

# 8.4. Reale Gase



## Aggregatzustände

tägliches Leben:

- gasförmige
- flüssige
- fest

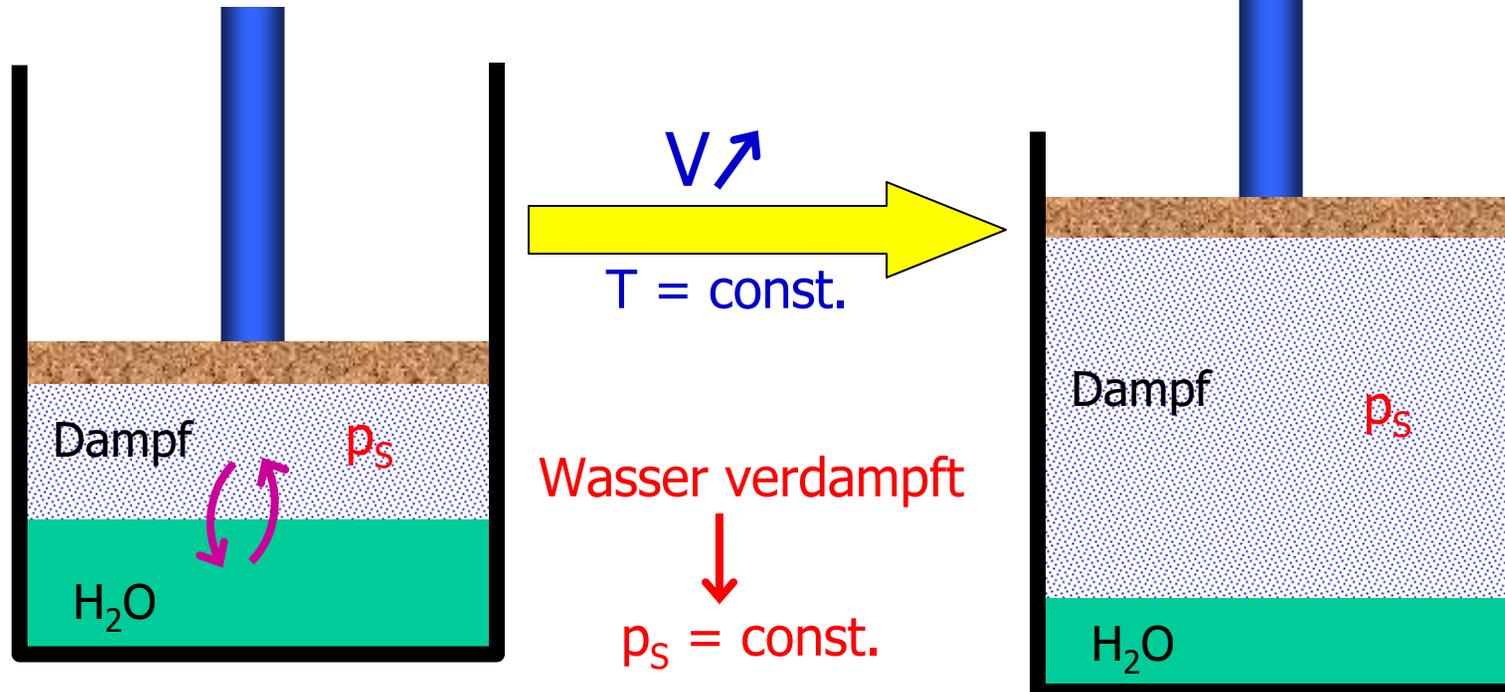
Phase, teilweise koexistent

## andere Phasen:

- **elektromagnetische Plasmen** → Sonnen, Sternwinde, ...  
> 99 % der Materie im Weltall in diesem Zustand
- **Quark-Gluon-Plasma** → aufgelöste Kernmaterie  
z.B. Schwerionen-Beschleuniger, Inneres von Neutronensternen,  
Materie im frühen, heißen Universum
- **Fermigase** z.B. Elektronengas in Metallen oder Weißen Zwergen,  
Neutronengas in Neutronensternen

# 8.4. Koexistenz Flüssigkeit / Dampf

$p_s$ : Sättigungsdampfdruck



Inhalt: 1 Mol

- Gleichgewicht bei Temperatur  $T$
- Sättigungsdampfdruck  $p_s = \text{const.}$

}  $T(p_s) = \text{Siedetemperatur}$

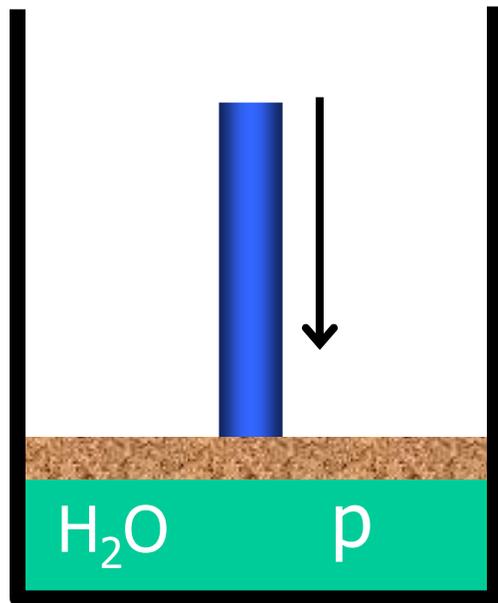
$T \nearrow \Leftrightarrow \langle E_{\text{kin}} \rangle \nearrow \Leftrightarrow$  mehr Moleküle erbringen Austrittsarbeit  $\Leftrightarrow p_s \nearrow$

# 8.4. Koexistenz Flüssigkeit / Dampf



## Endpunkt 1:

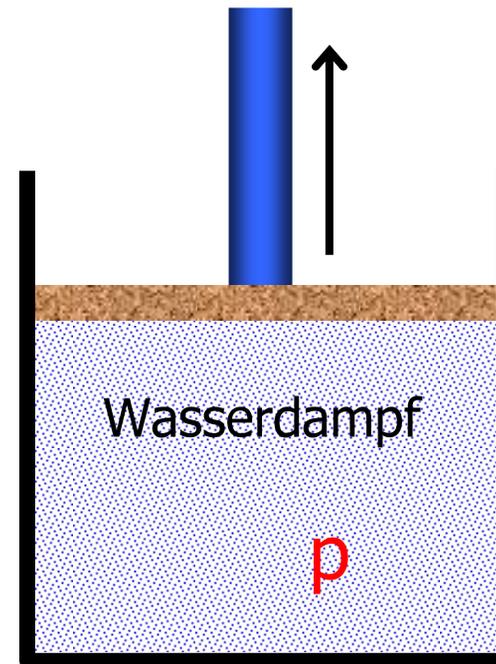
Dampf völlig kondensiert



$$V \searrow \Rightarrow p \nearrow \nearrow$$

## Endpunkt 2:

Wasser völlig verdampft

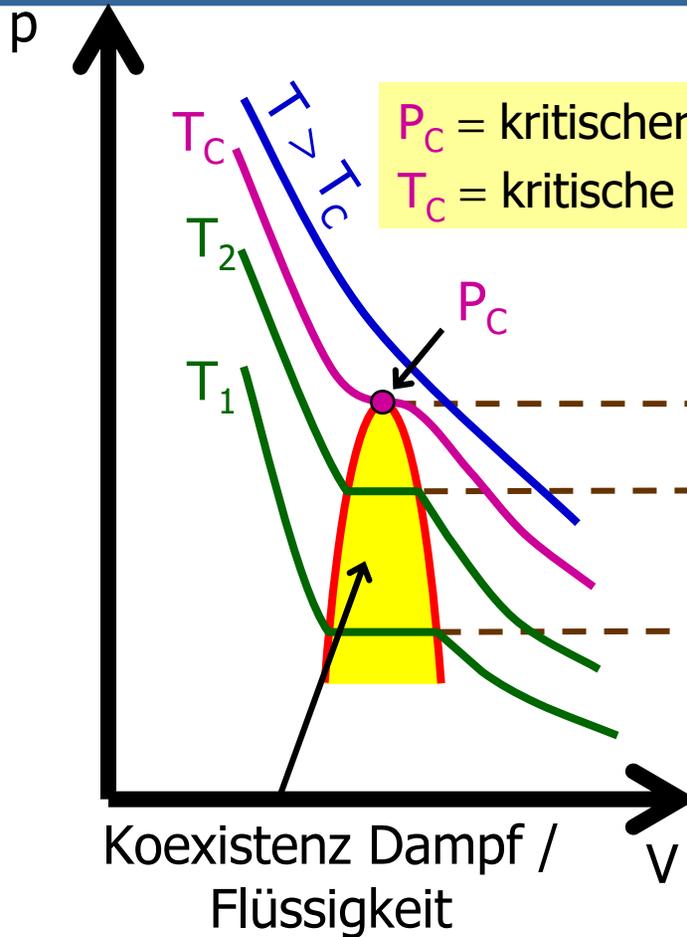


$$V \nearrow \Rightarrow p \searrow$$

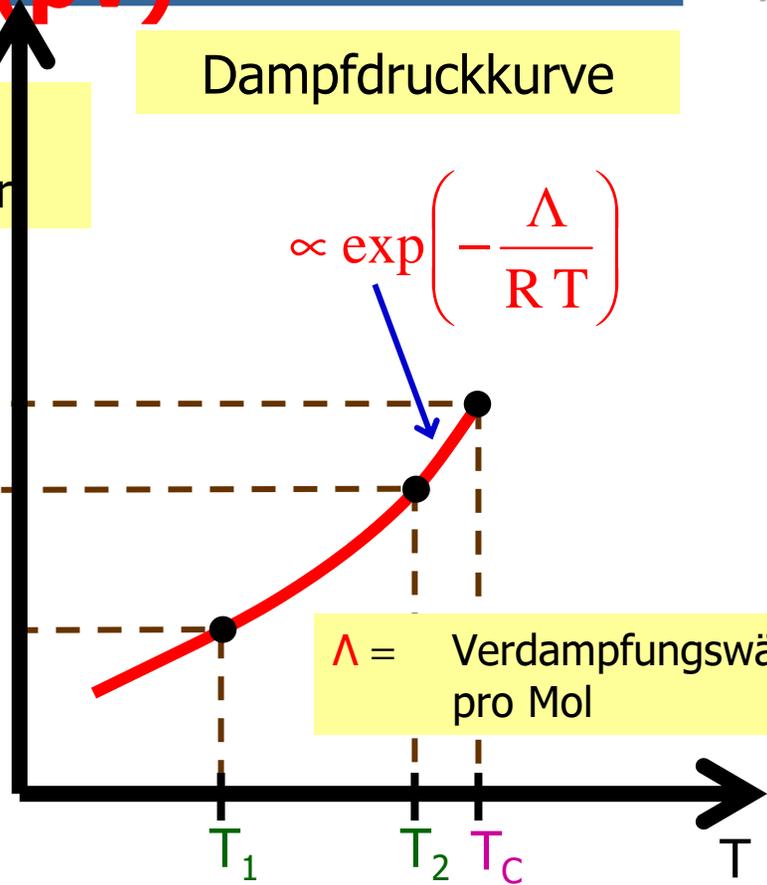
annähernd ideales Gas

# 8.4. Zustandsdiagramm

(pV)



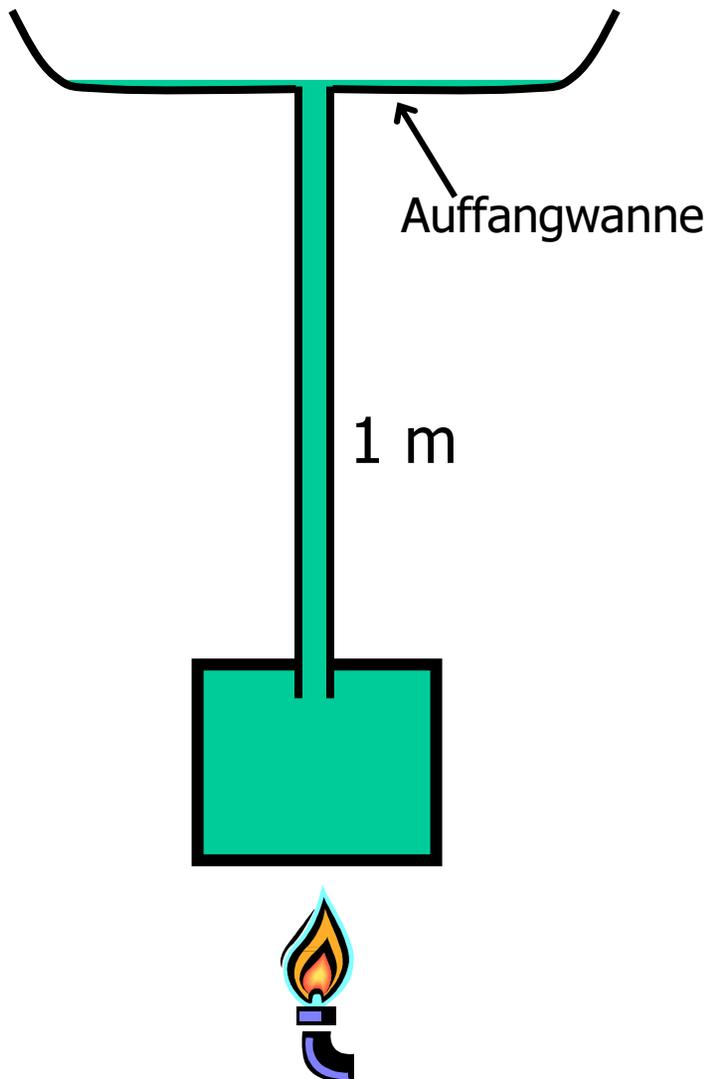
Dampfdruckkurve



Clausius-Clapeyron-Gleichung:

$$\Lambda = T \frac{dp_s}{dT} (V_{Dampf} - V_{flüssig})$$

## 8.4. Geysir-Modell



- Aufheizphase bis zum Sieden.  
Druck der Wassersäule  $\Rightarrow T_{\text{Siede}} > 100^\circ\text{C}$
- Wasserauswurf durch Sieden  
 $\Rightarrow$  Druckabfall  $\Rightarrow$  Siedeverzug  
 $\Rightarrow$  Explosion  $\Rightarrow T = 100^\circ\text{C}$
- Wasserrückfluss  $\Rightarrow$  Druckzunahme  
 $\Rightarrow$  Sieden endet, da  $T = 100^\circ\text{C} < T_{\text{siede}}$
- Neuer Zyklus  $\Rightarrow$  a)

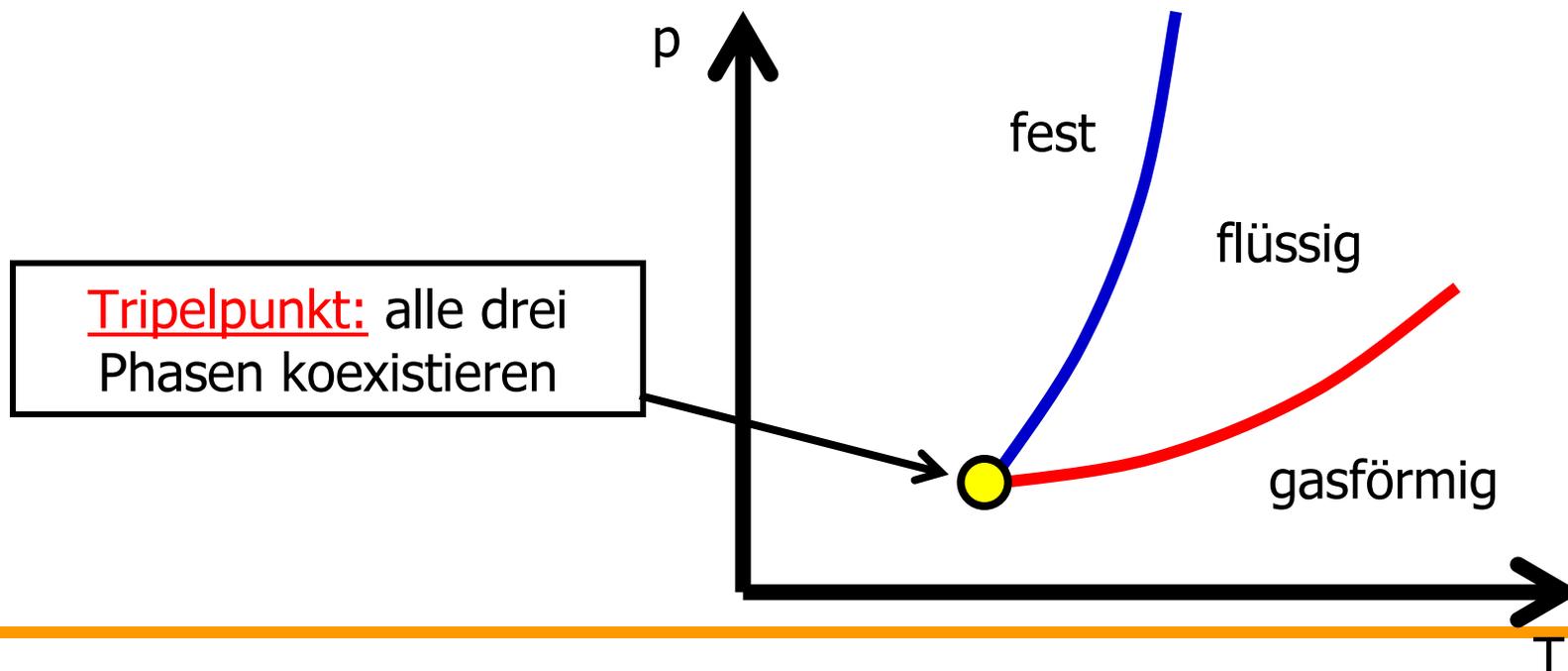
## 8.4. Koexistenz feste Phase/Flüssigkeit

analog: ersetze Sieden durch Schmelzen

Schmelzwärme pro Mol:

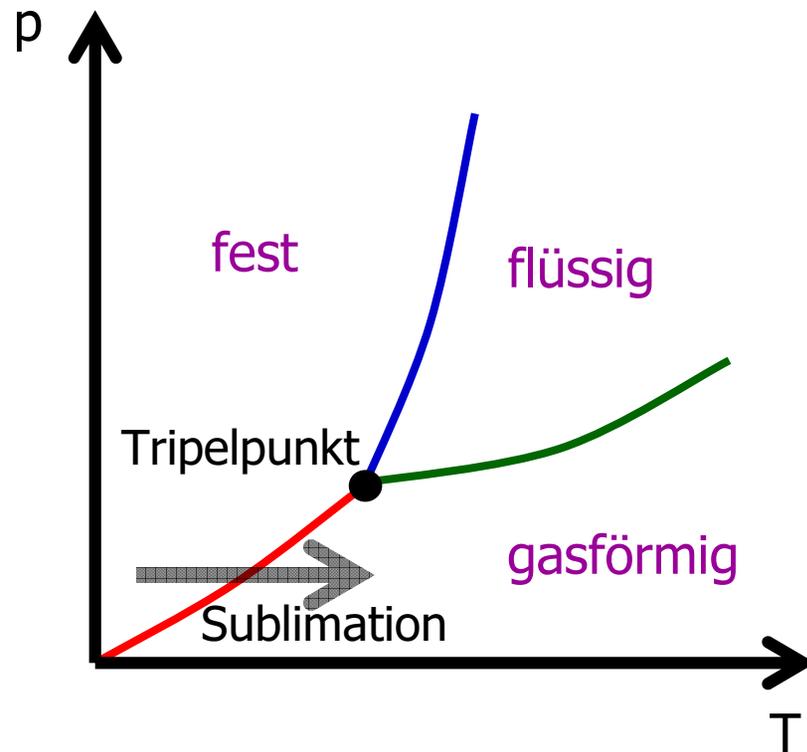
$$\Lambda' = T \frac{dp}{dT} (V_{\text{flüssig}} - V_{\text{fest}})$$

Folgerung:  $V_{\text{flüssig}} - V_{\text{fest}}$  klein  $\Rightarrow \frac{dp}{dT}$  groß



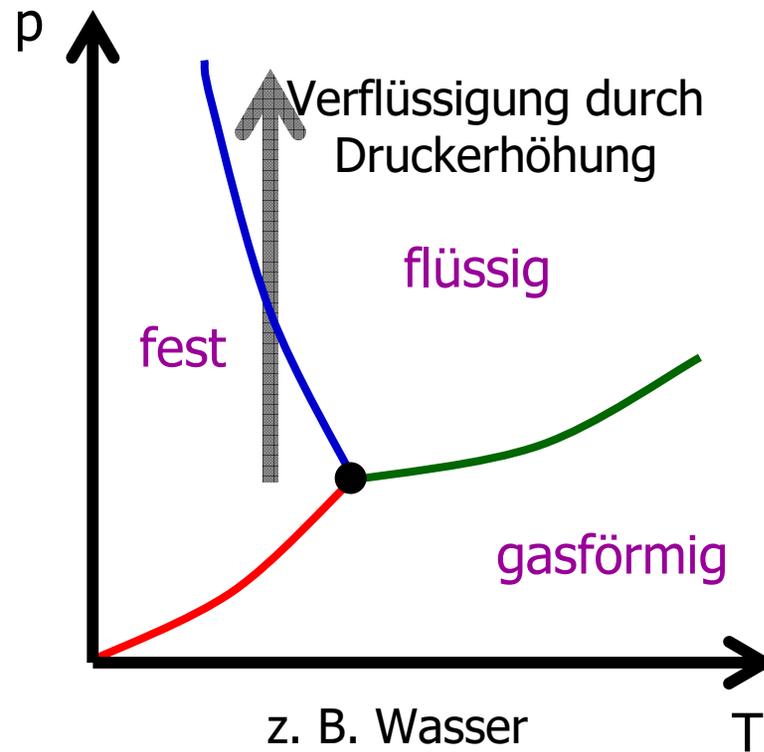
# 8.4. Phasendiagramme

normales Verhalten



$$\frac{dp}{dT} > 0 \quad \Leftrightarrow \quad V_{fl} > V_{fest}$$

anormales Verhalten



$$\frac{dp}{dT} < 0 \quad \Leftrightarrow \quad V_{fl} < V_{fest}$$

## 8.4. Gibbsche Phasenregel

System aus einer Komponente (z.B.  $\text{H}_2\text{O}$ )  $\Rightarrow$

1-phasige Bereiche  $\rightarrow$  **Flächen** im (p,T)-Diagramm

2-phasige Bereiche  $\rightarrow$  **Linien** im (p,T)-Diagramm

3-phasige Bereiche  $\rightarrow$  **Punkt** im (p,T)-Diagramm

q-phasige Bereiche haben  $f = 3 - q$  Freiheitsgrade im (p,T)-Diagramm

System aus  $\alpha$  Komponente  $\Rightarrow$

q-phasige Bereiche haben  $f = 2 + \alpha - q$  Freiheitsgrade im (p,T)-Diagramm

## 8.4. Das reale Gas

1 Mol eines idealen Gases  $\rightarrow pV = RT$

### Korrekturen:

- endliches Volumen der Gasmoleküle:  $V \rightarrow V - b$
- Teilchenanziehung

1 Teilchen an Oberfläche:  $F \propto \rho$   
#Teilchen pro Fläche  $\propto \rho$

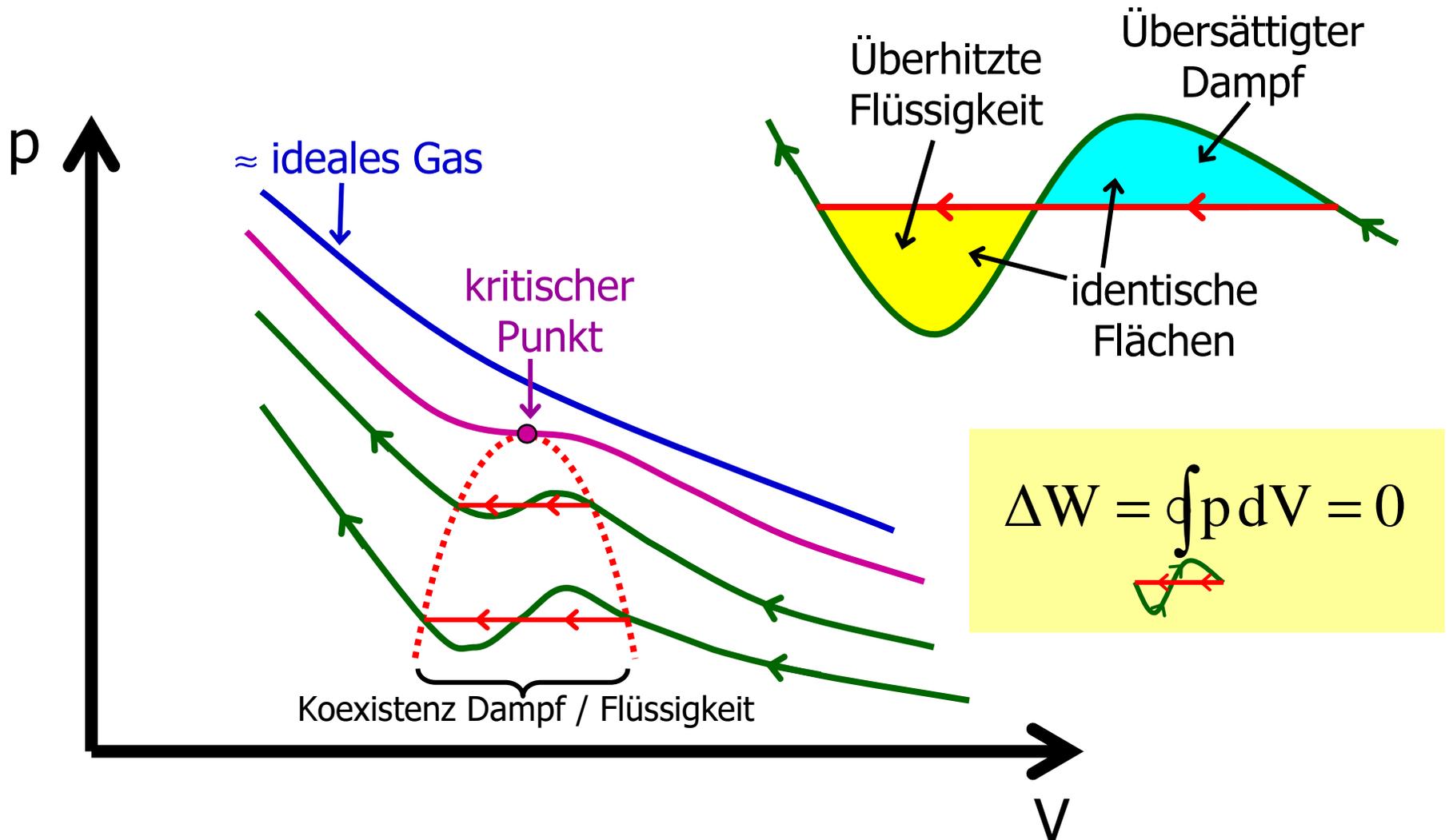
} Oberflächenkraft  $\propto \rho^2$   
Zusatzdruck (Binnendruck)

$\Rightarrow p \rightarrow p + \frac{a}{V^2}$  im Inneren des Gasvolumens

### Folgerung:

$$\text{Van-der-Waals-Gleichung: } \left(p + \frac{a}{V^2}\right) \cdot (V - b) = RT$$

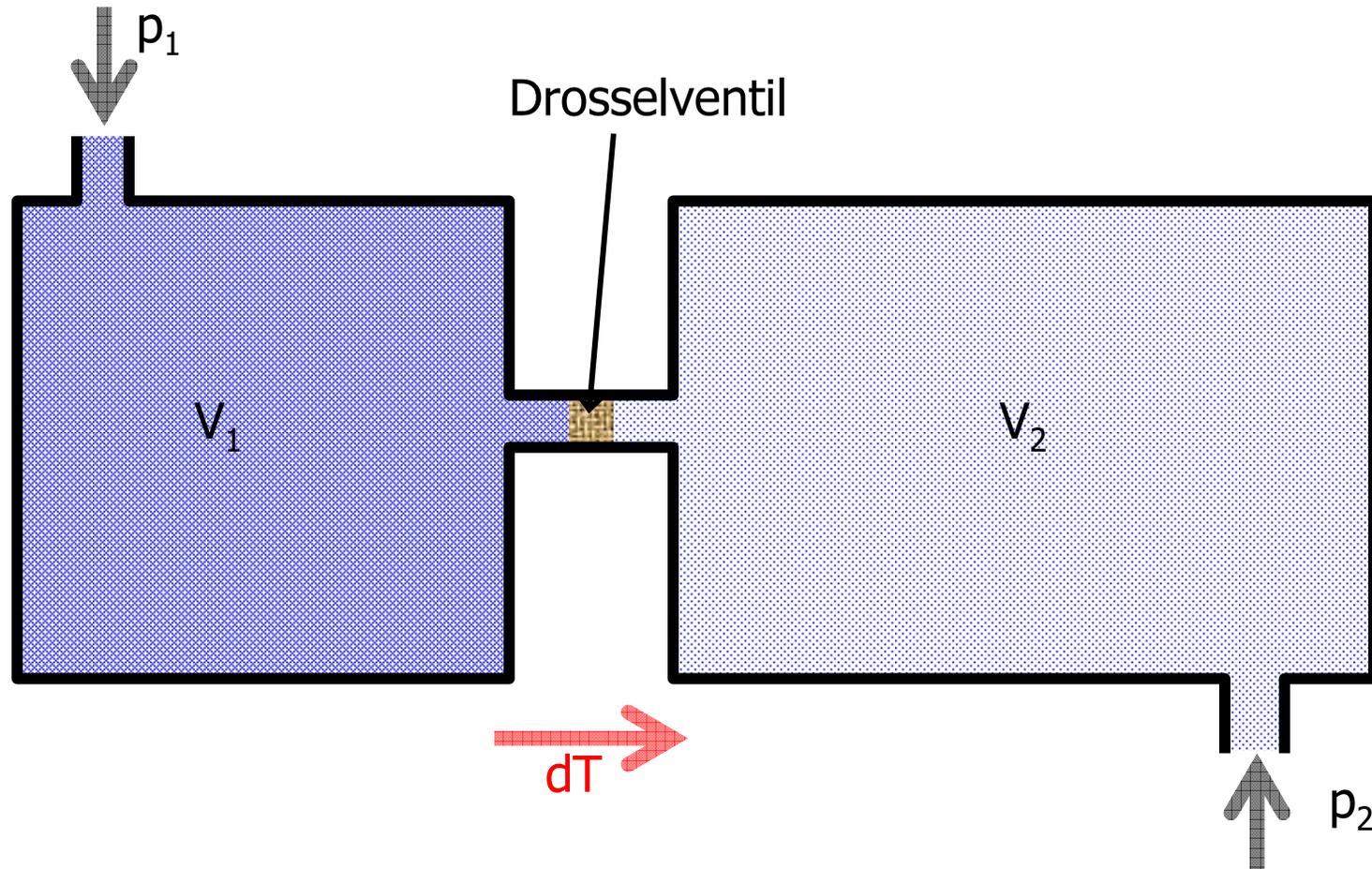
# 8.4. Van-der-Waals-Gleichung



# 8.4. Joule-Thompson Effekt



## Joule-Thomson-Effekt (adiabatische Expansion)



Beispiel: Linde-Verfahren (Luftverflüssigung)