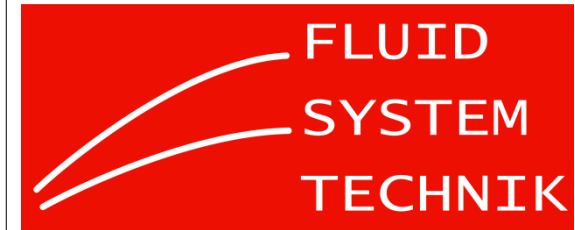


Gebundene und freie Wirbel bei der Windkraftmaschine



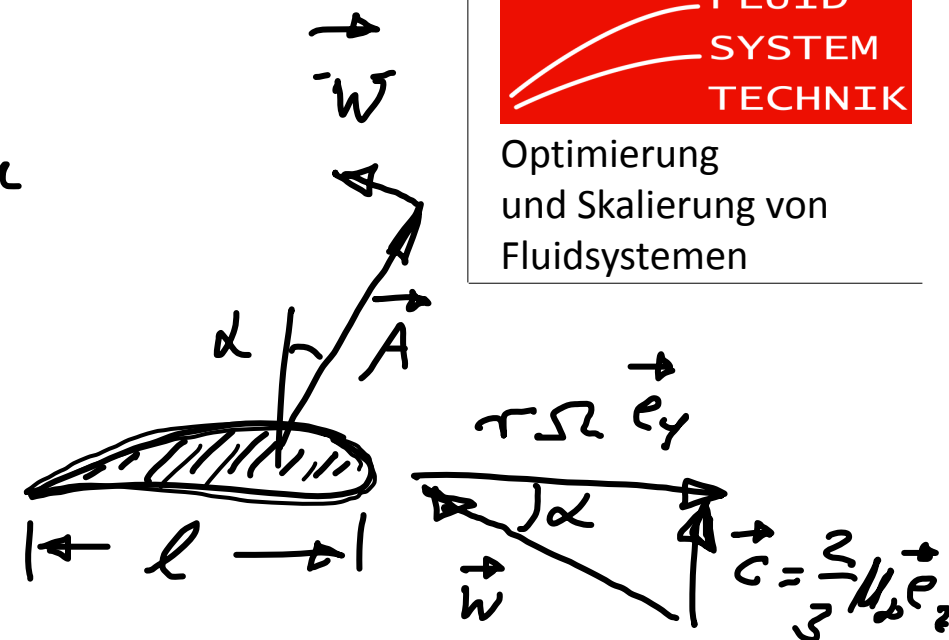
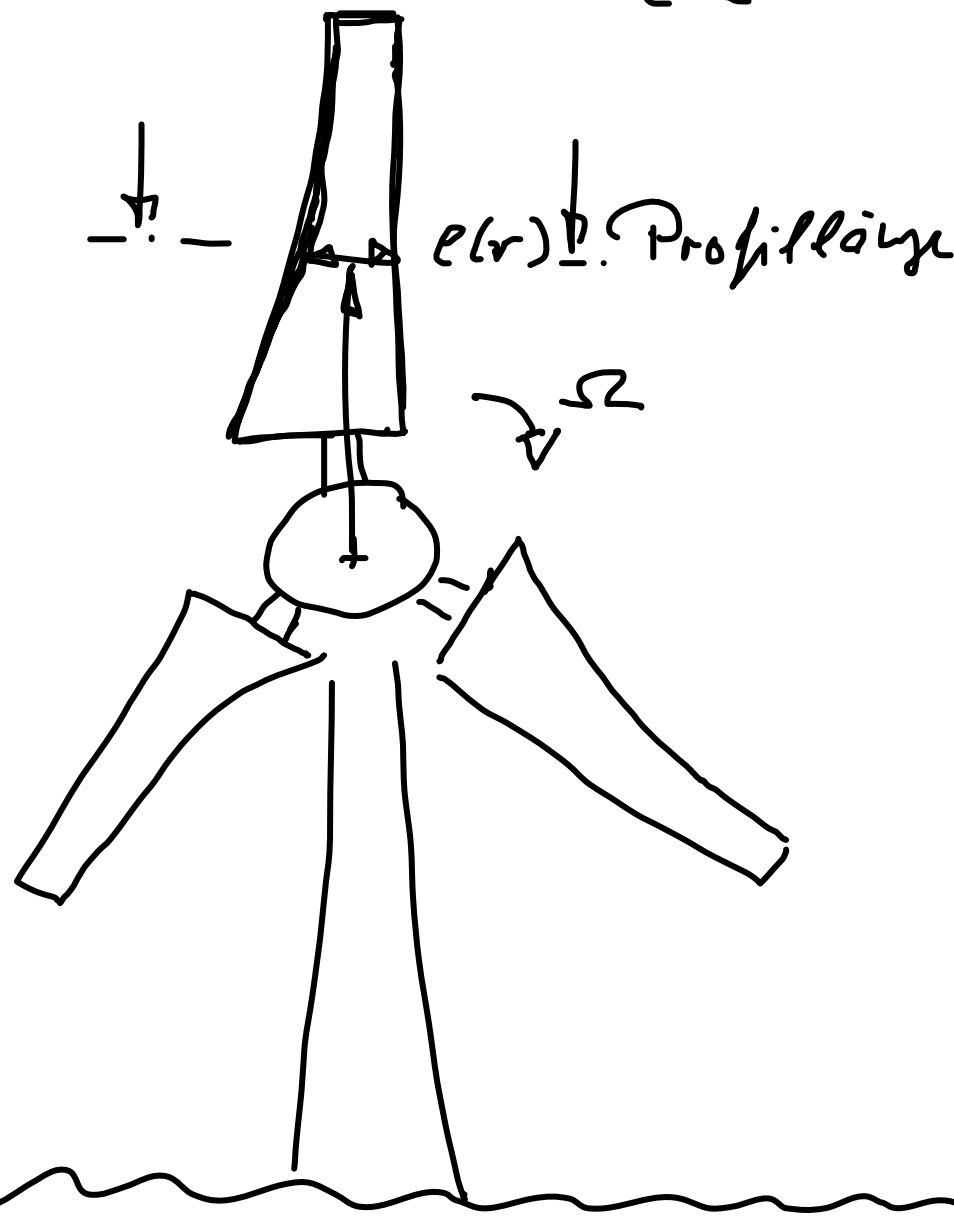
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Wintersemester 2011/12
Optimierung und Skalierung
von Fluidsystemen
Vorlesung 5



$z=3$



$$A = \frac{\rho}{2} c_A W^2 l \quad A = |\vec{A}|$$

$$W = \frac{\rho}{2} c_W W^2 l \quad W = |\vec{W}|$$

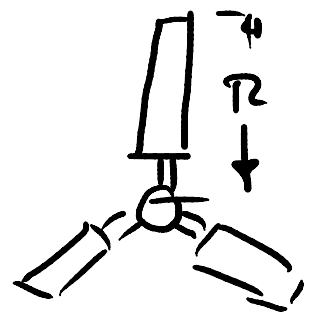


$$C_A = C_A(Re, k, \text{Form des Profils}) \propto$$

$$C_U = C_U(Re, k, \dots) \propto$$

Anstellwinkel α wird über die Schnellenheit

$$\lambda = \frac{\Sigma R}{\rho v^2} \text{ f. l. l. l. l.}$$



$$\lambda = \frac{1}{\varphi}$$

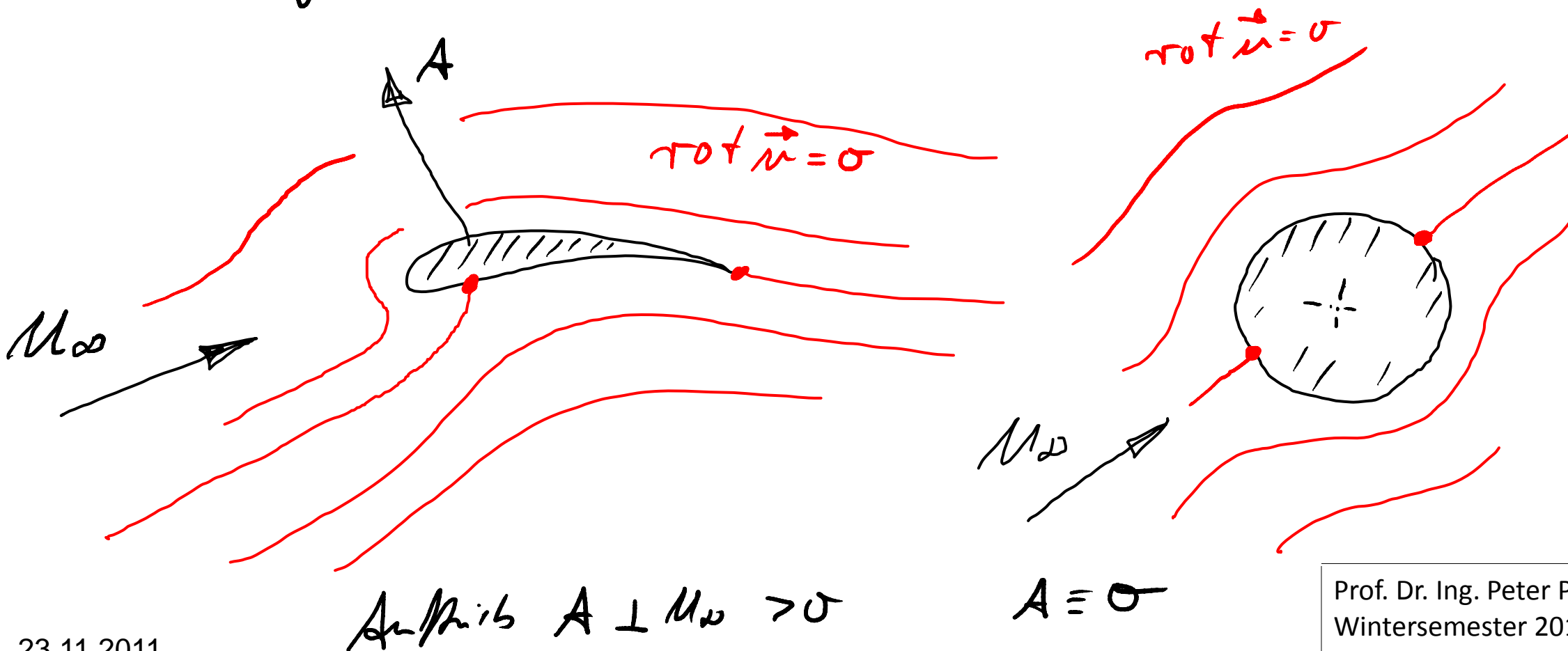
φ Durchfließhöhe einer
Turbinenstufe

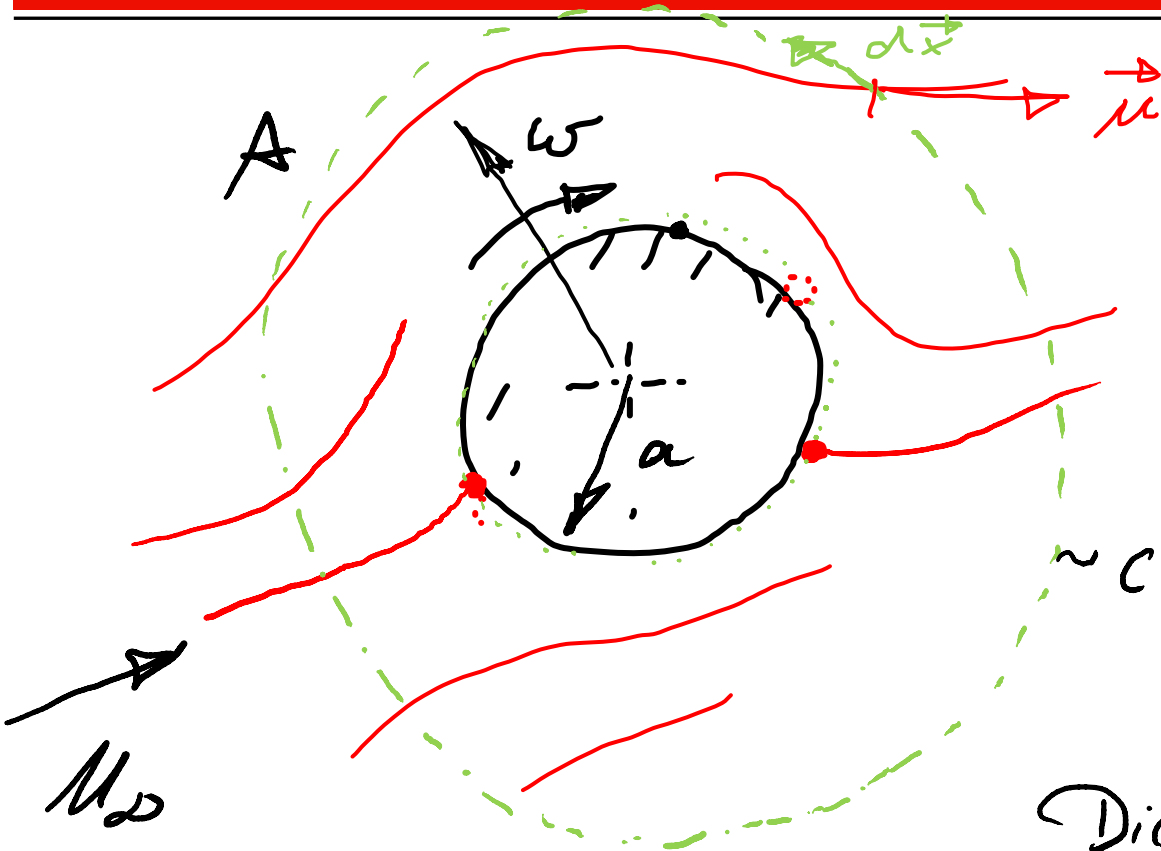
Achtung Schnellenheit ist mehrdeutig ∇

Turbo Σ



In die Nähe von $C_p = \sum C_{pmax}$ gelangt
man nur mittels
Auftriebskörper. Wird Vorderkante
der Entfaltung deutlich kleiner?





$$\oint_C \vec{u} \cdot d\vec{x} = \Gamma < 0$$

$$= -2\pi a^2 \omega$$

Die Zirkulation Γ legt den
Auftrieb fest!

$$A \perp u_\infty > 0$$

$$\underline{\underline{A = -\rho u_\infty \Gamma}}$$

Auftrieb pro Torkinheit
für einen unströmte
Körper

Satz von Kutta -
Joukowski

Herleitung von den De Jankovits über
Methoden der Funktionentheorie (2D, komplexe-
Potentiale, Residuensatz ugl. Spruch Kap. 10)

Bemerkung:

- Die Antriebs wird durch den Betrag der
Zirkulation Γ festgelegt!
- Wie die Zirkulation entsteht ist erst von
Zweck Ω abh.
- ~~Ein~~ Ein beliebig klein, aber von
Null verschiedene Viskosität ist notwendig.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

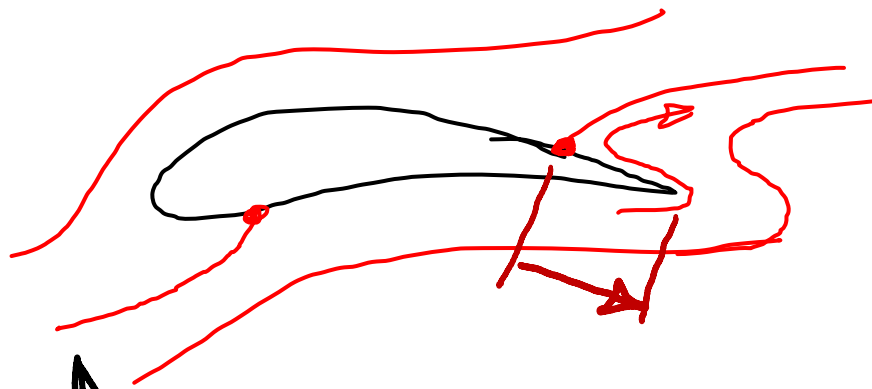


Optimierung
und Skalierung von
Fluidsystemen

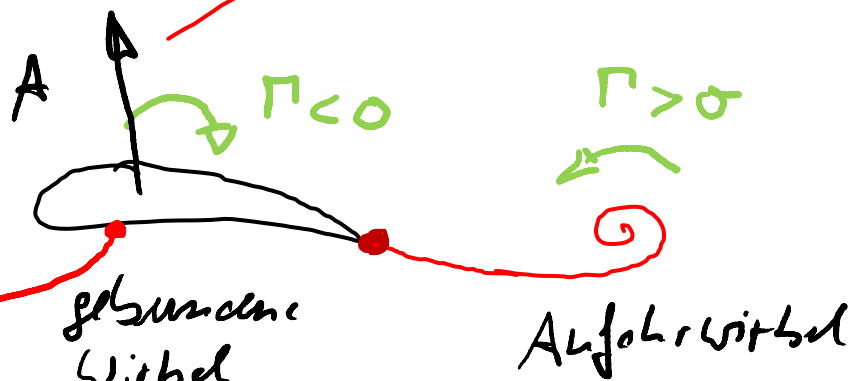


$t = 0$

$\Gamma = 0$

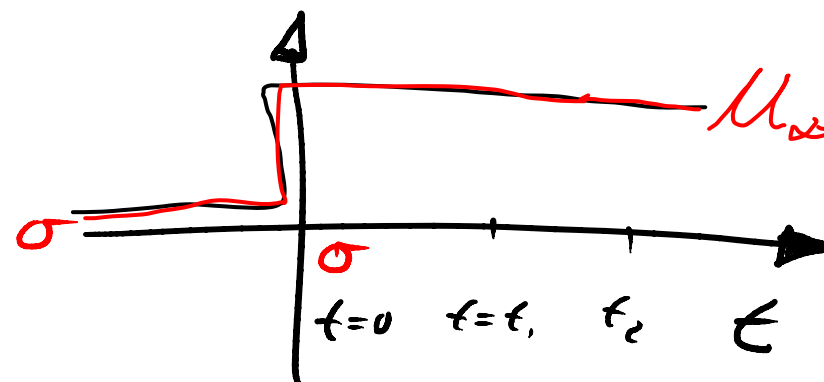


$t = t_1$

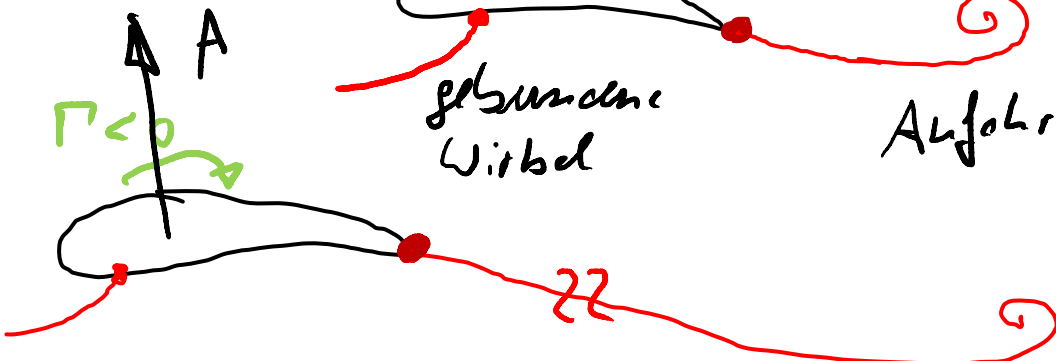


gebundene
Wirbel

Aufholwirbel



$t = t_2$



Zirkulation $\Gamma = \oint_{C(t)} \vec{u} \cdot d\vec{x} = \int_{\Sigma} \text{rot} \vec{u} \cdot \vec{n} d\sigma$

typische Zeit für die
Diffusion von Reibung $\sim \frac{L^2}{\nu}$

⇒ Film von
Proudh.

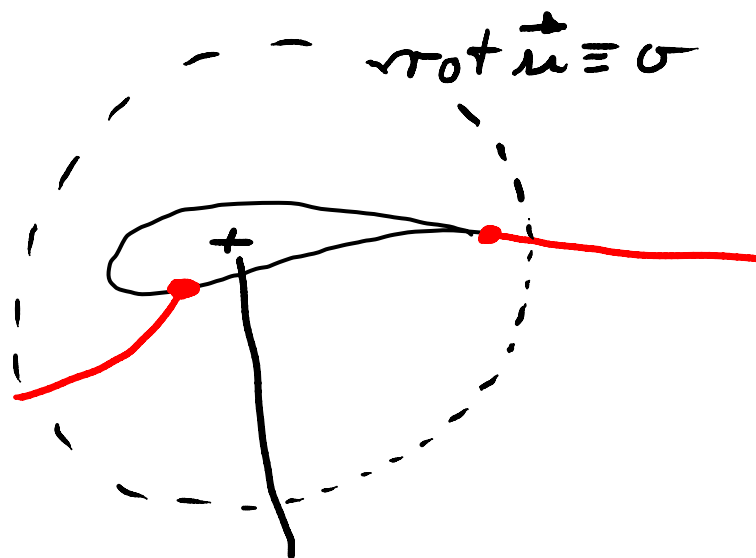
23.11.2011



$\Gamma \neq 0$, dann ist auch $\int \text{rot } \vec{u} \cdot \vec{n} \, dS \neq 0$

$$\text{rot } \vec{u} = \frac{1}{2} \vec{\omega}$$

$\vec{\omega}$ ist die der Drehgeschwindigkeit des rotierenden
Flüssigkeitskörpers.



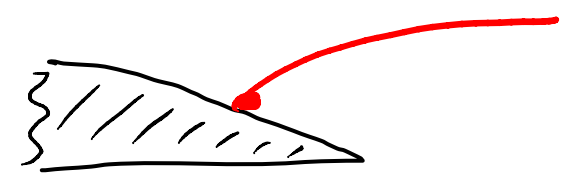
Singularität \Rightarrow Zirkulation
Potentialwirbel.



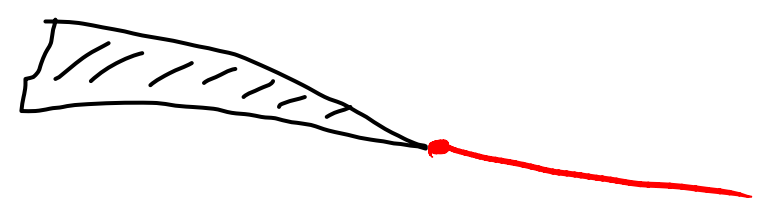
Bei stationärer Anströmung muß der
Staupunkt an der Hinterkante sein.

Diese Bedingung legt den Betrag der
Zirkulation fest

$$\Gamma = 0$$



$$\Gamma < 0$$



Umkehrte Abflußbedingung

Versuch:

1. Anfahren eines angestellten Profils → Anfahrwirbel

2. Anhalten eines angestellten Profils

→ der gesammelte Wirbel schwimmt ab.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Optimierung
und Skalierung von
Fluidsystemen



Aufgewirbelte Luft beobachtet man wie die
Kelvinschen (Thomson) Zirkulationskor.

$$\frac{D\Gamma}{Dt} = 0 \quad \text{in reibungslos barotroper Ström.$$

$p = p(\rho)$ barotrope Strömung.

$$p = \rho R T \quad T = \text{const (isotherm)} \Rightarrow p = \rho \text{ const.}$$

$$\underline{p = c \rho^\gamma} \quad \rho = \text{const (isentrope)}$$



$$A = \frac{\rho}{2} M_\infty^2 c_A(\alpha) l \quad \text{Definition des Antriebsbeiwerts.}$$

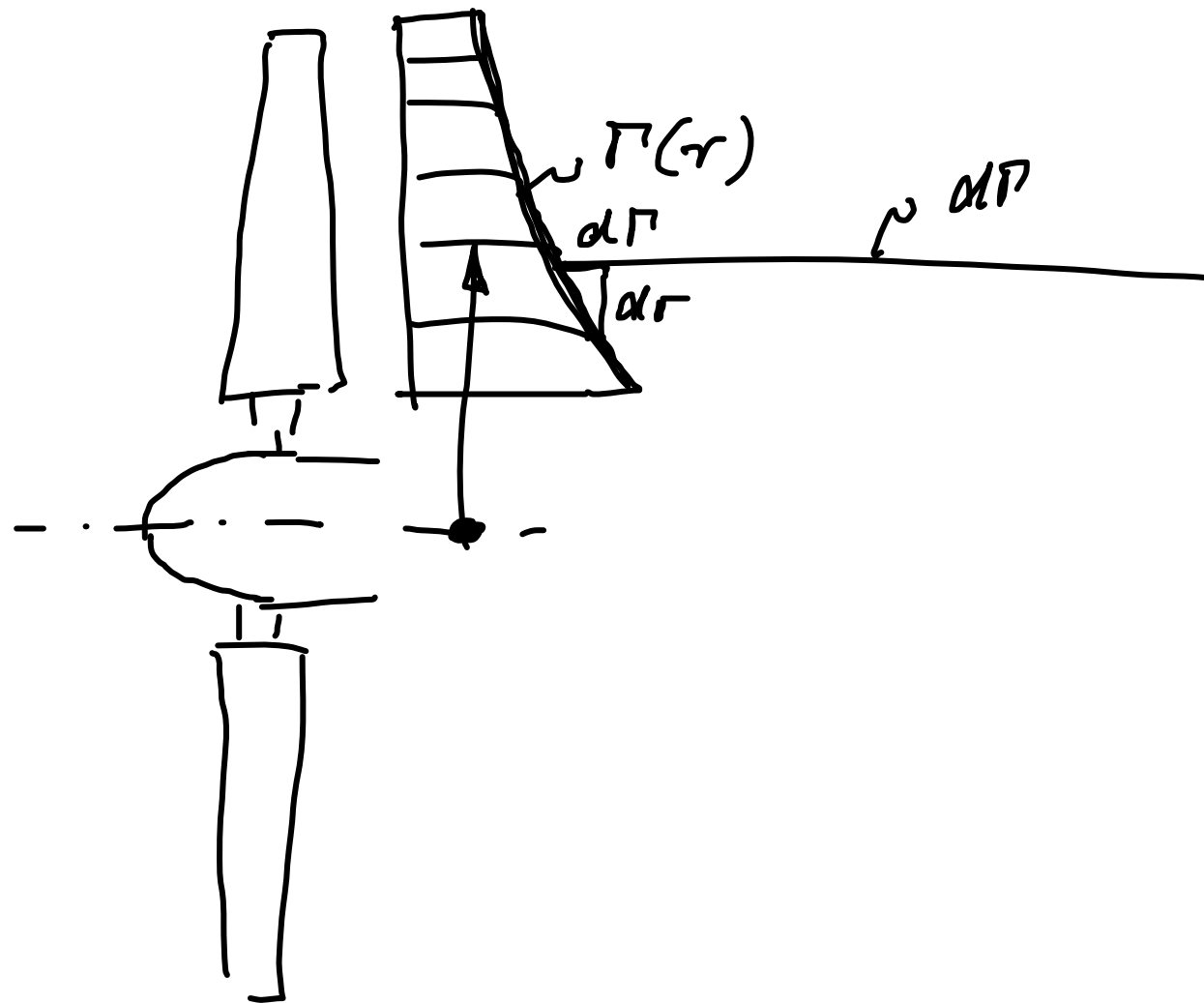
$$A = -\rho M_\infty \Gamma \quad \text{Kutta-Joukowski-Theorem}$$

$$\leadsto \Gamma = -\frac{1}{2} M_\infty l c_A(\alpha) = -\frac{1}{2} W l(r) c_A(\alpha)$$

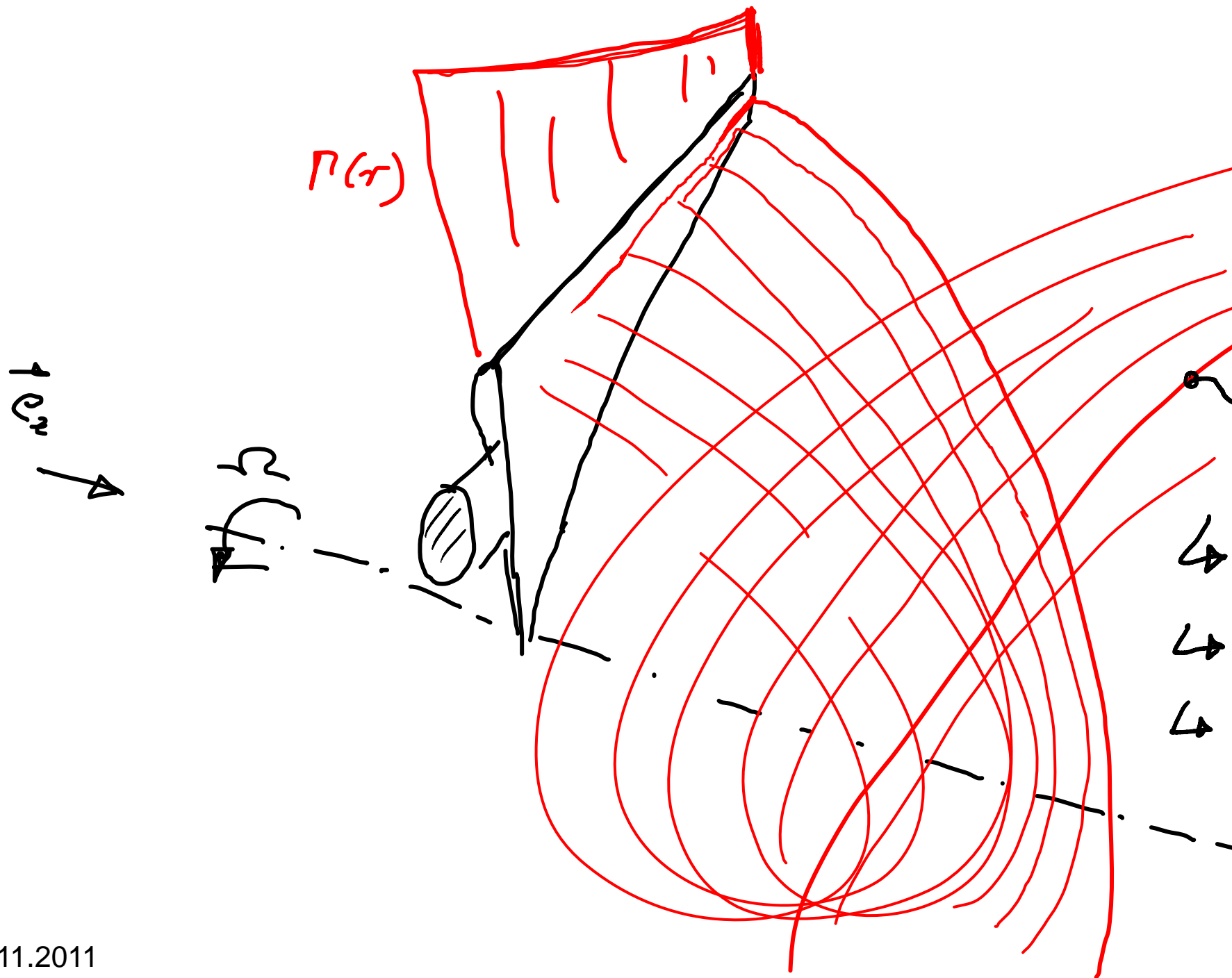
Annahme $W, c_A(\alpha) \neq f(r)$

$$\leadsto \Gamma = \Gamma(r),$$

d.h. die Stärke der zirkulären Wirbel ist r -abhängig.



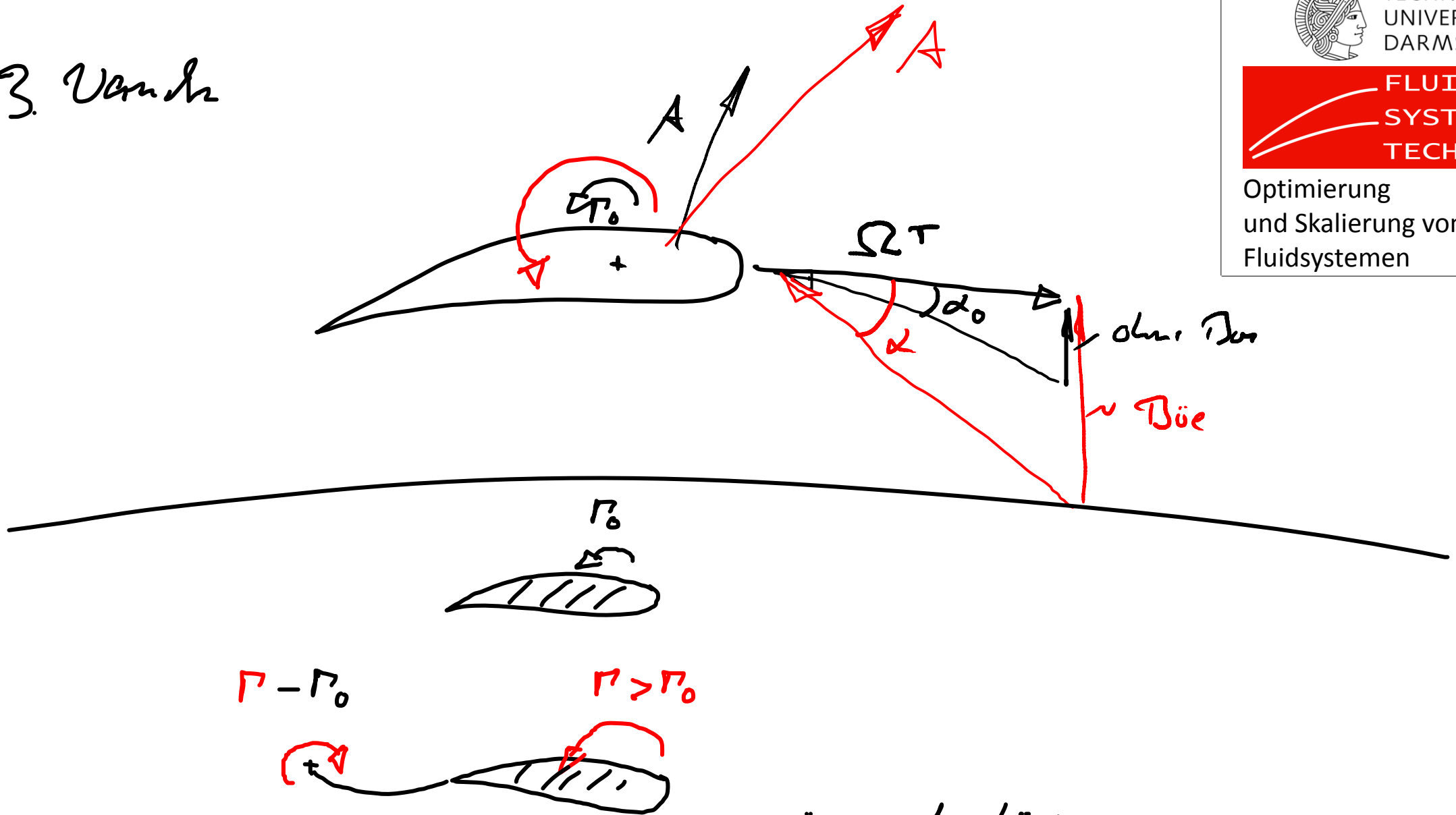
Helmholtz'sche Wirbelsatz: Die Zirkulation einer Wirbelröhre ist räumlich konstant.



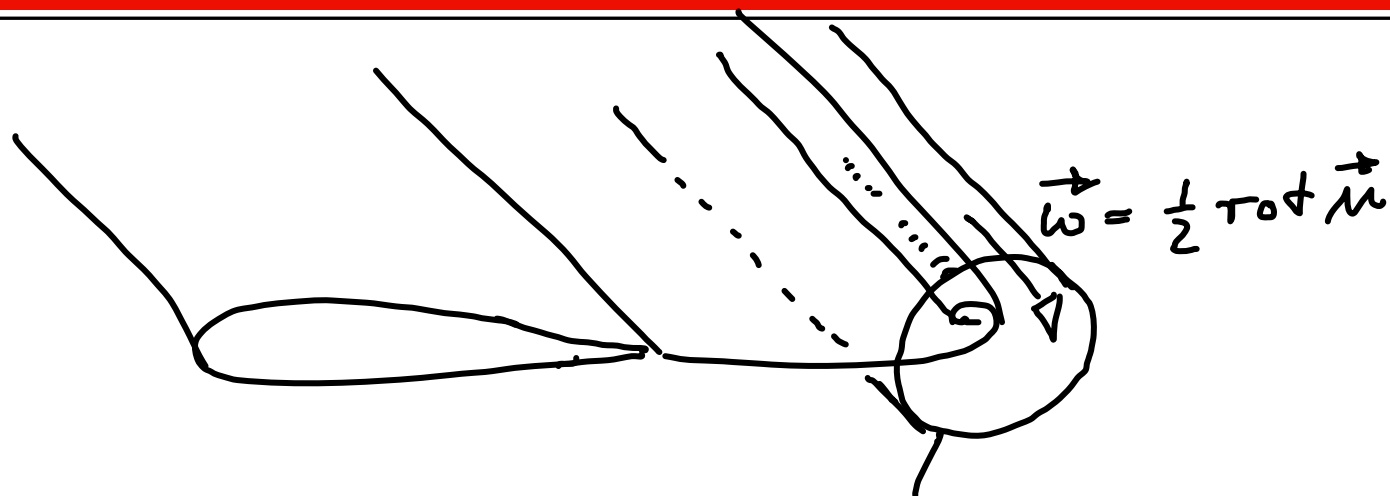
VERLUSTE

- ↳ Glauert
 - ↳ Betz
 - ↳ Schmitz
- 1920er-Jahr.

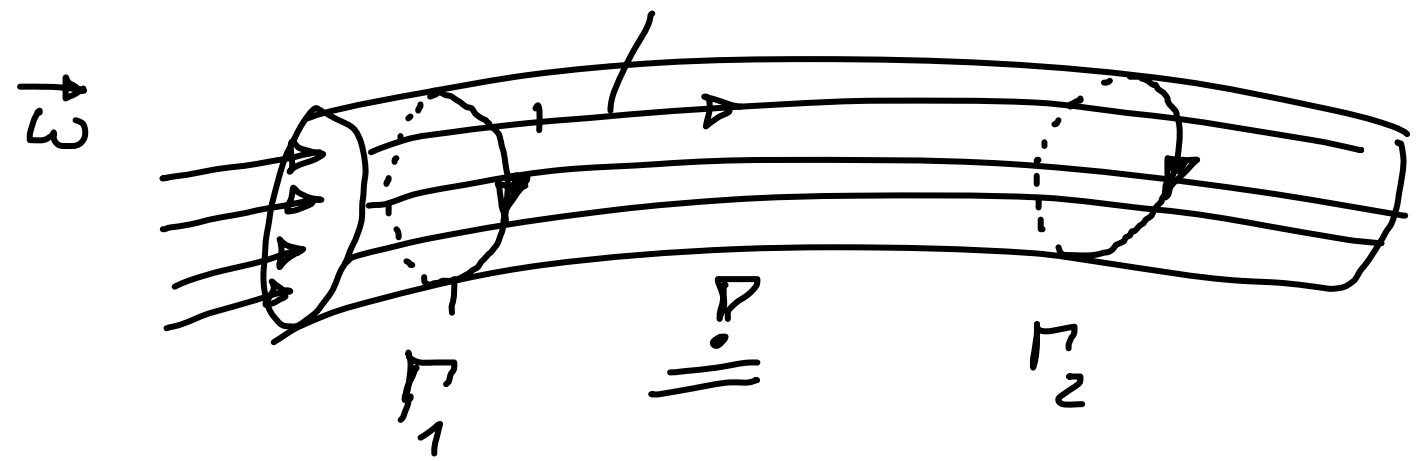
3. Versuch



Abschirmen eines Vortex in der geträgten Anströmung.
1. Gitter / 2. dynamisch festes Gitter



$\tau \text{rot } \vec{u}$
Wirbelröhre.



Ein jeder Beweis
kinematischer Satz \rightarrow Gilt immer!
Helmholtz'scher Wirbelsatz



Wirbeldeckel ist quasistationär und
bedingt durch die Zirkulationsverteilung längs
des Profils.

Physikalische Grund für die Wirbeldeckel ist
die Kelmholtz'sche Wirbeltheorie.

→ Verluste

dynamisch abgeschwimmene Wirbel

ergeben sich durch Veränderung der Anströmung.

Kelvin'sche Wirbeltheorie

→ Lärm und dynamische Lasten.