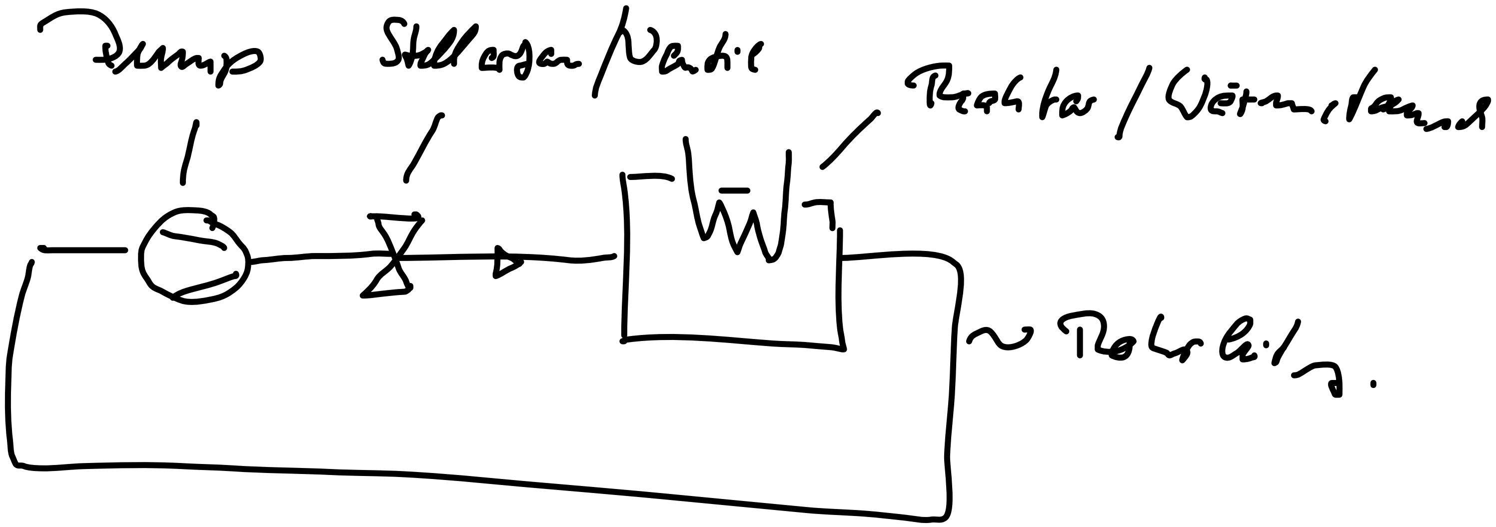


Heute bestehen typische technische Systeme aus diskreten Bauteilen, die häufig von unterschiedlichen Herstellern stammen.

Das Gesamtsystem steht häufig nicht im Vordergrund.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

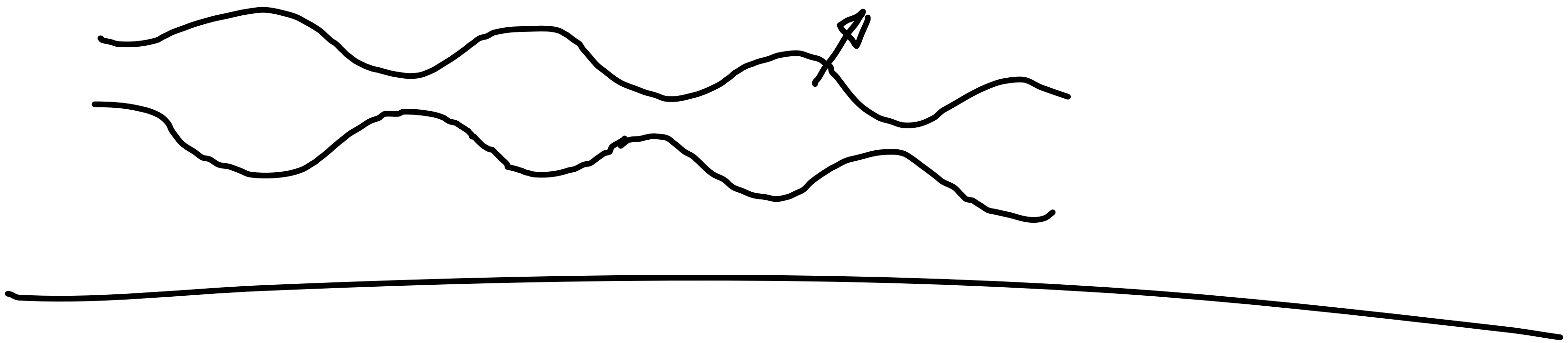
FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Wintersemester 2010/11
Biofluidmechanik
Vorlesung 1

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Natur z.B. Darm



Motivation für die Vorlesung:

Wie macht es die Natur? ⇝ Physikalisch, mathematische Modelle

Möglicherweise Ispiration für innovative technische Produkte

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Wintersemester 2010/11
Biofluidmechanik
Vorlesung 1

Gliederung

1. Außenströmungen

1.1 Bewegung von Mikroorganismen ($Re \ll 1$)

1.2 " der Qualle

1.3 Aal

1.4 Schwertfisch. ($Re \gg 1$)

2. Innenströmung.

2.1 Peristaltik.

2.2 Elektroosmose, Elektrophorese.

2.3 Strömungswiderstände und das Kleiber Gesetz. $\frac{3}{4}$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

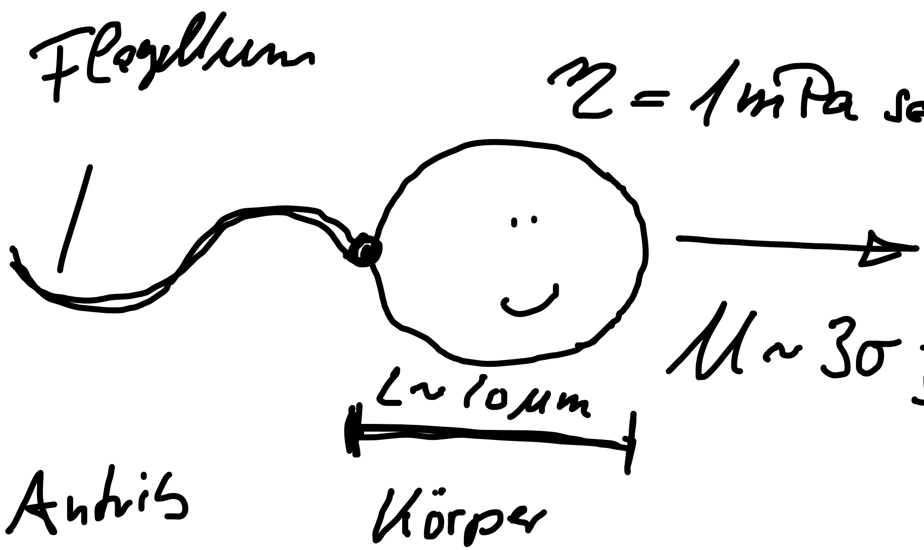
FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Wintersemester 2010/11
Biofluidmechanik
Vorlesung 1

1.1 Bewegung von Mikroorganismen

Literaturempfehlung: Life at low Reynoldsnumber, Purcell

$\eta = 1\,\mathrm{mPa\,sec}$, $\rho = 10^3\,\frac{kg}{m^3}$ (Wasser)



$U \sim 30\,\frac{\mu m}{sec}$

Frage: 1. Warum bewegt sich der Mikroorganismus?

2. Mit welchen fremdartigen Wirkungsweisen bewegt er sich?

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

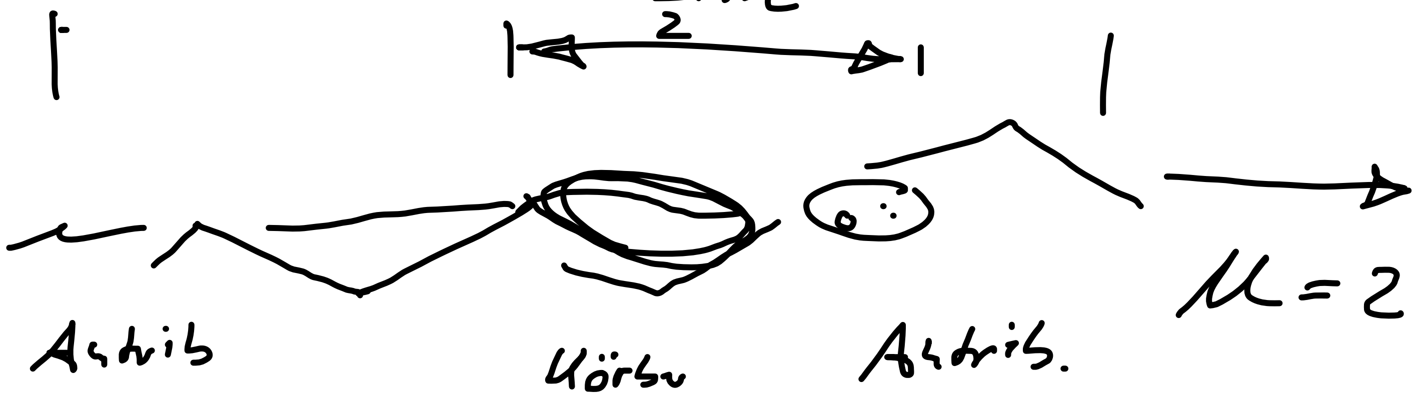
Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Wintersemester 2010/11
Biofluidmechanik
Vorlesung 1

Reynoldszahl

$$Re = \frac{u L \rho}{\eta} = \frac{30 \times 10^{-6} \times 10^{-5} \times 10^{3}}{10^{-3}} = 3 \times 10^{-12} \ll 1.$$

$$L \sim \frac{3}{2}\, m$$



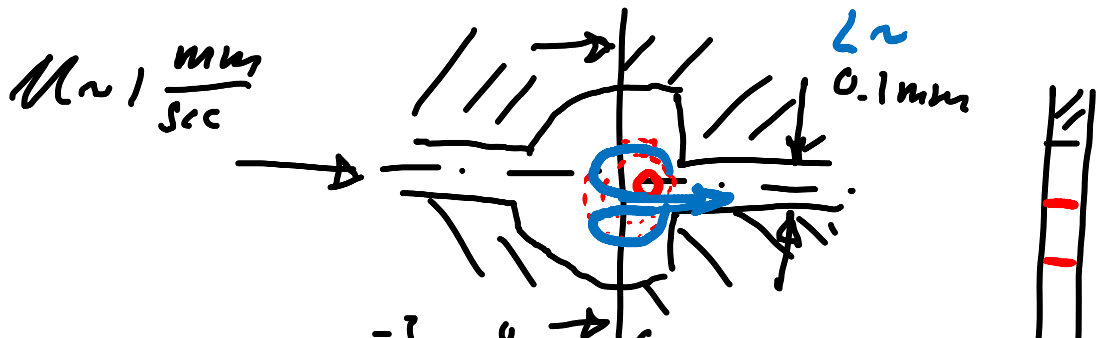
$$u = 2\, \frac{m}{sec.}$$

$$Re = 2\, \frac{3}{2}\, 10^{6} = 3 \times 10^{6} \gg 1$$

Kleine Re-Zahl i.d.R. durch kleine typische Länge.

technische Relevanz: Mikroverfahrenstechnik.

Mikro-Pump: Klaus-Dieter OhL, Singap.



$$Re = 10^{-3} * 10^{-4} * 10^{6} = 10^{-1}$$

(Gegenbeispiel: Bei instationären Strömungen (τ) hat ggf. die Viskosität keine Zeit.

$\nu = \eta / \rho$.

$$\boxed{\frac{\tau \nu}{L^2} \ll 1.}$$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Wintersemester 2010/11
Biofluidmechanik
Vorlesung 1

Kleine Reynoldszahl infolge hoher kinematischer Viskosität $\nu := \frac{\eta}{\rho}$

$$\nu_{H_2O} = 10^{-6} \frac{m^2}{sec.}$$

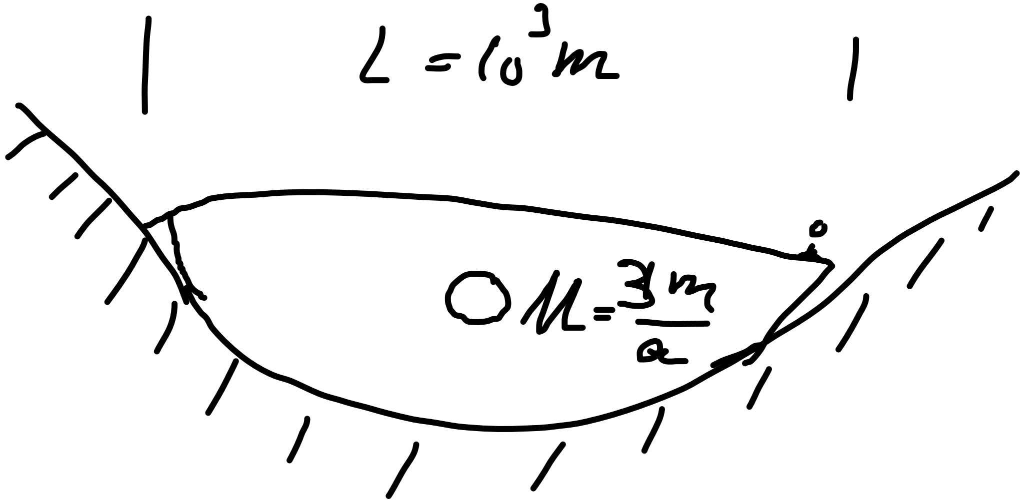
$$\nu_{Luft} = 27(?) \times 10^{-6} \frac{m^2}{sec.}$$

$$\nu_{Eis} = 3 \times 10^{6} \frac{m^2}{sec}$$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Wintersemester 2010/11
Biofluidmechanik
Vorlesung 1



$$\nu = 3 * 10^{6} \frac{m^2}{sec}$$

$$Re = \frac{10^3 * \cancel{3} *}{365 * 24 * 3600 * \cancel{3} * 10^{6}} = \frac{10^{-\cancel{3}6}}{365 * 24 * 4}$$

$$= \frac{10^{-8}}{365} = \frac{1}{4} \, 10^{-10}$$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Wintersemester 2010/11

Biofluidmechanik

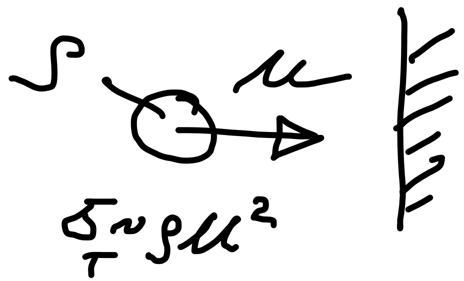
Vorlesung 1

Bisher: Interpretation der Reynoldszahl als Produkt kinematischer Größen

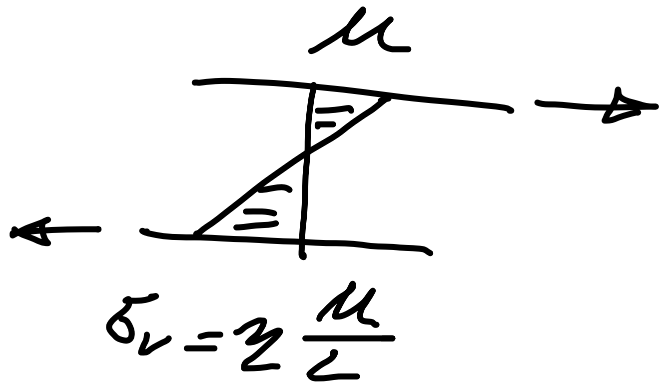
L, U, ν (Länge, Zeit).

Möglich ist auch die Interpretation als Verhältnis von Kräften

$$Re = \frac{\text{Trägheitsspannung}}{\text{viskose Spannung.}}$$



$$= \frac{\rho U^2 L}{\eta U} = \frac{UL}{\nu}.$$



Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Wintersemester 2010/11
Biofluidmechanik
Vorlesung 1

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
FLUID SYSTEM TECHNIK

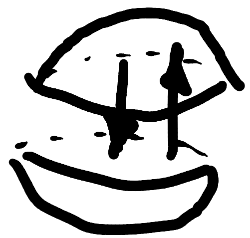
$$Re = \frac{U L \eta}{\eta^2/\rho} \rightarrow \text{Materialkonstante} \quad \left[\frac{\eta^2}{\rho}\right] = F = M L T^{-2}$$

$$[\eta] = M L^{-1} T^{-1}$$

$$\left.\begin{aligned} [\eta^2] &= M^2 L^{-2} T^{-2} \\ [\rho] &= M L^{-3} \end{aligned}\right\} \left[\frac{\eta^2}{\rho}\right] = M L T^{-2} = F.$$

Gletschereis $\quad \eta^2/\rho = 9 \cdot 10^{15}\, N.$

Erde $\quad \eta^2/\rho = 10^{36}\, N. \Rightarrow$

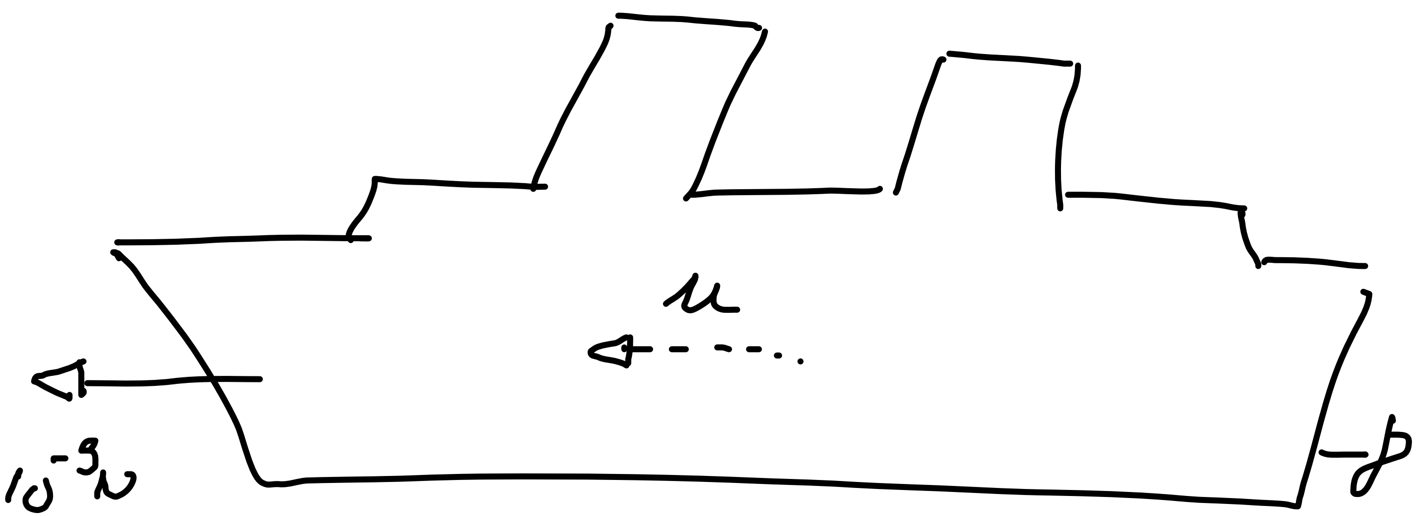


TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Wintersemester 2010/11
Biofluidmechanik
Vorlesung 1

Wasser $\frac{\eta^2}{\rho} = \nu^2 \rho = 10^{-12}\, 10^{3}\, N = \underline{\underline{10^{-9}\, N}}.$



$Re \ll 1.$

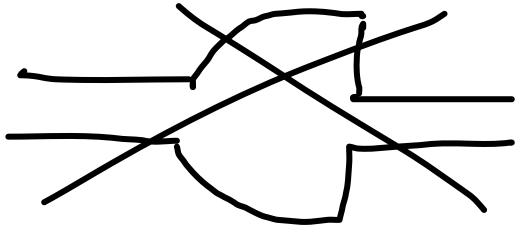
$Re \ll 1$: Die Antriebskräfte sind in einem absoluten Sinne **klein**

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

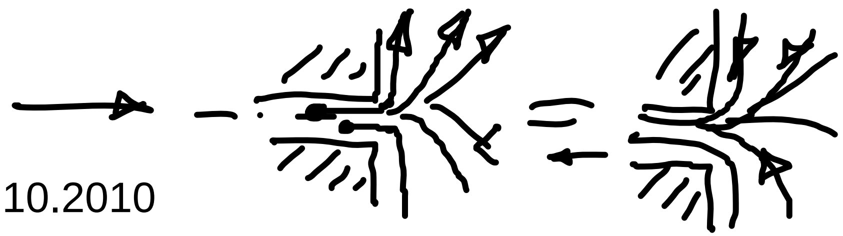
Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Wintersemester 2010/11
Biofluidmechanik
Vorlesung 1



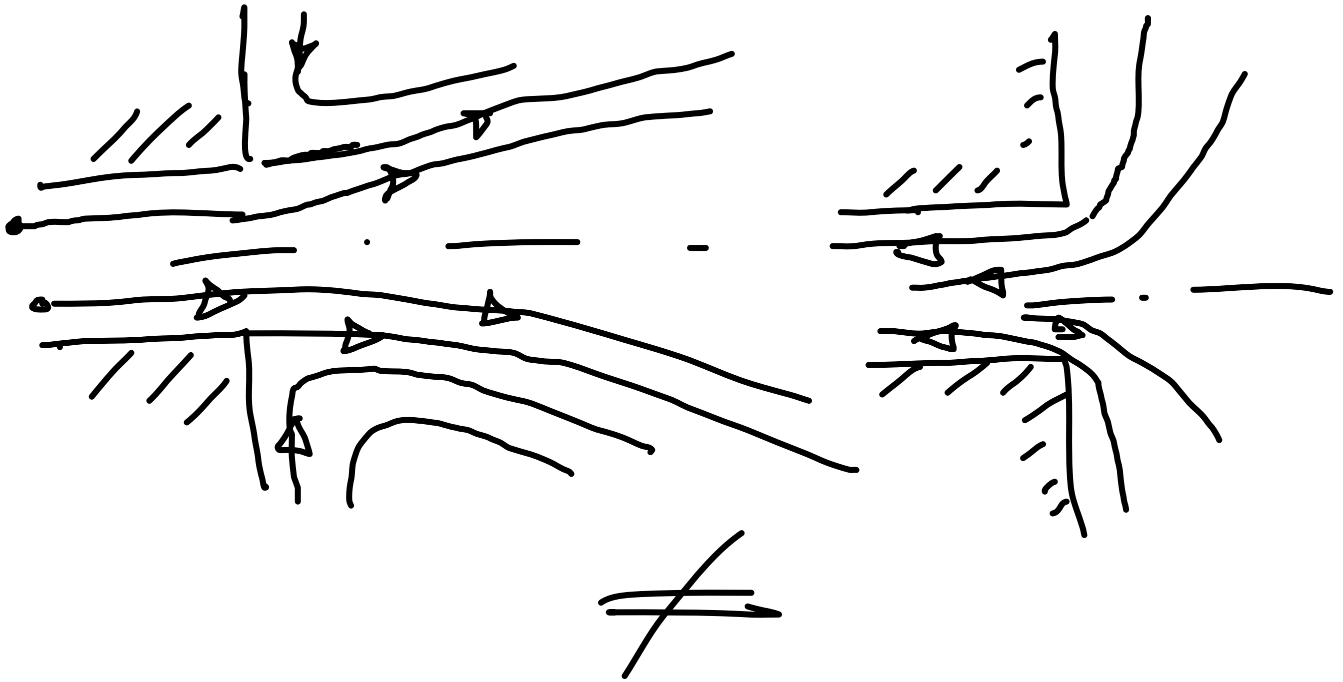
Re << 1, dann spielt die Zeit bei der Bewegung keine Rolle.

- Die Aussage die Bewegung ist schnell oder langsam ist nicht relevant.
- Strömungsvorgänge sind immer umkehrbar.



Re << 1 Strömung ist umkehrbar.

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz



$Re \gg 1$

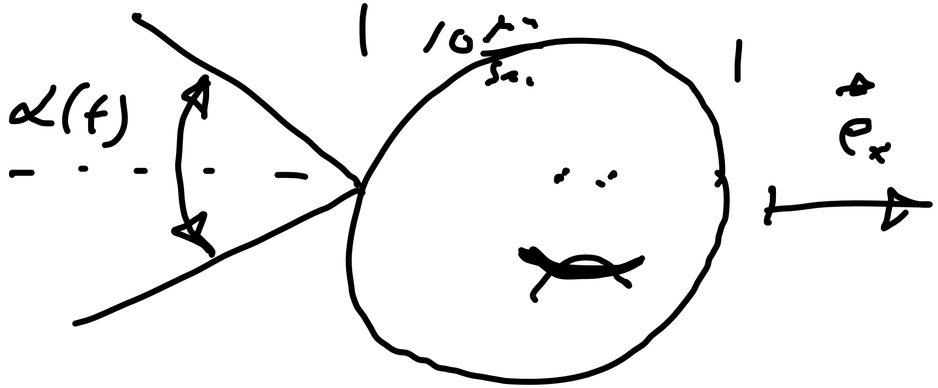
$Re \gg 1$ Strömung ist nicht umkehrbar!

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

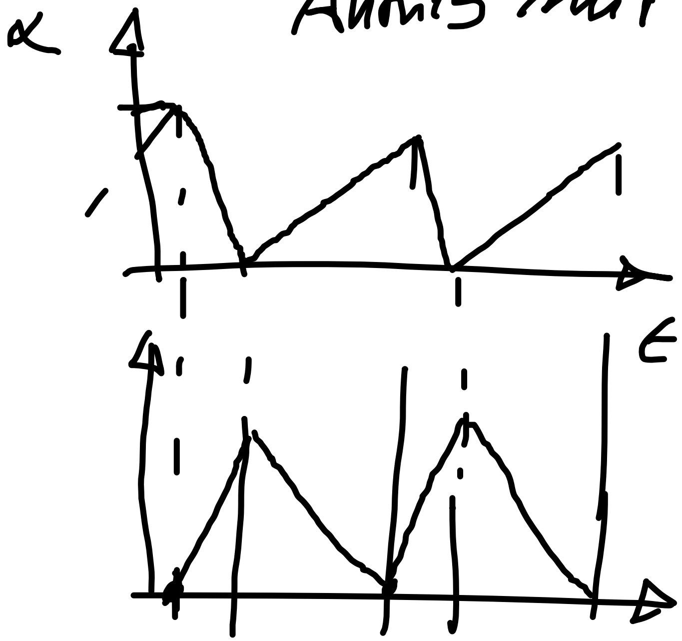
FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Wintersemester 2010/11
Biofluidmechanik
Vorlesung 1

$Re \ll 1$



Antrieb mit einem Freiheitsgrad funktioniert nicht!



$\underline{\underline{\Delta t_1}} \ll \underline{\underline{\Delta t_2}}$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz

Wintersemester 2010/11
Biofluidmechanik
Vorlesung 1

Analyse der Bewegungsgleichung für die Flüssigkeitsbewegung.

~~Navier-Stokessche Gleichung~~ Cauchy-Gleichung.

$$\rho \frac{D\vec{u}}{Dt} = \nabla \cdot \underset{\sim}{T}.$$

„Masse" × „Beschleunigung" = „Kraft"   2te Newtonsche Gesetz.

Materialgesetz für Newtonsche Flüssigkeit (Wasser, da das Molekulargewicht klein ist)

$$\underset{\sim}{T} = -p\underset{\sim}{I} + 2\eta\underset{\sim}{E}$$

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Wintersemester 2010/11
Biofluidmechanik
Vorlesung 1

Navier Stokessche Glch.

$$\rho \frac{D\vec{u}}{Dt} = \underbrace{-\nabla p + \eta \Delta \vec{u}}_{\text{Divergenz des Spannungstensors}}$$

~~für Re~~

$$\underset{\sim}{T} = -p\,\underset{\sim}{I} + 2\eta\,\underset{\sim}{E}$$

$$\underset{\sim}{E} = \frac{1}{2}\left(\nabla \vec{u} + \nabla \vec{u}^{T}\right).$$

für $Re \ll 1$

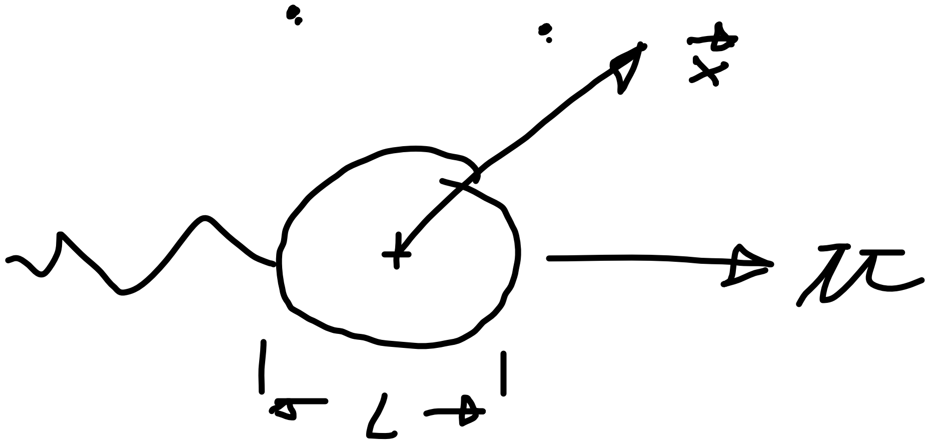
$$0 = -\nabla p + \eta \Delta \vec{u}.$$

Stokessche Glch.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FLUID SYSTEM TECHNIK

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Wintersemester 2010/11
Biofluidmechanik
Vorlesung 1



$$\rho \frac{D\vec u}{Dt} = -\nabla p + \eta \Delta \vec u .$$

Dimensionslos machen der NSGl.

$\vec x := \vec x^+ L$ | $[\vec x^+] = 1.$ | $\nabla := \nabla^+ \frac{1}{L}$

$\vec u := \vec u^+ U$ | $[\vec u^+] = 1$ | $\Delta := \Delta^+ \frac{1}{L^2}$

$t := t^+ L/U$ | $[t^+] = 1$

L/U = Konvektionszeit. | $\frac{L^2}{\nu} = \frac{\rho L^2}{\eta}$ = Diffusionszeit

Prof. Dr. Ing. Peter Pelz
Wintersemester 2010/11
Biofluidmechanik
Vorlesung 1