

8.4. Reale Gase



Aggregatzustände

tägliches Leben: {
• gasförmige
• flüssige
• fest

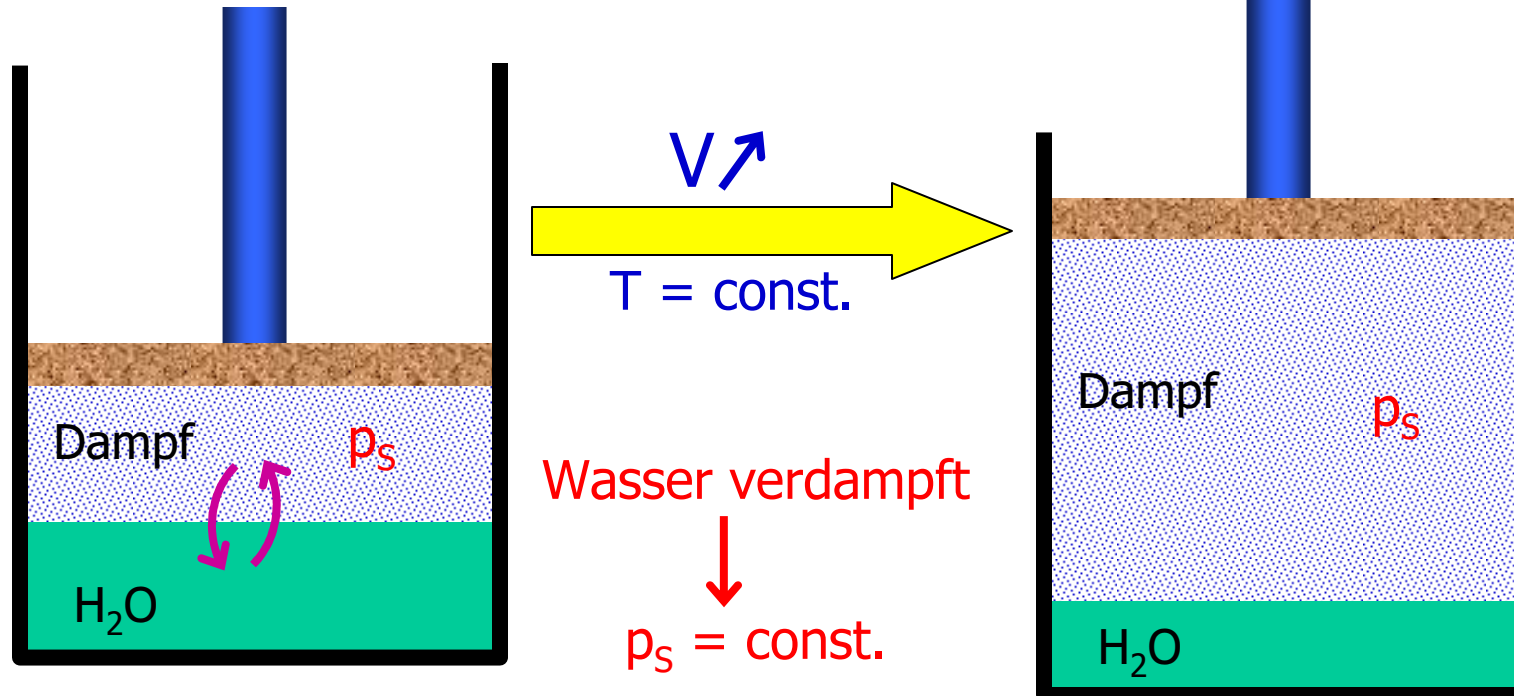
Phase, teilweise koexistent

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 $p_s = \text{const.}$

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

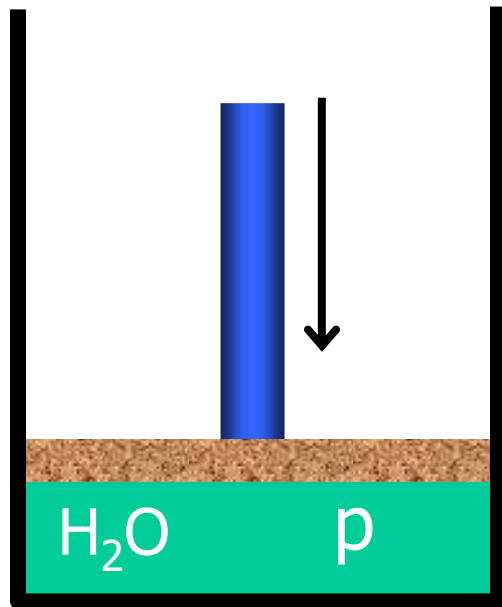
$T \nearrow \Leftrightarrow \langle E_{\text{kin}} \rangle \nearrow \Leftrightarrow$ mehr Moleküle erbringen Austrittsarbeit $\Leftrightarrow p_s \nearrow$

8.4. Koexistenz Flüssigkeit / Dampf



Endpunkt 1:

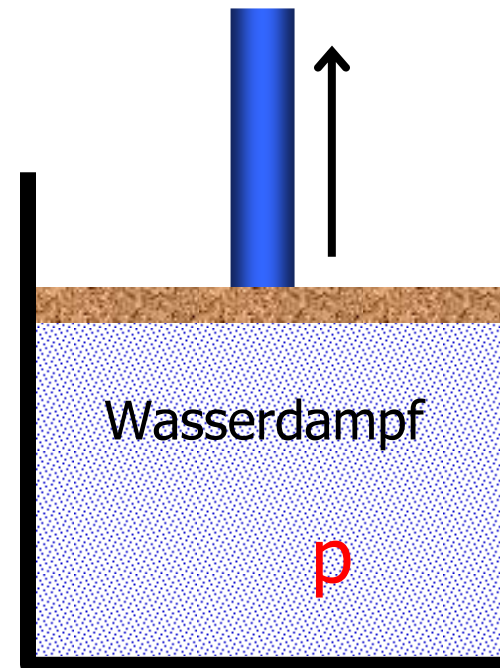
Dampf völlig kondensiert



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

Endpunkt 2:

Wasser völlig verdampft

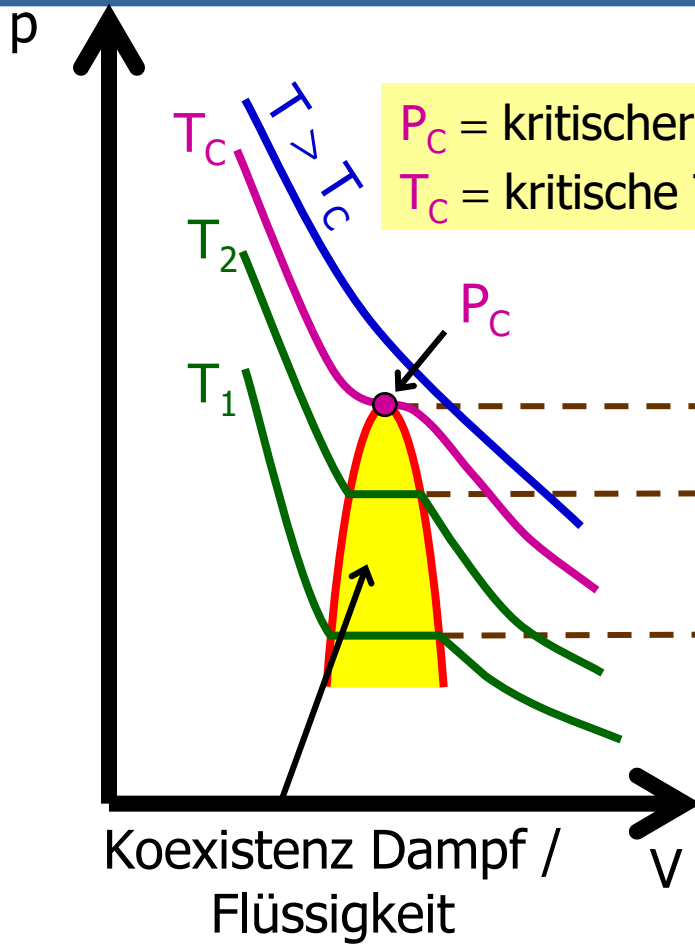


$$V \nearrow \Rightarrow p \searrow$$

annähernd ideales Gas

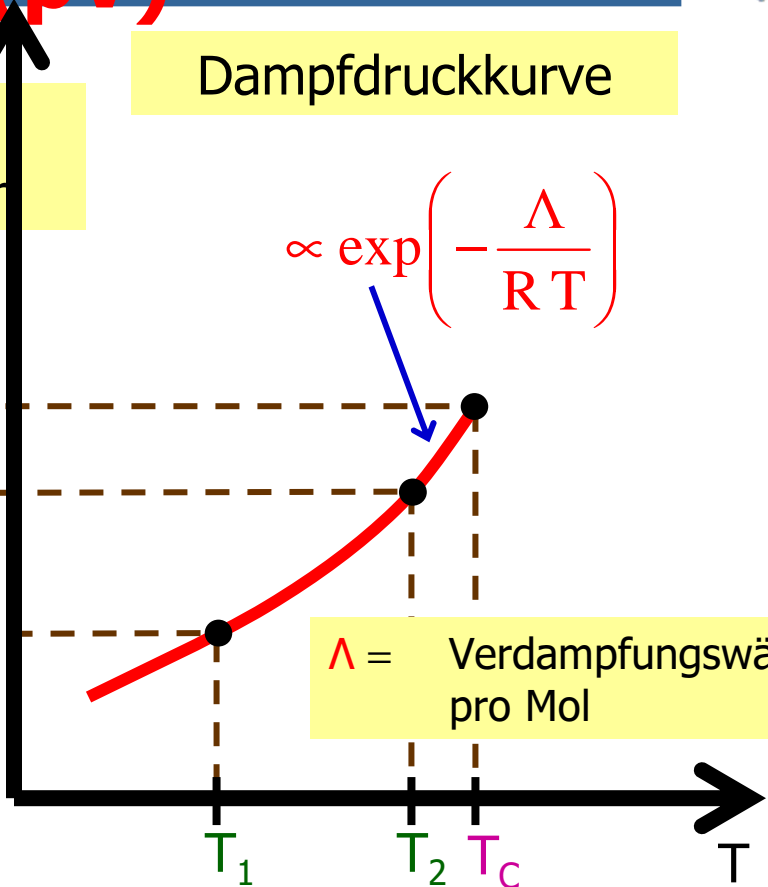
8.4. Zustandsdiagramm

(pV)



P_C = kritischer Punkt
 T_C = kritische Temperatur

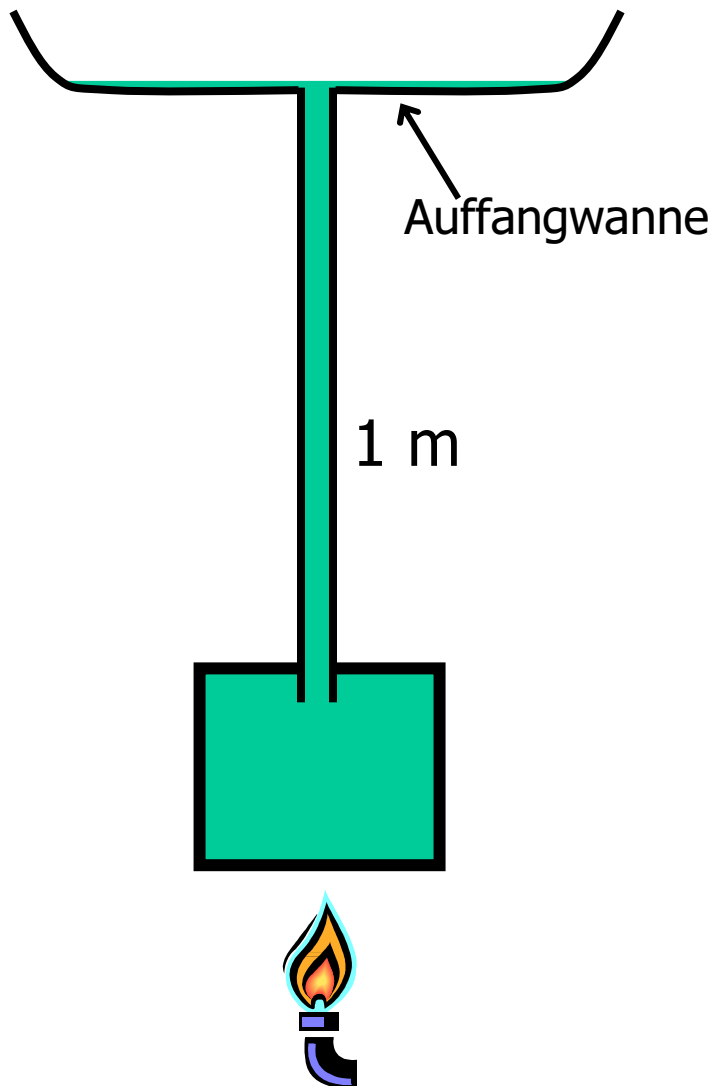
Dampfdruckkurve



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)

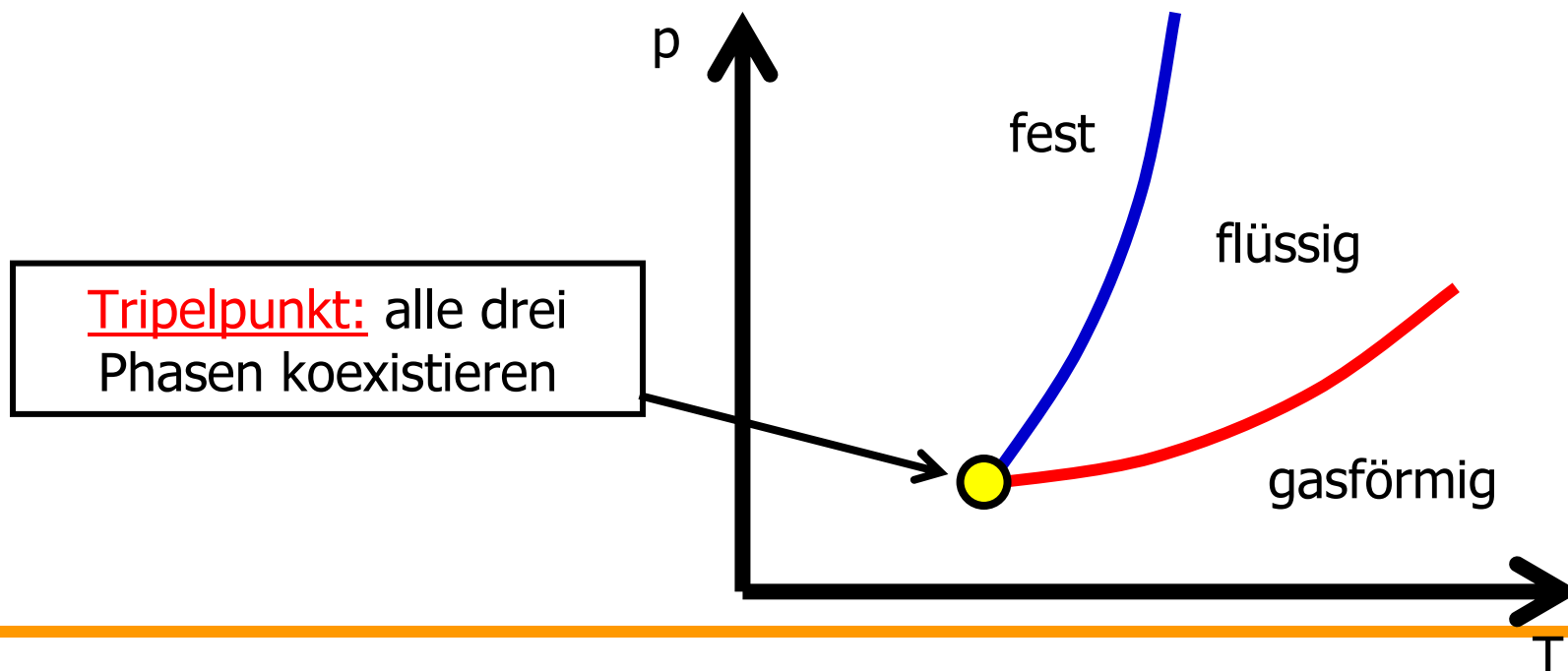
8.4. Koexistenz feste Phase/Flüssigkeit

analog: ersetze Sieden durch Schmelzen

Schmelzwärme pro Mol:

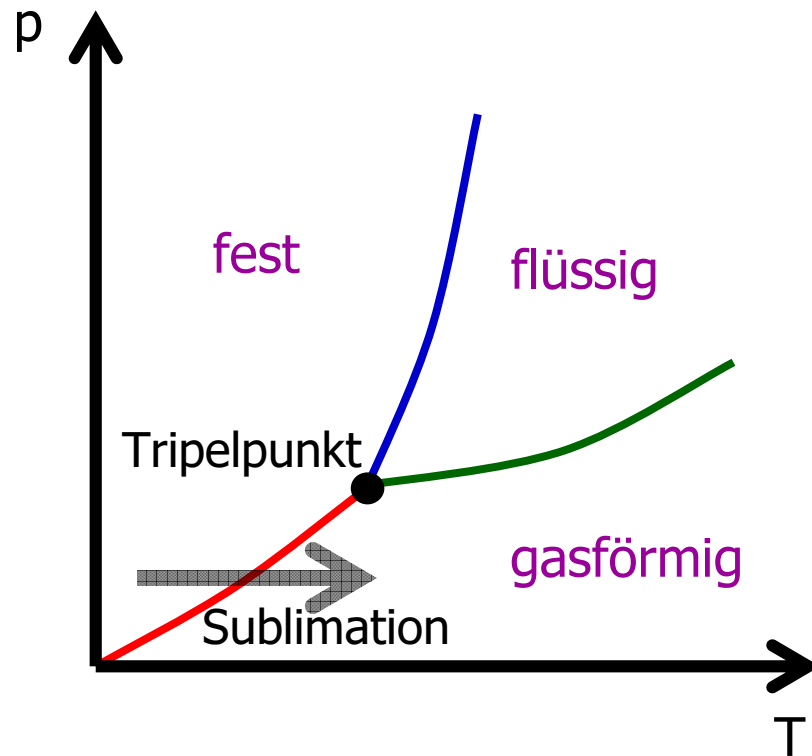
$$\Lambda' = T \frac{dp}{dT} (V_{\text{flüssig}} - V_{\text{fest}})$$

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



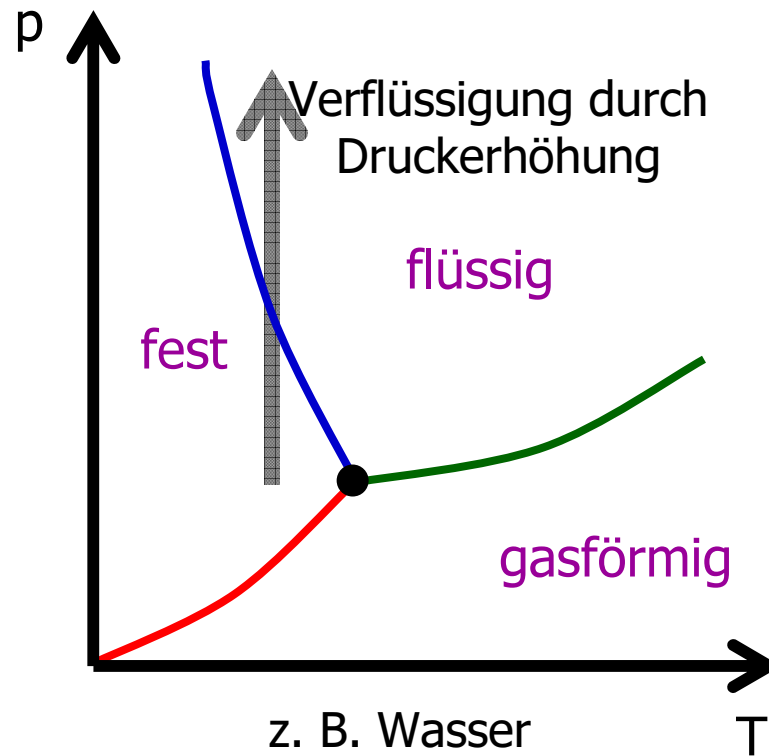
8.4. Phasendiagramme

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. H_2O) \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 α 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 $\propto \rho$

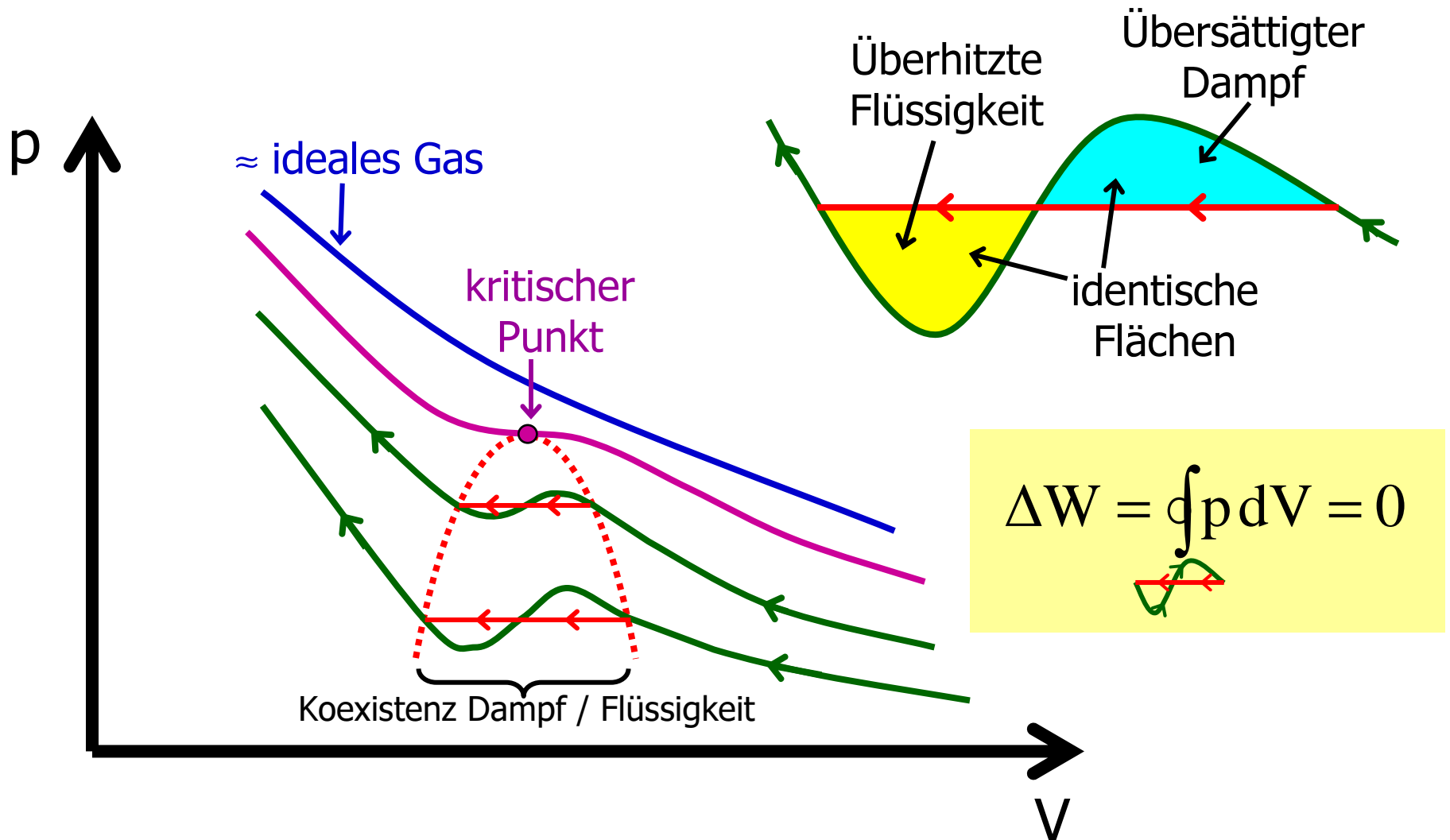
$\Rightarrow p \rightarrow p + \frac{a}{V^2}$ im Inneren des Gasvolumens

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

Folgerung:

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

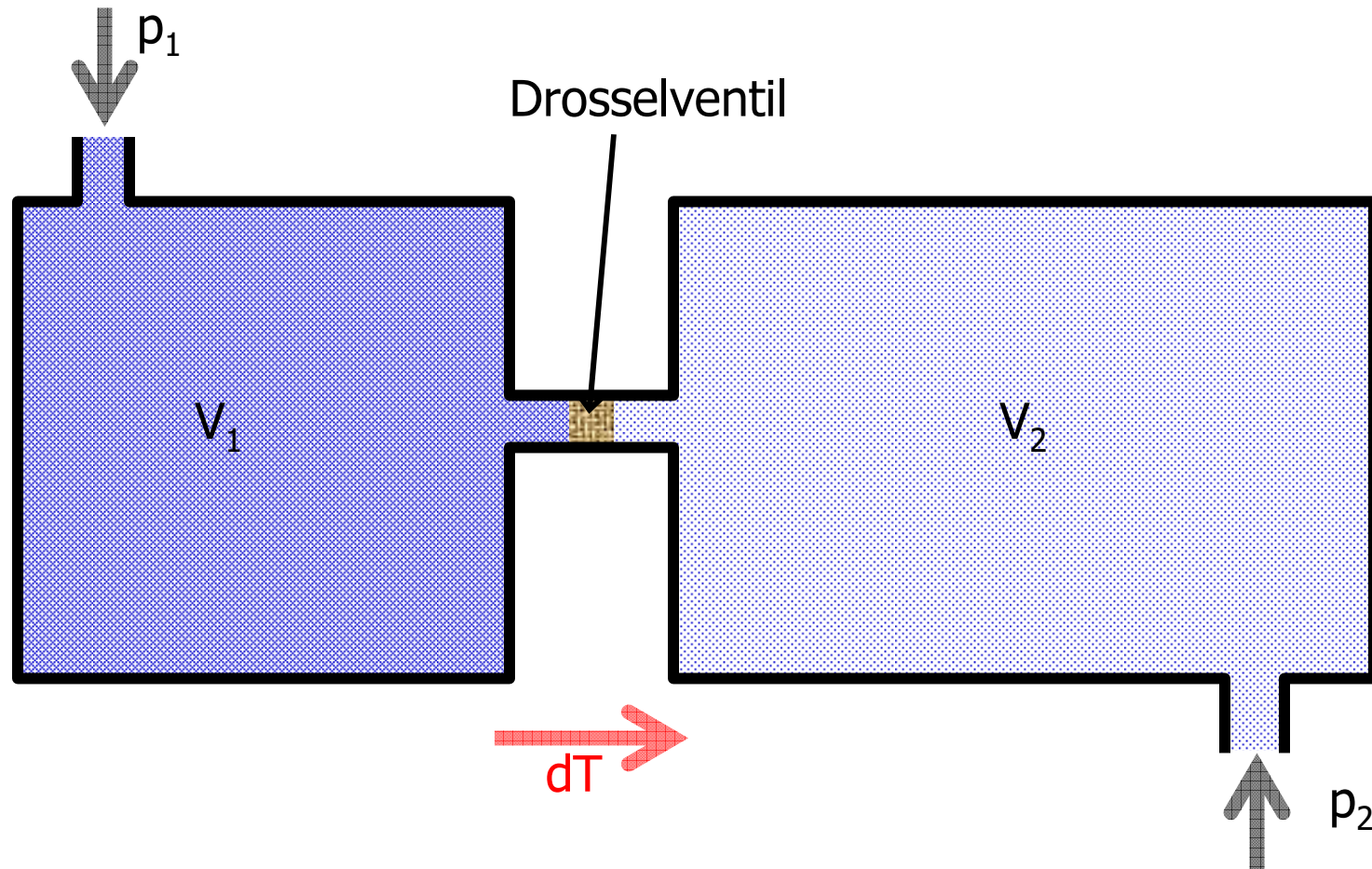
8.4. Van-der-Waals-Gleichung



8.4. Joule-Thompson Effekt



Joule-Thomson-Effekt (adiabatische Expansion)



Beispiel: Linde-Verfahren (Luftverflüssigung)