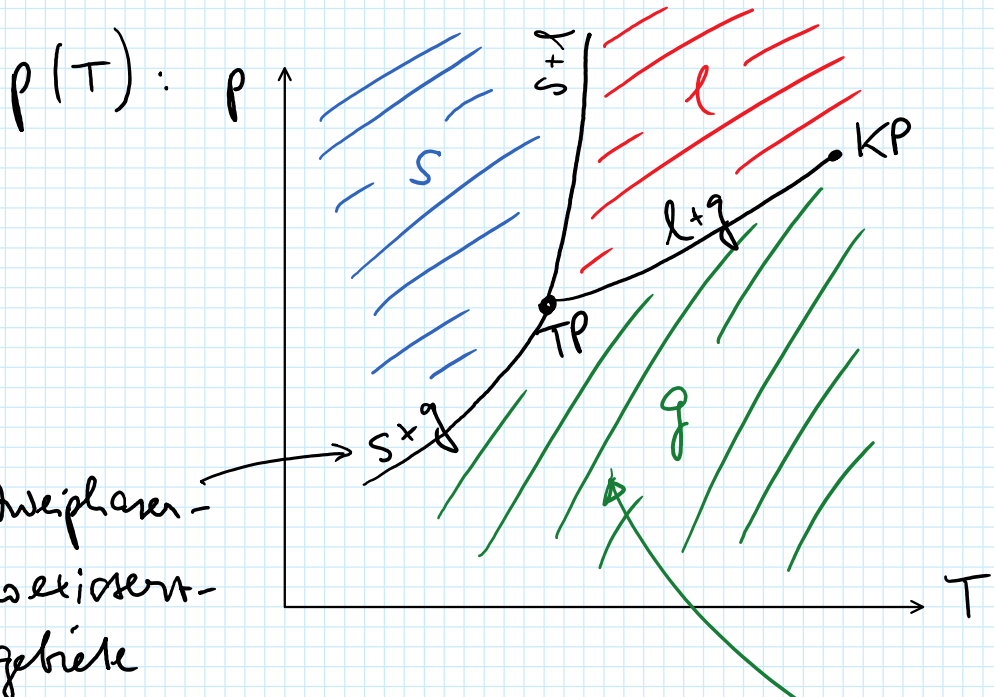
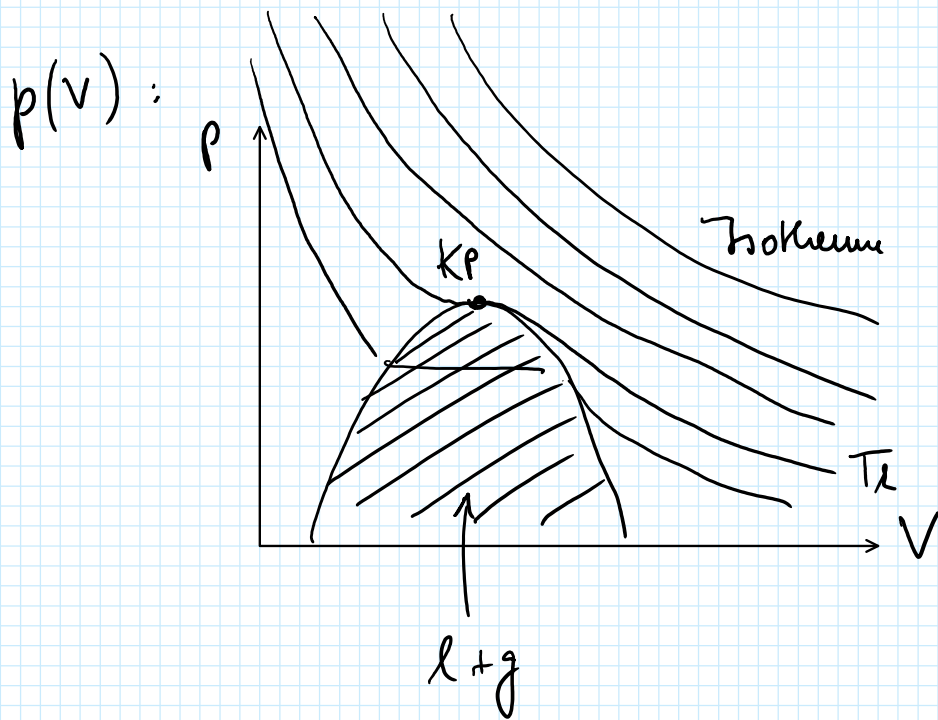
$p(T)$  Diagramm?

(Folie # 24)



Zweiphasen-  
koexistenzgebiet

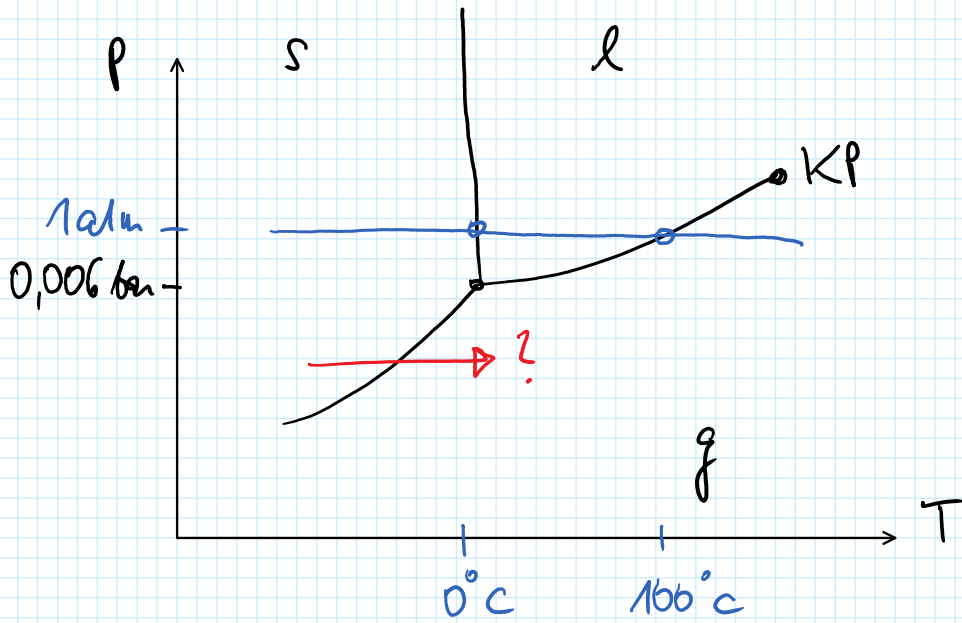
l  
s+g  
l+g  
(fest + gasförmig)



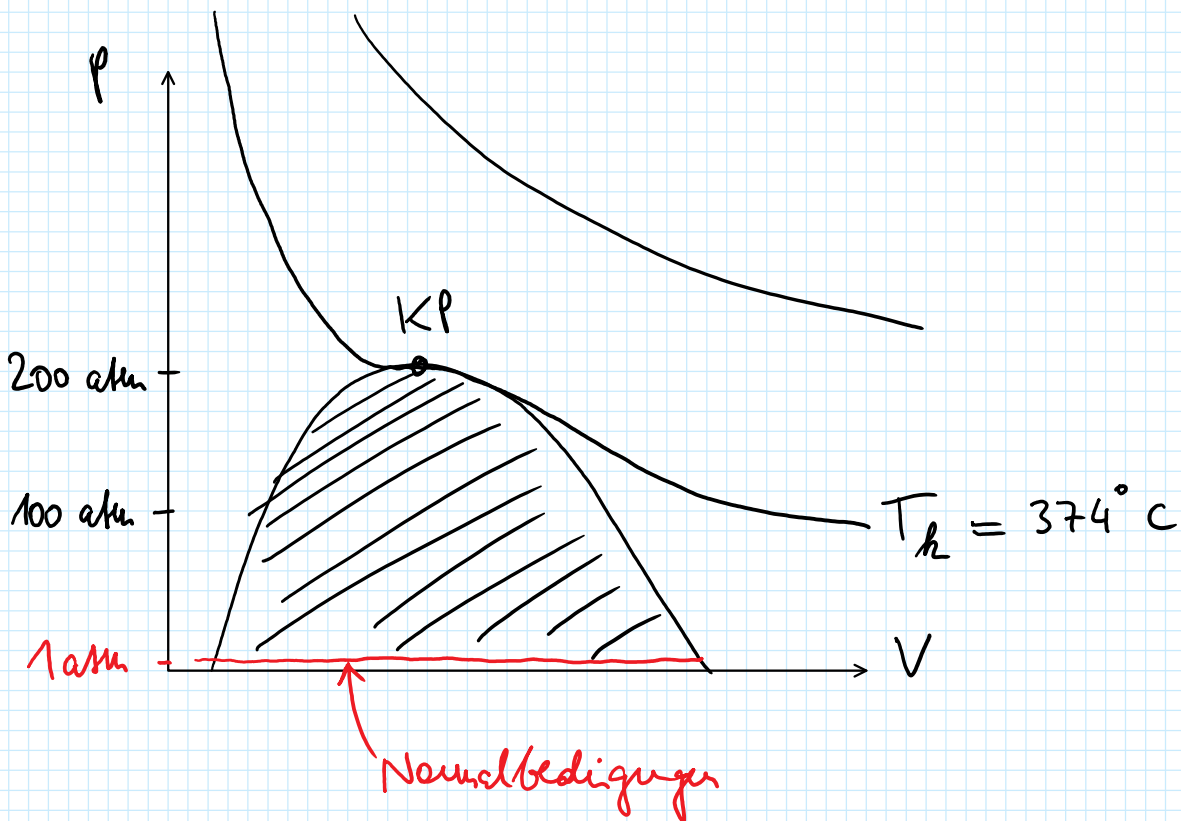
KP: Kritische Punkt  
TP: Tripelpunkt

"Dampf"  
(Gas mit Abweichung  
von "idealem" Verhalten)

# Beispiel H<sub>2</sub>O unter Normalbedingungen



$$T(TP) = 273,16 \text{ K}$$



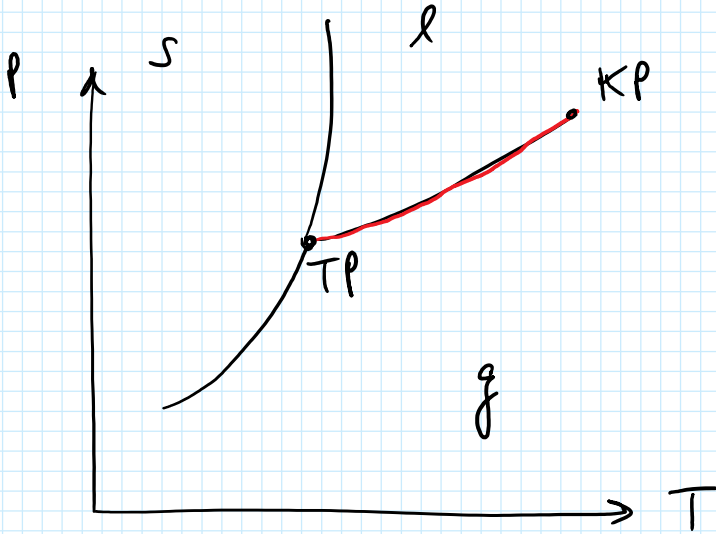
## VI.1 Charakteristische Punkte in Phasendiagramm

# 1) Kritischer Punkt

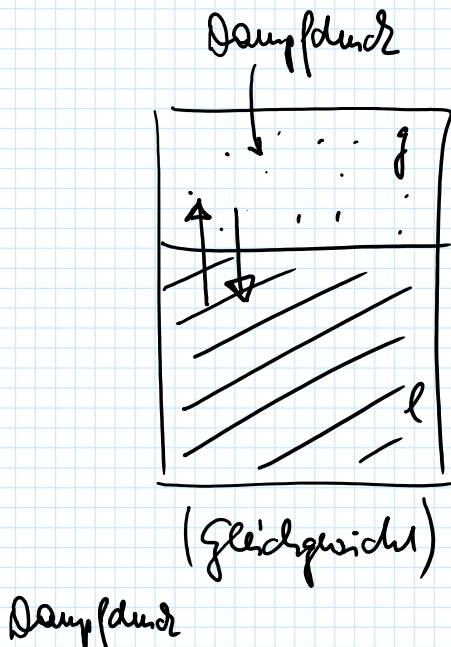
$$T_k, p_k, v_{m,k}$$

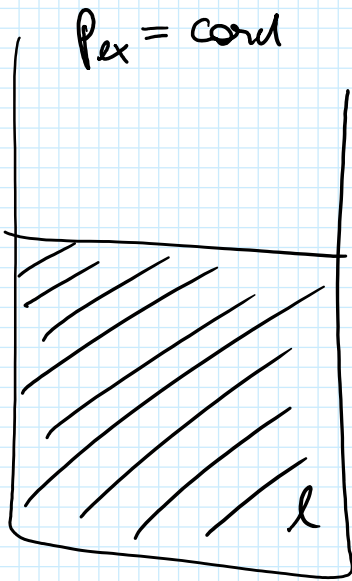
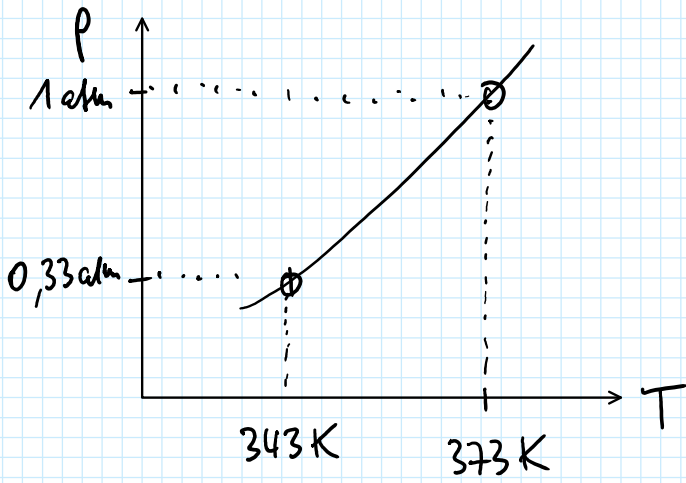
$T > T_k$  : keine Flüssigkeit mehr

# 2) l/g - Grenzlinie



l/g - Grenzlinie : Abhängigkeit des Dampfdrucks von der Temperatur





Temperatur wird erhöht:

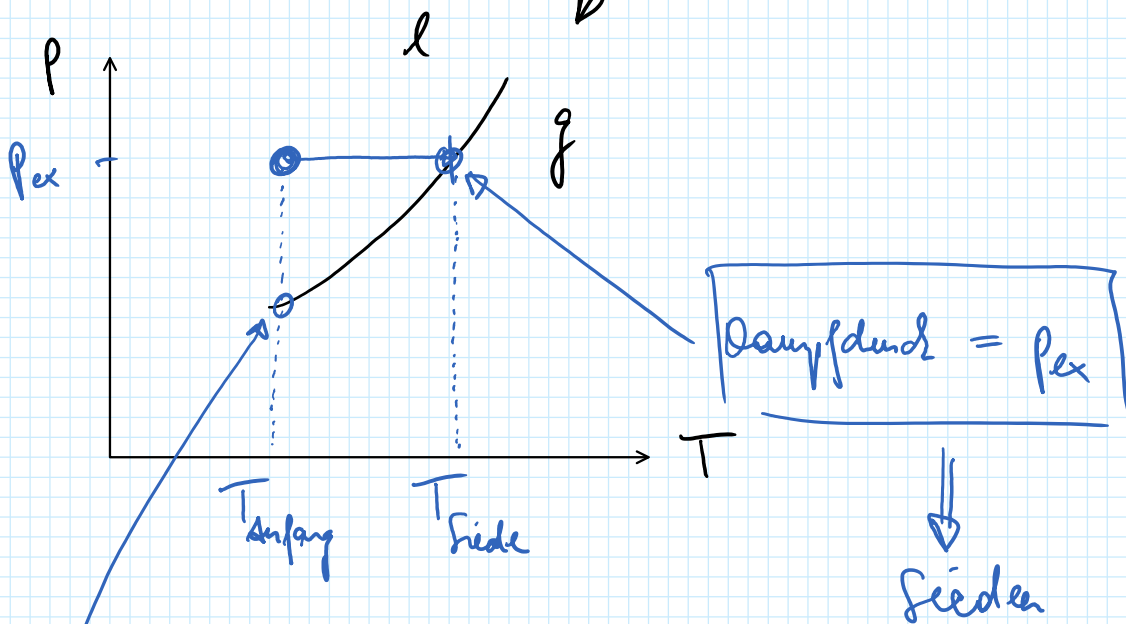
$$\text{Dampfdruck} = p_{ex}$$



"Sieden"

( $T = \text{Siedetemperatur}$ )

"Nudeln kochen"



Dampfdruck <  $p_{ex}$  (kein Sieden)

$S \rightarrow g$  : Sublimation

$S \rightarrow l$  : Schmelzen

### 3) Tripelpunkt

alle drei Phasen ( $s, l, g$ ) existieren im Gleichgewicht

durch  $p, T$  exakt definiert!

(gut für Definition der Temperaturskala)

am Tripelpunkt :  $l \rightarrow g$  (Verdampfen)

$g \rightarrow l$  (Kondensieren)

$s \rightarrow g$  (Sublimation)

$g \rightarrow s$  (Kondensieren)

$s \rightarrow l$  (Schmelzen)

$l \rightarrow s$  (Erfrieren)

(Gesamtanteile von  $s, l, g$   
bleiben gleich)

### Änderung von $p$ oder $T$ :

$p$  steigt  $\rightarrow$  Gas verschwindet

$T$  steigt  $\rightarrow$  Eis verschwindet

$p$  sinkt  $\rightarrow$  Flüssigkeit verschwindet

$T$  sinkt  $\rightarrow$  ...



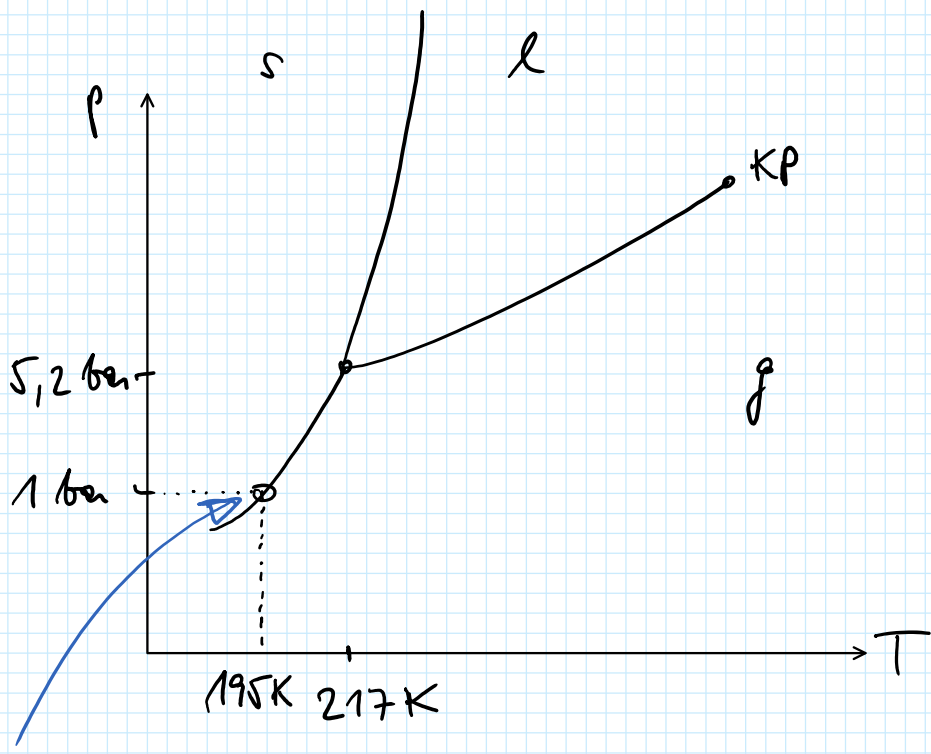
$p$  sinkt → ...

$T$  sinkt → ...

→ Tripelpunkt gibt typischerweise den kleinsten Druck und die kleinste Temperatur an bei der die flüssige Phase existiert

2 Beispiele:

① CO<sub>2</sub>



festes CO<sub>2</sub> schmilzt nicht  
→ Sublimation  $s \rightarrow g$   
"Trockeneis"

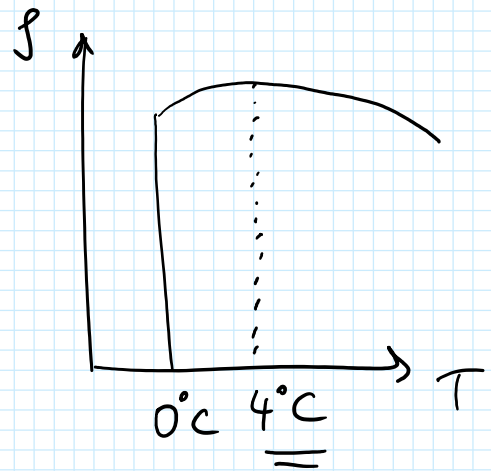
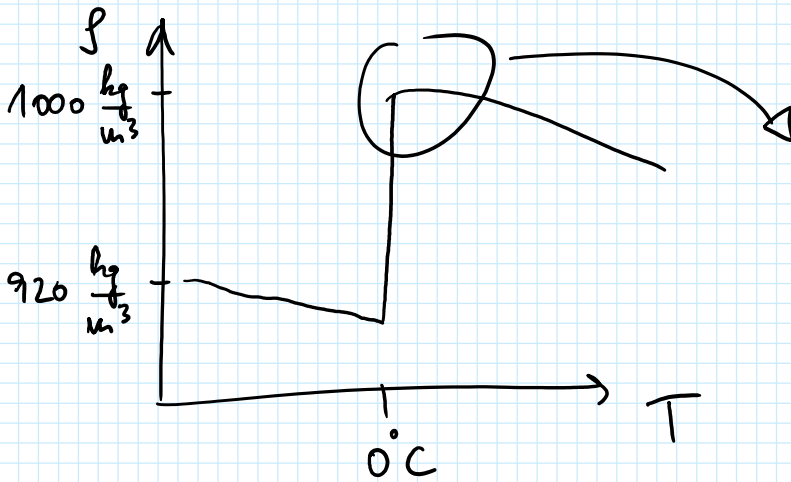
② H<sub>2</sub>O

# Anomalie des Wassers

normal :  $\rho_{\text{fest}} > \rho_{\text{flüssig}}$

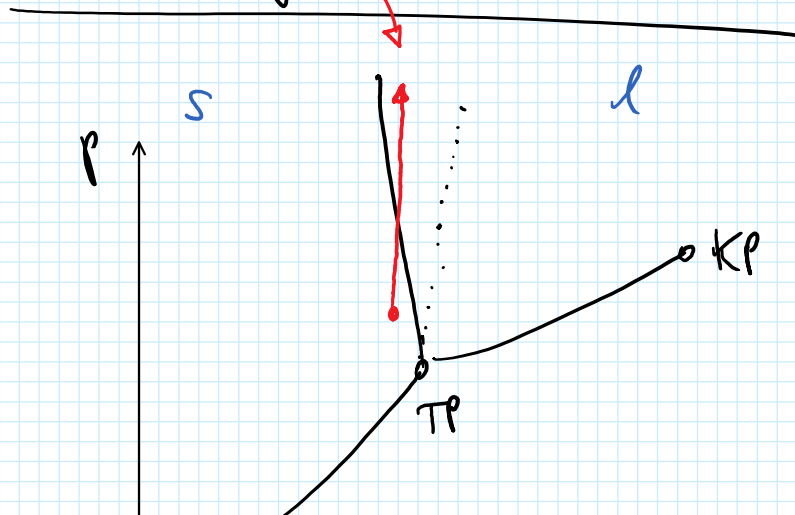
$\text{H}_2\text{O} : \rho_{\text{fest}} < \rho_{\text{flüssig}}$

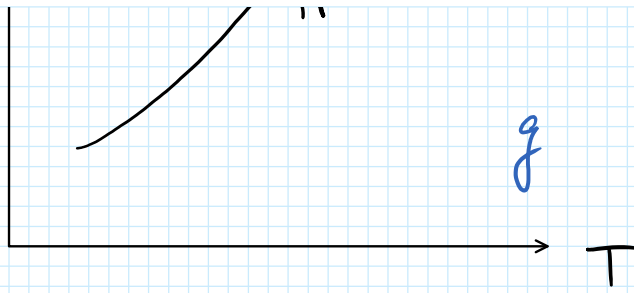
(Eis schwimmt auf Wasser)



höchste Dichte!

Druckabhängigkeit  $\rightarrow$   $\rho$  ist temperaturabhängig





⇒ Eis schmilzt bei Druckänderung!