

Aufwertung (Scaling)

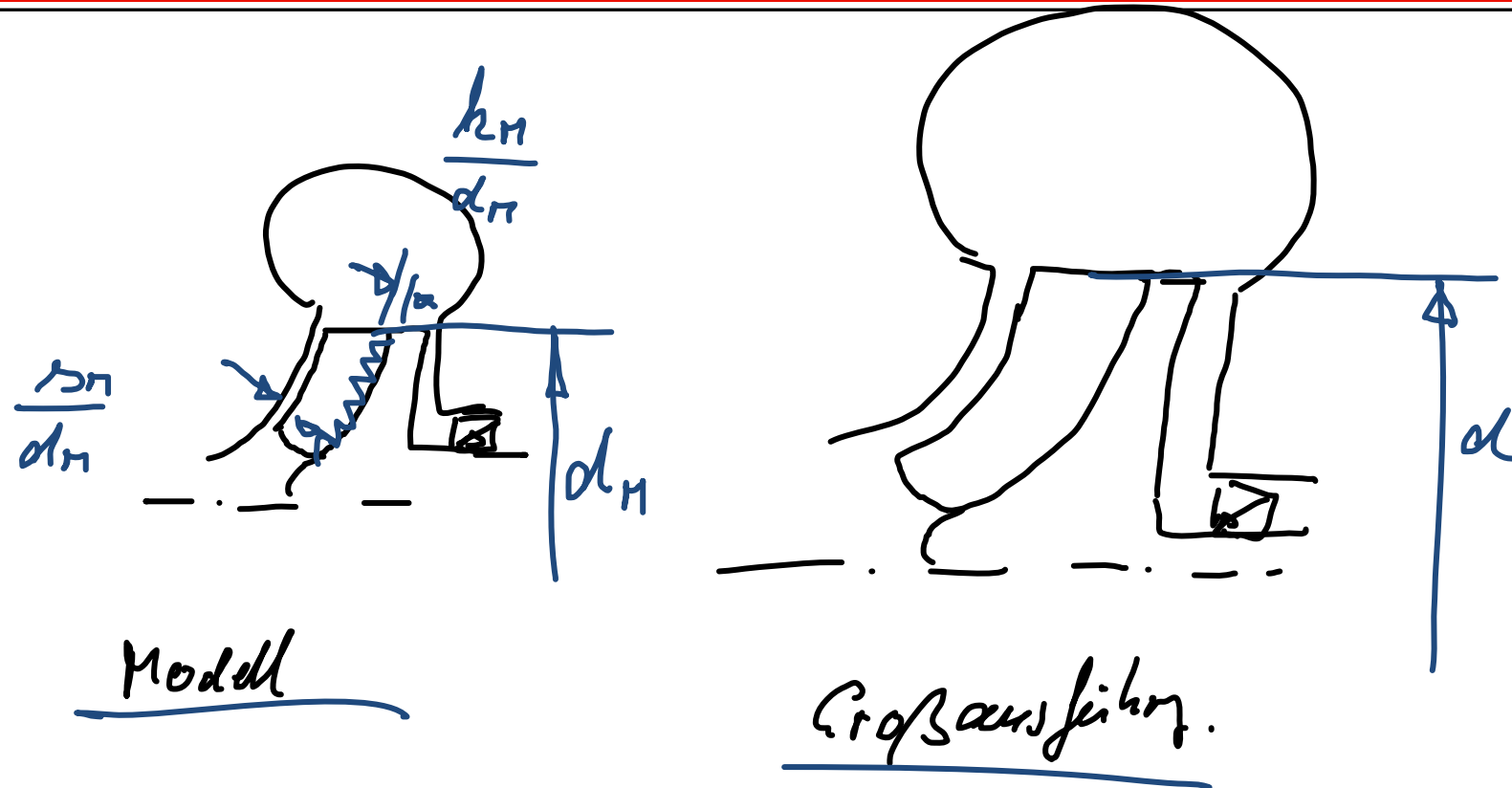
Wie behandelt man unvollständige Ähnlichkeit?

Vollständige Ähnlichkeit:

Alle dimensionslosen Produkte sind im Modell gleich denen der Großanfertigung



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12



Maßstabsfaktor für die geometrische Ähnung (Größe)

$$\lambda = M_d := \frac{d_M}{d} \begin{cases} < 1 & \text{verkleinertes Modell} \\ > 1 & \text{vergrößertes Modell.} \end{cases}$$



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12

Kennlinie

Modell

Großausführ

$$\psi_n = \psi_n(\underbrace{\psi_n, Re_n, \dots}_{\substack{\text{Froudezahl} \\ \text{Machzahl,} \\ \text{Kavitationszahl,} \\ \vdots}}), \underbrace{\left(\frac{h_n}{d_n}, \frac{h_n}{d_n}, \dots\right)}_{\text{Gestalt.}} \quad \psi = \psi(\psi, Re, \dots)$$

$$\eta_n = \eta_n(\psi_n, Re_n, \dots) \quad \eta = \eta(\psi, Re, \dots)$$



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12

Vollständige Ähnlichkeit.

$$\frac{\dot{V}_n / \dot{V}}{n_n \frac{d_n^3}{\alpha}} \stackrel{!}{=} 1$$

$$\varphi_n \stackrel{!}{=} \varphi$$

$$\frac{\dot{V}_n}{n_n d_n^3} \stackrel{!}{=} \frac{\dot{V}}{n \alpha^3}$$

$$Re_n \stackrel{!}{=} Re$$

$$\frac{n_n d_n^2}{\nu_n} \stackrel{!}{=} \frac{n \alpha^2}{\nu}$$

⋮

$$\frac{\Delta p_n}{d_n} \stackrel{!}{=} \frac{\Delta p}{\alpha}$$

$$\frac{k}{\alpha} \stackrel{!}{=} \frac{k}{\alpha}$$



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12

$$\zeta_n \stackrel{!}{=} \zeta \Leftrightarrow \frac{M_i}{M_d^3 M_n} \stackrel{!}{=} 1$$

$$Re_n \stackrel{!}{=} Re \Leftrightarrow \frac{M_n M_d^2}{M_2} \stackrel{!}{=} 1$$

Frage: Ist eine vollständige
Ähnlichkeit theoretisch und
praktisch möglich?

Hinweis $\eta_v = \frac{\nu_m}{\nu} > 1$ für $\nu_m \stackrel{\text{Luft}}{=} 17.1 \frac{\text{mm}^2}{\text{sec}}$

$\nu \stackrel{\text{Wasser}}{=} 1 \frac{\text{mm}^2}{\text{sec}}$

..
Änderung des Mediums kann
beim Modell sein!

Temperaturänderung und damit
Viskositätsänderung kann beim
Modell sein!

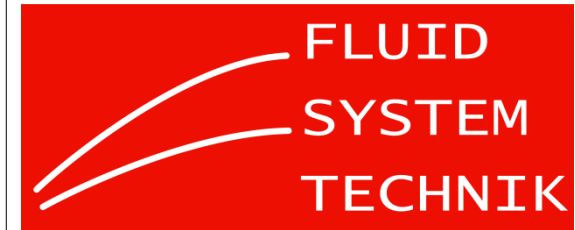
Merkmale

$$\eta_v = \eta_g = 1$$

gleiche Flüssigkeit im Modell und
in der Großausführung.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12

Hier $M_2 = 1$

$$Re_n \stackrel{!}{=} Re \leadsto M_n = M_d = \kappa^{-2}$$

z.B. $\kappa = \frac{1}{10} \leadsto M_n = 100.$ ☹️

$$\begin{aligned} \varphi_n \stackrel{!}{=} \varphi \leadsto M_v &= M_n M_d^3 \\ &= \kappa^{-2} \kappa^3 = \kappa \end{aligned}$$



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12

Theoretisch möglich, aber....

Leistung in der Maschine (hier für eine Arbeitsm.)

Leistung

$$P_A = \frac{1}{2} \Delta P_z \dot{V} = \frac{1}{2} \psi \varphi n^3 d^5 \rho$$

$$\lambda := \frac{P_A}{n^3 d^5 \rho} \sim \frac{n^2 d^2 \rho \psi}{n d^3 \varphi} \rightarrow \lambda = \frac{1}{2} \psi \varphi \text{ Arbeit.}$$

$$\lambda = \psi \varphi \text{ Kraft.}$$

$$M_{P_A} = M_\rho M_n^3 M_d^5$$



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12

▽ Gleichung einer Verdichtungsformel

$$P_{\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \Delta P_{\frac{1}{2}} V_{\frac{1}{2}} n$$

Schlehdvolumen der Piston.

$$\hookrightarrow M_{PA} = M_{\Delta P_{\frac{1}{2}}} M_{\alpha}^3 M_{\omega}$$



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12

$$\Pi_g \equiv 1, \quad \Pi_n = \mathcal{R}^{-2}$$

$$\Pi_{P_1} = \mathcal{R}^5 (\mathcal{R}^{-2})^3$$

$$= \mathcal{R}^{-1}$$

$$\text{z.B. } \mathcal{R} = \frac{1}{10} \rightsquigarrow P_{17} = 10 P_1$$

Praktisch unmöglich!

→ Die Leistung kann mit ob- oder zugeführt
werden. →



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

FLUID
SYSTEM
TECHNIK



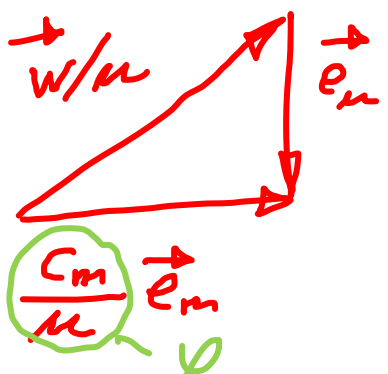
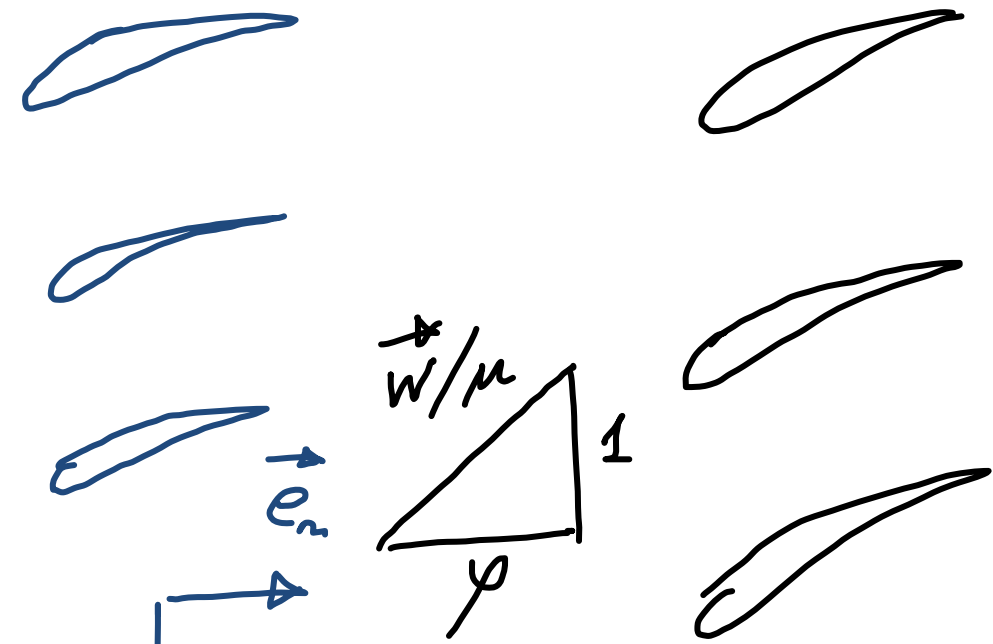
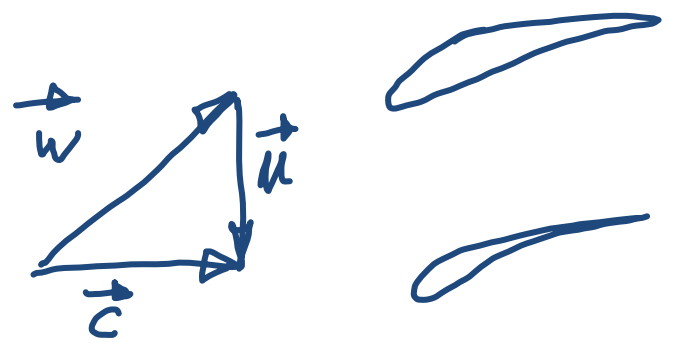
Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12

Lösung: Unvollständige Ähnlichkeit

Auflösung der Reynoldszahl:

$$\varphi_H = \varphi$$

$$Re_H \neq Re$$



12.07.2011



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

FLUID
SYSTEM
TECHNIK



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12

üblich & we. $\psi_m = \psi$

$\hookrightarrow Re_m = \kappa Re < Re$ für $\kappa < 1$

$\zeta_m = \zeta_m(\psi, Re_m, \frac{k_m}{d_m}, \dots) \leq \zeta(\psi, Re, \frac{k}{d}, \dots)$

Skalieren

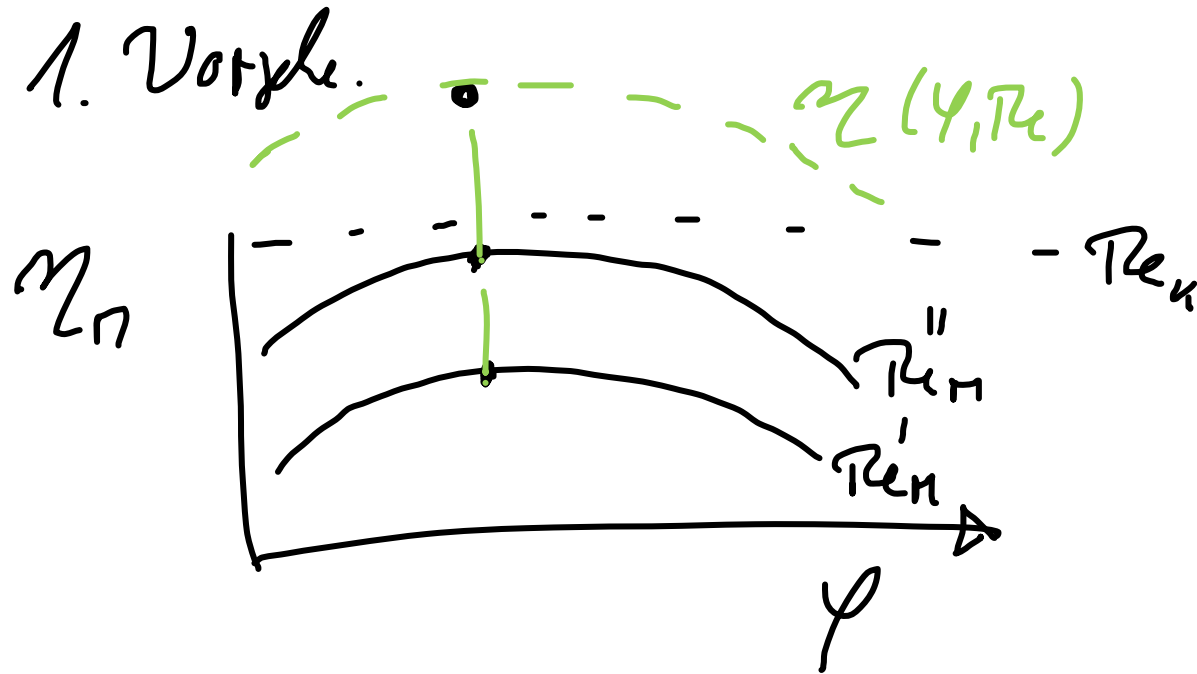
→
| Extrapolation
Anfangs oder Schluss.



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12



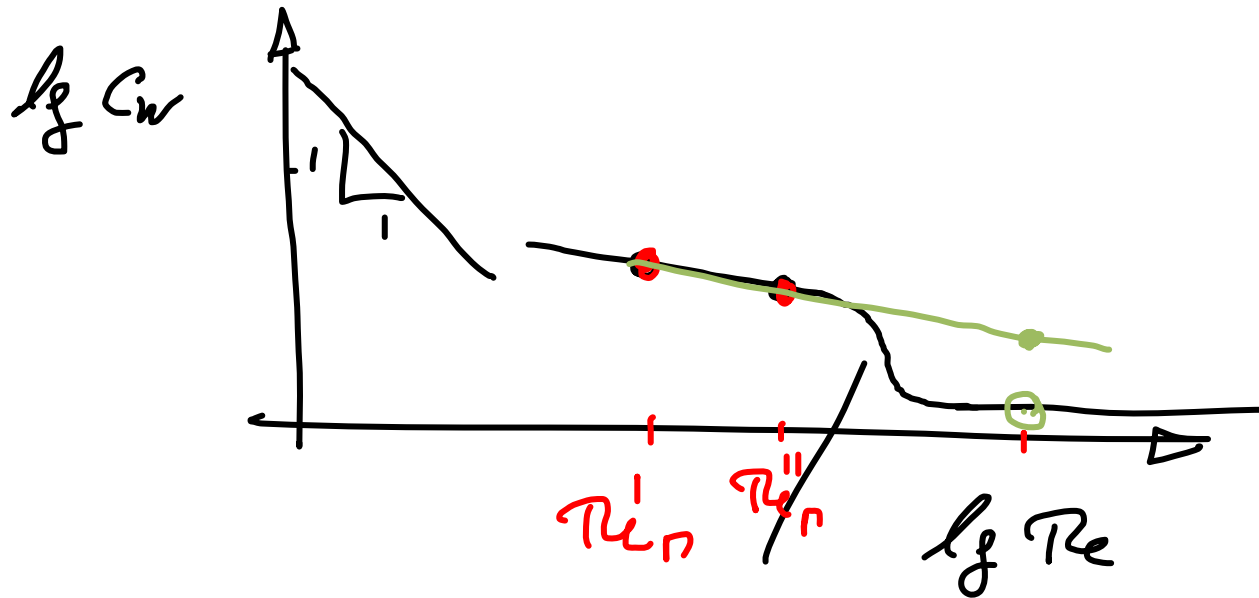
Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12



Voraussetzung: Die Werte in der Maschine
müssen sich monoton über
die Reynoldszahl ändern

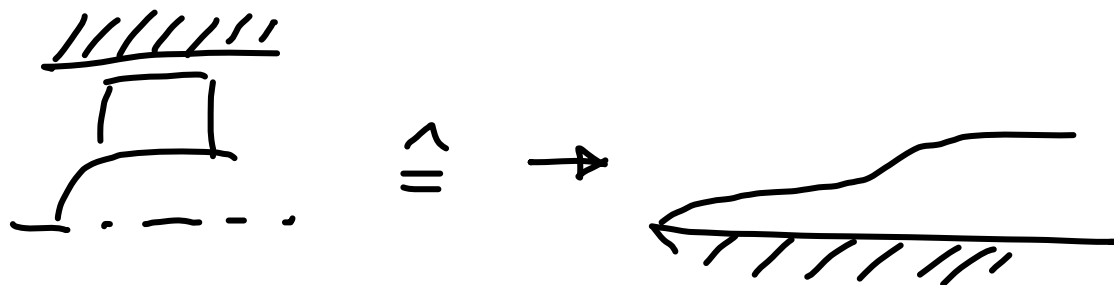


Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12



Reynoldszahl Katastrophe
bei der Umkehrstelle.

Hinweis: Mut zur Abstraktion



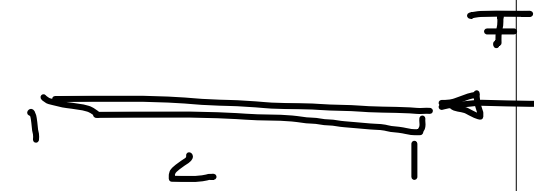
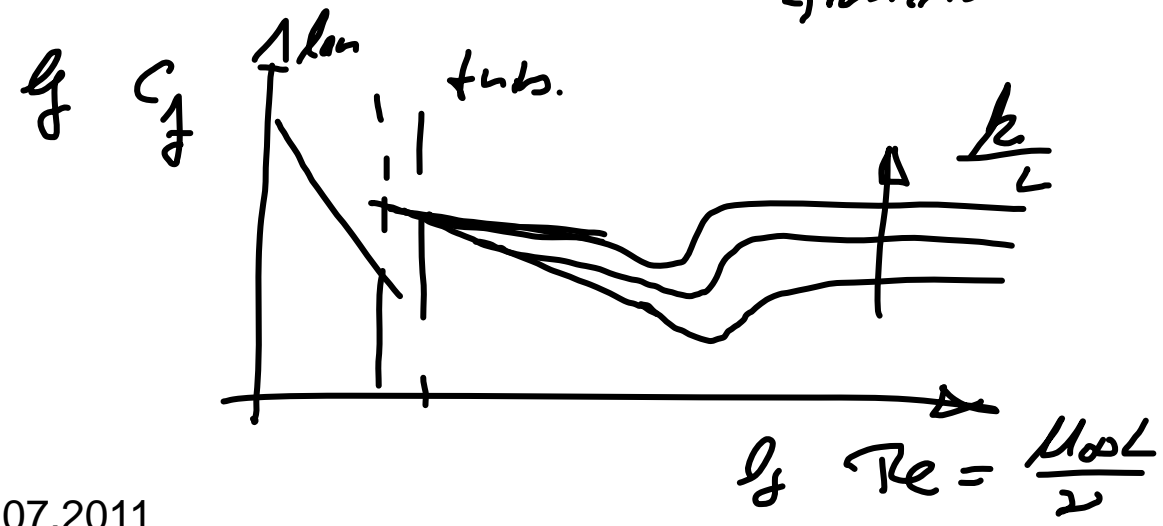


Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12

$$\zeta_n = \zeta_n \left(\psi, \underbrace{Re_n, \frac{k_n}{d}}_{\dots} \right) = \zeta_n \left(\psi, c_f, \dots \right)$$

$$c_f = c_f \left(Re, \frac{k}{L} \right)$$

Z.B. Nikuratsche Diagramm vgl. Schlichtung
Grenzschichttheorie



$$c_f := \frac{F}{L \cdot \frac{\rho}{2} U^2}$$



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12

$$1 - \eta = \frac{P_v}{P_A} \quad | \quad d$$

P_v immer Verlustleistung in einer Maschine.

P_A zugeführte Leistung.

$$-d\eta = \frac{dP_v}{P_A} - \frac{P_v}{P_A} \frac{dP_A}{P_A} = (1 - \eta) \frac{dP_v}{P_v} +$$

$$- (1 - \eta)^2 \frac{dP_A}{P_v}$$

$$\approx (1 - \eta) \frac{dP_v}{P_v}$$

$P_v / (1 - \eta)$



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12

$$- d\eta = (1-\eta) \underbrace{\frac{dP_v}{P_v}}_{\text{logarithmische Änderung}} + O((1-\eta)^2)$$

$$- \Delta\eta \approx (1-\eta) \frac{\Delta P_v}{P_v}$$

$$P_v \sim c_f \frac{\rho}{2} M_\infty^3 L \rightsquigarrow \frac{dP_v}{P_v} \approx \frac{dc_f}{c_f}$$

$$\eta - \eta_n = (1-\eta_n) \frac{c_{fn} - c_f}{c_{fn}}$$



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 12

$$\left[\frac{z - z_n}{1 - z} = \frac{c_n - c}{c_n} \right]$$

Aufwertung ist kein exakter Wissenstand!

↳ beliebig viele Methoden!