

Medizinische Biophysik 2016. 04. 05.

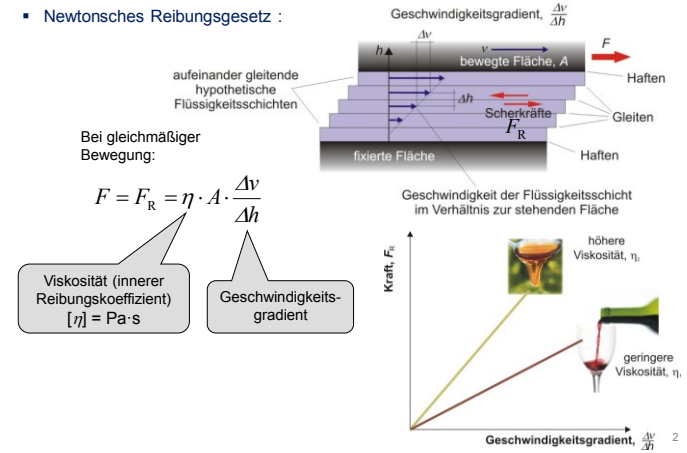
Transportprozesse

III. Volumentransport (Strömungen) Fortsetzung

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

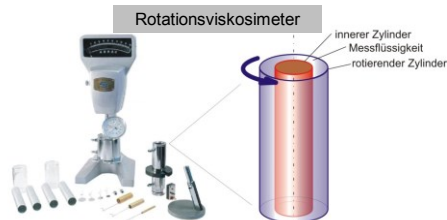
4. Strömung von reellen Flüssigkeiten

- Reelle Flüssigkeit: innere Reibung ist nicht vernachlässigbar
- Newton'sches Reibungsgesetz :



- Viskosität:

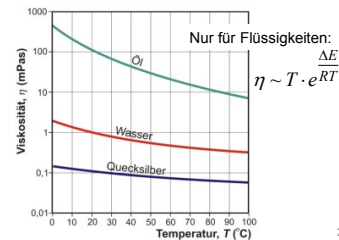
➤ Messung



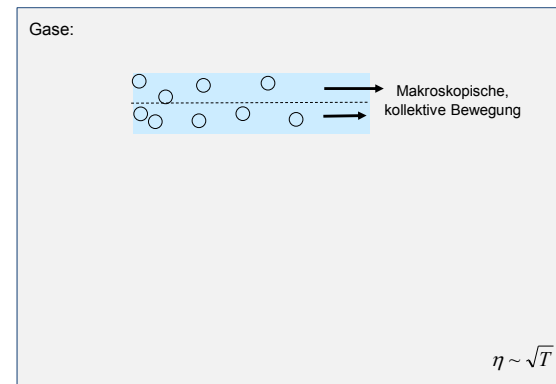
➤ stoffspezifisch

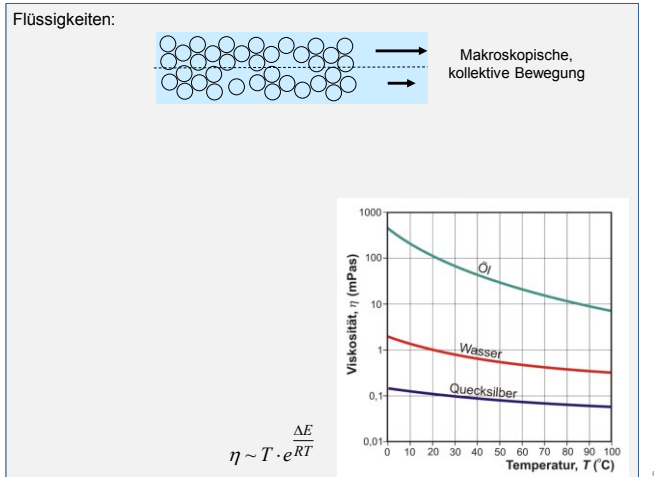
Stoff	η (mPa·s) 20 °C
Luft	(101 kPa) 0,019
Wasser	1
Äthanol	1,2
Blut (37 °C)	2–8
Glyzerin	1490
Honig	2000–14000

➤ temperaturabhängig



Umweg über den Mechanismus der inneren Reibung :





- Viskosität: > geschwindigkeitsgradientabhängig

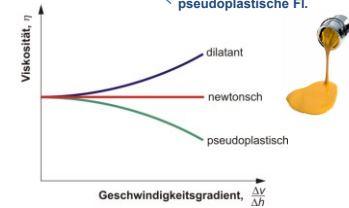
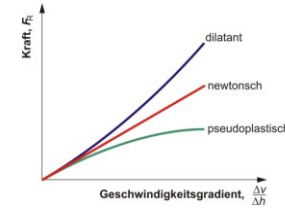
Einteilung der Flüssigkeiten

newtonsche (normale) Flüssigkeit

nicht-newtonsche (anomale) Flüssigkeit

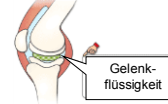
dilatante Fl.

pseudoplastische Fl.

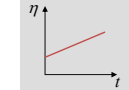
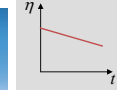


- > zeitabhängig

Thixotrope Flüssigkeit:



Rheopexie Flüssigkeit:



Viskosität der Körperflüssigkeiten

Liquor (Gehirn-Rückenmarks-Flüssigkeit, Cerebrospinalflüssigkeit)



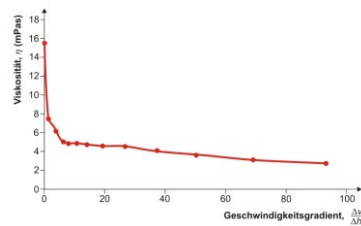
> newtonsche Flüssigkeit
> 0,7-1 mPas (37°C)

1. Großhirn
2. Kleinhirn
3. Hirnstamm
4. Rückenmark

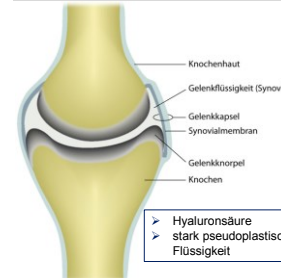
Speichel



> Mucin
> pseudoplastische Flüssigkeit

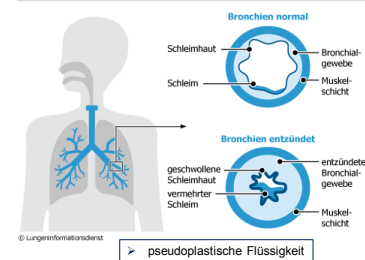


Gelenkflüssigkeit



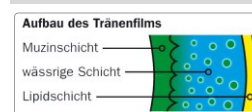
> Hyaluronsäure
> stark pseudoplastische Flüssigkeit

Bronchialschleim



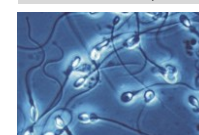
> pseudoplastische Flüssigkeit

Träne



> pseudoplastische Flüssigkeit
> 1-10 mPas

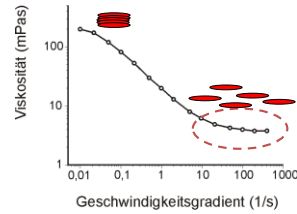
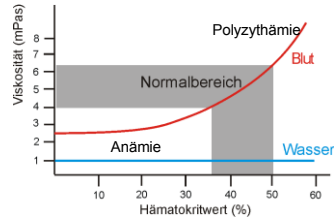
Sperma



> pseudoplastische Flüssigkeit

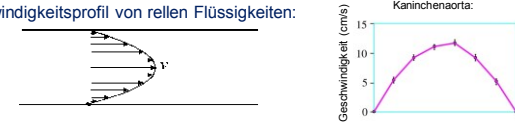
Viskosität des Blutes

- bei Körpertemperatur und bei physiologischen Strömungsverhältnissen: 2-10 mPa·s
- hängt von der Temperatur ab (wie bei jeder Flüssigkeit)
- hängt sehr stark von dem Hämatokritwert des Blutes ab
- hängt vom Geschwindigkeitsgradienten ab, und zwar pseudoplastisch
- hängt vom Blutgefäßdurchmesser ab, in kleineren Gefäßen (< 1 mm) ist die Viskosität kleiner (Fahraeus-Lindqvist-Effekt)



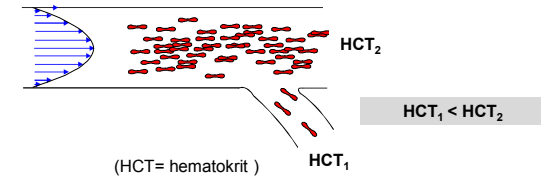
9

- Geschwindigkeitsprofil von reellen Flüssigkeiten:



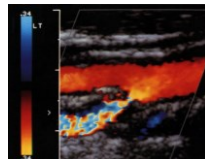
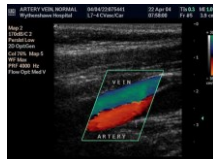
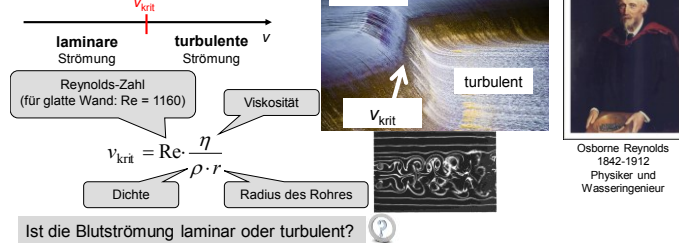
Eine physiologische Folgerung: Plasma-Skimming

Parabolisches Geschwindigkeitsprofil + Bernoulli-Gleichung \Rightarrow



10

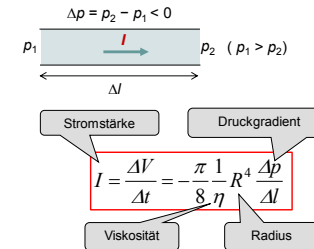
- Kritische Geschwindigkeit (v_{krit}):



11

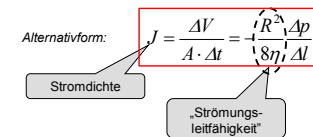
- Was treibt die Strömung?
- Wovon hängt die Volumenstromstärke der Strömung ab?

- Transportgesetz (Hagen-Poiseuille-Gesetz):



Weitere Gültigkeitsvoraussetzungen:

- stationäre Strömung
- newtonsche Flüssigkeit



Strömungswiderstand ($R_{\text{Strömung}}$):

$$R_{\text{Strömung}} = \frac{8\eta}{R^2} \frac{\Delta l}{A} = \frac{8\eta}{R^2} \frac{\Delta l}{R^2 \pi}$$

(siehe elektrischen Widerstand!)

12

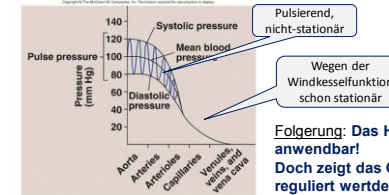
Analogie

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

13

Anwendung: Blutkreislauf

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



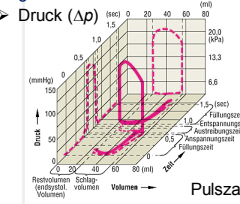
Folgerung: Das H-P-Gesetz ist nur annähernd anwendbar!

Doch zeigt das Gesetz richtig, wie die Blutströmung reguliert werden kann.

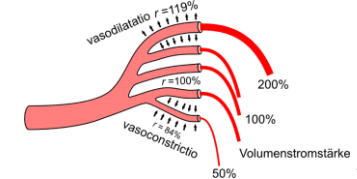
- inkompressible Fl.?
- laminare Strömung?
- stationäre Strömung?
- newtonsche Fl.?

- Regulation der Volumenstromstärke laut Hagen-Poiseuille-Gesetzes:

➤ Druck (Δp)



➤ Radius (R^4)



14

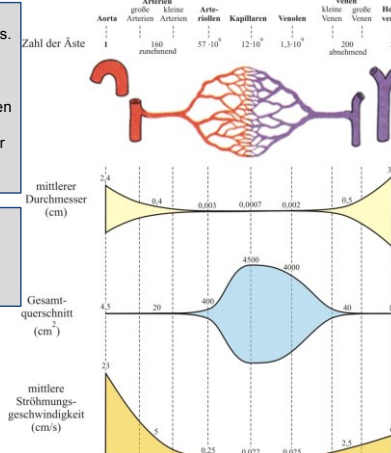
Zusammenfassend über Blut und Blutströmung

Das Blut ist eine reelle Flüssigkeit mit einer Viskosität von 2-10 mPa·s. Die Viskosität hängt

- von der Temperatur,
- vom Hämatokritwert,
- vom Geschwindigkeitsgradienten (pseudoplastische Flüssigkeit),
- und vom Blutgefäßdurchmesser ab.

Die Blutströmung ist

- laminar ($v < v_{krit}$),
- in dem ersten Abschnitt des Blutkreislaufs nicht-stationär, später schon stationär.

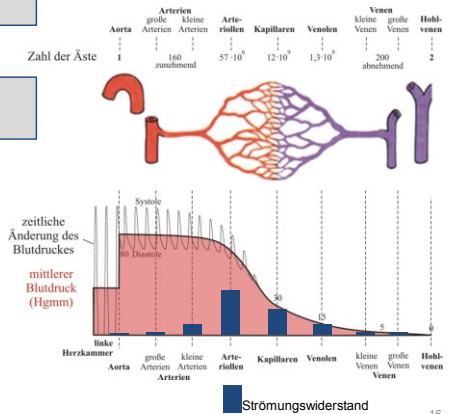


15

Die Blutströmung wird aufgrund des Hagen-Poiseuille-Gesetzes durch

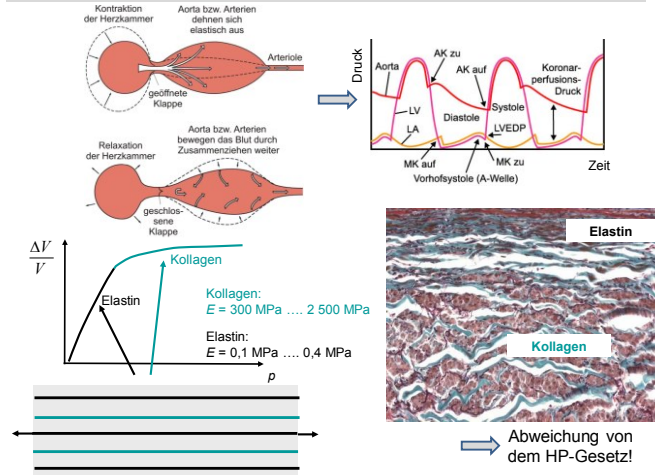
- Δp ,
- und r reguliert.

Der Strömungswiderstand ist im Bereich der Arteriolen und Kapillaren am größten.



16

Ergänzung: Rolle der Elastizität der Aorta und der Arterien (Windkesselfunktion)



17