

Medizinische Biophysik 2014. 04. 08.

Transportprozesse

II. Volumentransport (Strömungen) Fortsetzung

- 4. Strömung von reellen Flüssigkeiten
 - Newton'sches Reibungsgesetz
 - Viskosität \rightarrow Anwendung: Viskosität des Blutes
 - Kritische Geschwindigkeit \rightarrow Anwendung: Blutströmung
 - Transportgesetz (Hagen-Poiseuille-Gesetz) \rightarrow Anwendung: Blutströmung

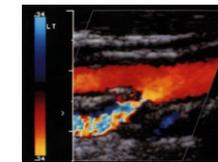
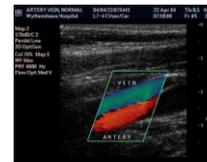
5. Bewegung von Teilchen in reellen Flüssigkeiten

- stokessches Reibungsgesetz
- Beweglichkeit eines Teilchens

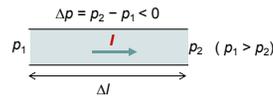
III. Stofftransport (Diffusion)

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

Kritische Geschwindigkeit (v_{krit}):



Transportgesetz (Hagen-Poiseuille-Gesetz):



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

Druckgradient $\frac{\Delta p}{\Delta l}$

Viskosität η

Radius R

- Weitere Voraussetzungen:
- stationäre Strömung
 - newtonsche Flüssigkeit

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

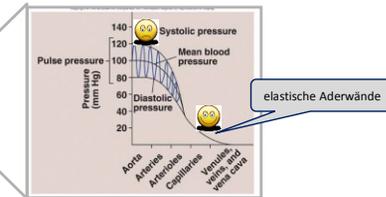
Stromdichte J

„Strömungsleitfähigkeit“

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

Gültigkeitsbedingungen?

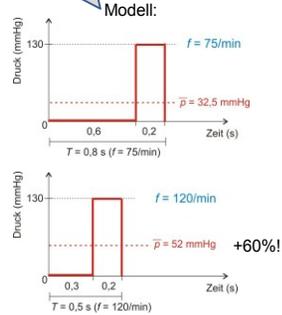
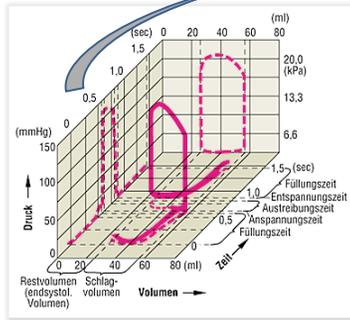
- inkompressible Fl.?
- laminare Strömung?
- stationäre Strömung?
- newtonsche Fl.?



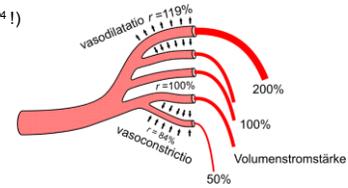
Folgerung: H-P nur qualitativ anwendbar!

Blutströmung

- Regulation der Volumenstromstärke laut Hagen-Poiseuille-Gesetzes:
 - Druck (Δp)



➤ Radius (R^4 !)



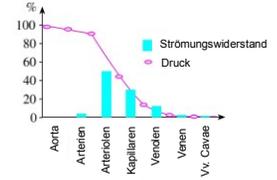
- Druck und Strömungswiderstand im Kreislauf:

$$\frac{\Delta V'}{\Delta t} = -\frac{\pi}{8} \frac{1}{\eta} R^4 \frac{\Delta p}{\Delta l} \Rightarrow -\Delta p = \frac{8\eta}{\pi R^4} \frac{\Delta l}{\Delta t} \frac{\Delta V'}{\Delta t}$$

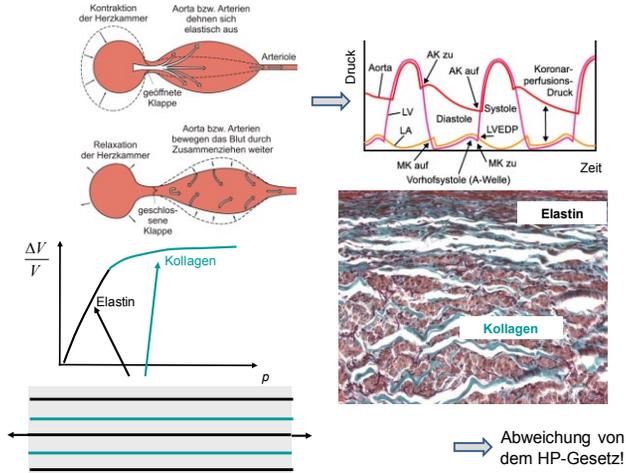
Analogie!

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

$$U = R \cdot I$$

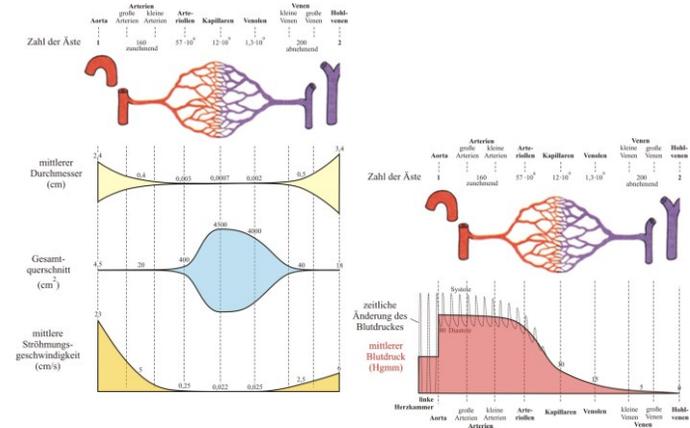


- Rolle der Elastizität von Aorta und Arterien (Windkesselfunktion):



➔ Abweichung von dem HP-Gesetz!

Zusammenfassend:

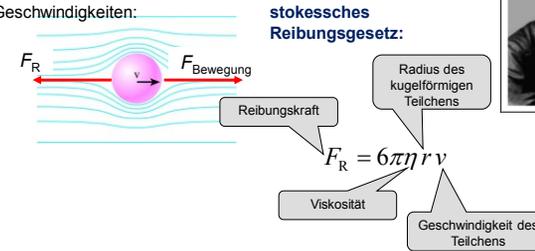


Analogie

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

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: $u = \frac{v}{F_{\text{Bewegung}}} \Rightarrow u = \frac{1}{6\pi\eta r} \Leftrightarrow$ s. Diffusion

9

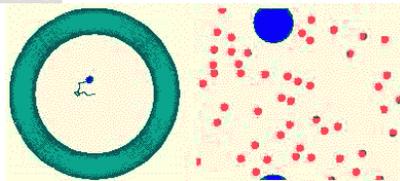
10

III. Stofftransport (Diffusion)



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

0. Grundvoraussetzung: thermische Molekularbewegung
brownsche Bewegung



11

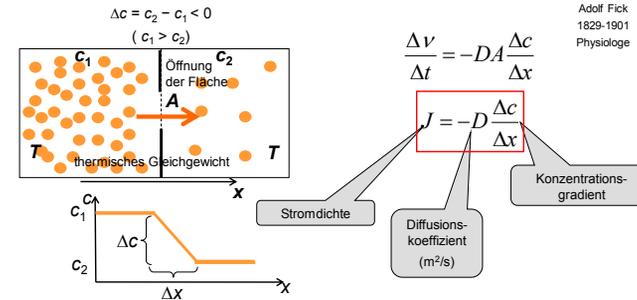
1. Grundbegriffe

- 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



Adolf Fick
1829-1901
Physiologe

2. Transportgesetz = 1. Ficksches Gesetz



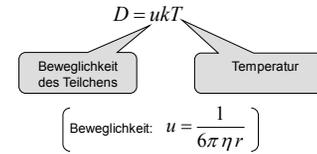
12

Analogie

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

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

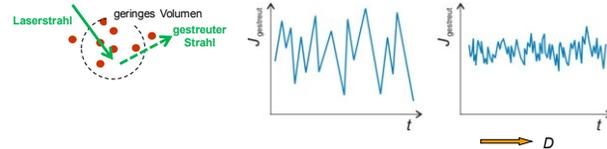
Der Diffusionskoeffizient ist

- stoffspezifisch
 - diffundierendes Molekül
 - Größe (r)
 - Medium (η)
 - Form
- temperaturabhängig ?

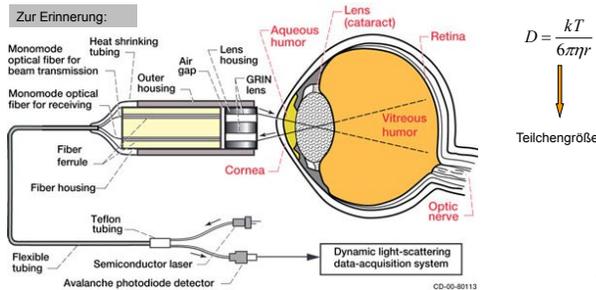
Diffundierendes Teilchen (Molmasse)	Medium	D (m ² /s)
H ₂ (2)	Luft	6,4·10 ⁻⁵
O ₂ (32)	Luft	2·10 ⁻⁵
CO ₂ (44)	Luft	1,8·10 ⁻⁵
H ₂ O (18)	Wasser	2,2·10 ⁻⁹
O ₂ (32)	Wasser	1,9·10 ⁻⁹
Glyzin (75)	Wasser	0,9·10 ⁻⁹
Serum Albumin (69 000)	Wasser	6·10 ⁻¹¹
Tropomiosin (93 000)	Wasser	2,2·10 ⁻¹¹
Tabakmosaikvirus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

14

- Messung des Diffusionskoeffizienten: eine Möglichkeit - dynamische Lichtstreuungsmessung

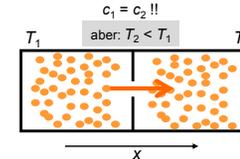


Zur Erinnerung:



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 (μ)

chemisches Potenzial für Lösungen:

Referenzlösung



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

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

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

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

16