



2 Molekulare Deutung der Temperatur, und kinetische Gastheorie



2.0 Einführungsversuch: Temperatur und "Teilchenbewegung"

2.1 Modell des idealen Gases

2.2 Teilchengeschwindigkeiten, Maxwell-Boltzmann-Geschwindigkeitsverteilung

2.3 Reale Gase, Van-der-Waals-Gleichung

2 Molekulare Deutung der Temperatur, und kinetische Gastheorie



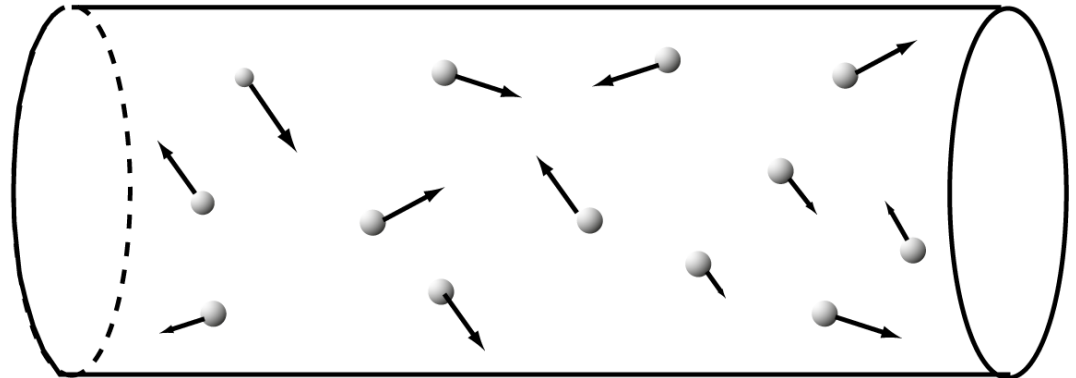
[Link zum Experiment:](https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/2-0-Diffusion-K03-1.m4v)

https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/2-0-Diffusion-K03-1.m4v



2.1 Ideale Gase (Modellvorstellung)

Ideale Gase



Vereinfachende Modellvorstellung:

- "punktförmige" Teilchen
(ihr Volumen ist vernachlässigbar)
- keine Wechselwirkungen
zwischen den Teilchen - ausgenommen
- vollkommen elastische Stöße
(zwischen Teilchen und Wänden)



Einheit: 1 Mol;

1 Mol ist die Menge eines Stoffes, die N_A Teilchen enthält.

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ (Teilchen)}$$

Masse und Stoffmenge:

Die Masse von einem Mol, d.h. die Molmasse M , ist zu errechnen als:

$$M = N_A \cdot m_M;$$

m_M : Molekülmasse

allgemein:

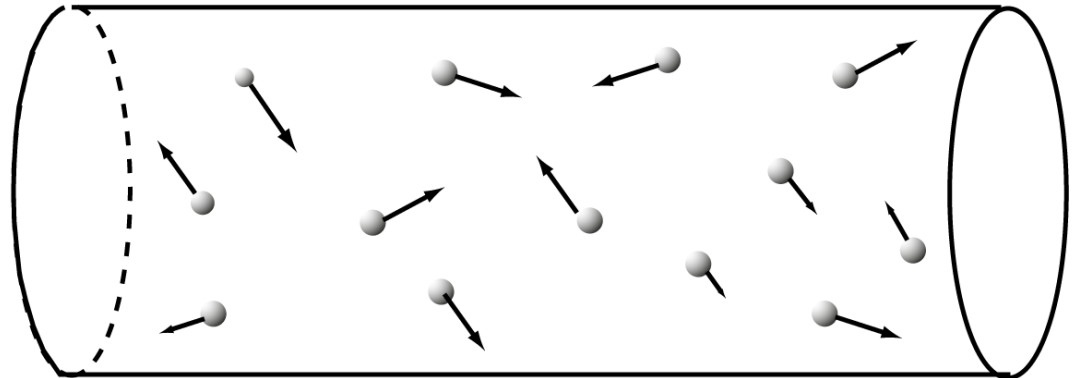
$$m = \nu \cdot M;$$

Beispiel Kohlenstoff ^{12}C :

$$M_{^{12}\text{C}} = 12 \text{ g};$$



2.1 Ideale Gase



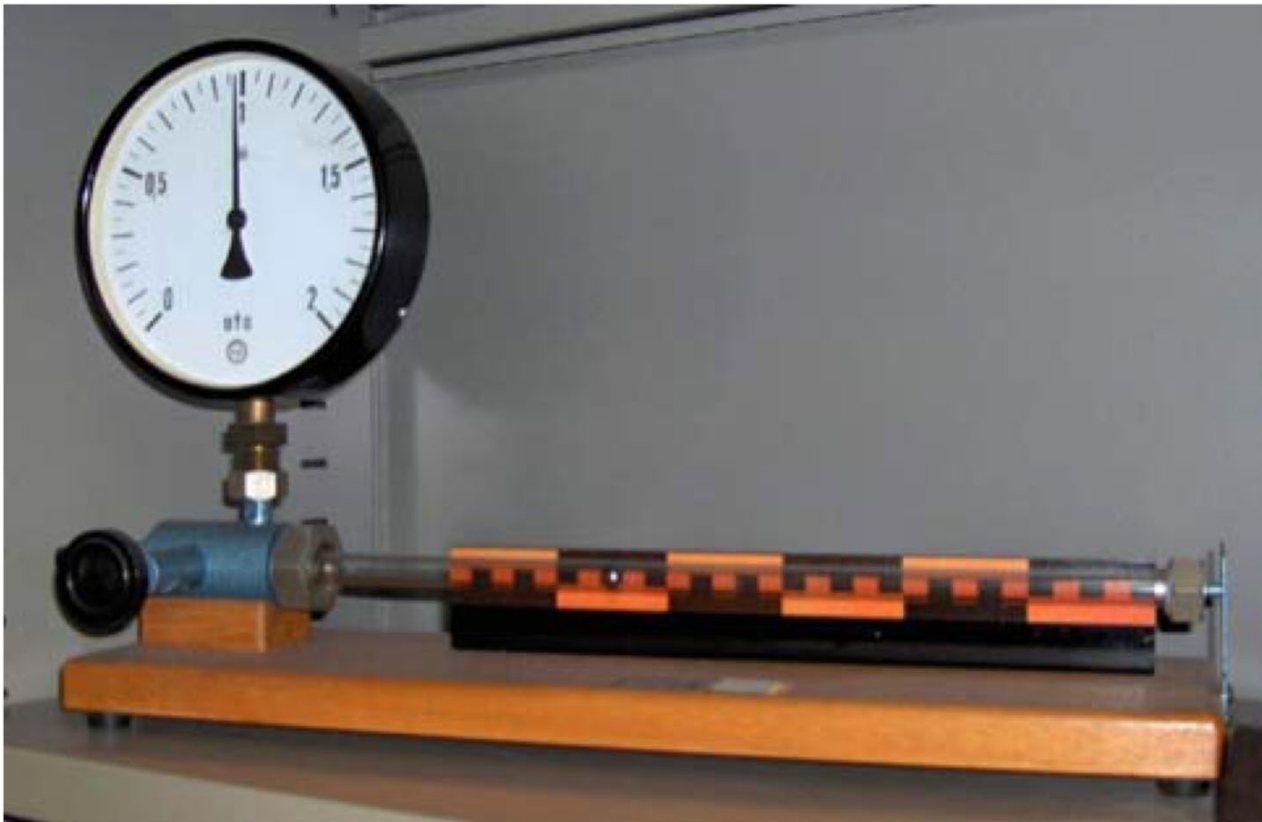
Den thermische Zustand von Gasen
beschreiben wir durch die
Zustandsgrößen

- Temperatur T
- Volumen V
- Druck p

und der Stoffmenge n (oder ν)

Boyle-Mariotte

Zusammenhang zwischen Druck und Volumen beim idealen Gas



[Link zum Experiment:](https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/2-2-Boyle-M-K07-1.m4v)

https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/2-2-Boyle-M-K07-1.m4v

2 Molekulare Deutung der Temperatur, und kinetische Gastheorie





Boyle-Mariotte'sches Gesetz:

$$p \sim \frac{1}{V};$$

bei $T = \text{const.}$

und

Gay-Lussac'sches Gesetz:

$$V \sim T;$$

bei $p = \text{const.}$

Zustandsgleichung für das "Ideale Gas":

$$p \cdot V = N \cdot k_B \cdot T$$

N : Anzahl der Teilchen im Gas

k_B : Boltzmann-Konstante

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

n : Stoffmenge

R : Allg. Gaskonst.



Weitere Formulierung:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{p_n \cdot V_n}{T_n}$$

Als allgemeinen Bezugszustand wählt man den "**Normzustand**":

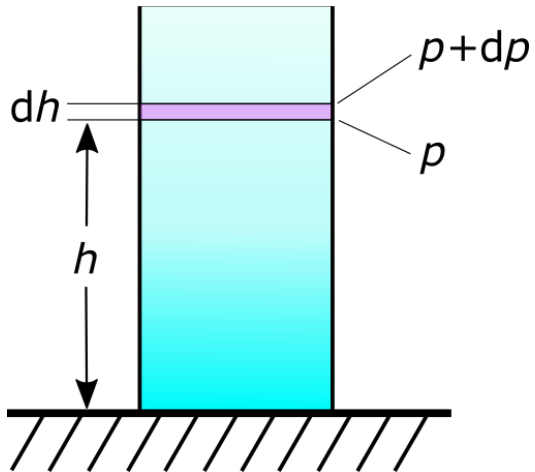
Normtemperatur: $T_n = 273,15 \text{ K}$

Normdruck: $p_n = 101325 \text{ Pa}$

Das Volumen hängt dann von der Stoffmenge ab,
das sind **pro Mol 22,41 Liter**

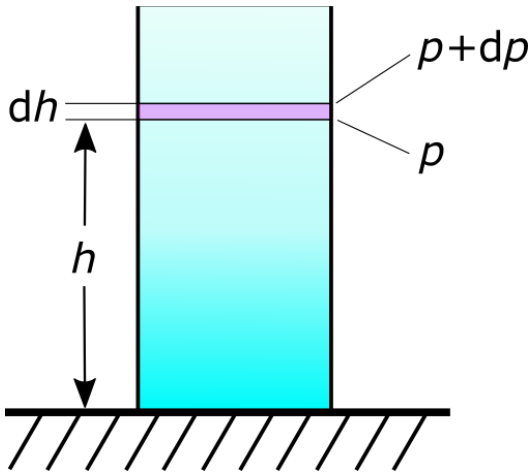
Atmosphärischer Luftdruck ist Schweredruck der Lufthülle

Die Dichte ist dabei nicht konstant. Es gilt: $\frac{\rho}{p} = \frac{\rho_0}{p_0}$



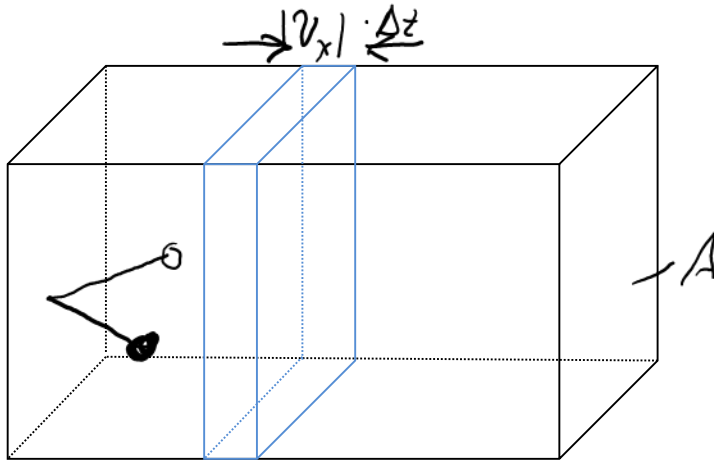
Atmosphärischer Luftdruck ist Schweredruck der Lufthülle

Die Dichte ist dabei nicht konstant. Es gilt: $\frac{\rho}{p} = \frac{\rho_0}{p_0}$



$$p = p_0 \cdot e^{-\frac{\rho_0 \cdot g \cdot h}{p_0}}$$

Barometrische Höhenformel



Impulsänderung: $2 m |v_x|$
(in x-Richtung)

N Teilchen
Impulsänderung

$$|\Delta \vec{p}| = 2 m |v_x| \left(\frac{N}{V} \cdot A \cdot |v_x| \cdot \Delta t \right)$$

$$= m |v_x|^2 \cdot A \cdot \frac{N}{V} \cdot \Delta t$$

2 Molekulare Deutung der Temperatur, und kinetische Gastheorie



2 Molekulare Deutung der Temperatur, und kinetische Gastheorie





$$\frac{3}{2} k_B T = \langle E_{kin} \rangle$$

Die Temperatur T ist ein Maß für die **mittlere kinetische Energie $\langle E_{kin} \rangle$** der Teilchen (bei einem idealen Gas).



Beispiele bei 0°C

Gas	$\langle v \rangle$ in m/s	c_{Schall} in m/s
H ₂	1700	1161
N ₂	453	309
Xe	209	155



2.2 Teilchengeschwindigkeiten, Maxwell-Boltzmann-Geschwindigkeitsverteilung

"Rüttelmaschine"

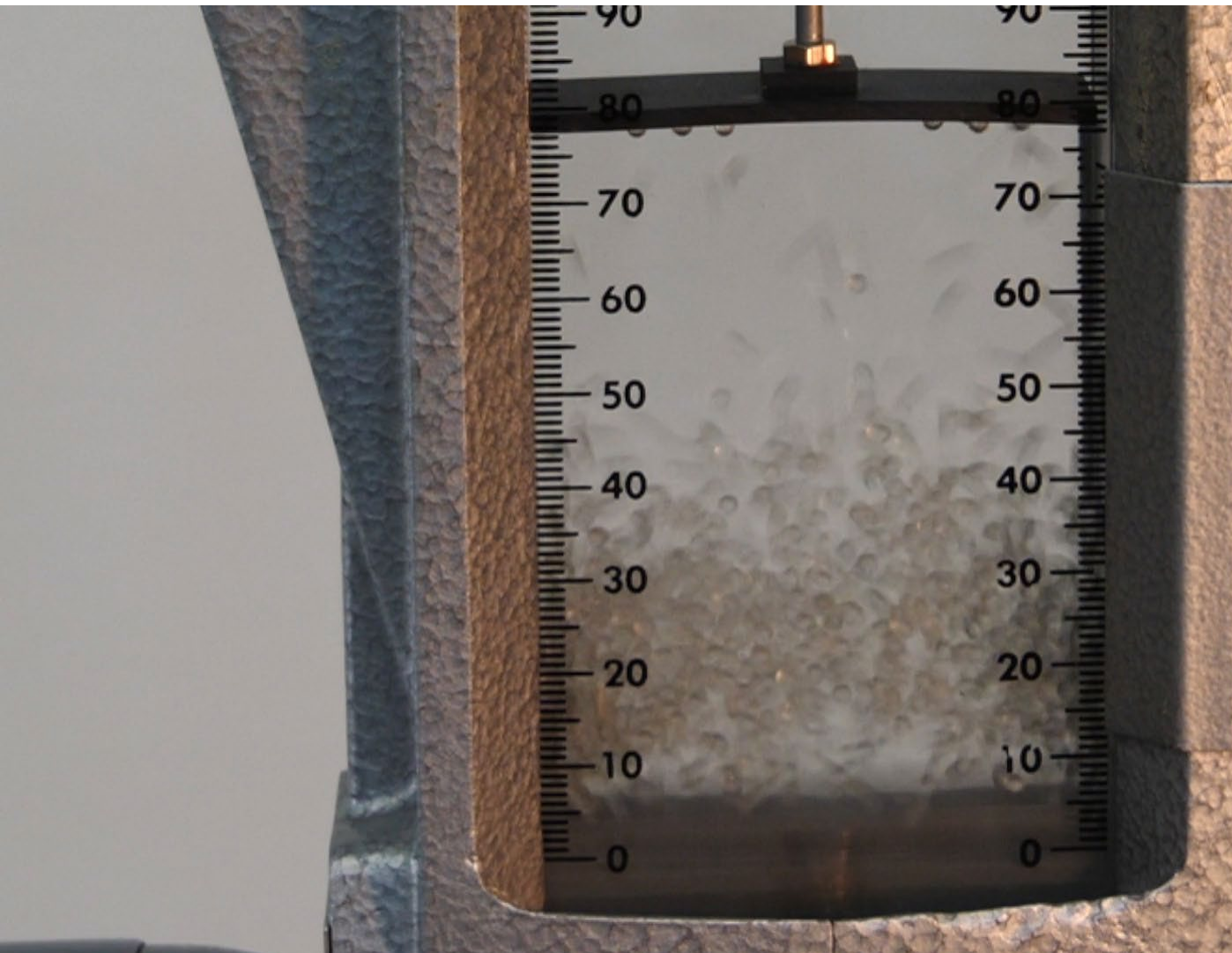


2 Molekulare Deutung der Temperatur, und kinetische Gastheorie



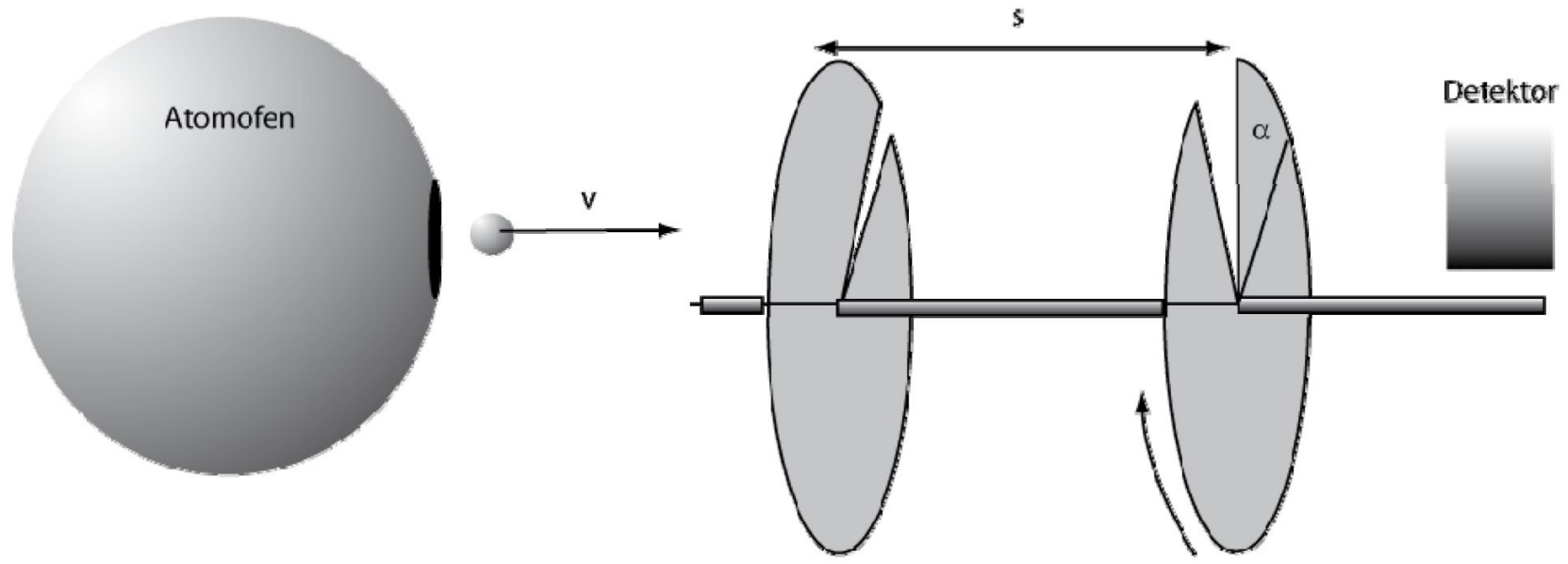
[Link zum Experiment:](https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/2-2-Ruettel-Versuch-1.m4v)

https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/2-2-Ruettel-Versuch-1.m4v



Maxwell-Boltzmann-Verteilung

Experimentelle Bestimmung der Geschwindigkeitsverteilung

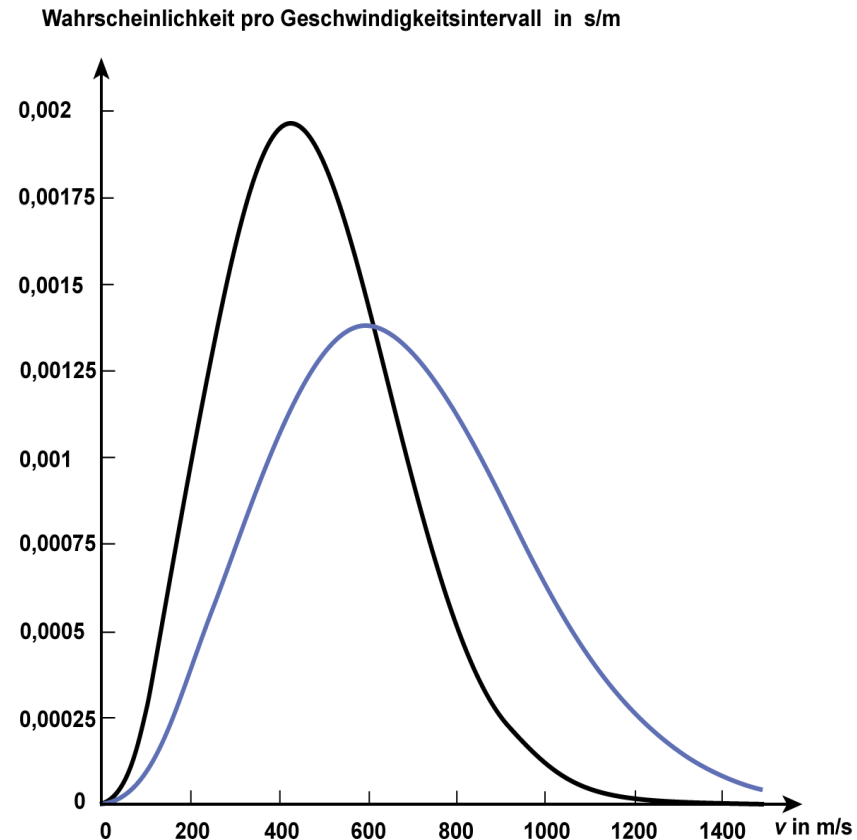


$$v = \frac{s}{t} = \frac{s}{\alpha / \omega} = \frac{s\omega}{\alpha}$$



Maxwell-Boltzmann-Verteilung

$$f(v) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2k_B T} \right)^{3/2} \cdot v^2 \cdot e^{-mv^2/(2k_B T)}$$



Verteilungsfunktion für die Teilchengeschwindigkeiten



Maxwell-Boltzmann-Verteilung

Verteilungskurve für Stickstoff bei 300 K
und bei 600 K

wahrscheinlichste Geschwindigkeit:

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2k_B T}{m}}$$

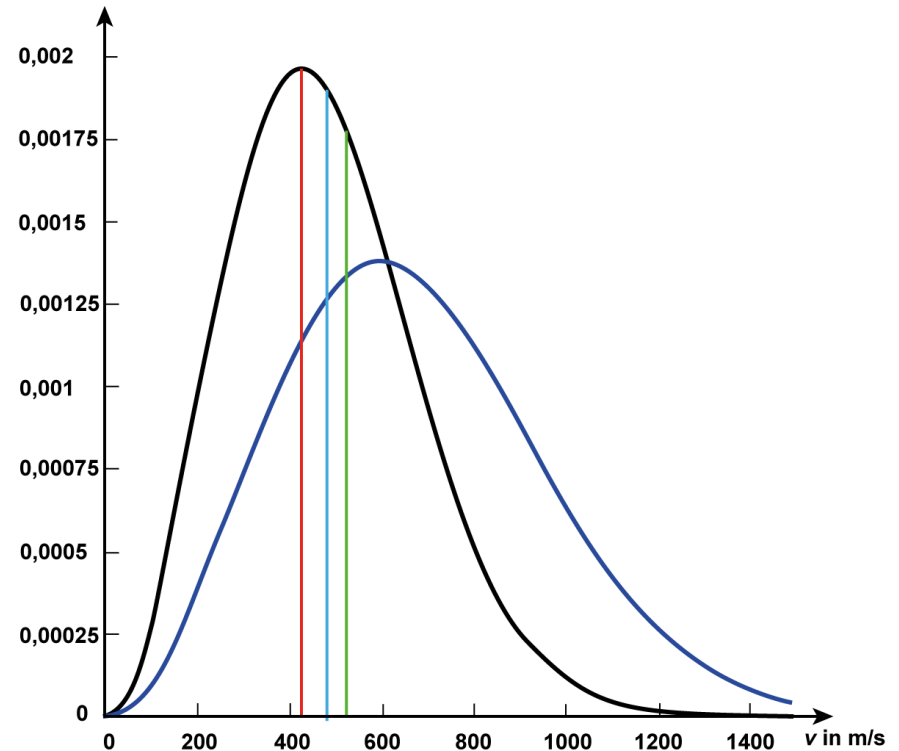
mittlere Geschwindigkeit:

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8k_B T}{\pi m}}$$

mittleres Geschwindigkeitsquadrat:

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}}$$

Wahrscheinlichkeit pro Geschwindigkeitsintervall in s/m



Abführen "schneller Teilchen" - Verdunstungskälte



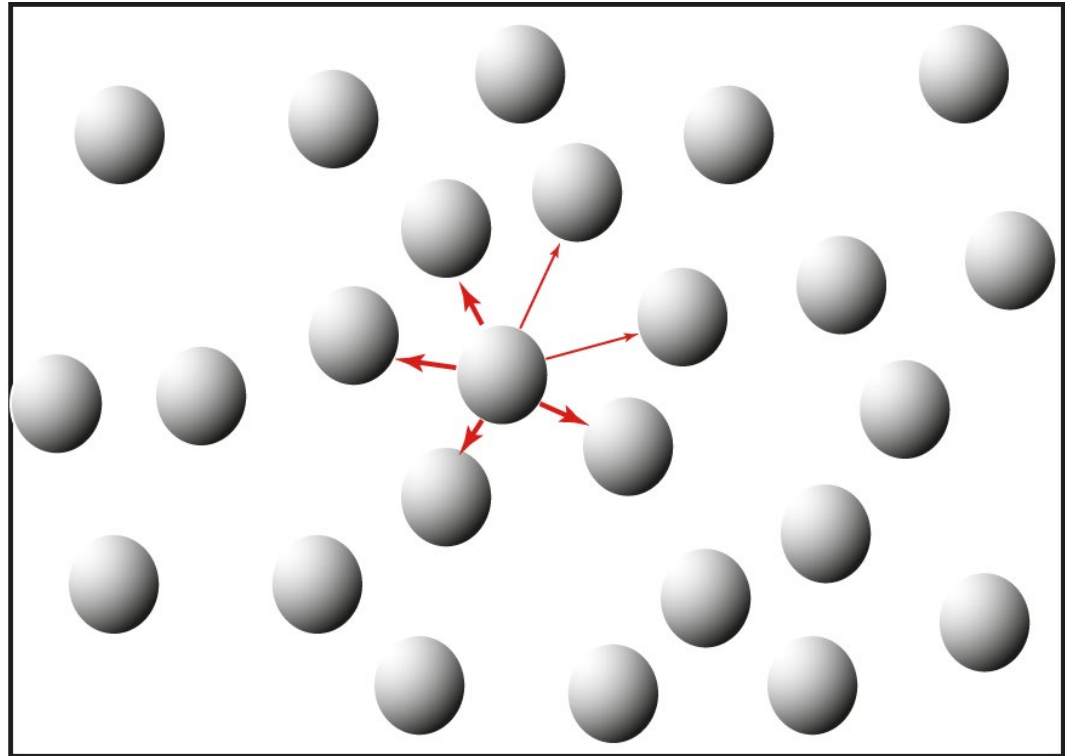
[Link zum Experiment:](https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/2-2-Verdunstungskaelte-Vogel-K-1.m4v)

https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/2-2-Verdunstungskaelte-Vogel-K-1.m4v



2.3 Reale Gase, Van-der-Waals-Gleichung

Reale Gase



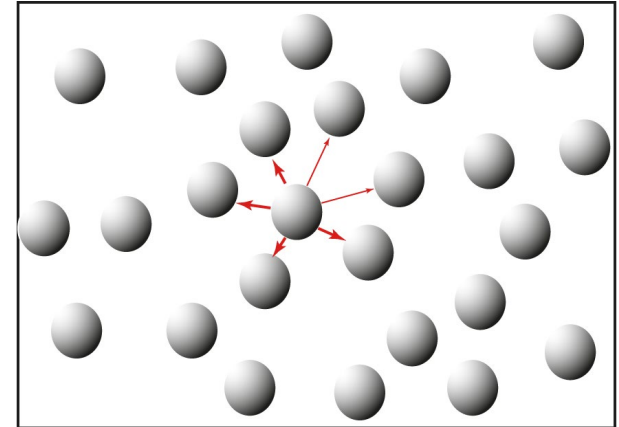
Berücksichtigt werden müssen:

- Teilchenvolumen
- Anziehende Kräfte zwischen den Teilchen

Reale Gase – Van-der-Waals-Gleichung



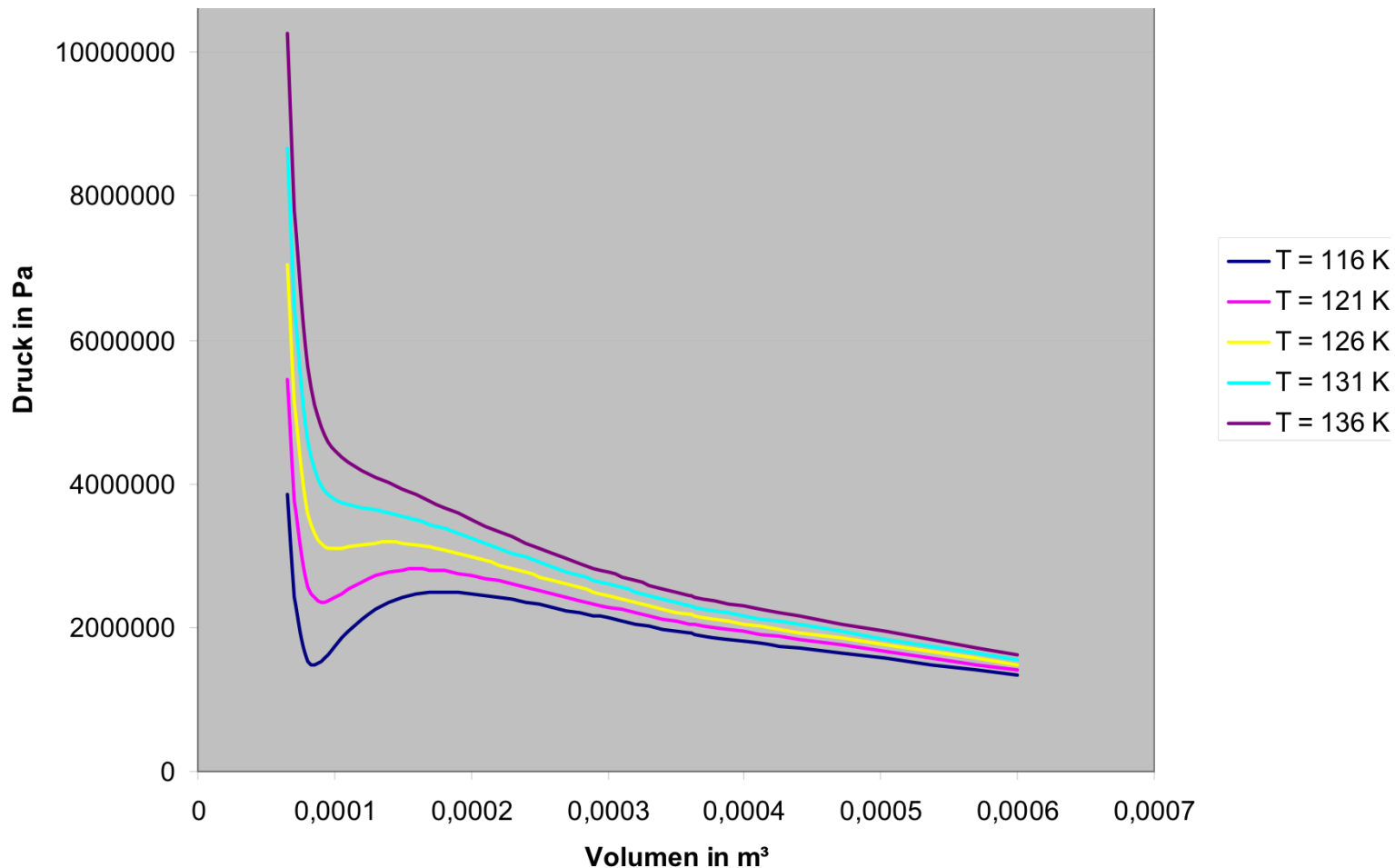
$$(p + \quad) \cdot (V - \quad) = n R T$$





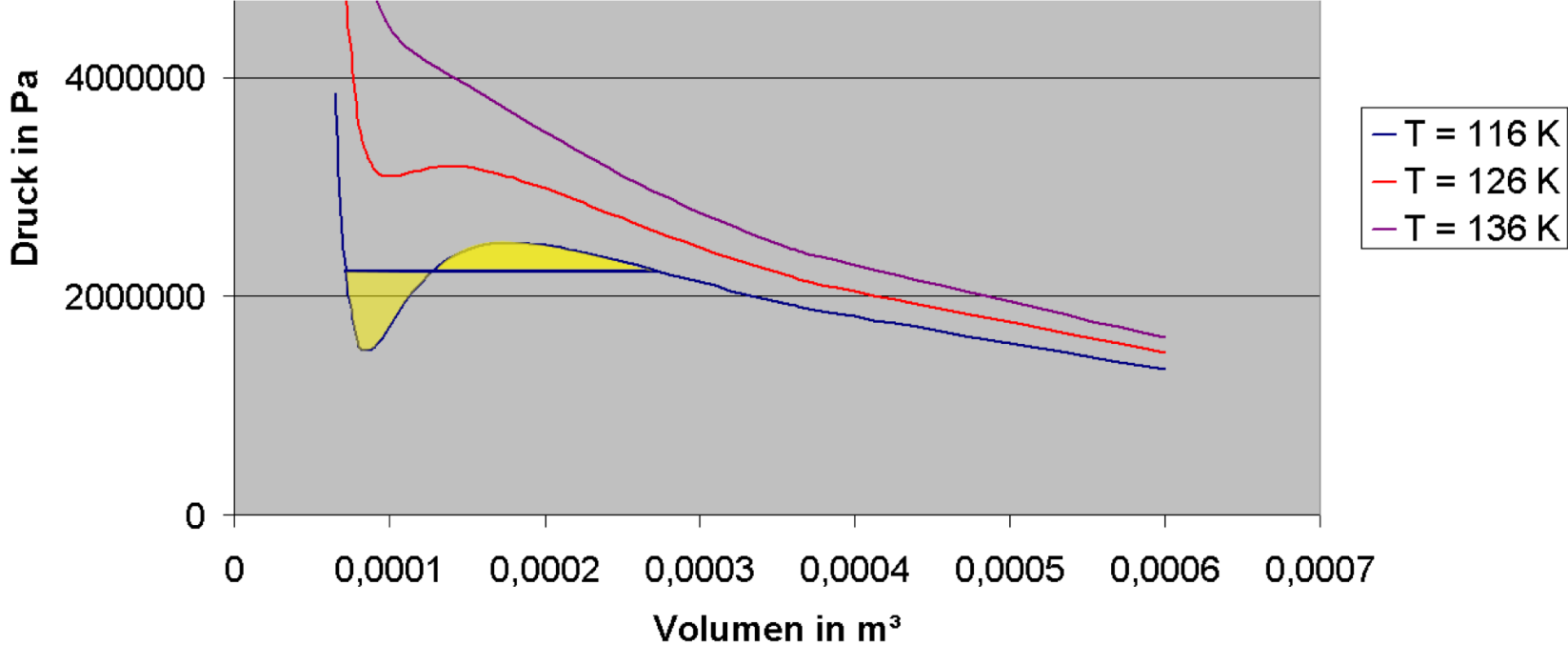
Reale Gase – Van-der-Waals-Gleichung

$$\left(p + \frac{a}{V^2}n\right) \cdot (V - bn) = nRT$$

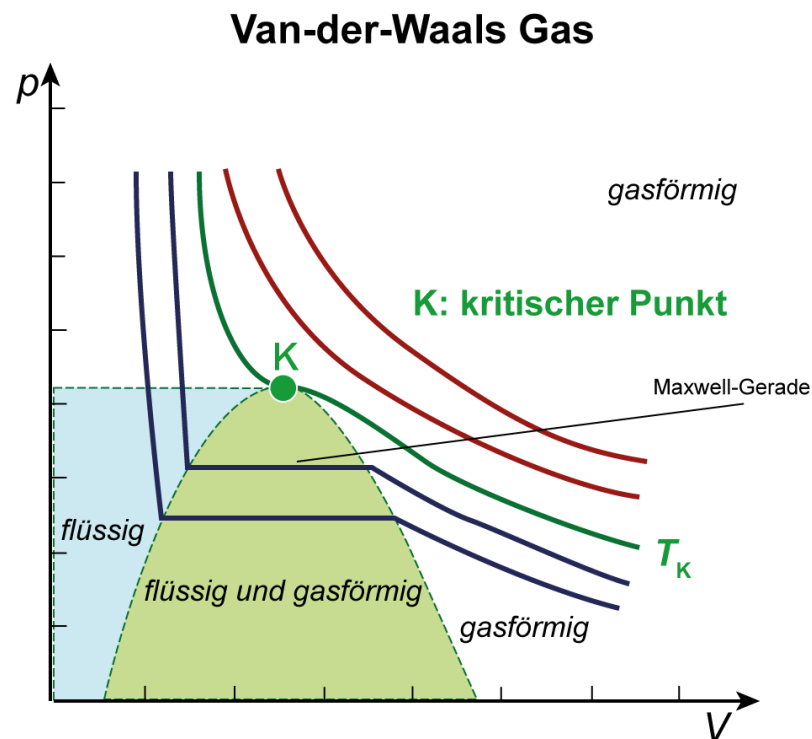


Reale Gase – Van-der-Waals-Gleichung

$$\left(p + \frac{a}{V^2}n\right) \cdot (V - bn) = nRT$$

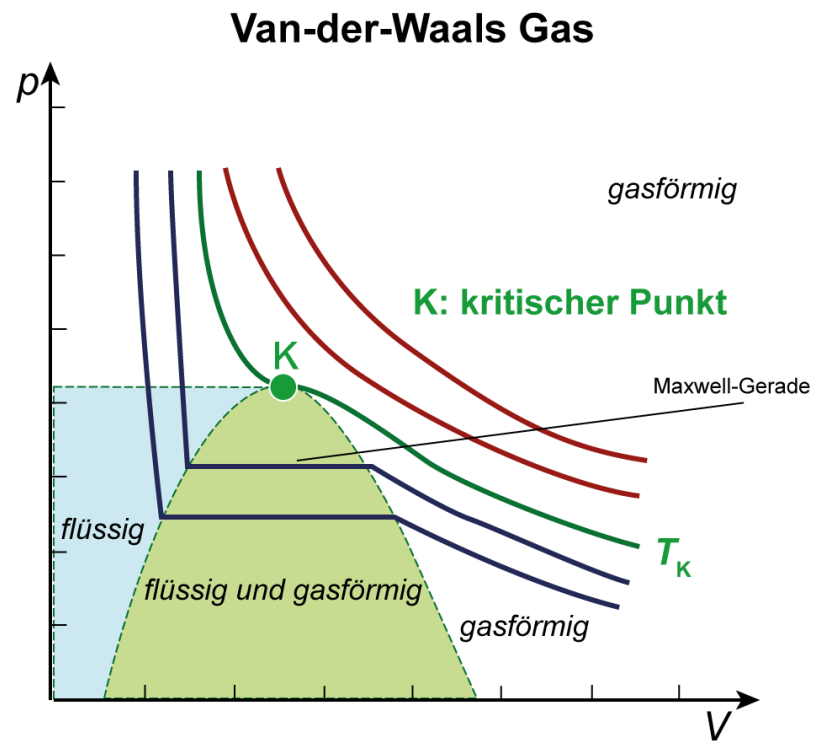
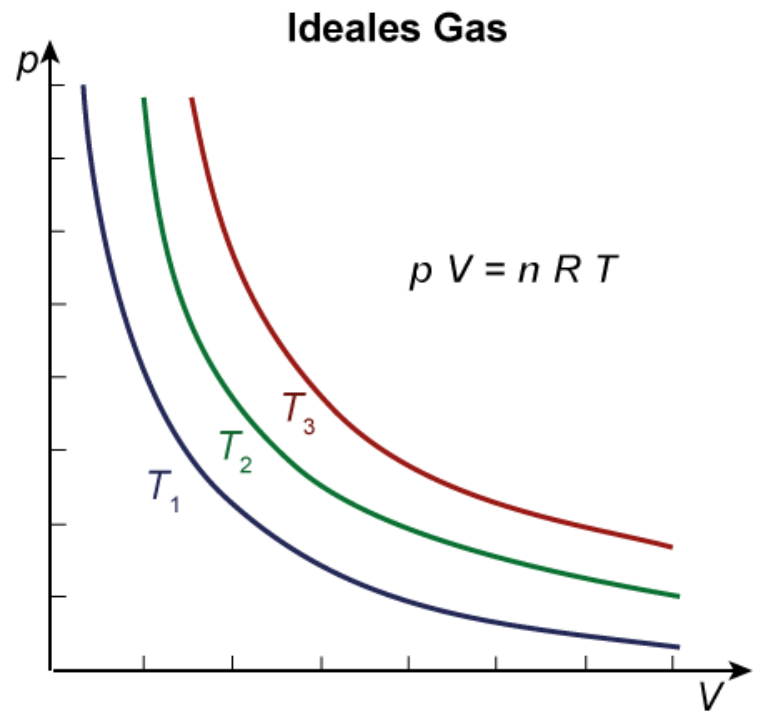


Reale Gase – Van-der-Waals-Gleichung



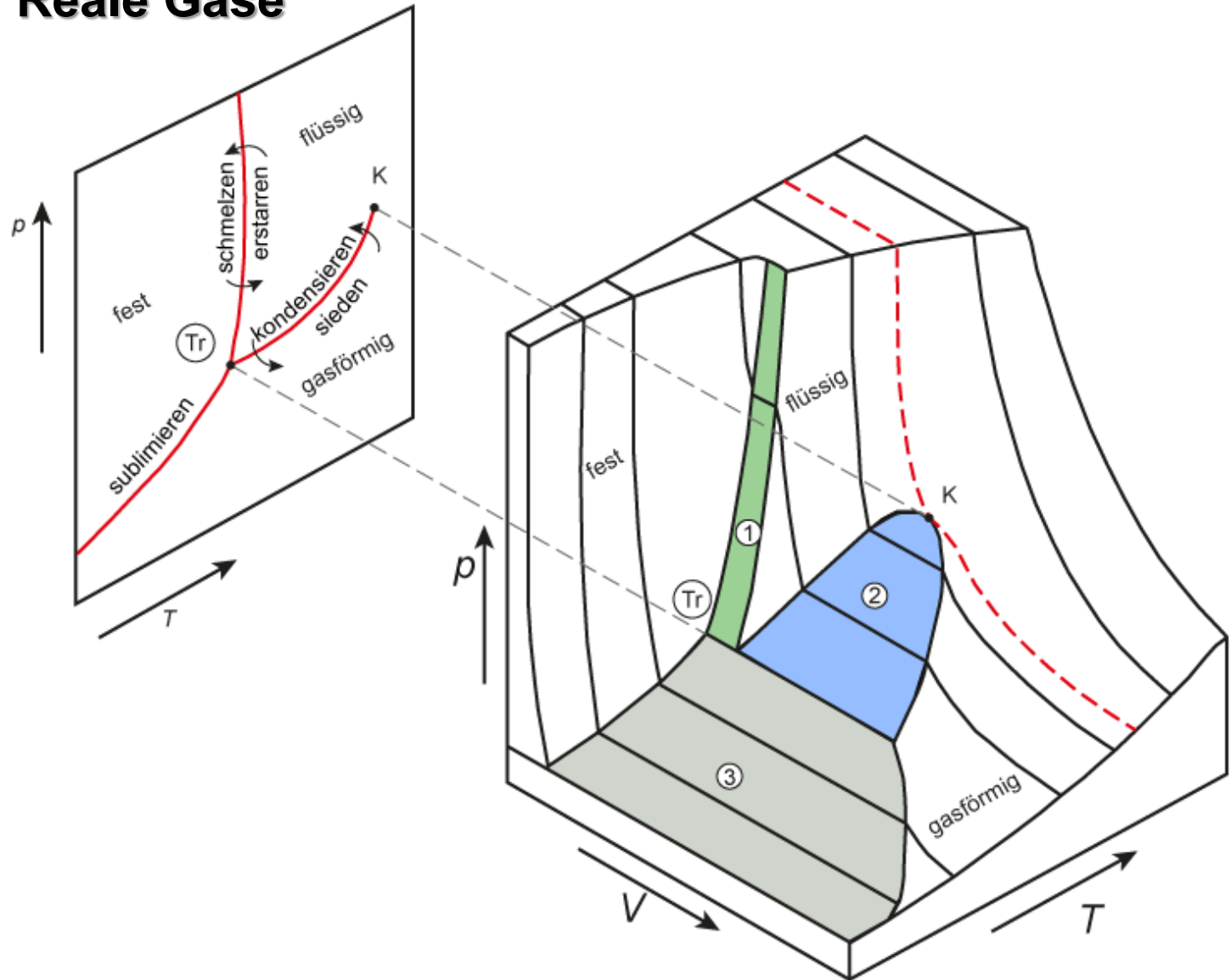
$$\left(p + \frac{a}{V^2}n\right) \cdot (V - bn) = n R T$$

Reale Gase – Van-der-Waals-Gleichung

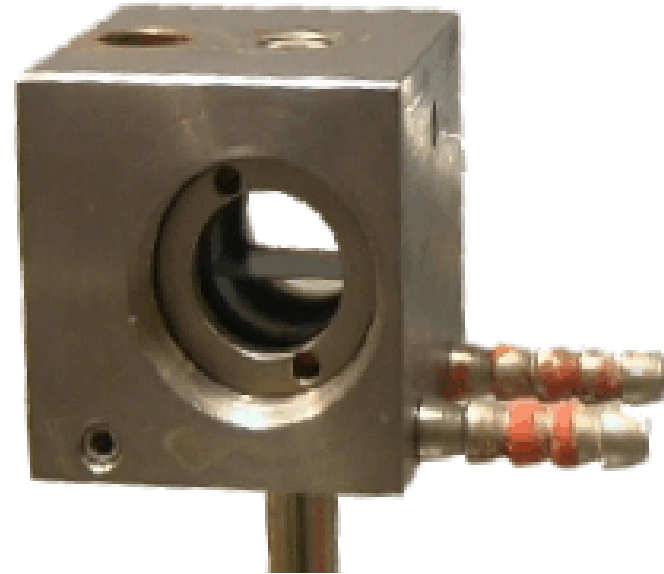


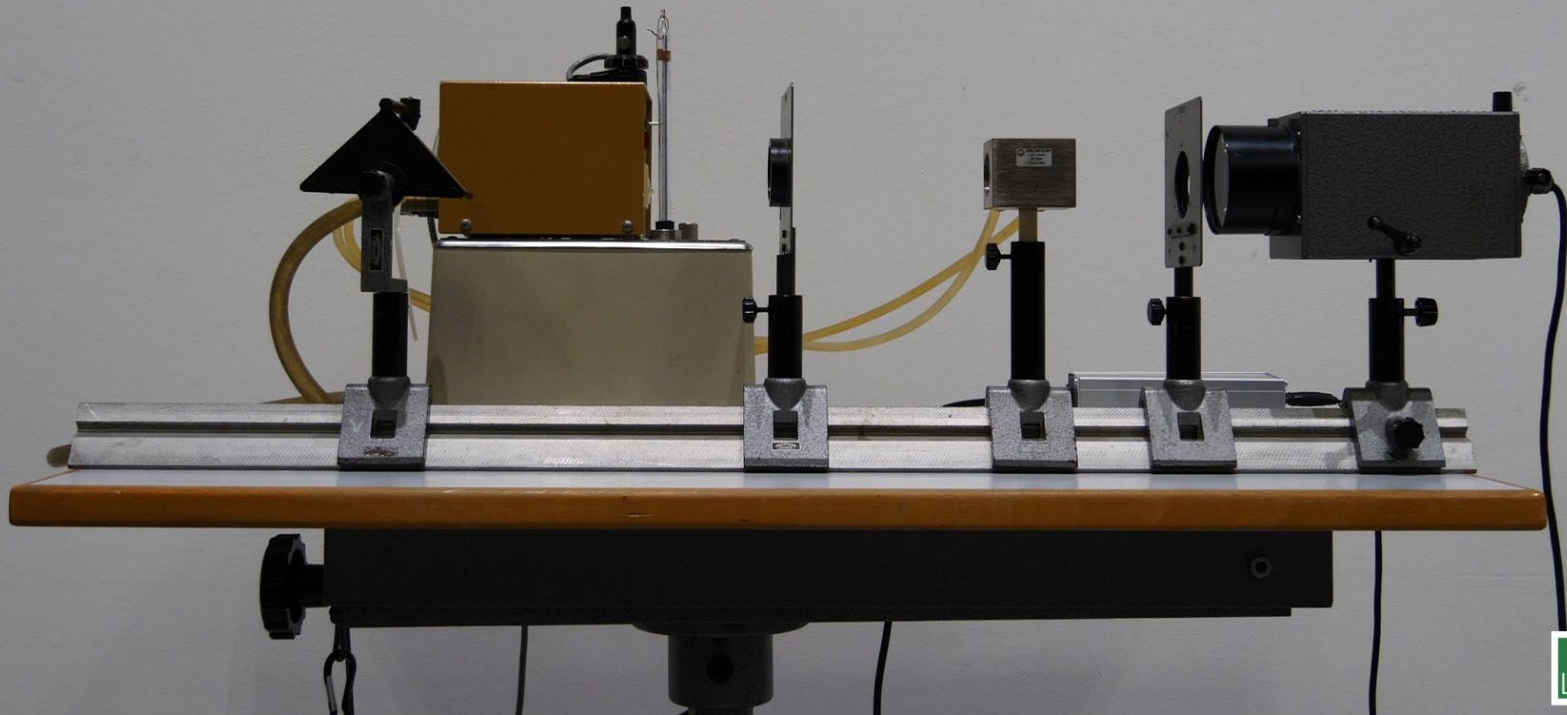
$$\left(p + \frac{a}{V^2} n \right) \cdot (V - bn) = n R T$$

Reale Gase

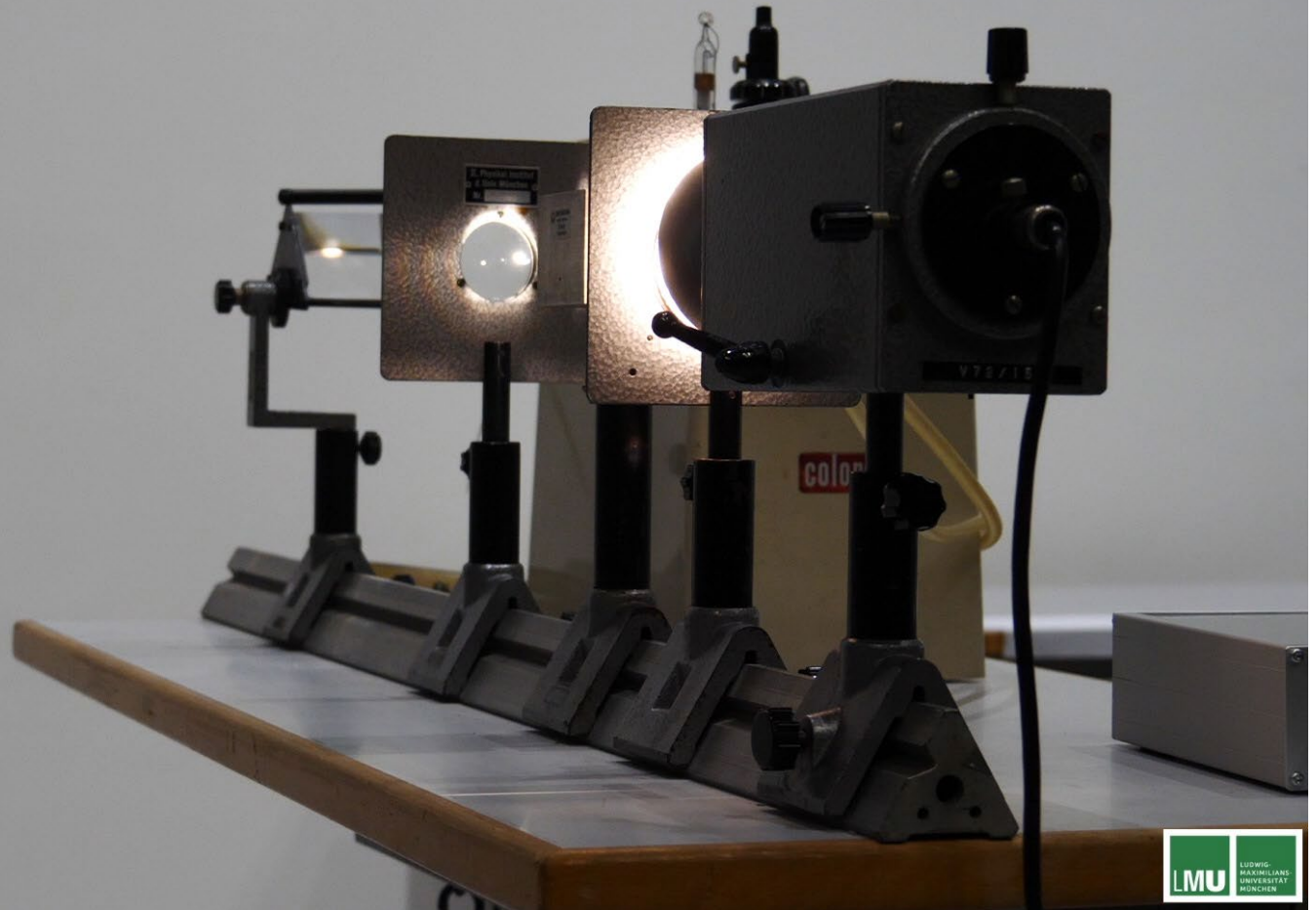


Film: Opaleszenz





2 Molekulare Deutung der Temperatur, und kinetische Gastheorie



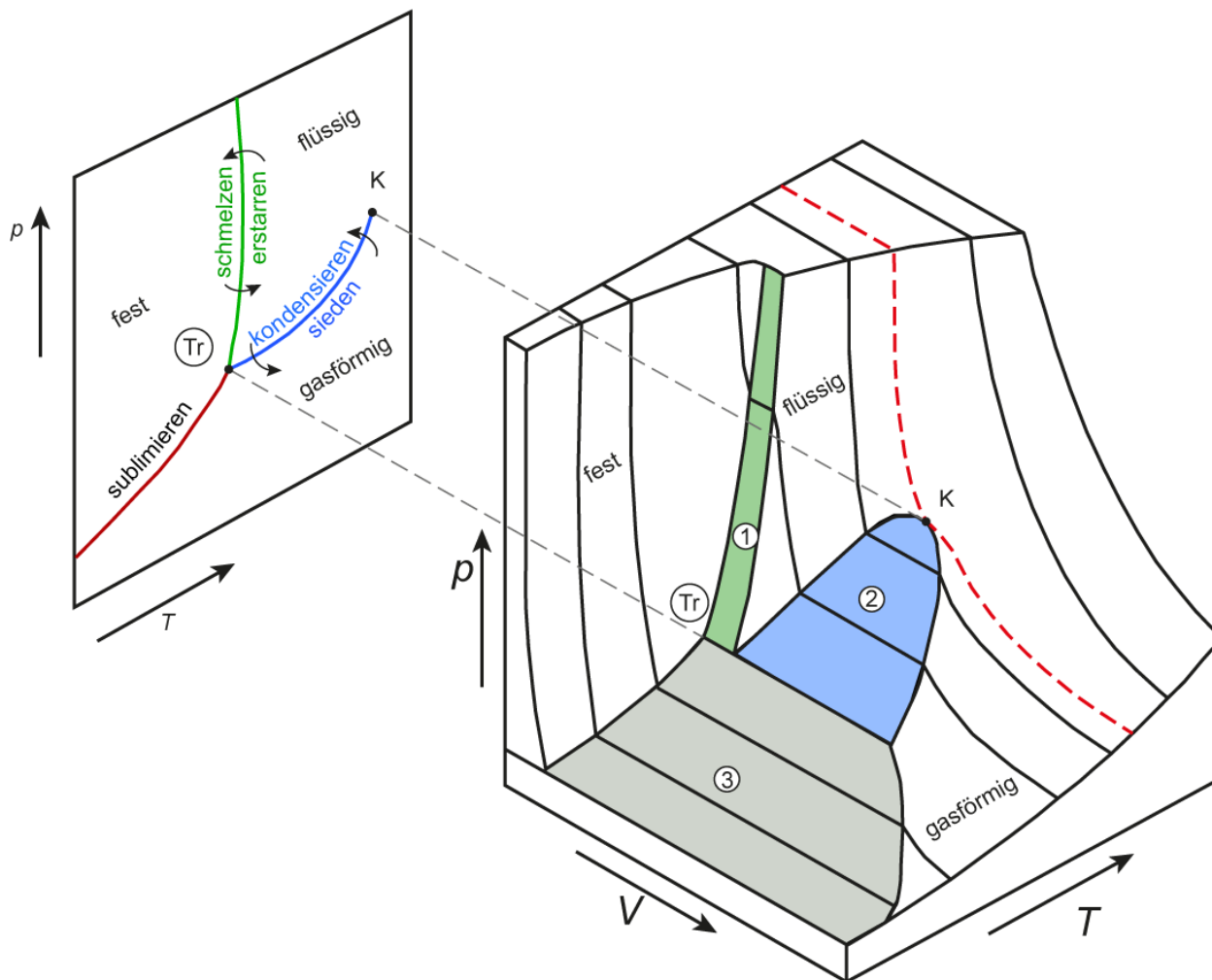
2 Molekulare Deutung der Temperatur, und kinetische Gastheorie



[Link zum Experiment:](https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/2-3-Opaleszenz--R02.m4v)

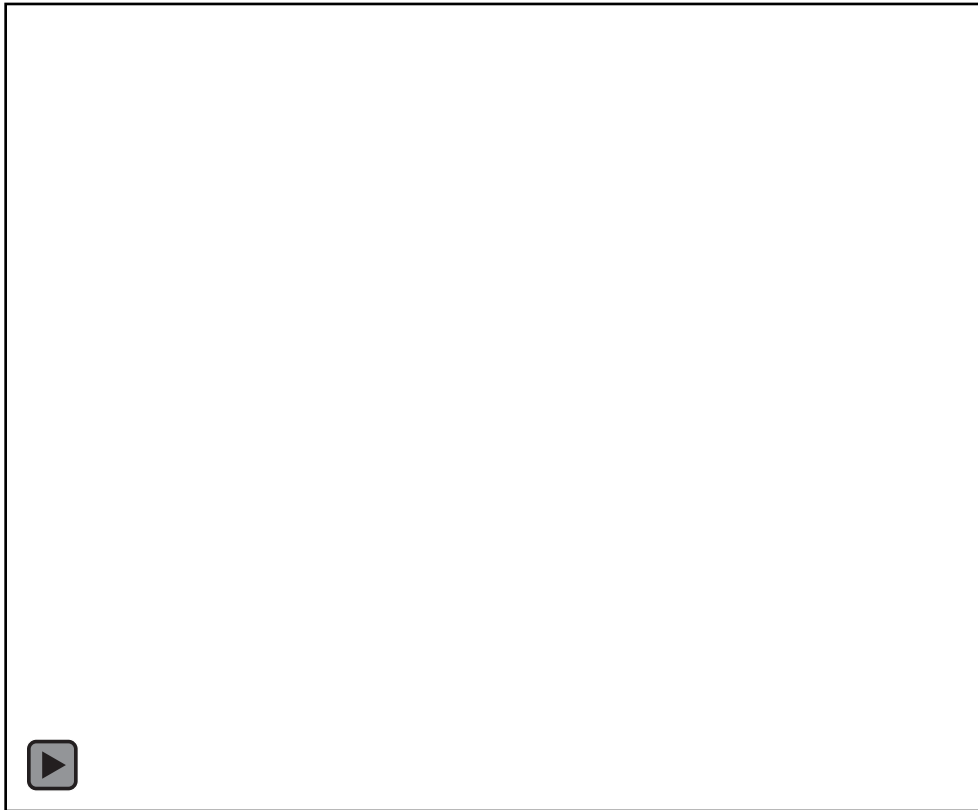
https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/2-3-Opaleszenz--R02.m4v

Phasenübergänge – Druck & Sieden





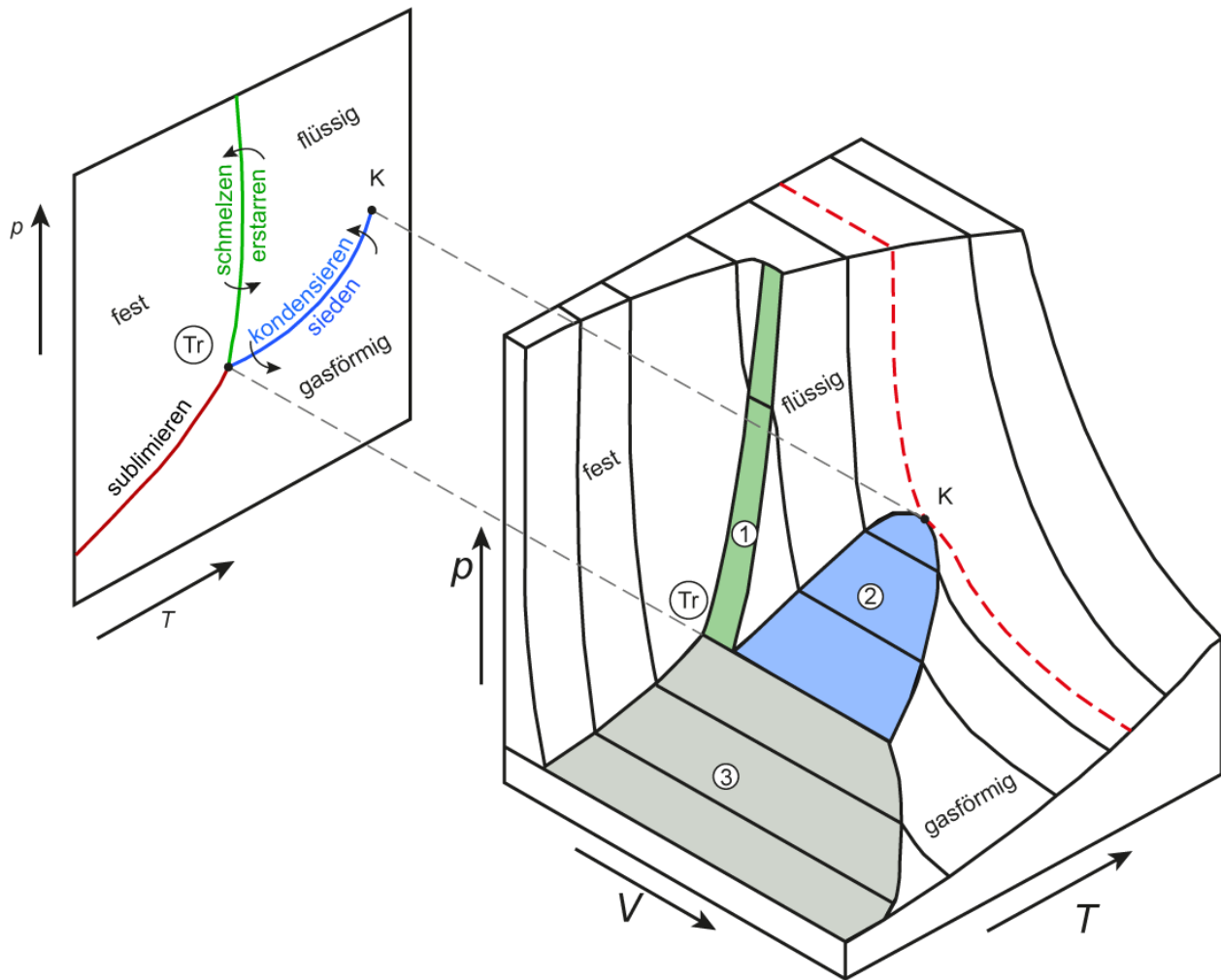
Phasenübergänge – Druck & Sieden



[Link zum Experiment:](https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/2-3-V-Druck_Sieden--R04-1.m4v)

https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/2-3-V-Druck_Sieden--R04-1.m4v

Phasenübergänge – Druck & Schmelzen





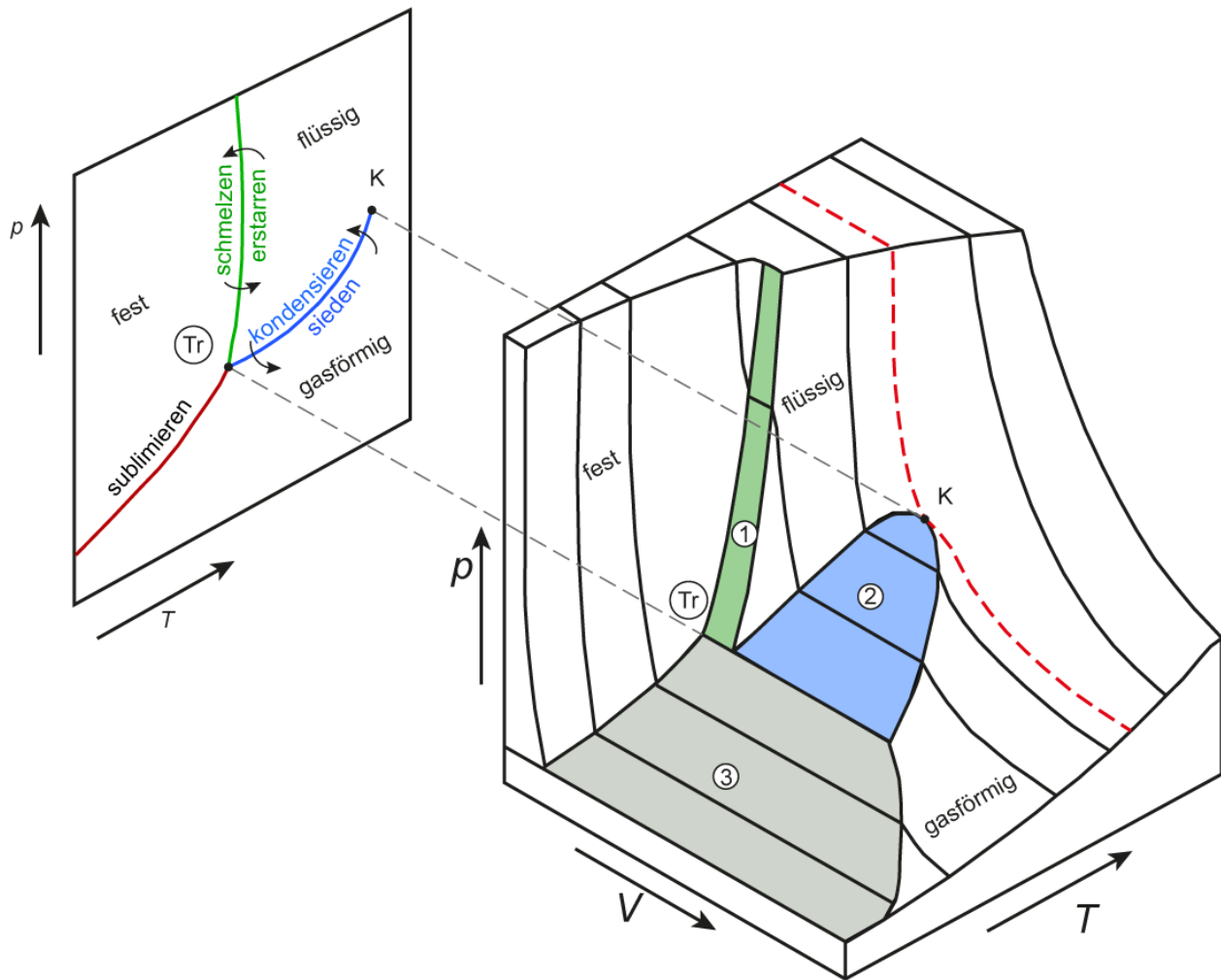
Phasenübergänge – Anomalie von Wasser ! - Druck & Schmelzen



[Link zum Experiment:](https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/2-3-V-Druck-Eis--03-1.m4v)

https://www.didaktikonline.physik.uni-muenchen.de/EP2_W_Video/2-3-V-Druck-Eis--03-1.m4v

Phasenübergänge – Druck & Schmelzen



Temperatur & Volumen

