

p s s s s s s s s s s s ... t

Klassische Physik 1

WS 2012/13

Johannes Blümer

KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA



Auftrieb, Archimedisches Prinzip

Gasdruck, Zustandsgleichung

Barometerformel



Oberflächenspannung, Kapillarität

Hydrodynamik: Kontinuitätsgleichung, Bernoulli-Gleichung

Viskosität

Turbulenz

Zusammenfassung von v24 vom 22. Januar 2013

Auftrieb(skraft) F_A = Gewicht(skraft) des verdrängten Fluids (auch bei Gasen, d.h. bei Messung in Luft)

$$G_{\text{rel}} = G / F_A = \text{relative Dichte} = \rho / \rho_{\text{Wasser}}$$

Gasdruck: kinetisches Modell mit **Impulsübertrag** von schnellen leichten Teilchen (Moleküle!) auf Gefäßwände u.ä.

Zustandsgleichung: $PV=NkT$; nur für "ideale" Gase. Auch als Definition von Temperatur (in [Kelvin]): $1/2 m_{\text{Mol.}} v^2 = 3/2 k T$;

$k = 1,4 \cdot 10^{-22}$ J/K Boltzmann-Konstante

$$\overline{T} \rightarrow 0 \text{ K} \quad \overline{v} \rightarrow 0$$

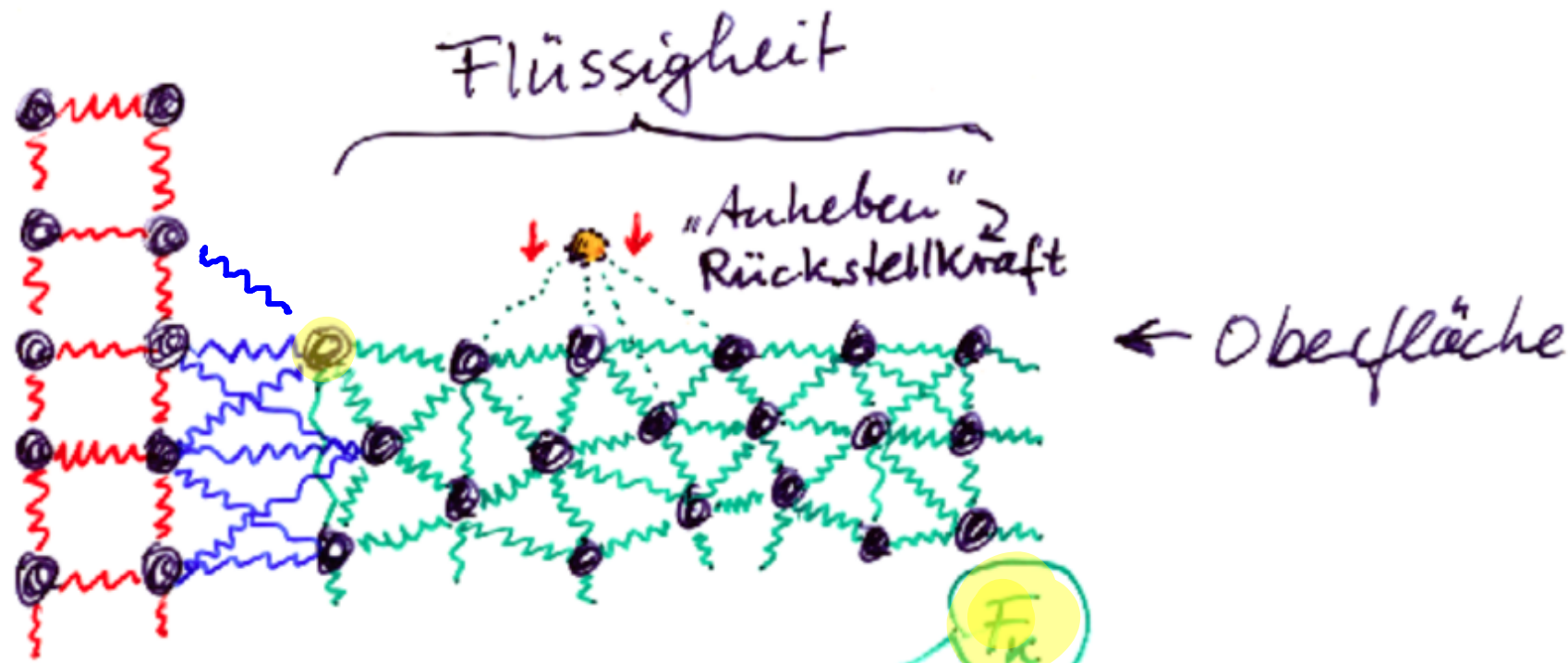
Barometerformel: exponentielle Abnahme von Druck und Dichte mit der Höhe h (ideal: Temperatur konstant):

$$P(h) = P_0 \exp(-g \rho_0 / P_0 h); \text{ Indizes: Werte bei } h=0.$$

Oberflächenspannung: Graphik; sichtbar in Versuch zum Auftrieb

Oberflächenspannung

Wand



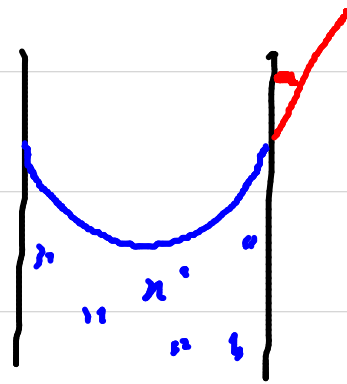
mm Kohäsionskräfte zwischen Flüssigkeitsmolek.

mm starke Molekülbindungen zwischen ortsfesten Festkörpermolekülen

mm Adhäsionskräfte zwischen Flüssigkeit und Wand

F_A

$F_A > F_K$: Flüssigkeit benetzt Wand & steigt an ihr hoch



θ_K Kontaktwinkel

konkave Krümmung

z. B. Wasser

$$\theta_K \approx 0$$

$F_A < F_K$: Flüssigkeit benetzt Wand nicht
Oberfläche konvex gekrümmt

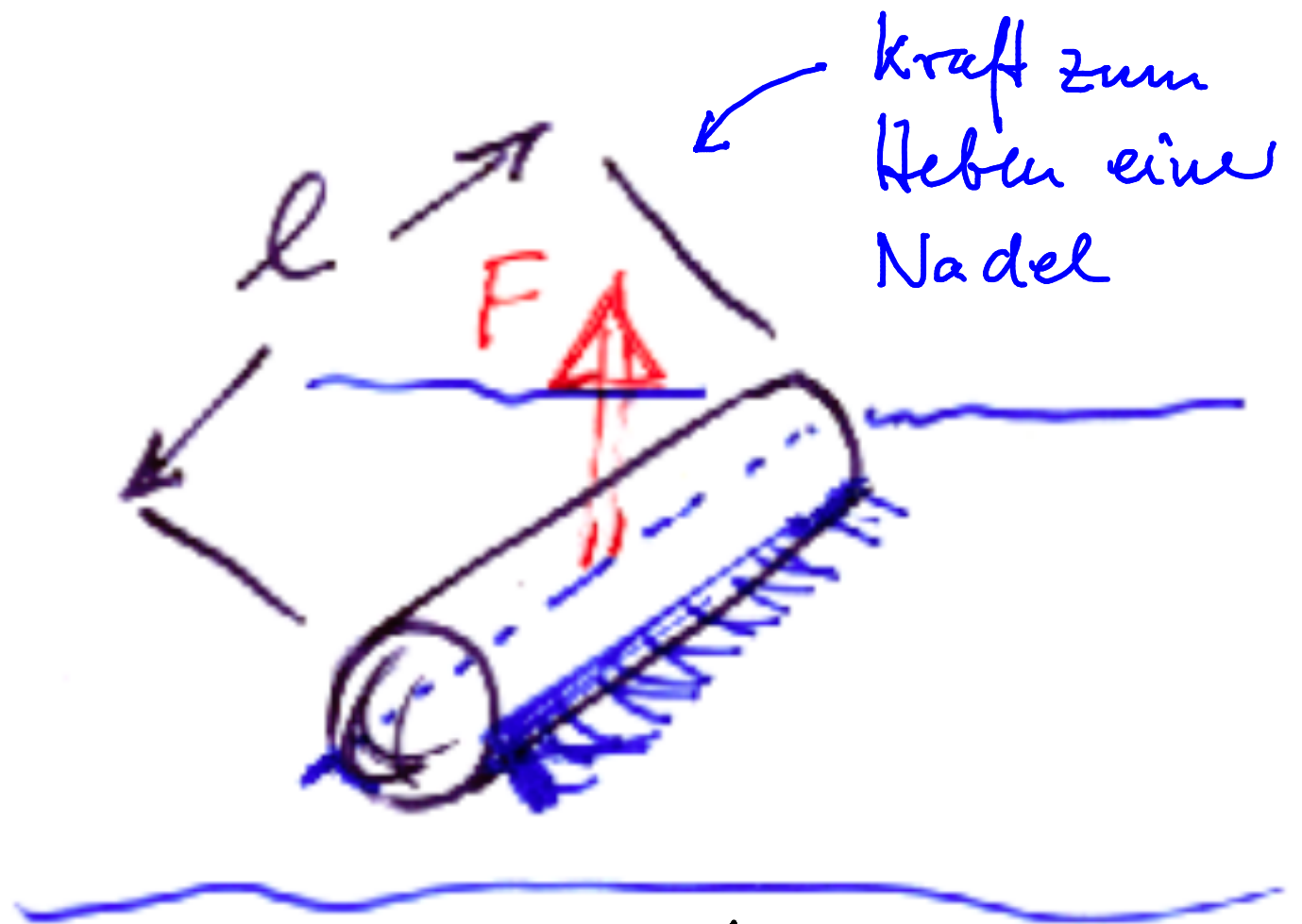


z. B. Quecksilber $\theta_K = 140^\circ$

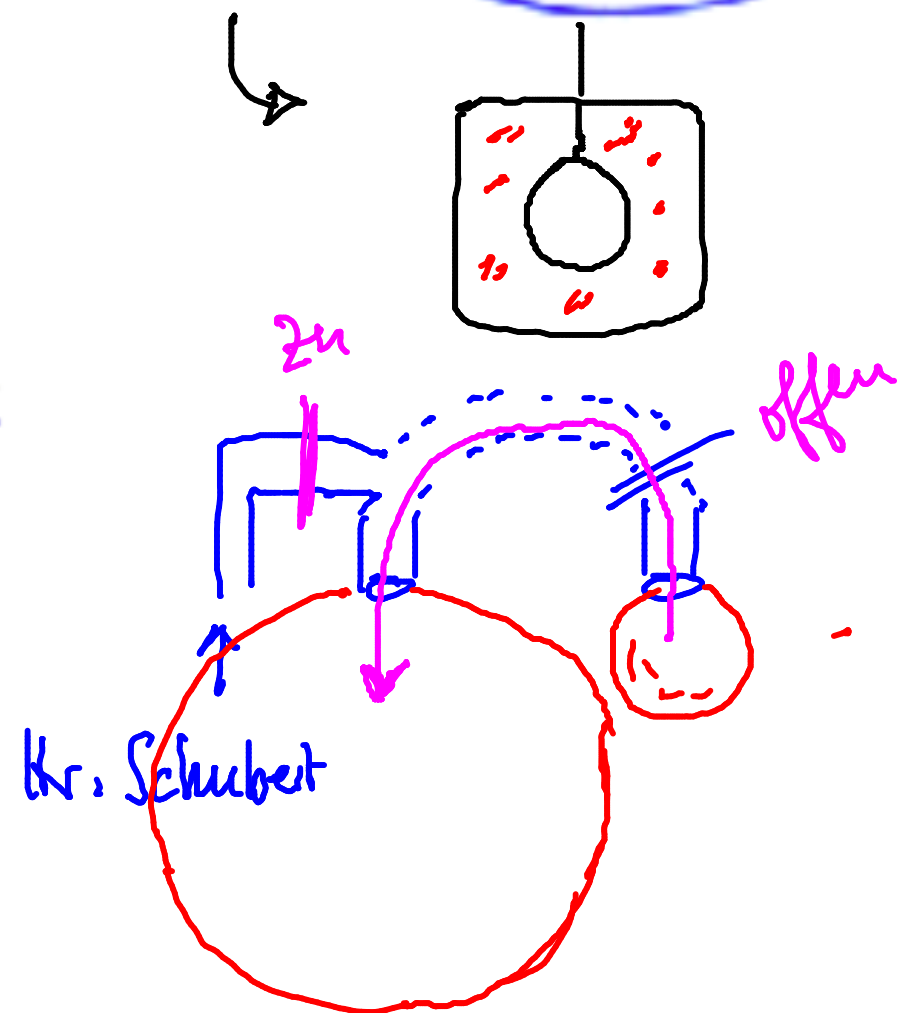
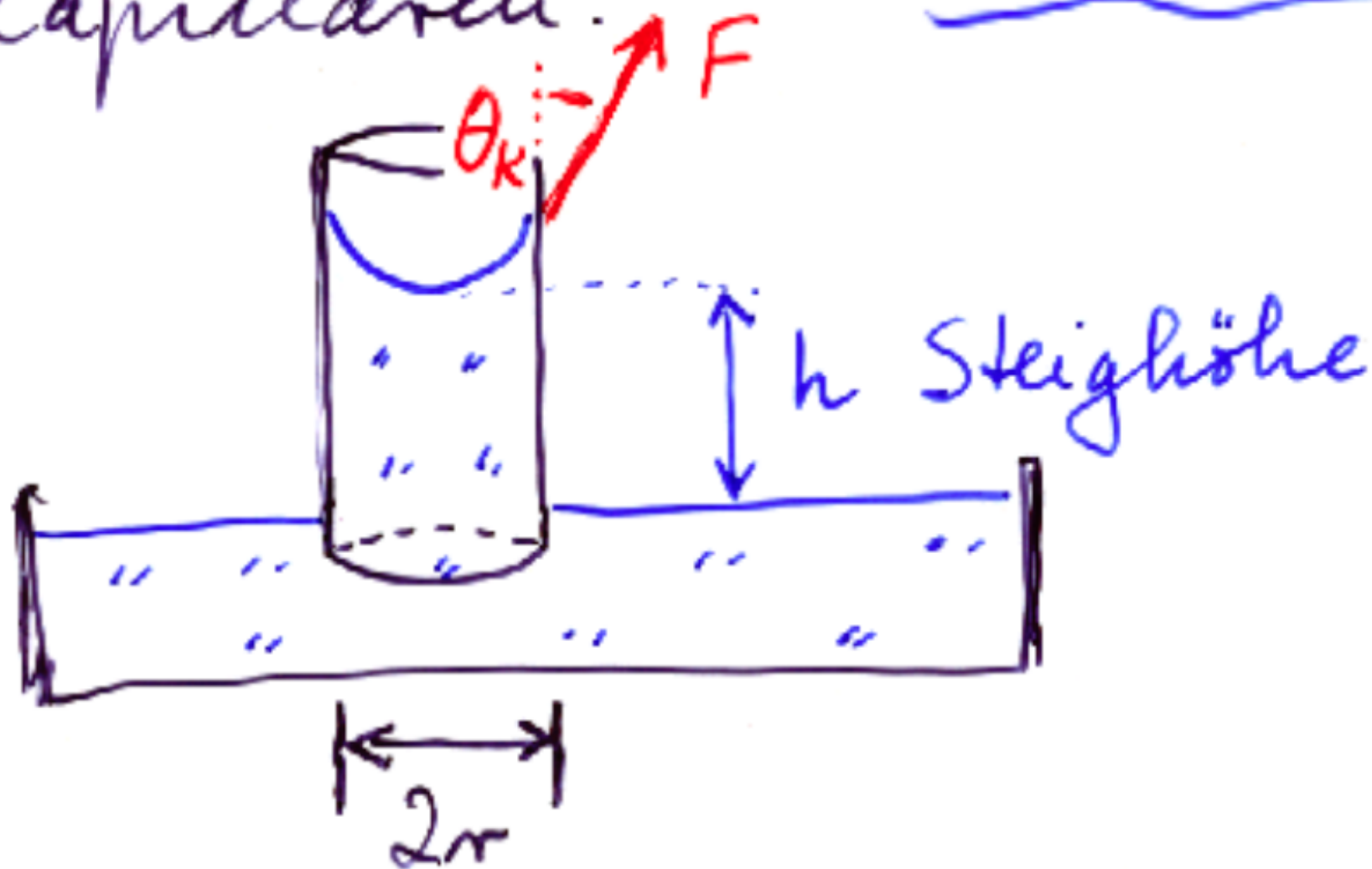
Moleküle an der Oberfläche
haben keine Bindungen
nach oben

Anheben $\rightarrow$ Rückstellkräfte

Hineindrücken $\rightarrow$ - " -
 $\rightarrow$ Wasserfloh



Kapillaren:



Nadel heben: $F = mg + \gamma \cdot 2l$

└ Masse m
Länge l

Koeff. der
Oberfl.-Spannung

Wasser $\gamma \approx 0,07 \text{ N/m}$

Hg $\gamma \approx 0,47 \text{ N/m}$



eff. Länge des abreisenden
Oberflächenfilms

Kapillareffekt: Hochsteigen in dünnen Röhren

└ wie weit?

$$F_v = F \cdot \cos \theta_k$$

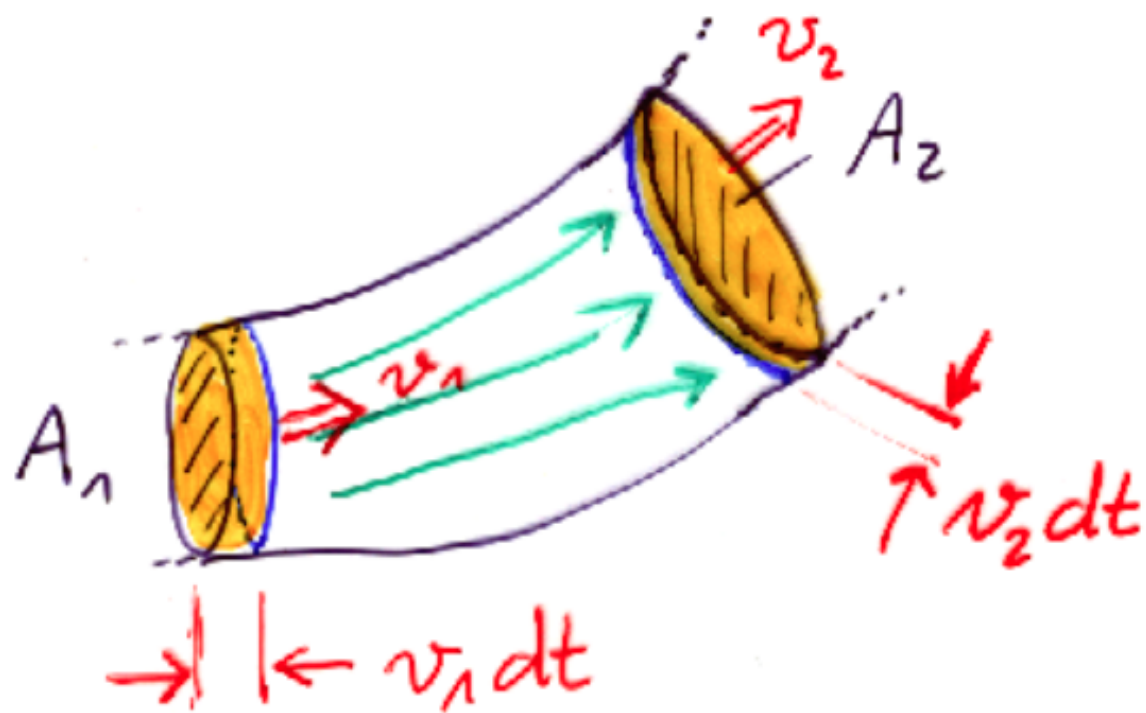
vertikale Komp. der Oberfl.-Sp.
im Gleichgewicht $\hat{=}$ Gewichtskraft

Randlänge der Kontaktfläche $= 2\pi r$

$$F_v = \gamma \cdot 2\pi r \cdot \cos \theta_k \stackrel{!}{=} \rho \cdot \pi r^2 h \cdot g \quad (\text{Krümmung d. oberen Rands}$$

$$\hookrightarrow \text{Steighöhe } h = \frac{2\gamma \cos \theta_k}{\rho r g} \rightarrow h \propto 1/r \quad (\text{ignoriert})$$

Kontinuitäts-Gleichung



Betr. inkompressible Flüssigkeit
 $\rho = \text{konst}$, ohne innere Reibung
 "nicht-viskos"

$$dV_1 = dV_2, \quad A_1 v_1 dt = A_2 v_2 dt$$

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = v \cdot A = \dot{V} = \text{konst}$$

Kontinuitätsgleichung

bisherige Fluide:

inkompressibel
 unbewegte Flüssig.
 $\rho = \text{konst}$

kompressible
 ideale Gase
 $PV = NkT$

jeht: ++ Bewegung
 ++ innere Reibung

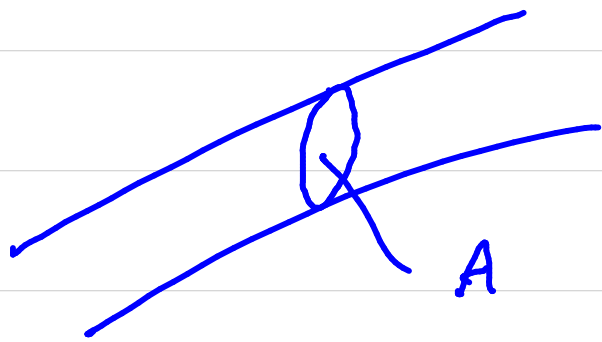
Energie

Energieumwandlung

Wärme:

Statist. ungerichtete
 Beweg. + Energie der
 Teilchen

Flüssigkeit durch zyl. Röhren mit Querschnitt A :



$$A = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \Rightarrow v \cdot d^2 = \text{konst.}$$

d groß $\rightarrow v$ klein "Pipeline"

d klein $\rightarrow v$ groß z.B. Röhrenchen
in chem. Reaktor

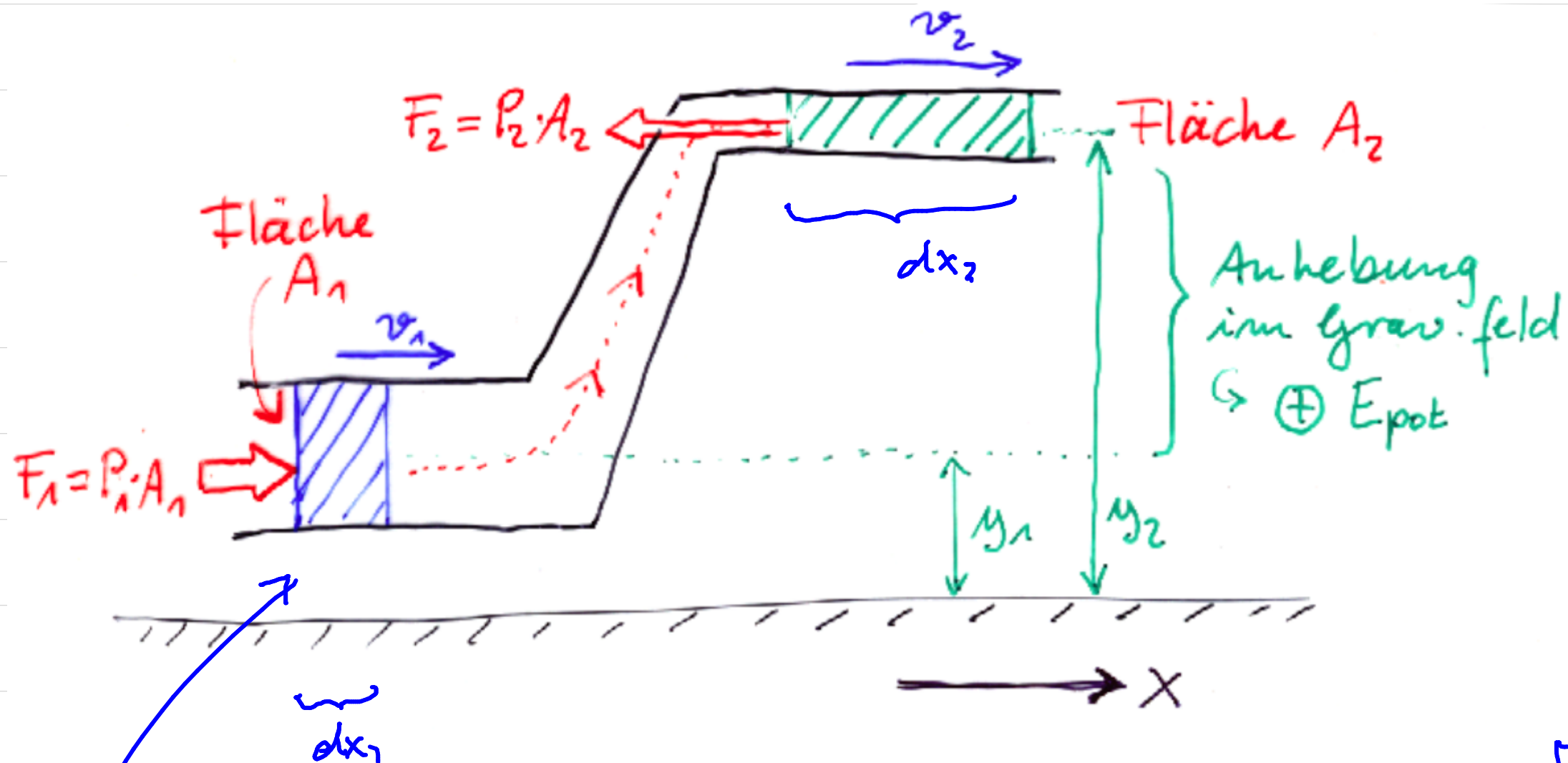
$$\dot{V} = \text{konst.} \dots \text{hin-Betr.}$$

woher kommt die Bewegung (Strömung)?

→ Druck in bewegten Fluiden

[Flüssigkeiten: $\rho = \text{konst.}$
Gase: $\rho = f(p, T)$

Bernoulli-Gleichung



betr. Volumenelement dV mit Masse darin: $dm = \rho \cdot dV$ Konst.

$$\left. \begin{aligned} dV_1 &= A_1 \cdot v_1 \cdot dt \\ dm_1 &= \rho A_1 v_1 dt \end{aligned} \right\} \text{ "u. li" }$$

$$\begin{aligned} \text{Kont. gl: } dV_2 &= A_2 v_2 dt = dV_1 \\ dm_2 &= dm_1 \end{aligned}$$

Hebe dm_1 von $y_1 \rightarrow y_2$ & bringe dm_1 von $v_1 \rightarrow v_2$

$$\underbrace{\quad}_{dE_{\text{pot}}} = dm \cdot g (y_2 - y_1)$$

$$\underbrace{\quad}_{dE_{\text{kin}}} = \frac{1}{2} dm (v_2^2 - v_1^2)$$

Änderung von E_{pot} , E_{kin} erfordert eine Verschiebungsarbeit

$$dW = F_1 dx_1 - F_2 dx_2$$

u. li drückt dm_1
nach rechts

gegengkraft
von dm_2 nach links

$$dW = \underbrace{P_1 A_1 v_1 dt}_{dV_1} - \underbrace{P_2 A_2 v_2 dt}_{dV_2 = dV_1 \text{ w. Kont. gl.}} = (P_1 - P_2) dV$$

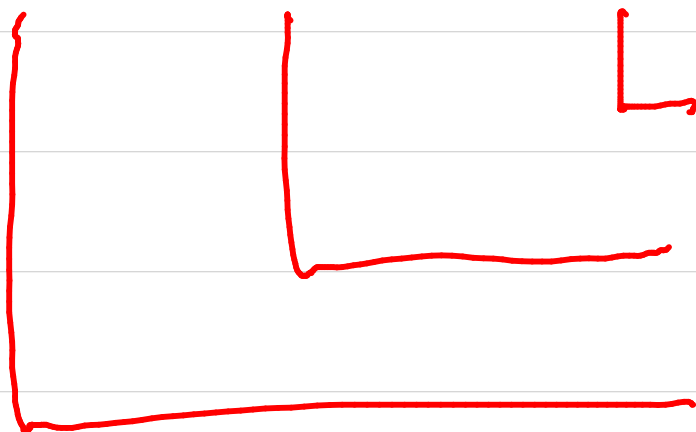
Gesamtenergiebilanz: $dW = dE_{\text{pot}} + dE_{\text{kin}}$

$$(P_1 - P_2) dV = dm \cdot g \cdot (y_2 - y_1) + \frac{1}{2} dm (v_2^2 - v_1^2)$$

$\div dV$, $\frac{dm}{dV} = \rho$, ausmultiplizieren, nach Indizes 1, 2 sortieren

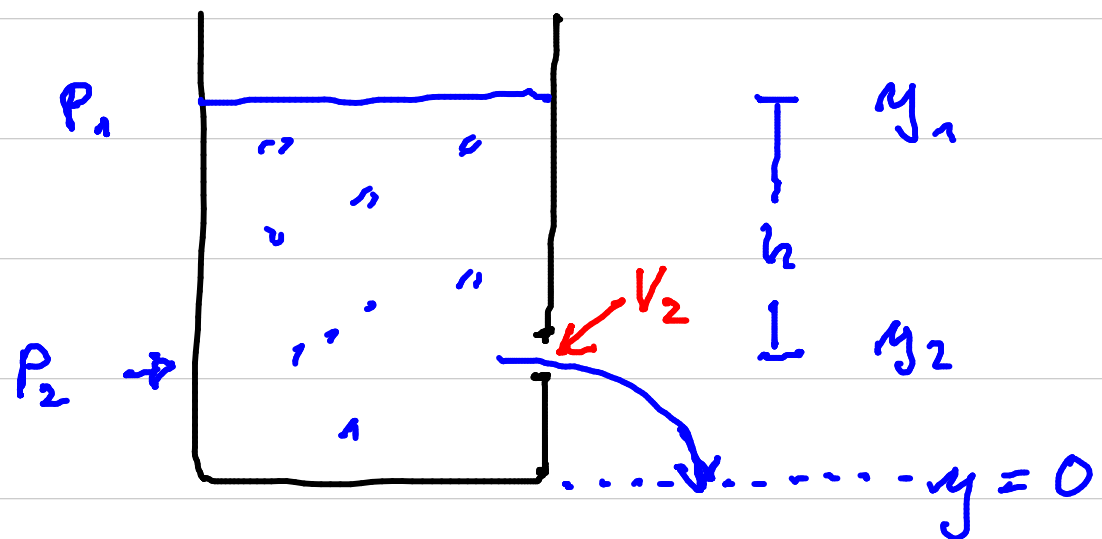
$$P_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

allg. $P + \rho g y + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{konst.}$ Bernoulli-gl.


└─ dynamischer Druck
└─ Schweredruck
└─ (stat.) (Außen-) Druck

a) statische Fall: $v = 0 \Rightarrow P + \rho g y = \text{konst}$
 $P_1 - P_2 = \rho g (y_2 - y_1) = \rho g h \checkmark$

b) Ausfluß aus großem Tank



$v_2 = \sqrt{gh \cdot 2} \hat{=} \text{Fallgeschwindigkeit aus Höhe } h$
 Fehlerkorr.: $\cdot 2!$

