

Literaturempfehlung

Grundlagen der Thermodynamik

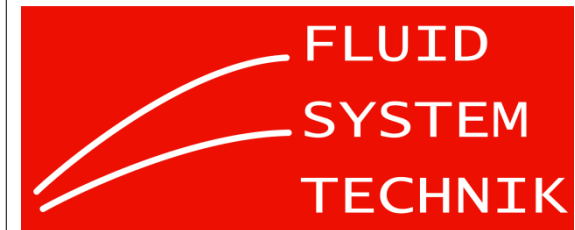
Kley & Neugebauer

Spektrum 1994

- ⊕ Sehr umfassend.
- ⊕ sehr gute Darstellung.
- ⊕ gut geschrieben.

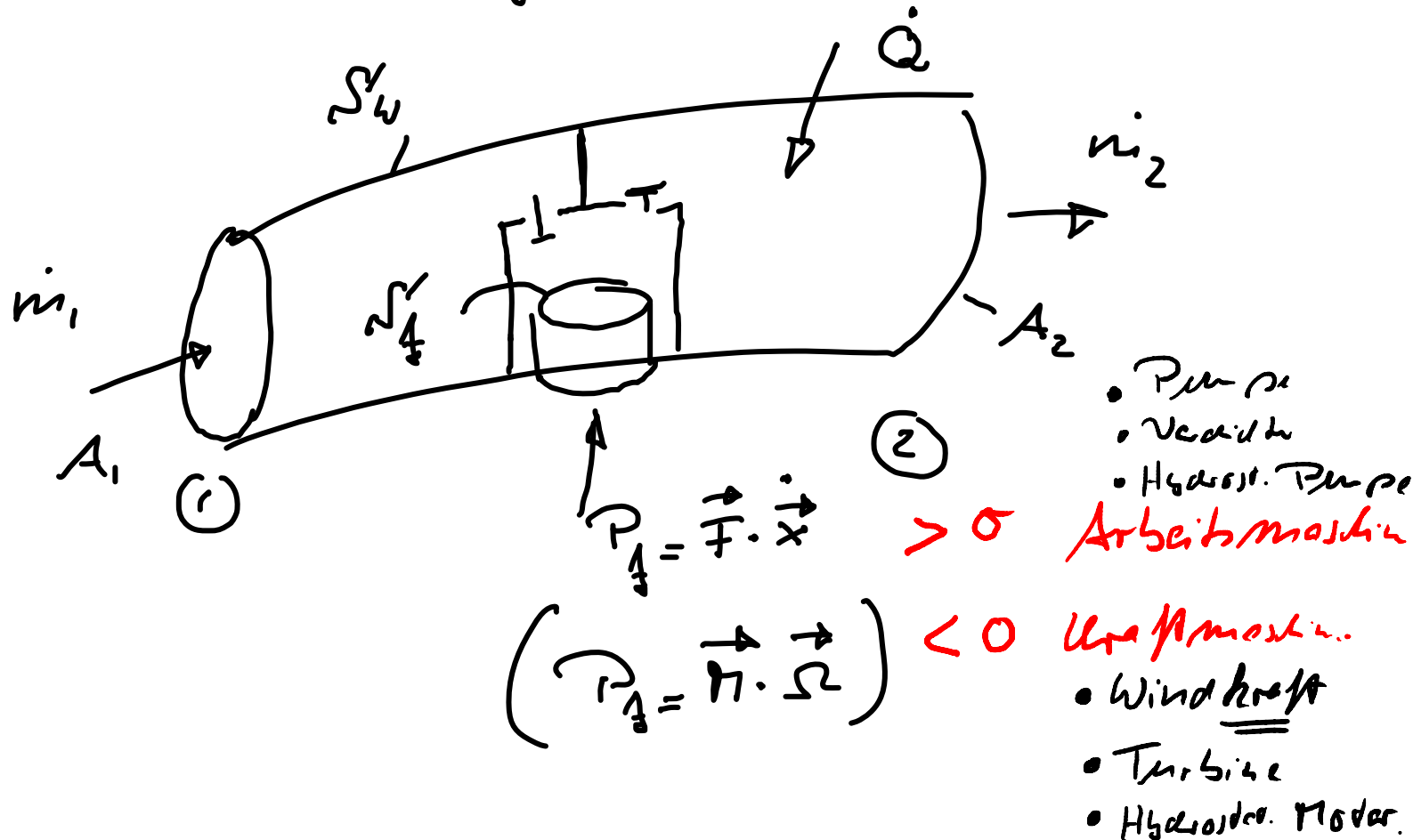


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbo-
maschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 12

Energiegleichung für eine Strömungsröhre



$$\left| \frac{d}{dt} \right| \equiv 0 : \frac{\dot{P}_A + \dot{Q}}{\dot{m}} = h_{t2} - h_{t1}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}$$



$$\frac{DK}{Dt} + \frac{DE}{Dt} = \dot{P} + \dot{Q}$$

$$K = \int_{V(t)} \frac{\rho}{2} \vec{u} \cdot \vec{u} dV$$

$$E = \int_{V(t)} \rho e dV$$

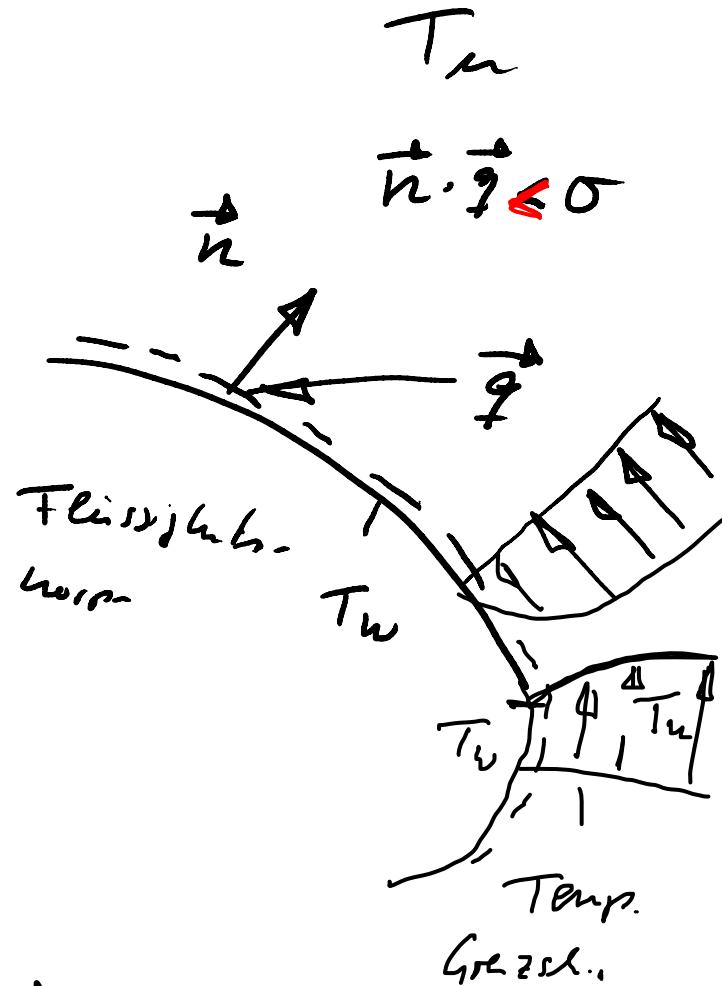
$$\dot{P} = \oint_{S^v} \vec{\tau} \cdot \vec{n} dS^v + \int_V \vec{f} \cdot \vec{u} dV$$

$S^v = A_1 + A_2 + S_U + S_f$

$$\dot{Q} = - \oint_{S^v} \vec{q} \cdot \vec{n} dS^v \equiv$$

$$\vec{q} \cdot \vec{n} = k(T_w - T_u) \quad (1)$$

Newtonsche Ansatz.



$$\vec{q} = - \lambda \nabla T$$

② Fouriersche Wärmeleitgesetz
Materialgesetz

$$\vec{q} \cdot \vec{n} = h (T_u - T_m) \quad \text{ist kein Materialgesetz!}$$

$$h \approx \alpha := \frac{q_n}{\Delta T} = f_n(\text{Ma}, \lambda, L, \text{Gr} \dots)$$

$$\overset{L_0}{\text{Dim.lose}} \quad \text{Nu} = \frac{\alpha L}{\lambda} = \text{Nu}(\text{Pr}, \text{Re}, \text{Gr})$$



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbo-
maschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 12

Annahme: Die Volumenkraft \vec{f} hat ein Potential ψ 1. Annahme

$$\vec{f} = -\nabla\psi$$

Leistung der
Volumenkraft.

$$\int_V \vec{f} \cdot \vec{u} dV = \int_V -\nabla\psi \cdot \vec{u} dV =$$

$$= \int_V -\nabla(\psi \vec{u}) + \underbrace{\psi \nabla \cdot \vec{u}}_{\text{2. Annahme.}} dV$$

= 0, für inkompressibles
Ström.

Gauß:

$$\equiv \oint_{\partial V} -\psi \vec{u} \cdot \vec{n} dS$$



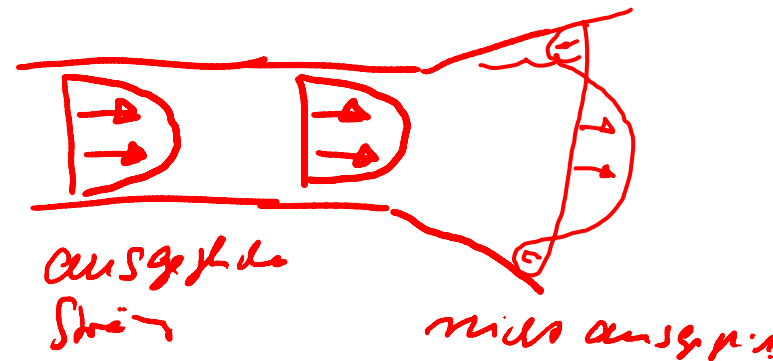
Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbo-
maschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 12



$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \left(e + \frac{u^2}{2} \right) dV + \oint_{S^V} \rho \left(e + \frac{u^2}{2} + \frac{p}{\rho} \right) \vec{u} \cdot \vec{n} dS^V$$

$$= \underbrace{\int_{A_1} -\rho \vec{n} \cdot \vec{u} dS^V}_{\vec{t}_1 \cdot \vec{u}_1} + \int_{A_2} -\rho \vec{n} \cdot \vec{u} dS^V + \int_{S_A + S_W} \vec{t} \cdot \vec{u} dS^V + \dot{Q}$$

3. Annahme: Ausgehende Strömung an A_1, A_2



e ist die massenspezifische innere Energie.

$e = e(T, p)$ ist für kalorische Zustandsgrößen

26.05.2010 Kalorische Zustandsgrößen

$\Delta e = c_p \Delta T$ falls $\text{Div } \vec{u} = 0$
 $\Delta e = c_v \Delta T$ falls $\text{div } \vec{u} \neq 0$ 166

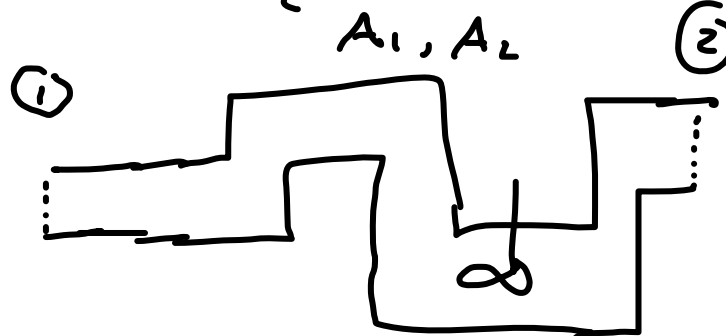


Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbo-
maschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 12



$$\int_0^L \frac{\partial}{\partial t} \left[\rho \left(e + \frac{u^2}{2} \right) \right] A ds + \int_{A_1+A_2} \rho \left(\frac{p+\psi}{\rho} + e + \frac{u^2}{2} \right) \vec{u} \cdot \vec{n} dA =$$

$h_t = \text{const über } A_1, A_2$

$$= P_A + \dot{Q}$$


$$p + \psi = p^* \quad \text{Piezometrische Druck}$$

$$p \quad \text{statische Druck}$$

$$h_t := \frac{p^*}{\rho} + e + \frac{u^2}{2} \quad \text{Totalenhdolpie}$$

$$h = \frac{p}{\rho} + e \quad \text{Enhdolpie}$$



$$\int_0^L \frac{\partial}{\partial t} \left[\rho \left(e + \frac{u^2}{2} \right) \right] A ds - \dot{m}_1 h_{e1} + \dot{m}_2 h_{e2} = \dot{P}_A + \dot{Q}$$

$$\int_0^L \frac{\partial}{\partial t} (\rho A) ds - \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = 0$$

$$\int_0^L \frac{\partial}{\partial t} (\rho u A \vec{r}) ds - [\rho u_1^2 + P_1^*] A_1 \vec{r}_1 + [\rho u_2^2 + P_2^*] A_2 \vec{r}_2 = -\vec{F}_{Fe \rightarrow S_u}$$

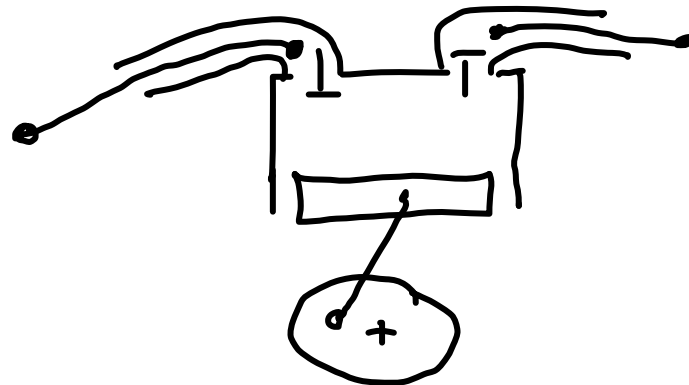
Wichtige Spezialfälle des Energieerhalts.

im zeitliche Mittel stationäre Strömung $\frac{\partial}{\partial t} = 0$.

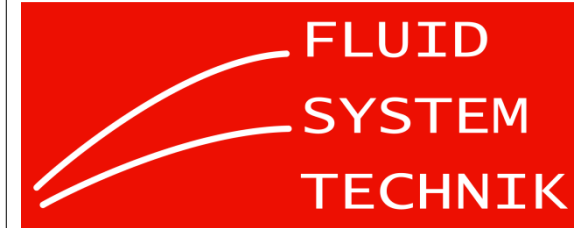
$$v_{i1} = v_{i2} = v_i$$

$$\left[\frac{P_A + \dot{Q}}{v_i} = h_{t2} - h_{t1} \right] \quad \downarrow$$

Gilt auch, wenn kein Strömung durch die Maschine geht und kein



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbo-
maschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 12

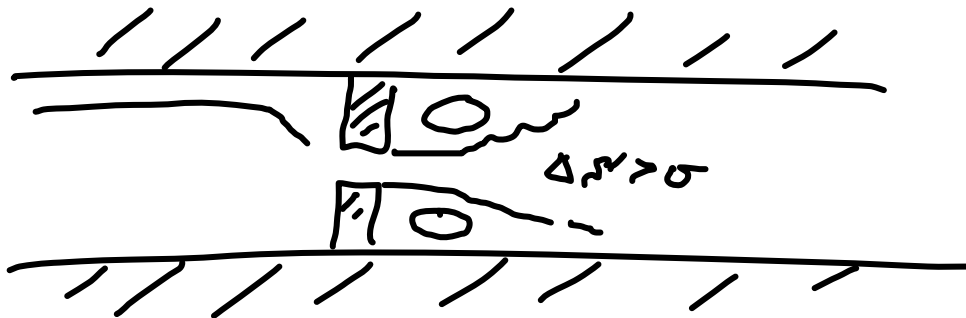
Strömung ohne äußere Wärmezufuhr. $\dot{Q} = 0$

ohne äußere Geirrezufuhr $\dot{P}_4 = 0$

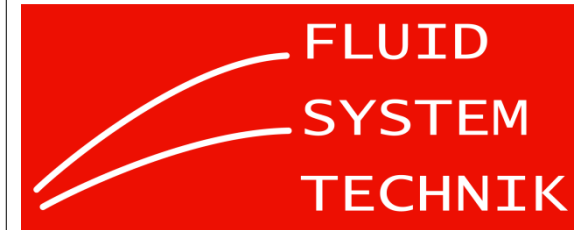
$$\frac{d\sigma}{dt} = 0.$$

$$h_{t1} = h_{t2}$$

$$h_t = \text{const}$$



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbo-
maschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 12

Strömung ohne Verluste $\dot{Q} \equiv 0$
 $\frac{\partial \rho}{\partial t} \equiv 0$

$$\frac{\dot{P}_4}{\dot{m}} = h_{e2} - h_{e1}$$

$$= \underbrace{\left(\frac{p}{\rho} + \frac{u^2}{2} \right)_2 - \left(\frac{p}{\rho} + \frac{u^2}{2} \right)_1}_{\text{techn. Arbeit}} + \underbrace{(e_2 - e_1)}_{\text{Verst.-Arbeit}}$$

$$\dot{P}_4 = \dot{m} (\gamma + \gamma_v) \quad \gamma := \text{techn. Arbeit} \quad \gamma_v := \text{Verst.-Arbeit}$$

$\gamma := g H$ H ist Förderhöhe $H > \text{Arbeitshöhe}$
 $H < \text{Krafthöhe}$



$$\sum P_A = \dot{m} \underline{\underline{gH}}$$

Arbeitsmaschinen

$$P_A = \dot{m} \underline{\underline{gH}} + \dot{m} (e_2 - e_1)$$

$$\leadsto \eta = \frac{1}{1 + \frac{e_2 - e_1}{gH}}$$

$$\eta := \frac{\dot{m} \underline{\underline{gH}}}{P_A}$$

Spezialfall: $\rho = \text{const}$ $\underline{\underline{gH}} = \frac{\Delta P_t}{\rho}$; $\dot{m} = \rho Q$

$$P_A = \frac{1}{\eta} Q \Delta P_t$$



$$\Delta H := \left(\frac{p^*}{\rho} + \frac{u^2}{2} \right)_2 - \left(\frac{p^*}{\rho} + \frac{u^2}{2} \right)_1$$

Annahme $\rho_1 = \rho_2 = \text{const}$

$$\rho \Delta H = \underbrace{\left(p^* + \frac{\rho}{2} u^2 \right)_2 - \left(p^* + \frac{\rho}{2} u^2 \right)_1}_{P_t \text{ Totaldruck.}}$$

$$\rho \Delta H = \Delta P_t = P_{t2} - P_{t1}$$

$$\Delta H = \frac{\Delta P_t}{\rho}$$



VitaPumpe

$$P_A = \dot{m} g H + \dot{m} \Delta e$$

$$P_A < 0 \quad gH < 0.$$

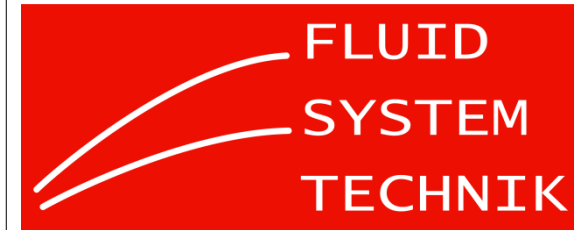
$$\eta := \frac{P_A}{\dot{m} g H}$$

Wirkungsgrad, Efficiency

$$\eta = \frac{\dot{m} g H + \dot{m} \Delta e}{\dot{m} g H} = 1 + \frac{\Delta e}{gH} < 1$$



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbo-
maschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 12

Kostenintensiv, Nettowert der Vorlesung zu man

Kraftmaschine $\eta_k := \frac{P_A}{\rho \dot{V} g H} \stackrel{(3)}{=} 1 + \frac{\cancel{\Delta e} c_v \Delta T}{g H}$

😊 billig ☹️ meh.
😊 eiter

Arbeitsmaschine $\eta_A := \frac{\rho \dot{V} g H}{P_A} \stackrel{(3)}{=} \frac{1}{1 + \frac{\cancel{\Delta e} c_v \Delta T}{g H}}$

mit $\Delta e = c_v \Delta T$

$P_A = \vec{T} \cdot \vec{\Omega} = \eta_{el} P_{el} \eta_{mech}$

☹️ meh. ☺️ elektrisch ☺️ Lager + Dichtungen



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbo-
maschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 12