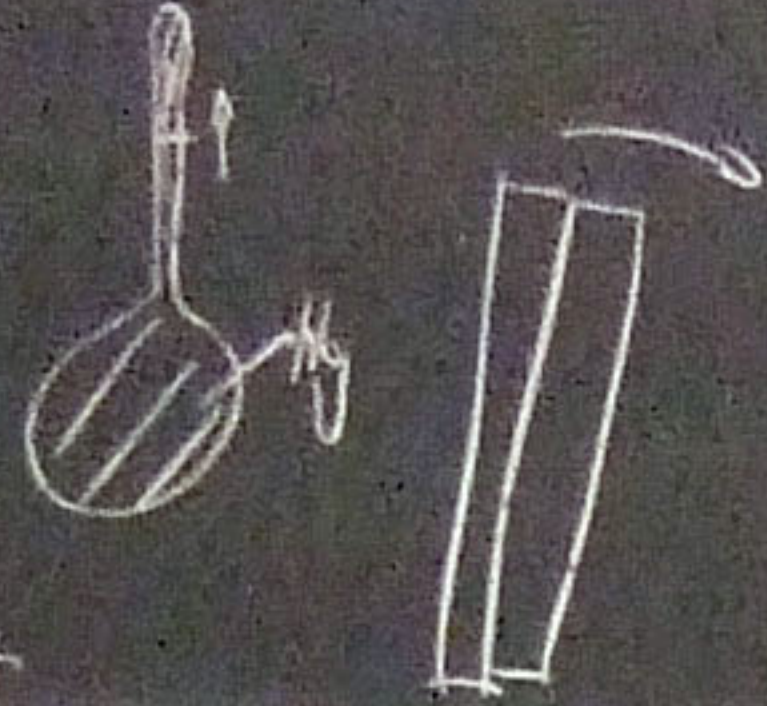


Definition der Temperatur

Zur Messung der T. kann prinzipiell jede temperaturabh. Stoffeigenschaft verwendet werden.

1) Thermische Ausdehnung

- Hg
- Bimetallthermometer



Beispiele für Volumenänderungskoeffizient

$$\alpha = \frac{1}{V} \left. \frac{\partial V}{\partial T} \right|_{p=const}$$

Alu: $72 \times 10^{-6} / K$

Glas 10-40
Quarzglas $1.5 \times 10^{-6} / K$

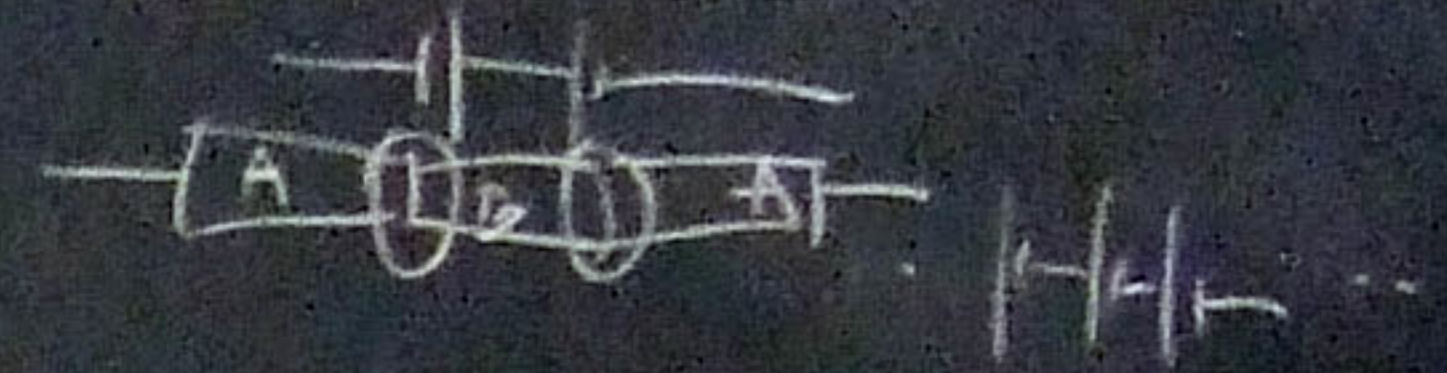
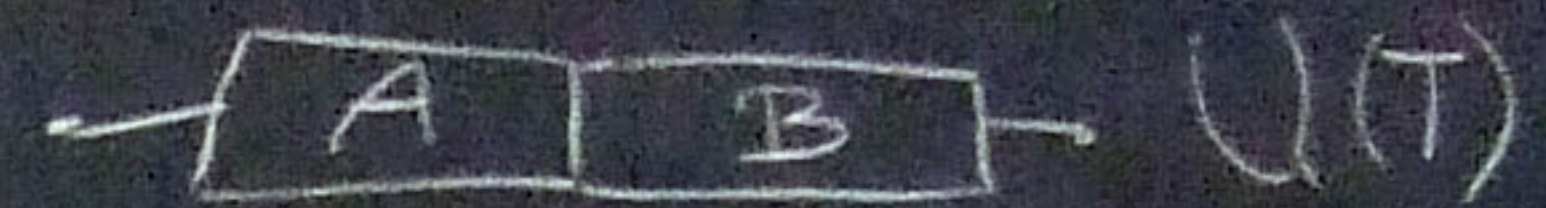
Invar (Fe + 36% Ni)
 2.7×10^{-6}

Ideales Gas (bestimmt): $\alpha = \frac{1}{273.15 K}$

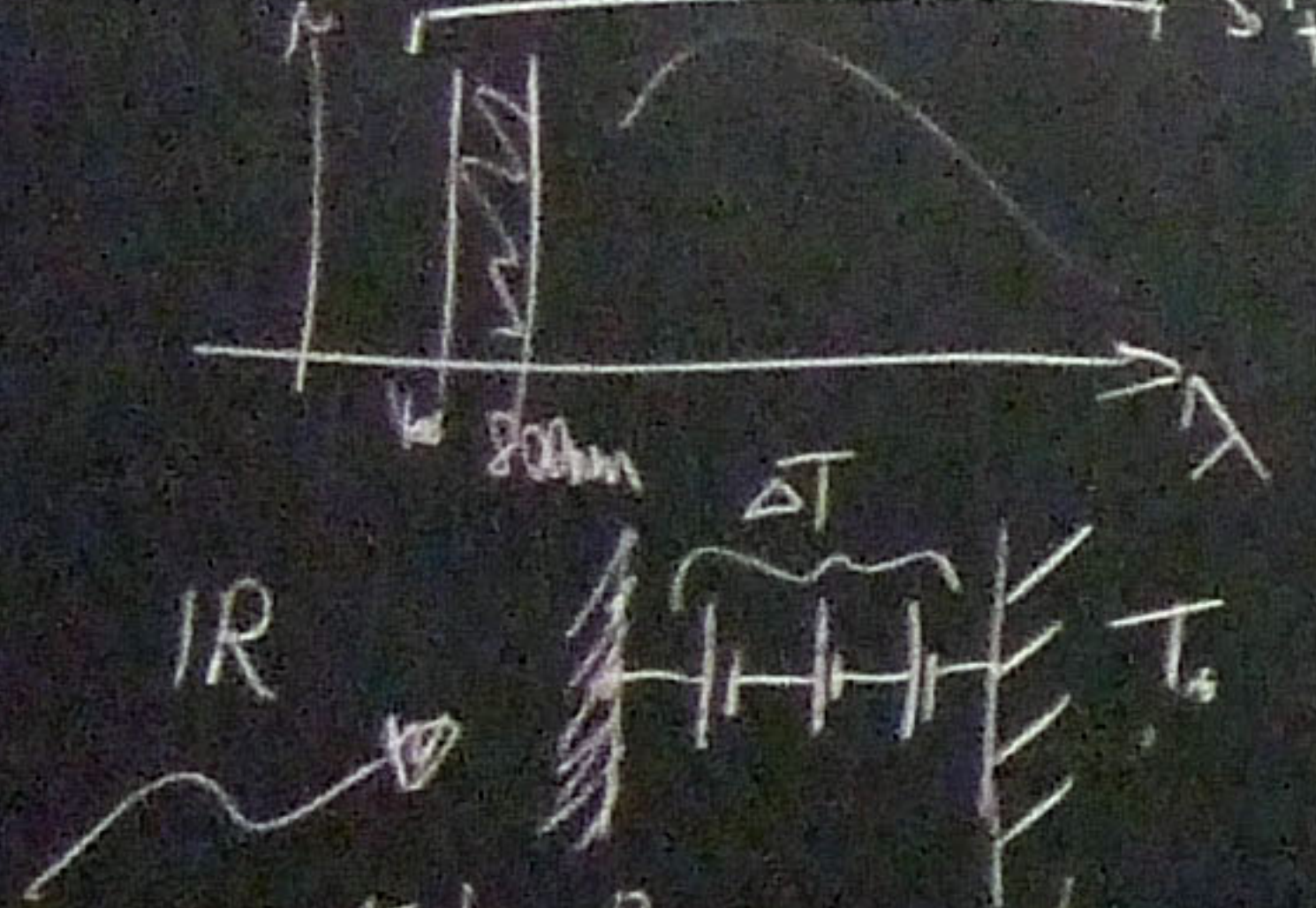
$$V \sim T, V = aT$$

$$\alpha = \frac{1}{aT} \cdot a = \frac{1}{T}$$

2) Thermokraft



3) Bolometer; Pyrometer



◦ Faserthermometer
◦ Temp-Bilder

4) Widerstandsthermometer

Pt100 $\rightarrow R(T)$

$$R_T = R_0 [1 + AT + BT^2]$$

$\int A, B, T = 0^\circ C \dots 850^\circ C$
100Ω bei 0°C

Empirische Temperaturskala

mit willkürlich festgelegten Fixpunkten und einer äquidistanten Teilung dazwischen

	$^\circ C$	K	Normaldruck Nahm
Kaltpunkt	212	373	100°C
Eispunkt	32	273	0°C
		-273°C	0K

Thermodynamisches Gleichgewicht

\Leftrightarrow Temperatur aller Körper identisch ist

Thermodynamische Temperaturskala

(von Thermometersubstanzen unabhängig) wird am besten mit einem idealen Gasthermometer verwirklicht:

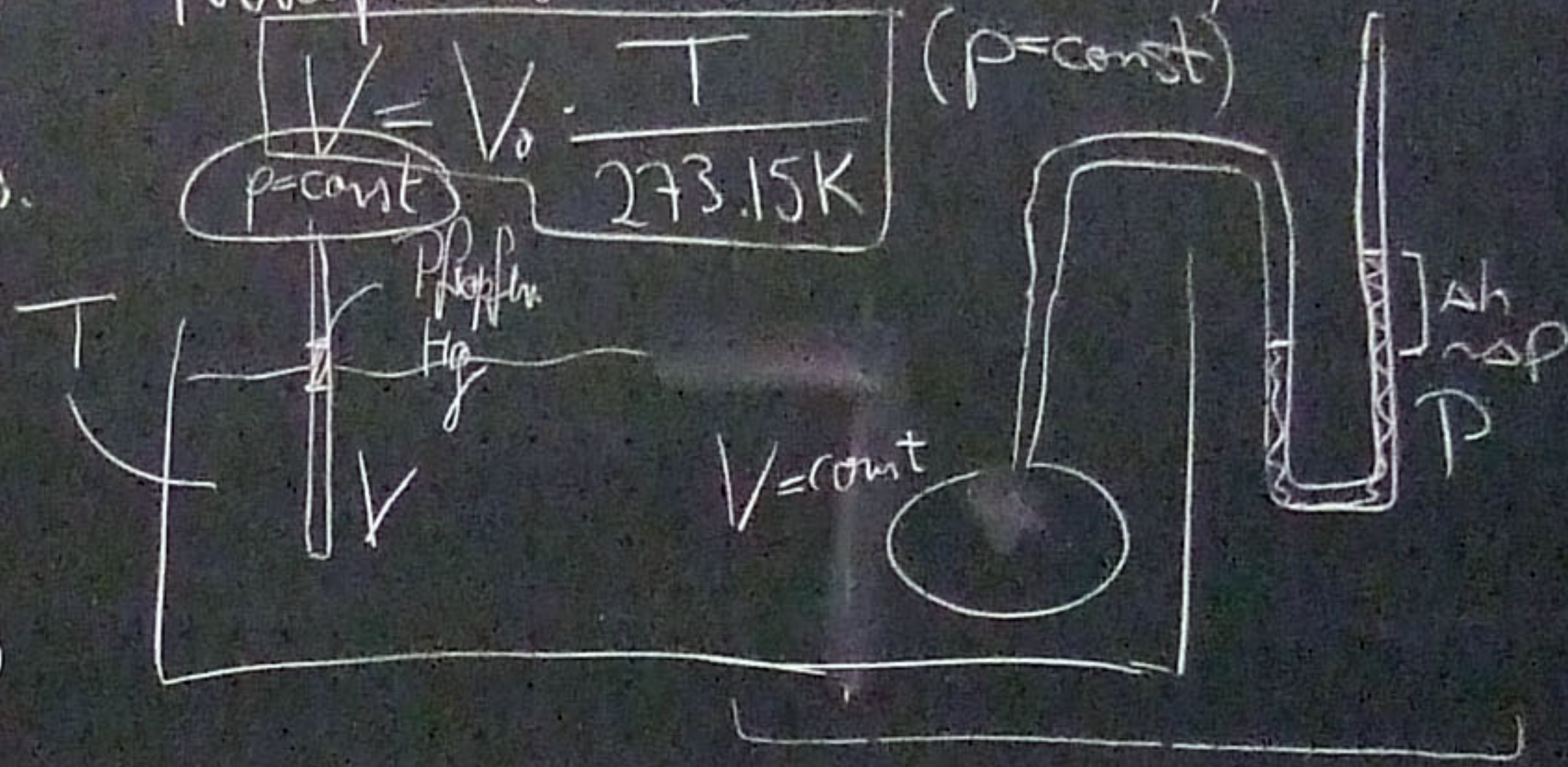
Man misst

$$p(T) \Big|_V \text{ oder } V(T) \Big|_p$$

schließt im Bereich von $0^{\circ}\text{C} \dots 100^{\circ}\text{C}$
 an die Skala des Quecksilberthermometers an
 extrapoliert über diesen Bereich hinaus.

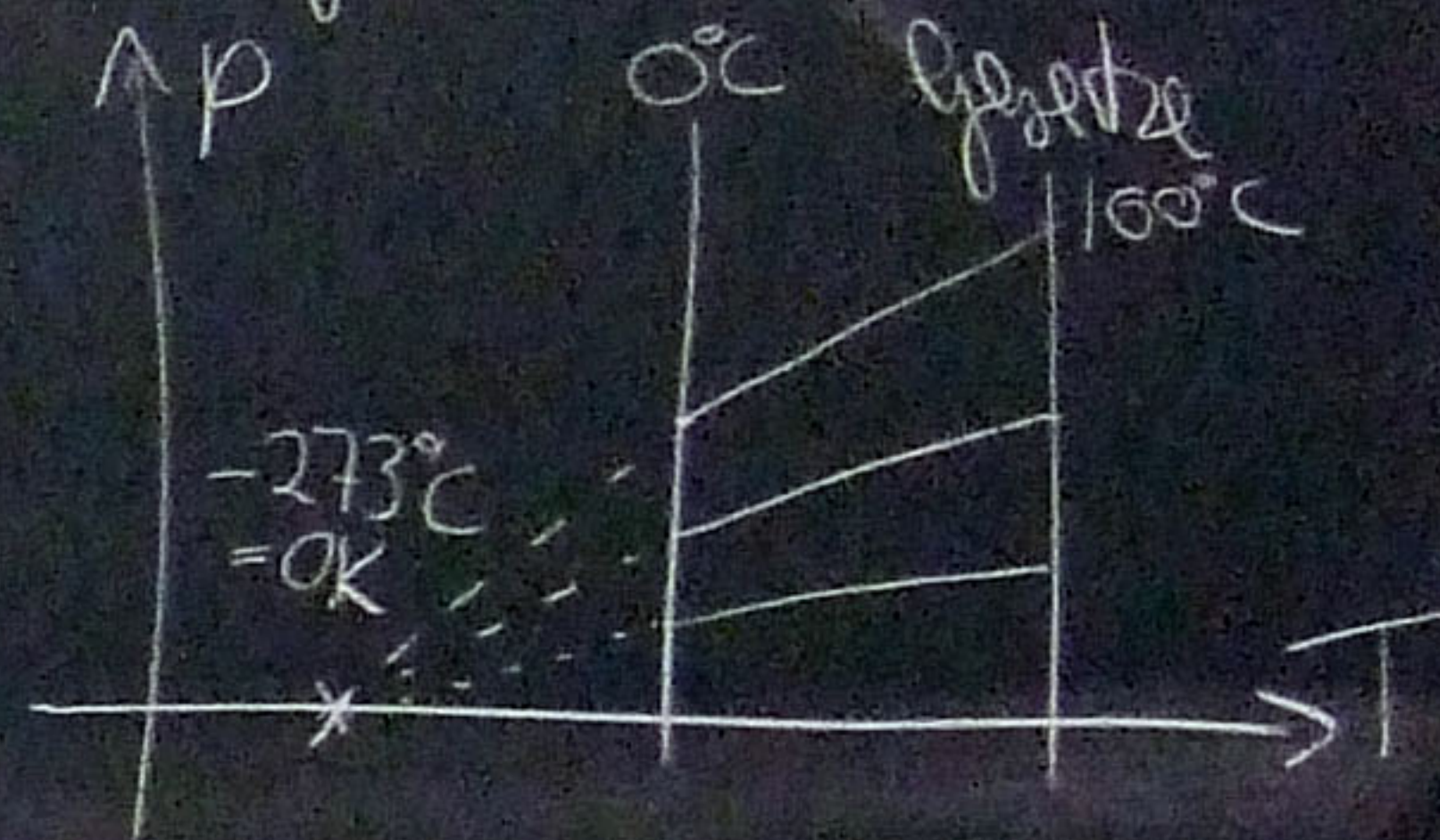
Unabhängig von der Gasart ergibt sich
 für hinreichend verdünnte Gase - der
 Schnittpunkt der Abszisse von $p=0$

oder $V=0$ dem absoluten
 Nullpunkt $0\text{K} = -273,15^{\circ}\text{C}$
 (p=const)



$$p = p_0 \cdot \frac{T}{273,15\text{K}} \quad (V = \text{const})$$

Gay-Lussac'sche



Die Zustandsgleichung des idealen Gases

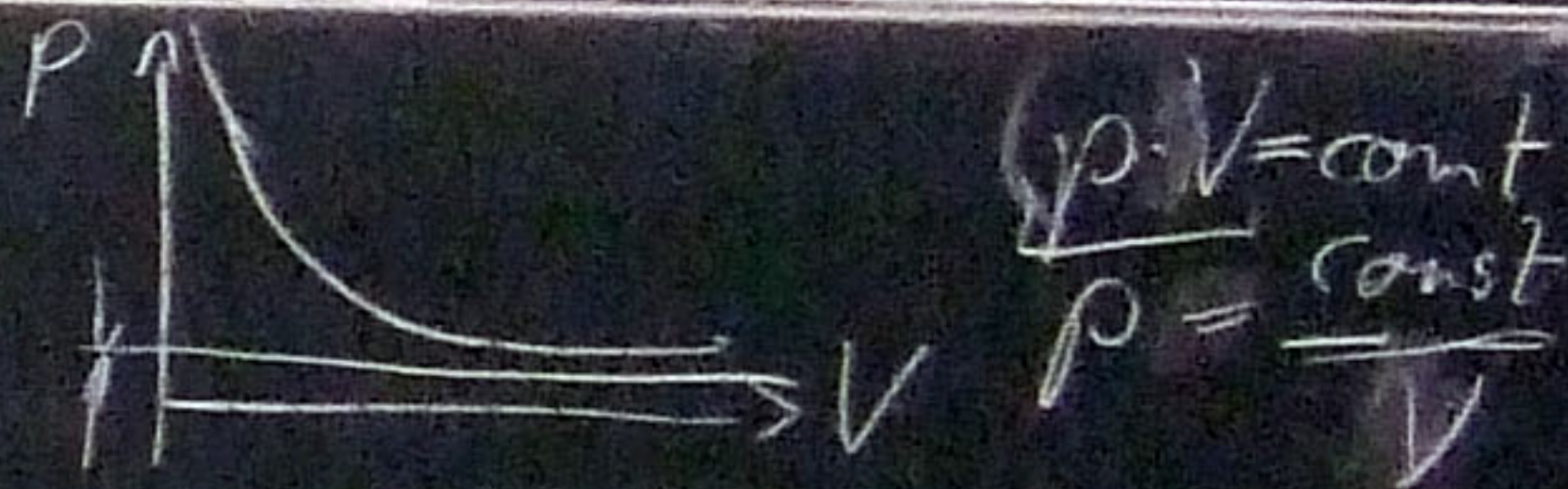
- ideal:
- keine Wechselwirkung
 - kein Teilchenvolumen

Aus den Abhängigkeiten $p(T)|_V$
 und $V(T)|_p$ folgt die Zustands-

gleichung

$$p \cdot V = p_0 \cdot V_0 \cdot \frac{T}{273\text{K}} = \text{const}(T)$$

(Boyle-Mariotte'sches
 Gesetz)



Definition der Konstanten

Eine Gasmenge $n_{\text{mol}} = N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ Moleküle

sind bei $p_0 = \text{atm} = 1,013 \text{ bar}$ und $T = 0^\circ\text{C}$

in ein Volumen von $22,414 \frac{\text{l}}{\text{mol}}$

eingesetzt: $pV = n \cdot R \cdot T$ mit $n = \frac{N}{N_A}$

$$R = \frac{p_0 V_0}{n_{\text{mol}} T_0} = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

(Gaskonstante)

Bem: Wenn Sie lieber Mol

zählen: $pV = NkT$

$$N = n \cdot N_A$$

$$k = \frac{R}{N_A} = 1,381 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Boltzmann konstante

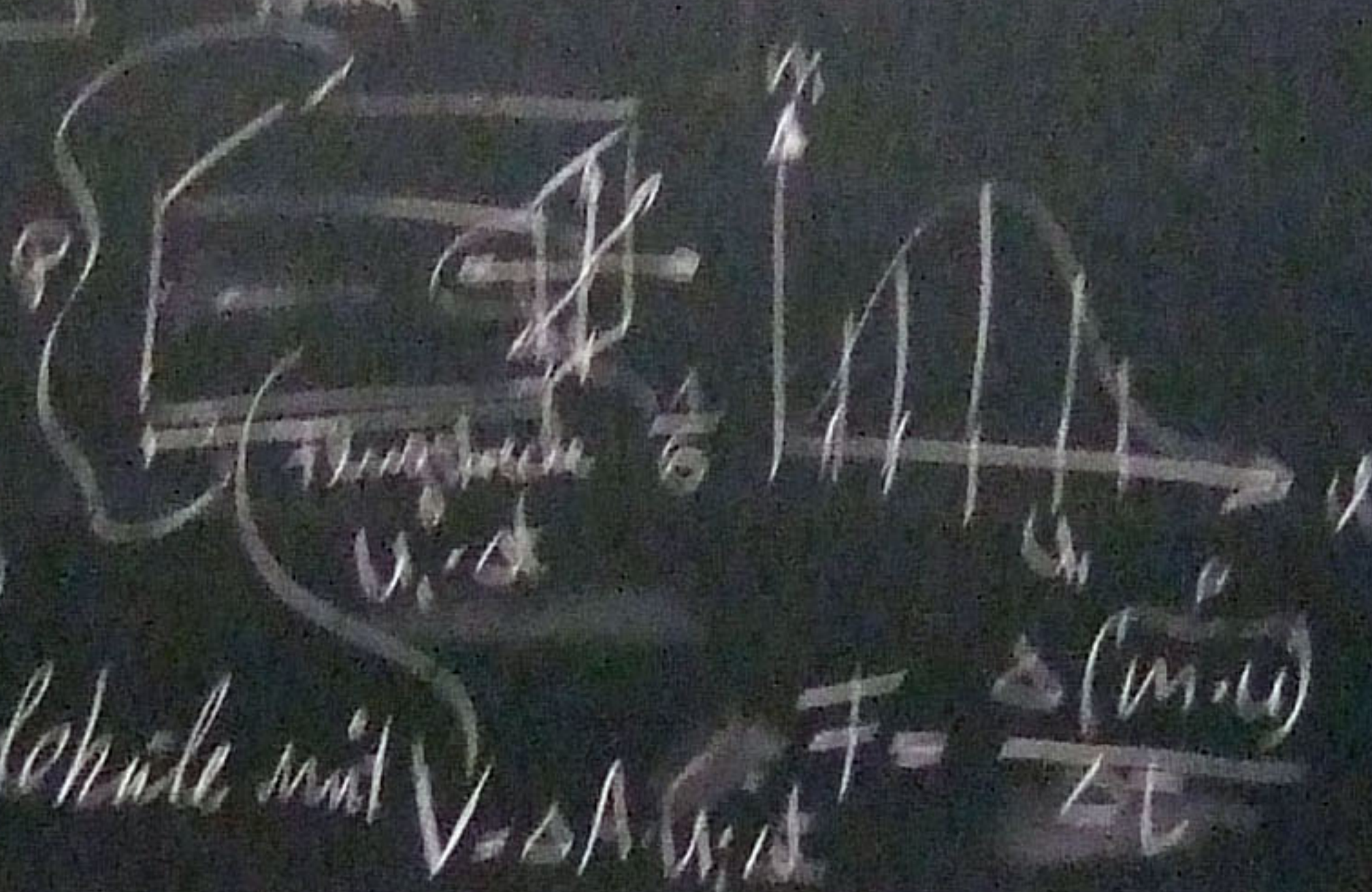
Mikroskopische Bild

der Geschwindigkeit u pro Volumenelement

Der Gasdruck entsteht durch Stöße an der Wand. Die

Moleküldichtedichte $n = \sum n_i$

mit n_i die Zahl $\frac{1}{V}$ der Moleküle mit $V = \Delta A \cdot u \cdot \Delta t$



Durch $p = \frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche}} = \frac{\text{Übertragener Impuls}}{\text{Zeit} \cdot \text{Fläche}}$

$$= \frac{1}{\Delta t \Delta A}$$

$$\cdot \sum \Delta A \Delta t n_i \frac{1}{6} 2 m u_i$$

$$pV = \frac{1}{3} N m \overline{u^2}$$

$$pV = NkT$$

Wdh: Wahrscheinlichkeit W_i
Mittelwert d. Variablen x_i

$$\overline{E_{\text{kin}} \text{ Molekül}} = \frac{3}{2} kT$$

$$\overline{x_i} = \frac{\sum x_i \cdot W_i}{\sum W_i}$$

$$= \frac{1}{2} m \overline{u^2}$$

der Stöße die in Δt auffallen
Übertragener Impuls

$$p = \frac{1}{3} n \cdot m \cdot \frac{1}{n} \sum n_i u_i^2$$

$$\overline{u^2}$$

Vergleich der Zustandsgleichung

$$pV = NkT \quad \text{mit} \quad \bar{E}_{kin} = \frac{1}{2} m \bar{v}^2$$

$$\sim \left. \begin{array}{l} \text{mittlere kinetische Energie} \\ \text{pro Translationsfreiheitsgrad} \end{array} \right\} = \frac{1}{2} kT \quad (\text{pro Molekül})$$

Verallg.

Die gesamte mittlere thermische Energie eines Molekül

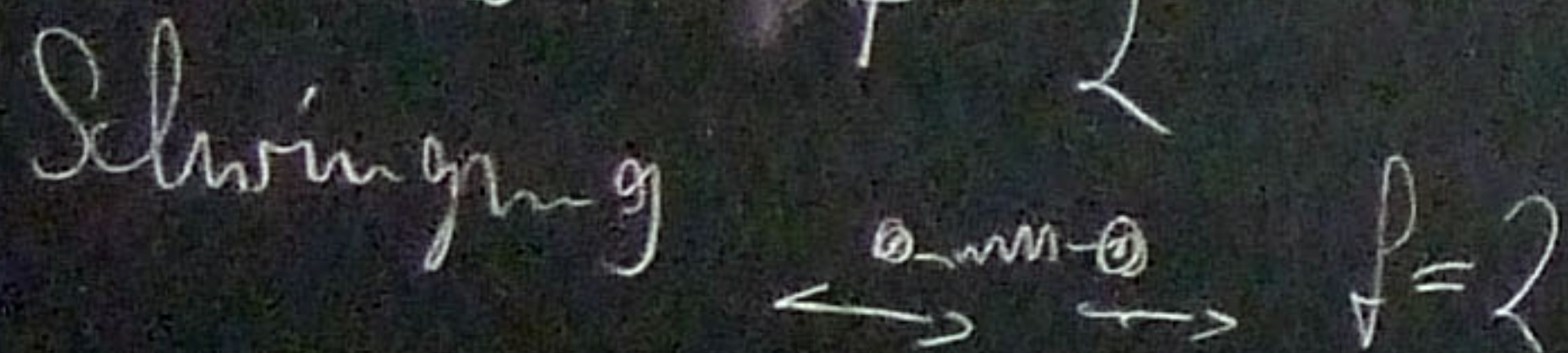
$$\bar{E}_{\text{Molekül}} = f \cdot \frac{1}{2} kT$$

mit f : Zahl der Freiheitsgrade

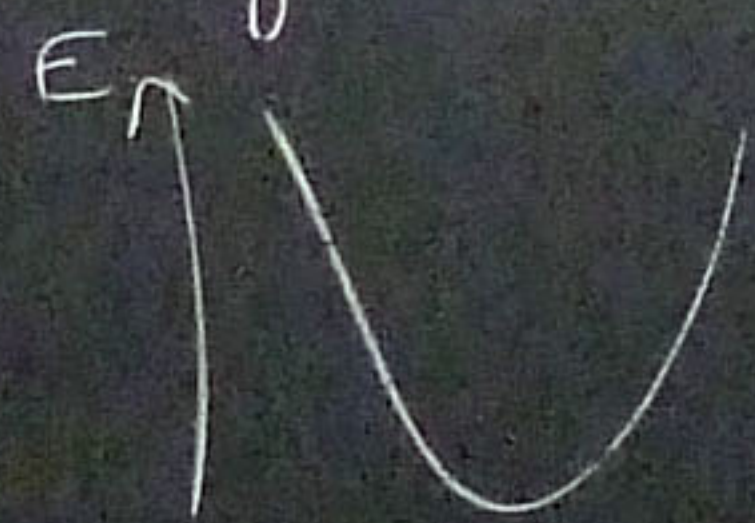
Translation $f=3$

Rotation eines 2-atomigen Moleküls

Schwingung $f=2$



Gilt für alle quadratischen Energeterme:



$$\frac{1}{2} I \omega^2$$

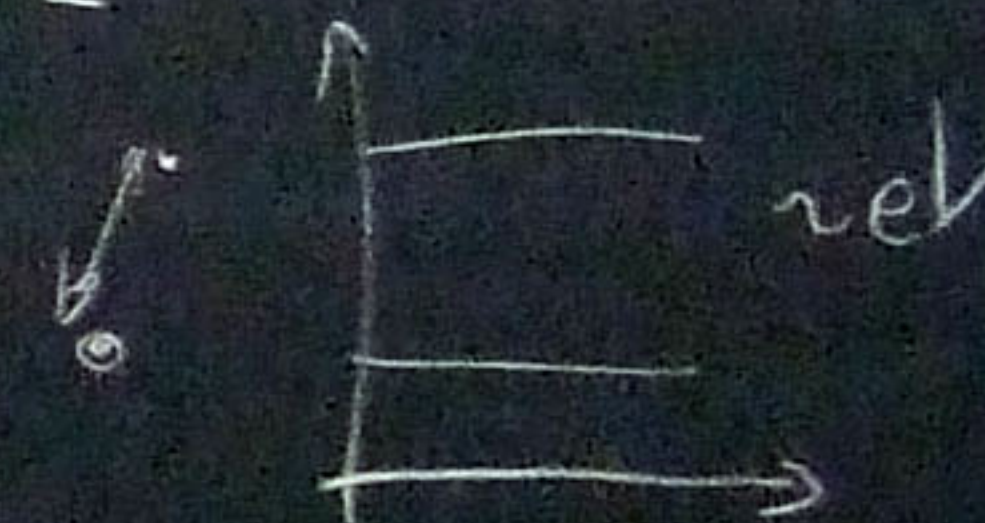
$$\frac{1}{2} k_s x^2$$



Chemisches

- Freiheitsgrad muss 'aufgebaut' sein

$$\frac{1}{2} kT = 25 \text{ meV}$$



- Es gilt

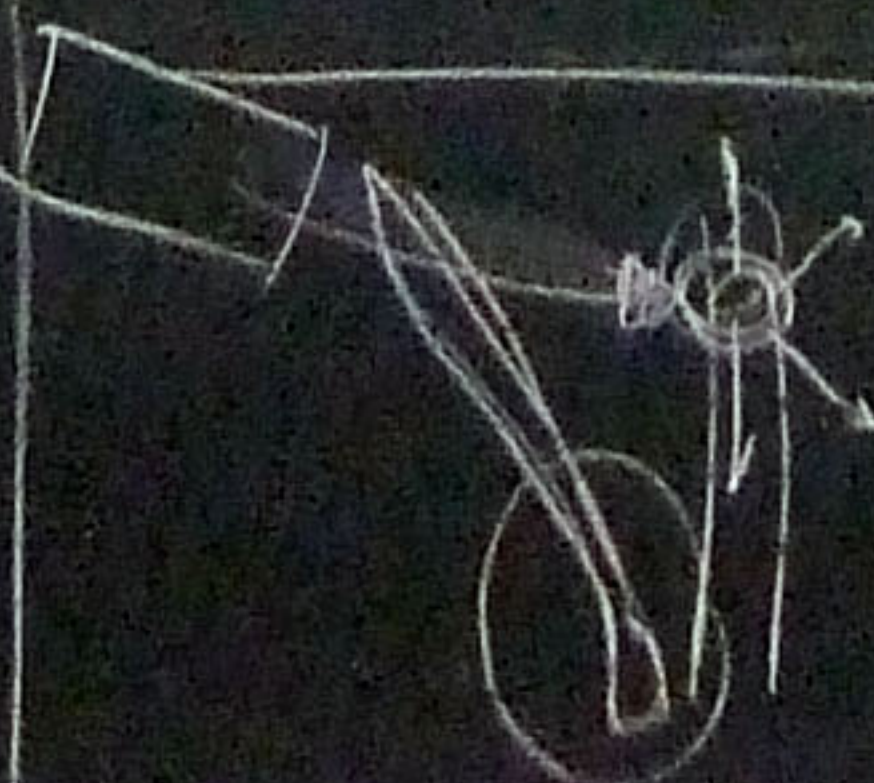
$$U = \frac{3}{2} NkT$$

$$F = \mu N - NkT$$

$$H = \frac{5}{2} NkT$$

$$G = \mu N$$

Potential $\mu = -kT \ln \left(\frac{V}{N \Lambda^3} \right)$



$$D\Delta T = -\Delta Q$$



$$\Lambda = \frac{h}{(2\pi m \cdot kT)^{1/2}}$$

Thermische de Broglie Wellenlänge

$$\bar{v}^2 = \frac{3kT}{m}$$