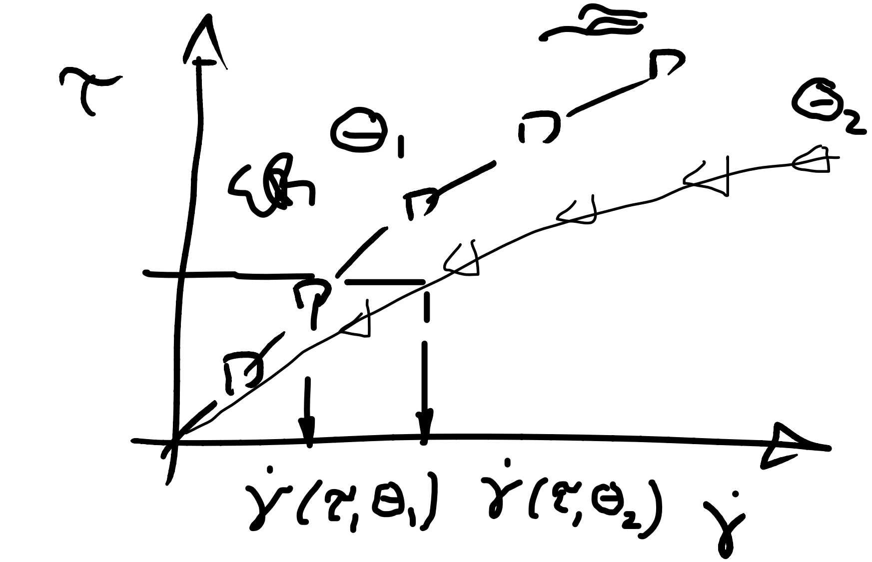
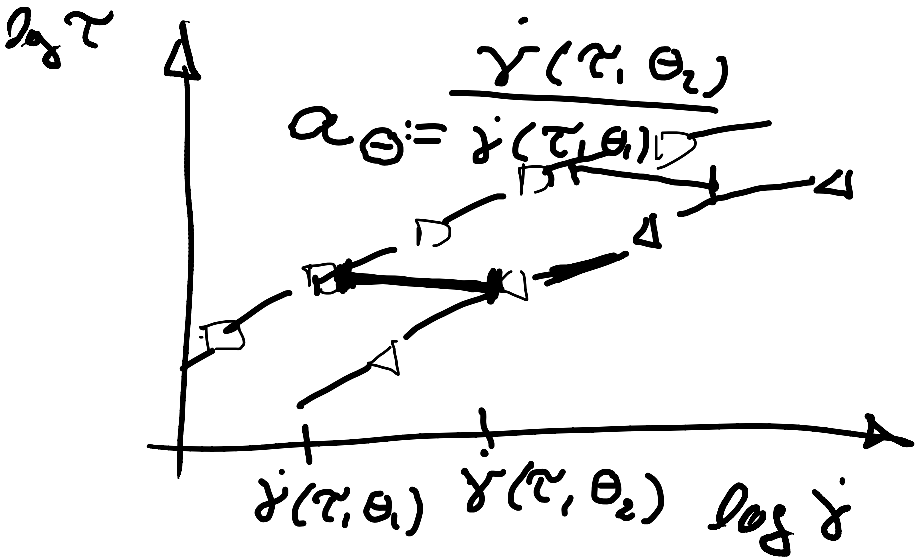




Wichtige Materialparameter

Relaxationszeit

$$\lambda \sim M^{3/4}$$

$$[\lambda] = \text{Zeit}$$

$$[\dot\gamma] = \frac{1}{\text{Zeit}}$$

$$\{\dot\gamma\} = \frac{1}{\text{sec.}}$$ ☹

$$[\dot\gamma\lambda] = 1$$

Für thermorheologisch einfache Materialien

$$\boxed{\dot\gamma(\tau,\Theta)\,\lambda(\Theta) = \text{const}}$$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

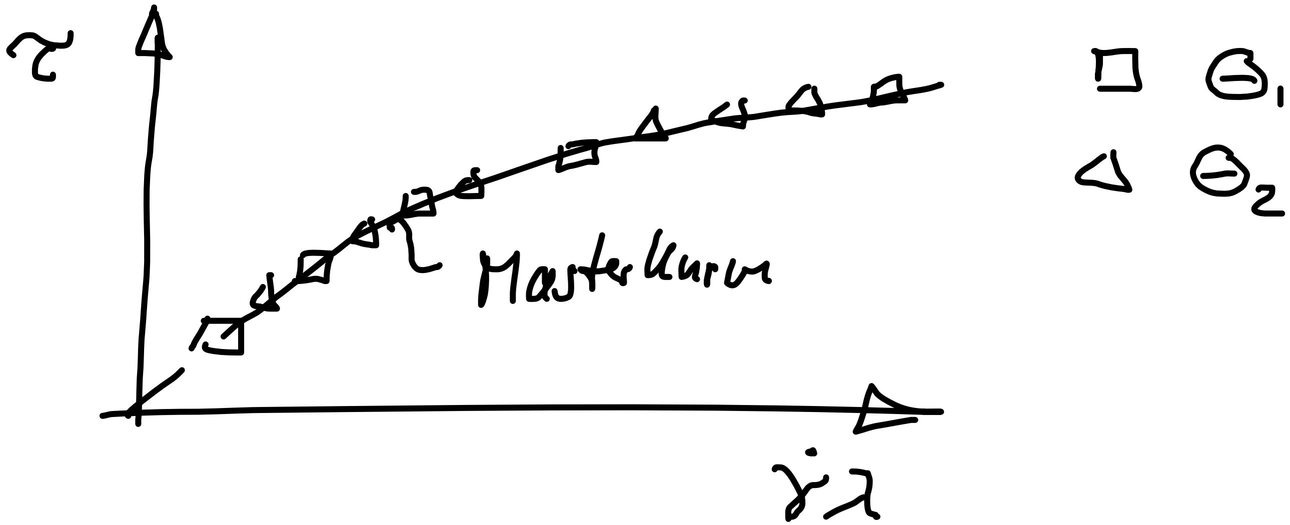
FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2011

Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme

Vorlesung 3



Im log-log-Plot sind die Meßpunkte ~~um~~ horizontal um den Temperatur-verschiebungsfaktor

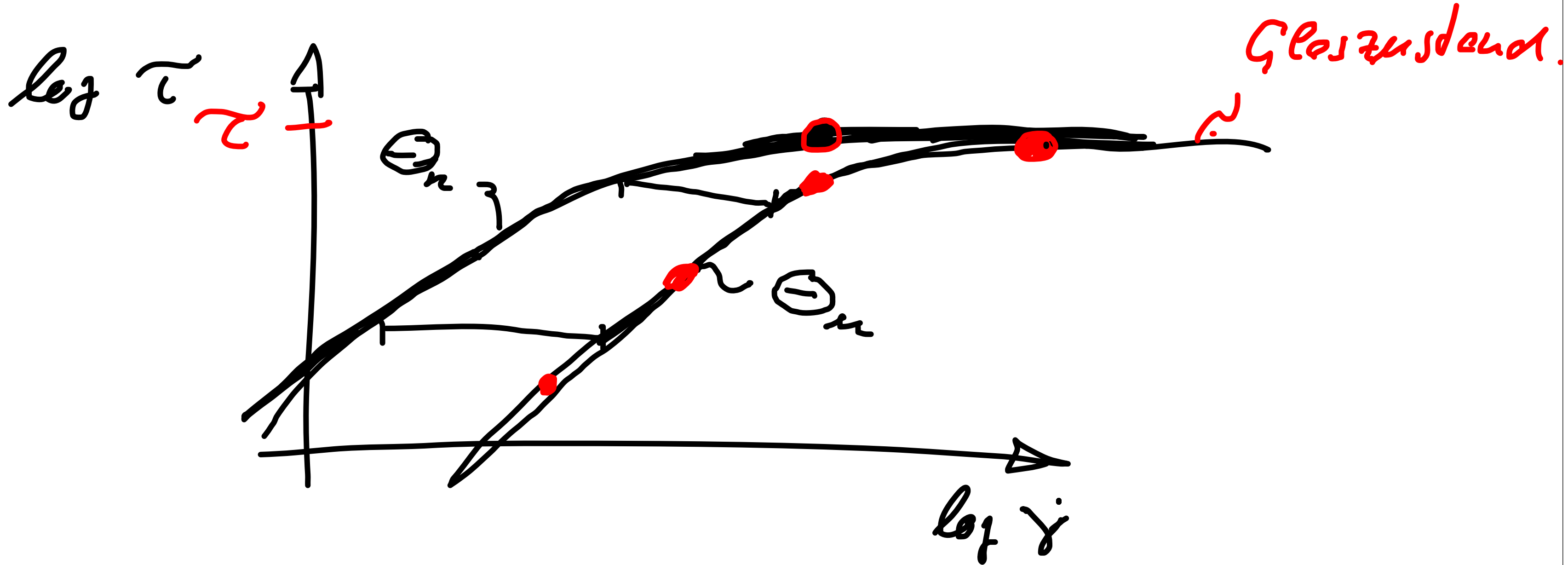
$$a_\Theta(\Theta_1,\Theta_2) := \frac{\dot\gamma(\tau,\Theta_2)}{\dot\gamma(\tau,\Theta_1)} = \frac{\lambda(\Theta_1)}{\lambda(\Theta_2)}$$

⇝ Einfaches Mittel, um sich Relaxationszeit zu bestimmen.

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

$$\boxed{\underbrace{\dot{\gamma}(\tau,\Theta)}_{\text{Zeit}}\;\underbrace{\lambda(\Theta)}_{\text{Temperat.}} = \text{const.}}$$

Für thermorheologisch einfache Materialien gilt das Zeit-Temperatur-Äquivalenz.



Belastungsgeschwindigkeit ~ $\dot{\gamma}$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 3

Zwei Ansätze zur Beschreibung der Relaxationszeit

$$\left.\begin{aligned} \frac{1}{\lambda} &\sim \exp\left(-\frac{E_A}{R\Theta}\right) \\ \lambda &\sim \exp\left(\frac{E_A}{R\Theta}\right) \end{aligned}\right\} \quad a_\Theta(\Theta, \Theta_0) = \frac{\lambda_0}{\lambda} = \exp\left(\frac{E_A}{R\Theta_0}\left(1-\frac{\Theta_0}{\Theta}\right)\right),$$

Arrhenius-Ansatz für die „Rate“ $\frac{1}{\lambda}$

R allgemeine Gaskonstante.

E_A Aktivierungsenergie für physikalische Vorgänge

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2011

Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme

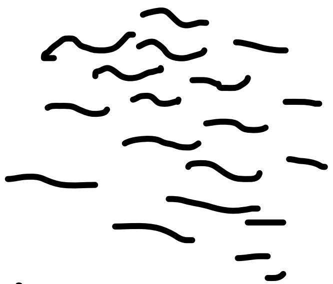
Vorlesung 3

Zweiter Ansatz. WLF-Temperaturverhalten.

William, Landel, Ferry

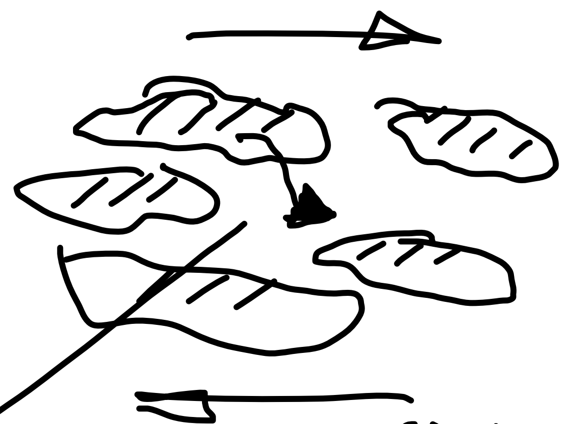
$$\frac{\lambda_0}{\lambda} = a_\Theta(\Theta, \Theta_0) = \ldots\ldots$$

Arrhenius kleine Molekulargewicht.



Öle

WLF hohe Molekulargew.



Löcher innerhalb der Flüssigkeit

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

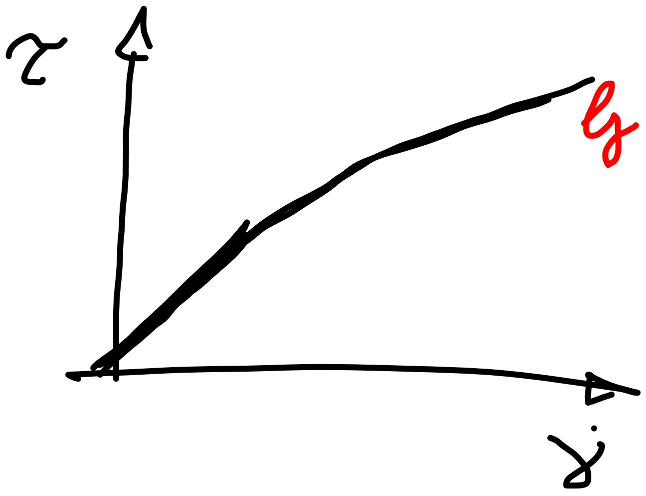
FLUID SYSTEM TECHNIK

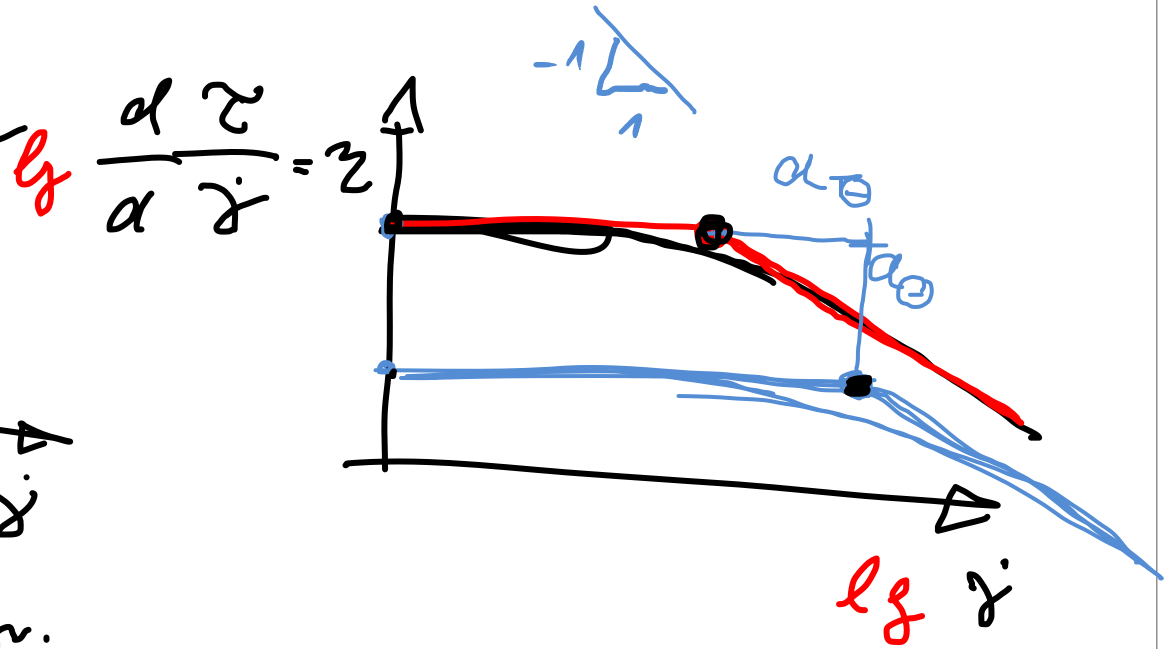
Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2011

Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme

Vorlesung 3





Schubspannungsdiagr.

$$[\dot{\gamma}] = \frac{1}{Zeit} = \frac{1}{T}$$

$$[\eta] = \text{Spannung} * \text{Zeit}$$

Nullviskosität $\eta_0 = \lim_{\dot{\gamma} \to 0} \eta(\dot{\gamma})$

$$\boxed{\eta_0(\Theta)/\lambda(\Theta) = \text{const.}}$$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 3

⇝ Temperaturabhängigkeit der Nullviskosität

$$\eta_0(\Theta) = \eta_{0\,\mathrm{Bezug}} \exp\left(-\frac{E_A}{R\Theta_0}\left(\frac{\Theta}{\Theta_0} - 1\right)\right)$$

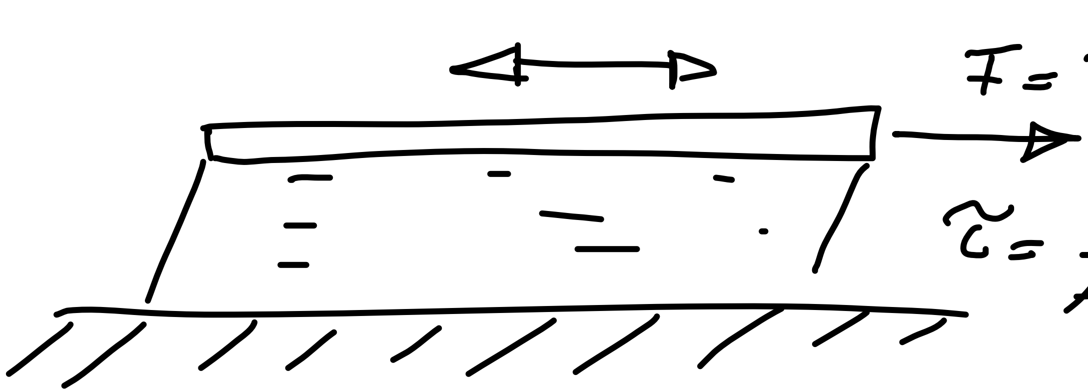
Temperaturverhalten von kurzkettigen Molekülen.
(Flüssige Materialien, d. h. mit freier Oberfläche).

Wasser
Öl
⋮

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz



$F = \hat{F} e^{i\Omega t}$

$\tau = \frac{F}{A} = \hat{\tau} e^{i\Omega t}$

Deformationsänderung. $\gamma = \hat{\gamma} e^{i\Omega t}$

Komplexer Schubmodul $\hat{G} := \frac{\hat{\tau}}{\hat{\gamma}} = G' + i G''$

G' ~~als~~ Realteil des komplexen Moduls

G'' Imaginärteil des komplexen Moduls.

Komplexe Scherrate $\quad \hat{\dot{\gamma}} = i\Omega\hat{\gamma}$

Komplexe Viskosität $\quad \hat{\eta} := \frac{\hat{\tau}}{\hat{\dot{\gamma}}} = \frac{1}{i\Omega}\frac{\hat{\tau}}{\hat{\gamma}}$

$$\left.\begin{aligned}\hat{\eta} &= -i\Omega^{-1}\hat{G}\\ \hat{\eta} &= \eta' + i\eta''\end{aligned}\right\}$$

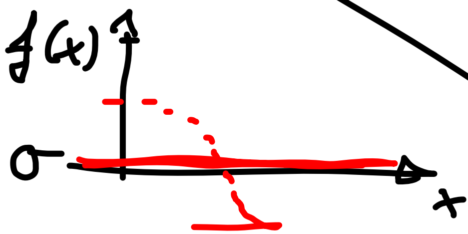
$\rightsquigarrow \eta' + i\eta'' = -i\Omega^{-1}G' + \Omega^{-1}G''$

$\rightsquigarrow \boxed{\eta' = \frac{G''}{\Omega}}$

$\nabla \quad x = f(x)$

$Re := \frac{ud}{\nu}$ Definition

$f(x) \equiv 0$ Identität

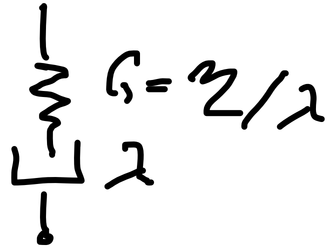


TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 3

$$\eta'' = -\frac{G'}{\Omega}$$



Maxwell

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

einfachstes Materialgesetz für viskoelastische Flüssigk.

$$\hat{\tau}(1 + i\lambda\Omega) = \underbrace{\frac{\eta}{\lambda}}_{=G} i\Omega\lambda\hat{\gamma}$$

für den eingeschwungenen Zustand.

$$\boxed{\hat{G} = \frac{\hat{\tau}}{\hat{\gamma}} = G\,\frac{i\Omega\lambda}{1 + i\Omega\lambda}}$$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 3

$$\frac{\hat{G}}{G} = \frac{i\Omega\lambda}{1+i\Omega\lambda} = \frac{i\Omega\lambda(1-i\Omega\lambda)}{1+(\Omega\lambda)^2}$$

$\leadsto$ G' Speichermodul

$$\frac{G'}{G} = \frac{(\Omega\lambda)^2}{1+(\Omega\lambda)^2}$$

kein Verlust

Konservative-

Element.

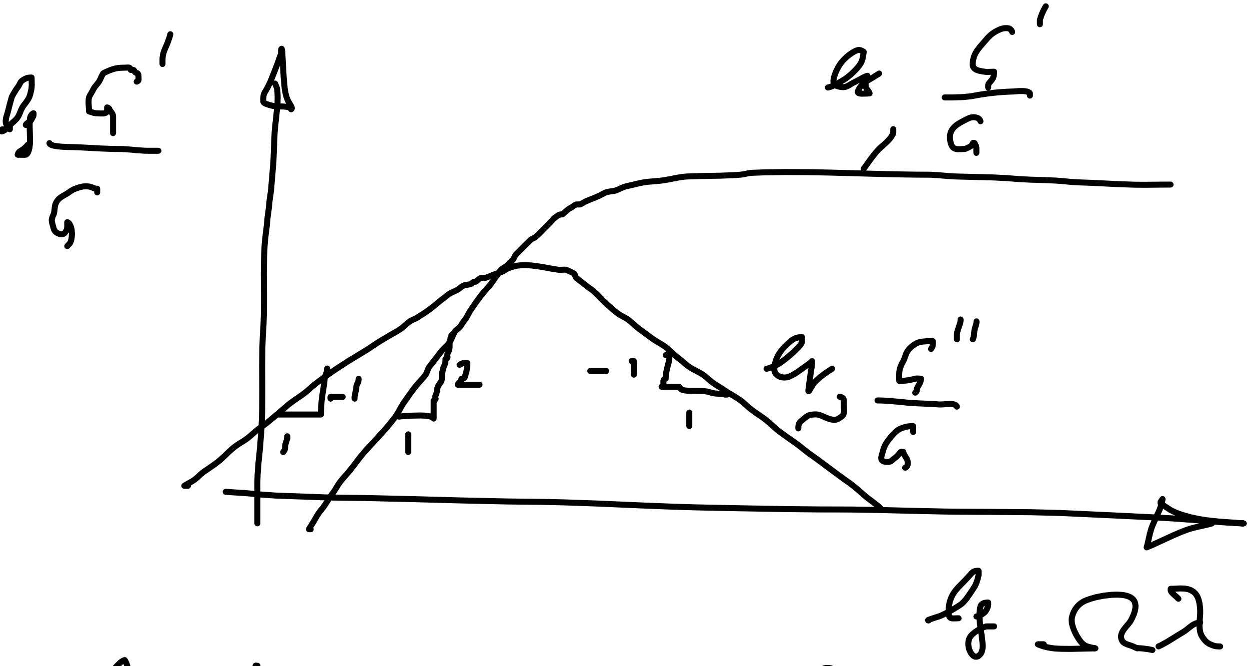
G'' Verlustmodul

$$\frac{G''}{G} = \frac{\Omega\lambda}{1+(\Omega\lambda)^2}$$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

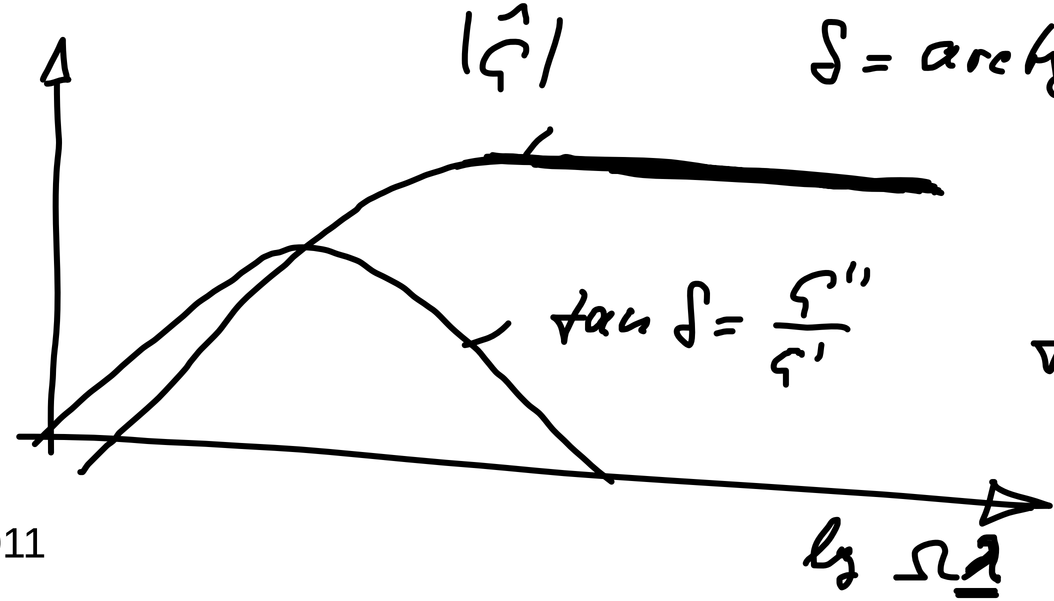
Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 3



$$\hat{G} = G' + i\,G'' = |\hat{G}|\,e^{i\delta}$$

δ Verlustwinkel

$$\delta = \operatorname{arctg} \frac{G''}{G'}$$



$\tan\delta$ Verlustfaktor

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 3

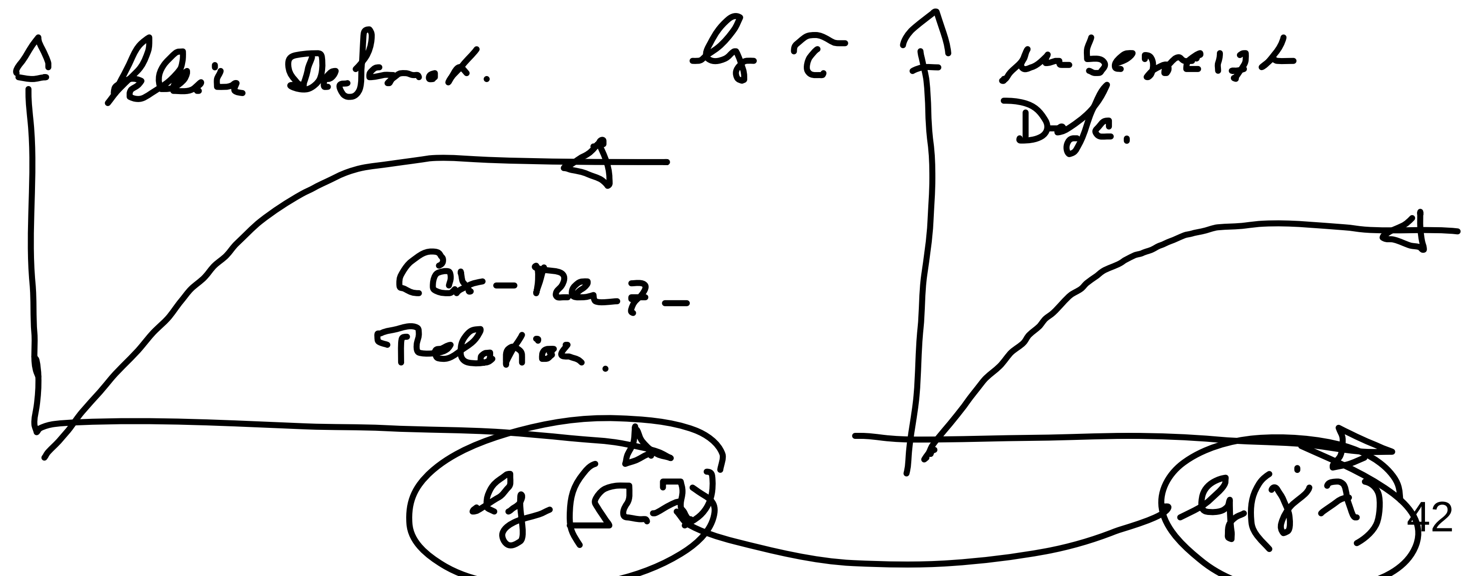
① Zwei Hinweise

② Hinweis

Oszillierende Sch.

$\lg \left| \frac{\tau^{1}}{G} \right|$

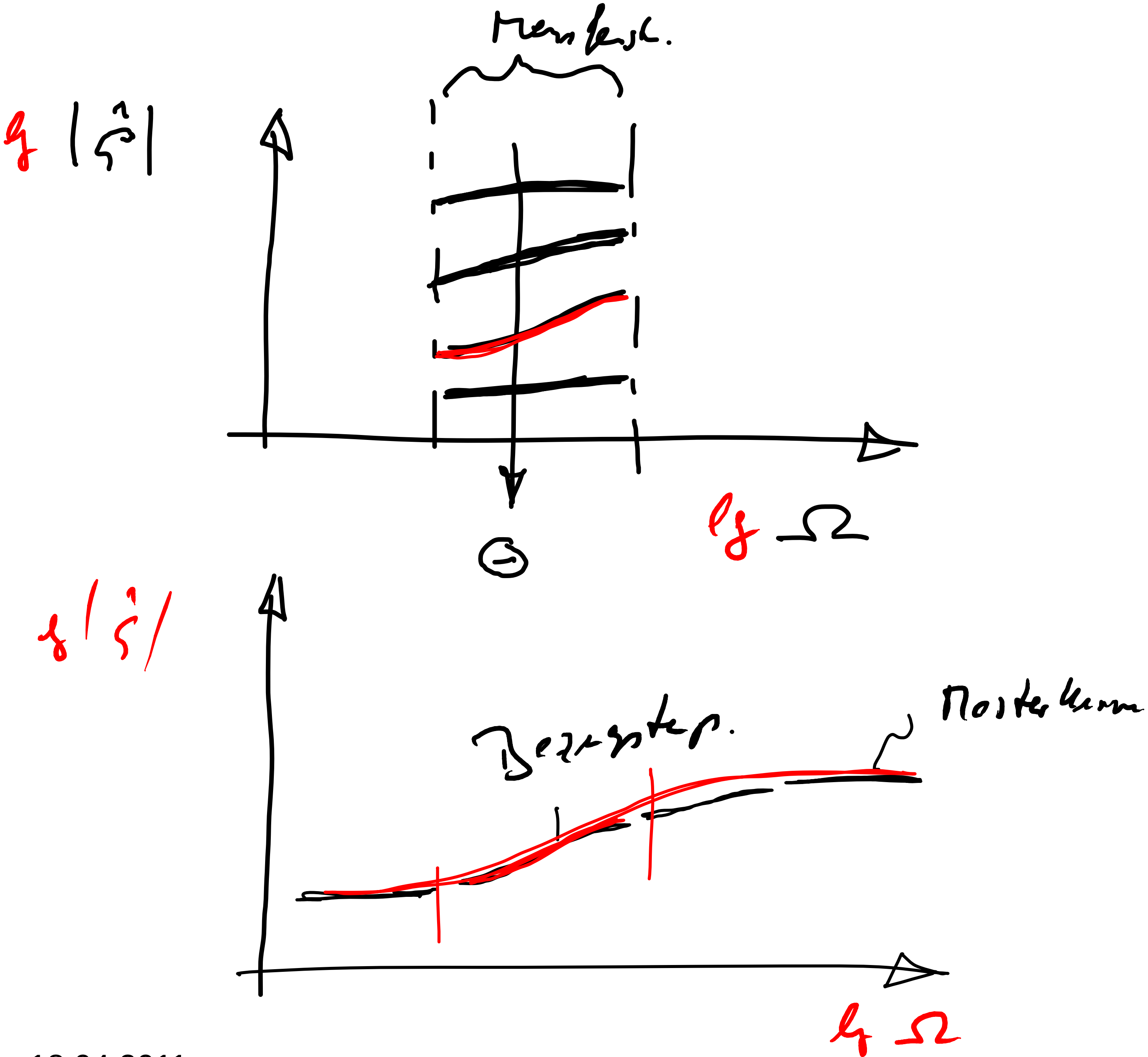
$= \lg \tilde{\tau}$



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Sommersemester 2011
Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme
Vorlesung 3



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Sommersemester 2011

Grundlagen der Turbomaschinen und Fluidsysteme

Vorlesung 3