

Versuch : Bernoulli - Effekt

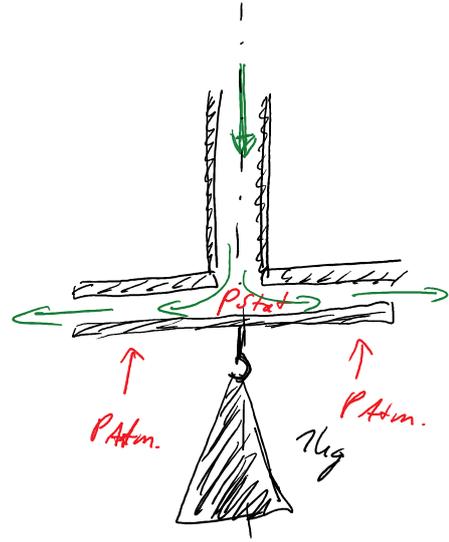
Schnell ausströmender Gas

- ↳ großer Staudruck
- ↳ geringer statischer Druck

↳ lokaler Unterdruck

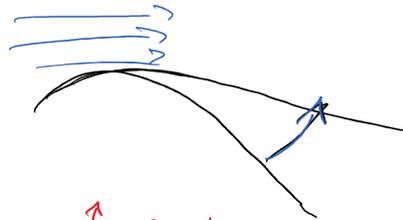
$(P_{Atm} > P_{stat})$

↳ Gericht wird angehoben

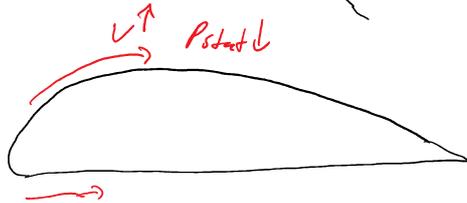


Bsp-

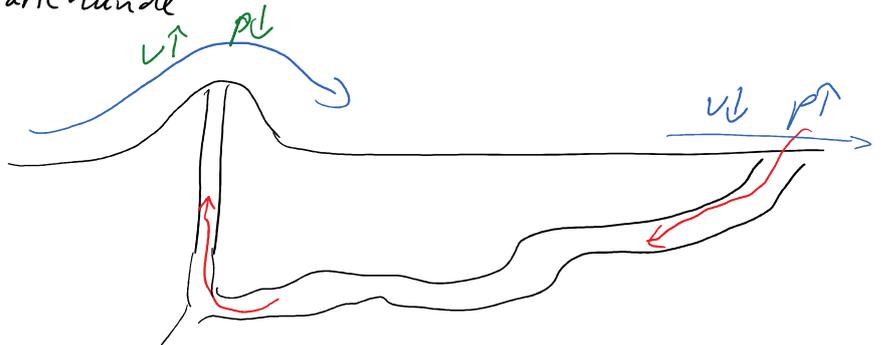
• über Papier blasen



• Flugzeug - Tragfläche



• Klimaanlage Präriehunde

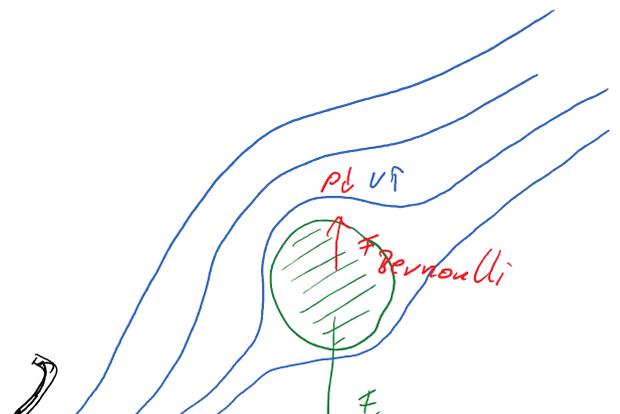


Versuch : Ball im Luftstrom

• Gerichtskraft löst Ball sichtbar

↳ höhere Luftgeschwindigkeit oberhalb des Balles

//

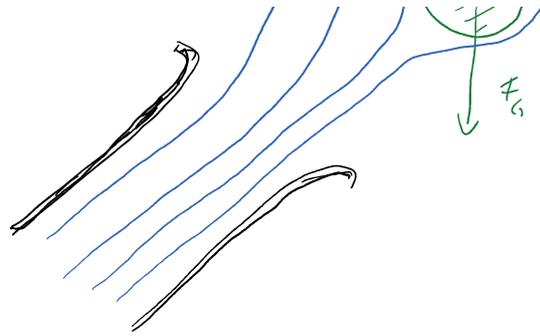


des Baller

↳ Staudruck steigt  
statische Druck sinkt

↳ Auftriebskraft

stabile Lage in der mitte  
des Luftstroms



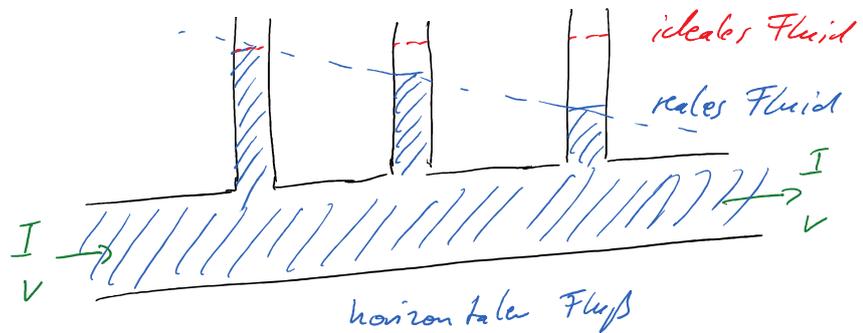
### 5.3.2 REALE FLÜSSIGKEITEN

ideales Fluid

Durchmesser = konstant

$I, v = \text{const}$

$\Rightarrow p = \text{const.}$



reales Fluid

↳ Rohr übt Widerstand für den Fluß aus

↳ linearer Abfall des statischen Drucks

Grund: "Energieverlust" durch innere und äußere Reibung

↳ Umwandlung in Wärme

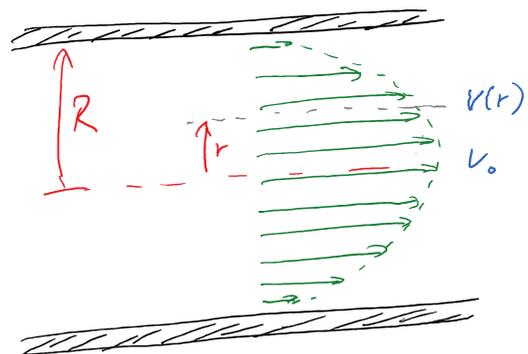
Strömungsverlauf im Rohr

• innere Reibungskraft (2.2.3)

$$F_R = \eta \cdot A(r) \cdot \frac{dv}{dr} = \text{const.}$$

↑  
Viskosität

↑  
Geschwindigkeits-  
gradient



laminare Strömung

Viskosität      Geschwindigkeits-  
gradient



laminare Strömung  
(ohne Turbulenzen)

↳ parabelförmiges Geschwindigkeitsprofil

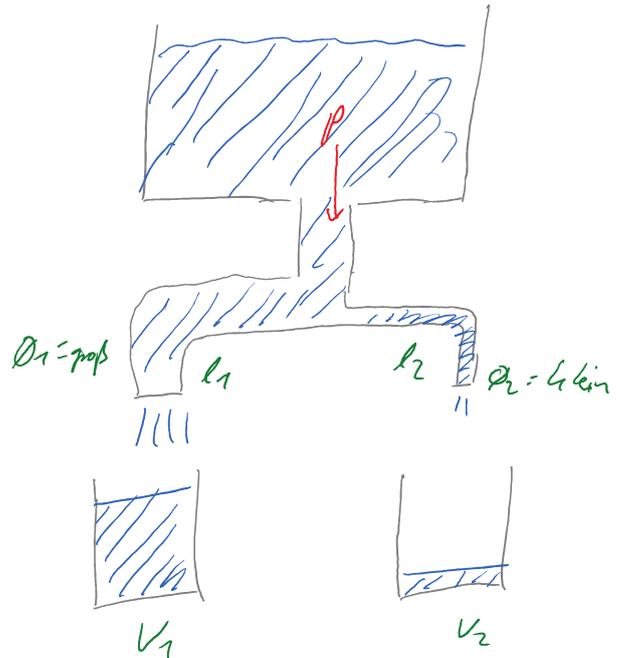
$$v(r) = v_0 \left( 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right)$$

Volumenstrom und Rohrdurchmesser

Versuch:  $r_1 = 0.9 \text{ mm} = 2 \cdot r_2$   
 $l_1 = l_2$

⇒  $V_1 = 78 \text{ ml}$   
 $V_2 = 5 \text{ ml!}$

$$\frac{V_1}{V_2} = 16 = \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^4$$



Gesch von  
Hagen-Poiseuille

$$I = \frac{\pi}{8\eta} \cdot \frac{dP}{dl} \cdot r^4$$

eta Viskosität      Rohr radius  
Druckänderung pro Länge

≙ spezifischer Widerstand

## Stokes'sche Reibung

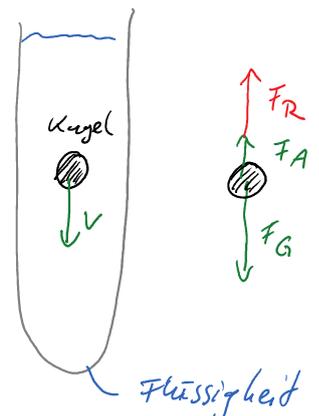
Körper in Flüssigkeit

- Konstante Sinkgeschwindigkeit

↳ Kräftegleichgewicht

- Gewichtskraft  $F_G = m_k \cdot g = \rho_k \cdot V \cdot g$

- Auftrieb  $F_A = m_f \cdot g = \rho_f \cdot V \cdot g$



$$F_R = 6 \pi \eta r \cdot v$$

• Reibungskraft  $F_R = 6 \pi \eta r \cdot v$

! nur für laminare Strömungen (kleines  $v$ )

↳  $v$  erhöht sich bis  $F_R + F_A = F_G$

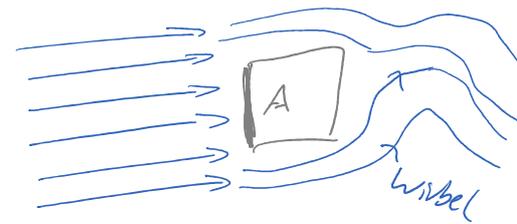
↳ Messung der Viskosität  $\eta$

z.B.:  $v(\text{Wasser}) \gg v(\text{Honig})$   
 $\eta(\text{Honig}) \gg \eta(\text{Wasser})$

### 5.3.3. TURBULENTE STRÖMUNG

chaotische Verwirbelung

Reibungskraft bei turbulenter Strömung



$$F_R(\text{turbulent}) = \frac{1}{2} \rho \cdot c_w \cdot A \cdot v^2$$

Labels in the diagram:  
 -  $\rho$ : Dichte des Fluids  
 -  $A$ : Querschnittsfläche  
 -  $v$ : Strömungsgeschwindigkeit

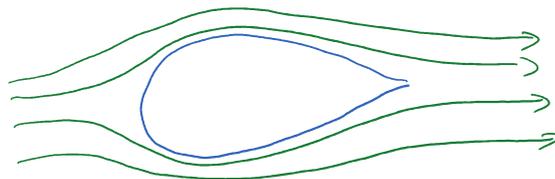
$c_w$  = Widerstandsbeiwert

↳ abhängig von der **Form!**

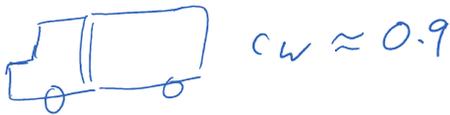
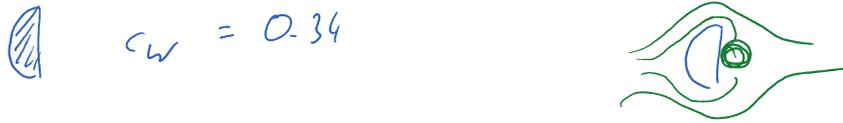
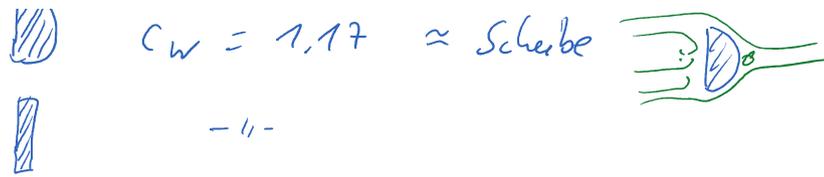
A]   $c_w = 0.5$

  $c_w = 0.05$  (!) Stromlinienform

  $c_w = 0.03$



  $c_w = 1.17 \approx$  Scherbe 



### Reynoldszahl

↳ Maß für die Turbulenz einer Strömung

$$\begin{aligned}
 & \begin{array}{c} \text{Dichte} \\ \downarrow \\ \text{Re} = \frac{\rho}{\eta} \cdot v \cdot r \\ \uparrow \qquad \qquad \uparrow \\ \text{Viskosität} \qquad \text{Radius} \end{array} \propto \frac{F_R (\text{turbulent})}{F_R (\text{lamina})} = \frac{\frac{1}{2} \rho c_w r^2 \pi v^2}{6 \pi \eta r v} \\
 & = \frac{1}{12} \frac{\rho c_w \cdot r \cdot v}{\eta}
 \end{aligned}$$

Bsp	Schwimmer	$Re = 10^6$	} turbulent durch "Radern"
	Fische	$Re = 10^5$	
	Bakterien	$Re = 10$	wenig turbulent
			Antrieb durch rotierende Geißel