

Volumenspezifische Skalierung am Beispiel Wasserkraft



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

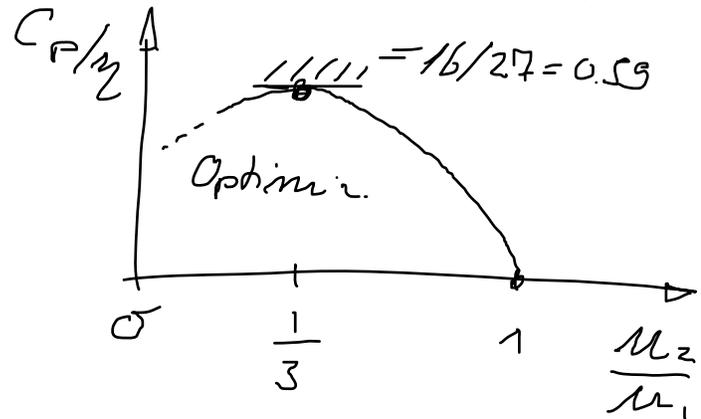


Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Wintersemester 2011/12
Optimierung und Skalierung
von Fluidsystemen
Vorlesung 10



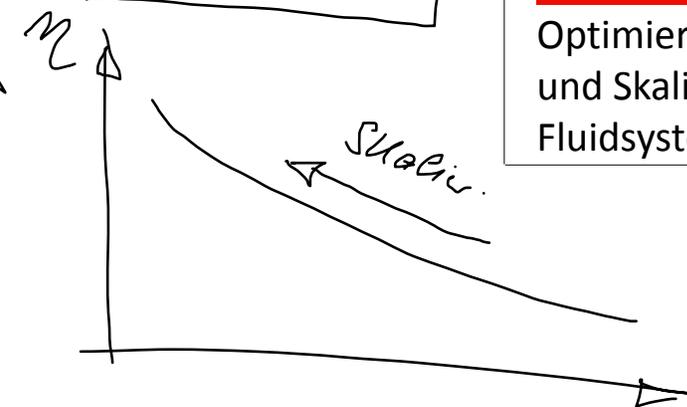
Optimierung und Skalierung

Windkraft



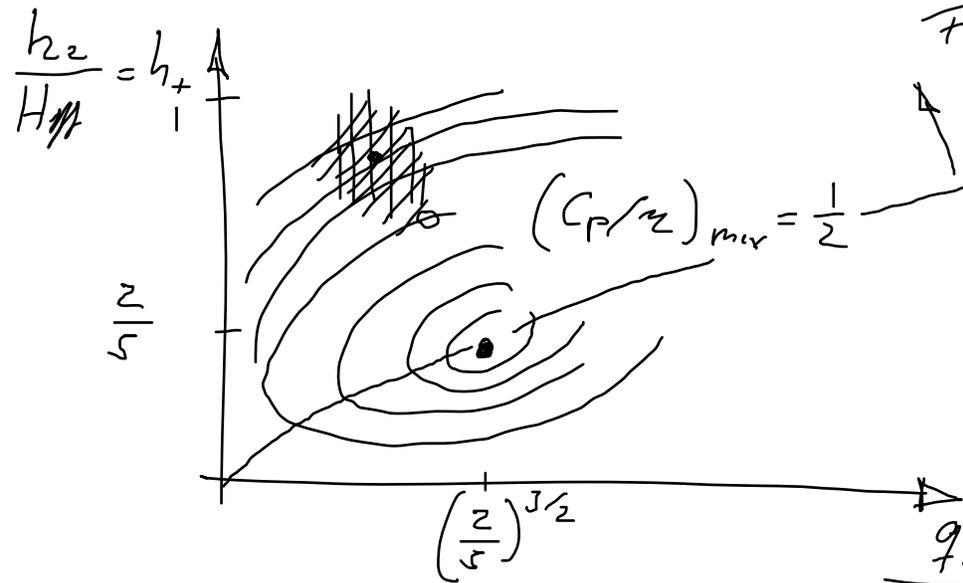
$$E = 1 - \alpha^2$$

$$\frac{dE}{E} = \frac{dC_w}{C_w}$$



$$C_f(Re, k/l) + C_A^2$$

Wasserkraft



$Fr_2 < 1$
 $Fr_2 = 1$
 $Fr_2 > 1$

dimensionlose Wiederholung

Heute Maschinenansicht über das Coriolis-Diagramm

$$\frac{q_2}{g^{1/2} H_{eff}^{3/2}} = q_+$$

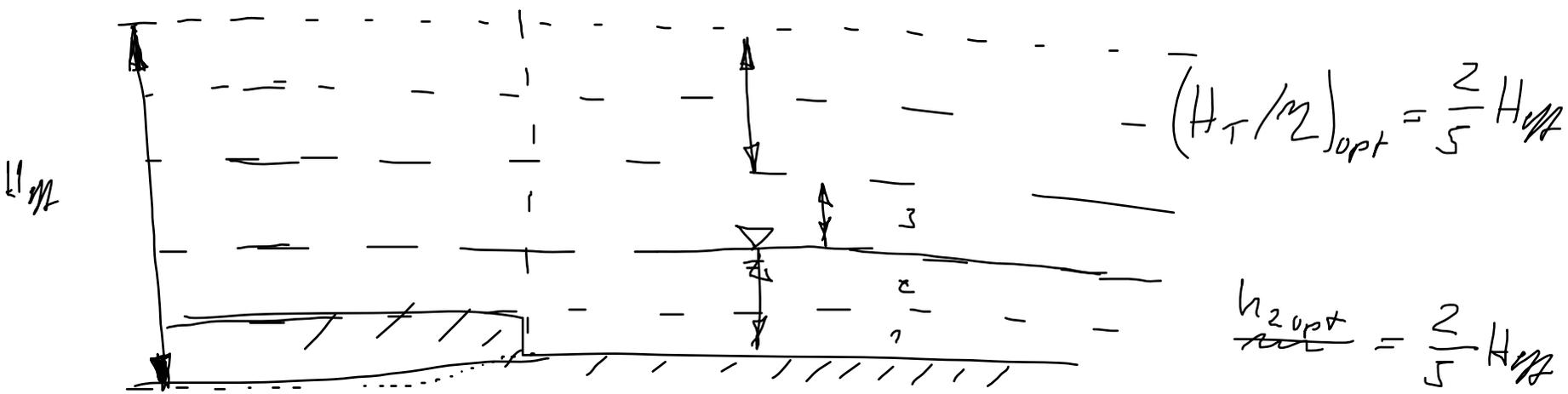


Fig. J

$$Fr_{2opt} = 1 = \frac{u_2}{\sqrt{g h_2}} = \frac{q_2 / h_2}{\sqrt{g h_2}}$$

$$Q_{2opt} = \left(\frac{2}{5}\right)^{3/2} g^{1/2} H_m^{3/2} b$$

b ist die Breite des Gewässers

$$H_{T2opt} = \frac{2}{5} H_m$$

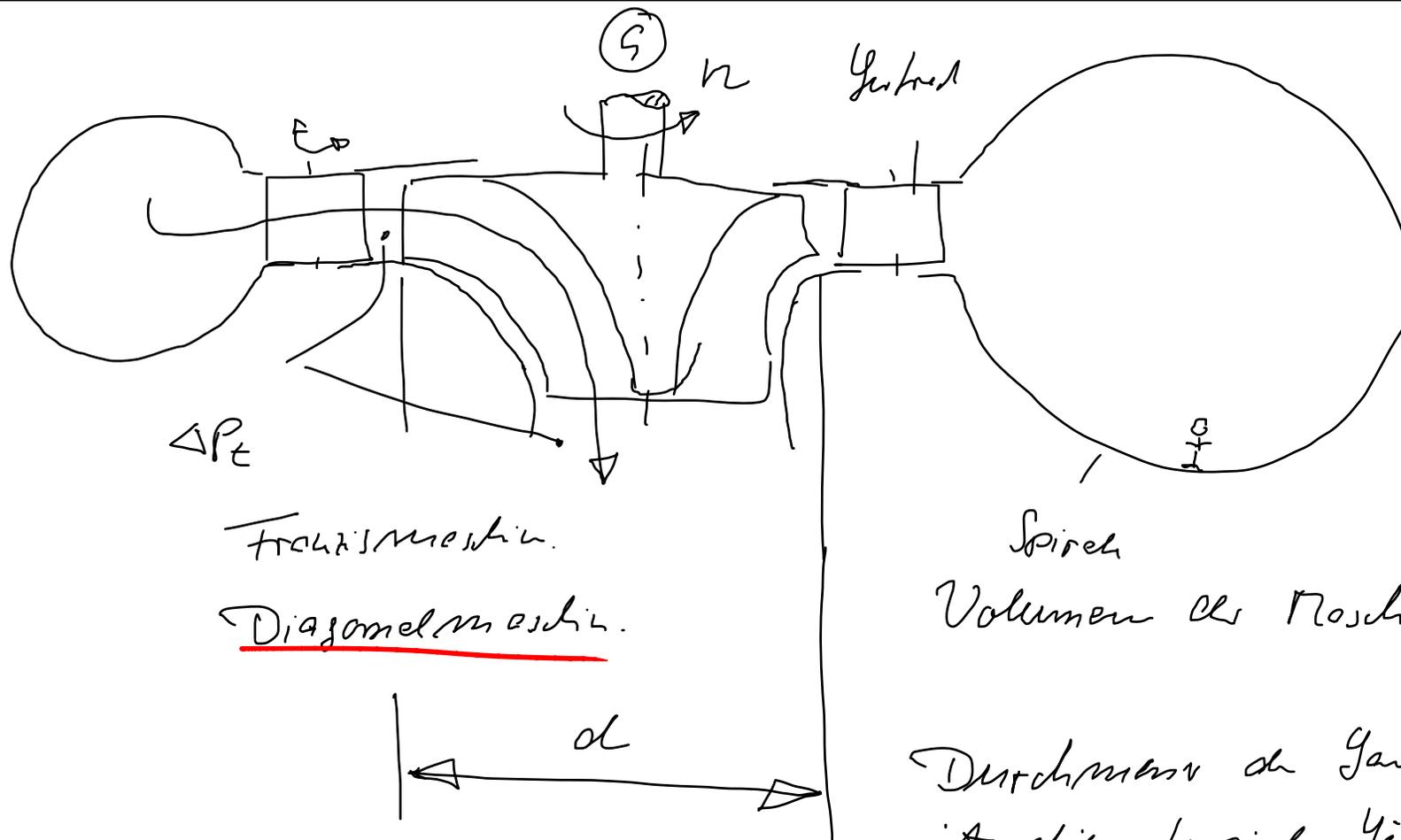


D. L. Volumenstrom und das
Gefälle (Druckdifferenz $\Delta P_e = H_T \rho g$)
sind für den optimalen Betrieb bekannt!

Frage: Welche Maschine ist hierfür ^uoptimal?

^uOptimal $\left\{ \begin{array}{l} = \text{leistungsspezifischen Investitionskosten klein!} \\ \text{Investkost. } \propto \text{Volumen der Masch.} \\ = \text{volumenspezifische Leistung soll groß sein.} \end{array} \right.$

2. Robust
3. Fehldurchgängig.



Frachtmaschine.

Diagonelmaschine.

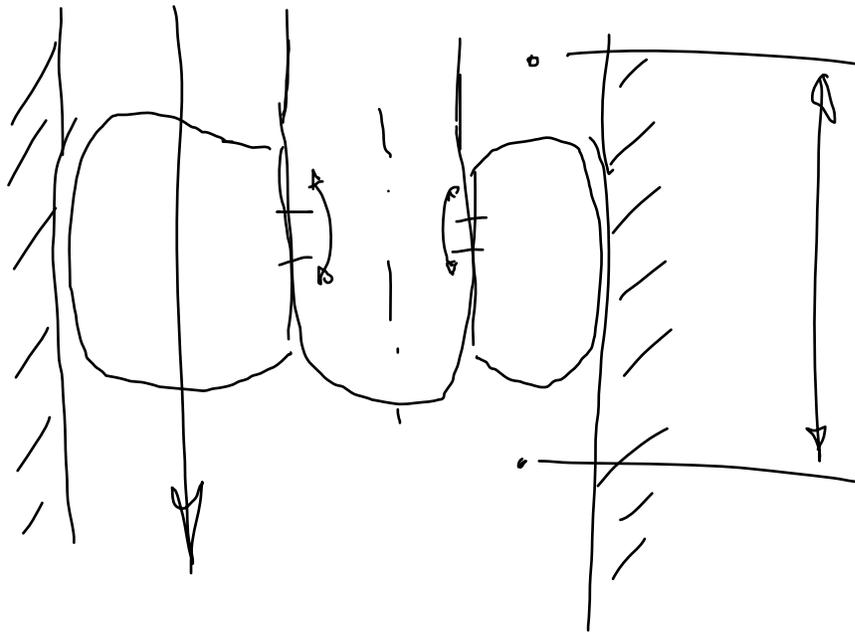


Spiren

Volumen der Maschine $\sim \frac{\pi}{4} d^3 \rightarrow$ Kosten

Durchmesser der Gasbrücke **d**
ist die typische Länge einer
Turbinenmaschine.

Maschinen Drehzahl **n** ist
die typische Zeit⁻¹ der
Maschine.



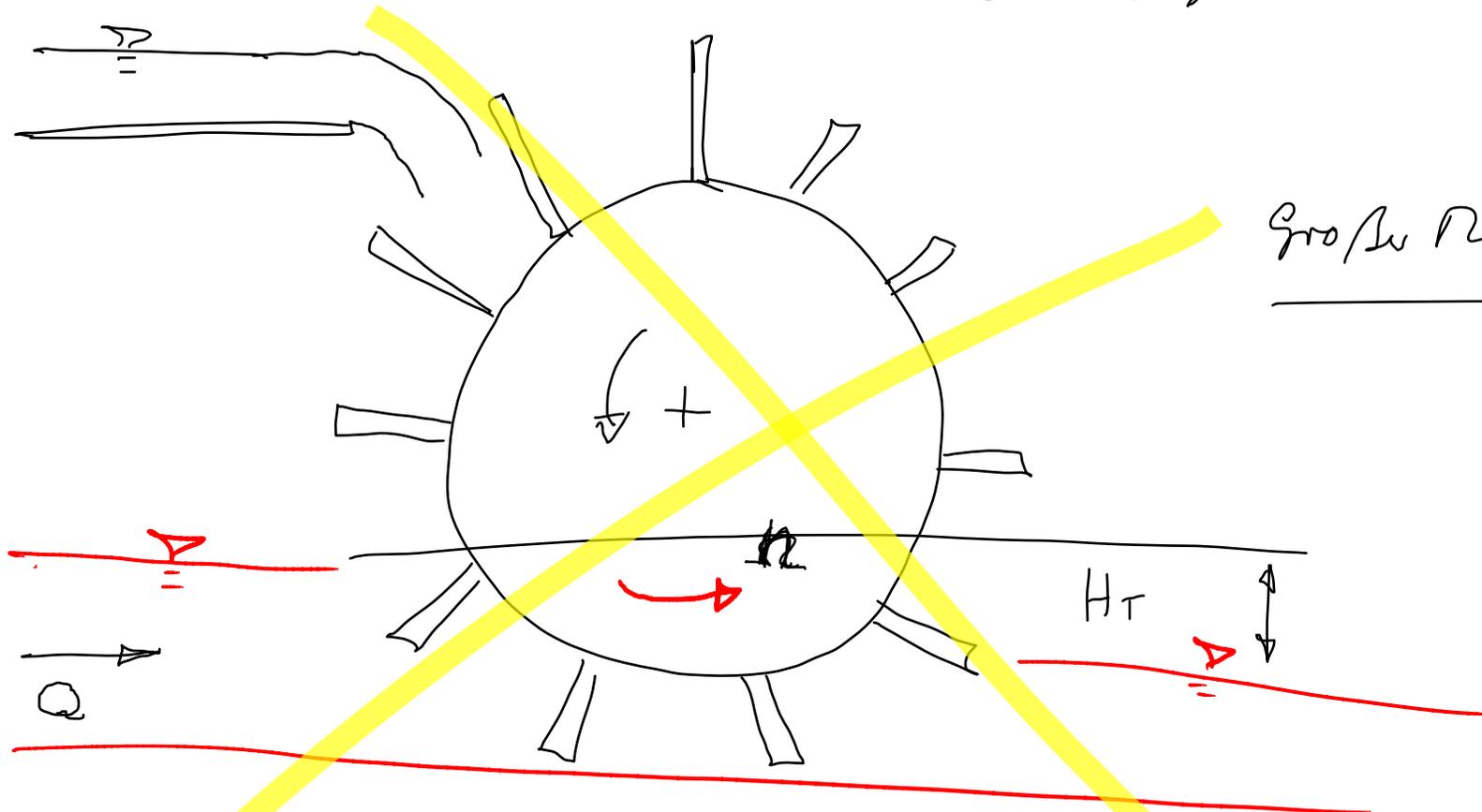
$$\Delta p_t = H_T \rho g$$

Kopplanmaschine

Axialmaschine



Oberschlächtiges Wasserrad



Großer Rist?

Unvollständig gezeichnet.

Hydrostatische Maschine mit getriebenen Ventilen.



Frege: Stöße im Volumenstrom
und der Förderröhre / Fallhöhe
eine typische Zeit, so dass die
Dochter in dimensionslos gemacht
werden kann?

Schnellanzahl

(1934, Keller)

≙ spezifische
Drehzahl

$$\sigma = (2gH_T)^{-\frac{3}{4}} Q^{\frac{1}{2}} 2\sqrt{\pi} \eta$$

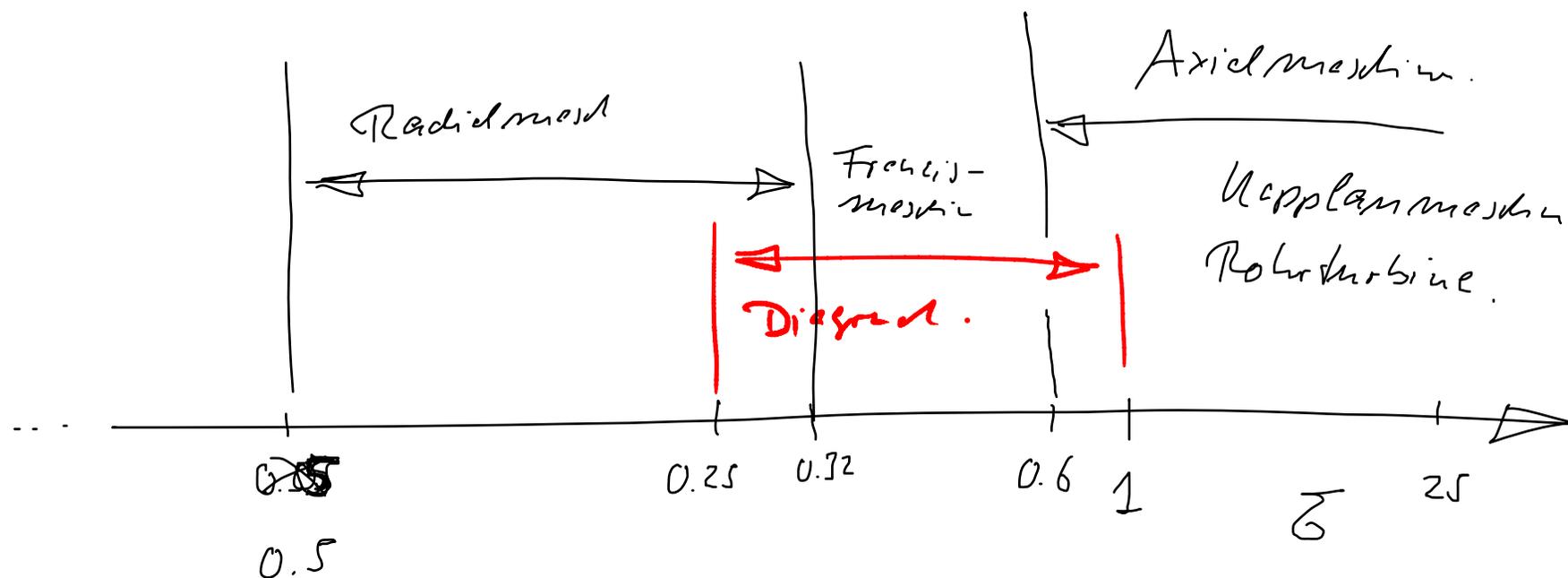
	$(gH_T)^{\frac{3}{4}}$	$Q^{\frac{1}{2}}$	η
L	$\frac{3}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
T	$-\frac{3}{2}$	$-\frac{1}{2}$	-1
	$\eta Q^{\frac{1}{2}} (gH_T)^{\frac{3}{4}}$		η
T	0	0	-1

	$\frac{Q^{\frac{1}{2}}}{(gH_T)^{\frac{3}{4}}}$	$Q^{\frac{1}{2}}$	η
L	0	$\frac{1}{2}$	0
T	1	$-\frac{1}{2}$	-1



Durchmesserzahl
(Reynolds, 1905)

$$f = (2g H_T)^{\frac{1}{4}} Q^{-\frac{1}{2}} \frac{\sqrt{\pi}}{2} d$$



Ordnung
Drehen
Wird
ausg.

Langsamdrehmaschine



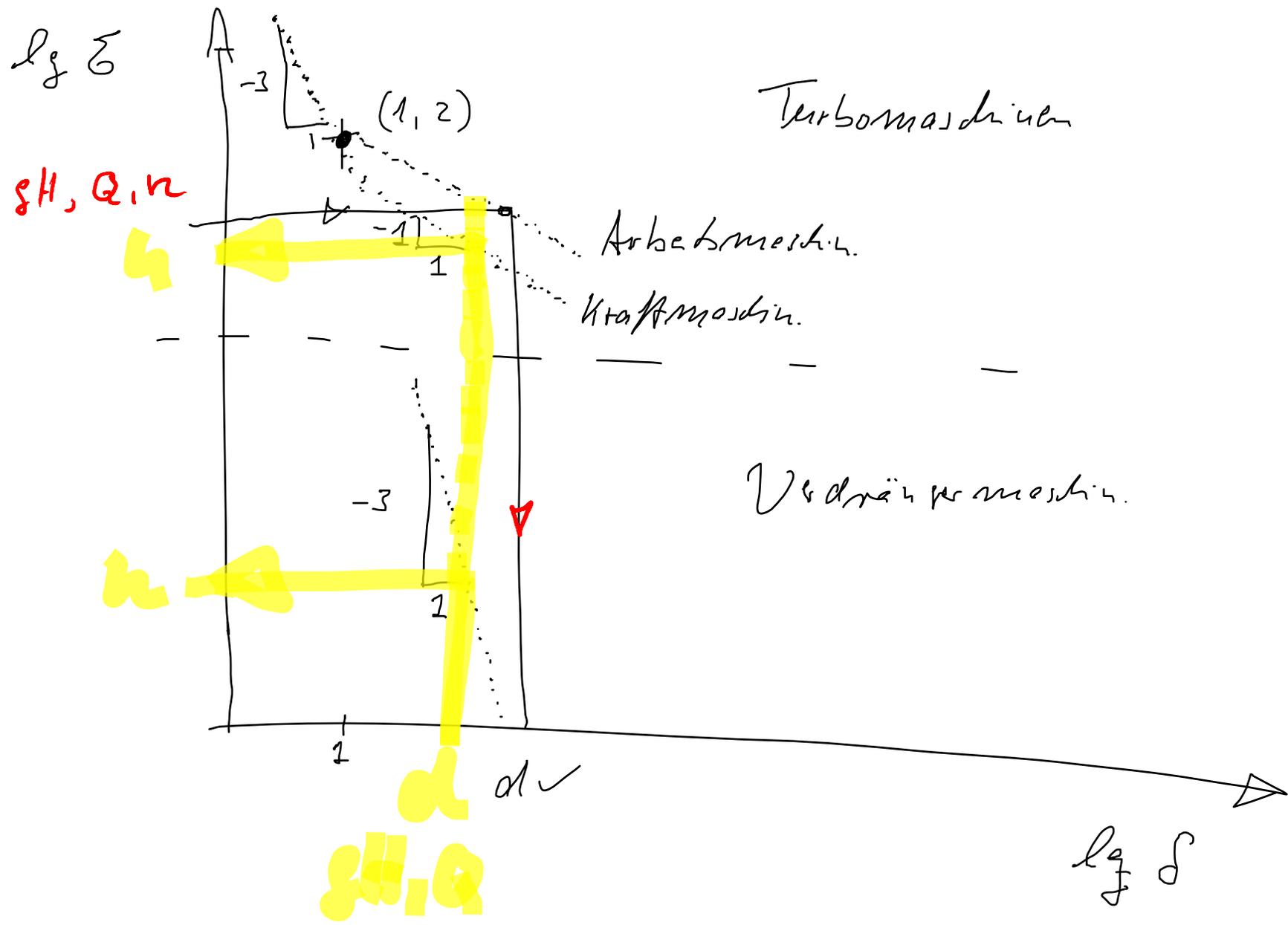
$$\xi = \xi(\delta, Re, \dots)$$

$$\delta = \delta(\xi, Re, \dots)$$

1954 Otto Corcos. ca 200 Maschinen im
Wirkungsgradbestpunkt betriebl.

$$\delta_{opt} = \delta_{opt}(\xi_{opt})$$

$$\xi_{opt} = \xi_{opt}(\delta_{opt})$$





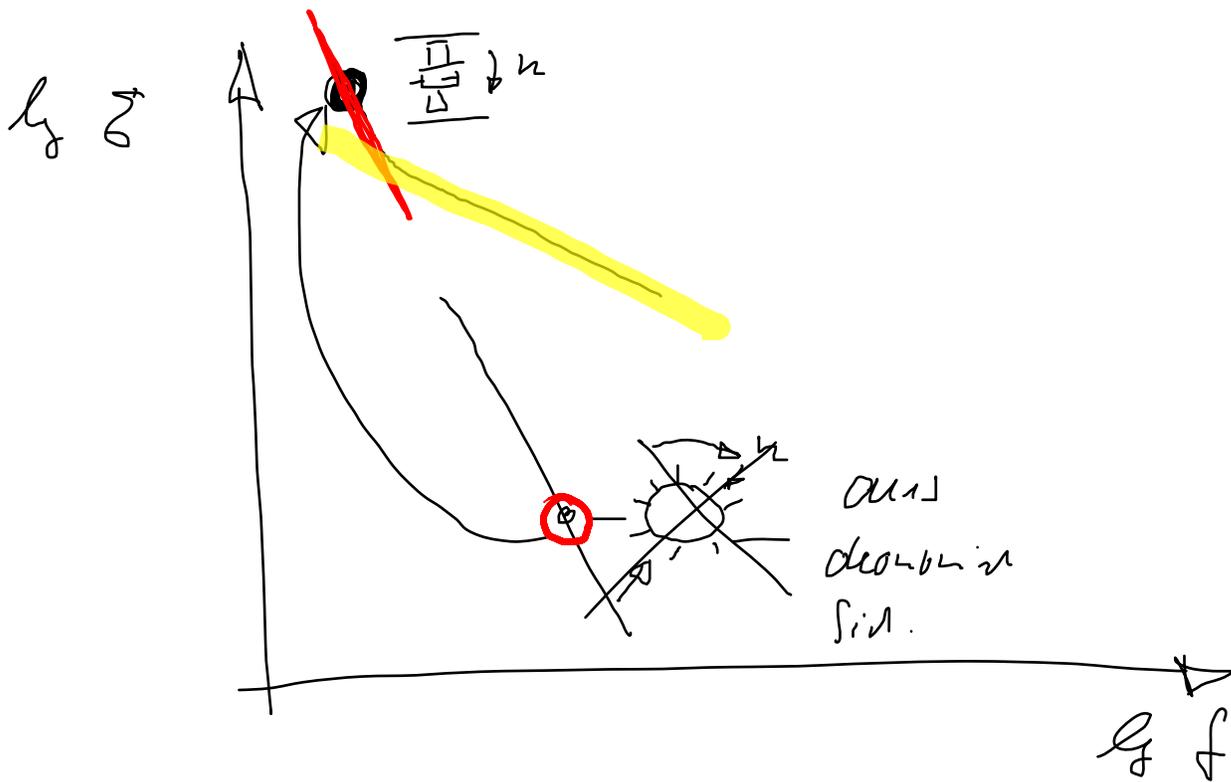
$$H_{T \text{ opt}}, Q_{\text{opt}}$$
$$\hookrightarrow \zeta_{\text{opt}} = 2 \sqrt{\pi} \left(\frac{1}{2\zeta} \right)^{3/4} \frac{\kappa}{\sqrt{\zeta g / b}} \sim \frac{\kappa}{\sqrt{\zeta / b}}$$

ζ ist die Zahl der Maschinen, die parallel
betrieben werden

ζ_{opt} ist keine Funktion der effektiven Höhe!

no überraschende Ergebnis!

$$S_{\text{opt.}} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \left(\frac{25\zeta}{2} \right)^{1/4} \frac{\alpha}{\sqrt{b H_{\text{eff}} / \zeta}} \sim \frac{\alpha}{\sqrt{b H_{\text{eff}} / \zeta}}$$



Axialmaschine

$$\zeta = \frac{\psi}{\delta^3} \quad (1)$$

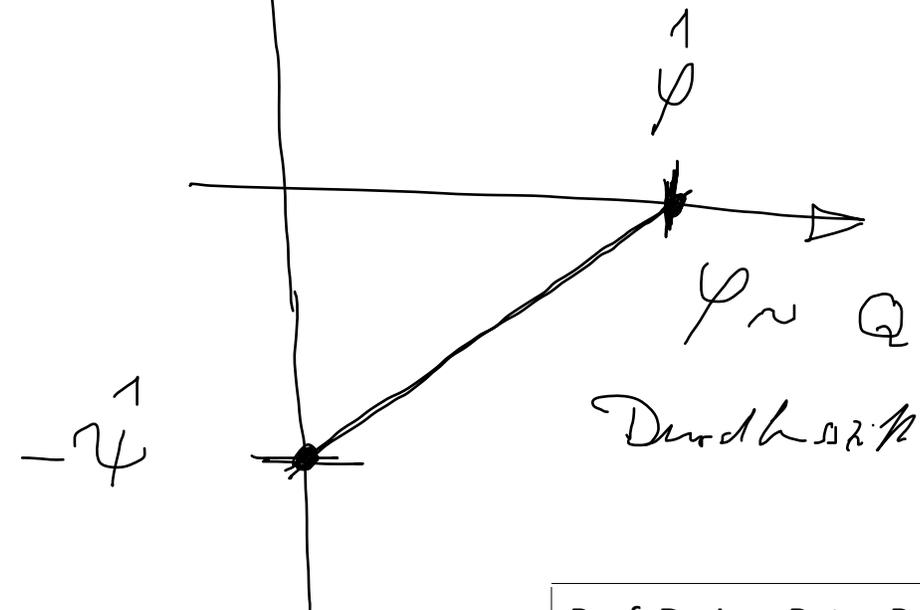
Radialmaschine

$$\zeta = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\psi}} \frac{1}{\delta}$$

Verdränger

$$\zeta = \delta \frac{1}{\psi^2} \frac{1}{\delta^3}$$

Drehzahl
 $\psi \sim gH$





ζ_{opt}
 S_{opt}
 $\zeta = \frac{1}{\varphi} \frac{1}{f^3}$ Axialverluste

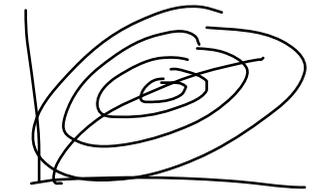
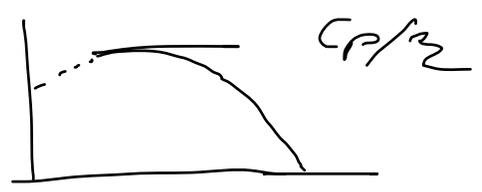
$$\varphi^1 \frac{\pi^2}{4} \zeta^2 \frac{h d^3}{\left(\frac{2}{5} H_{eff}\right)^{3/2} f^{1/2}} = 1$$

$$\frac{P_{T,opt}}{\zeta \frac{\pi}{4} d^3} = \pi \varphi^1 \frac{1}{f^3} \left(\frac{2}{5} H_{eff}\right)^{3/2} \zeta^2$$

Volumenspezifischer Leist.

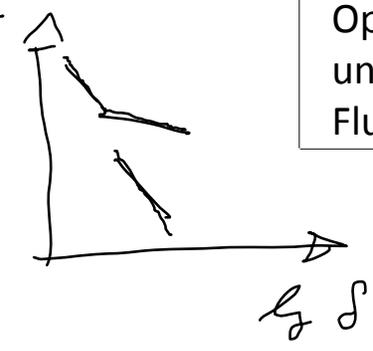


1. Optimierung



2. Skalierung im Sinne Volumenspez. Leist. $\lg \delta$

↳ im Kontext
Coriolisdiagramm



z.B. (Skalierung des Virialgesetzes)

