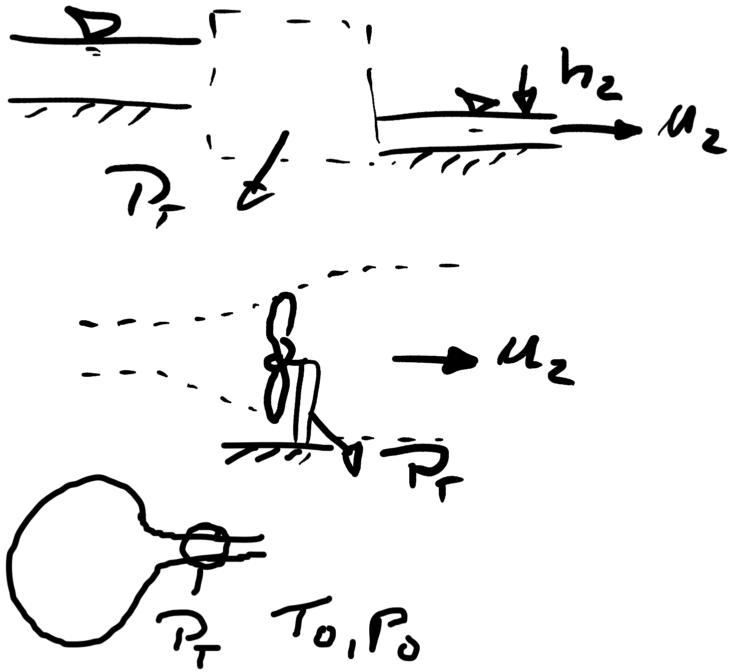
Fluidkraftsysteme ~ Optimierungsaufgabe.

Frage: Wie kann das Maximum an mechanischer Leistung aus einem Energiereservoir gewonnen werden?

1. Wasserkraft
2. Windkraft
3. Druckspeicher
4. Wellenkraft

⋮



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 6

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

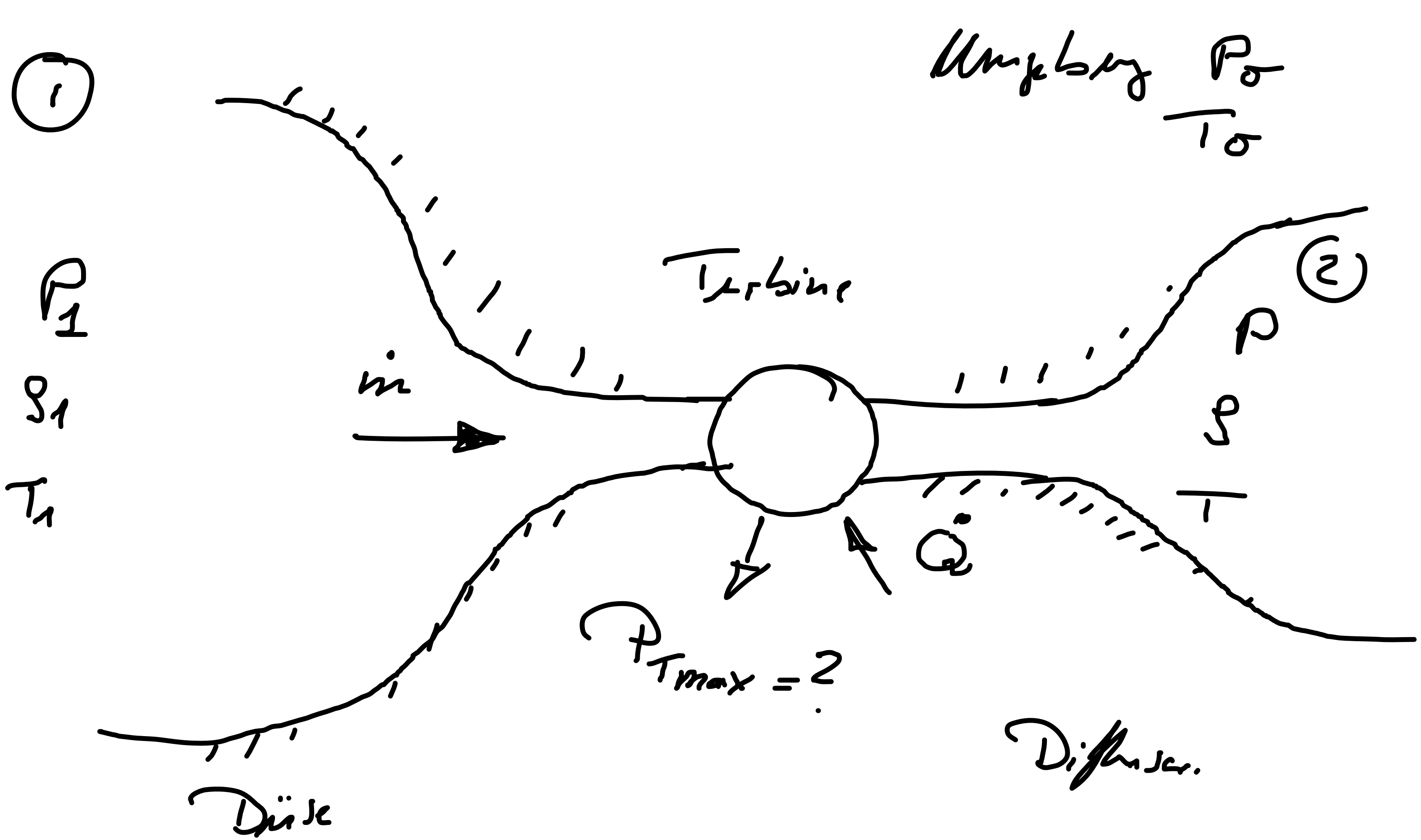
FLUID SYSTEM TECHNIK

Zu 3.

Druckspeicher

Frage: Welche mechanische Leistung lässt sich maximal bei der Entspannung eines Gases durch eine Turbine gewinnen?

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 6



Geg: $p_1, \rho_1, \dot{m}, p_0, T_0$

Ges: $P_{T\,max} = ?$

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 6

1. HS für im zeitliche Mittel stationäre Strömung.

$$P + \dot{Q} = \dot{m}\,(h_t - h_{t_1}) \qquad (1)$$

$$P = -P_T$$

Konvention: Mechanisch abgeführte Turbinen Leistung soll positiv definiert sein

Annahme: Kinetische Energie $\frac{u_1^2}{2} \ll \frac{p_1}{\rho_1}$ im Kessel

$\frac{u^2}{2} \ll \frac{p}{\rho}$ in der Abströmung.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2011

Fluidenergiemaschinen

Vorlesung 6

$$\rightsquigarrow \quad P_T = \dot{m}\,(h_1 - h) + \dot{Q} \qquad (1')$$

Zweite Bilanzgleichung:

Entropiebilanz in integraler Form.

$$\dot{m}\,(s - s_1) = \frac{\dot{Q}}{T_0} + \Delta \dot{S}_{irr} \qquad (2)$$

$(2) \rightsquigarrow$

$$\dot{Q} = \dot{m}\,(s T_0 - s_1 T_0) - \Delta \dot{S}_{irr}\, T_0$$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2011

Fluidenergiemaschinen

Vorlesung 6

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

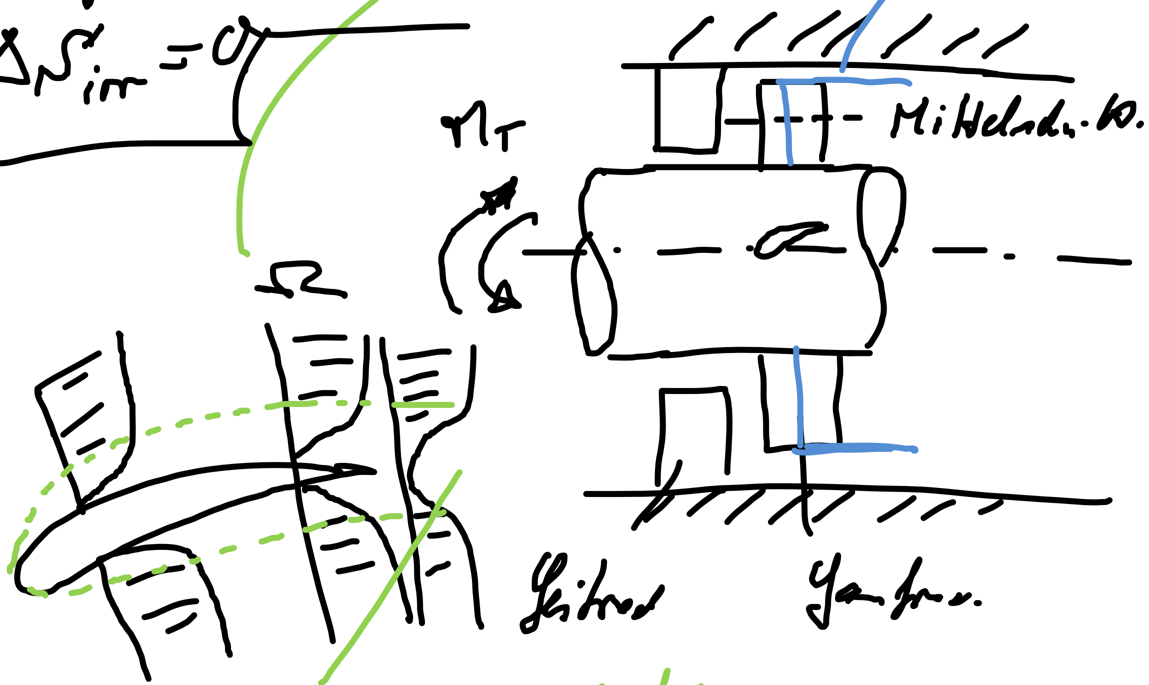
FLUID SYSTEM TECHNIK

(2) in (1')

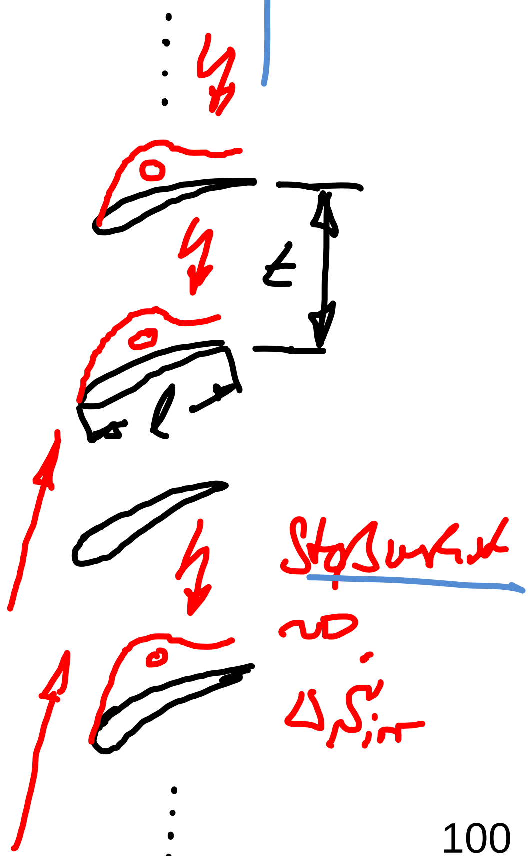
$$\rightsquigarrow \quad P_T = \dot m \left[(h_1 - s_1 T_0) - (h - s T_0) \right] - \Delta \dot S_{irr} T_0$$

Für eine ideale Turbine.

$\Delta \dot S_{irr} = 0$



gerades Schaufelgitter



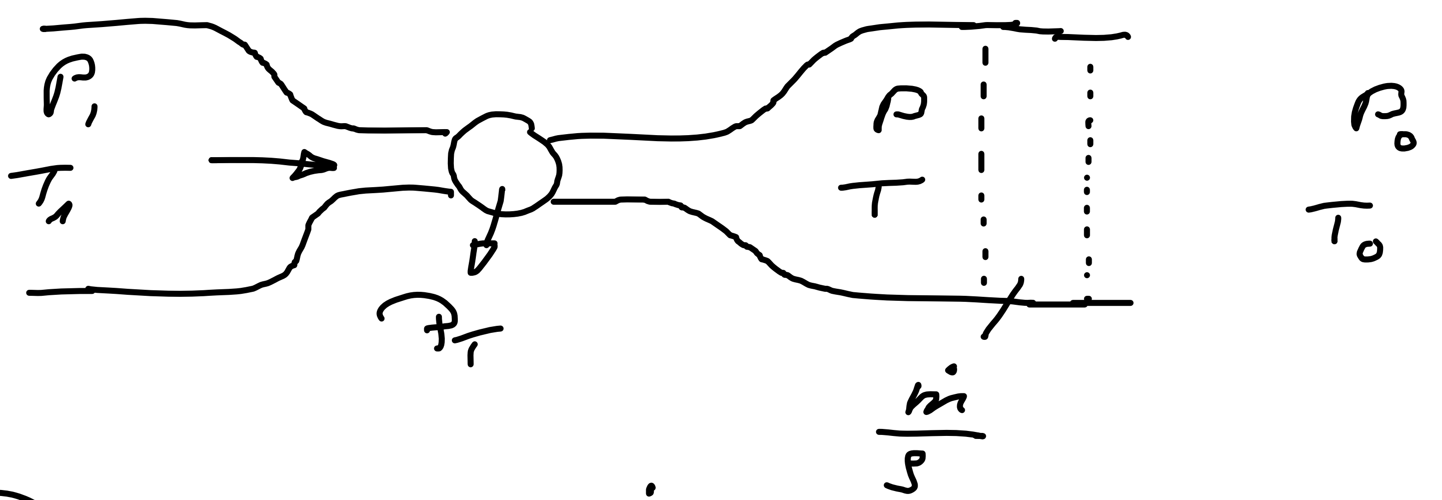
Nachlaufdelle infolge Reibung.

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 6

$$P_{T\,ideal} = \dot{m}\left[(h_1 - s_1 T_0) - (h - s T_0)\right].$$
$\eta = 1$

$h := e + \frac{p}{\rho}$ thermodyn. Zustandsgröße



$$P_{T\,max} = P_{T\,ideal} - \underbrace{\frac{\dot{m}}{\rho}(p_0 - p)}_{\text{Notwendige Arbeit an die Umgebung.}}$$

$\hat{=}$ Energiefluss stromab der Gasturbine

$\hat{=}$ Energiefluss stromab des Windrads.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 6

$$P_{T\,max} = \dot{m}\left[h_1 - T_0 s_1 - (h - pv) + \right.$$

$$\left. + T_0 s - p_0 v\right],$$

mit $v = 1/\varrho$.

Definition der Enthalpie $\quad h := e + \frac{p}{\varrho}$

$$\rightsquigarrow \quad e = h - pv$$

$$P_{T\,max}(s,v) = \dot{m}\left[h_1 - T_0 s_1 - e(s,v) + T_0 s - p_0 v\right].$$

Zwei Freiheitsgrade $\quad s, v \quad$ oder $\quad p, T$

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 6

Frage nach dem Optimum

$$\left.\frac{\partial P_{Turb}}{\partial s}\right|_v \overset{!}{=} 0 \quad \leadsto \quad \underline{\underline{T \overset{!}{=} T_0}}$$

$$\left.\frac{\partial P_{Turb}}{\partial v}\right|_s \overset{!}{=} 0 \quad \leadsto \quad \underline{\underline{p \overset{!}{=} p_0}}$$

$$\frac{\partial P_{Turb}}{\partial v} = -\dot m \left(\underbrace{\left.\frac{\partial e}{\partial v}\right|_s}_{-p} + p_0 \right) = -\dot m \left(-p + p_U \right)$$

$$\frac{\partial P_{Turb}}{\partial s} = -\dot m \left(\underbrace{\left.\frac{\partial e}{\partial s}\right|_v}_{T} - T_0 \right) = -\dot m \left(T - T_U \right)$$

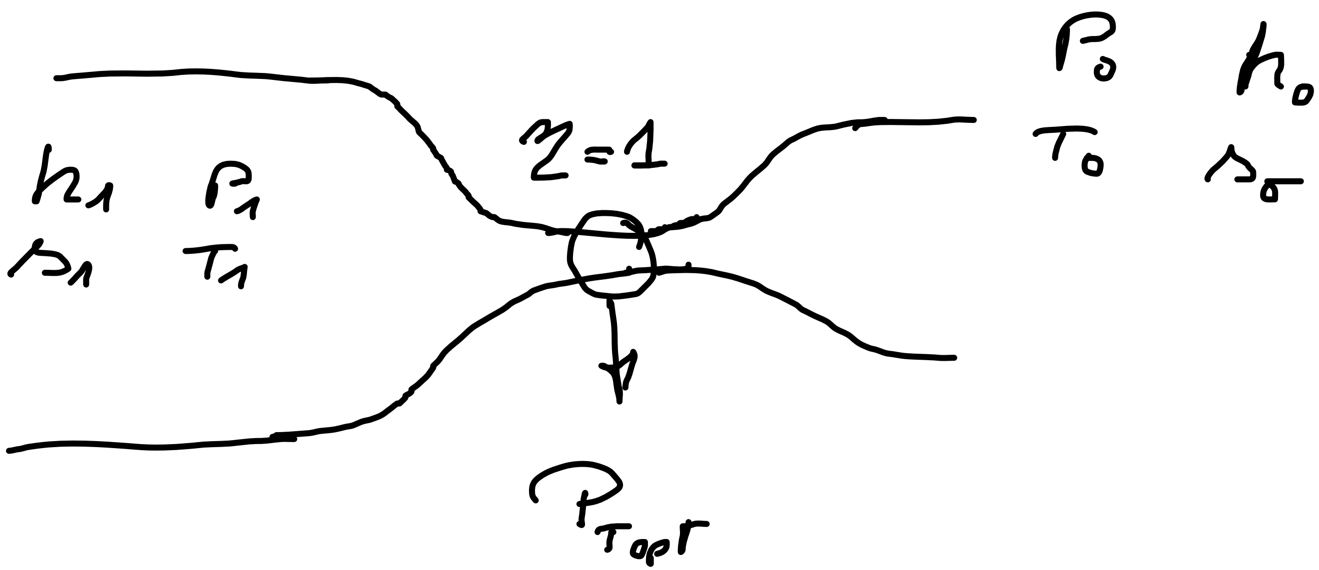
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 6

$T = T_0$
$p = p_0$
} eingesetzt in die Gleichung für die Leistung

$$P_{Topt} = \dot{m}\Big[\underbrace{(h_1 - h_0) - T_0 (s_1 - s_0)}_{\text{Exergie } ex}\Big]$$



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
FLUID SYSTEM TECHNIK
Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 6

$$ex := \frac{P_{T,opt}}{\dot{m}}$$

Die Exergie ist ein Maß für die Arbeitsfähigkeit eines Gases in einer Umgebung.

$\rightsquigarrow$ <u>Weiterführende Aufgabe</u>

$\dot{m}$, p, T sind freie Parameter.

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Fluidkraftmaschinen führen immer

zu einer Optimierungsaufgabe.

Wasserkraft

$$\frac{\partial P_T}{\partial h_2} \overset{!}{=} 0$$

$$\frac{\partial P_T}{\partial u_2} \overset{!}{=} 0$$

Windkraft

$$\frac{\partial P_T}{\partial u_2} \overset{!}{=} 0$$

Druckspeicher

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial P_T}{\partial s_2} &\overset{!}{=} 0 \\ \frac{\partial P_T}{\partial \vartheta_2} &\overset{!}{=} 0 \end{aligned}\right\} \text{Exergie}$$

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2011

Fluidenergiemaschinen

Vorlesung 6

Fluidarbeitsmaschinen

Fragestellung: Wie erreicht man effizient eine Förderaufgabe, Lüftungsaufgabe.....

Anforderung an den Massenstrom $\dot{m}$

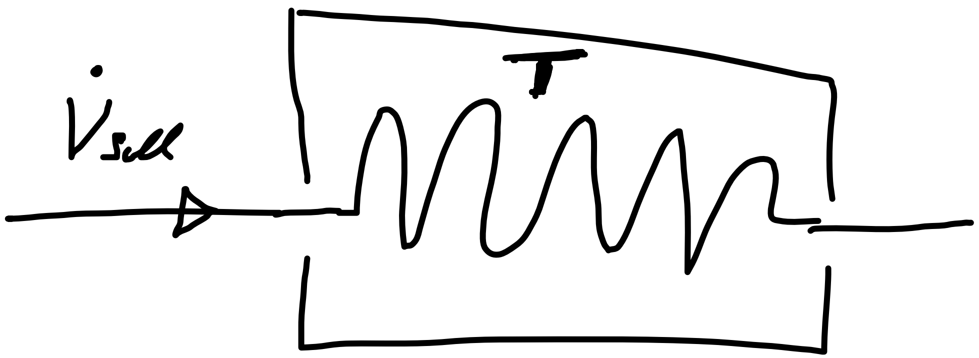
Anforderung an d. Volumenstrom $\dot{V}$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

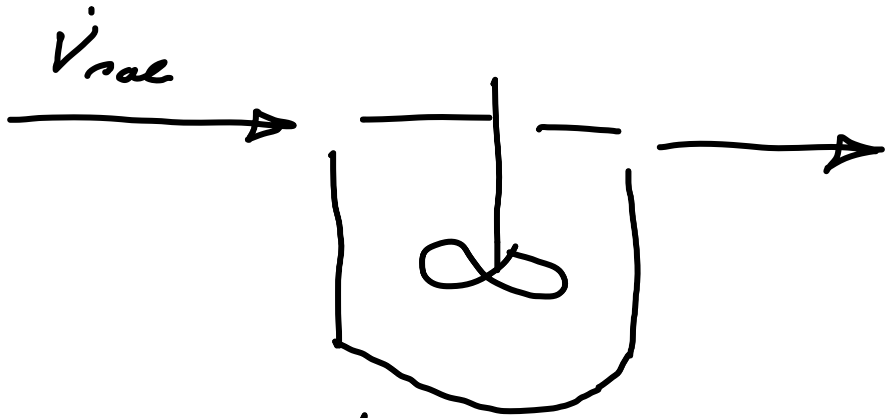
FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 6

z.B. Kühlaufgabe



z.B. Prozess



chemischer Reaktor

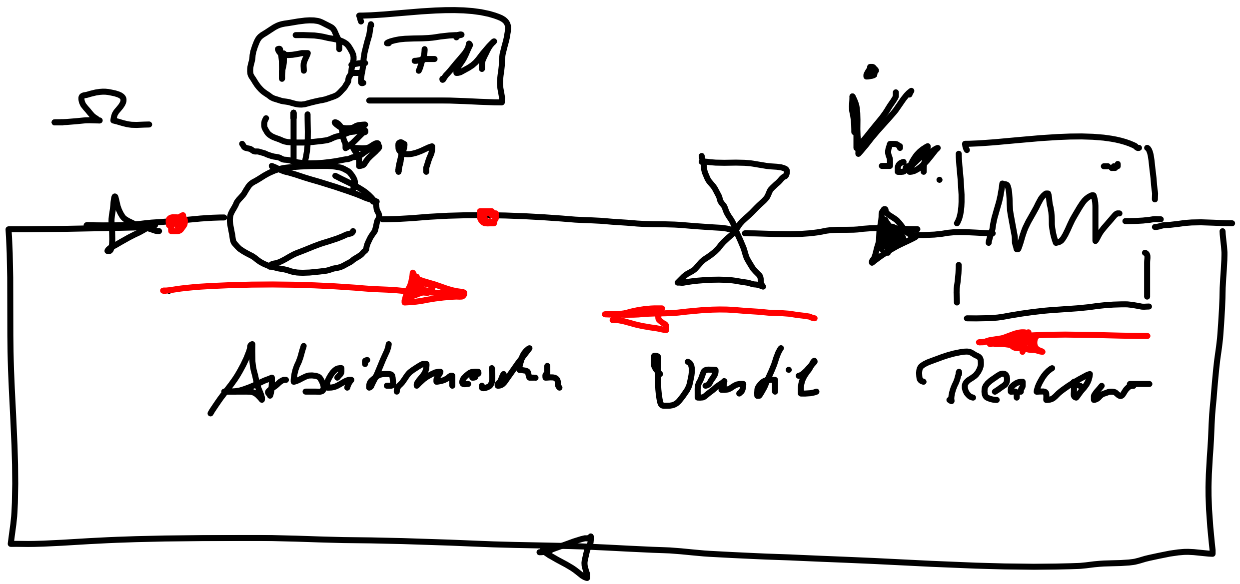
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 6

geschlossener Fluidkreislauf.



Reaktor: - Wärmetausch.
• chemische Reaktor (Mischer...)

M elektrische Antriebsmaschine

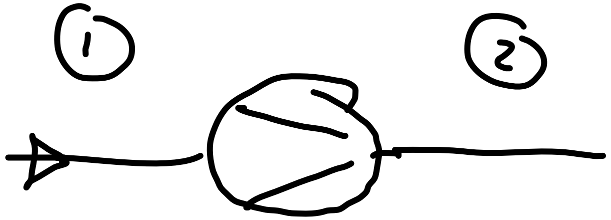
FM Frequenzumricht.

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 6

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Einfache Analyse für stationäre Prozesse.



$$P + \underset{\overset{\shortparallel}{0}}{\dot{Q}} = \dot{m}\left(h_{t2} - h_{t1}\right)$$

$$\eta P = \dot{m}\left[\left(\frac{p}{\rho} + \frac{u^2}{2}\right)_2 - \left(\frac{p}{\rho} + \frac{u^2}{2}\right)_1\right]$$

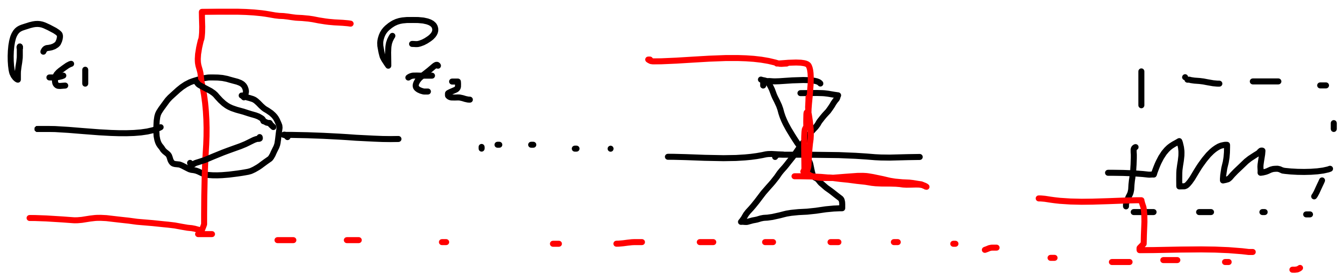
η ist der hydraulische Wirkungsgrad

$$1 - \eta = \frac{\dot{V}\left(e_2 - e_1\right)}{P}.$$

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 6

Für $\varrho = \text{const}$

$$\eta P = \dot V \left(p_{t2} - p_{t1}\right)$$



Jede Fluidarbeitsmaschine kann als Spannungsquelle interpretiert werden.

Für stationären Zustand $\quad p_{t2} - p_{t1} \overset{!}{=} \sum p_V = p_V + p_R$

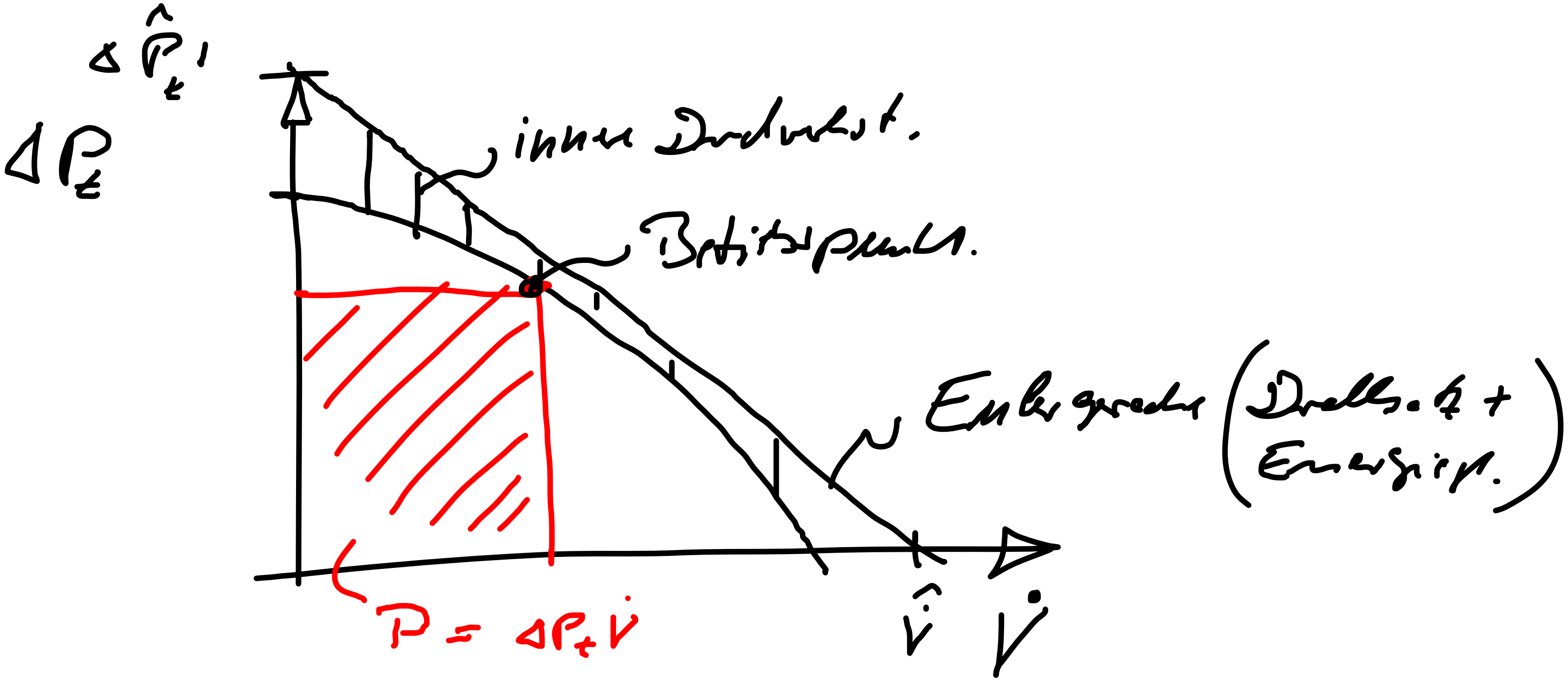
Verl. Reib.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 6



Darstellung Δp_t über $\dot{V}$ für inkompressible Strömung.

$$\Delta p_t \overset{!}{=} \underline{\underline{\Delta p_v}}$$ für eine geschlossene Kreislauf im stationären Betrieb

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

$$\Delta p_v = fn\Big(\dot V, \underbrace{\rho, \nu, p_D, \dots}_{\text{Stoffdat.}}, \underbrace{D, k_1 D, k_2 D, \dots}_{\text{geometrische Dat.}}\Big)$$

[L M T] - System Dyn. Ähnlichkeit

$$\hookrightarrow \quad \frac{\Delta p_v}{\frac{\rho}{2}\left(\frac{\dot V}{\frac{\pi}{4}D^2}\right)^2} = \zeta\Big(\underbrace{\frac{\dot V}{\frac{\pi}{4}D^2}\frac{D}{2\nu}}_{Re}, \underbrace{k_1, k_2, \dots}_{\text{Gestalt der Störquell.}}\Big)$$

ζ Verlustziffer.

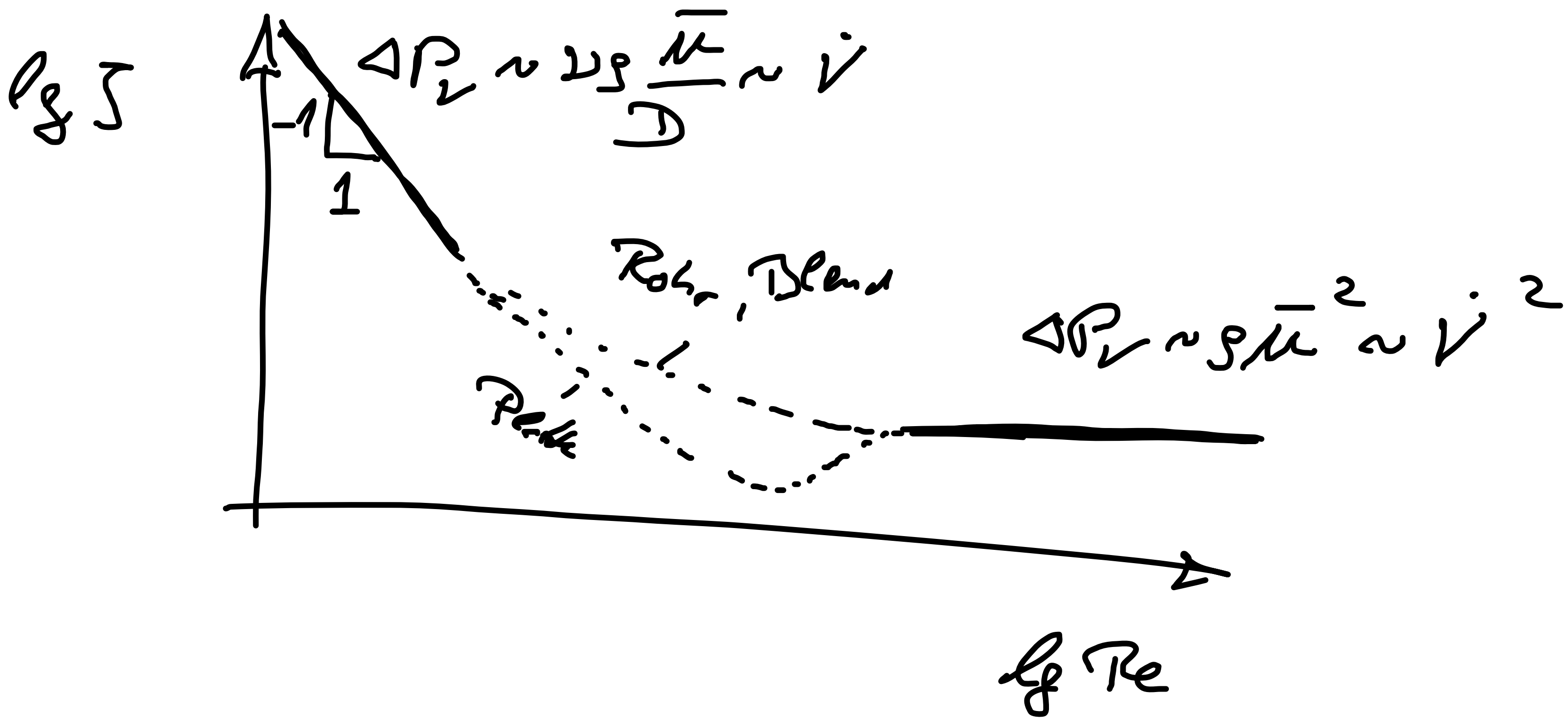
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 6

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

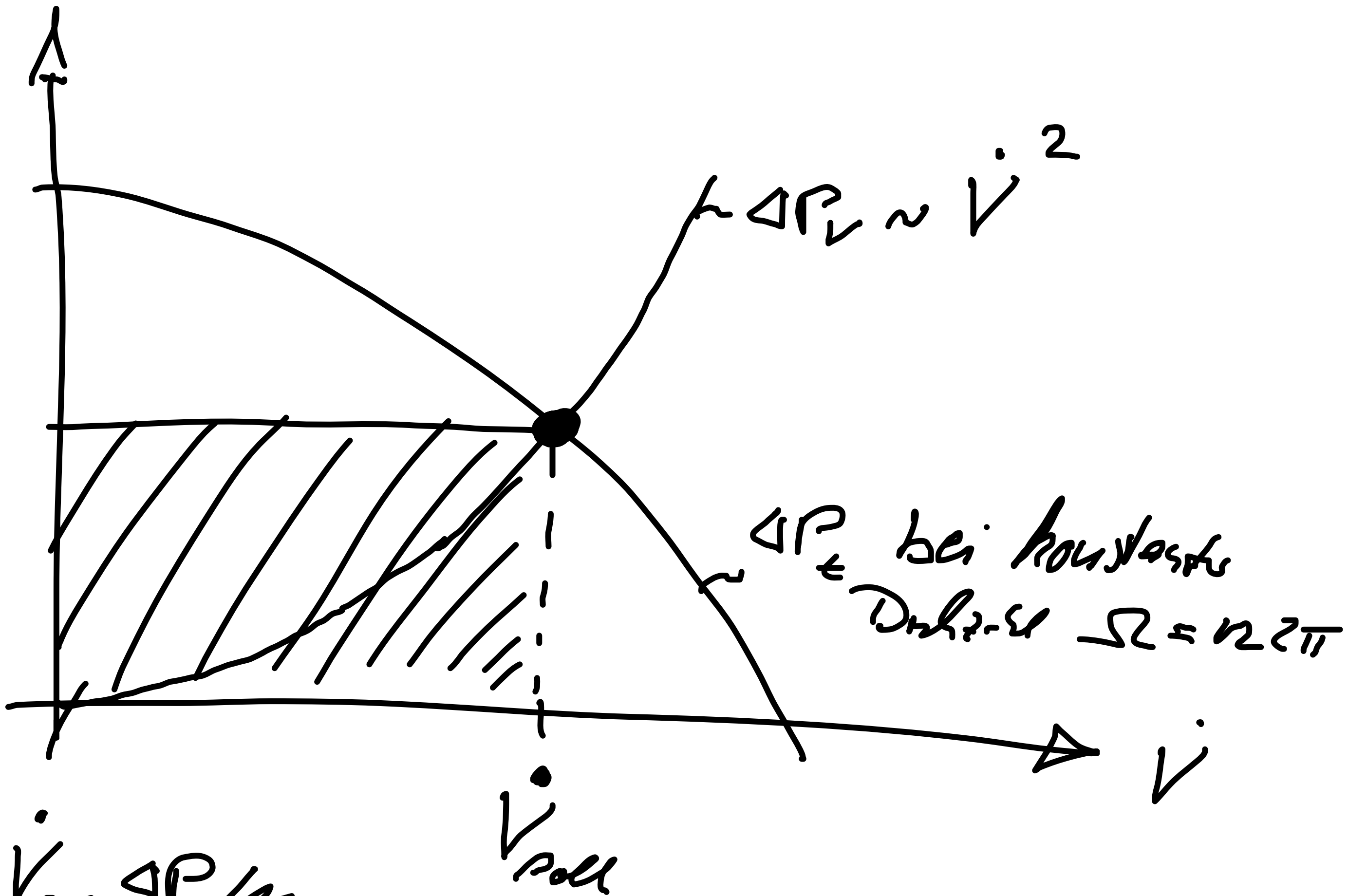
FLUID SYSTEM TECHNIK



$\lim_{Re \to \infty} \zeta \neq fn(\text{Viskosität } \nu)$ dann ist Δp_V nicht mehr von der Viskosität abhäng.

$\lim_{Re \to 0} \zeta = const \frac{1}{Re}$ dann ist Δp_V nicht mehr von der Dichte ρ abhängig

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 6

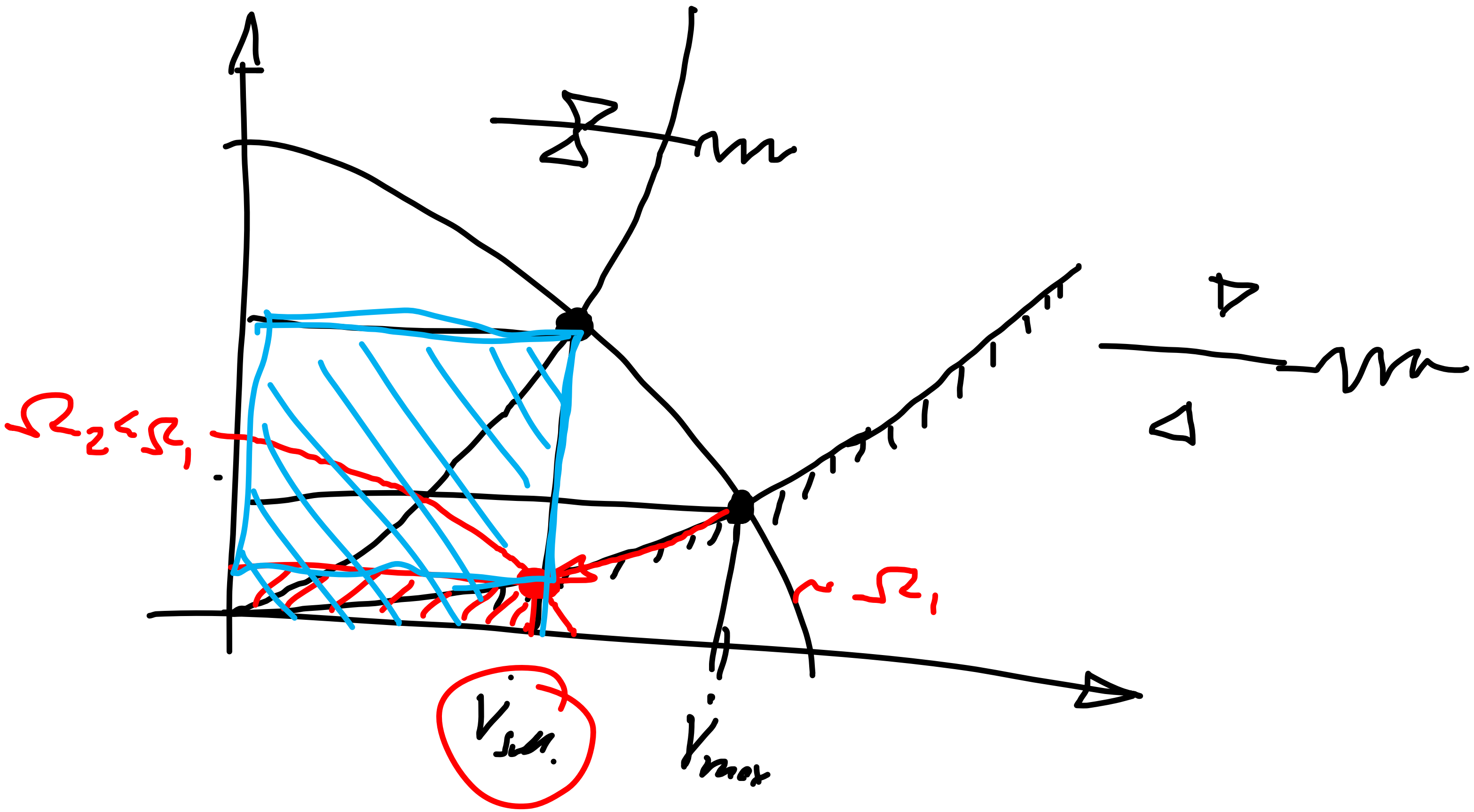


$P = \dot V_{soll} \Delta p_t / \eta$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Fluidenergiemaschinen
Vorlesung 6



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2011

Fluidenergiemaschinen

Vorlesung 6