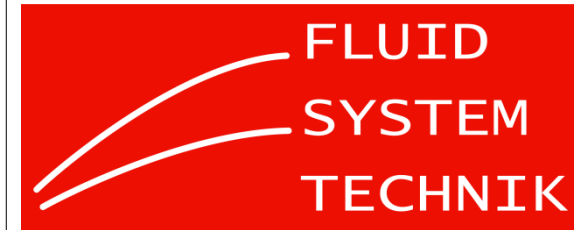


Auslegung einer Windkraftmaschine



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

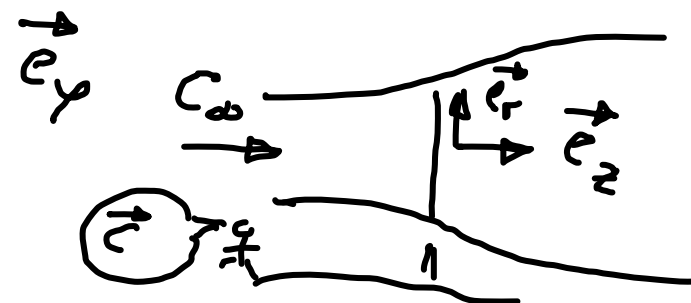
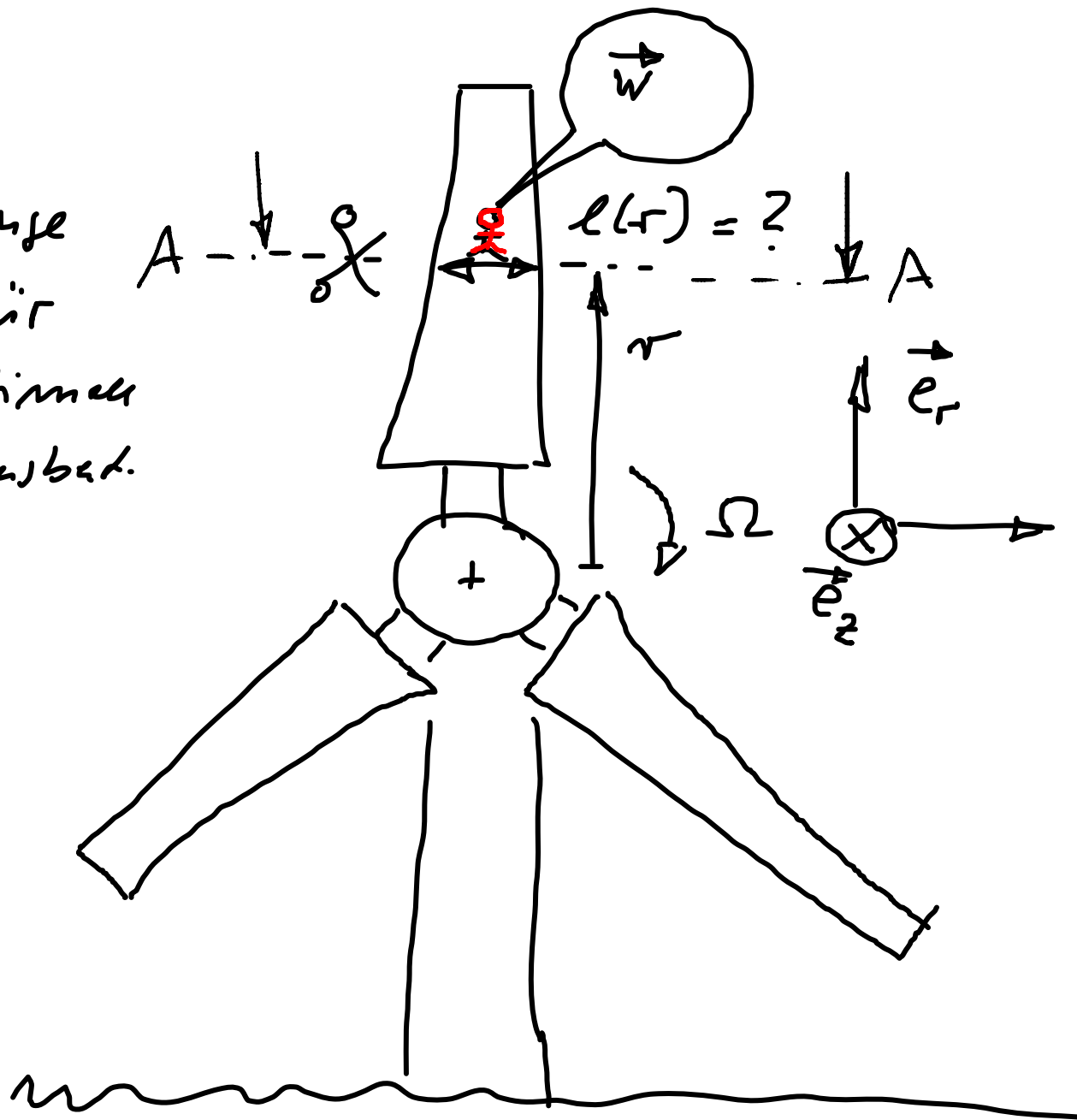


Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Wintersemester 2011/12
Optimierung und Skalierung
von Fluidsystemen
Vorlesung 4



Ziel:

Profilhöhe
 $l(r)$ für
eine optimale
Leistungsabgabe.

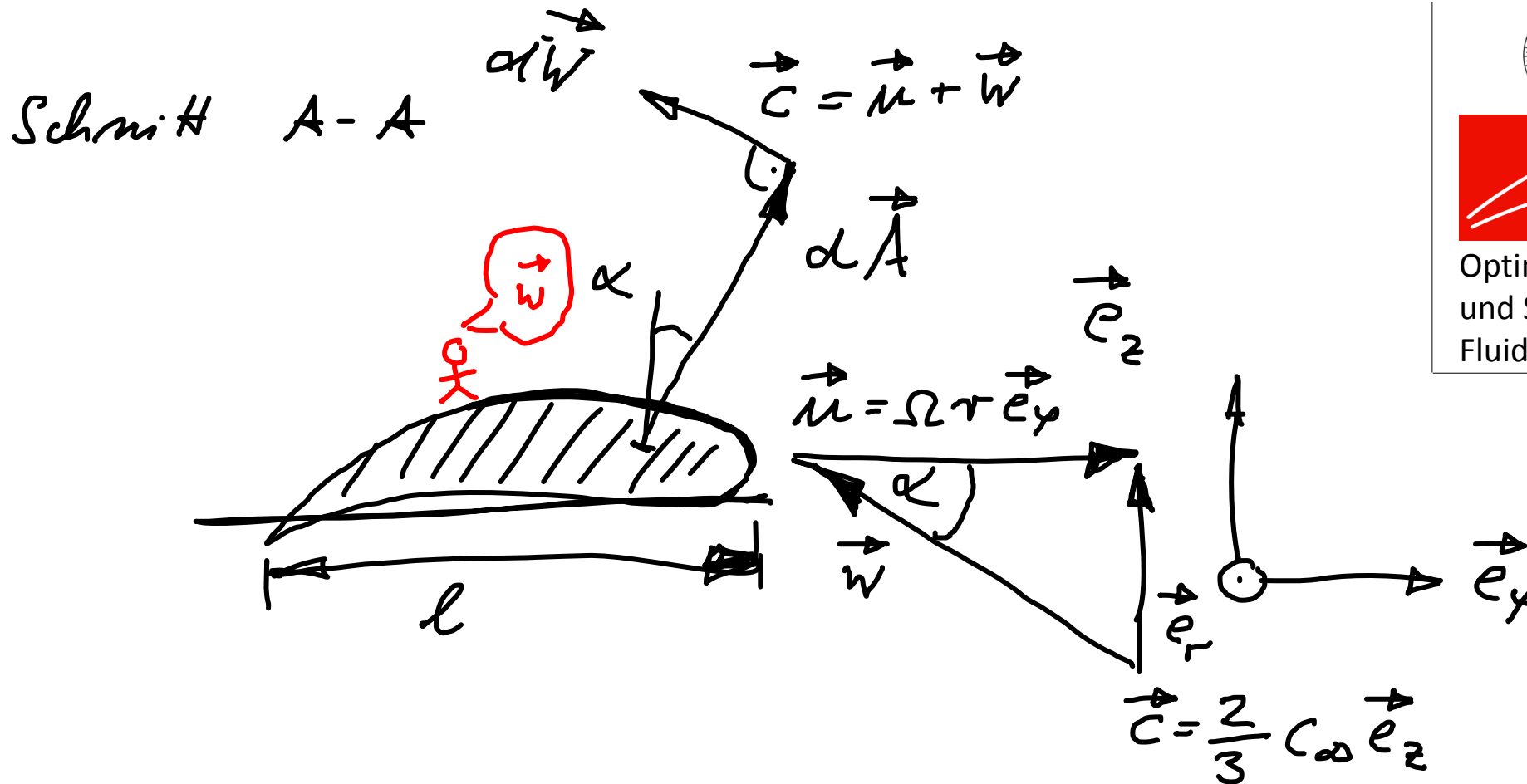


♀ Relativsystem
Relativgeschwindigkeit w

♀ Absolutsystem
Absolutgeschwindigkeit c

Geschwindigkeitsaddition

$$\vec{c} = \vec{w} + \vec{u}$$



l Profillänge (chord length)

α Anströmwinkel des Profils

$$\tan \alpha = \frac{2}{3} \frac{C_0}{\Omega r}$$



1. Hinweis (Achtung) bei Turbomaschinen und
Windturbinen werden unterschiedlich Größen fließ
behand.

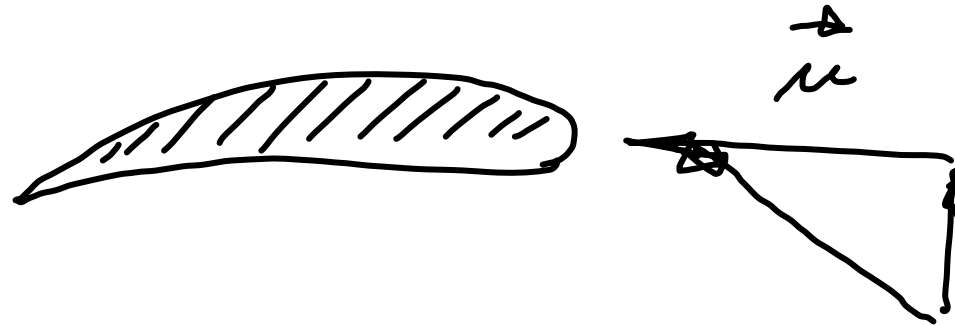
	Windturbinen	Turbinen
Schneidanzahl	$\lambda = \frac{\Omega R}{c_\infty}$	$\sigma = 2z (2gH)^{-\frac{3}{4}} v^{\frac{1}{2}} \pi^{\frac{1}{2}}$
Durchflusszahl		$\varphi = \frac{1}{\lambda}$

2. Hinweis

Bei Windturbinenblau

gilt

$$\vec{c} = \vec{w} + \vec{u} \quad \text{Turbo}$$



$$\vec{c} = \vec{w} - \vec{u} \quad \text{Wind}$$



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



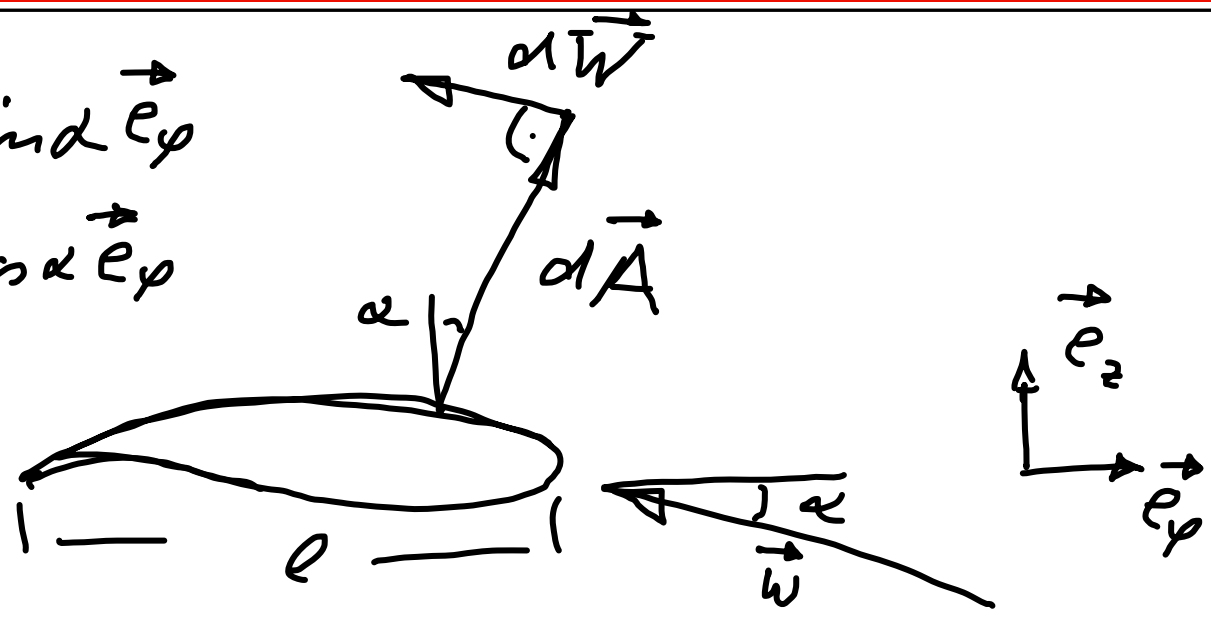
Optimierung
und Skalierung von
Fluidsystemen



$$\vec{e}_A = \cos \alpha \vec{e}_z + \sin \alpha \vec{e}_\varphi$$

$$\vec{e}_W = \sin \alpha \vec{e}_z - \cos \alpha \vec{e}_\varphi$$

Koordinatentransf.



$$d\vec{A} = dA \vec{e}_A$$

$$dA = \frac{\rho}{2} w^2 C_A (\alpha, Re, \dots) \underbrace{l dr}_{\text{Fläche.}}$$

$$d\vec{W} = dW \vec{e}_W$$

$$dW = \frac{\rho}{2} w^2 C_W (\alpha, Re, \dots) \underbrace{l dr}_{\text{Fläche.}}$$

C_A Auftriebsbeiwert; dimensionlos $\frac{N}{m^2}$.

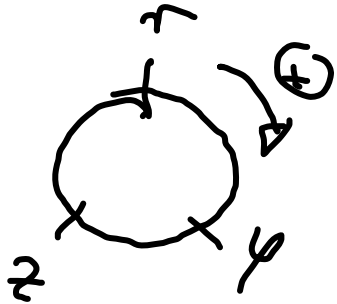
C_W Widerstandsbeiw.; " "



Moment bezüglich des $\vec{x} = 0$ $\vec{x} = r \vec{e}_r$

$$d\vec{M} = r \vec{e}_r \times (dA \vec{e}_A + dW \vec{e}_W)$$

$$= r \vec{e}_r \times \frac{\rho}{2} W^2 l dr \left(C_A \cos \alpha \vec{e}_z + C_A \sin \alpha \vec{e}_\varphi + C_W \sin \alpha \vec{e}_z - \cos \alpha \vec{e}_\varphi \right)$$



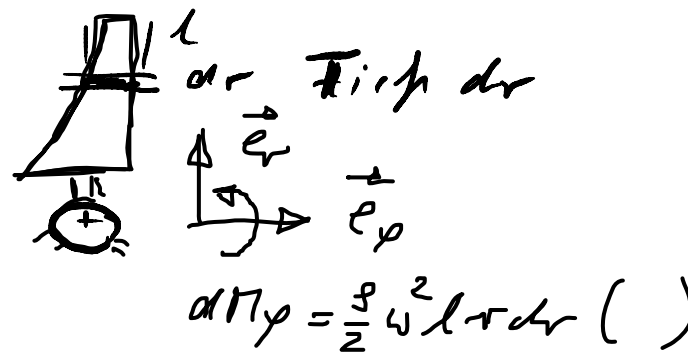
$$\frac{d\vec{M}}{\frac{\rho}{2} W^2 l r dr} = - C_A \cos \alpha \vec{e}_\varphi + C_A \sin \alpha \vec{e}_z - C_W \sin \alpha \vec{e}_\varphi - C_W \cos \alpha \vec{e}_z$$

$$= \underbrace{(C_A \sin \alpha - C_W \cos \alpha)}_{\text{Antrieb}} \vec{e}_z - \underbrace{(C_A \cos \alpha + C_W \sin \alpha)}_{\text{Biegung}} \vec{e}_\varphi$$



$$dP_{\Omega} = \vec{\Omega} \cdot d\vec{\Pi} \quad \color{red}{z}$$

$$= \Omega \vec{e}_z \cdot d\vec{\Pi} \quad \color{red}{z}$$



$$= \color{red}{z} \Omega \frac{\rho}{2} W^2 l r dr (C_A \sin \alpha - C_W \cos \alpha) \quad \text{Biegem}$$

Zweite Zugang zur Leistung über das Betz Gesetz.

$$dP_{\Omega} = \frac{\rho}{2} \underbrace{\approx \frac{16}{27}}_{C_p} C_D \underbrace{2\pi r dr}_{\text{durchschnittl. Fläche}}$$

" Ω " shaft Vollen Leistung, technische Arbeit

\approx aerodynamische Wirkungsgrad.

$\color{red}{z}$ Schaufelarbeit.



1. Zuerst über Betz unabhängig von Maschinenbau.

2. Modell der Maschine; Turbinmaschine mit wenig
Schankt + ND klassische Aerodynamik.

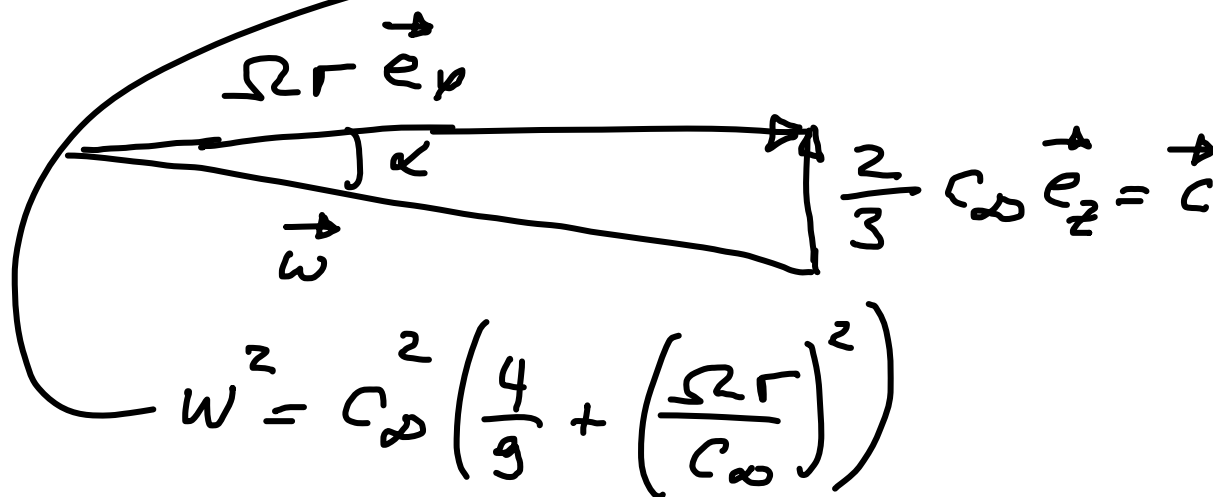
$$\cancel{\frac{P}{L}} \frac{16}{27} \cancel{\eta} \cancel{c_\infty} \cancel{2\pi r dr} = \cancel{2} \cancel{\Omega} \cancel{\frac{P}{2}} \cancel{\omega^2} \cancel{r dr} l (c_A \sin \alpha - c_w \cos \alpha)$$



Betz



aerodynamisches Modell.

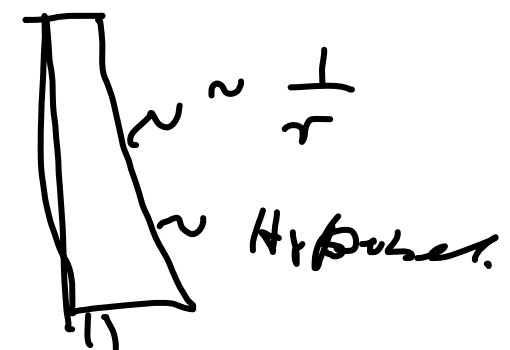




$$\frac{16}{27} \approx c_{\infty} 2\pi = z \Omega l \left(\frac{\Omega r}{c_{\infty}} \right)^2 \left[\frac{4}{3} \left(\frac{c_{\infty}}{\Omega r} \right)^2 + 1 \right] *$$

$$* \left[c_A \tan \alpha - c_w \right] \cos \alpha$$

$$\tan \alpha = \frac{2}{3} \frac{c_{\infty}}{\Omega r} \approx \frac{1}{r}$$



$$\frac{l}{c_{\infty}/\Omega} = \frac{1}{z} \frac{\rho}{3} \pi \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 \alpha + 1} \frac{1}{c_A(\alpha) \tan \alpha - c_w(\alpha)} \frac{1}{\cos \alpha}$$

Exzel plotte. Bd. NotGs.

Zum Auftriebsbeiwert und zum
Widerstandsbeiwert von Profilen.

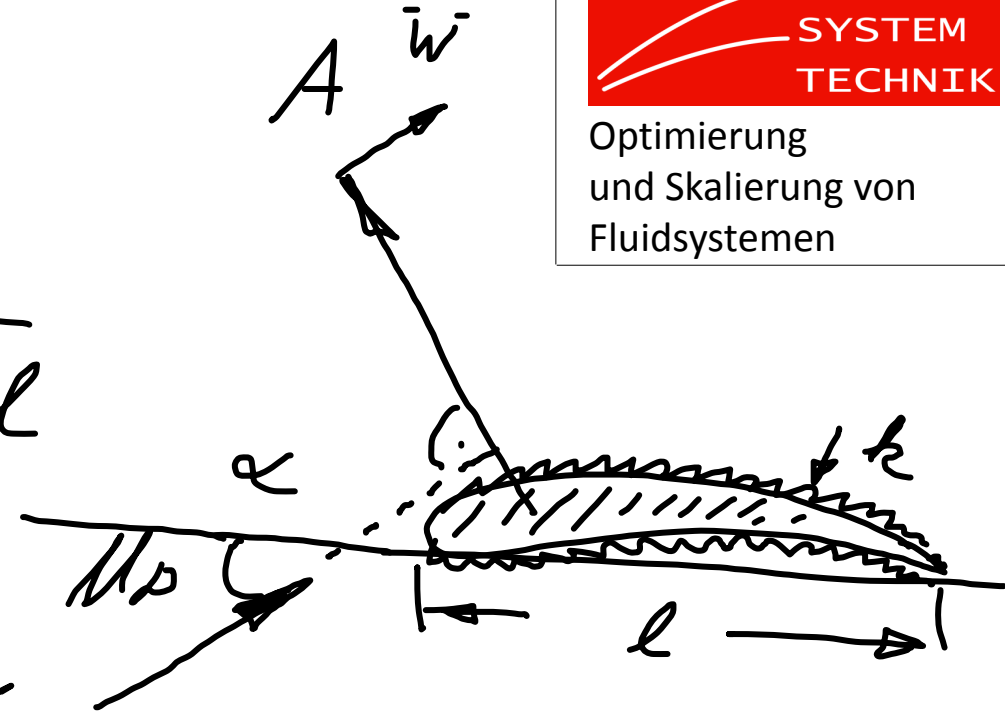
$$C_A(\alpha, Re, k/l, \dots) := \frac{A}{\frac{\rho}{2} U_0^2 l}$$

$$C_W(\alpha, Re, k/l, \dots) := \frac{W}{\frac{\rho}{2} U_0^2 l}$$

Reynoldszahl $Re = \frac{U_0 l}{\nu}$

relativer Rauheitswert k/l

A, W Kräfte pro
Tiefeneinheit.





$C_A(\alpha)$ muss ~~eine gerade~~ eine
ungerade Funktion des Anstellwinkels
sein. ?

$C_U(\alpha)$ muss eine gerade Funktion
des Anstellwinkels sein. ?

→ Taylorentwicklung von $C_A(\alpha)$

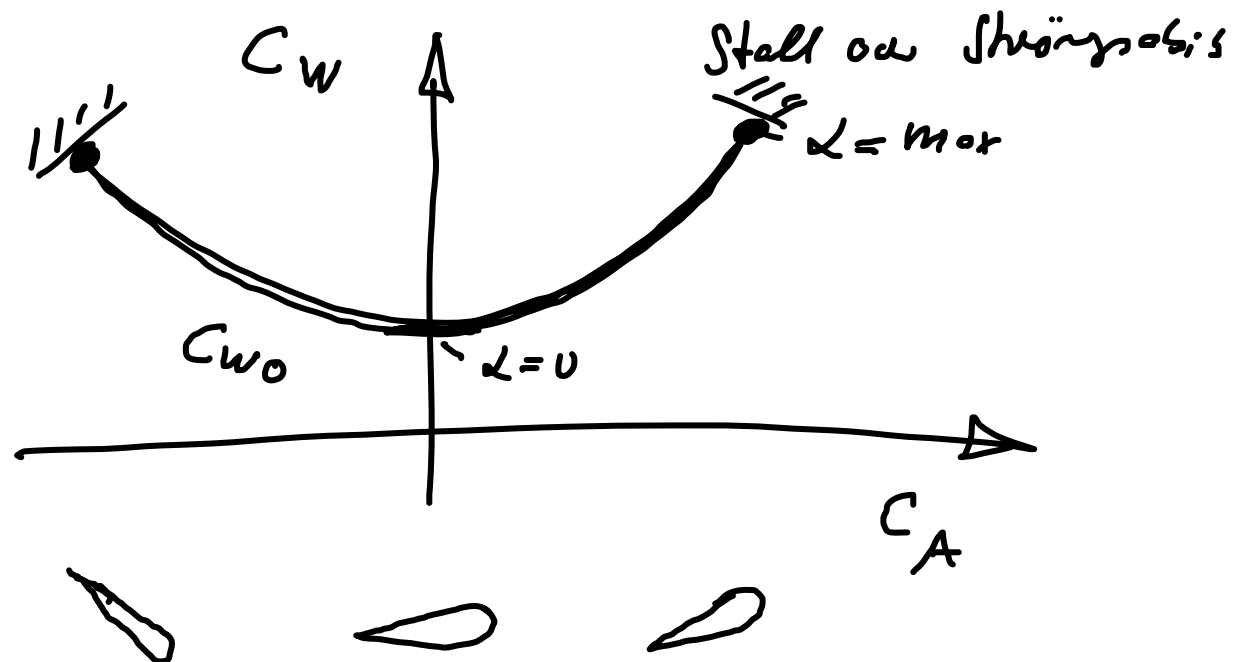
$$C_A(\alpha) = \underline{C_{A1}} \alpha + C_{A3} \alpha^3 + \dots$$

$$C_U(\alpha) = \underline{C_{U0}} + C_{U2} \alpha^2 + C_{U4} \alpha^4$$



$$C_A(\alpha), C_U(\alpha) \rightarrow C_A(C_W), C_W(C_A)$$

Polare des Profils



$C_A(\alpha)$ $C_W(\alpha)$ $C_W(C_A)$

findet man in Profilkataloge.

Theory of Wing sections.

Merkmale von speziellen Profilsformen.

Profilkataloge im Internet.



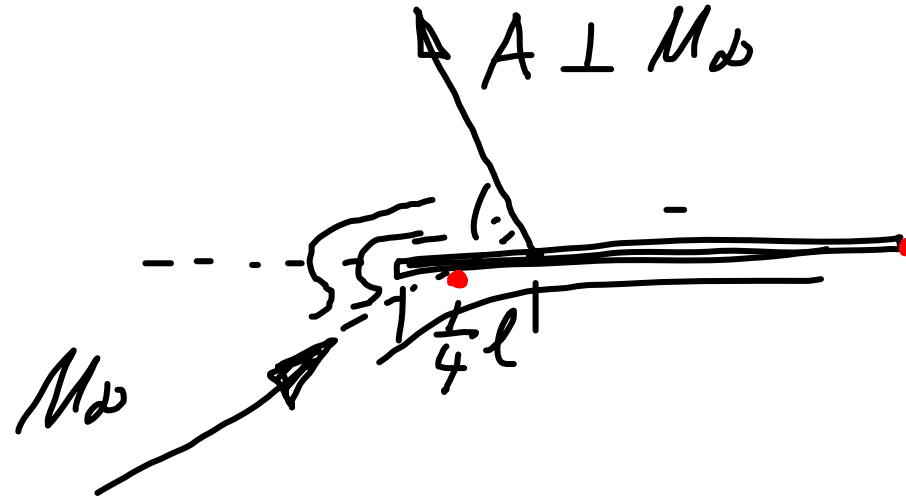
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Optimierung
und Skalierung von
Fluidsystemen

Traditionelle Profile

ebene Platte



$$C_A = 2\pi \sin \alpha \approx 2\pi \alpha$$



Singularität

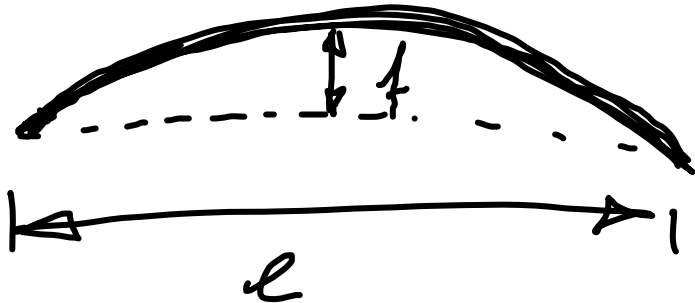
$$P \rightarrow \infty$$



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Optimierung
und Skalierung von
Fluidsystemen



$$C_A = 2\pi \left(\alpha + 2 \frac{t}{l} \right)$$

Mehrere Zugänge, um Antriebsbeiwert und Polaris zu bestimmen.

① Messung im Windkanal $C_A(\alpha, Re, \dots)$ $C_U(\alpha, Re, \dots)$

② Potentialtheorie $\rightarrow C_A(\alpha)$
+ Grenzschichttheorie $C_U(\alpha, Re)$

③ Numerische Feldmethode \rightarrow CFD



Joukowski Profile folgen aus der
Zylinderumströmung über eine Konforme
Abbildung.

