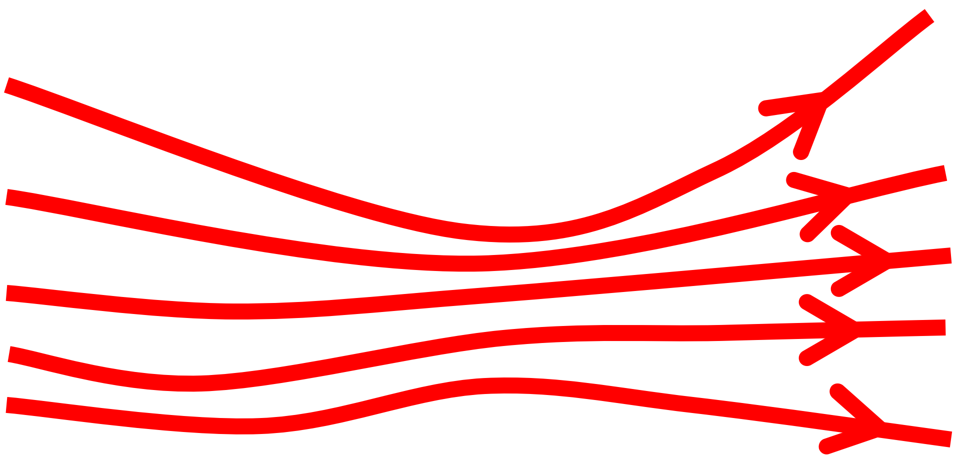
7.4. Laminare Strömungen

Innere Reibung in Flüssigkeiten und Gasen

Def.: Laminare (schlichte) Strömung $\rightarrow$



Abgleiten dünner Schichten ohne Verwirbelung

Bewegungslinien der Volumenelemente

Gegensatz: Turbulente Strömung

7.4. Innere Reibung von Flüssigkeiten

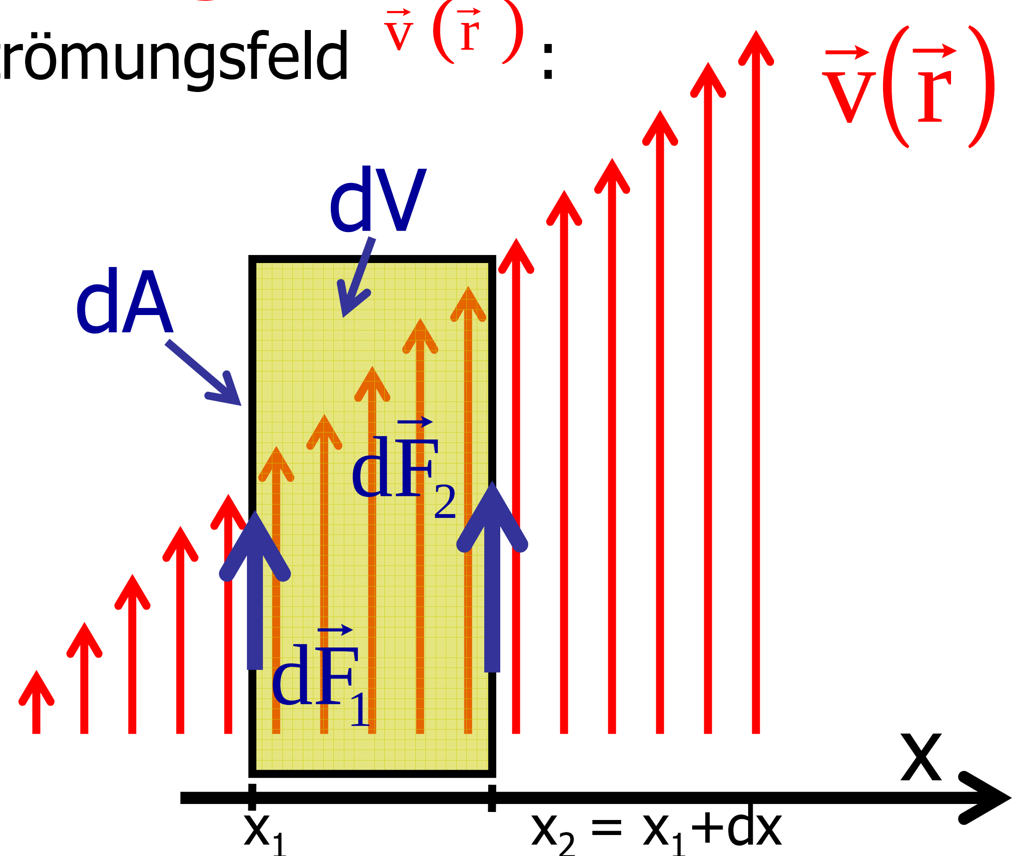
Def.: Innere Reibung im Strömungsfeld $\vec{v}(\vec{r})$:

$$d\vec{F}_{1,2} = \left\{ \begin{array}{c} \text{Reibungskräfte} \\ \text{zwischen den} \\ \text{Randschichten} \end{array} \right.$$

$$d\vec{F}_{1,2} = \eta \cdot \left.\frac{\partial \vec{v}}{\partial x}\right|_{x_{1,2}} \cdot dA$$

Viskosität (Zähigkeit)

$$[\eta] = 1\,\mathrm{Nsm}^{-2}$$

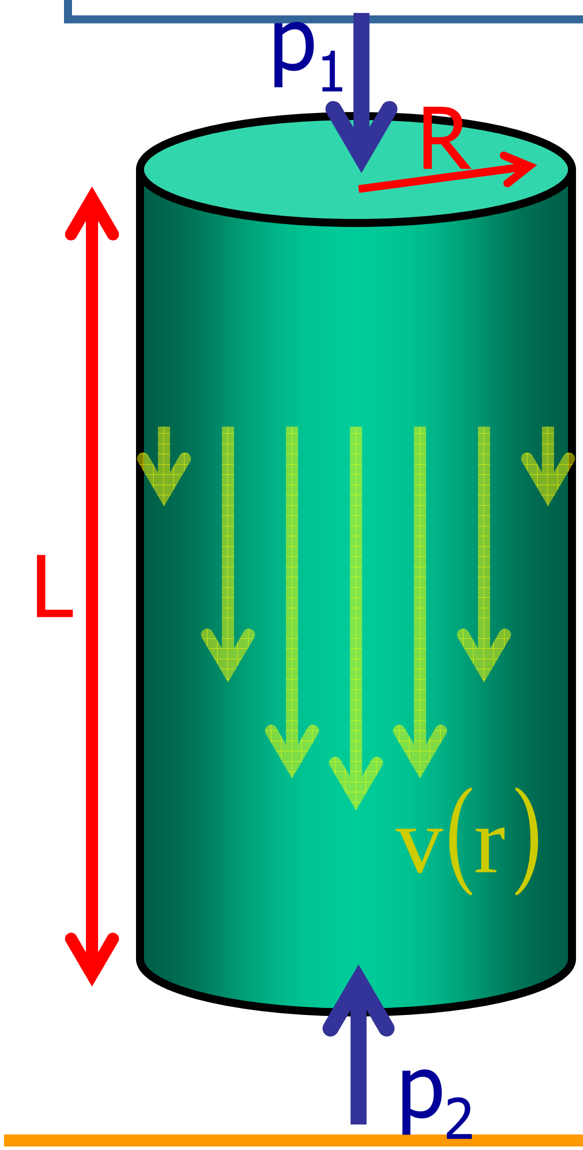


$$d\vec{F}_R = d\vec{F}_2 - d\vec{F}_1 = \eta \cdot \frac{\partial^2 \vec{v}}{\partial x^2} \cdot \underbrace{dx \cdot dA}_{dV}$$

allgemein $\longrightarrow$

$$d\vec{F}_R = \eta \cdot \Delta \vec{v}(\vec{r}) \cdot dV$$
$$\vec{f}_R = \eta \cdot \Delta \vec{v}(\vec{r})$$

7.4. Gesetz von Hagen-Poiseulle



Anwendung: Kapillarviskosimeter

Gleichgewicht: Reibungskraft = Druckkraft

$$\Rightarrow \quad v(r) = \underbrace{\frac{p_1 - p_2}{L}}_{|\vec{\nabla} p|} \cdot \frac{R^2 - r^2}{4\eta}$$

Parabel

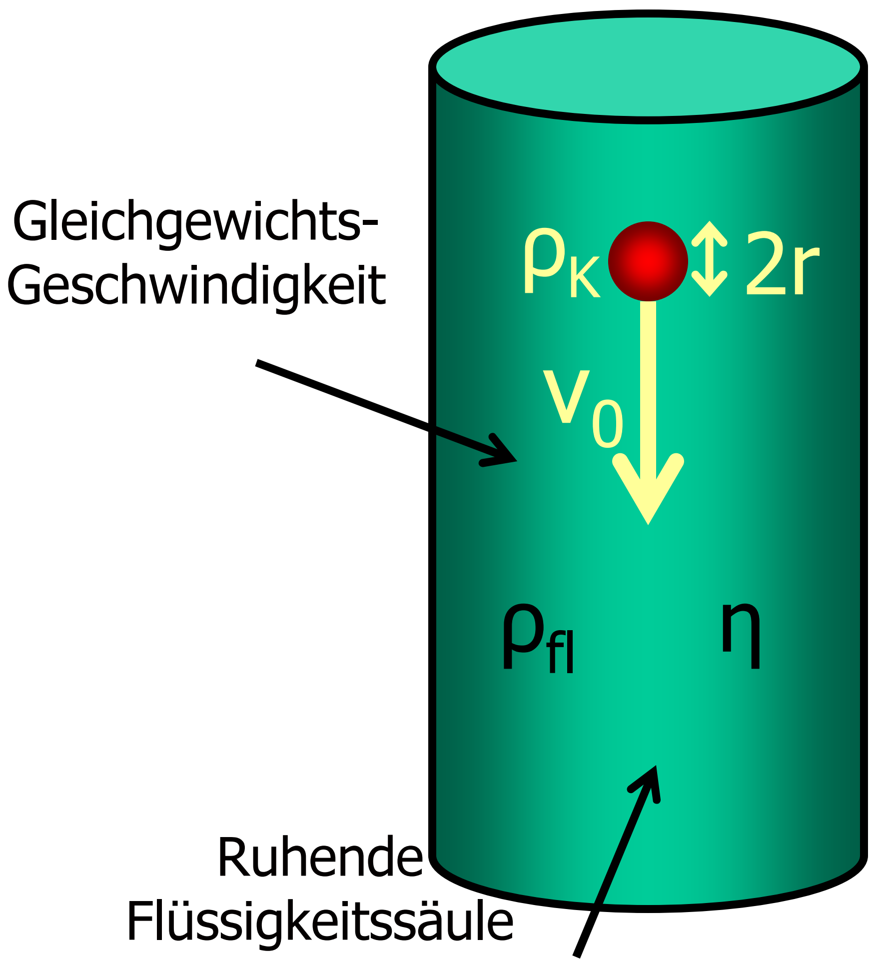
Durchfluss: $I = \frac{dV}{dt} = \int_0^R v(r) \cdot 2\pi r \, dr$

Hagen-Poiseulle-Gesetz

$$\Rightarrow \quad I = \frac{\pi R^4}{8\eta} \cdot \left|\vec{\nabla} p\right| \propto \frac{R^4}{\eta}$$

7.4. Gestez von Stokes

Anwendung: Kugelfallviskosimeter



Schwerkraft: $F_g = \frac{4}{3} r^3 \pi \left(\rho_K - \rho_{fl}\right) g$ (Auftrieb: ρ_{fl})

Reibungskraft (kleine Kugeln):

Stokessches Gesetz:

$$F_R \approx -6\pi\eta r v_0$$

Kräfte-Gleichgewicht $\Rightarrow$

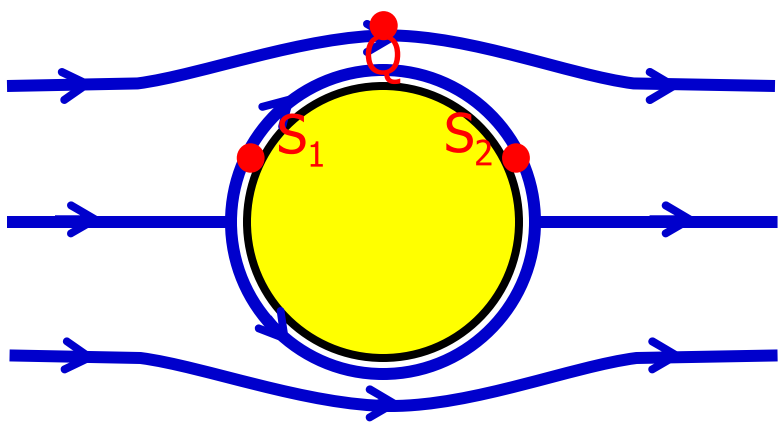
$$\boxed{v_0 = \frac{2}{9} g \frac{r^2}{\eta}\left(\rho_K - \rho_{fl}\right) \propto \frac{r^2}{\eta}}$$

7.5. Wirbelbildung und Auftrieb

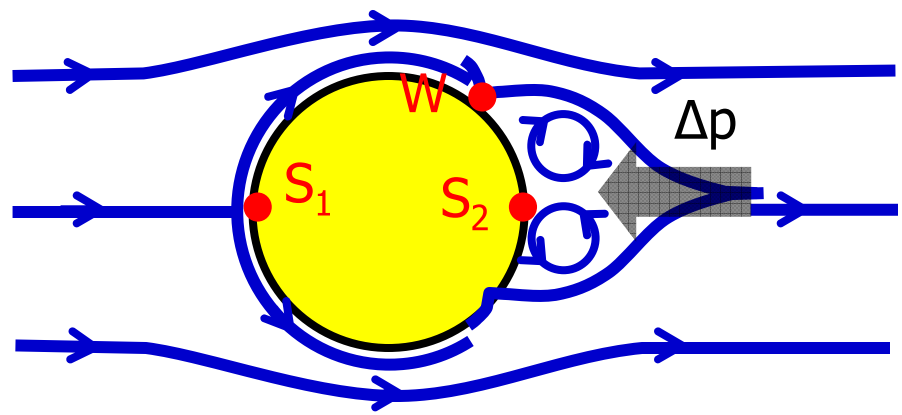
Wirbelbildung: Wände/Kanten mit großer Haftreibung $\rightarrow$ $\Delta\vec{v}$ groß

Beispiel: Umströmter Kreiszylinder

v klein, keine Reibung
laminar



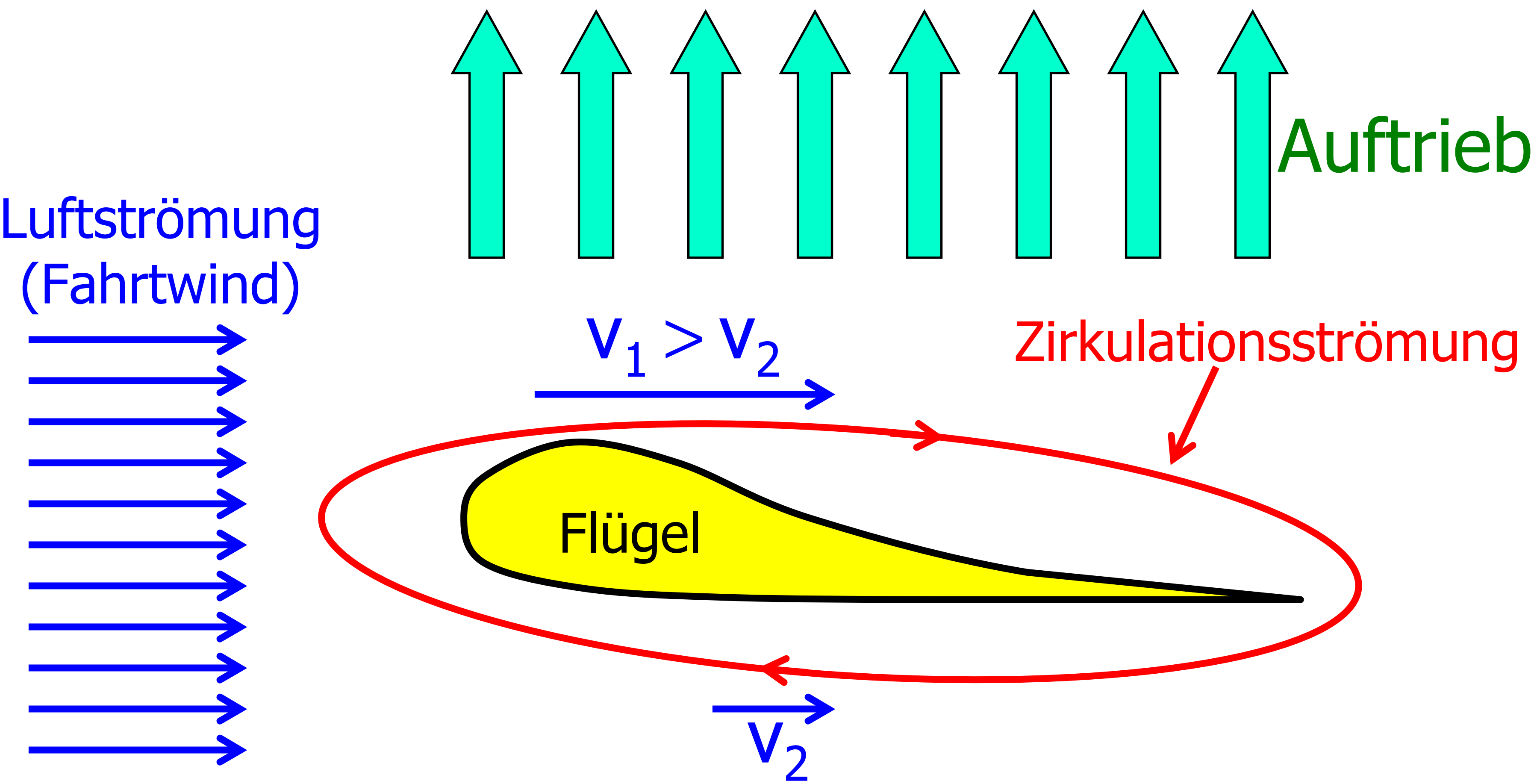
v groß, Oberflächenreibung
turbulent



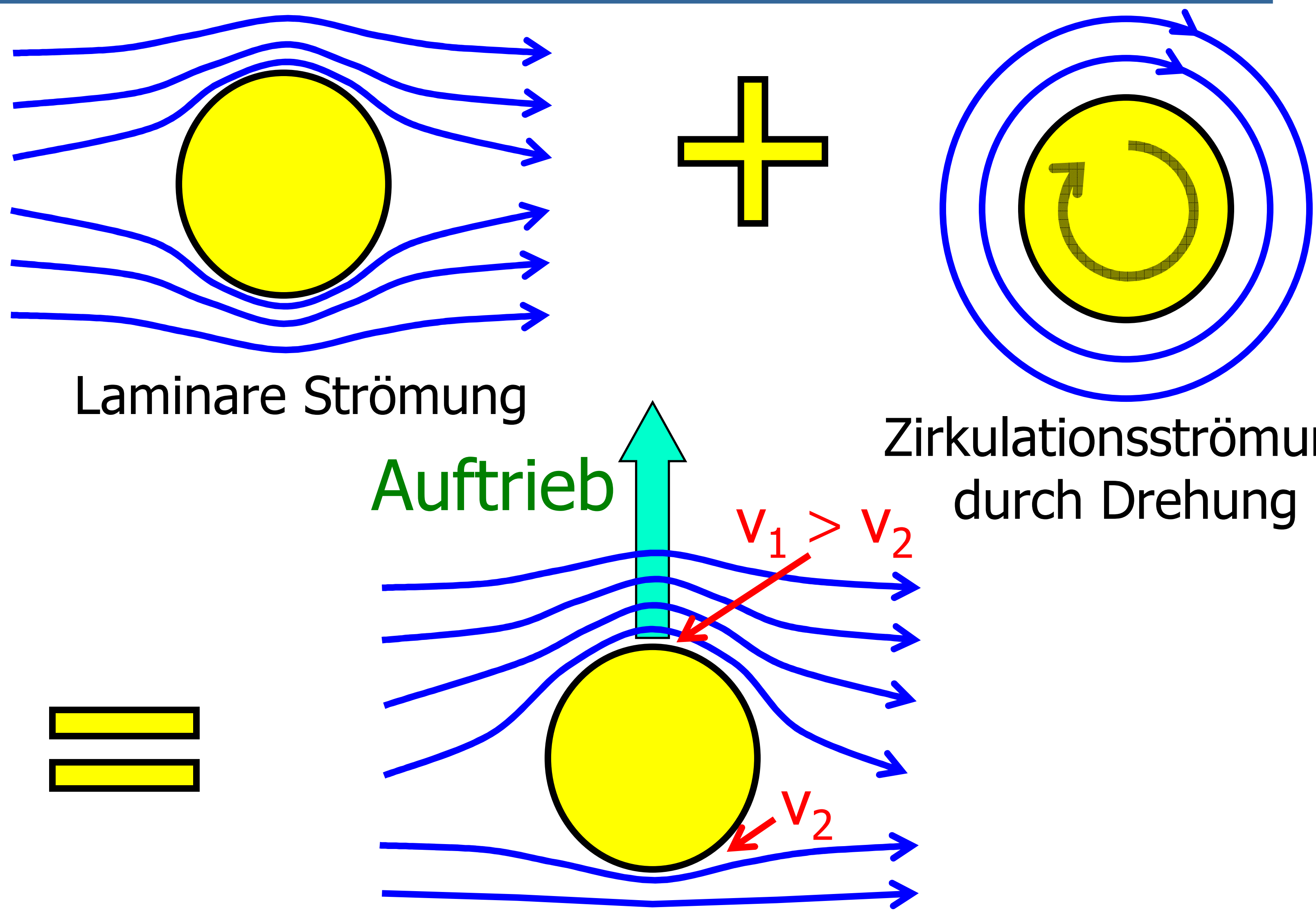
S_1:	$v = 0$	$p(S_1) = p_0$
Q:	$v = \max$	$p(Q) = \min < p_0$
S_2:	$v = 0$	$p(S_2) = p_0$

- Reibung $\Rightarrow$ $v(W) = 0$
- Vakuum bei S_2 $\Rightarrow$ Wirbel
- v groß in Wirbeln $\Rightarrow$ p bei S_2 < p bei S_1 $\Rightarrow$ „Druckwiderstand"

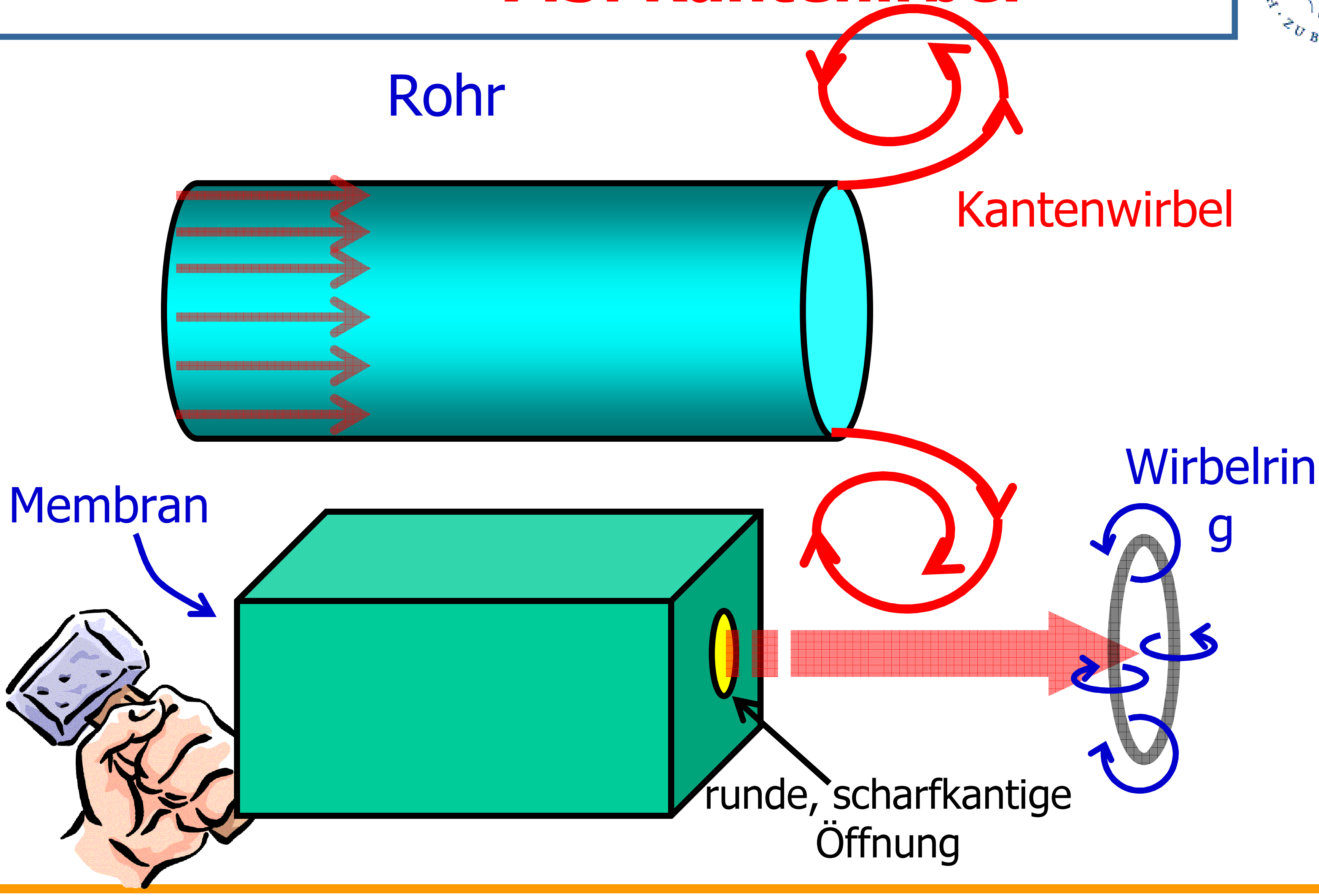
7.5. Aerodynamischer Auftrieb



7.5. Magnus-Effekt



7.5. Kantenirbel

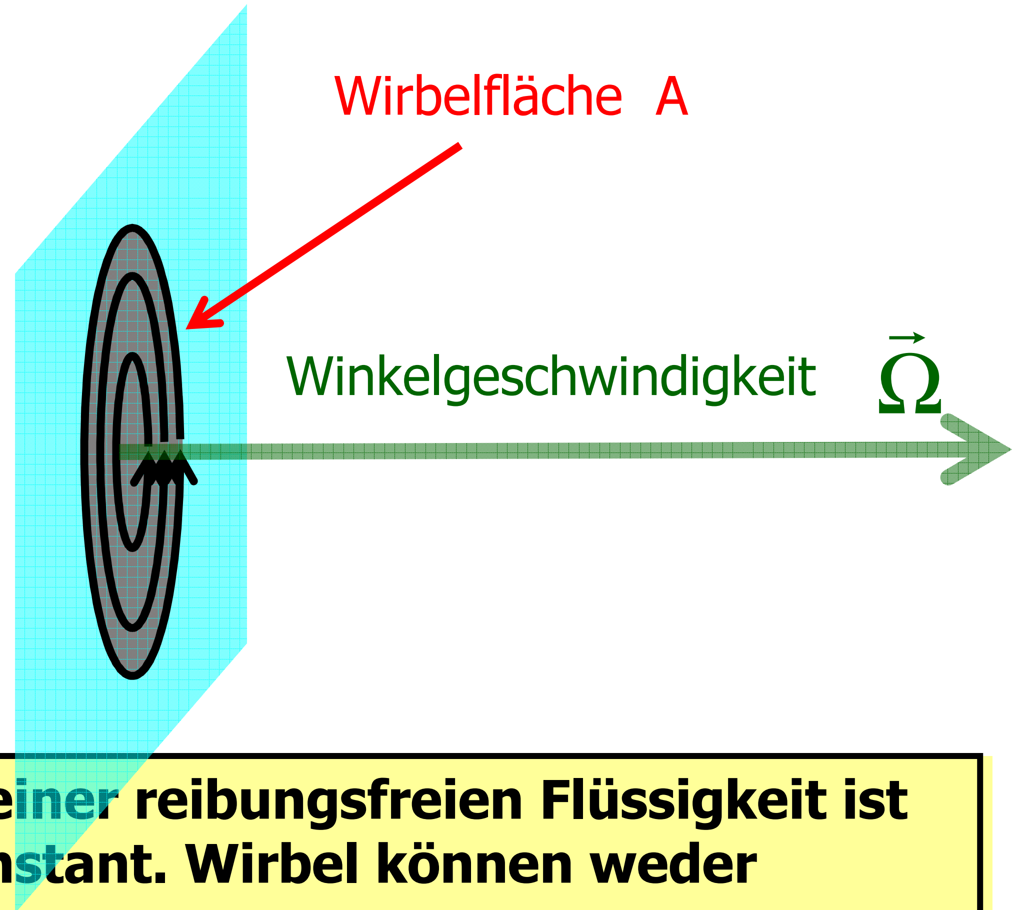


7.5. Wirbelstärke

Definition: Die Größe

$\Omega \cdot A$ bzw. $\iint_A \vec{\Omega} \, d\vec{A}$

heißt Wirbelstärke



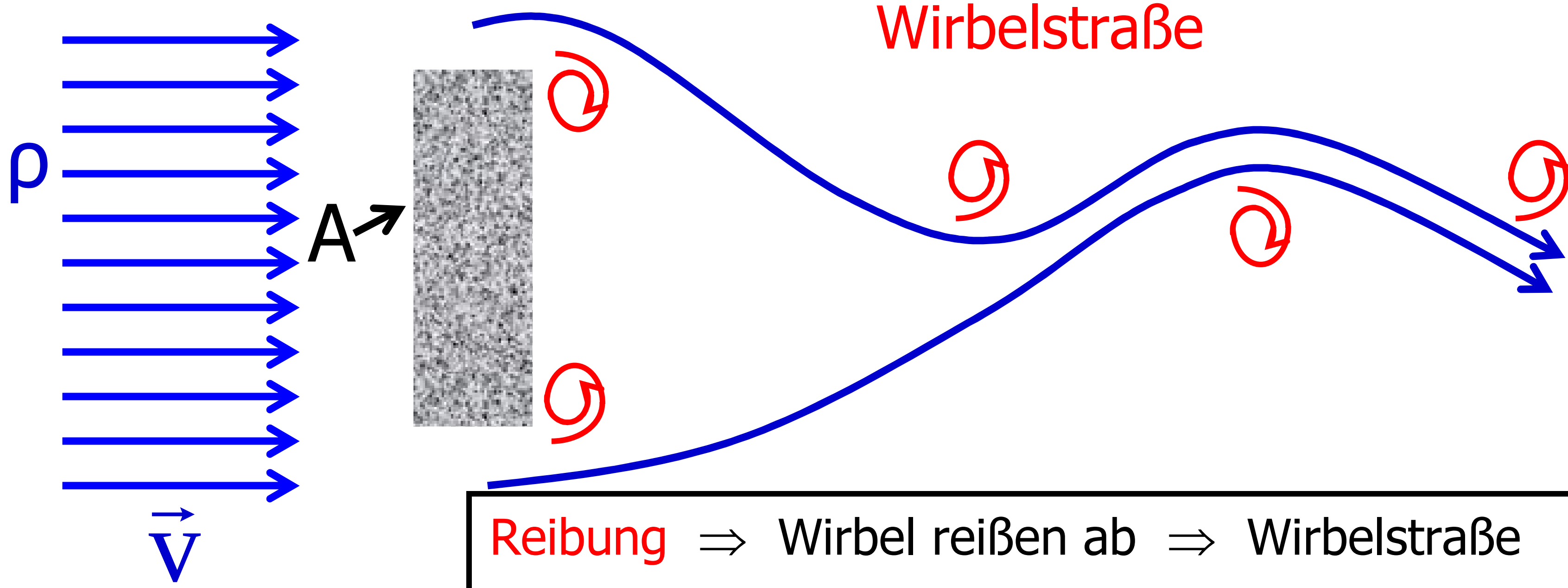
Helmholtzscher Wirbelsatz: In einer reibungsfreien Flüssigkeit ist die Wirbelstärke zeitlich konstant. Wirbel können weder entstehen noch vergehen.

Anschaulich: Wegen Drehimpulserhaltung. Wirbel verhalten sich wie rotierende starre Körper.

7.5. Turbulente Strömung

Luftströmung (Fahrtwind)

Turbulente Strömung und Strömungswiderstand



Reibung $\Rightarrow$ Wirbel reißen ab $\Rightarrow$ Wirbelstraße

$\Rightarrow$ Druckwiderstand $+$ Reibungswiderstand

Bernoulli-Gleichung $\Rightarrow \Delta p \propto \frac{\rho}{2} v^2$

$\rightarrow$ Parametrisierung $\boxed{F_W = c_W \cdot \frac{\rho}{2} v^2 A}$

F_W = Widerstandskraft

c_W = Widerstandsbeiwert