

# Medizinische Biophysik 2014. 04. 08.

## Transportprozesse

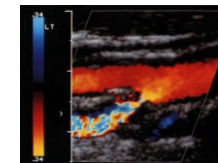
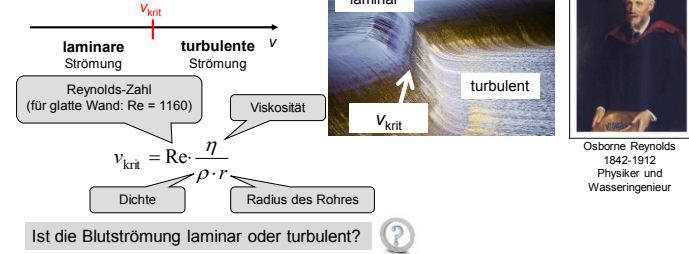
### II. Volumentransport (Strömungen) Fortsetzung

- Strömung von reellen Flüssigkeiten
  - Newtonsches Reibungsgesetz
  - Viskosität  $\rightarrow$  Anwendung: Viskosität des Blutes
  - Kritische Geschwindigkeit  $\rightarrow$  Anwendung: Blutströmung
  - Transportgesetz (Hagen-Poiseuille-Gesetz)  $\rightarrow$  Anwendung: Blutströmung
- Bewegung von Teilchen in reellen Flüssigkeiten
  - stokessches Reibungsgesetz
  - Beweglichkeit eines Teilchens

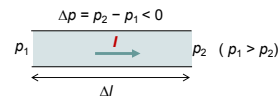
### III. Stofftransport (Diffusion)

- Grundbegriffe Stoffstromstärke, -dichte
- Transportgesetz = 1. Ficksches Gesetz
  - Diffusionskoeffizient, Einstein-Stokes-Gleichung
  - chemisches Potenzial für Lösungen:

### Kritische Geschwindigkeit ( $v_{krit}$ ):



### Transportgesetz (Hagen-Poiseuille-Gesetz):



Stromstärke

Druckgradient

$$I = \frac{\Delta V}{\Delta t} = -\frac{\pi}{8\eta} R^4 \frac{\Delta p}{\Delta l}$$

Viskosität

Radius

Weitere Voraussetzungen:

- stationäre Strömung
- newtonsche Flüssigkeit

Alternativform:

$$J = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t} = -\frac{R^2}{8\eta l} \frac{\Delta p}{\Delta l}$$

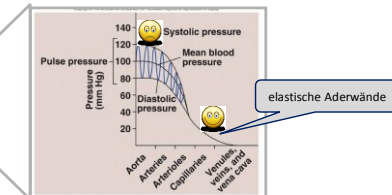
Strömdichte

„Strömungsleitfähigkeit“

### Ist das H-P-Gesetz anwendbar für die Blutströmung?

Gültigkeitsbedingungen?

- inkompressible Fl.?
- laminare Strömung?
- stationäre Strömung?
- newtonsche Fl.?

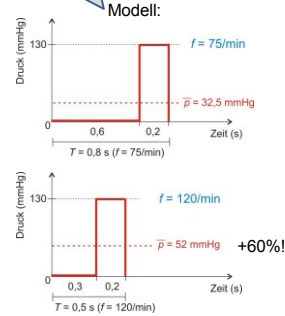
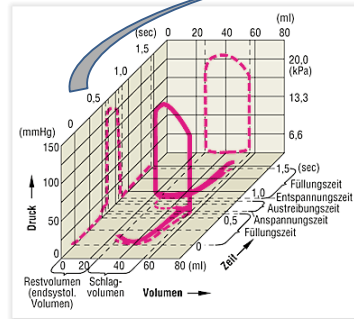


Folgerung: H-P nur qualitativ anwendbar!

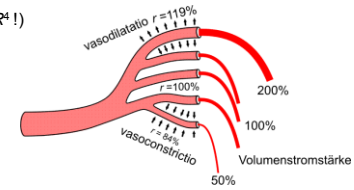
## Blutströmung

- Regulation der Volumenstromstärke laut Hagen-Poiseuille-Gesetzes:

➤ Druck ( $\Delta p$ )



➤ Radius ( $R^4$ !)



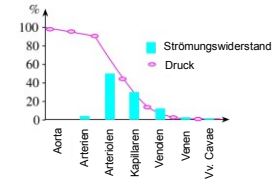
- Druck und Strömungswiderstand im Kreislauf:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = -\frac{\pi}{8} \frac{1}{\eta} R^4 \frac{\Delta p}{\Delta l} \Rightarrow -\Delta p = \frac{8\eta}{\pi} \frac{\Delta l}{R^4} \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

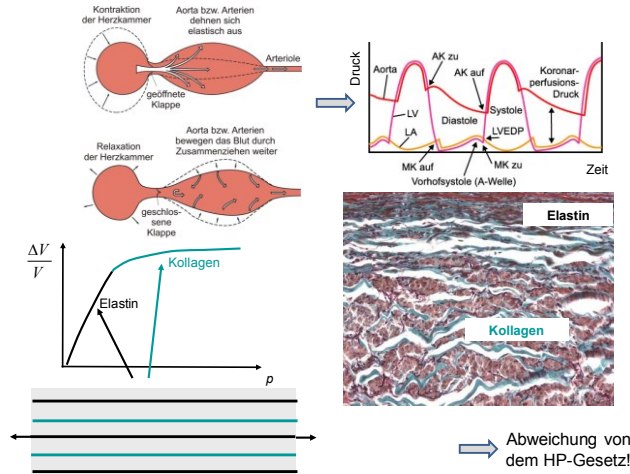
Analogie!

$$\frac{\Delta q}{\Delta t} = -\sigma \cdot A \cdot \frac{\Delta \varphi}{\Delta l} \Rightarrow -\Delta \varphi = \frac{1}{\sigma} \frac{\Delta l}{A} \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$$U = R \cdot I$$

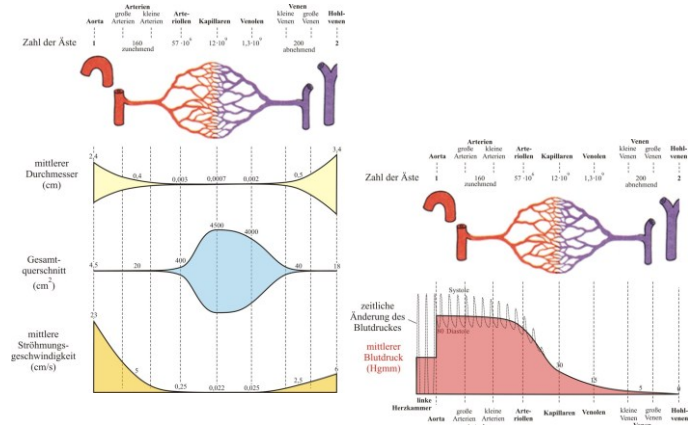


- Rolle der Elastizität von Aorta und Arterien (Windkesselfunktion):



➔ Abweichung von dem HP-Gesetz!

Zusammenfassend:



## Analogie

	Was strömt?	Stärke?	Was treibt die Strömung?	Zusammenhang?
<b>Ladungs-transport</b>	$q$	$J_q = \frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$	$\varphi$	$J_q = -\sigma \frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$
<b>Volumen-transport</b>	$V$	$J_V = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t}$	$p$	$J_V = -\frac{R^2 \Delta p}{8\eta \Delta l}$

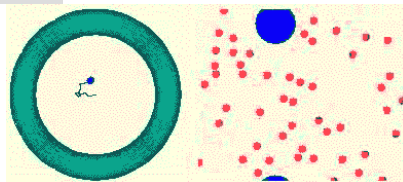
9

## III. Stofftransport (Diffusion)



Diffusion: Tendenz zur gleichmäßigen Verteilung von Molekülen durch die thermische Bewegung

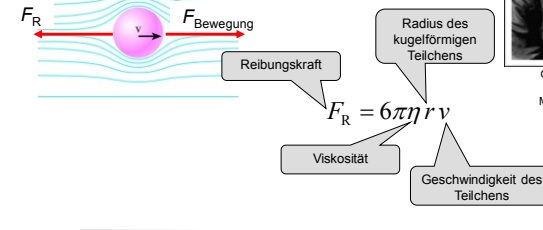
**0. Grundvoraussetzung:** thermische Molekularbewegung  
brownische Bewegung



11

## 5. Bewegung von Teilchen in reellen Flüssigkeiten

Bei kleineren Geschwindigkeiten:



G. G. Stokes  
1819-1903  
Mathematiker  
Physiker

Bei gleichmäßigen Bewegung:  $F_{\text{Bewegung}} = F_R$

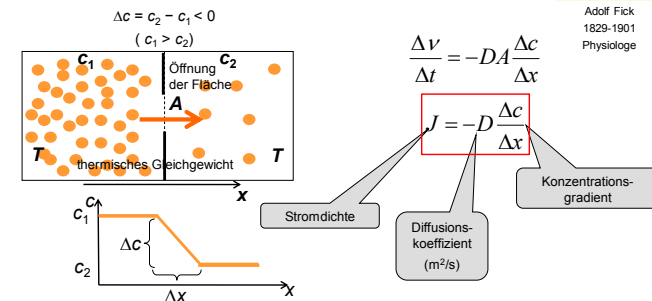
**Beweglichkeit** ( $u$ ) eines Teilchens:  $u = \frac{v}{F_{\text{Bewegung}}} \Rightarrow u = \frac{1}{6\pi\eta r} \Rightarrow$  s. Diffusion

10

## 1. Grundbegriffe

- Stoffstromstärke ( $I$ ): (Diffusionsstromstärke)  $I = \frac{\Delta v}{\Delta t} \left( \frac{\text{mol}}{\text{s}} \right)$
- Stoffstromdichte ( $J$ ): (Diffusionsstromdichte)  $J = \frac{\Delta v}{A \cdot \Delta t} \left( \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right)$
- stationäre Diffusion: zeitlich konstant

## 2. Transportgesetz = 1. Ficksches Gesetz



Adolf Fick  
1829-1901  
Physiologe

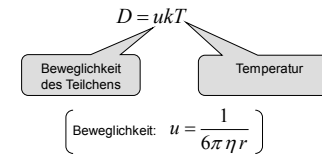
12

## Analogie

	Was strömt?	Stärke?	Was treibt die Strömung?	Zusammenhang?
<b>Ladungs-transport</b>	$q$	$J_q = \frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$	$\phi$	$J_q = -\sigma \frac{\Delta \phi}{\Delta l}$
<b>Volumen-transport</b>	$V$	$J_V = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t}$	$p$	$J_V = -\frac{R^2}{8\eta} \frac{\Delta p}{\Delta l}$
<b>Stoff-transport</b>	$v$	$J_v = \frac{\Delta v}{A \cdot \Delta t}$	$c$	$J_v = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$

13

## Diffusionskoeffizient:



## Einstein-Stokes-Gleichung

(für kugelförmige Teilchen)

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r}$$

Der Diffusionskoeffizient ist

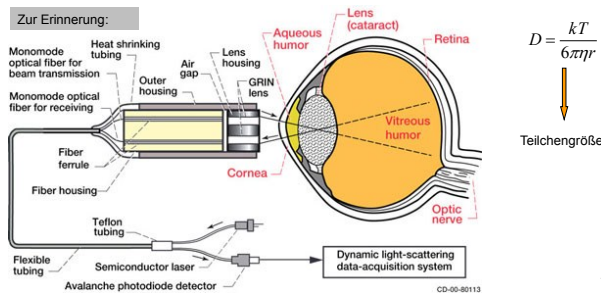
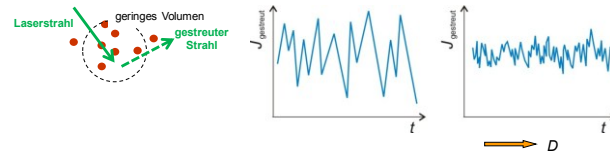
- ☐ stoffspezifisch
  - diffundierendes Molekül
  - Größe ( $r$ )
  - Medium ( $\eta$ )
  - Form
- ☐ temperaturabhängig

Diffundierendes Teilchen (Molmasse)	Medium	$D$ (m <sup>2</sup> /s)
H <sub>2</sub> (2)	Luft	6,4·10 <sup>-5</sup>
O <sub>2</sub> (32)	Luft	2·10 <sup>-5</sup>
CO <sub>2</sub> (44)	Luft	1,8·10 <sup>-5</sup>
H <sub>2</sub> O (18)	Wasser	2,2·10 <sup>-9</sup>
O <sub>2</sub> (32)	Wasser	1,9·10 <sup>-9</sup>
Glyzin (75)	Wasser	0,9·10 <sup>-9</sup>
Serum Albumin (69 000)	Wasser	6·10 <sup>-11</sup>
Tropomiosin (93 000)	Wasser	2,2·10 <sup>-11</sup>
Tabakmosaik-virus (40 000 000)	Wasser	4,6·10 <sup>-12</sup>

14

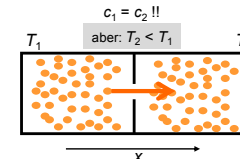
## Messung des Diffusionskoeffizienten:

eine Möglichkeit – dynamische Lichtstreuungsmessung



15

## Im thermischen Nichtgleichgewicht:



Temperaturinhomogenitäten können zur Diffusion führen. Man braucht also zur allgemeineren Beschreibung der Diffusion statt der Konzentration eine Größe, die einerseits die Konzentration, andererseits aber auch die Temperatur enthält.

Konzentration ( $c$ )  $\Rightarrow$  chemisches Potenzial ( $\mu$ )

## chemisches Potenzial für Lösungen:

Referenzlösung

$\mu = \mu_0 + RT \ln \frac{c}{c_0}$   $[\mu] = \frac{J}{\text{mol}}$

Falls  $c_0 = 1 \text{ mol/l}$ , dann  $\mu = \mu_0 + RT \ln c$

Normalpotenzial als Bezugswert  $\mu_0$

Die Triebkraft der Diffusion im Allgemeinen:  $-\frac{\Delta\mu}{\Delta x}$

## Hausaufgaben: Neue Aufgabensammlung 5. Teil 3.5-8 und 12-16

16