

Einführung

24.7. Strömungslehre für die Mediziner. (Hydrodynamik)

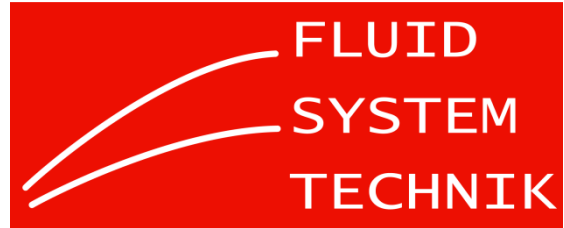
~~Was ist eine Flüssigkeit~~

Literatur: • Spurk Strömungslehre
" Abwipbuch (D) im
Buch.

• Ernst Becker Strömungslehre
Homework FST ist student
Pwcl h



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2012
Einführung in die
Hydrodynamik
Vorlesung 1

Was ist eine Flüssigkeit?

- Eine Flüssigkeit deformiert sich unbegrenzt unter der Wirkung einer Schubspannung
- Die Flüssigkeit reagiert auf die Schubspannung mit einer konstanten Scherrot $\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt}$
Scherwinkel γ



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Einführung in die
Hydrodynamik

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2012
Vorlesung 1 F 1



Im Gegensatz:

Ein Festkörper deformiert sich
beweibt ~~auf~~ bei $\dot{\gamma}$ eine
Schubspannung

$\tau \longrightarrow \dot{\gamma} = \text{const}$ Festkörper $\tau = \tau(\dot{\gamma})$
spez. $\tau \sim \dot{\gamma}$ Hookesche Festk.
 $\tau = G \dot{\gamma}$

$\tau \longrightarrow \dot{\gamma} \rightarrow \infty$ Flüssigkeit $\tau = \tau(\dot{\gamma})$
 $\dot{\gamma} \rightarrow \text{const}$ spez. $\tau \sim \dot{\gamma}$ Newtonsche Fl.
 $\tau = \eta \dot{\gamma}$

Hooke'sche Festkörper

$$\tau = G \gamma$$

G Schubmodul

Newtonsche Flüssigkeit

$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

η dynamische Viskosität (engl. μ)

Materialgröße.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Einführung in die
Hydrodynamik

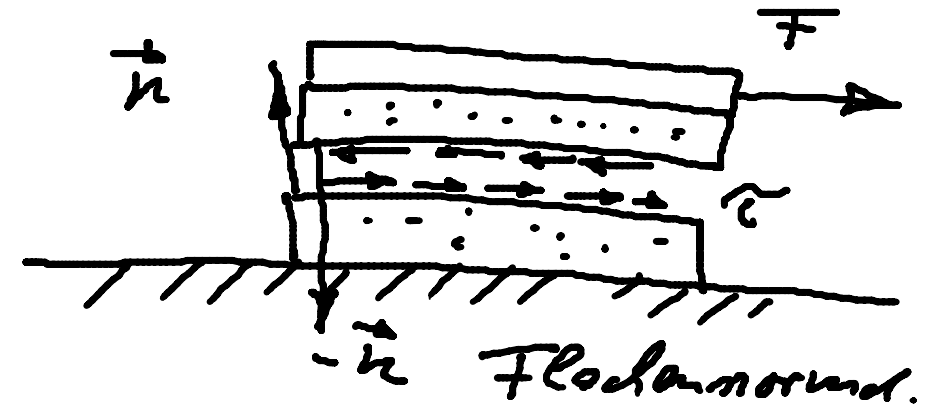
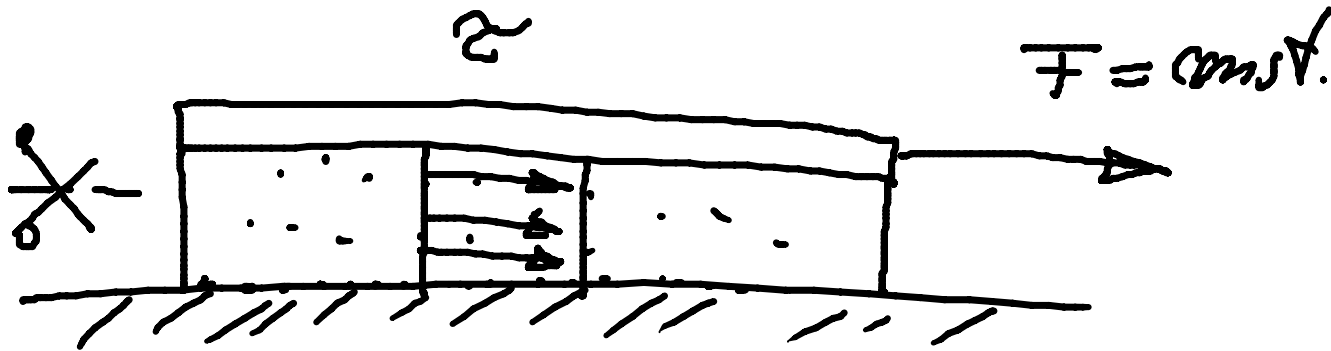
Bestimmung der Materialverhältnisse
über eine einfache Scherung.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



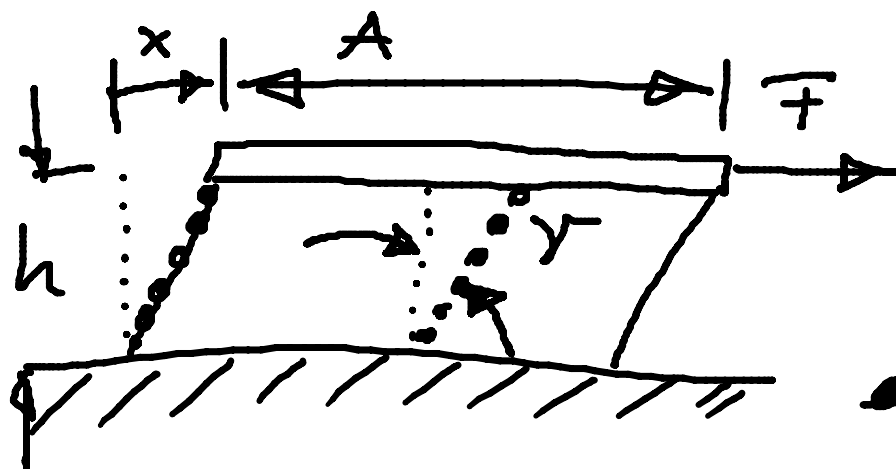
Einführung in die
Hydrodynamik



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2012
Vorlesung 1 F 4



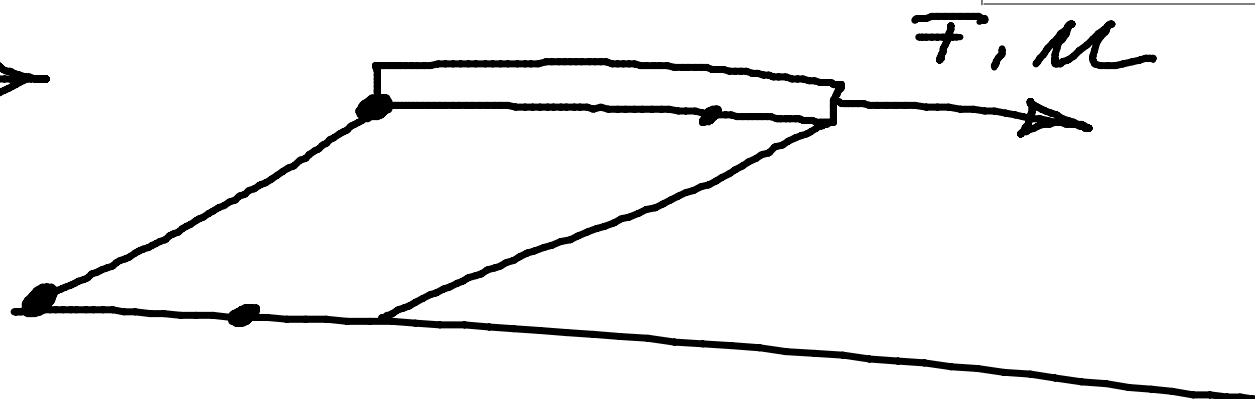
Festkörper



$$\tau \approx \frac{F}{A} = \tau(y)$$

$$\gamma = \frac{x}{h}$$

Flüssigkeit



$$\gamma \rightarrow \infty$$

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{dx}{dt} \frac{1}{h} = \frac{M}{h} = \text{const.}$$

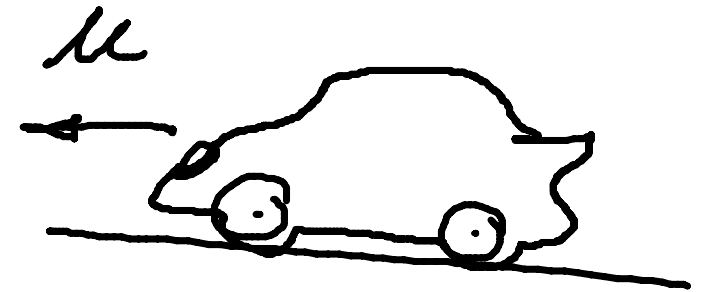


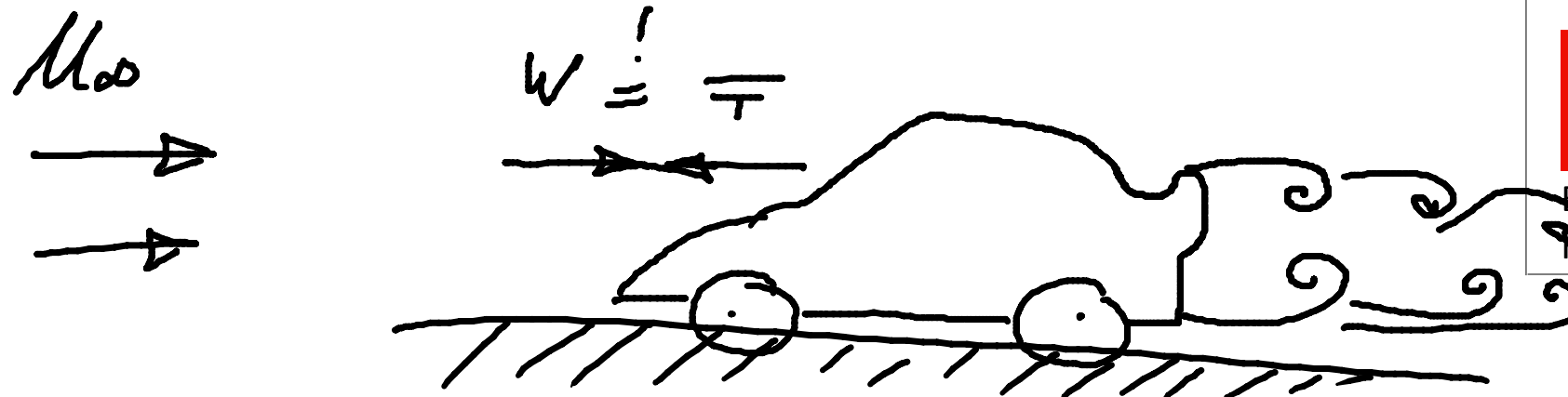
Bei einer Flüssigkeit kommt es
auf die Deformationsgeschwindigkeit an,
sofern viskose Reibung das das
Problem wichtig ist.

Wichtig: Verluste entstehen bei Strömungsvergängen
durch

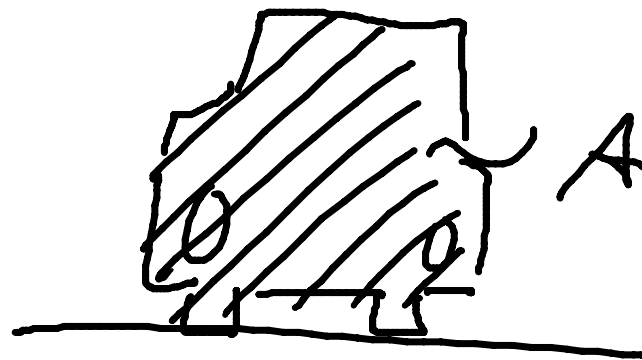
a) viskose Reibung

b) ~~Trägheitsverluste~~





~ kinetische Energie der
LM

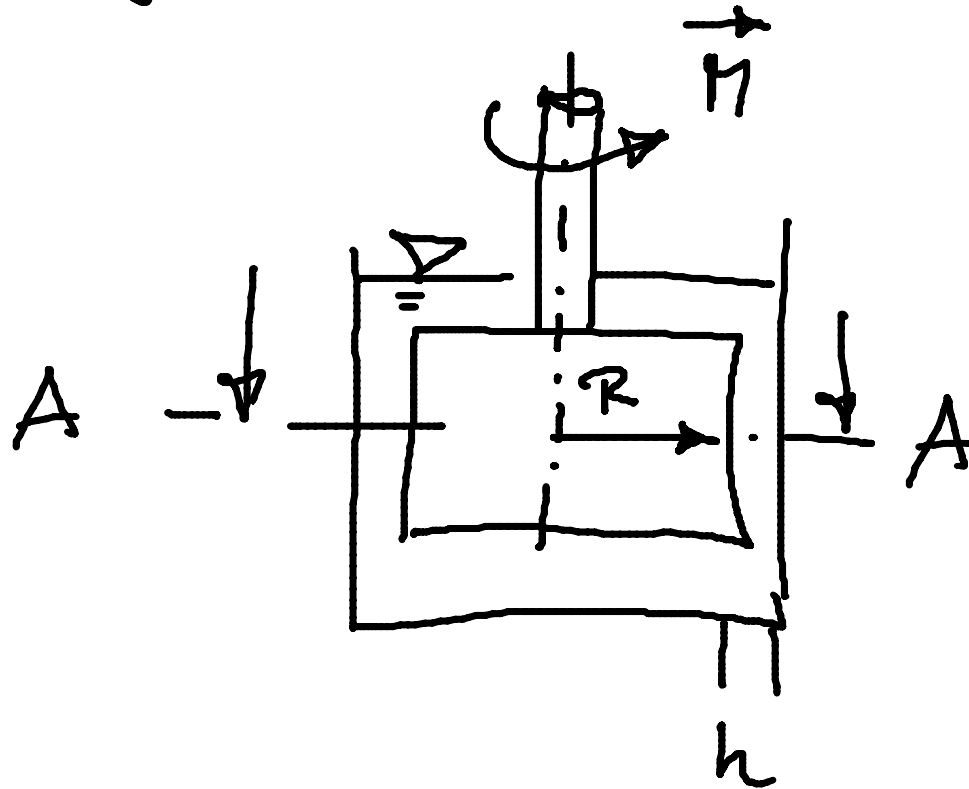


$$W = \frac{\rho}{2} M_\infty^2 C_w A$$

C_w Widerstandsbeiw.

$$\eta = W / M_\infty$$

Einfache Schleppschleife werden
im sog. Rechner durchgef. v.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



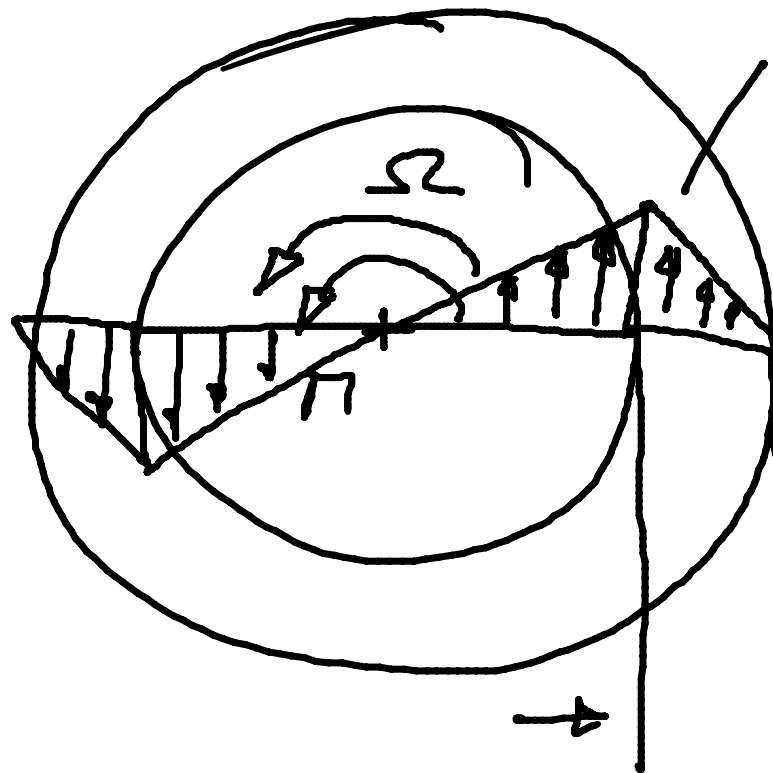
Einführung in die
Hydrodynamik

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2012
Vorlesung 1 F 8



Schnitt A-A

Geschwindigkeitsprofil
einer Couette Strömung.

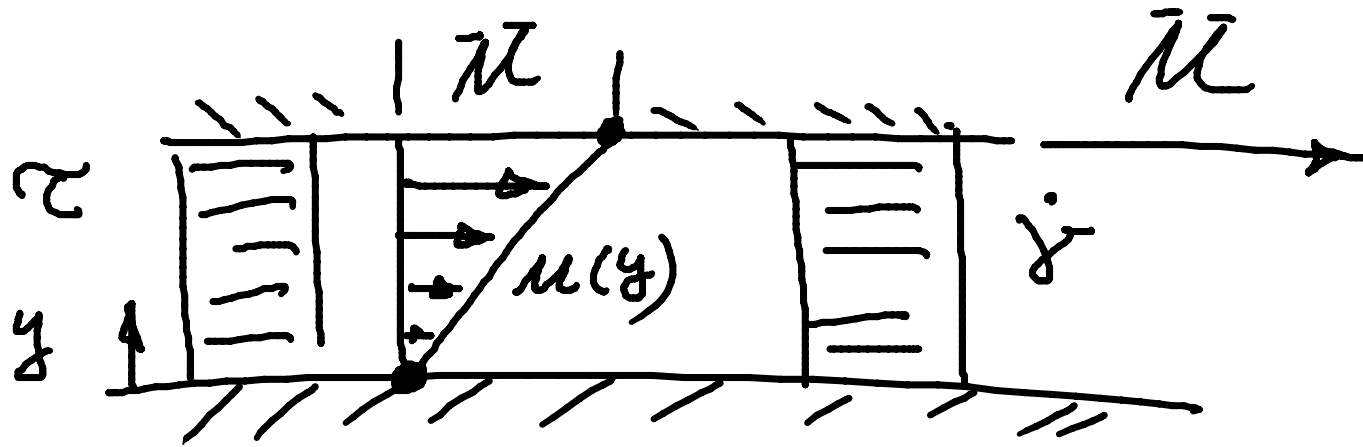


$$\dot{V} = 2\pi R^2 \Omega$$

Ω Kreisfrequenz.

$h \ll R$, dann ist
 $\tau \approx \text{const.}$

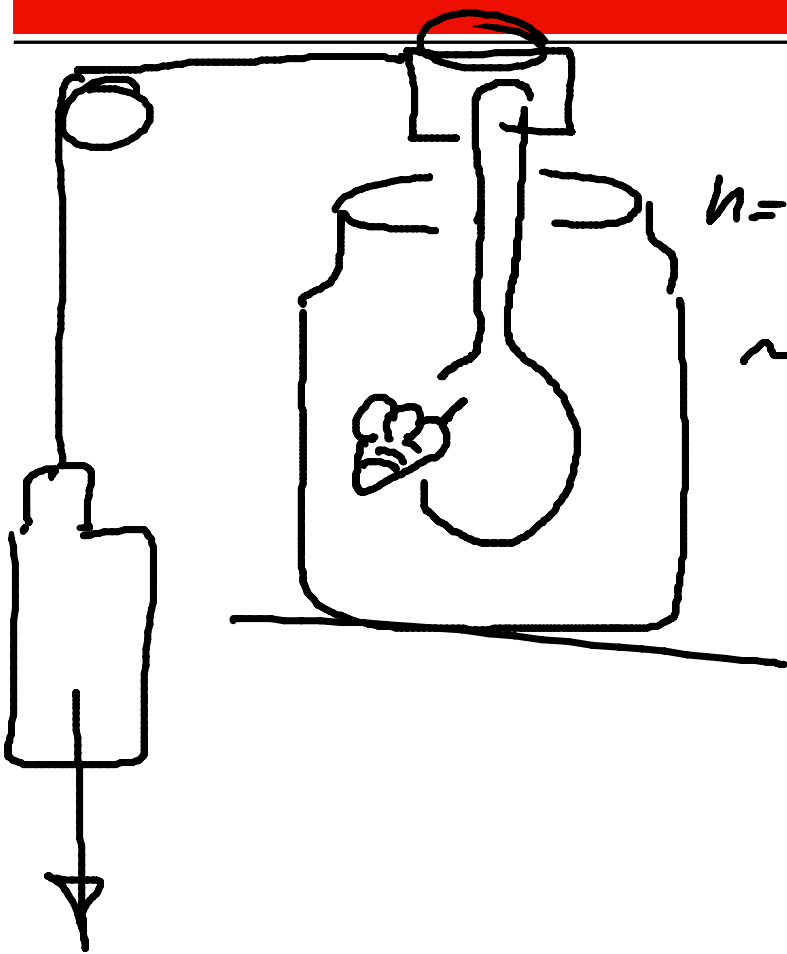
Scherate $\dot{\gamma} = \frac{dv}{dt} = \frac{u}{h}$



$$u(y) = \bar{u} \frac{y}{h} \quad \text{Geschwindigkeitsprofil}$$

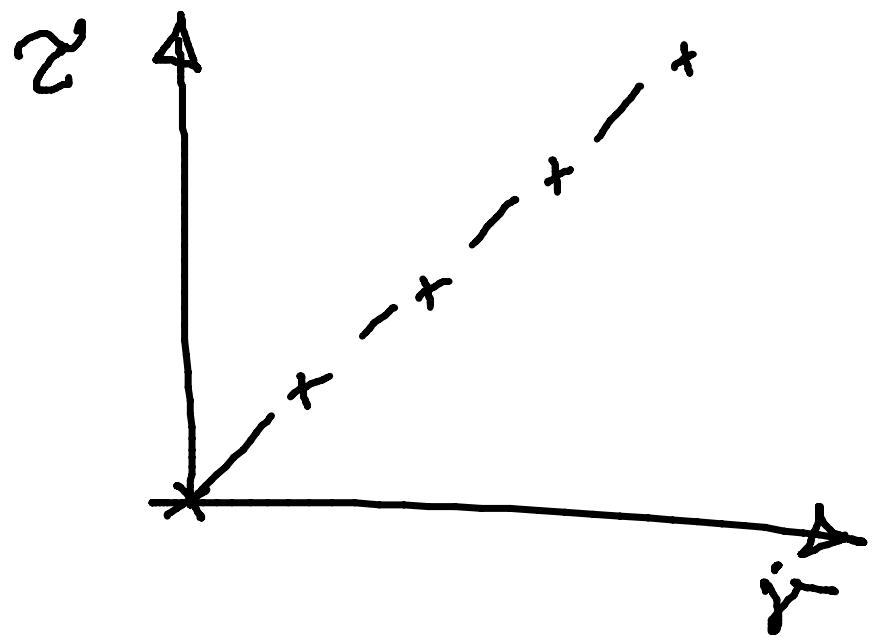
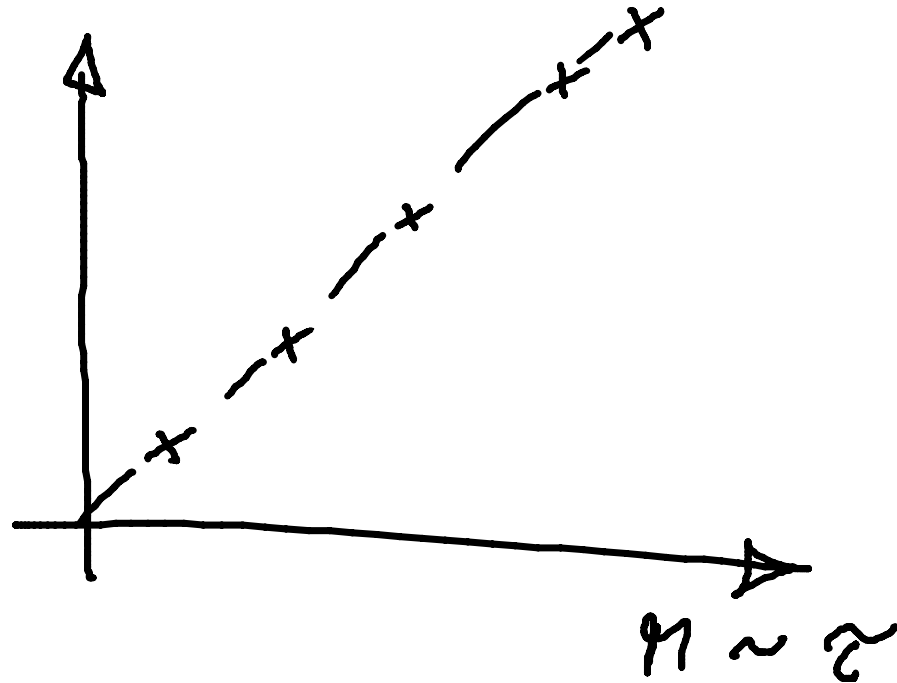
$$\dot{\gamma} = \frac{du(y)}{dy} = \frac{\bar{u}}{h} = \text{const.}$$

Scherrate = zeitliche Änderung Scherwinkel =
Gradient des Geschwindigkeitsprofils.



$$h = \frac{\rho}{2\pi \gamma} \omega^2$$

$$\sim \gamma \cdot \omega^2$$



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

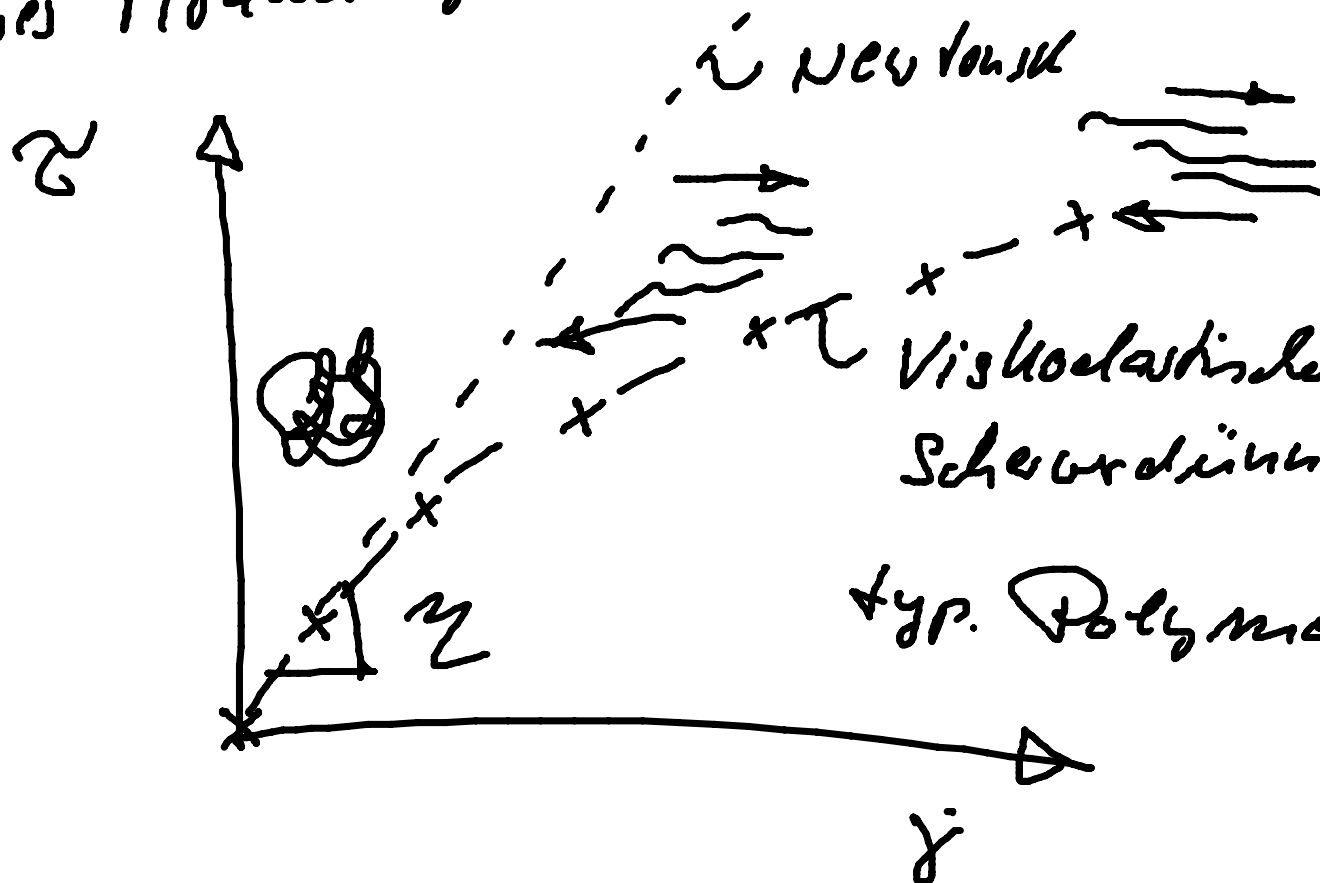


Einführung in die
Hydrodynamik

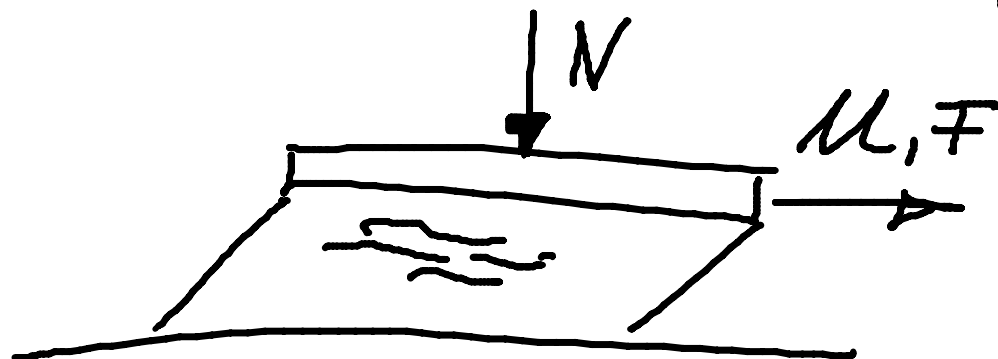
Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2012
Vorlesung 1 F 11



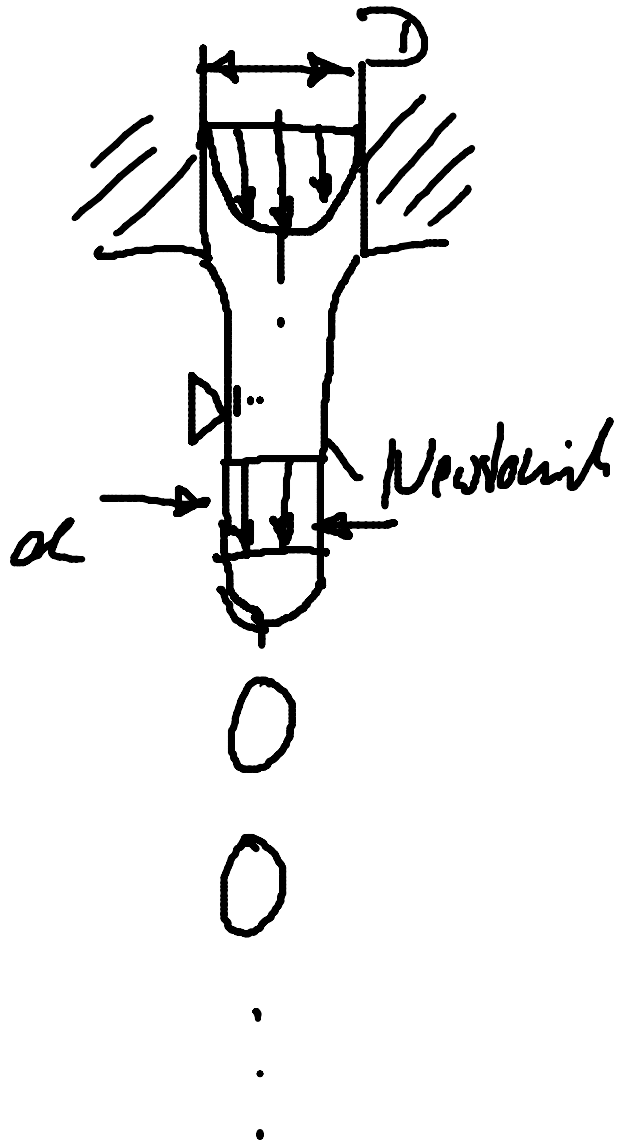
hohes Molekulargewicht



typ. Polymermelten.



$N > 0$ Normalspannungsspektr.



$\frac{d}{D}$ folgt aus der Kontinuitätsgleichung.





Hooke.

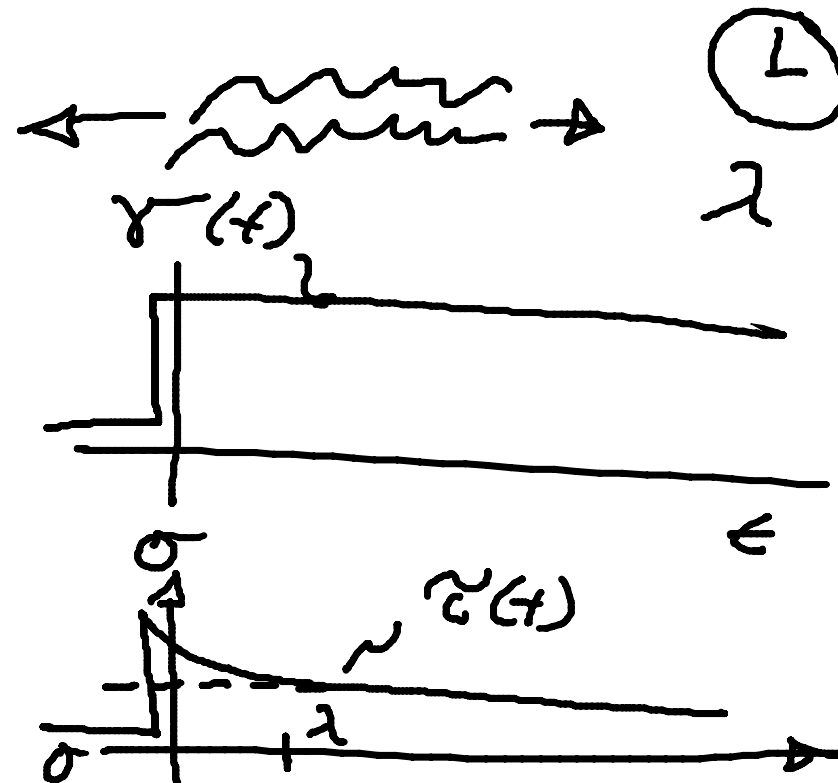
$$\tau = \eta \gamma$$

Newton
$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

$$\tau + \lambda \dot{\tau} = \eta \dot{\gamma}$$

Maxwell'sches Fließgesetz

λ Relaxationszeit.

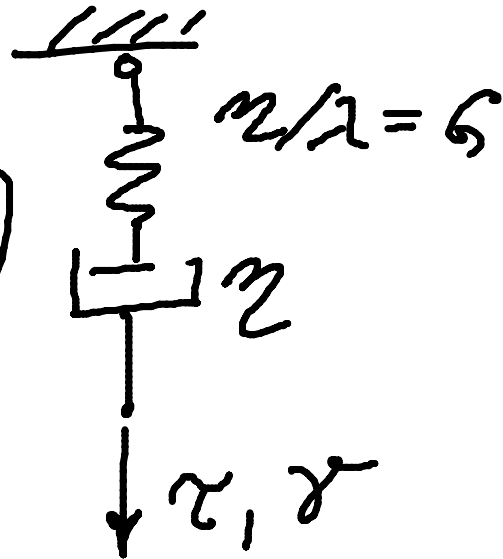


$\lambda \ll$ aufspritzzeit,
dann verhält sich
das Fluid wie ein
Federwerk.

$\lambda \Rightarrow$ aufspricht Zeit, dann verhält sich
das Material wie ein Flüssigkeit.

Schematische $\left(\begin{smallmatrix} \sigma \\ \dot{\gamma} \end{smallmatrix} \right)$ Darstellung des Maxwell Modells
als Feder-Dämpfer-System.

$$\tau + \lambda \dot{\tau} = \eta \dot{\gamma}$$



$$[\eta] = \frac{FT}{L^2}$$

$$\{\eta\} = \frac{N}{m^2} \text{ sec} = \text{Pa} \cdot s$$

typ. Wert $1 \text{ mPa} \cdot \text{sec}$.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Einführung in die
Hydrodynamik

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2012
Vorlesung 1 F 15



$$[\eta] = \frac{F}{L^2}$$

$$\{\eta\} = \frac{N}{m^2} = Pa.$$

Flüssigkeit

druck Medium

Festkörper

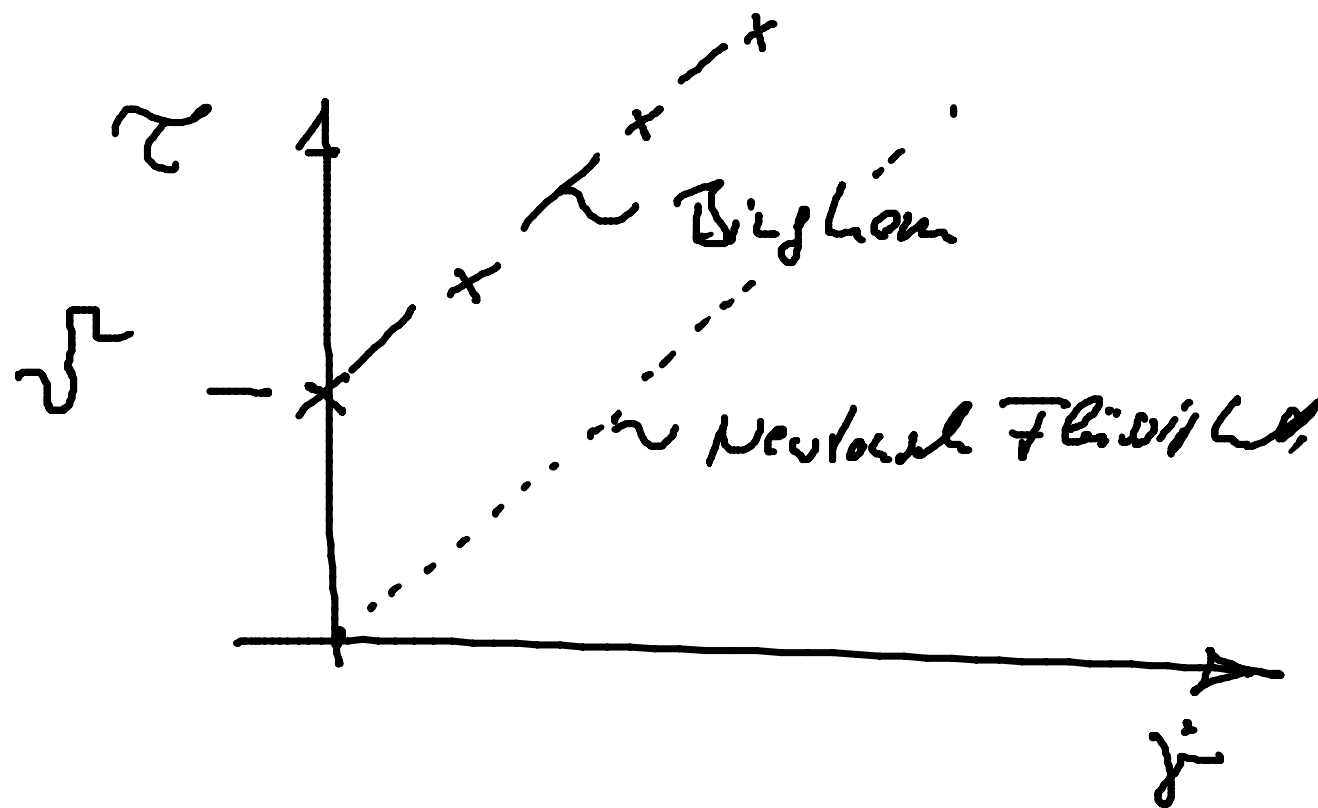
viskositätsloses Medium } Schalter
(z.B. Polymer, ~~Flüssigkeit~~ Knetmasse) } Relaxationszeit

Bingham Medium } Schalter
(z.B. Fett, Mürbe, ...) } Fließspannung η^*



$$\tau = \eta \dot{\gamma}, \text{ wenn } \tau \leq \tau^0$$

$$\tau = \tau^0 + \eta \dot{\gamma}, \text{ wenn } \tau > \tau^0$$



Sprechstunde

Montag Vormittag

ab Mai

joachim.haermer@fst.fv-darmstadt.de



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Einführung in die
Hydrodynamik

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2012
Vorlesung 1 F 18

Vorrechenübung

im Vorfeld selbstständig lösen

Danke für Ihre

Aufmerksamkeit

fst.tu-darmstadt.de



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Einführung in die
Hydrodynamik

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2012
Vorlesung 1 F 19