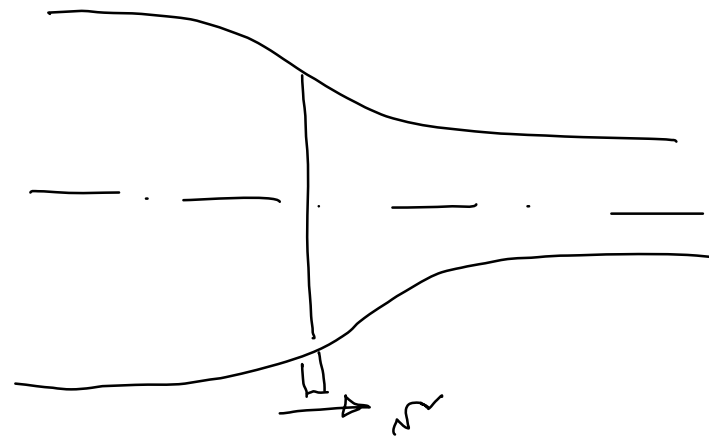
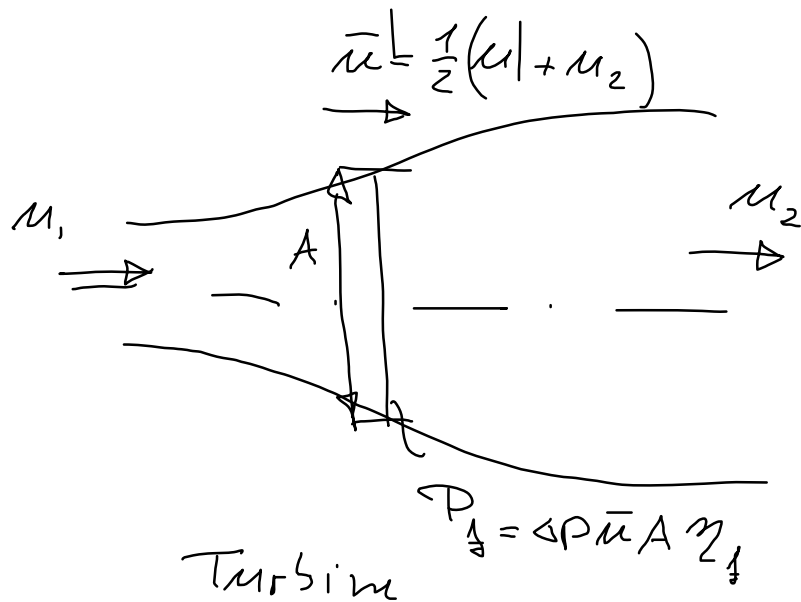


Windkraftmaschine.

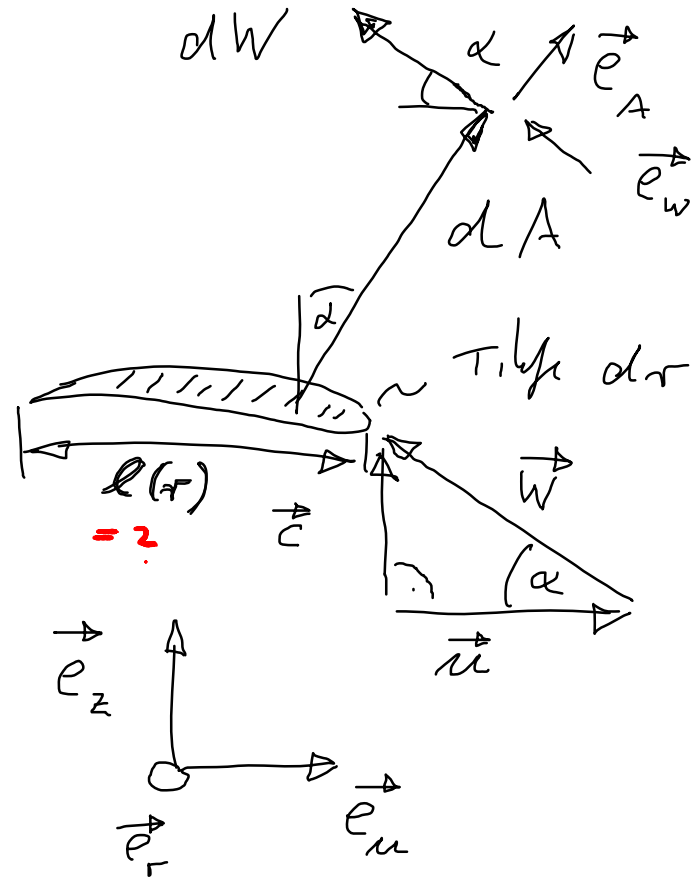
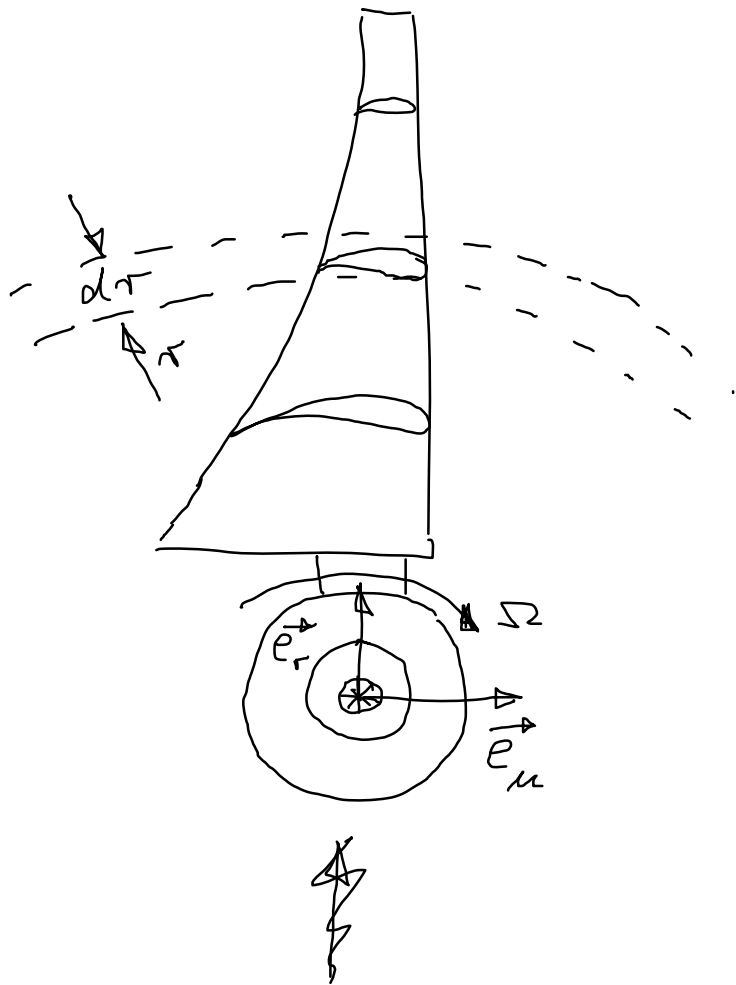
Windturbinen = Gebläse & Axialmaschine.



Propeller
Arbeitsmaschine.

Allgemein Betz: $\left(\frac{u_2}{u_1}\right)_{opt} = \frac{1}{3}$ } $\frac{P_{\frac{1}{2}}}{\frac{\rho}{2} u_1^3 A} = \lambda \eta$
 $\Rightarrow \left(\frac{\bar{u}}{u_1}\right)_{opt} = \frac{2}{3}$

$\lambda_{max} = \frac{16}{27} = 0.59 \underline{\underline{Betz}}$



$$\vec{c} = c \vec{e}_z \stackrel{\text{opt}}{=} \frac{2}{3} c_\omega \vec{e}_z$$

$$\vec{u} = \Omega r \vec{e}_\phi$$

$$\leadsto W^2 = \frac{4}{9} c_\omega^2 + (\Omega r)^2 = c_\omega^2 \left[\frac{4}{9} + \left(\frac{\Omega r}{c_\omega} \right)^2 \right]$$

$$dA = \frac{\rho}{2} W^2 c_A(\alpha) l dr$$

$$dW = \frac{\rho}{2} W^2 c_w(\alpha) l dr$$

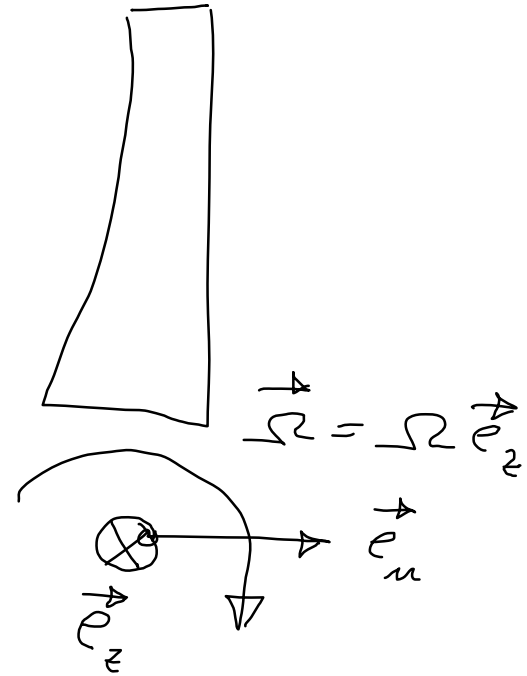
Moment auf der Schaufel

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

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

$$\vec{e}_w = \sin \alpha \vec{e}_z - \cos \alpha \vec{e}_u$$

$$d\vec{M} = \underbrace{-r dA \cos \alpha \vec{e}_u}_{\text{Biegemoment}} + \underbrace{r dA \sin \alpha \vec{e}_z}_{\text{Zugmoment}} - \underbrace{r dW \sin \alpha \vec{e}_u}_{\text{Zugmoment}} + \underbrace{r dW \cos \alpha \vec{e}_z}_{\text{Zugmoment}}$$



$$dP_{\frac{1}{2}} = \vec{\Omega} \cdot d\vec{M} = \tau \Omega \ell \omega^2 \frac{\rho}{2} \left[c_A(\alpha) \sin \alpha + c_w(\alpha) \cos \alpha \right] dr \quad (1)$$

ausf. der anderen Seite

$$dP_{\frac{1}{2}} = \eta_{\frac{1}{2}} \lambda \frac{\rho}{2} c_{\infty}^3 2\pi r dr \quad (2)$$

$$(1) = (2) \quad \eta_{\frac{1}{2}} \lambda \frac{\rho}{2} c_{\infty}^3 2\pi r dr = \tau \Omega \ell \omega^2 \frac{\rho}{2} \left[c_A(\alpha) \sin \alpha + c_w(\alpha) \cos \alpha \right] dr$$

Im energetisch Optimum

14.07.2009 mod
Bretz

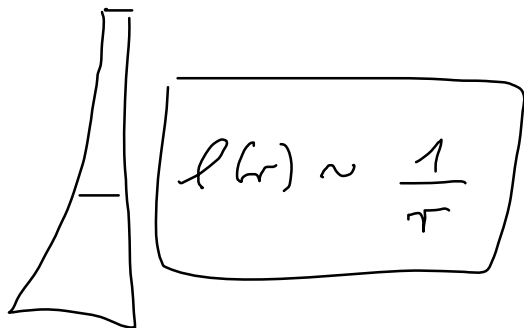
$$\lambda_{\text{opt}} = \frac{16}{27}$$

$$\omega_{\text{opt}}^2 = c_{\infty}^2 \left[\frac{4}{9} + \left(\frac{\Omega r}{c_{\infty}} \right)^2 \right], \quad \eta_{\frac{1}{2}} = 1$$

$$\frac{16}{27} C_\infty 2\pi = \frac{\Omega}{\Omega} l \cancel{C_\infty^2} \left[\frac{4}{9} + \left(\frac{(\Omega r)}{C_\infty} \right)^2 \right] [C_A \sin \alpha - C_w \cos \alpha]$$

$$\sim \frac{l(r)}{C_\infty / \Omega} = \left(\frac{2}{3} \right)^5 \frac{\sqrt{g}^2 \alpha}{1 + \sqrt{g}^2 \alpha} \frac{1}{C_A(\alpha) \sin \alpha} \sqrt{g} \alpha$$

$$\frac{l}{C_\infty / \Omega} = \frac{16}{27} 2\pi \left[\frac{4}{9} + \frac{4}{9} \sqrt{g}^{-2} \alpha \right]^{-1} \left[\right]^{-1}$$

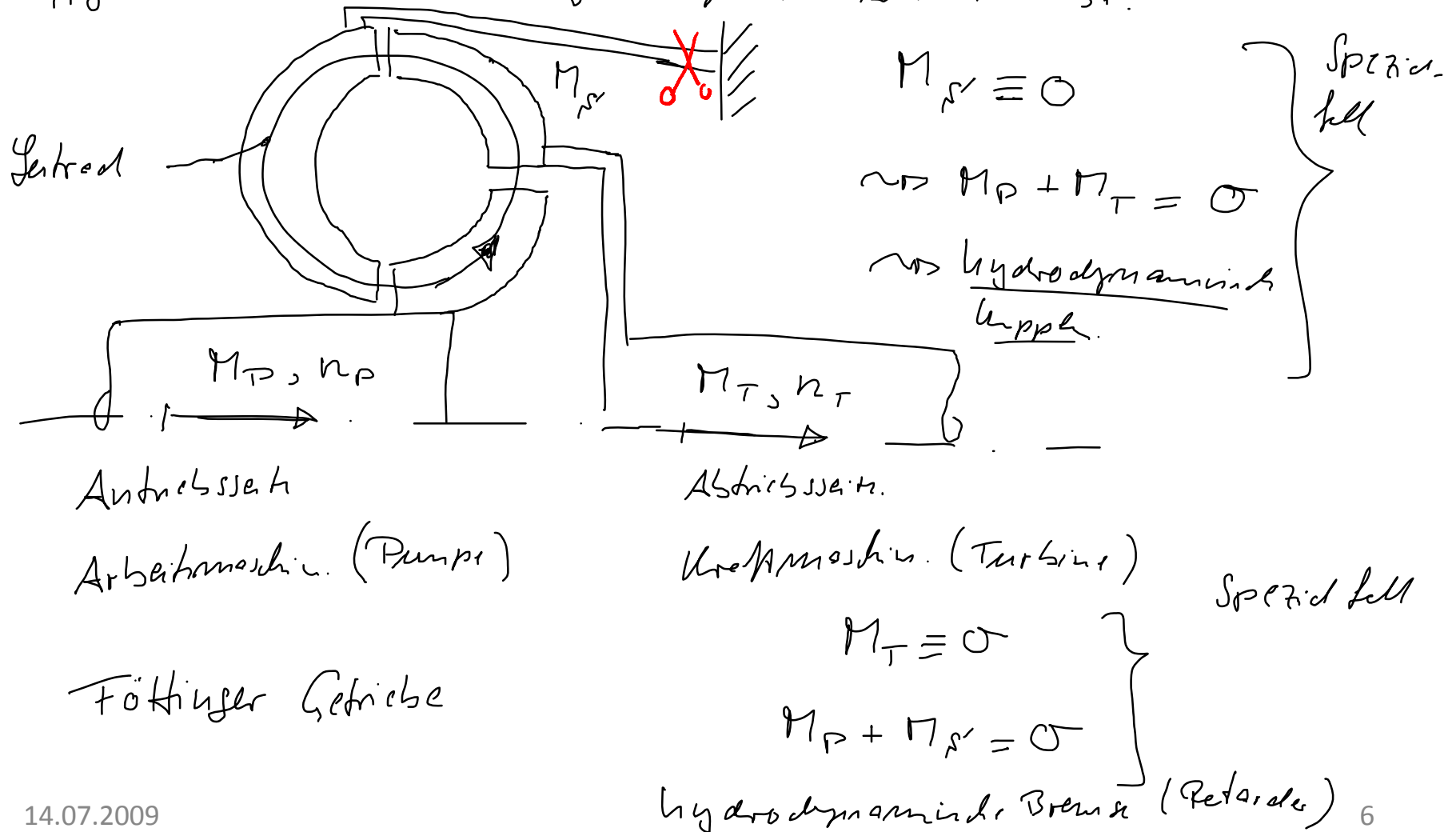


$$\sqrt{g} \alpha := \frac{2}{3} \frac{C_\infty}{\Omega r}$$

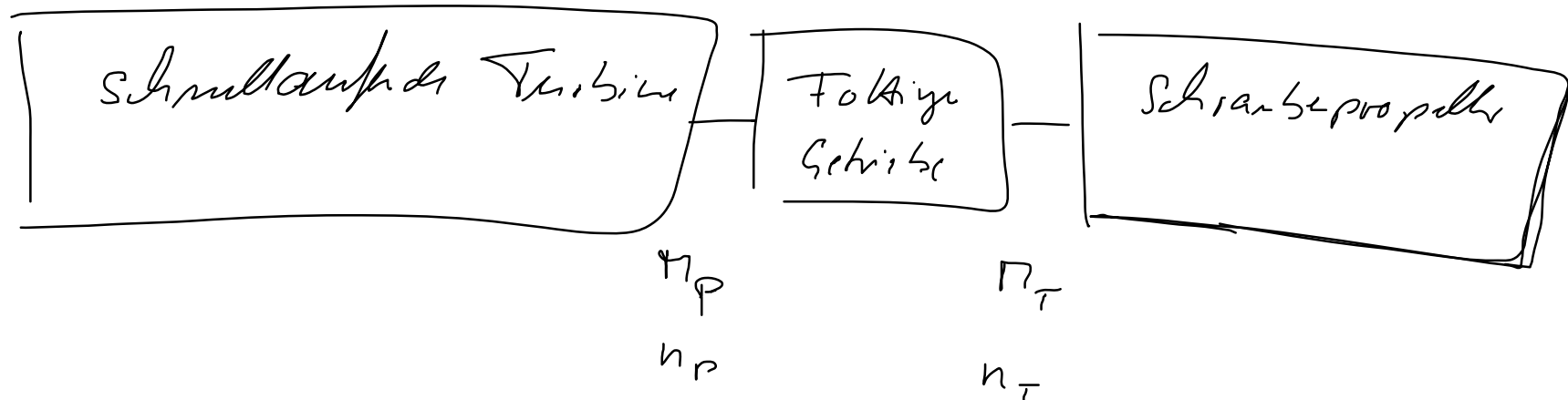
$$\alpha = \alpha(r)$$

Kopplung von Arbeitsmaschine und Kraftmaschine

Hydrostatische und hydrodynamische Getriebe



Erste Anwendung



Wichtige Anwendungen für hydrodynamisch Getriebe

- Dieseldieselmotoren Lokomotiven usw
- Jede große Dampfmaschine wird beim Anfahren über Folgende Getriebe angetrieben.
- Windkraftmaschine.
- Automatisch getriebene DAW ($M_f < \text{im Vergleich zur mechanischen Leistung}$)

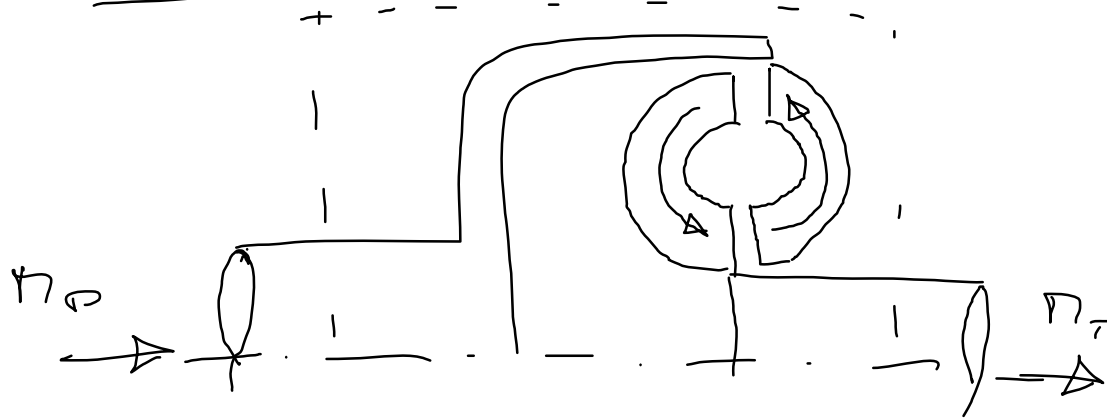
Vorteile / Nachteile im Vergleich zu niedrigeren Schritten

⊕ $\frac{n_T}{n_P}$ große Drehzahlverhältnisse.

⊕ Schwingenprobleme.

⊖ Energieeffizienz

Kuppelung



$$M_P + M_T = 0 \quad \text{Drehmoment}$$

$$n \Omega_P M_P + \Omega_T M_T = P_v \quad \text{Verlustleistung in der}$$

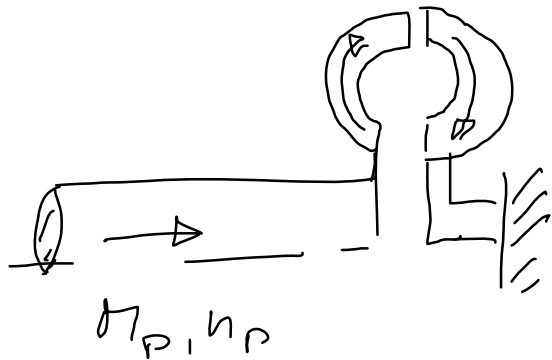
Energiegl. Nebenw. infolge Stoßverlust.

~~Schlupf~~ $\nu = \frac{\Omega_T}{\Omega_P} = \frac{n_T}{n_P} \quad \text{Drehzahlverh.}$

$$s := 1 - \nu \quad \text{Schlupf.}$$

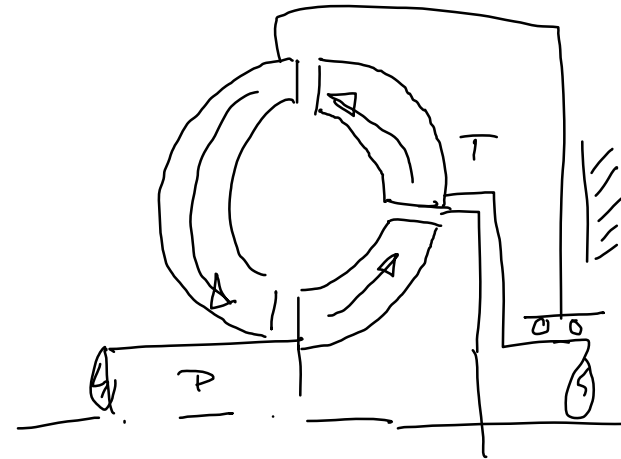
Retarder (Bremsen)

Omnibus
Motor per Motor



$$M_P \Omega_P = P_V$$

Getriebe



mit Freilauf +
Kupplung gegen das Inertialsystem

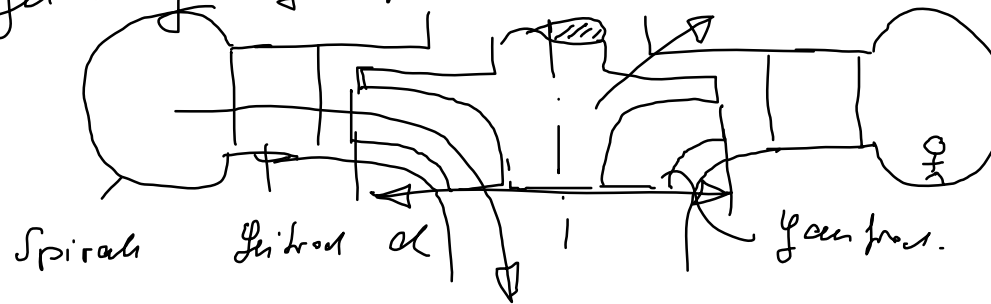
Tn Lockgetriebe

PKW-Anwendung

Ähnlichkeitstheorie, Modelltheorie

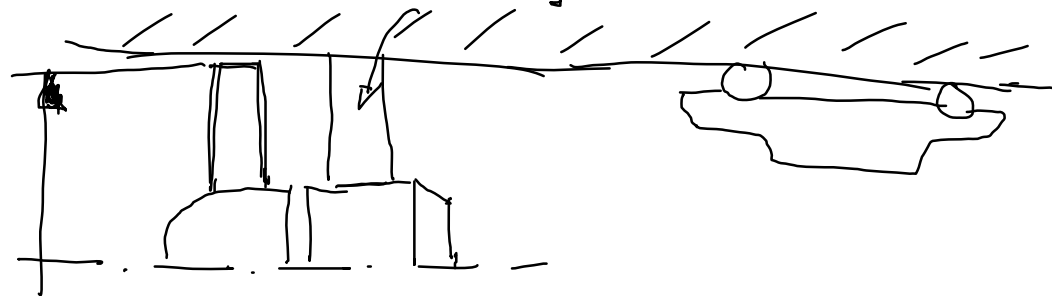
z.B. Francismaschine für ein Wasserkraftwerk $P = 230 \text{ MW}$

Großausführung Laufraddurchmesser d



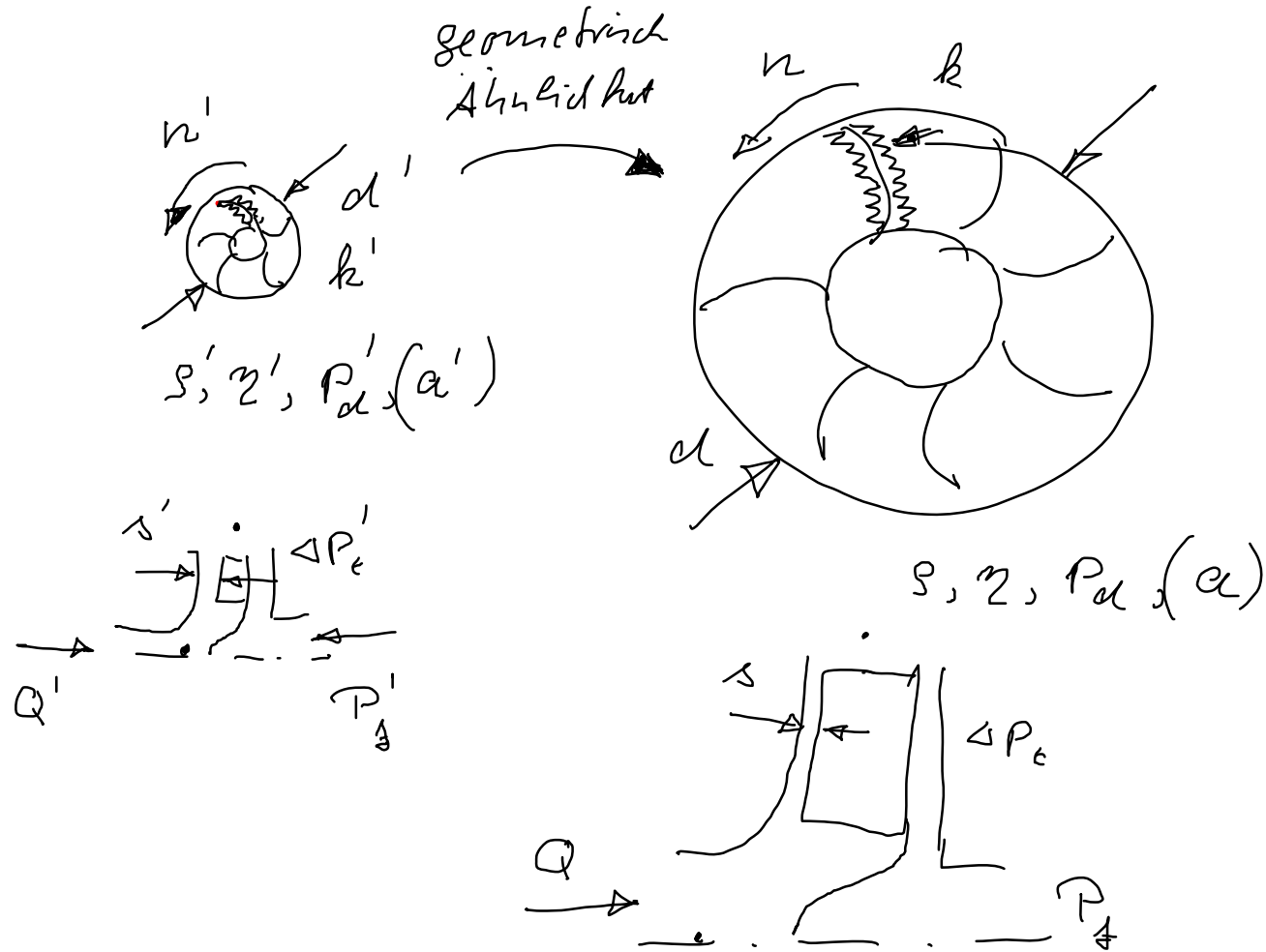
z.B. Hoverschneidmühl

z.B. Großventilator für einen Windkraft P



Modellversuche $d' = \mathcal{H} d$

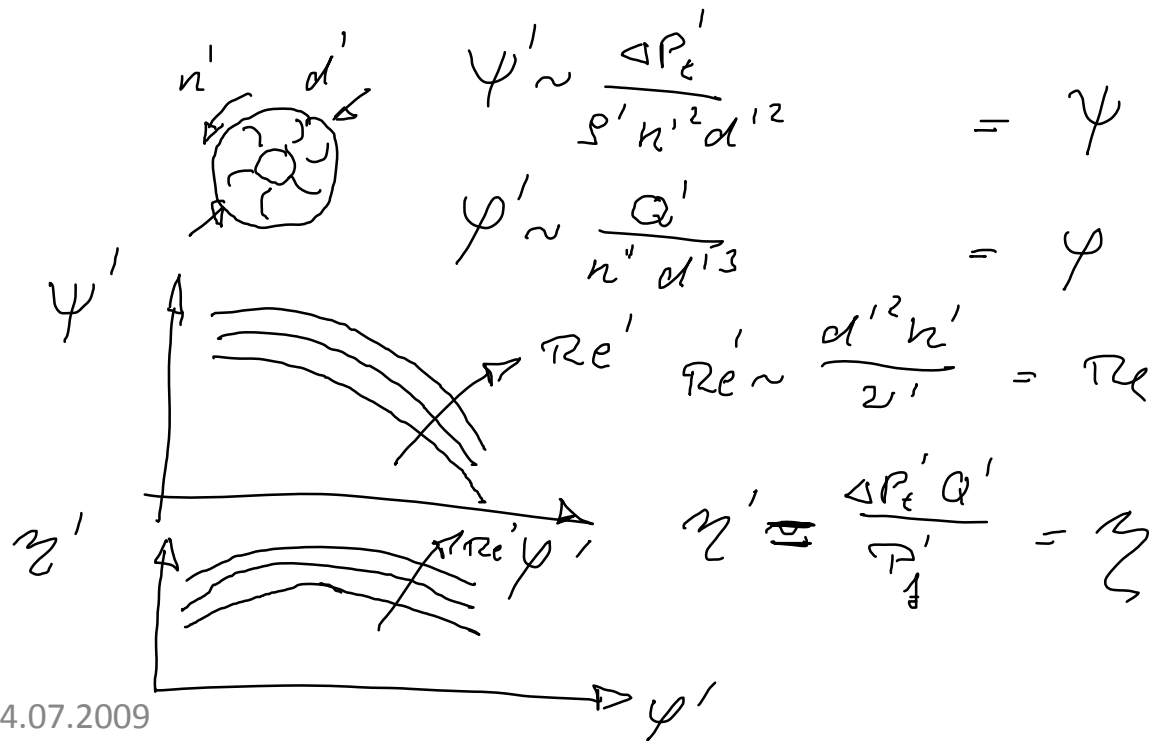
\mathcal{H} geometrische Maßstabsfaktor.



I. d. R. ist eine geometrische Ähnlichkeit in der Raumzeit
nicht möglich.

~~h~~ $\frac{h}{d} < \frac{h'}{d'}$ relativ Raumzeit.

$\frac{s}{d} < \frac{s'}{d'}$ relativ Spalt.
vollständige Ähnlichkeit



Vollständige Ähnlichkeit liegt dann vor, wenn die dimensionslosen Produkte im Modell und der Größenausführung gleich sind.

$$\frac{d'}{d} = \mathcal{K} := M_d \quad \text{Vorgeben}$$

$$\frac{\Delta P'_t}{\Delta P_t} := M_p$$

$$\frac{Q'}{Q} = M_q$$

} Ziel ist die Bestimmung der Maßstabfaktoren.

$$\frac{\eta'}{\eta} = M_\eta$$

$$\frac{\rho'}{\rho} = M_\rho$$

$$\frac{a'}{a} = M_a$$

$$\frac{P_d'}{P_d} = M_{P_d}$$

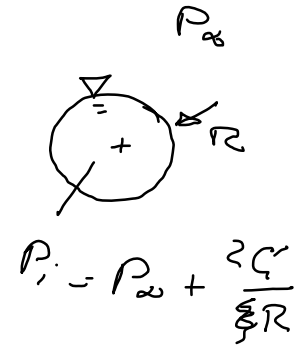
Maßstabfaktoren für das Flüssigkeit.

i. d. R. $M_\eta = M_\rho = M_a = M_{P_d} = 1$

Anm: Bei freier Oberfläche ist g Maßgebend.

$$M_g = 1$$

Bei Grenzfall ist die Kapillarleitfähigkeit C



$$\begin{aligned} \eta' &= \eta' \left(\varphi', R_e', \frac{h'}{d'}, \frac{s'}{d'}, \frac{\alpha'}{n'd'}, \dots \right) \\ &\quad \parallel \quad \parallel \quad \parallel \quad \parallel \quad \underbrace{\hspace{2cm}}_{M'} \\ &= \eta \left(\varphi, r_e, \frac{h^*}{d}, \frac{s}{d}, \Pi \right) \text{ wenn} \end{aligned}$$

$$\varphi' \stackrel{!}{=} \varphi \quad \rightsquigarrow \quad \frac{Q'}{n'd'^3} \stackrel{!}{=} \frac{Q}{nd^3} \quad \rightsquigarrow \quad \frac{M_a}{M_n M_d^3} \stackrel{!}{=} 1$$

$\psi' \neq \psi$

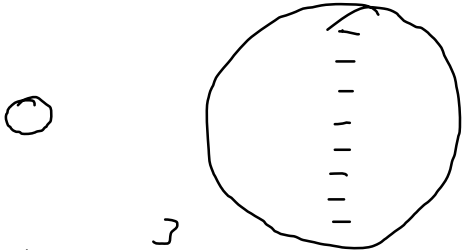
$$Re' = Re \leadsto \frac{n' d'^2}{\nu'} = \frac{n d^2}{\nu} \leadsto \frac{M_n M_d^2}{M_\nu} = 1$$

Bei gleicher Flüssigkeit im Modell und der
Größenausführung $M_\nu = 1$

$$\leadsto M_n = M_d^{-2}$$

$$\frac{n'}{n} = \mathcal{H}^{-2}$$

Beispiel $\mathcal{H} = 0.1$



$$\varphi' = \varphi \leadsto M_\varphi = M_n M_d^3 = \mathcal{H}^{-2} \mathcal{H}^3 = \mathcal{H}$$
$$\leadsto n' = \mathcal{H}^{-2} n = 100 n$$

Maßstabfaktor für die Distanze

$$\psi' = \psi \quad \leadsto \quad \frac{M_p}{M_g M_n^2 M_d^2} = 1$$

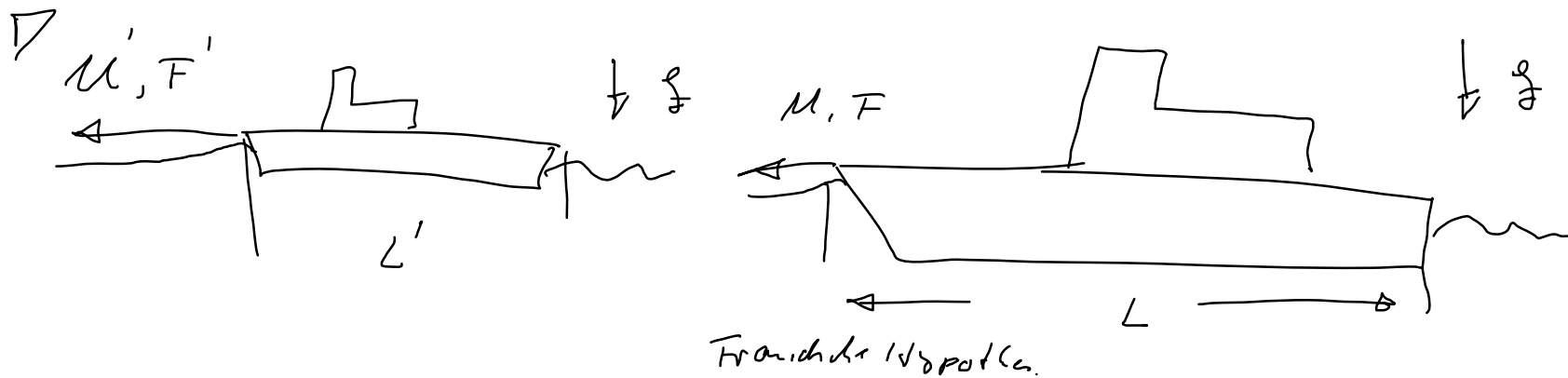
$$\begin{aligned} \leadsto M_p &= M_n^2 M_d^2, \text{ da } M_g = 1 \\ &= \mathcal{H}^{-4} \mathcal{H}^2 = \mathcal{H}^{-2} \end{aligned} \quad \text{☹}$$

$$M_{P_{\frac{1}{4}}} = M_p M_d = \mathcal{H}^{-2} \mathcal{H} = \mathcal{H}^{-1} \quad \text{☹} \quad \text{☹}$$

Theoretisch ist eine vollständige Ähnlichkeit möglich,
praktisch ist die Ähnlichkeit unmöglich!

Lösung: Aufgabe der Reynoldszahlähnlichkeit.

→ zusätzliche Freilast bei der Vorkl. eine
Maßstabfunktion. $M_p = 1$



$$\frac{\overline{F}}{\frac{\rho'}{2} U'^2 L'^2} = C_W(Re', Fr') = C_{W_{\text{Wdh}}}(Fr') + C_{\text{Reib}}(Re')$$

$$Re' < Re$$

$$Fr' := \frac{\sqrt{g' L'}}{U'}$$



dann folgt dass.

$$M_n = \mathcal{H}^{-1}$$

$$M_Q = \mathcal{H}^2$$

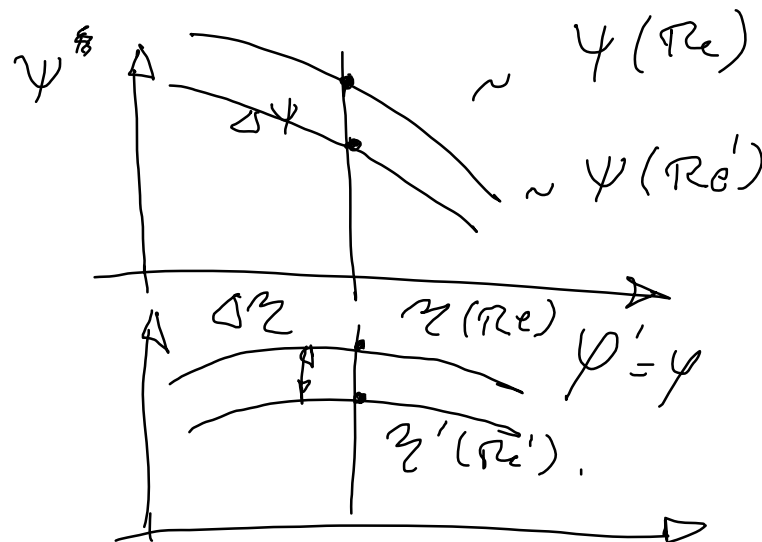
$$M_{Re} = \mathcal{H}$$

$$\psi' = \psi$$

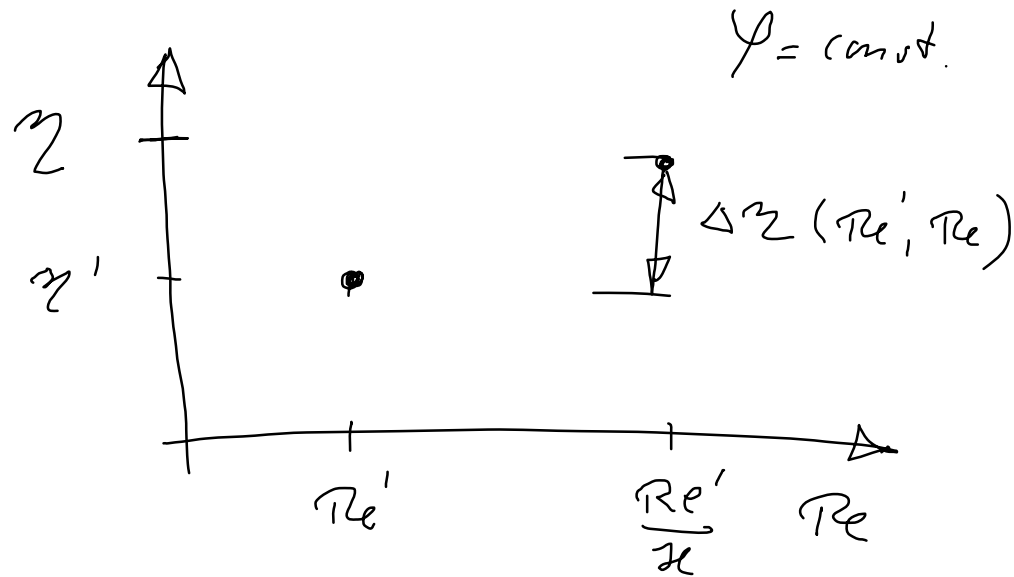
$$Re' < Re$$

Reynoldszahl im Modell ist kleiner als die
Reynoldszahl in der Großartikl.

Modell



Aufwertung ist eine physikalisch motivierte
Extrapolation



Definition der Wirkungsgrad. für eine Arbeitsmaschine.

$$\eta := \frac{\Delta P_e Q}{P_A} = \frac{\Delta P_{e, \text{ideal}} Q - \Delta P_v Q}{P_A} = 1 - \frac{\Delta P_v Q}{P_A}$$

$$1 - \eta = \frac{\Delta P_v Q}{P_A} \quad , \quad 1 - \eta' = \frac{\Delta P_v' Q'}{P_A'}$$

Durchmesser = identisch Durchmesser. - Durchmesser.

$$\Delta P_{ideal} - \Delta P_v$$

$$\Delta P_v = \lambda \left(Re, \frac{k}{d} \right) \frac{\rho}{2} (v \alpha)^2 \frac{l}{d}$$

$$\sim \lambda \left(Re, \frac{k}{d} \right)$$

$$\frac{1 - \eta}{1 - \eta'} = \frac{\lambda \left(Re, \frac{k}{d} \right)}{\lambda \left(Re', \frac{k'}{d'} \right)} = \left(\frac{Re'}{Re} \right)^{\frac{1}{4}}$$

Anfangswert gleich
von Pfeil über.

$\lambda \sim Re^{-\frac{1}{4}}$ Blasiusgesetz für hydraulisch glatte
turbulente Strömung.

$$\frac{\zeta(\infty, \varphi) - \zeta(\tau_e, \varphi)}{\zeta(\infty, \varphi) - \zeta'(\tau_e', \varphi)} = \left(\frac{\tau_e'}{\tau_e} \right)^{\kappa}$$

α , $\zeta(\infty, \varphi)$ sind Anpassungsparameter,
die Modell gewonnen wird. $\infty \hat{=} \tau_e \rightarrow \infty$

