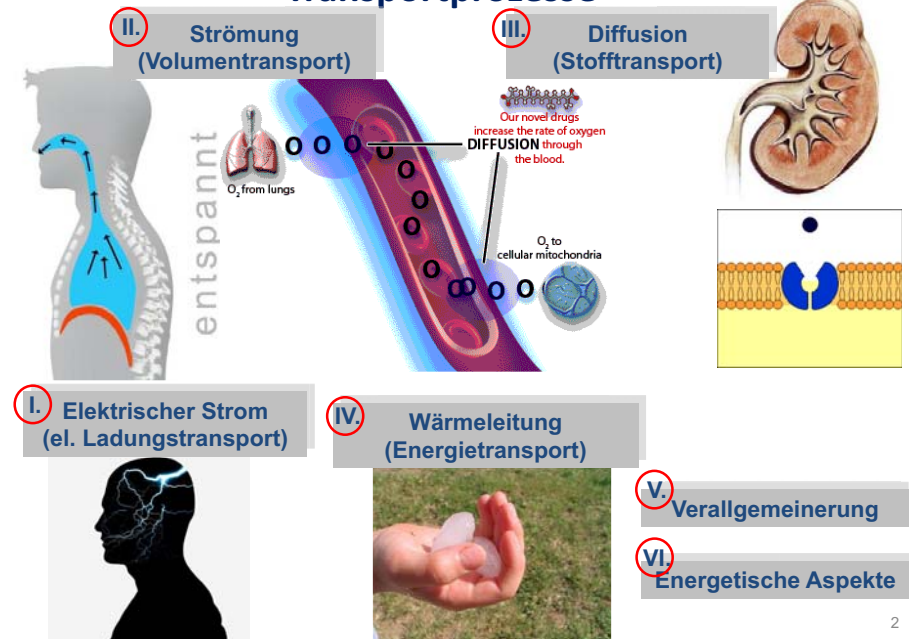


Transportprozesse Elektrischer Strom Strömungen



1

Transportprozesse



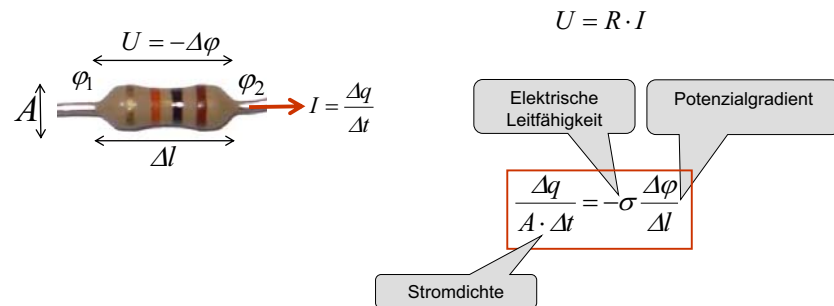
2

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

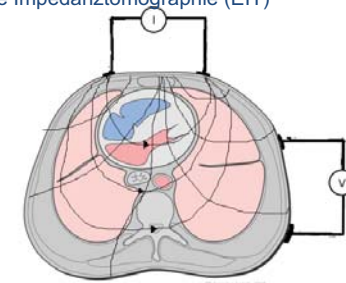
- Diagnostik
- Messung von Biopotenzialen (EKG, EEG, ...)



- Messung der elektrischen Leitfähigkeit von Geweben

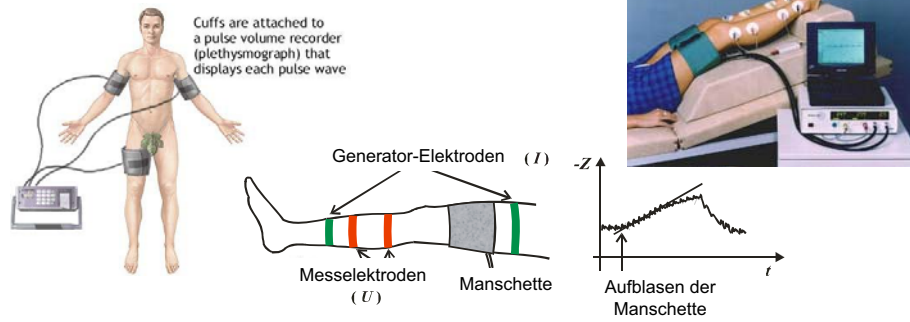
Elektrische Impedanztomographie (EIT)

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

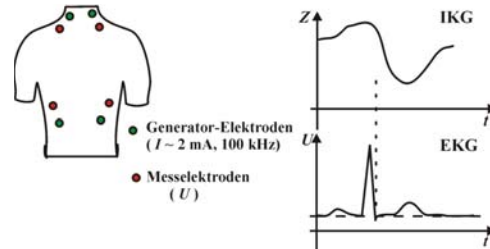


4

Impedanzplethysmographie (IPG)



Impedanzkardiographie (IKG)

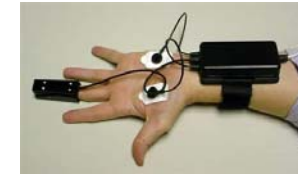


5

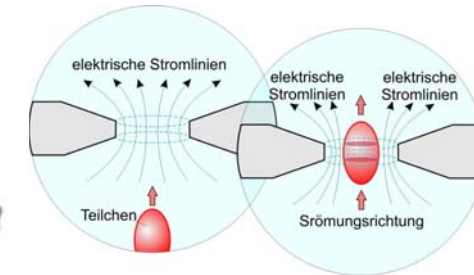
Apex-Locator



Lügendetektor



Coulter-Zähler



6

Therapie

Elektroreizung



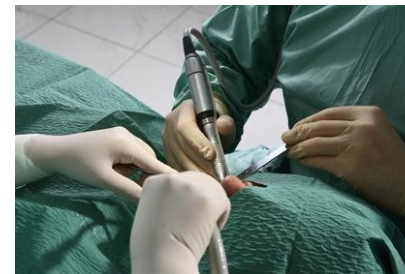
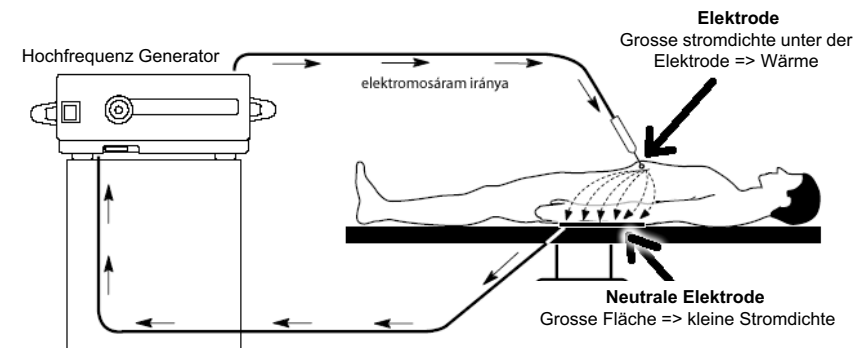
Herzschrittmacher



Defibrillator



7

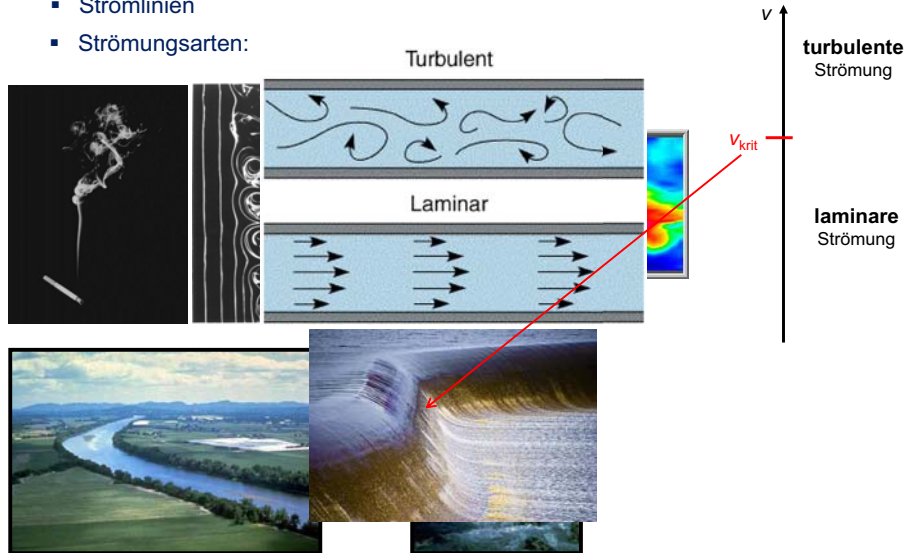


8

II. Volumentransport (Strömungen)

1. Grundbegriffe

- Stromlinien
- Strömungsarten:



9

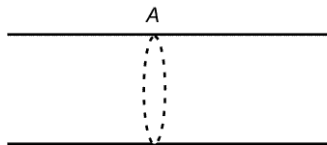
Beispiele für laminare Strömung



10

- stationärer Strom: zeitlich konstant

- Volumenstromstärke (I): $I = \frac{\Delta V}{\Delta t} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$
- Volumenstromdichte (J): $J = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$



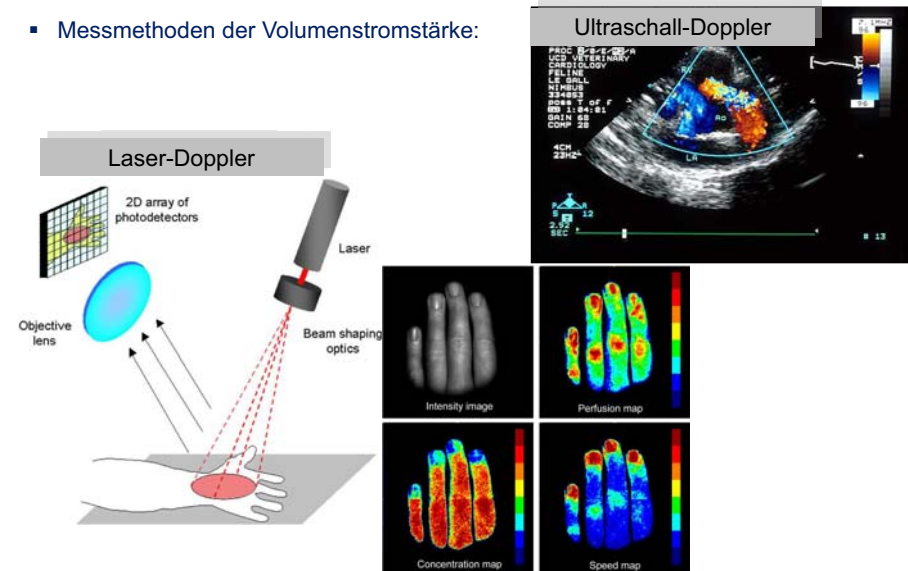
$$I = A \cdot \bar{v}$$

$$J = \bar{v}$$

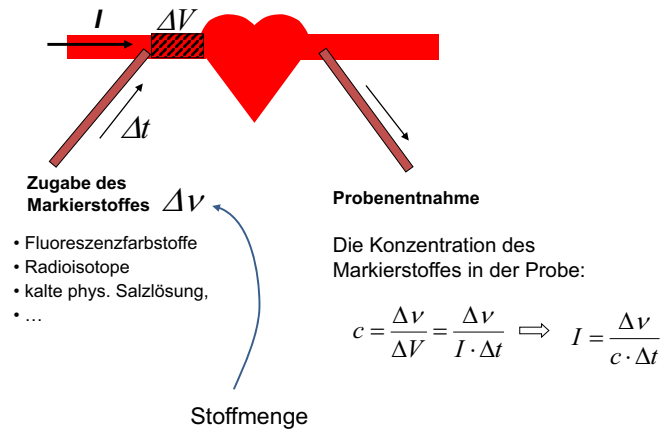
11

Blutströmung

- Volumenstromstärke: $I = \text{ca. } 5\text{-}6 \text{ Liter/Minute}$
- Messmethoden der Volumenstromstärke:

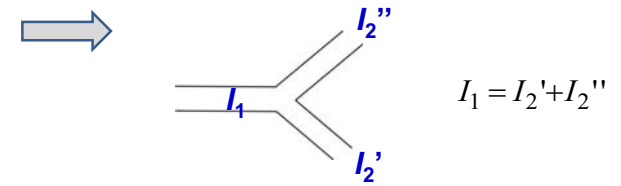
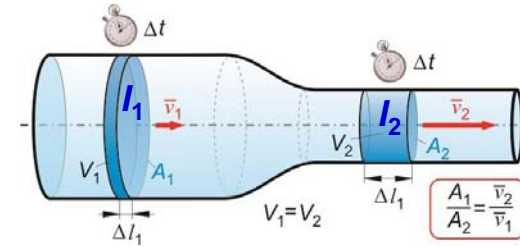


12



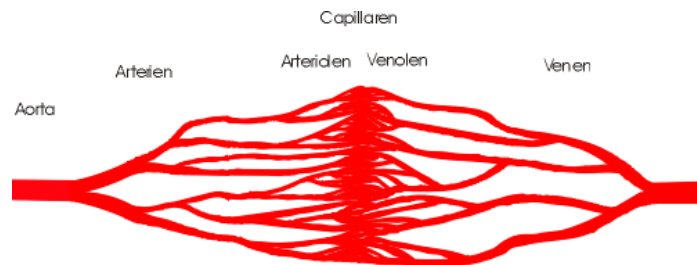
13

2. Kontinuitätsgleichung



14

Kontinuitätsgleichung im Blutkreislauf



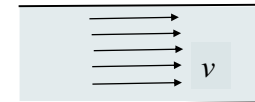
Gefäß	Aorta	Arterien	Arteriolen	Kapillaren	Venolen	Venen	Hohlvenen
A (cm ²)	4,5	20	400	4500	4000	40	18
v (cm/s)	23	5	0,25	0,022	0,025	2,5	6

15

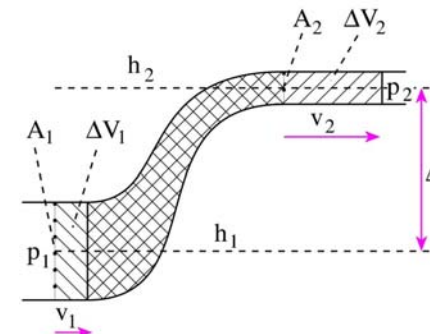
3. Strömung von idealen Flüssigkeiten

- Ideale Flüssigkeit: ohne innere Reibung

- Geschwindigkeitsprofil:



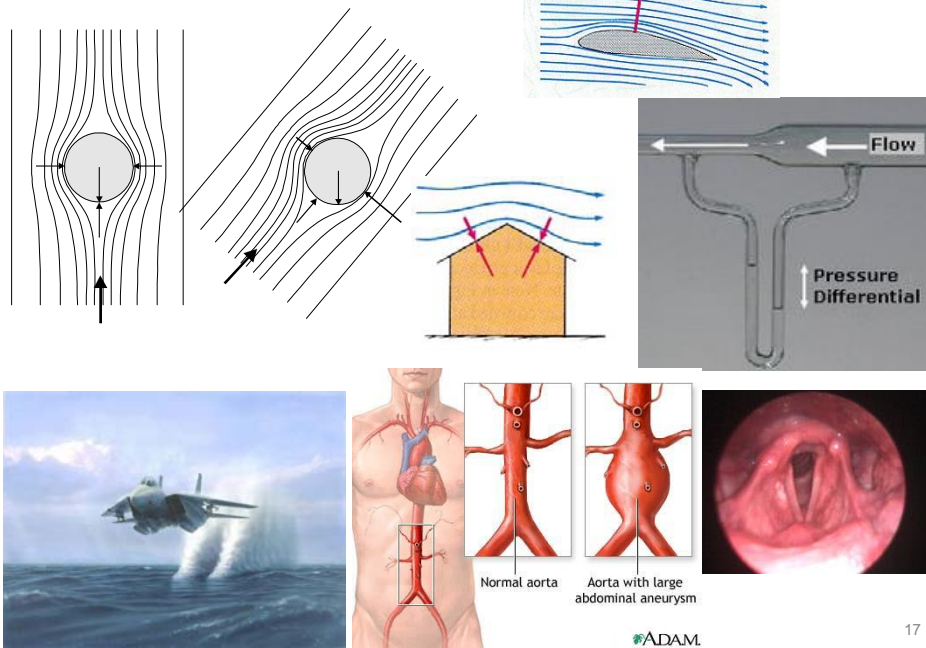
- Bernoullische Gleichung:



Daniel Bernoulli
1700-1782
Mathematiker
Physiker
Anatom

16

Anwendungen der bernoullischen Gleichung



17

4. Strömung von reellen Flüssigkeiten

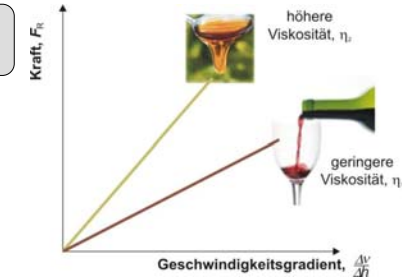
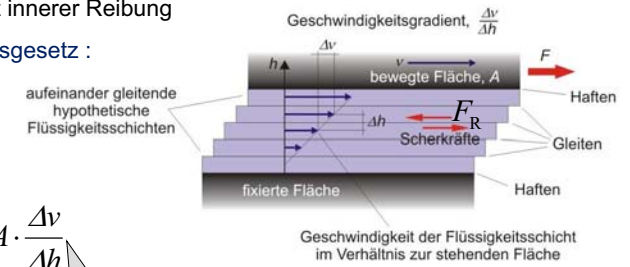
- Reelle Flüssigkeit: mit innerer Reibung
- Newtonsches Reibungsgesetz :

Bei gleichmäßiger Bewegung:

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

Viskosität (innerer Reibungskoeffizient) $[\eta] = \text{Pa} \cdot \text{s}$

Geschwindigkeitsgradient



18

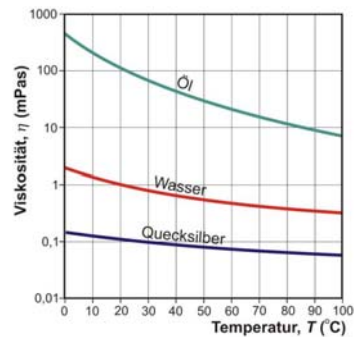
Viskosität:

- stoffspezifisch
- temperaturabhängig

Rotationsviskosimeter



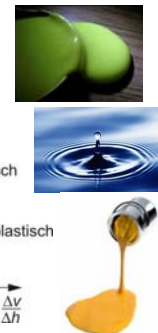
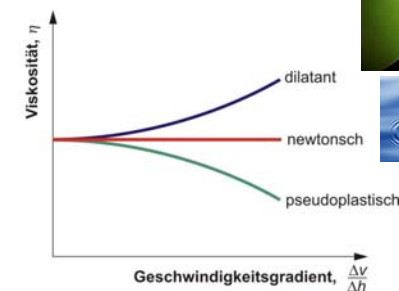
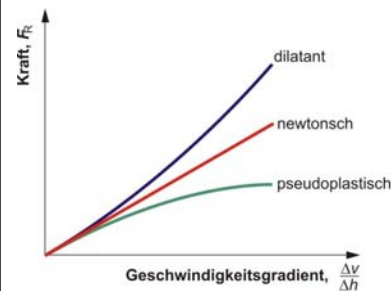
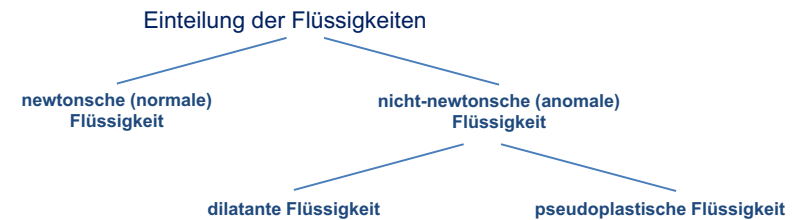
Stoff	η (mPa·s) 20 °C
Luft	(101 kPa) 0,019
Wasser	1
Äthanol	1,2
Blut (37 °C)	2–8
Glyzerin	1490
Honig	2000–14000



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

19

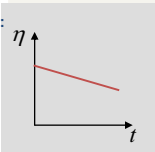
geschwindigkeitsgradientenabhängig



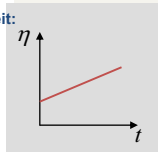
20

➤ zeitabhängig

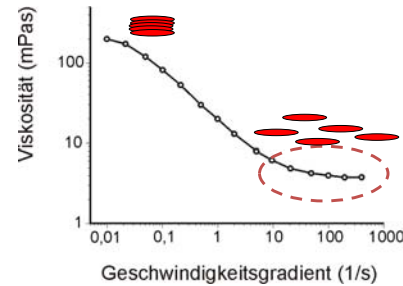
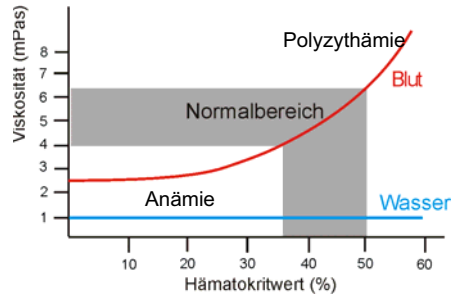
Thixotrope Flüssigkeit:



Rheopexe Flüssigkeit:

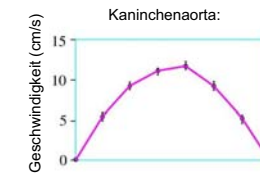
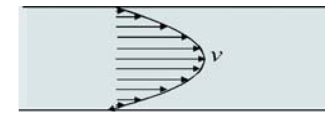


Viskosität des Blutes

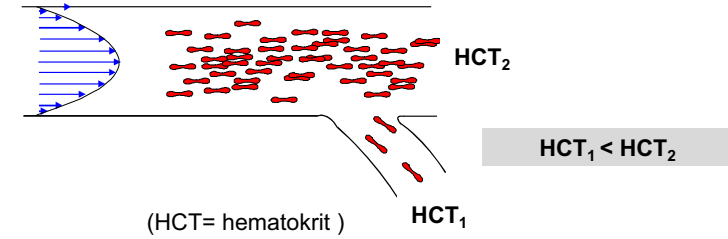


21

■ Geschwindigkeitsprofil:

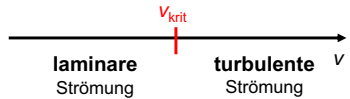


Eine physiologische Folgerung: Plasma-Skimming



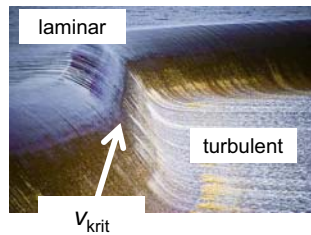
22

■ Kritische Geschwindigkeit (v_{krit}):



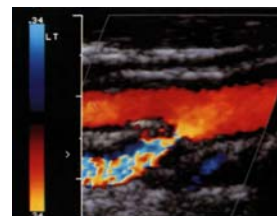
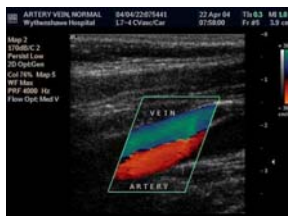
$$v_{krit} = Re \cdot \frac{\eta}{\rho \cdot r}$$

Reynolds-Zahl
(für glatte Wand: $Re = 1160$)



Osborne Reynolds
1842-1912
Wasseringenieur

Ist die Blutströmung laminar oder turbulent?



23