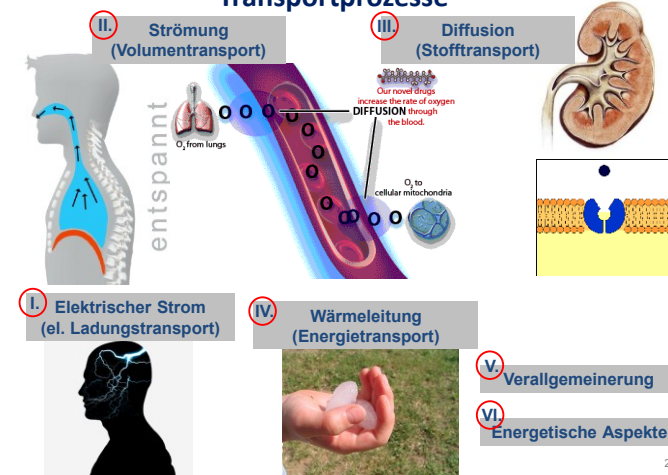




1

Transportprozesse



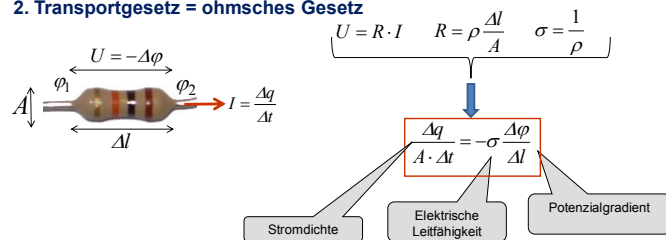
2

I. Elektrischer Ladungstransport (el. Strom)

1. Grundbegriffe

- Elektrische Stromstärke (I): $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ (A)
- Elektrische Stromdichte (J): $J = \frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$ $\left(\frac{A}{m^2}\right)$
- stationärer Strom: zeitlich konstant

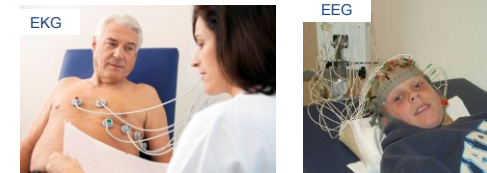
2. Transportgesetz = ohmsches Gesetz



3

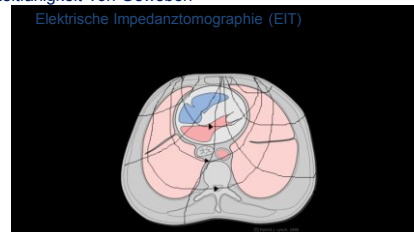
2. Anwendungen

- Diagnostik
- Messung von Biopotenzialen (EKG, EEG, ...)

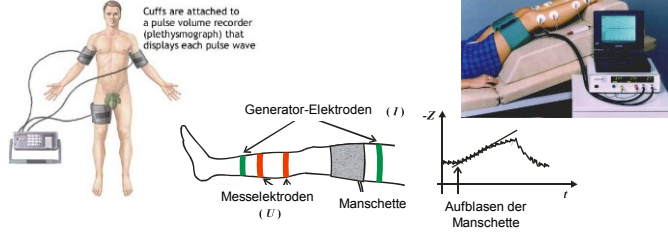


- Messung der elektrischen Leitfähigkeit von Geweben

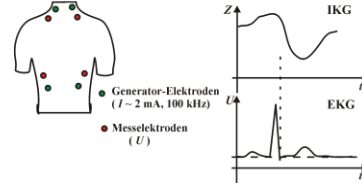
Gewebe	σ (mS/m)
Blut	700
graue Hirnmasse	300
weiße Hirnmasse	150
Haut	100
Fett	40
Knochen	10



Impedanzplethysmographie (IPG)



Impedanzkardiographie (IKG)



5

Apex-Locator



Coulter-Zähler



Lügendetektor



6

Therapie

Elektroreizung



Herzschrittmacher



Defibrillator

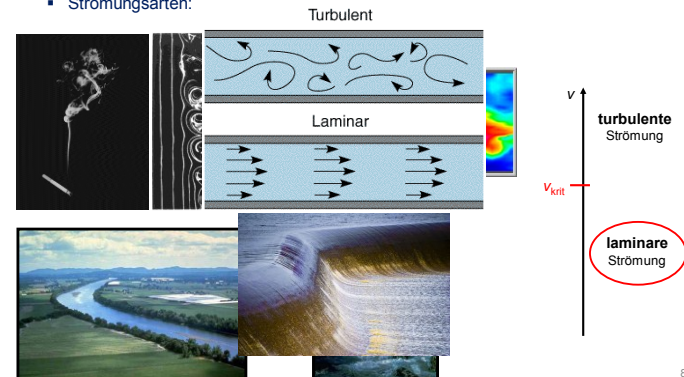


7

II. Volumentransport (Strömungen)

1. Grundbegriffe

- Stromlinien
- Strömungsarten:



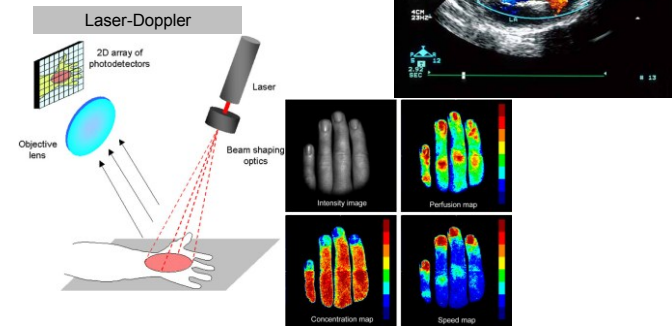
8

- Volumenstromstärke (I):
- Volumenstromdichte (J):

9

Blutströmung

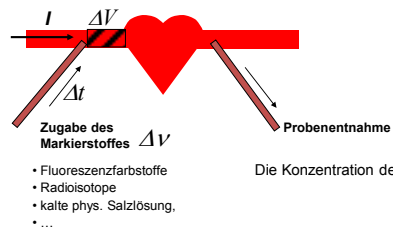
- Volumenstromstärke: $I = ?$
- Messmethoden der Volumenstromstärke:



10

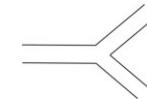
Impedanz-Methoden

Dilutionsmethoden



11

2. Kontinuitätsgleichung

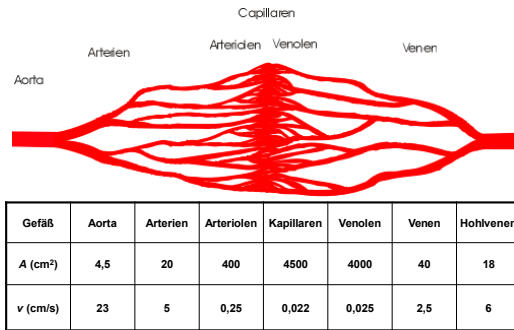


Bedingungen:

- ?
- ?
- ?

12

Kontinuitätsgleichung im Blutkreislauf



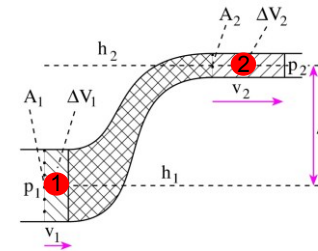
13

3. Strömung von idealen Flüssigkeiten

- Ideale Flüssigkeit: ?
- Geschwindigkeitsprofil: ?
- Bernoullische Gleichung:



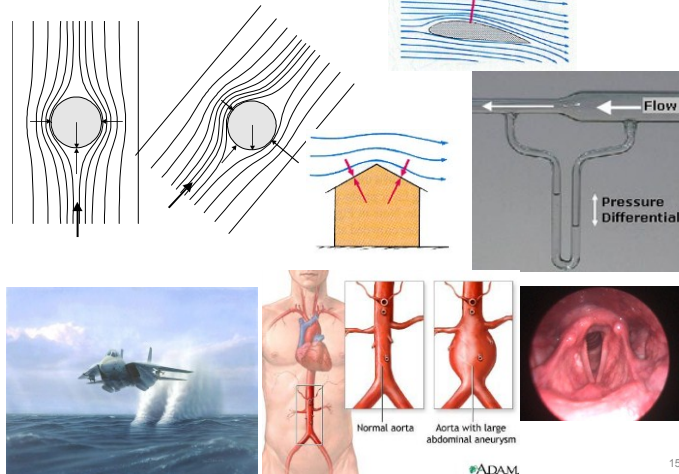
Daniel Bernoulli
1700-1782
Mathematiker
Physiker
Anatom



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

14

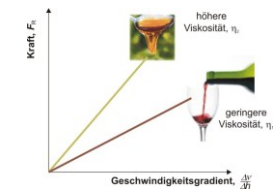
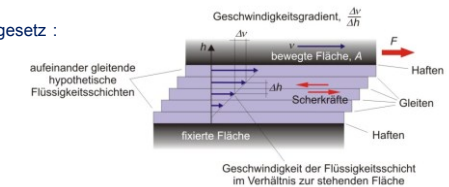
Anwendungen der bernoullischen Gleichung



15

4. Strömung von realen Flüssigkeiten

- Reelle Flüssigkeit:
- Newtonsches Reibungsgesetz :



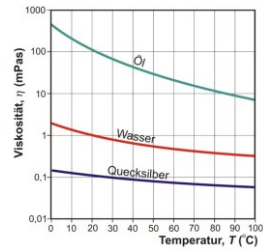
16

▪ Viskosität:

- stoffspezifisch
- temperaturabhängig ?

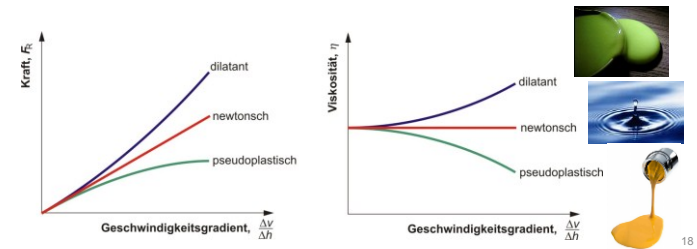
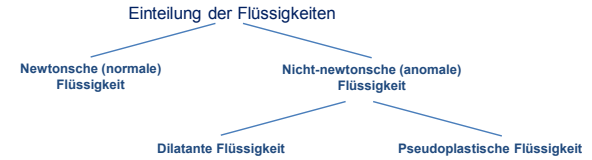


Stoff	η (mPa·s) 20 °C
Luft	(101 kPa) 0,019
Wasser	1
Äthanol	1,2
Blut (37 °C)	2–8
Glyzerin	1490
Honig	2000–14000



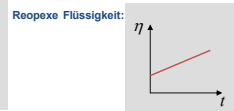
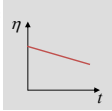
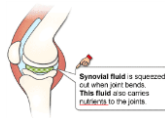
17

➢ geschwindigkeitsgradientabhängig



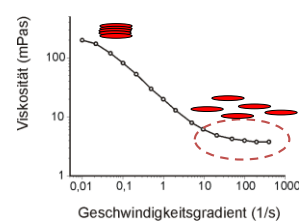
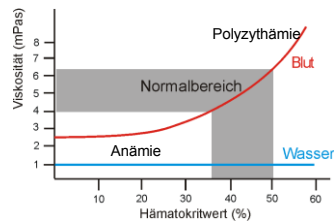
18

➢ zeitabhängig



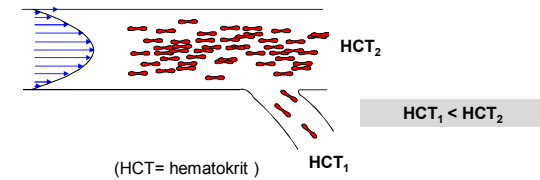
▪ Geschwindigkeitsprofil:

Viskosität des Blutes



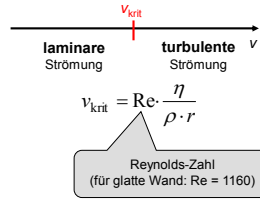
19

Eine physiologische Folgerung: Plasma-Skimming

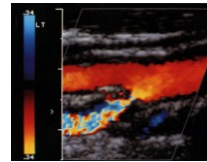
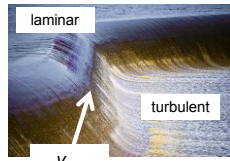


20

- Kritische Geschwindigkeit (v_{krit}):

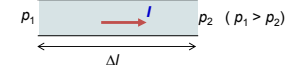


Ist die Blutströmung laminar oder turbulent?



21

- Transportgesetz (Hagen-Poiseuille-Gesetz):



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

Bedingungen:

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



G. H. L. Hagen
1797-1884
Wasseringenieur



J. L. M. Poiseuille
1799-1869
Physiologe

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

22

Analogie

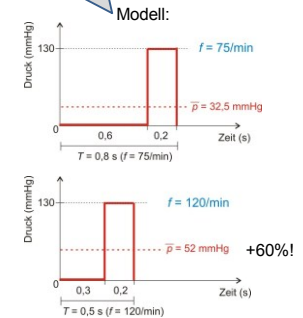
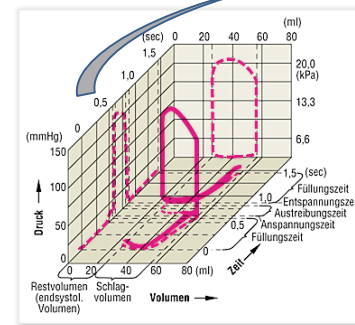
	Was strömt?	Stärke?	Was treibt die Strömung?	Zusammenhang?
Ladungs-transport	q	$J_q = \frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$	φ	$J_q = -\sigma \frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$
Volumen-transport	V	$J_V = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t}$	p	$J_V = -\frac{R^2}{8\eta} \frac{\Delta p}{\Delta l}$

23

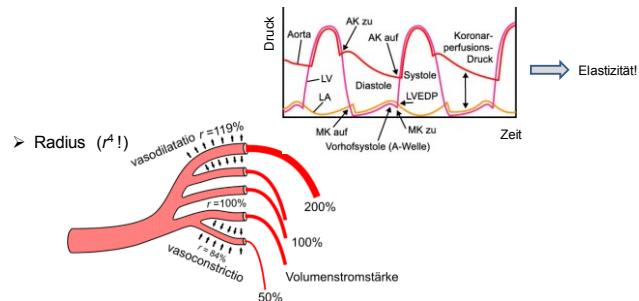
Blutströmung

- Regulation der Volumenstromstärke laut Hagen-Poiseuille-Gesetzes:

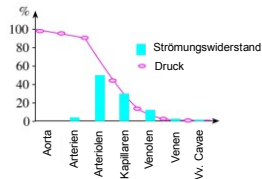
➤ Druck



24

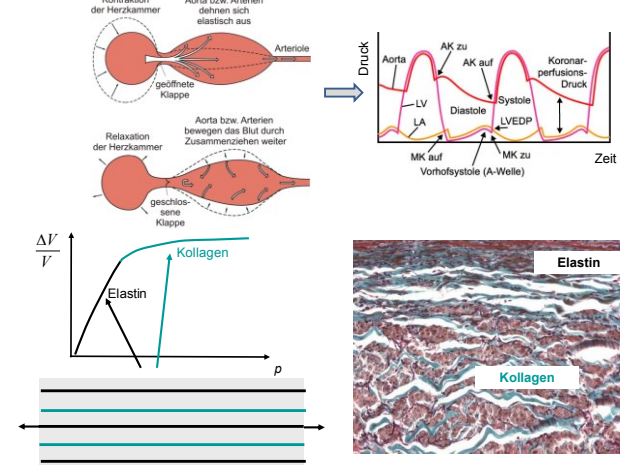


▪ Druck und Strömungswiderstand im Kreislauf:



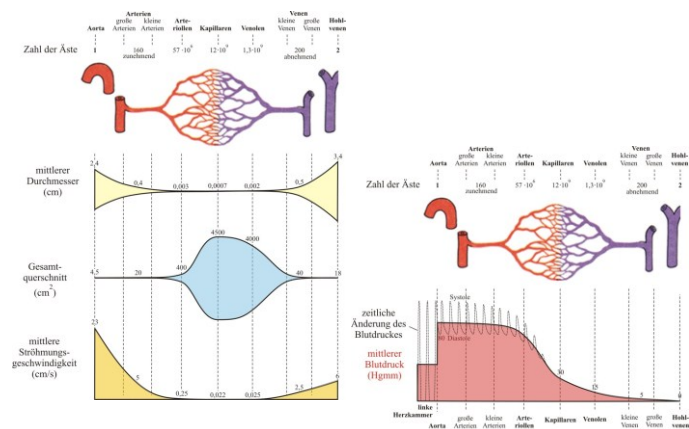
25

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



26

Zusammenfassend:



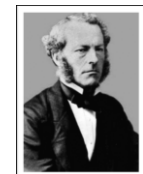
27

4. Bewegung von Teilchen in reellen Flüssigkeiten

F_R

v

$F_R = 6\pi\eta r v$



G. G. Stokes
1819-1903
Mathematiker
Physiker

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

28