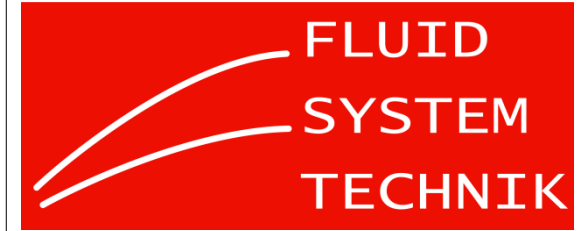
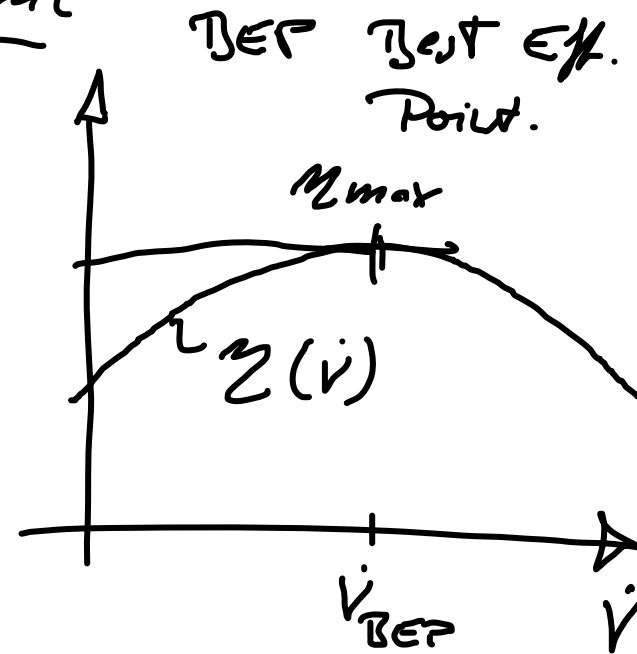
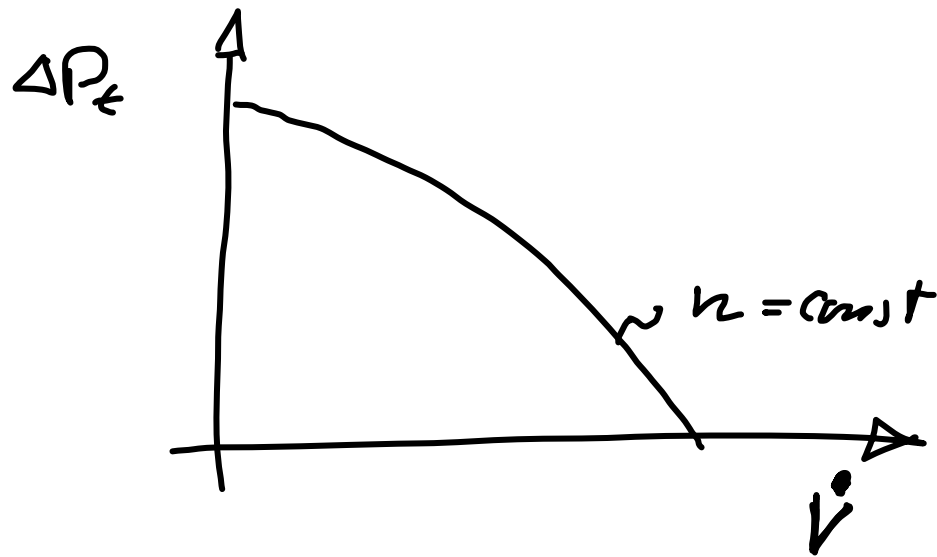




Kennlinien von Arbeitsmaschinen

Quasistatischer Betrieb mit Drosselklappe



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8

Achtung bei Turbolader

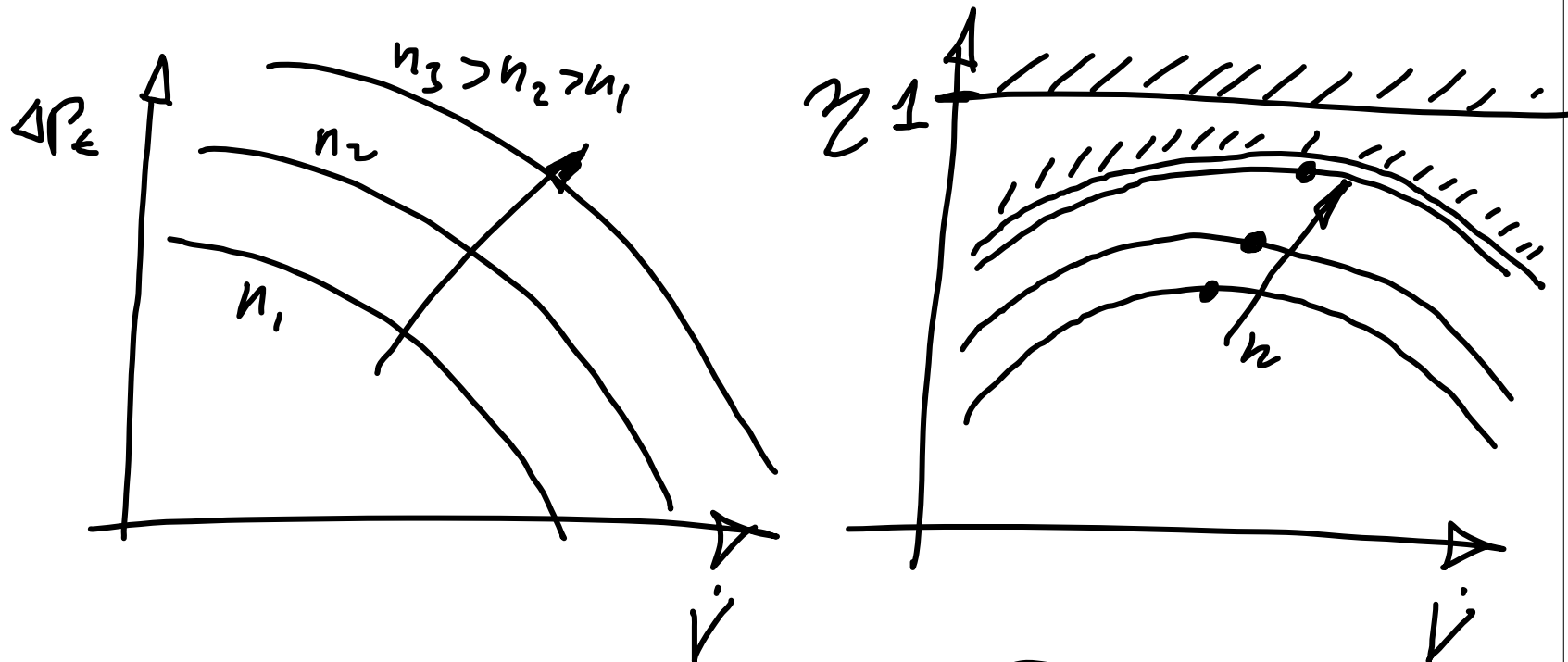
$$m_2(t) = m_1(t + T) \quad \text{Periodisch}$$

$$\bar{m}_2 := \frac{1}{T} \int_0^T m_1(t) dt \quad \text{Mittelwert}$$

$$m_1(t) = \bar{m}_1 + \tilde{m}_1(t)$$

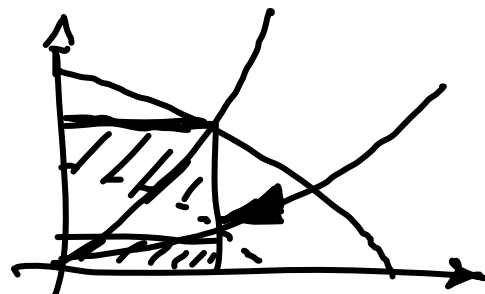


Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8

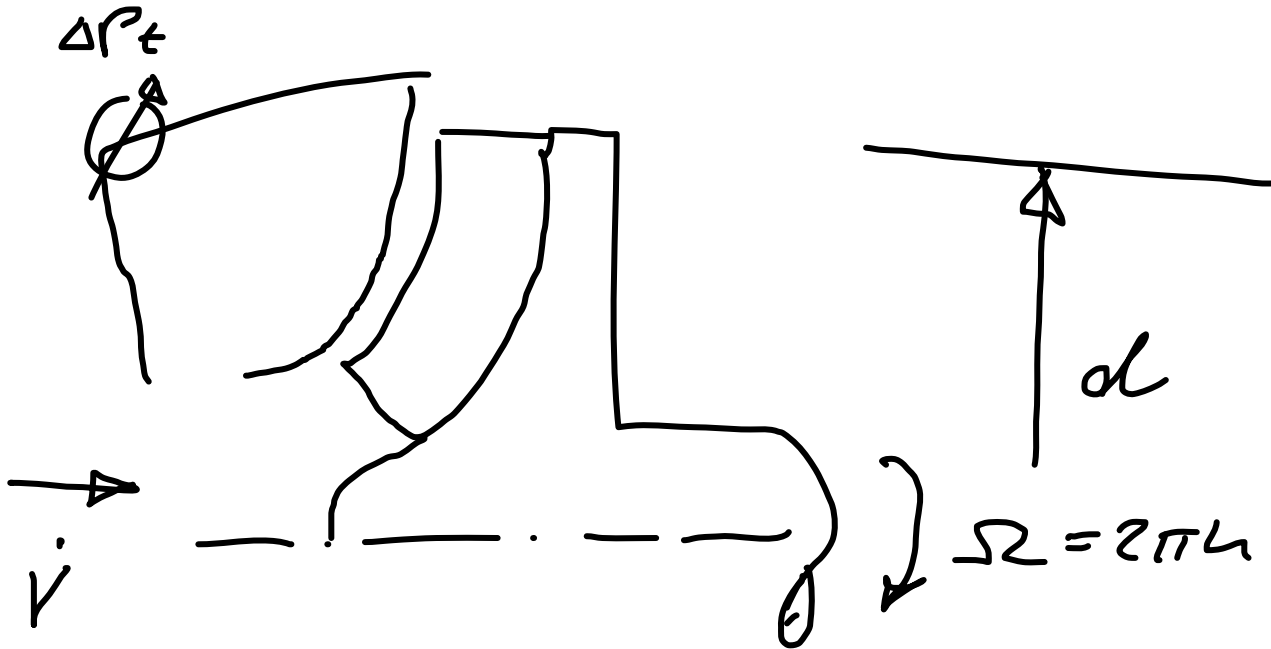


$$1 - \eta = \frac{C_{\dot{V}}}{C_H}$$

Kennfeld der Maschine
in dimensionslos behaltener Form.



Dimensionslos Kennfeld.



$$\dot{V} \sim n d^3$$

$$\dot{V} := \psi n d^3$$

$$\Delta P_t \sim \rho n^2 d^2$$

$$\Delta P_t := \psi \rho n^2 d^2$$

$$1 - 2 = \frac{\dot{V}}{d^3}$$



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8

$$\nu = \text{Re}^{-1} n d^2 \quad \leadsto \quad n = \text{Re} \frac{\nu}{d^2}$$

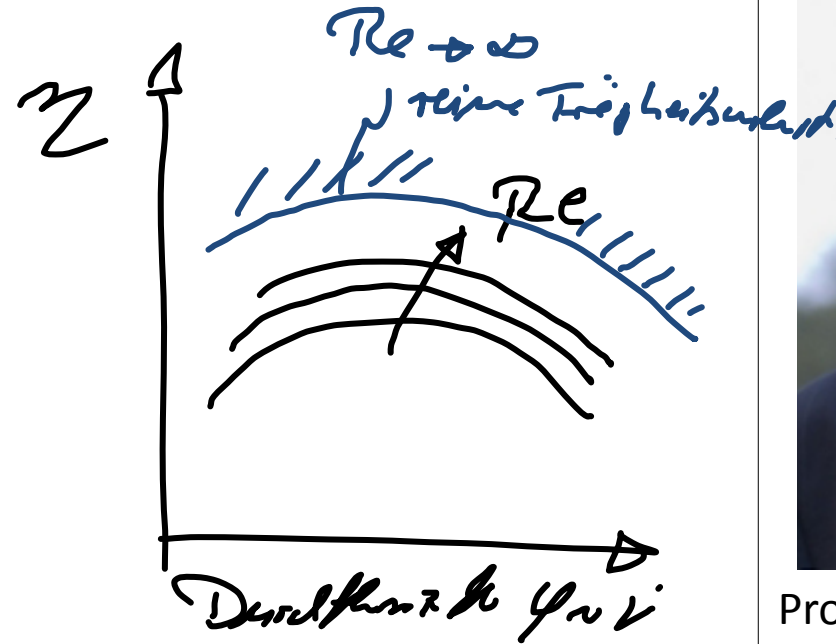
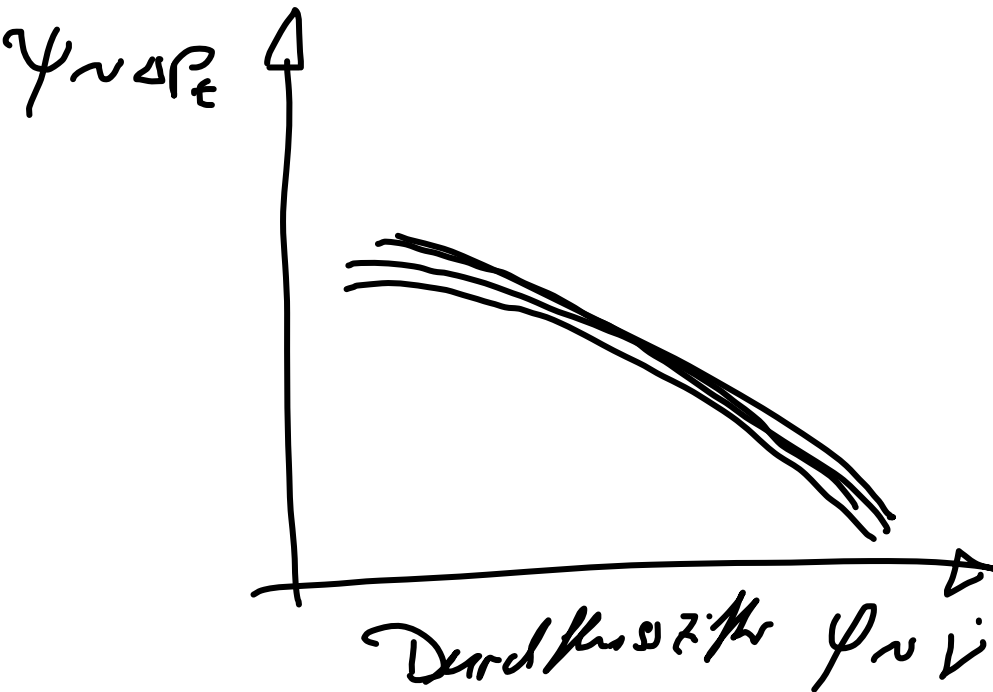
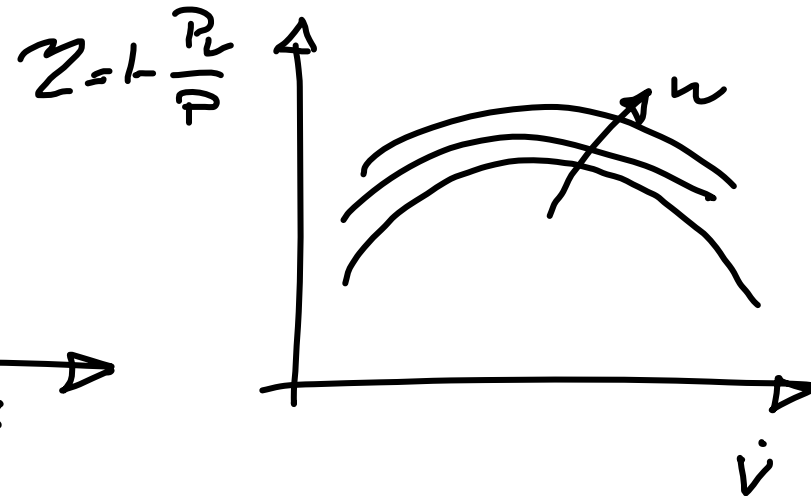
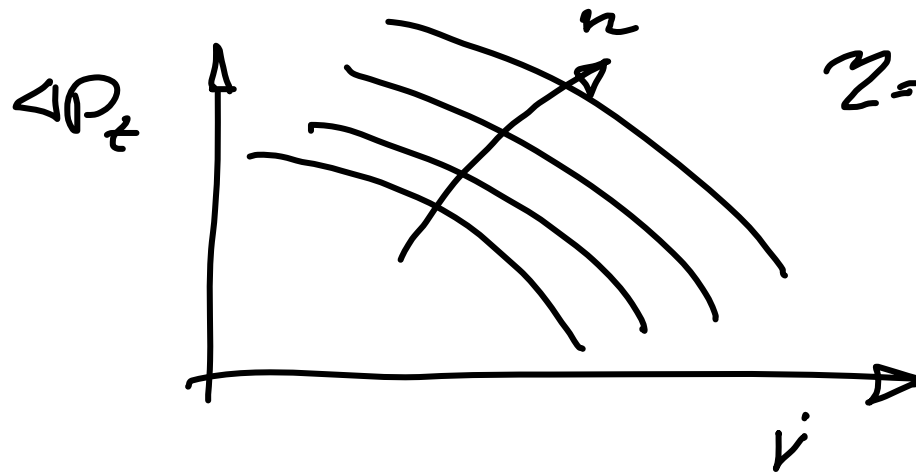
~~Drehzahl ist eine~~ Die Reynoldszahl entspricht eine dimensionslose Drehzahl.



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8



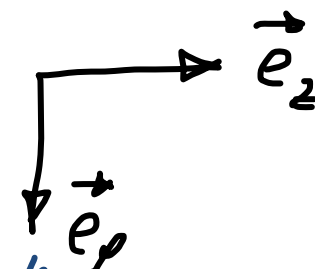
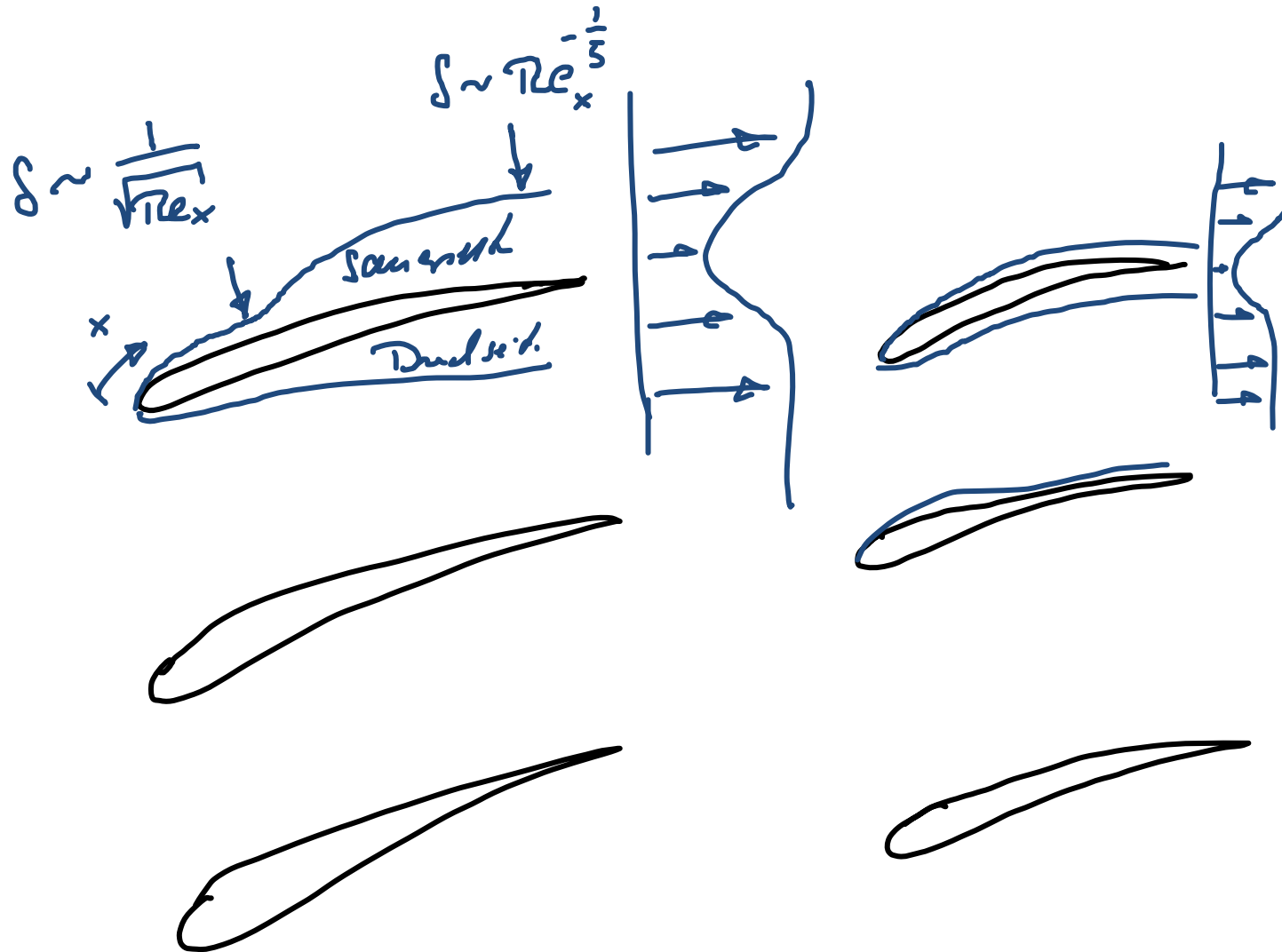
Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8



Durchmesser d für $\psi \sim v$
Dimensionen von z sind d und ρv^2 .



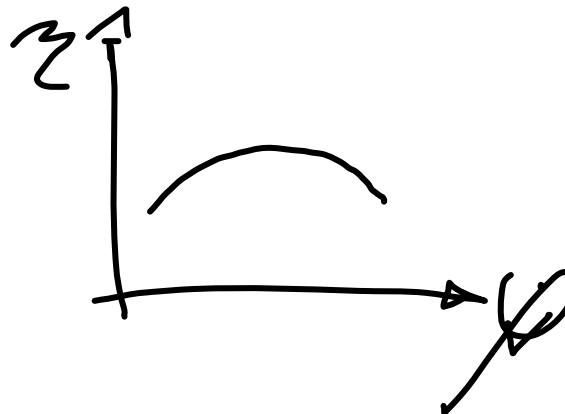
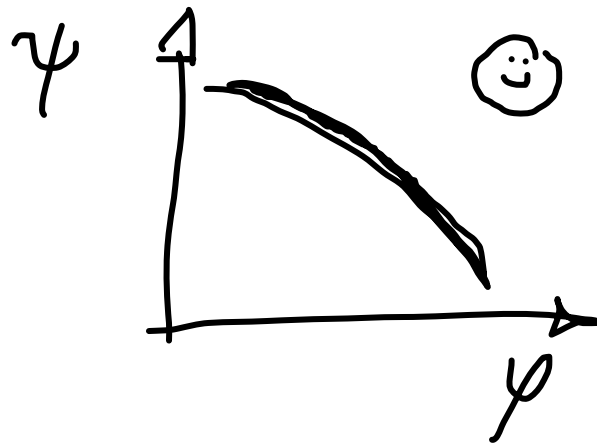
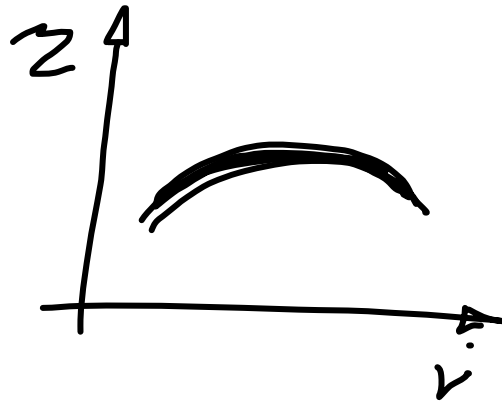
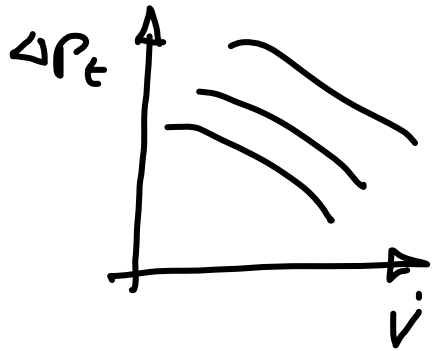
Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8



~ klein Reynoldszahl

~ große Reynoldszahl
143

Bei vielen Maschinen ist $Re = \frac{v d^2}{\nu}$ so groß,
 daß im relevant Drehzahlbereich ein Einfl.
 der Reynoldszahl nicht besteht und konst.



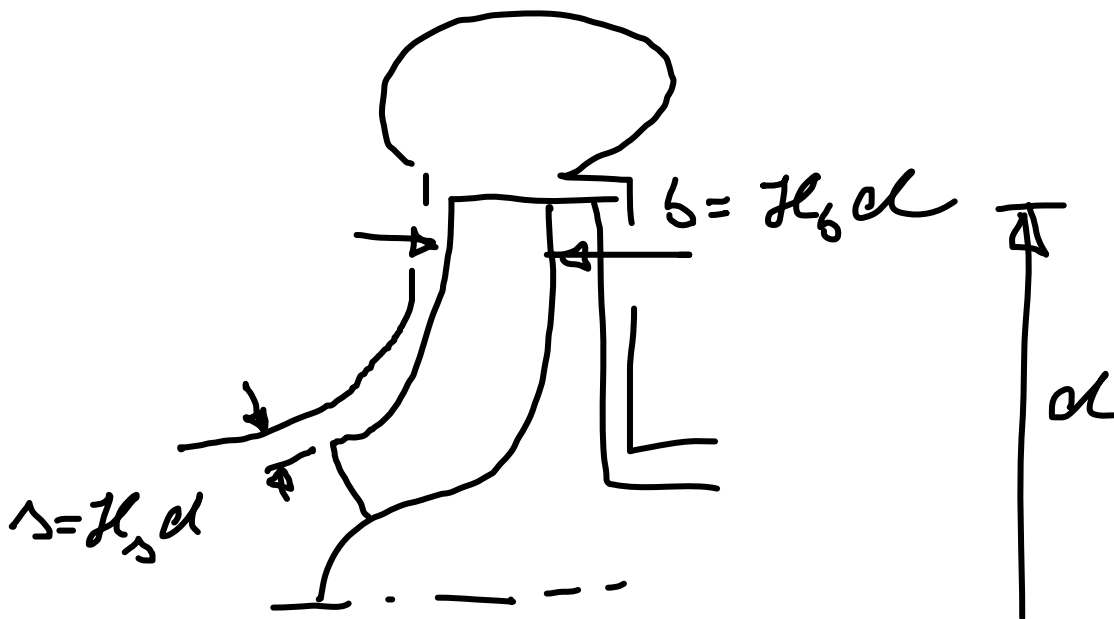
Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
 Sommersemester 2011
 Fluidenergiemaschinen
 Vorlesung 8



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8

$$\Delta P_{\Sigma} = f_{\Sigma} h \left(n, \underline{d}, \rho, \nu, \alpha, \sum_{i=1}^N v_i \right)$$


$$i=1 \dots N$$



Turbomachine nur Drehleistung $\rightarrow [LMT]$ oder
[FTT]



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergie-
Maschinen
Vorlesung 8

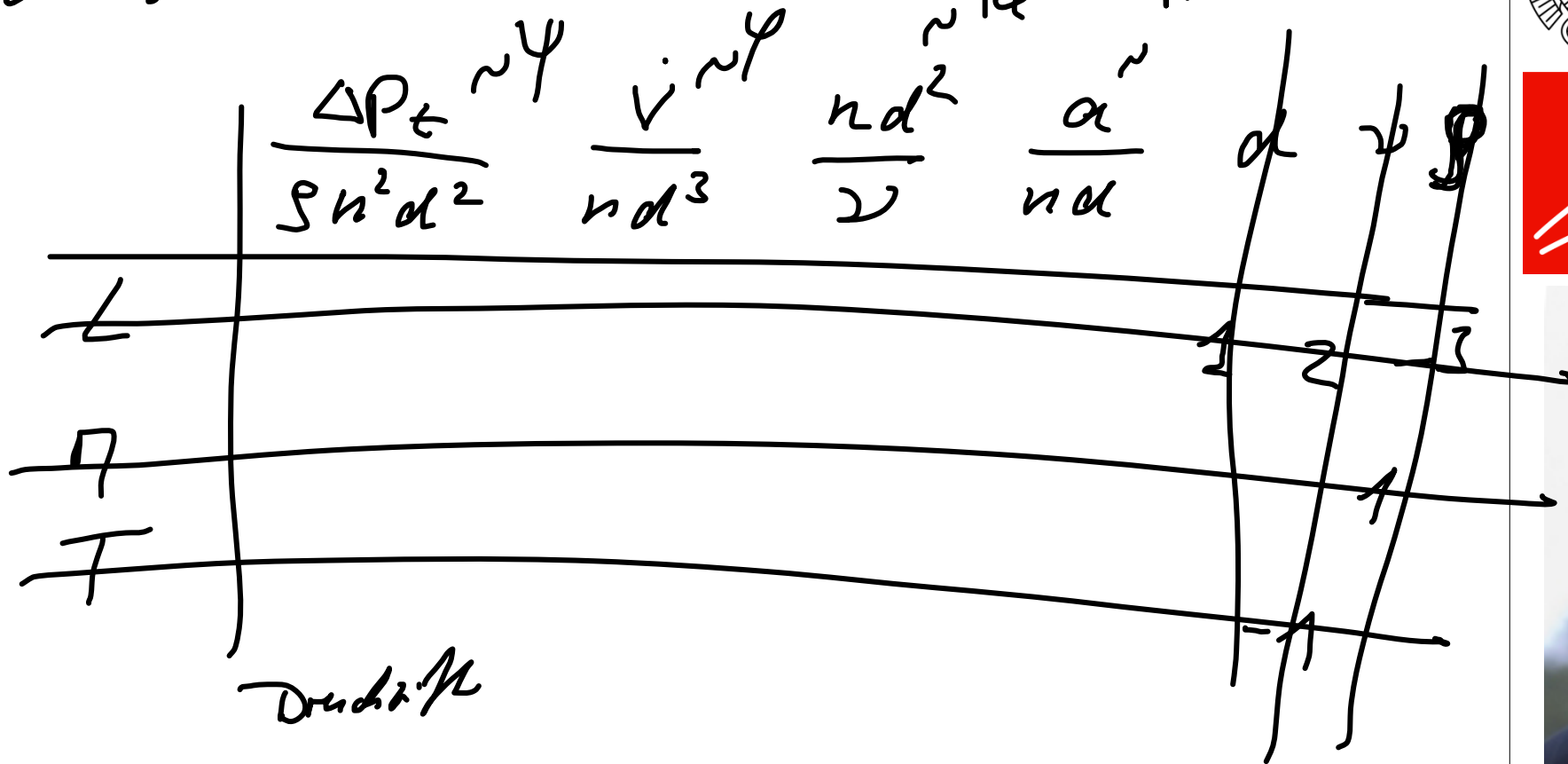
Cordeiro 
Diermann

	ΔP_{ϵ}	ρ	η	ω	d	a	\dot{V}
L	-1	-3		2	1	1	3
M	1	1					
T	-2		-1	-1		-1	-1

1. Möglichkeit: ΔP_{ϵ} wird mit $\rho \eta^2 d^2$ dimensioniert
→ Hochdruck-entwick.

2. Möglichkeit: η wird mit $\Delta P_{\epsilon}, \dot{V}, d$ dimensioniert
→ Anlaufphase

Dimension des Maschinenkoeffizienten



Drehzahl

$$\psi := \frac{2}{\pi^2} \frac{gH}{n^2 d^2}, \text{ mit } \frac{\Delta P_t}{\rho} = gH$$

$$\varphi := \frac{4}{\pi^2} \frac{v}{n d^3}$$



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8

Reynoldszahl

$$Re = \frac{nd^2}{\nu}$$

Machzahl

$$Ma = \frac{nd}{a}$$

$$a = \sqrt{\gamma RT} \quad \text{Schallgeschw.}$$

Bei Flüssigkeiten die verdampfen können
tritt an die Stelle der Machzahl die

z.B. Kavitationszahl

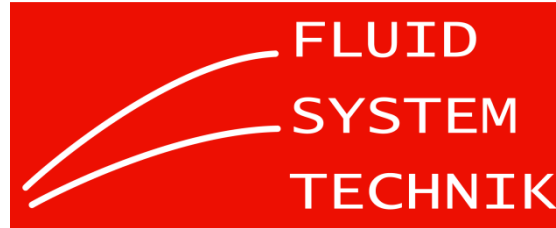
P_v Dampfdruck

$$\zeta = \frac{P - P_v}{\frac{\rho}{2} n^2 d^2} = Th^{-1}$$

$Th = \text{Thomazahl}$



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8

$$\Delta P_k = f_k(v, \nu, \alpha, \rho, \nu, \mathcal{H}_i)$$



$$\Psi = \Psi(\Psi, Re, \mathcal{H}_i)$$

Für eine Maschine ist $\mathcal{H}_i = \text{const.}$

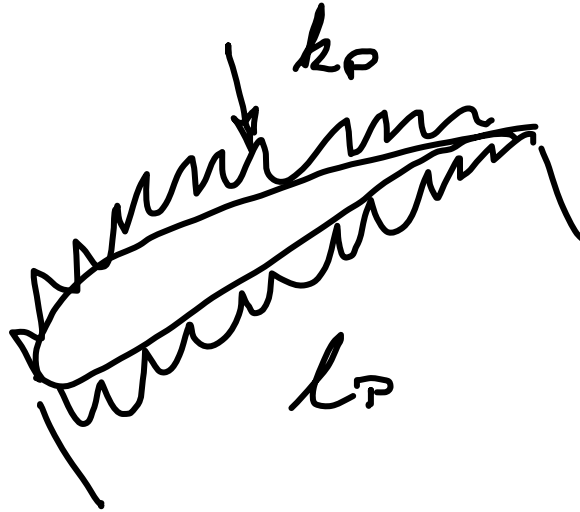
$$k = \mathcal{H}_k d$$

kleine Maschine
"Modell"



$$\Re_{k_m} = \frac{k_m}{d_m}$$

große Maschine
"Prototyp"

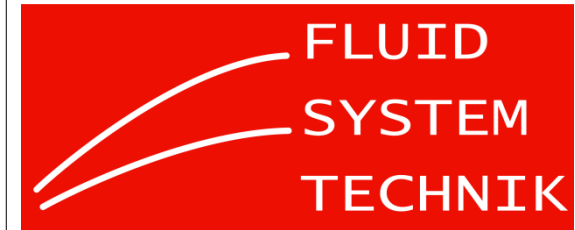


$$\Re_{k_p} = \frac{k_p}{d_p}$$

Geometrisch Ähnlichkeit in der
Planheit.



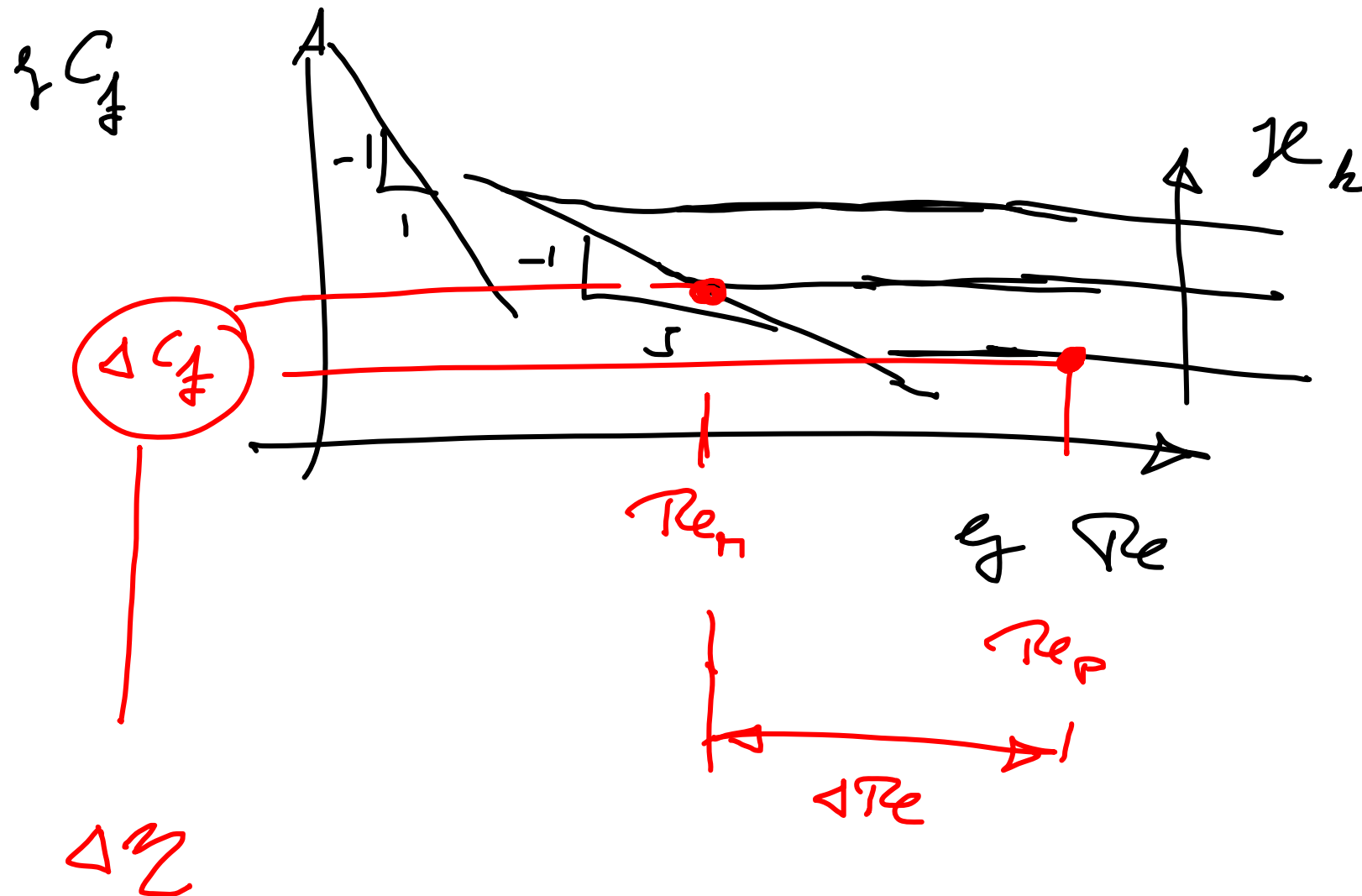
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8



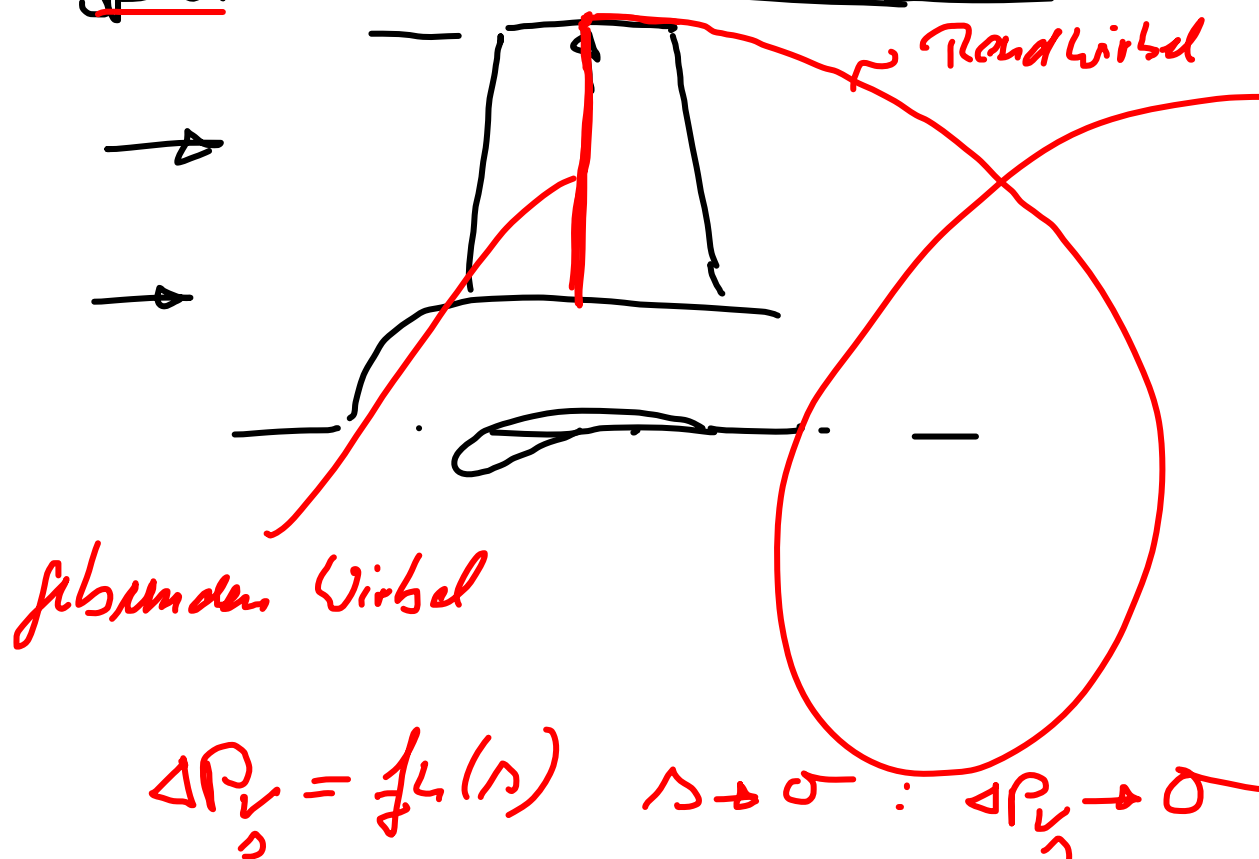
Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8



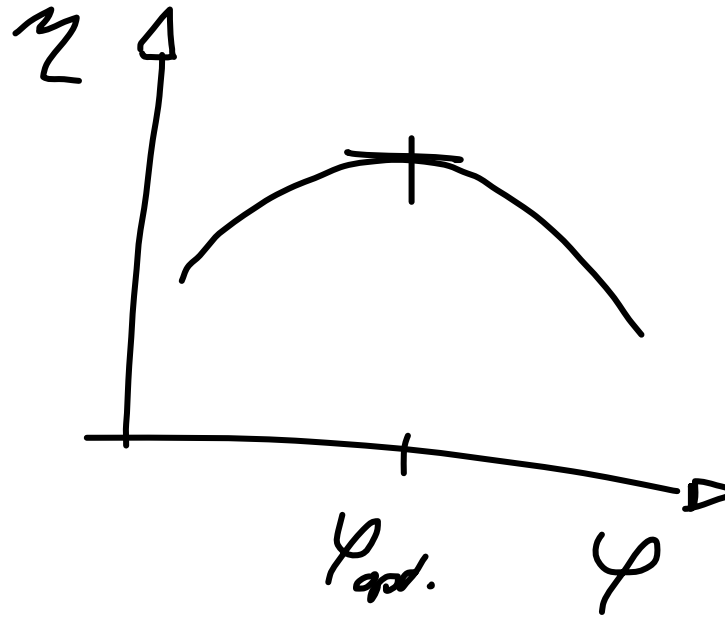
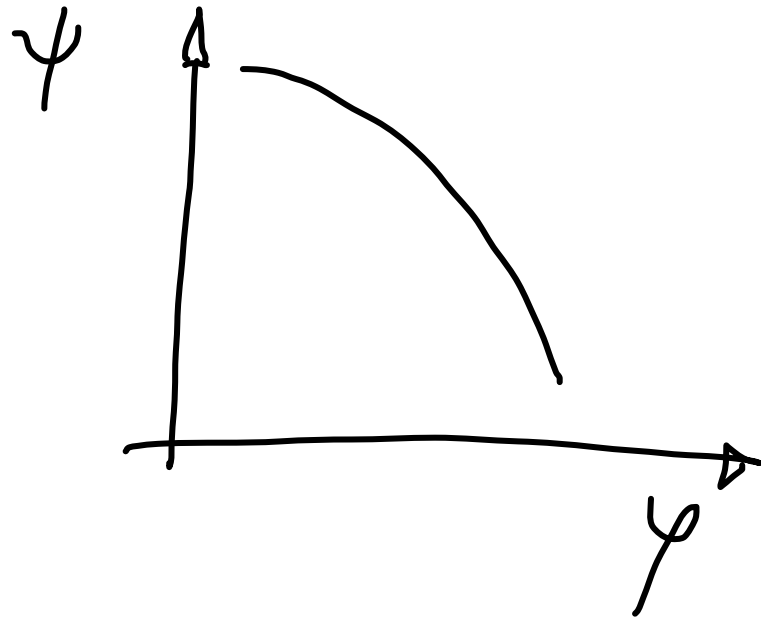
Geometrische Ähnlichkeit

1. Reinheit

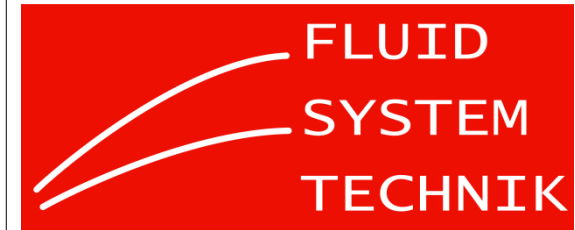
2. Spelt $\downarrow \rho = \rho_s d$



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8

Wirkeffekt und Dradzahl bei
Kompressible Strömung

$$\psi = \psi(\varphi, Re, Ma, \gamma)$$

$$\gamma := \frac{c_p}{c_v}$$

$$\zeta = \zeta(\varphi, Re, Ma, \gamma)$$

Dradzahl

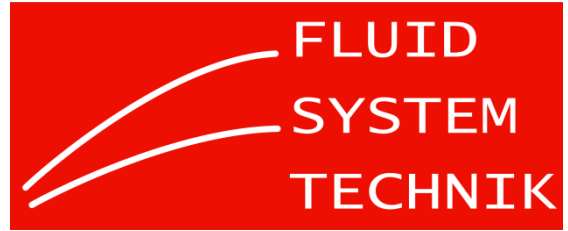
$$\psi := \frac{2gH}{\pi^2 v^2 d^2}$$

gH spez. Antriebsver. H Förderhöhe

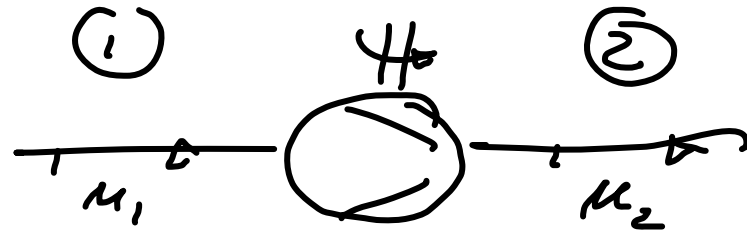
$$[gH] = \text{L}^2 \text{T}^{-2} = [\text{Energie}].$$



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8



$$gH = C_2 - C_1 = \frac{u_2^2}{2} - \frac{u_1^2}{2} + P_2 - P_1$$

$C_2 - C_1$ Differenz der Bernoulli Konstante über die Maschine

$P = \int \frac{dP}{\rho}$ Druckfunktion in der Bernoulli Gl.



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8

Für ein Kolonisch ideales Gas

$$p = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{p}{\rho}$$

→ Komprimier

Benoulli:

$$\frac{u^2}{2} + \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{p}{\rho} = C$$

$$a^2 = \gamma r T \\ = \gamma \frac{p}{\rho}$$

$$\frac{u^2}{2} + \frac{1}{\gamma-1} a^2 = C'$$

$$M^2 + \frac{2}{\gamma-1} = \dots$$

→ Sturk. Kop 9.2



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8

$$\oint H = \underbrace{\frac{u_2^2}{2} - \frac{u_1^2}{2}}_{\ll} + \underbrace{\frac{\gamma}{\gamma-1} \left[\frac{p_2}{\rho_2} - \frac{p_1}{\rho_1} \right]}_{\gg}$$

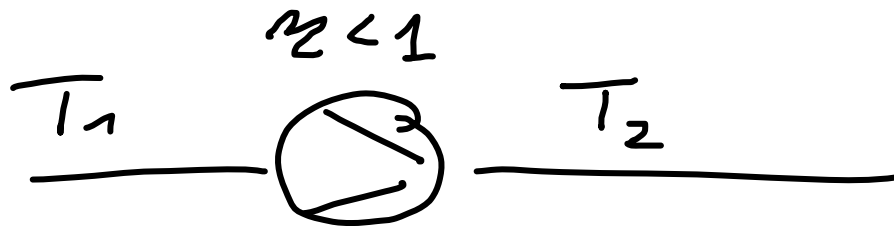
$$\text{Näherung ist } \Delta \frac{u^2}{2} \ll \frac{\gamma}{\gamma-1} \Delta \left(\frac{p}{\rho} \right)$$

$$\oint H \approx \frac{\gamma}{\gamma-1} \left[\frac{p_2}{\rho_2} - \frac{p_1}{\rho_1} \right]$$

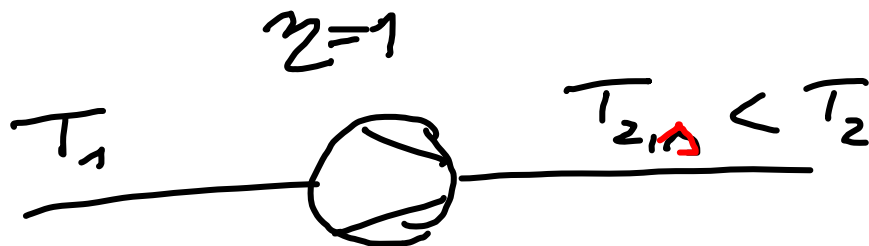
$$\oint H = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{p_1}{\rho_1} \left[\frac{p_2}{p_1} \frac{\rho_1}{\rho_2} - 1 \right]$$

Für ein Komprimierendes ideales Gas $P = \rho R T$

$$gH = c_p (T_2 - T_1)$$



reale Maschine



ideale Maschine.

$$\Delta \dot{w}_{irr} = 0 \quad (gH)_{\Delta} = c_p (T_{2,iso} - T_1)$$



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8

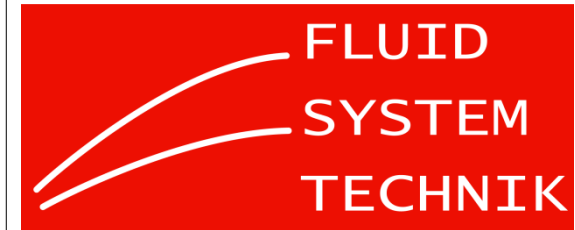
$$\eta := \frac{(gH)_{\text{el}}}{gH} = \frac{T_{2,\text{el}} - T_1}{T_2 - T_1}$$

Isentrope Wirkungsgrad der Maschine.

$\hat{=}$ bisherige Wirkungsgradbeziehung.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8

Zum Polytropen isotherm

$$gH = c_p (T_2 - T_1) = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{p_1}{\rho_1} \left[\frac{p_1}{p_2} \frac{\rho_2}{\rho_1} - 1 \right]$$

$$(gH)_{id} = c_p (T_{2,id} - T_1) \quad \text{ideal.}$$

$$(gH)_{pol} = \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{p_1}{\rho_1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right]$$

$$p = c \rho^\kappa$$



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8

$$c_p = \frac{\gamma}{\gamma-1} R, \quad \text{da} \quad \gamma = \frac{c_p}{c_v}; \quad R = c_p - c_v$$

$$(\dot{Q}H)_{\text{pol}} = \frac{n}{n-1} R (T_2 - T_1)$$

$$(\dot{Q}H)_D = \underbrace{\frac{\gamma}{\gamma-1} R}_{c_p} (T_{2,D} - T_1)$$

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_{2,D} - T_1}$$

$$\dot{Q}H = \frac{\gamma}{\gamma-1} R (T_2 - T_1)$$

$$\eta_{\text{pol}} := \frac{(\dot{Q}H)_{\text{pol}}}{\dot{Q}H} = \frac{n}{n-1} \frac{\gamma-1}{\gamma}$$



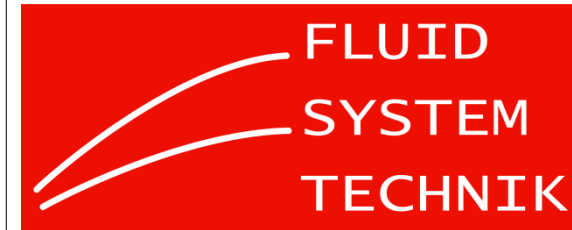
FLUID
SYSTEM
TECHNIK



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



FLUID
SYSTEM
TECHNIK



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 8

$$\frac{n-1}{\kappa} = \frac{\ln(T_2/T_1)}{\ln(P_2/P_1)}$$