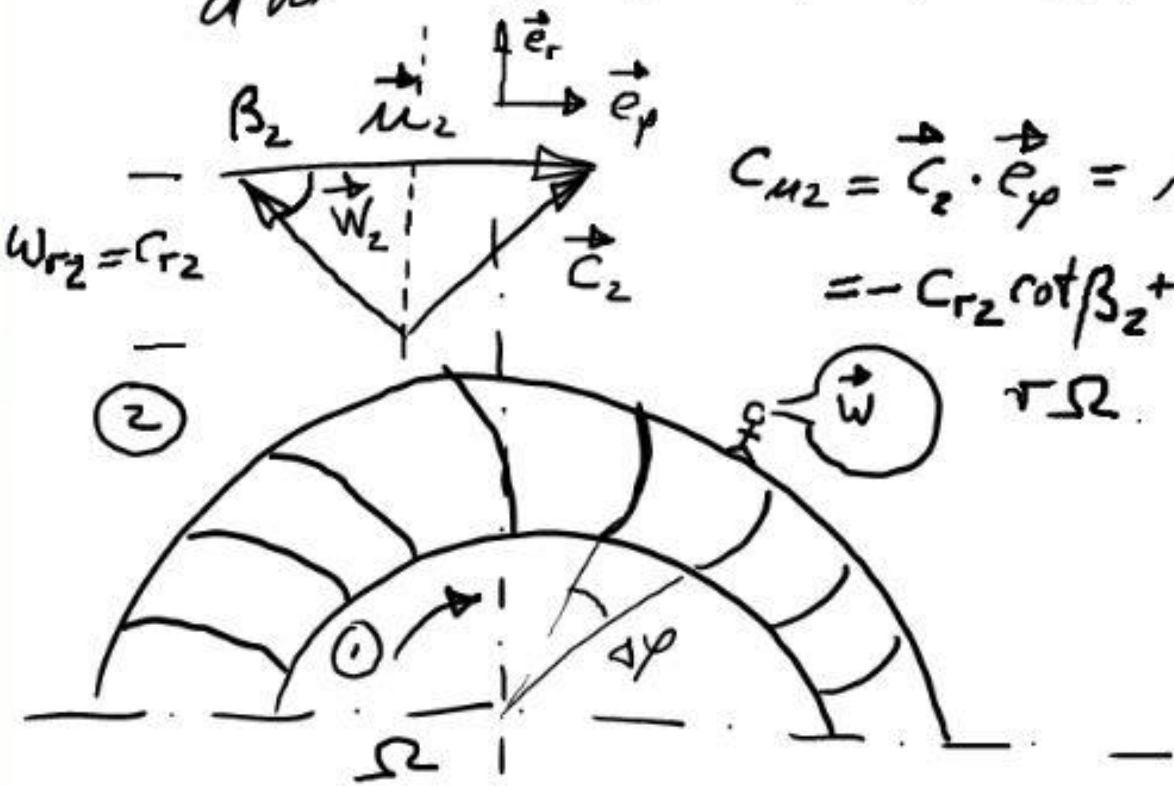
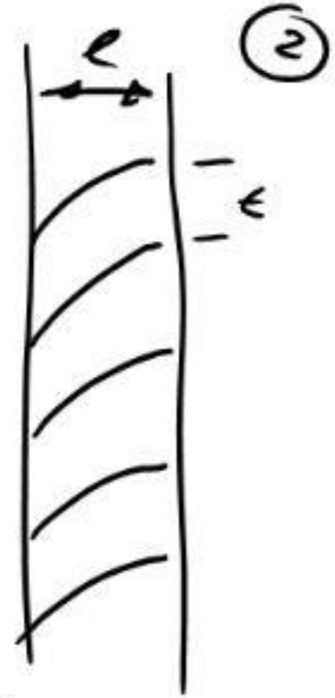
$$\frac{dM_z}{d\dot m} = r_2 c_{u2} - r_1 c_{u1} \quad \text{Eulersche Turbinengleichung}$$



$$c_{u2} = \vec c_2 \cdot \vec e_\varphi = w_{u2} + r\Omega$$
$$= -c_{r2} \cot\beta_2 + ① \; r\Omega$$



$$\left.\begin{array}{l} \Delta\varphi \ll 1 \\ \dfrac{t}{l} \ll 1 \end{array}\right\} \text{Schaufelkongruente Abströmung.}$$

$$\vec c = \vec w + \vec u$$
$$= \vec w + r\Omega\, \vec e_\varphi$$

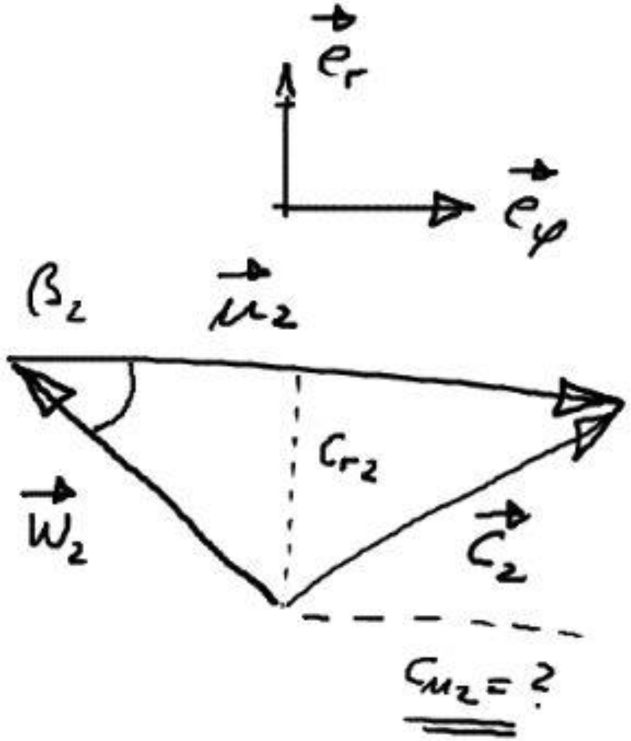
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 22

Geschwindigkeitsdreieck an der Stelle 2



$$c_{u2} = \vec{c}_2 \cdot \vec{e}_\varphi = \left(\vec{w}_2 + \Omega r_2 \vec{e}_\varphi\right) \cdot \vec{e}_\varphi = w_{u2} + \Omega r$$

$$= - c_{r2} \cot \beta_2 + \Omega r.$$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 22

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Einsetzen in die Turbinengleichung.

$$\frac{d\Psi_t}{dm} = r_2^2\,\Omega - r_2\, c_{2r} \cot\beta_2 - \underbrace{\left(\text{Drall der Zuströmung}\right)}_{=0} \quad \Big|\, * \,\Omega$$

Drallsatz.

$$\frac{dP_t}{dm} = u_2^2 - u_2\, c_{2r} \cot\beta_2 \qquad (1)$$

Energiegleichung

$$\frac{dP_t}{dm} + \underbrace{\frac{d\dot{Q}}{dm}}_{=0} = h_{t2} - h_{t1} \qquad (2)$$

adiabate Maschine.

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 22

$$\Delta h_t = u_2^2 - u_2 c_{2r} \cot \beta_2 \quad \Big| \; \frac{1}{u_2^2}$$

$$\underbrace{\frac{\Delta h_t}{u_2^2}}_{\psi} = 1 - \underbrace{\frac{\overset{Q}{c_{2r}}}{u_2}}_{\varphi} \cot \beta_2$$

ψ Druckziffer

φ Lieferzahl.

$$\boxed{\psi = 1 - \varphi \cot \beta_2}$$

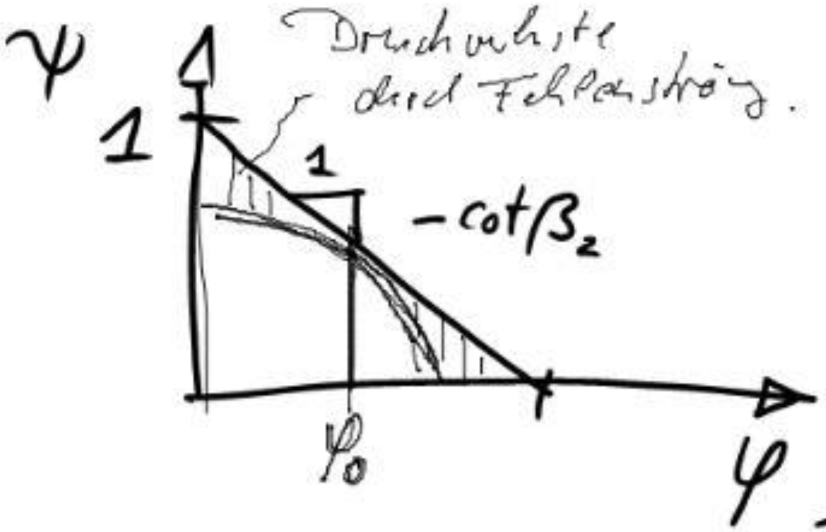
ideale Kennlinie einer Turbomaschine.

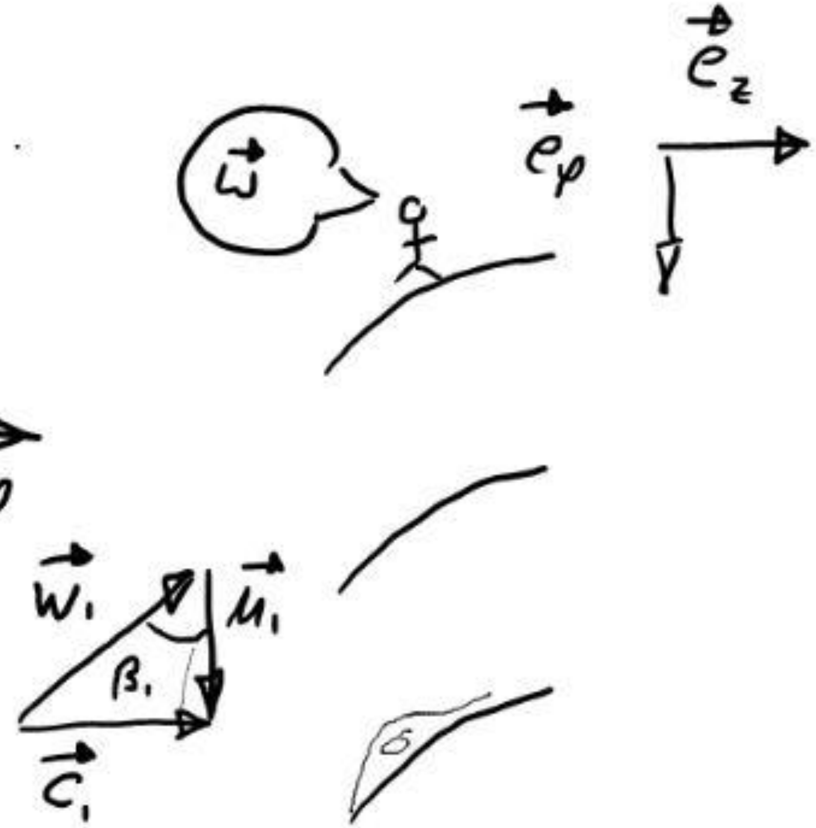
Christopher Brennen: Pump book

Caltech. *.pdf

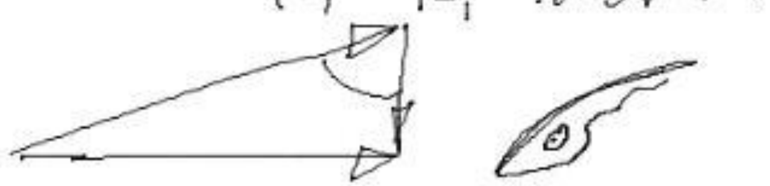
Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 22

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
FLUID SYSTEM TECHNIK





$$\varphi := \frac{c_{z1}}{u} = \tan\beta_1$$



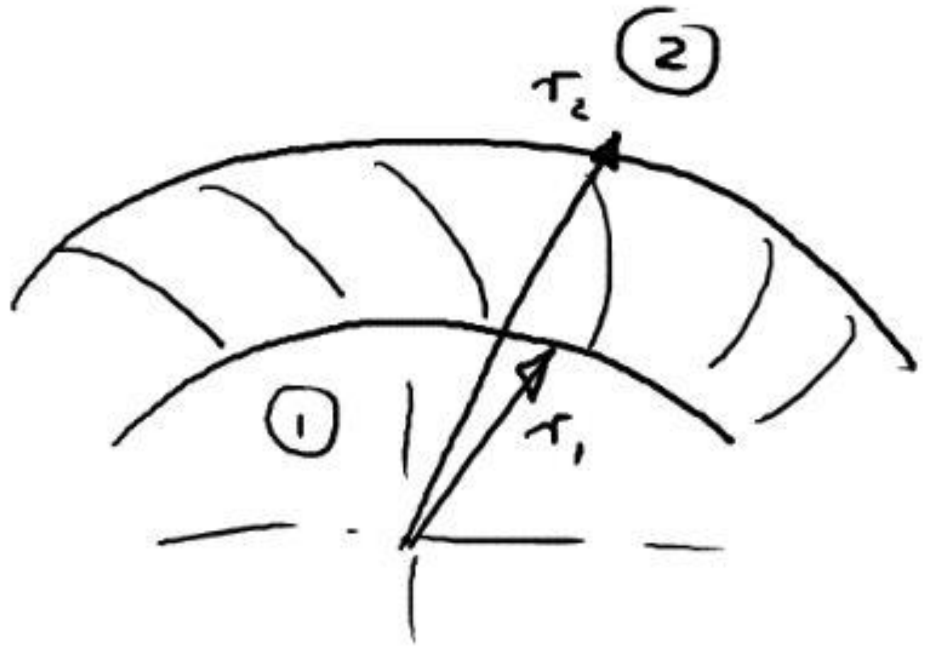
$$c_{z1} \sim Q$$

$$\varphi \sim Q$$

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 22

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

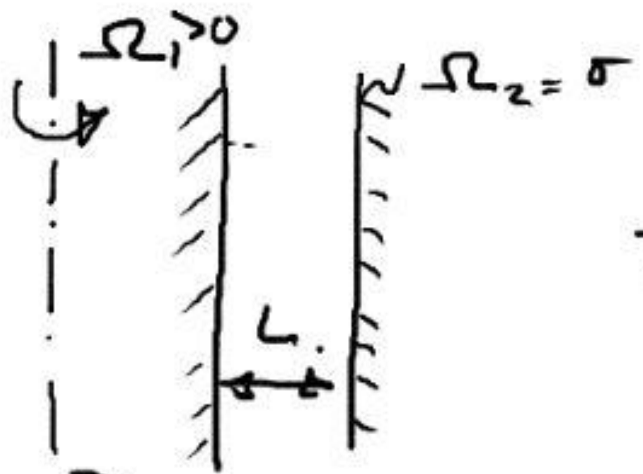
FLUID SYSTEM TECHNIK



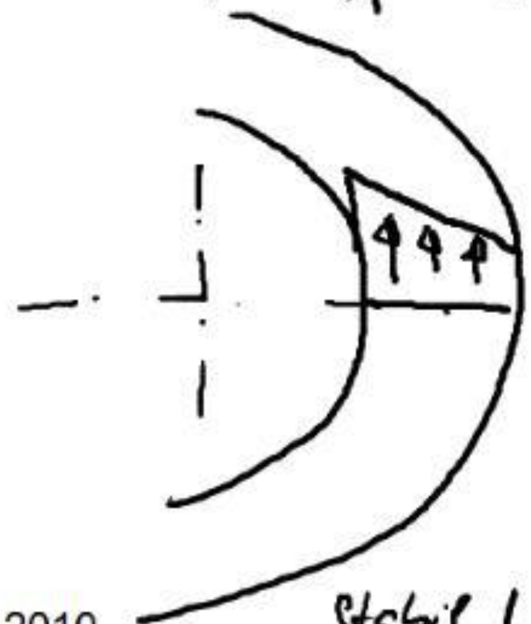
$$\vec{c} = \underbrace{c_r}_{\sim Q \text{ bei der Radialmasch.}} \vec{e}_r + \underbrace{c_u}_{\text{axiale Komponente des Dralls } r c_u} \vec{e}_\varphi + \underbrace{c_z}_{\sim Q \text{ bei der Axialmaschine.}} \vec{e}_z$$

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 22

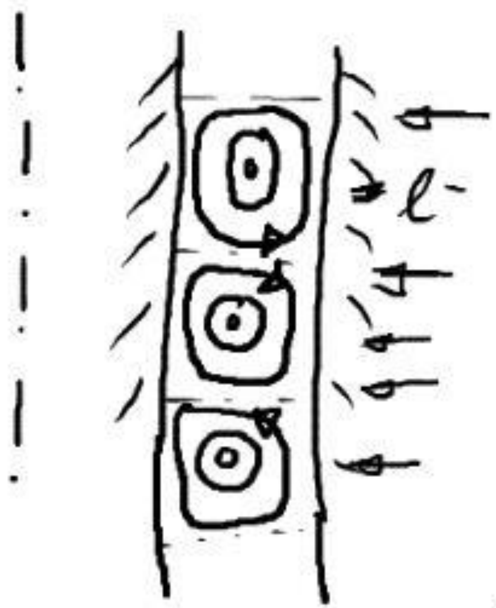
Instabilitäten bei Fluidsystemen



$$\frac{\Omega_1 R_1^2}{\nu} > 15.4\sqrt{\frac{R_1}{L}}$$



Stabil 1



Stabil 2

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2010

Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme

Vorlesung 22

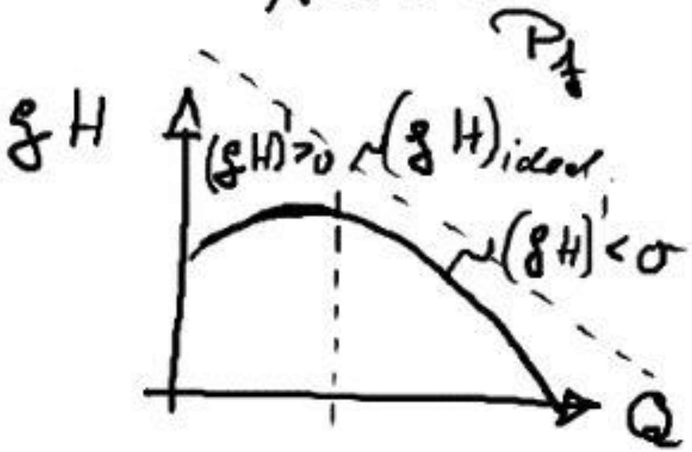
Selbsterregte Schwingungen.

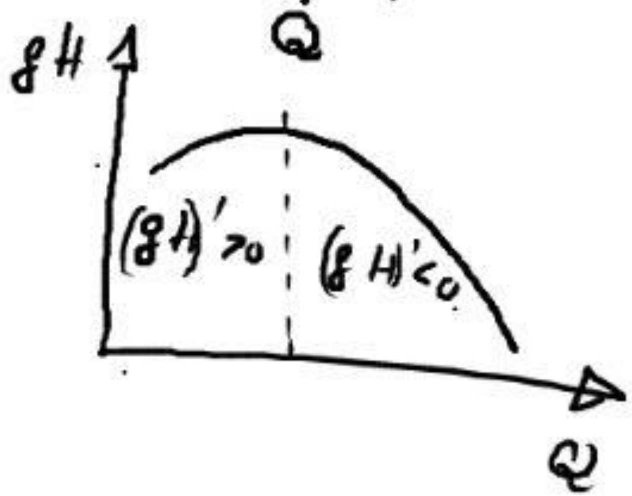
- Stick slip (siehe Gabelstapler).
- Pumpen von Fluidsystemen (surge)
- Thermoakustik.
- hydraulischer Widder

Pumpen (Surge) und thermoakustische
akustische Schwingungen

Woher kommt die Energie für die Schwingung?

→ Aus der Turbomaschine od. Wärmetauscher/Flamme





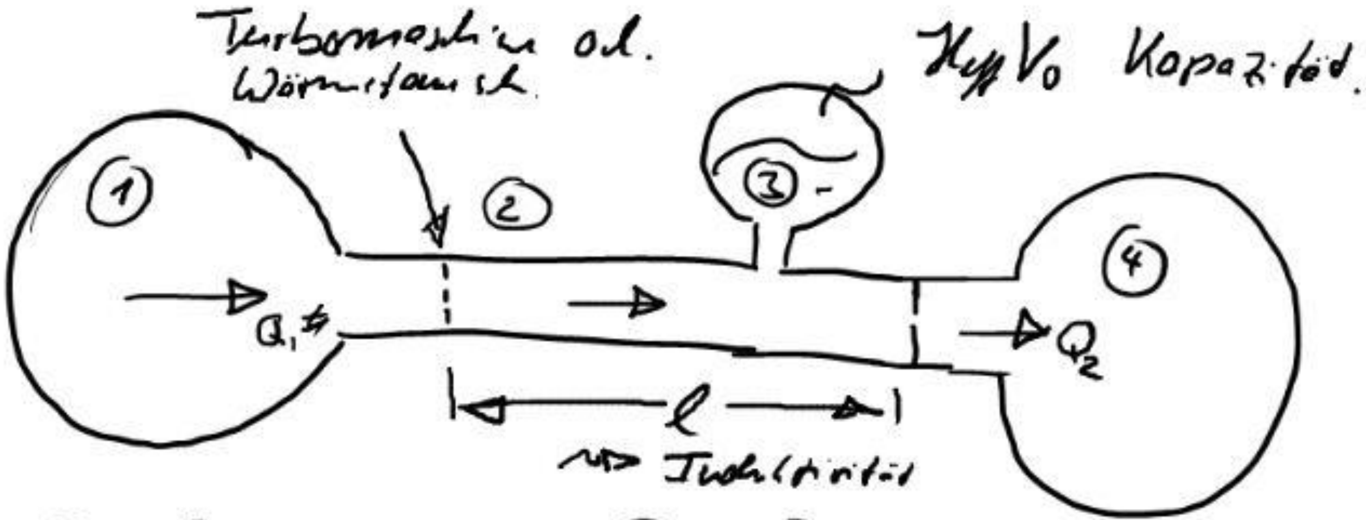
$$\frac{P_f+\dot{Q}}{\dot{m}} = h_{t2}-h_{t1} = gH$$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 22



①...④ sind diskrete Punkte im System } 0-dimensionales Modellbild (konzentrierte Parameter.

Modell für Flugtriebwerk,
Feuerungsanlagen,

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 22

Störansatz

$$Q_1 = Q_0 + \tilde{Q}_1(t)$$

$$Q_2 = Q_0 + \tilde{Q}_2(t)$$

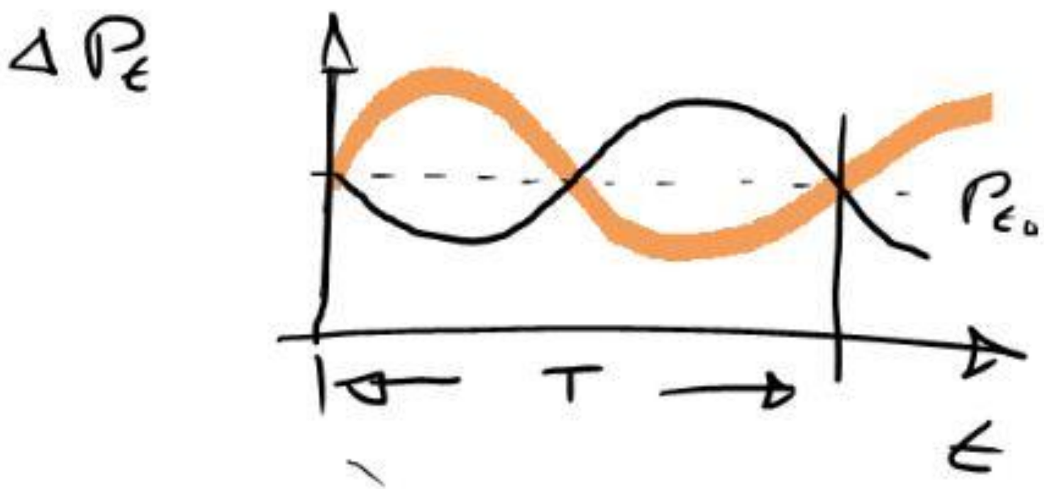
$$p_{t2} = p_{t0} + \tilde{p}_2(t)$$

$$p_{t3} = p_{t0} + \tilde{p}_3(t)$$

Woher kommt die Energie?

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz



$\mathcal{R} > \sigma$: Anfachung d. Bew.

$\mathcal{R} < \sigma$: Dämpfung d. Bew.

$$\overline{\tilde{P}_f} = \frac{1}{T}\int_t^{t+T} \tilde{Q}\,\Delta\tilde{p}_t\,dt = \mathcal{R} \quad \text{Rayl.}$$

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

FLUID
SYSTEM
TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 22

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Lösungsmöglichkeit bei unerwünschte selbsterregte Schwinge.

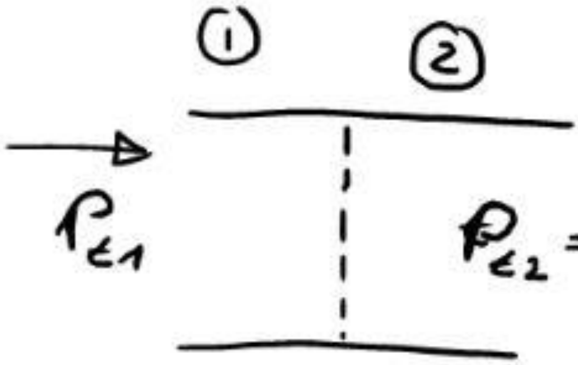
1. Ändere Betriebspunkt → Drosseln.

2. System verstimmen durch gezielte Änderung der Nachgiebigkeit ☺

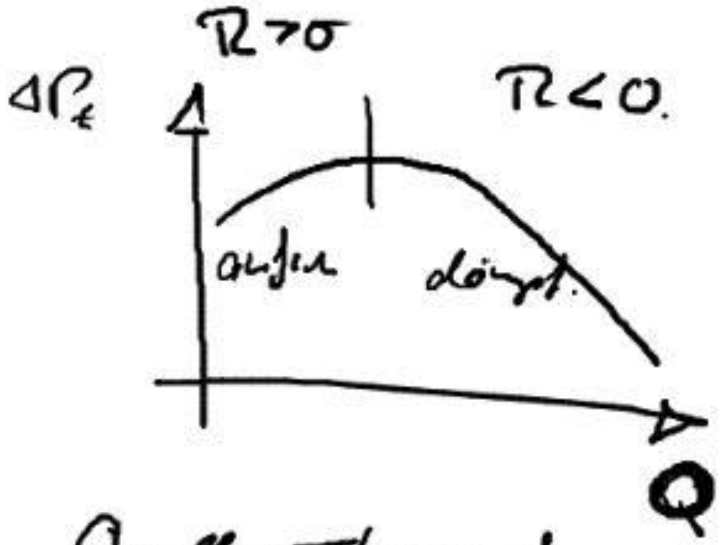
   ☹ Wirkungsgrad a. Anlage

3. Ändere Kennlinie/ Ändere Maschine → teuer. ☹

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz



$$p_{t2} = p_{t20} + \tilde{p}_t$$



$$Q = Q_0 + \tilde{Q}$$

Quelle: Theory of Sound, Rayleigh.

$$\text{Leistung } \bar{P} = \int_t^{t+T} Q \Delta p_t \, dt \, \frac{1}{T}$$

$$= \int_t^{t+T} \Big(Q_0 + \underset{\sim \sin}{\tilde{Q}}\Big)\Big(\underbrace{p_{t20} - p_{t1}}_{\Delta p_{t0}} + \underset{\sim \sin}{\tilde{p}_t}\Big) \, dt \, \frac{1}{T}$$

$$= \overbrace{Q_0 \Delta p_{t0}}^{P_0} + \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \tilde{Q} \, \tilde{p}_t \, dt \, .$$

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 22