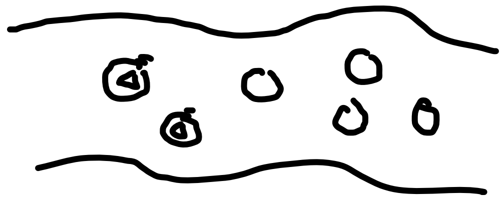
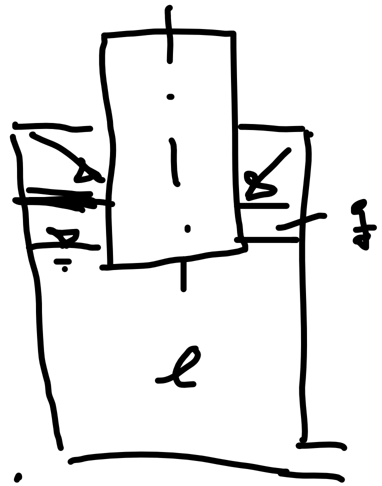
$$\mathcal{K}_{eff} = \mathcal{K}_A + \mathcal{K}_S$$



$$\mathcal{K}_{eff_0} = \frac{1}{A}\frac{\partial A}{\partial p}\Big|_0 + \frac{1-\phi}{K} + \frac{\phi}{n\,p_0}$$



„0" im Betriebspunkt

linearisiert im Betriebspunkt.

p_0 Absolutdruck des ungelösten Gases in der Flüssigkeit.

ϕ Volumenanteil des ungelösten Gases

K Kompressionsmodul der Flüssigkeit.

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Wichtig: In hydraulischen Systemen wird die Nachgiebigkeit durch ungelöstes Gas „dramatisch" erhöht.

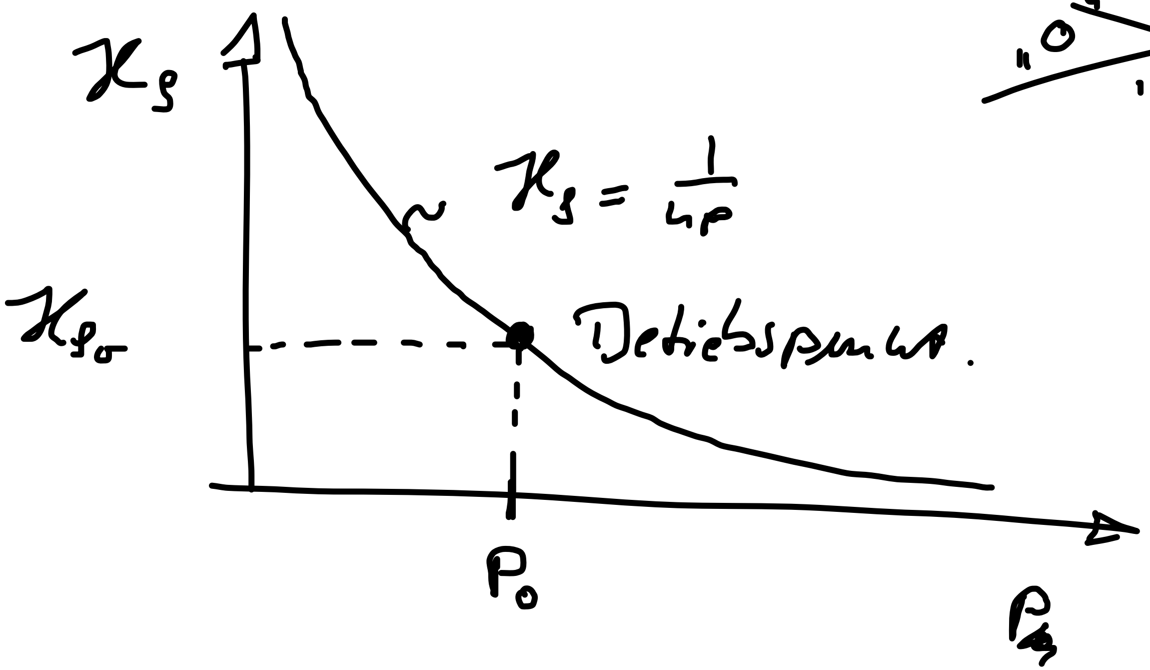
⇝ „Weiche Systeme"

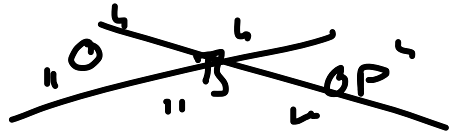
⇝ Systemeigenfrequenzen werden deutlich kleiner.

In biologischen Systemen dominiert die Nachgiebigkeit $\mathcal{K}_A \gg \mathcal{K}_B$.

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

Linearisierung im Betriebspunkt.





$$\kappa_\rho := \frac{1}{\rho}\frac{\partial \rho}{\partial p} = \frac{1}{np}$$

$p = C\rho^n$ polytrope Zustandsänderung.

$$\frac{dp}{d\rho} = nC\rho^{n-1} = nC\rho^n/\rho = n\frac{p}{\rho}$$

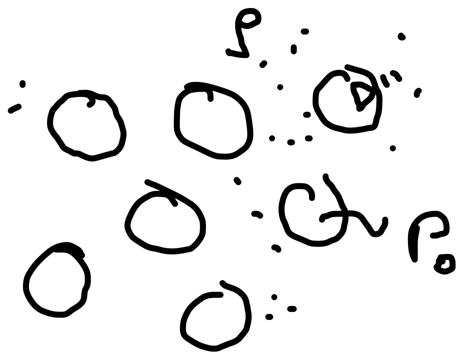
Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 11

Schallgeschwindigkeit im eig. Sinn ist eine Zustandsgröße

$$a^2 = \frac{\partial p}{\partial \rho}\Big|_{s=const.}$$

$$a_{eff}^2 = \frac{1}{\rho_{eff}\, \varkappa_{eff}}$$

<u>Grenzbetrachtung</u> für die untere Grenze der Schallgeschwindigkeit.



$$\varkappa_{eff} = \frac{1-\phi}{K} + \frac{\phi}{n p_0} \approx \frac{1}{n p_0}$$

sofern $\phi \sim 1$

$$\rho_{eff} \approx \rho$$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

$$a > \sqrt{\frac{n\, p_0}{\rho}}$$

Bsp. $\rho = 10^3 \frac{kg}{m^3}$

$p_0 = 10^5\, Pa$

$n = 1$

$$a > \sqrt{\frac{10^5\, m^2}{10^3\, sec}} = 10 \frac{m}{sec}$$

$$a_{H_2O} = 1400 \frac{m}{sec} = \sqrt{\frac{K_{H_2O}}{\rho_{H_2O}}}$$

$$1.4^2\, 10^6\, 10^3\, Pa = K_{H_2O} = 1{,}96\, GPa.$$

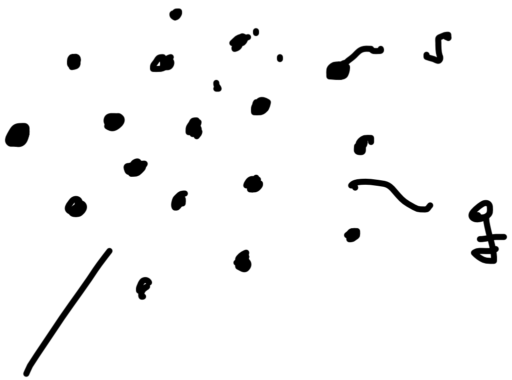
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 11

$$K = K(T, p)$$

Kompressionsmodul ist eine Funktion von Druck und Temperatur.



$$a_{eff}^2 \geq \frac{\gamma p_0}{\rho_{Schaum}}$$

$\gamma = 1.4$ bei Luft.

Feststoff-Gas-Gemisch.

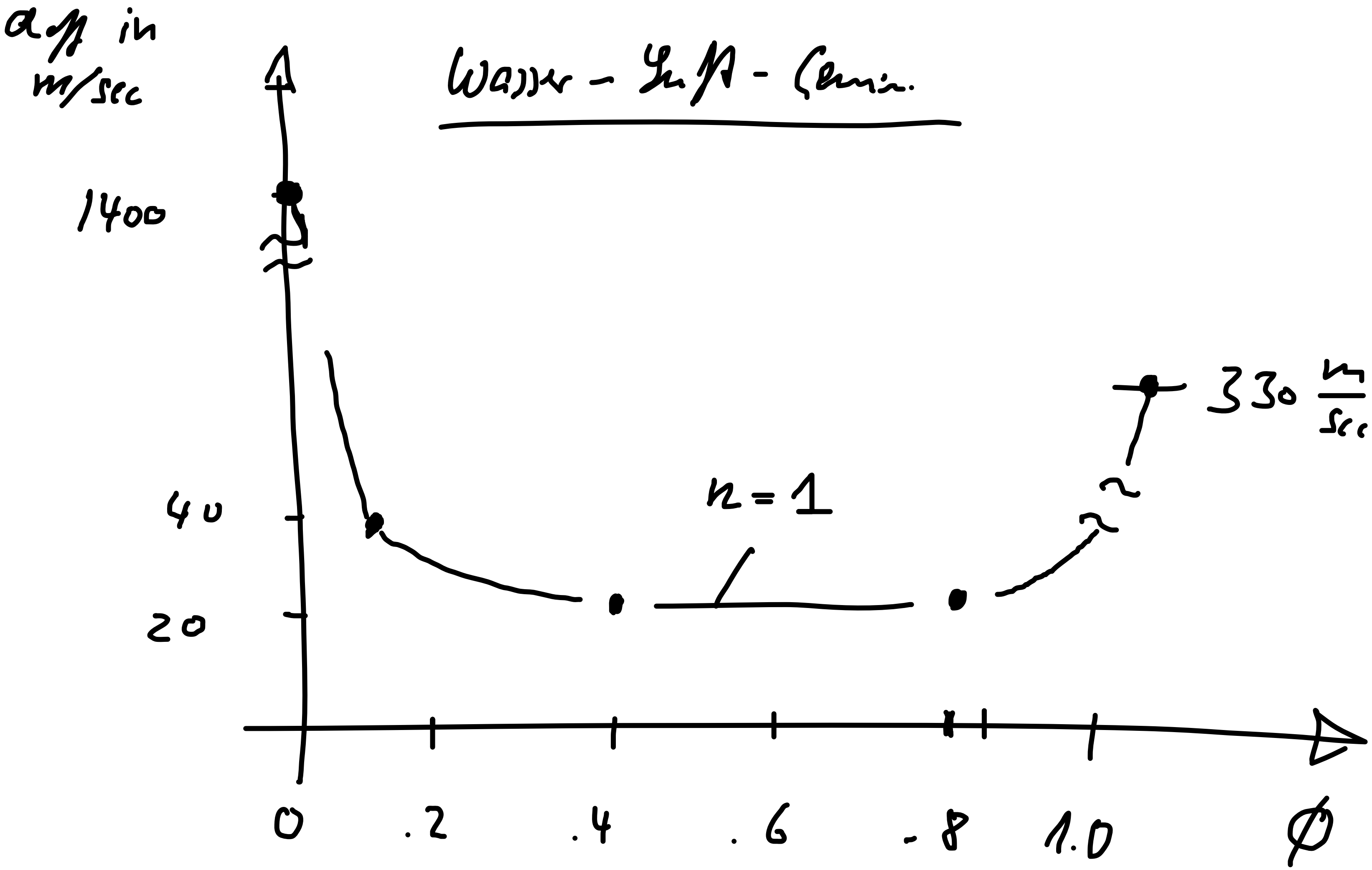
z.B. bei Kraftwerken.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Wasser - Luft - Gemisch



Literatur: Christopher Brennen
Multiphase Flow
Caltech
} PDF im Internet.

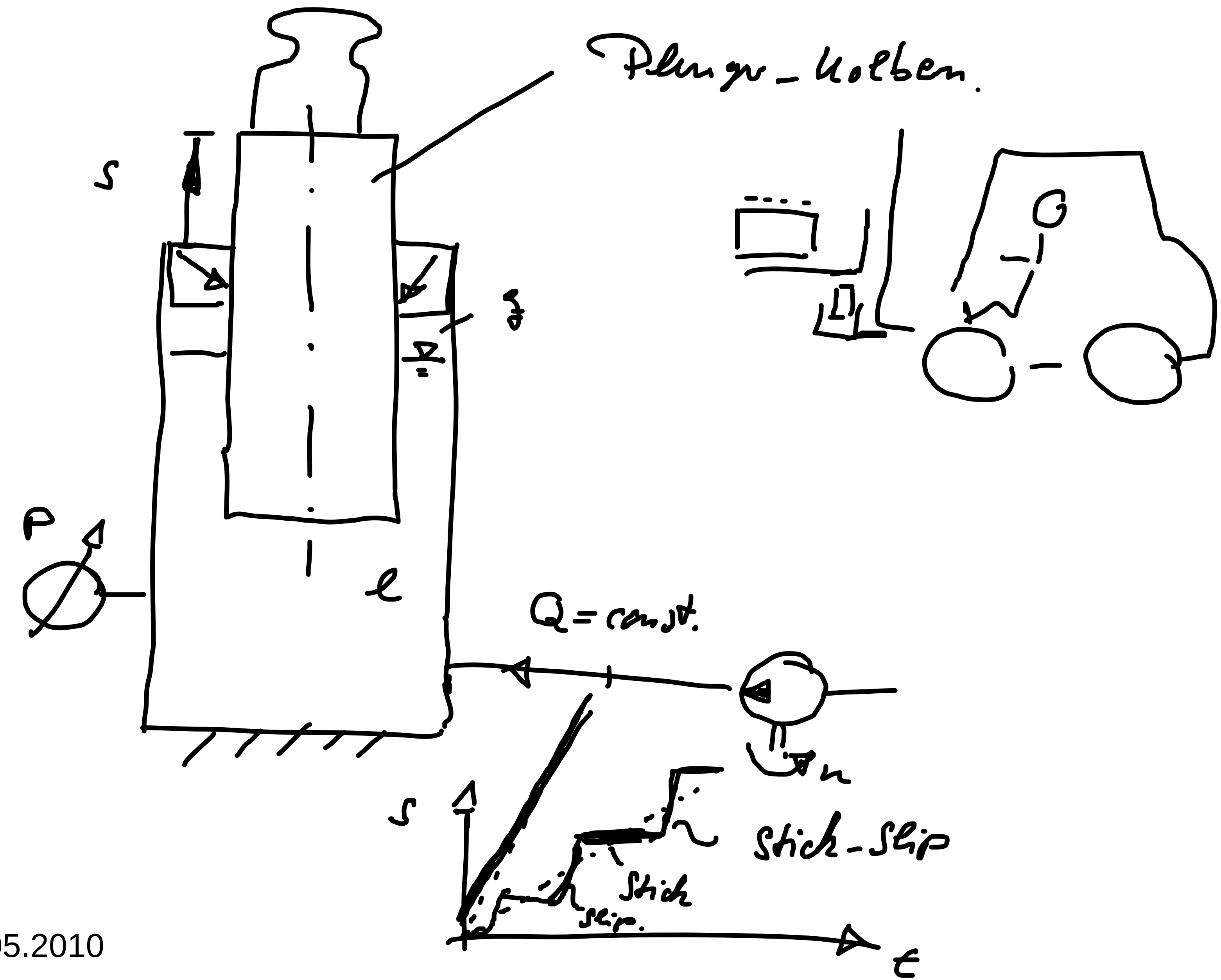
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

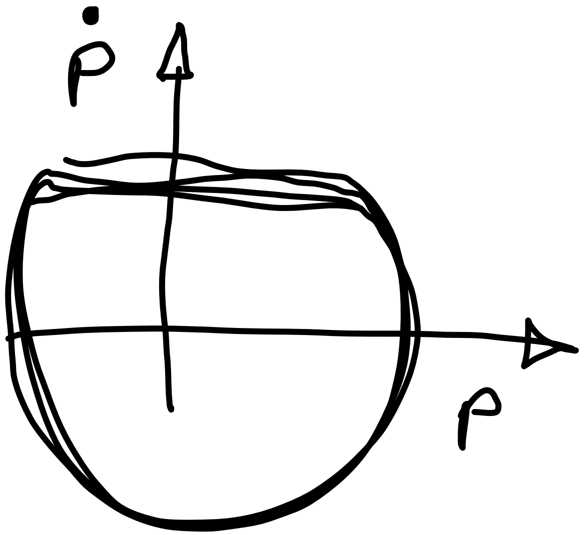
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 11

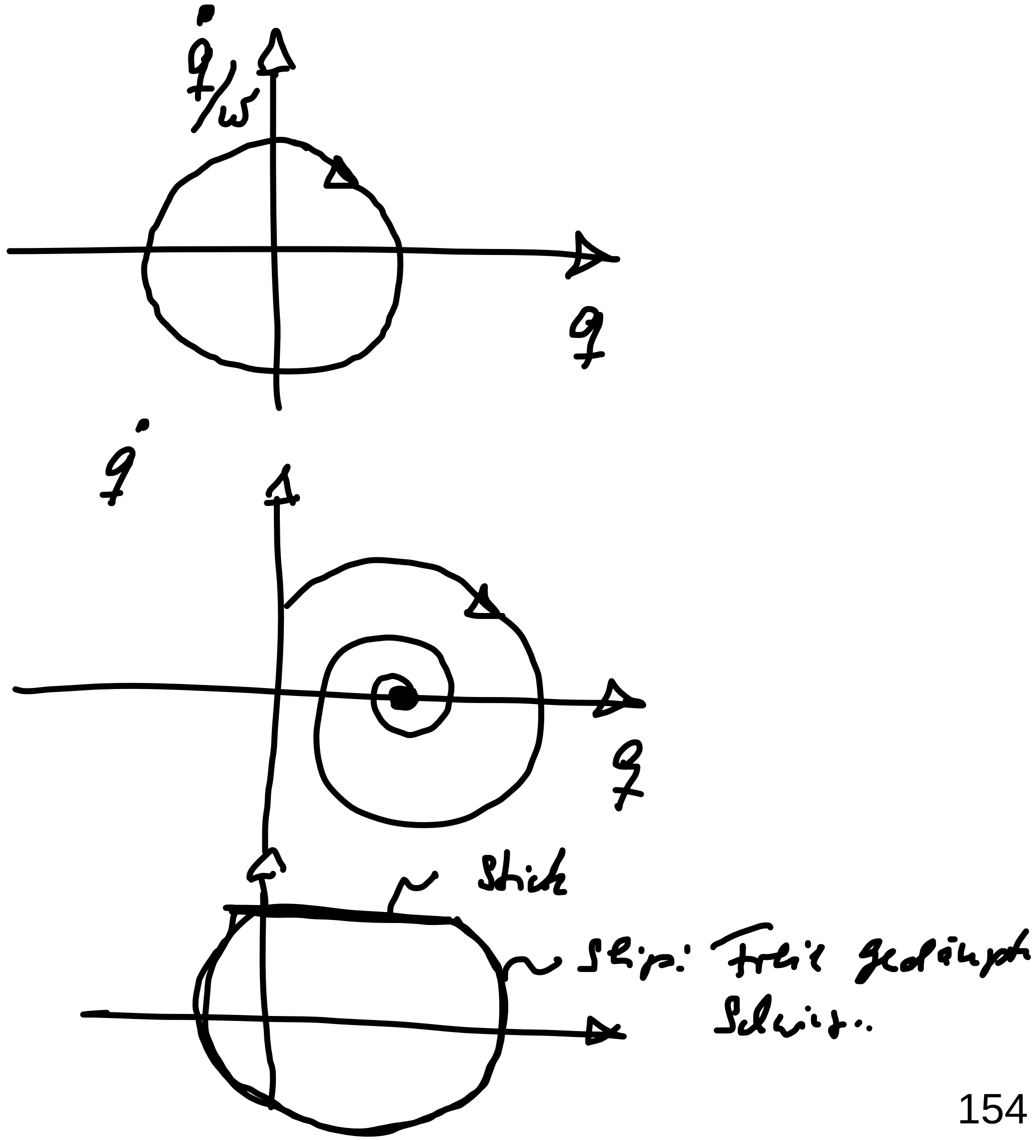
Anwendung für die Druckaufbauglieder.



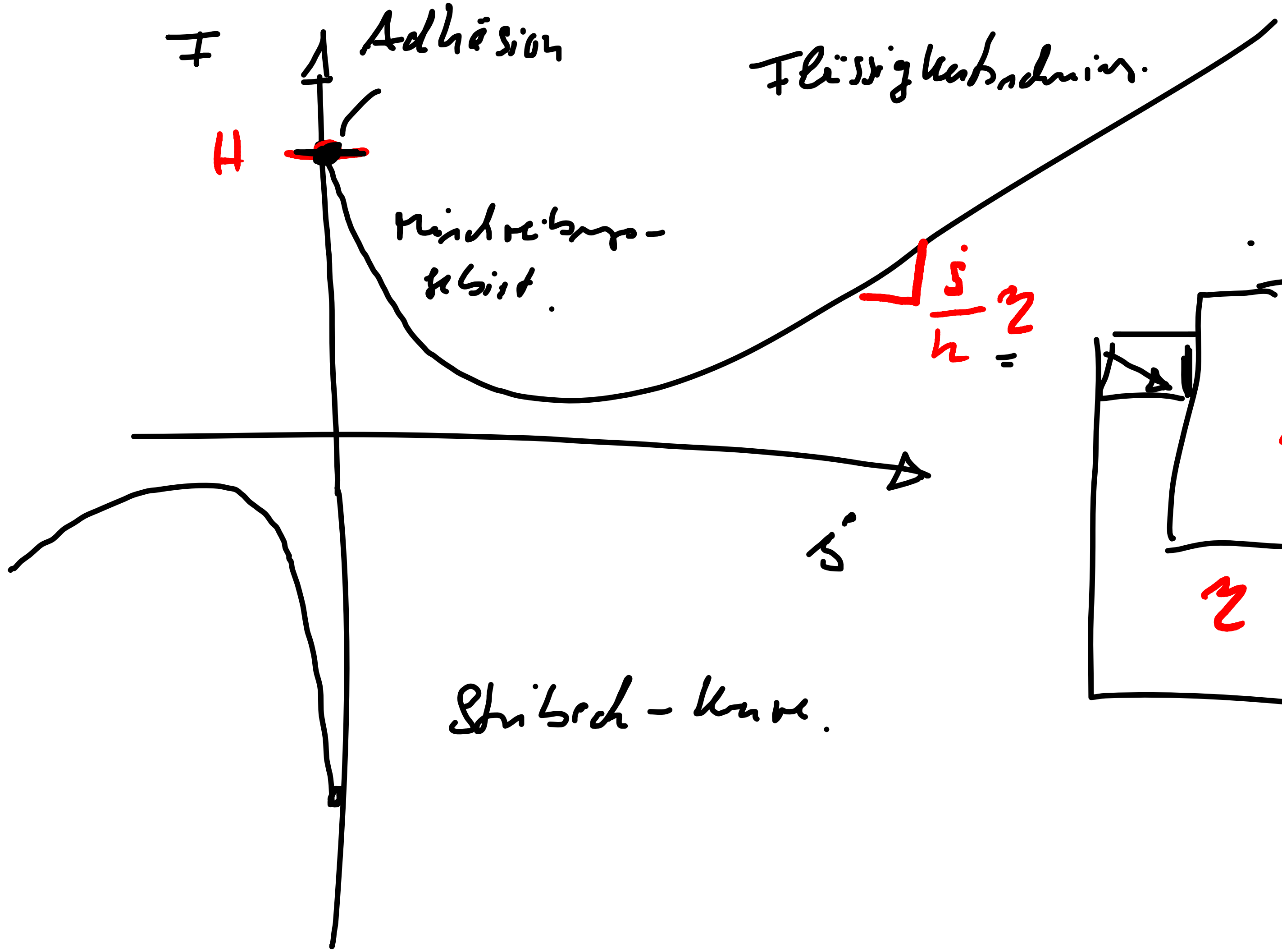
Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 11

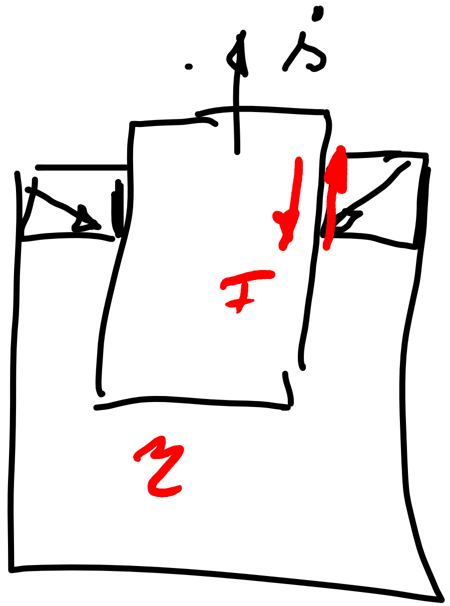
Phasenkurven für den Druck.





Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbo-maschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 11



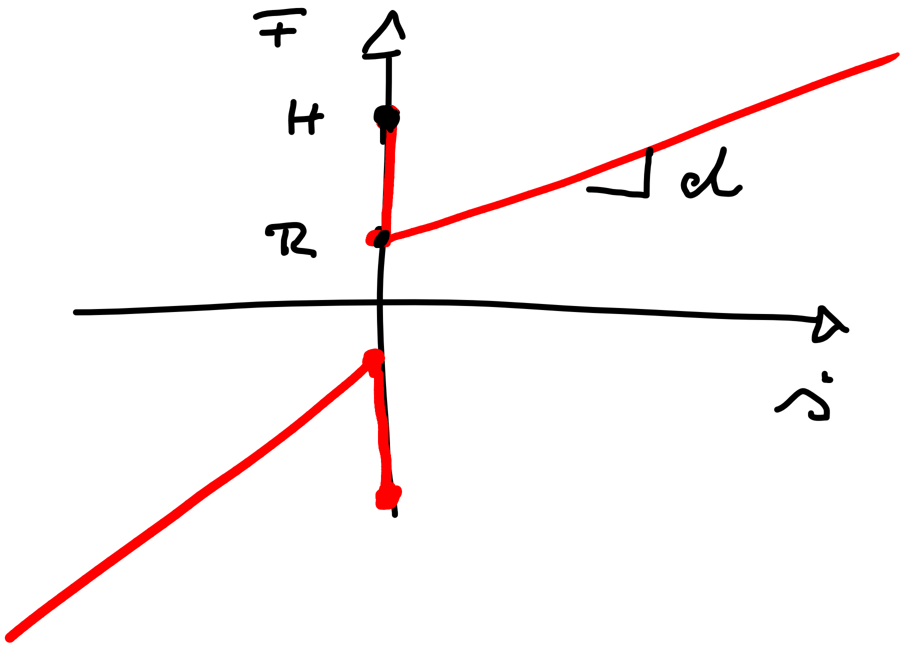


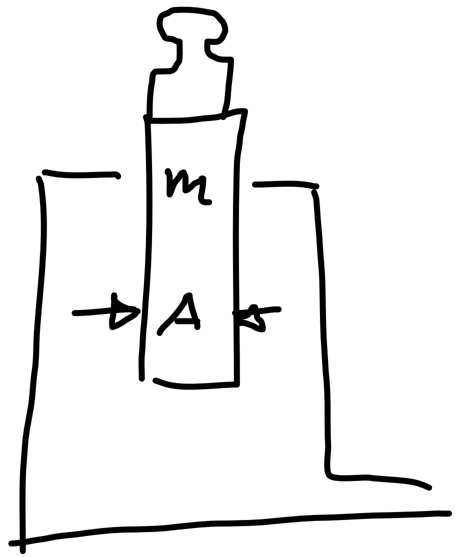
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 11

Modell für die Stribeck-Kurve





Ges: $H, R, d, m, \mu,$
$\kappa \cancel{p} V$

$$\mu = \frac{Q}{A}$$

$$\mu_{krit.} = \frac{H - R}{\sqrt{mc}} \frac{1}{\sqrt{\exp(4\pi D) - 1}},$$

mit $c = \frac{A^2}{\kappa \cancel{p} V}$ $D = \frac{2d}{m\omega}$ $\omega = \sqrt{\frac{c}{m}}$.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 11

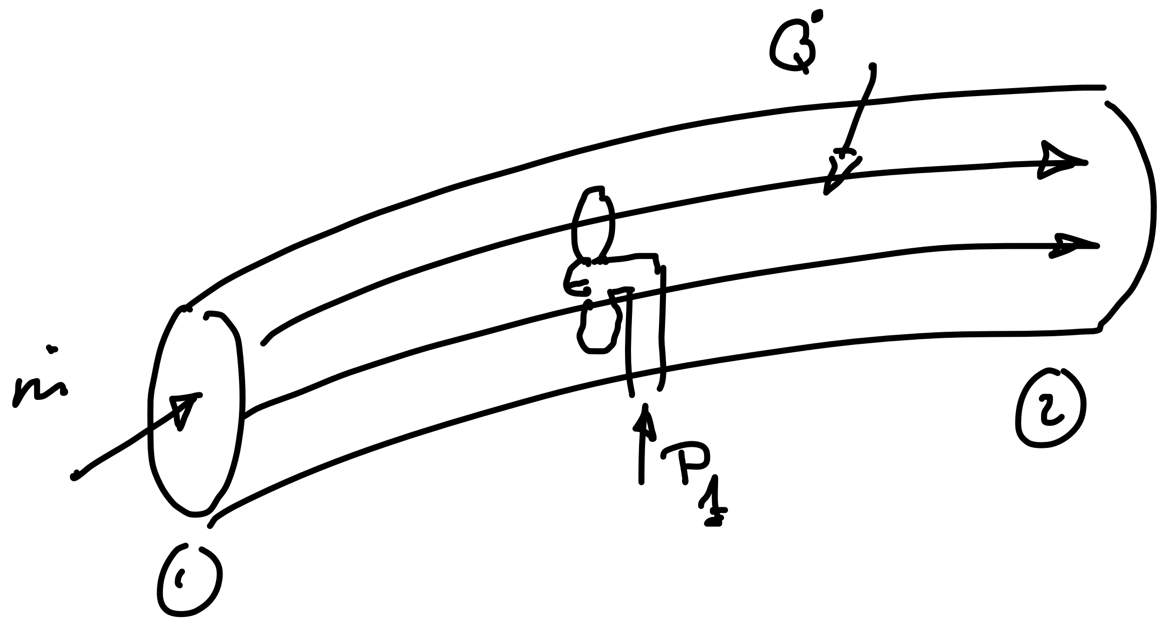
$M > M_{krit}$, dann ist das System frei von Stick-Slip

$M < M_{krit}$, dann tritt Stick-Slip auf.

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Energiegleichung für eine Stromröhre.

Ziel:



Im zeitlich Mittel stationäre Strömung.

$$\underbrace{\frac{P_1 + \dot{Q}}{\dot{m}} = h_{t2} - h_{t1}}$$

ϟ

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2010
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 11

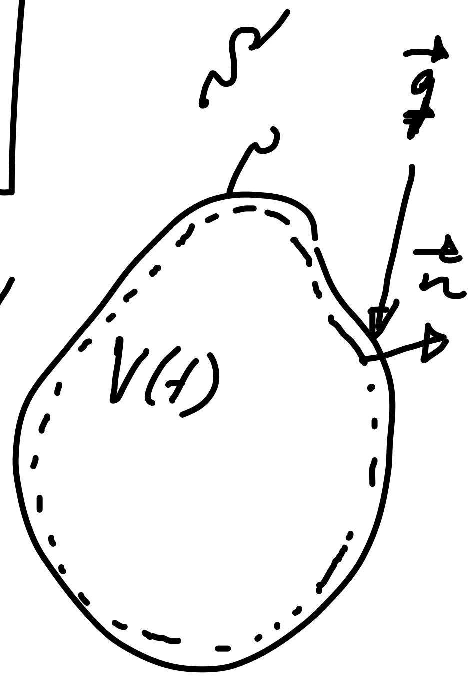
Herleitung ausgehend vom allgemeinen 1. H.S.

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

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

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

$$\dot{Q} = -\int_{S} \vec{q}\cdot\vec{n}\,dS$$



$$P = \int_{S} \vec{t}\cdot\vec{u}\,dS + \int_{V} \rho\,\vec{k}\cdot\vec{u}\,dV$$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2010

Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme

Vorlesung 11

$$\vec{t} := \lim_{\Delta S \to 0} \frac{\Delta \vec{F}}{\Delta S} \quad \text{Spannungsvektor.}$$

$$\rho \vec{k} := \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\Delta \vec{F}}{\Delta V} = \vec{f} \,. \quad \text{Volumenkraft.}$$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2010

Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme

Vorlesung 11