

Biophysik für Pharmazeuten II.

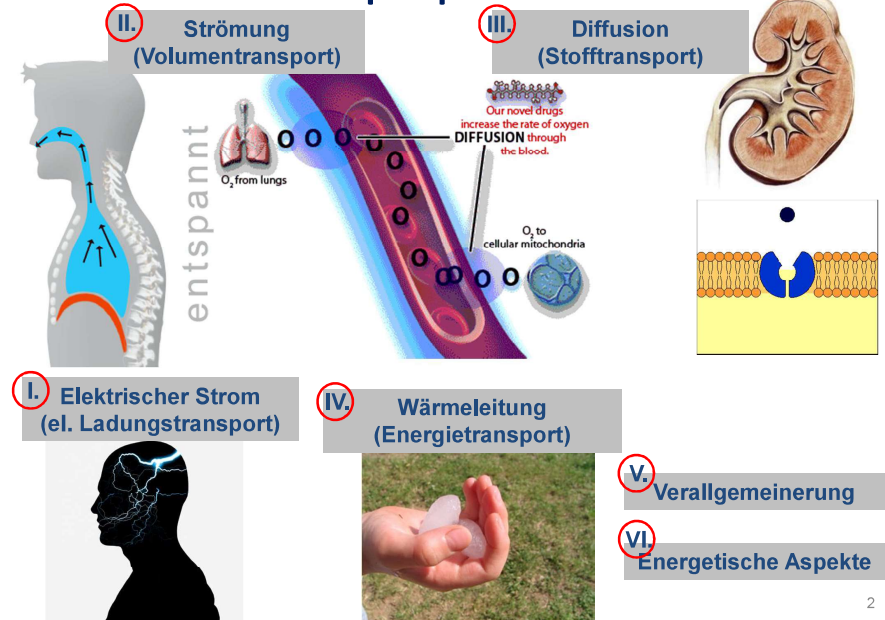
08. 04. 2020.

Transportprozesse 2. Strömungen, Wärmeleitung

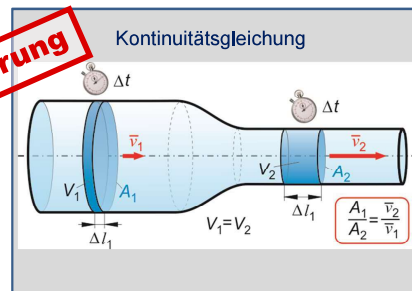
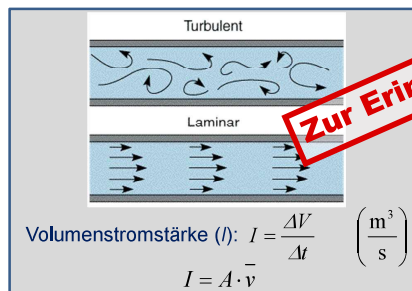


1

Transportprozesse



2



Ideale Flüssigkeit (ohne innere Reibung)



Bernoullische Gleichung

$$p + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot h = \text{konstant}$$

- Wie kann die innere Reibung bei der Strömung einer reellen Flüssigkeit beschrieben werden?
- Ist eine gewisse Strömung laminar oder turbulent?
- Was treibt die Strömung?
- Wovon hängt die Stromstärke der Strömung ab?

3

4. Strömung von reellen Flüssigkeiten

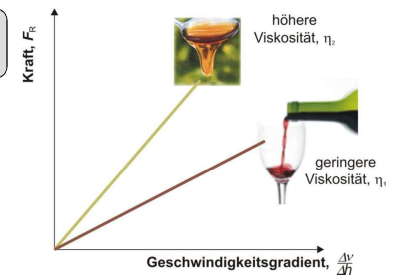
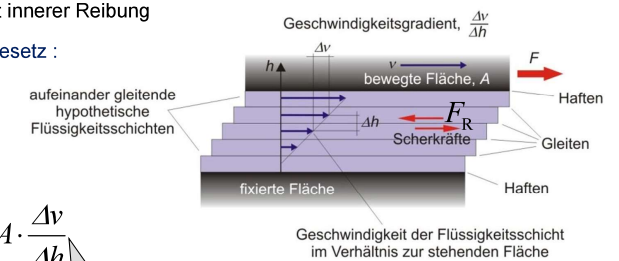
- Reelle Flüssigkeit: mit innerer Reibung
- Newtonsches Reibungsgesetz :

Bei gleichmäßiger Bewegung:

$$F = F_R = \eta \cdot A \cdot \frac{\Delta v}{\Delta h}$$

Viskosität (innerer Reibungskoeffizient)
[η] = Pa·s

Geschwindigkeitsgradient



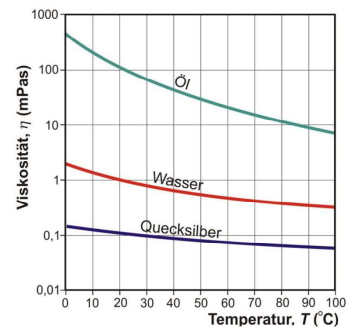
4

Viskosität:

- stoffspezifisch
- temperaturabhängig



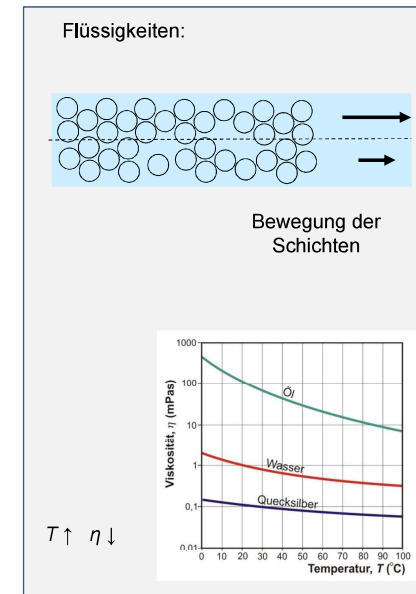
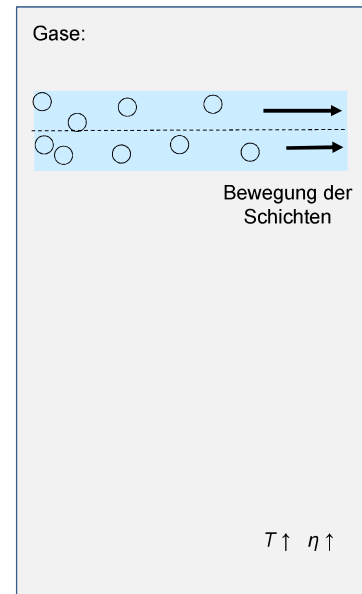
Stoff	η (mPa·s) 20 °C
Luft	(101 kPa) 0,019
Wasser	1
Äthanol	1,2
Blut (37 °C)	2–8
Glyzerin	1490
Honig	2000–14000



$$\eta \sim T \cdot e^{\frac{\Delta E}{RT}}$$

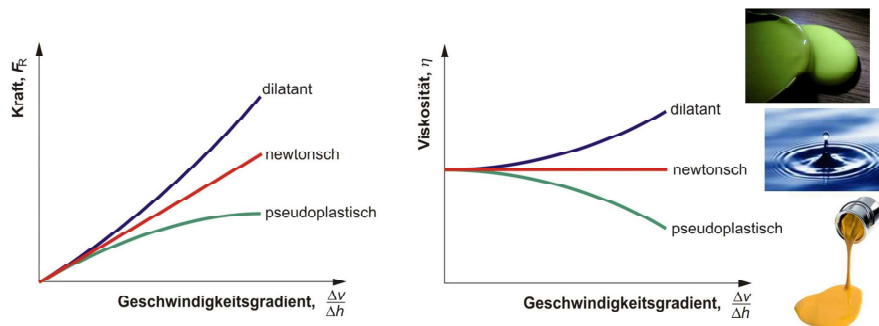
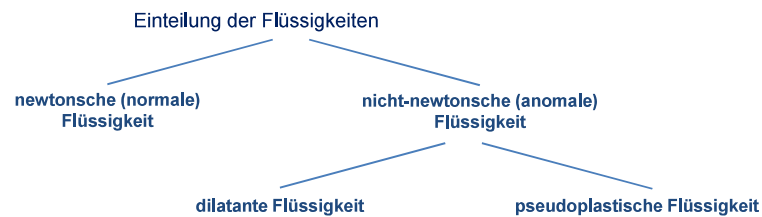
5

Ausführlicher über den Mechanismus der inneren Reibung :



6

- geschwindigkeitsgradientabhängig



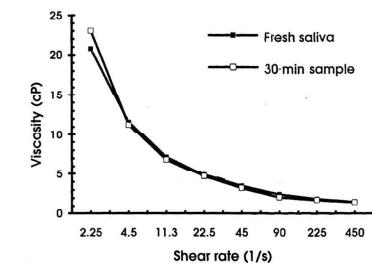
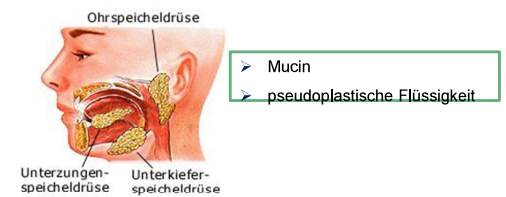
7

Viskosität der Körperflüssigkeiten

Liquor (Gehirn-Rückenmarks-Flüssigkeit, Cerebrospinalflüssigkeit)

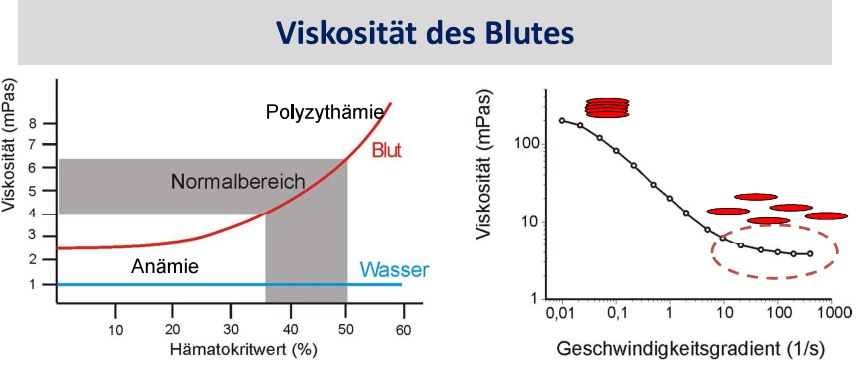
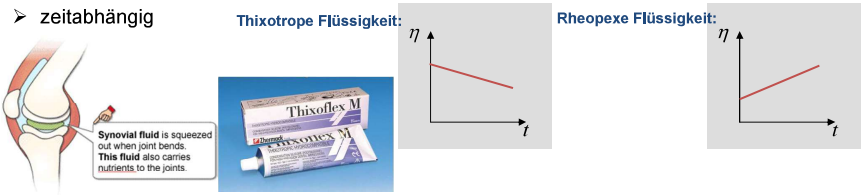
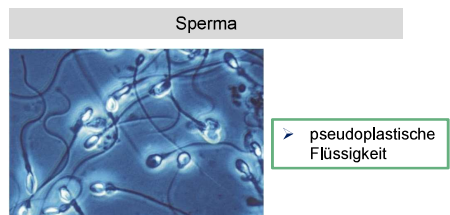
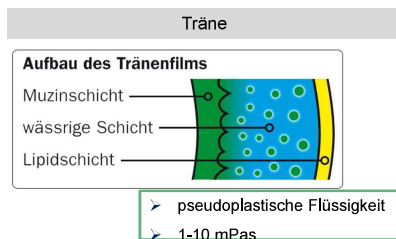
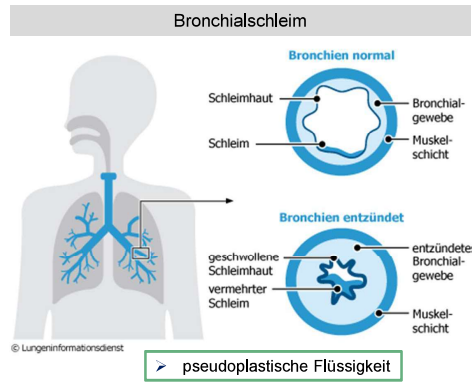


Speichel

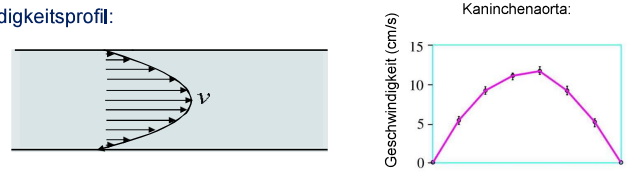


Bach-Peterson, J. P., Rantanen & Jukka H. Heiskanen (1998) Viscosity of whole saliva, Acta Otolaryngologica Scandinavica, 124, 210-214

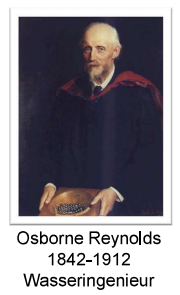
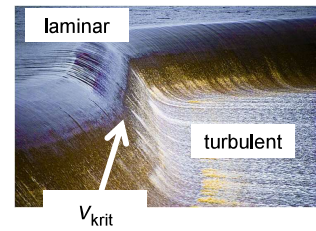
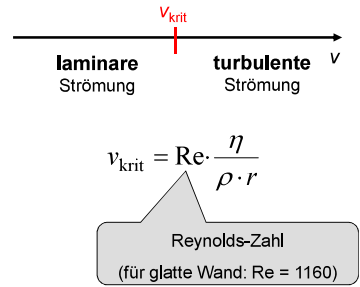
8



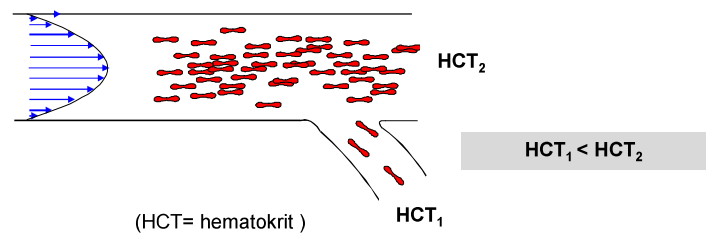
■ Geschwindigkeitsprofil:



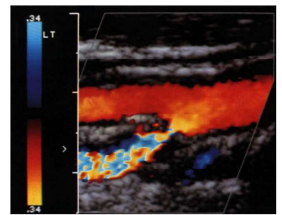
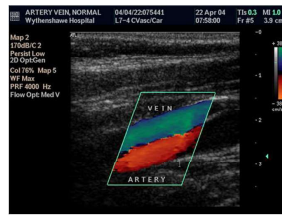
■ Kritische Geschwindigkeit (v_{krit}):



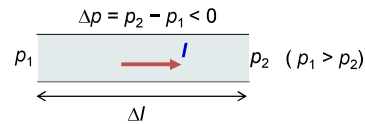
Eine physiologische Folgerung: Plasma-Skimming



Ist die Blutströmung laminar oder turbulent?



Transportgesetz (Hagen-Poiseuille-Gesetz):



G. H. L. Hagen
1797-1884
Wasseringenieur



J. L. M. Poiseuille
1799-1869
Physiologe

Bedingungen:

- inkompressible Fl.
- laminare Str.
- stationäre Str.
- newtonsche Fl.

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

Viskosität

Druckgradient

Alternativform:

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

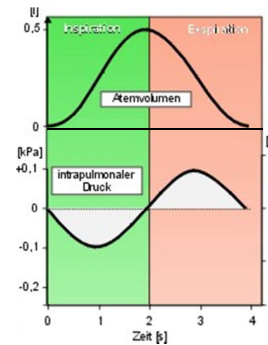
Volumenstromdichte

„Strömungsleitfähigkeit“

13

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

- inkompressible Luft?
- laminare Strömung?
- stationäre Strömung?
- newtonsches Gas?



Das H-P-Gesetz ist mit guter Annäherung anwendbar!

Regulation der Volumenstromstärke laut Hagen-Poiseuille-Gesetzes:

Druck (Δp)

- Intrapulmonaler **Druck** (Δp) kann in einem Atemzyklus stark geändert werden: 0,1 kPa – 0,5 kPa
- Der Durchschnittswert des intrapulmonalen Druckes ($\bar{\Delta p}$) für die Einatmung kann durch die **Atemfrequenz** geändert werden: 12 1/min – 40 1/min

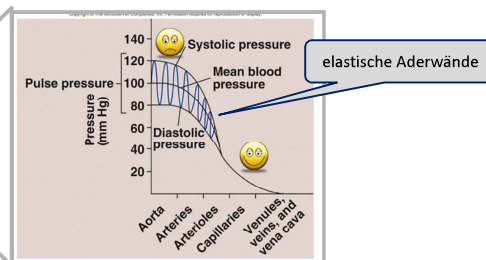
Radius (R^4)

14

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

Gültigkeitsbedingungen?

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



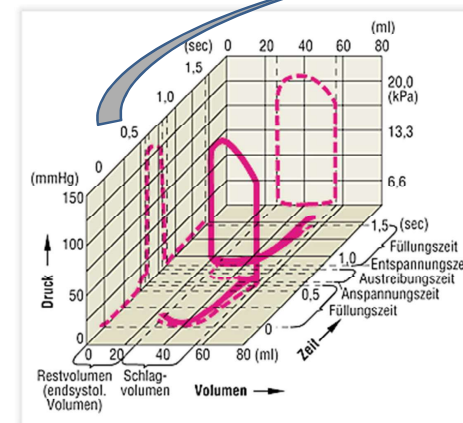
Folgerung: H-P nur qualitativ anwendbar!

15

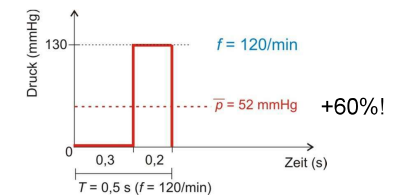
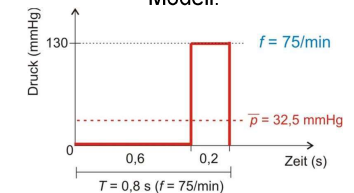
Blutströmung

Regulation der Volumenstromstärke laut Hagen-Poiseuille-Gesetzes:

Druck

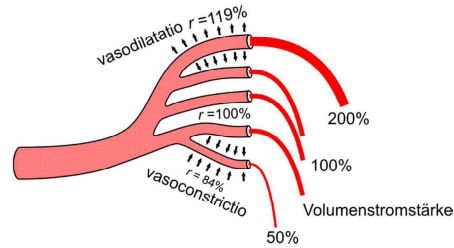


Modell:



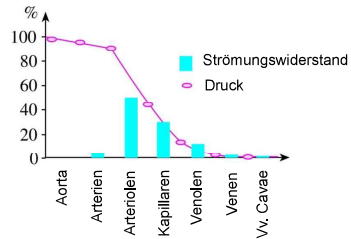
16

➤ Radius (r^4 !)



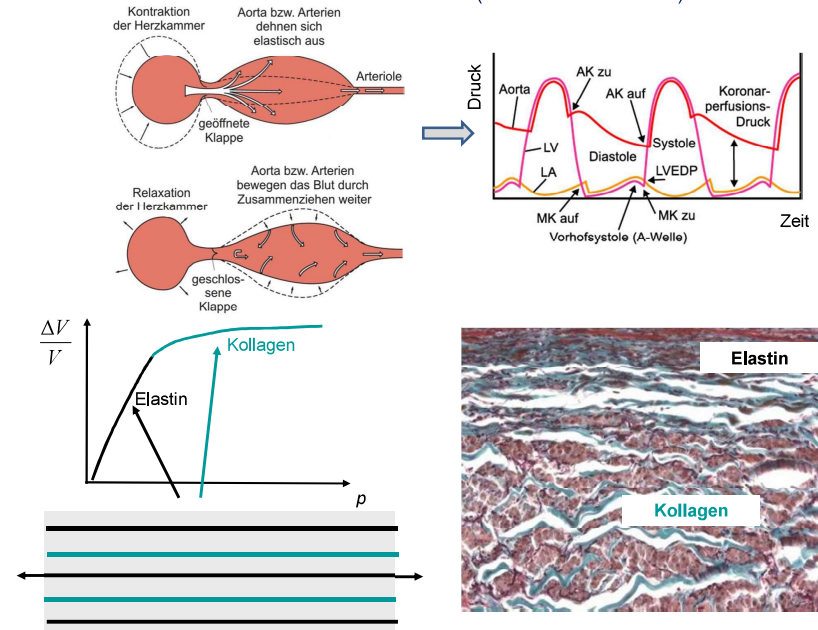
➡ Elastizität!

■ Druck und Strömungswiderstand im Kreislauf:



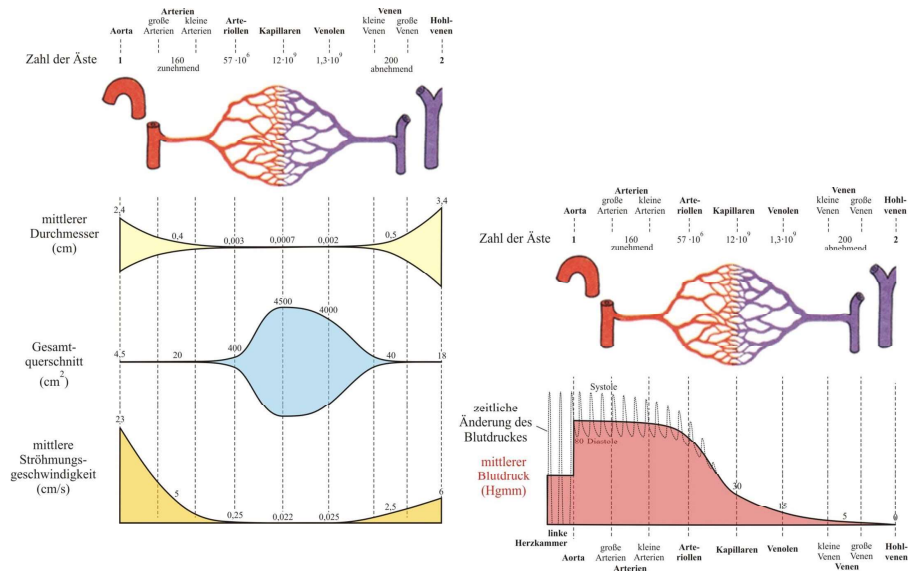
17

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



18

Zusammenfassend:



19

Analogie

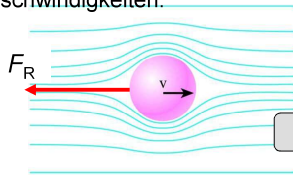
	Was strömt?	Stärke?	Was treibt die Strömung?	Zusammenhang?
Ladungs-transport	q	$J_q = \frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$	φ	$J_q = -\sigma \frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$
Volumen-transport	V	$J_V = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t}$	p	$J_V = -\frac{R^2}{8\eta} \frac{\Delta p}{\Delta l}$

20

4. Bewegung von Teilchen in realen Flüssigkeiten

Bei kleineren
Geschwindigkeiten:

**stokessches
Reibungsgesetz:**




Reibungskraft

Radius des Teilchens

Viskosität

Geschwindigkeit des Teilchens

$$F_R = 6\pi\eta r v$$


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