

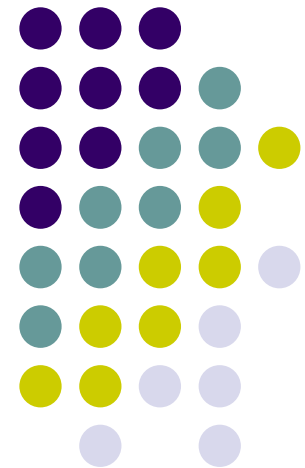
# Biophysik für Pharmazeuten

07. 04. 2021.

## Transportprozesse

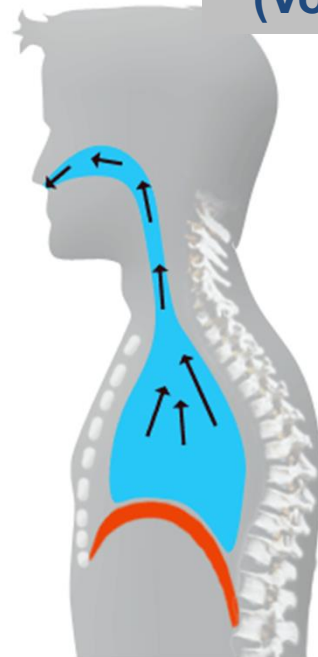
I. Elektrischer Strom

II. Strömungen

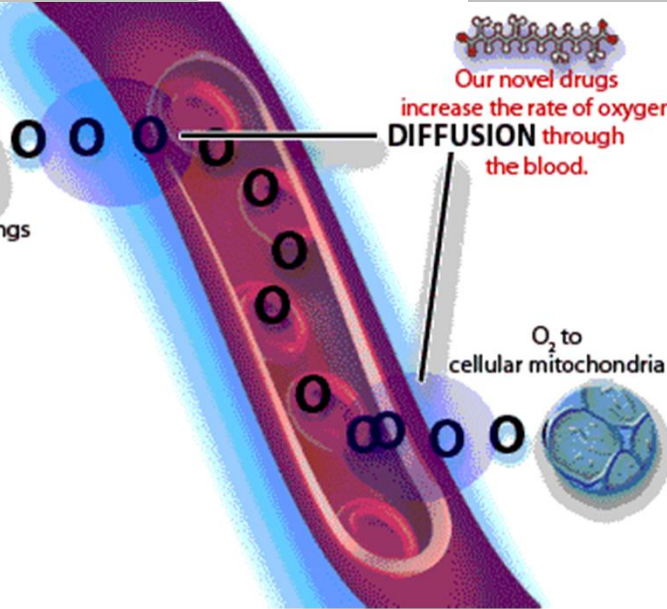


# Transportprozesse

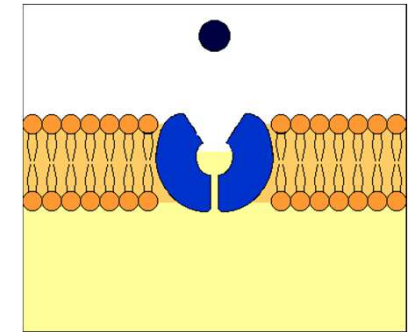
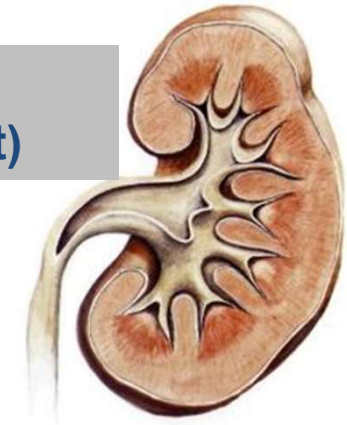
## II. Strömung (Volumentransport)



entspannt



## III. Diffusion (Stofftransport)



## I. Elektrischer Strom (el. Ladungstransport)



## IV. Wärmeleitung (Energietransport)



## V. Verallgemeinerung

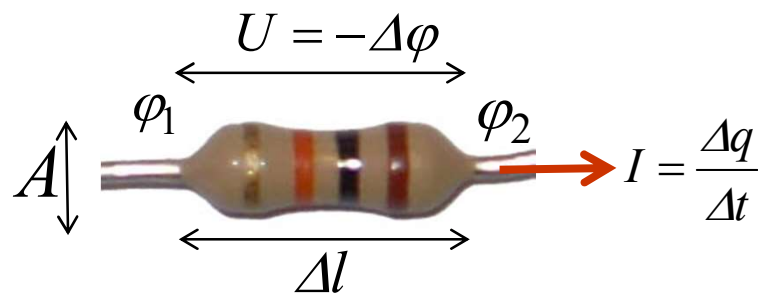
## VI. Energetische Aspekte

# I. Elektrischer Ladungstransport (el. Strom)

## 1. Grundbegriffe

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

## 2. Transportgesetz (ohmsches Gesetz)



$$U = R \cdot I$$

Elektrische  
Leitfähigkeit

Potenzialgradient

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

Stromdichte

## 2. Anwendungen

- Diagnostik

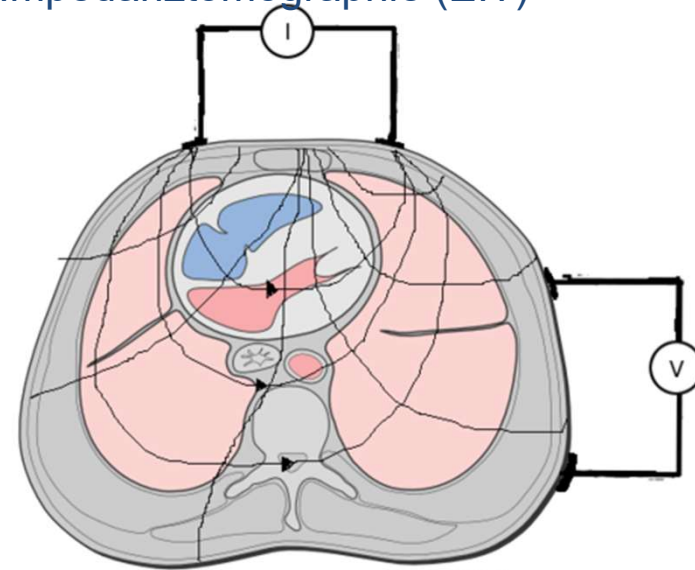
- Messung von Biopotenzialen (EKG, EEG, ...)



- Messung der elektrischen Leitfähigkeit von Geweben

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

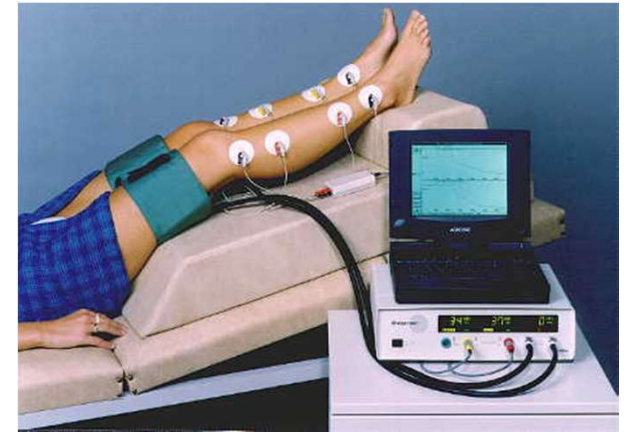
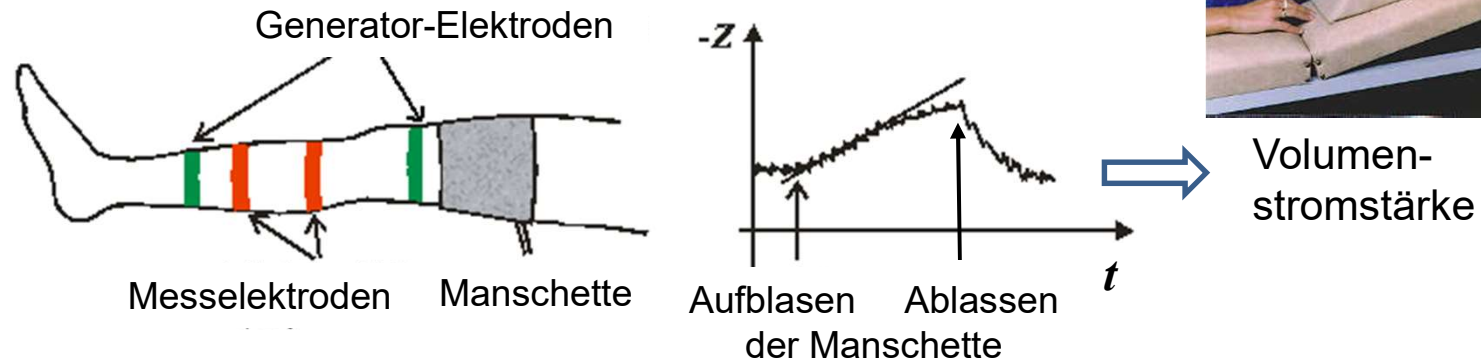
### Elektrische Impedanztomographie (EIT)



© Patrick J. Lynch, 2006

## Impedanzplethysmographie (IPG)

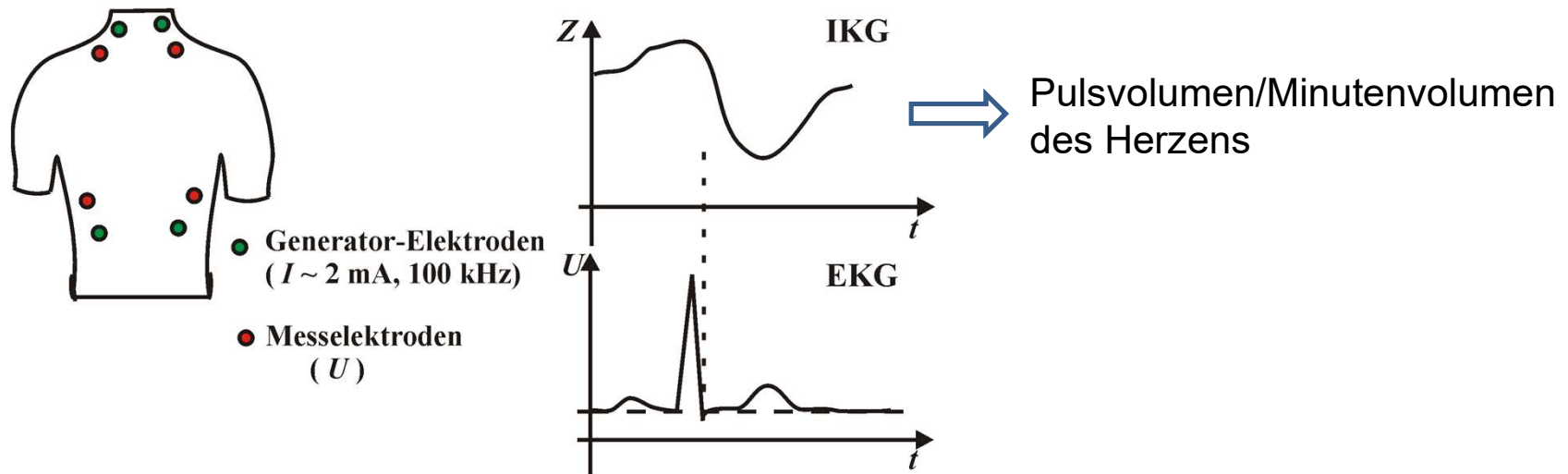
Untersuchung der Blutströmung in den Extremitäten



## Impedanzkardiographie (IKG)

Untersuchung der Herzfunktion

Impedanzkardiographie (IKG)

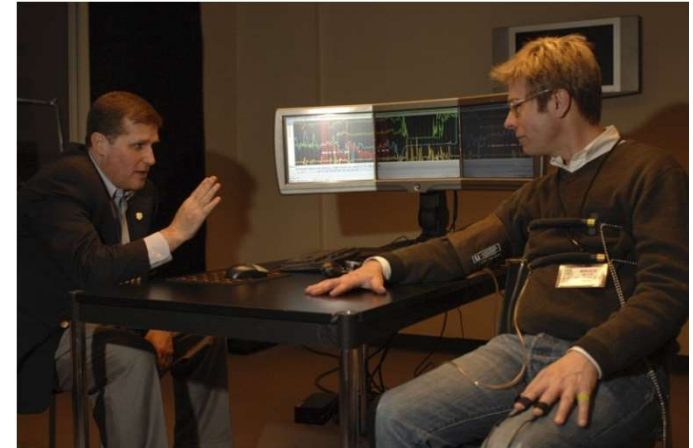
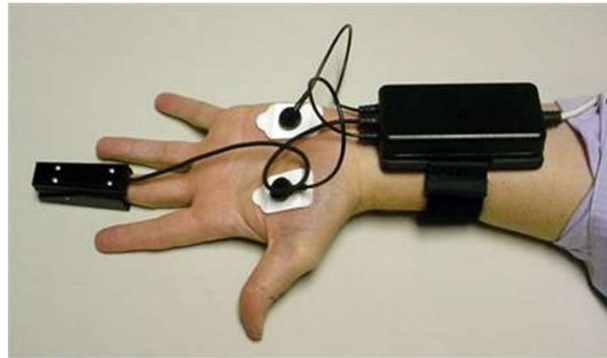




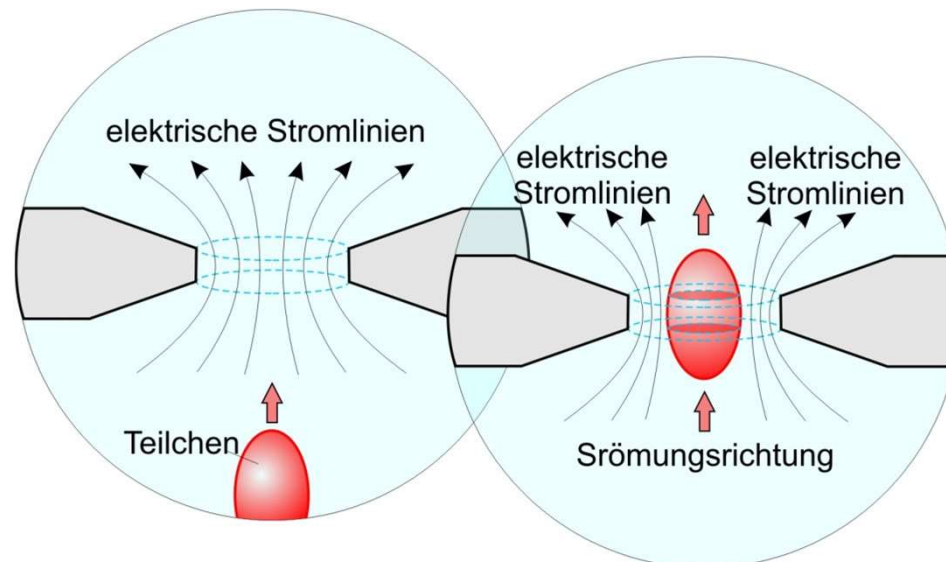
Apex-Locator



Lügendetektor



Coulter-Zähler



- Therapie

Elektroreizung

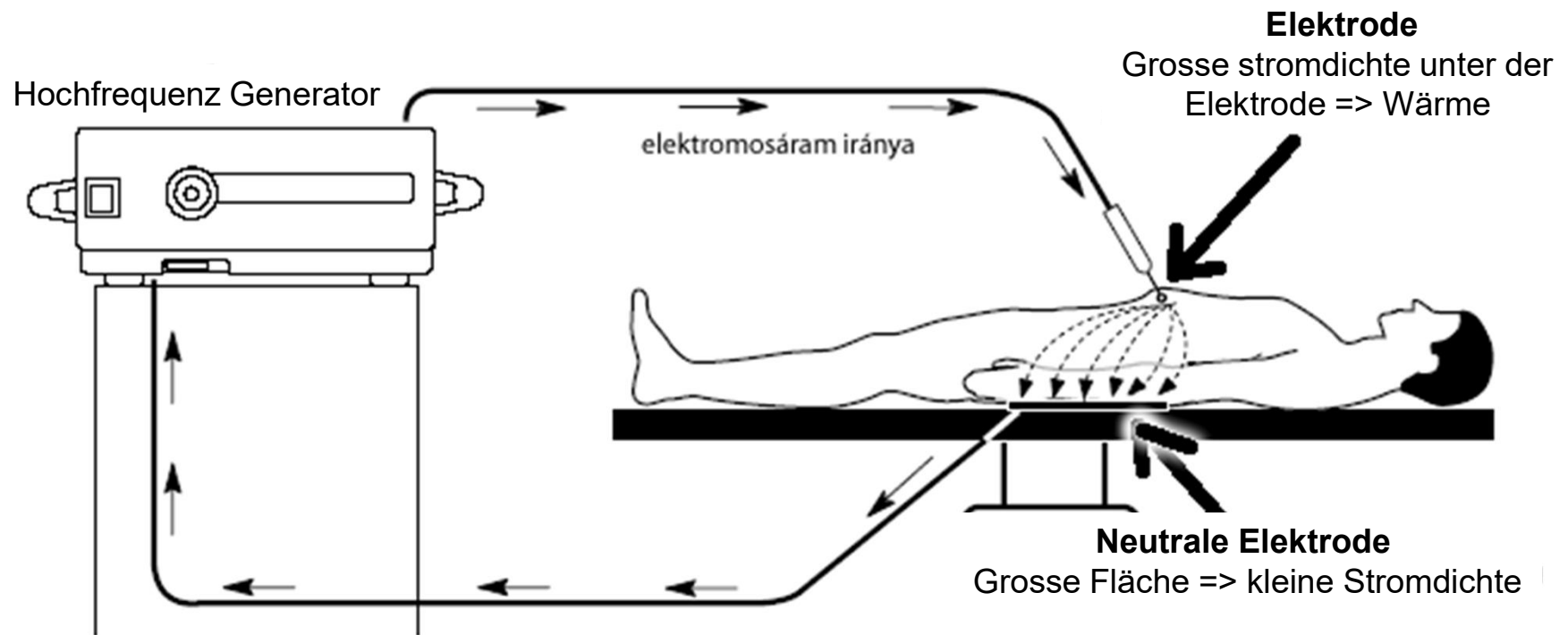


Herzschrittmacher



Defibrillator



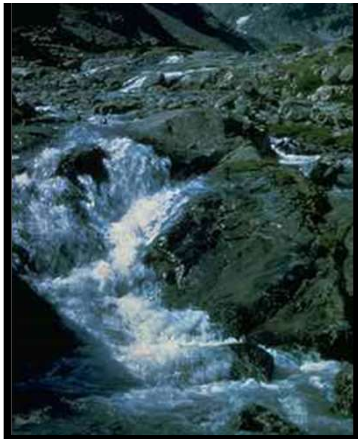
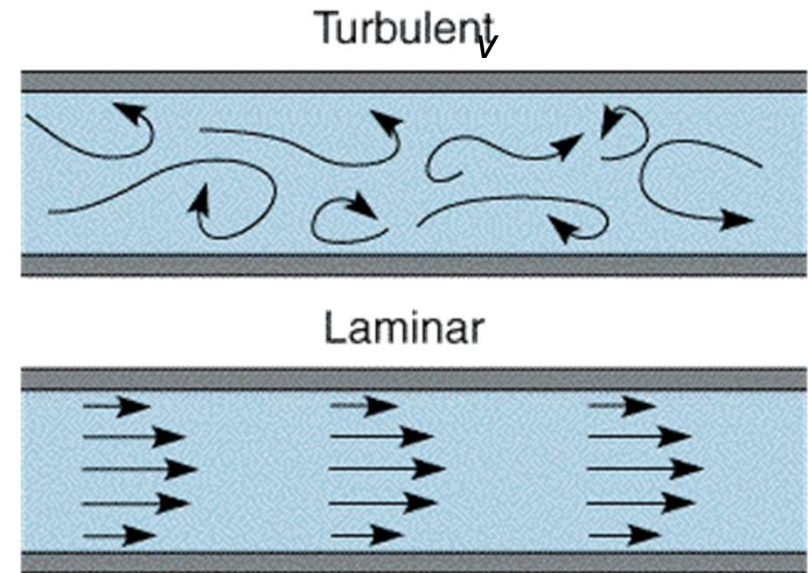
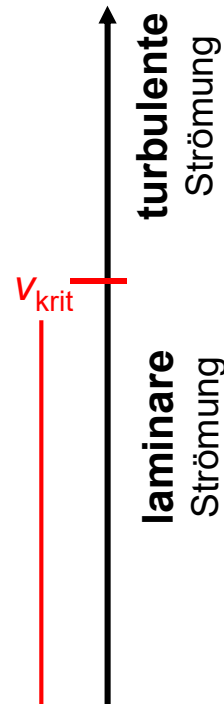




# II. Volumentransport (Strömungen)

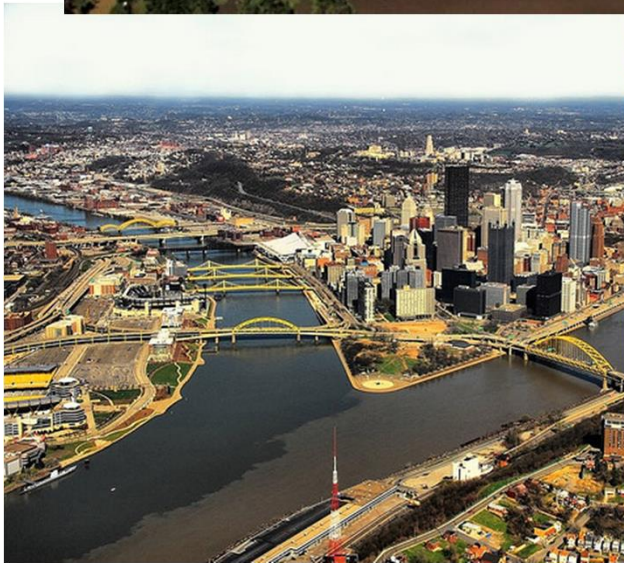
## 1. Grundbegriffe

- Stromlinien
- Strömungsarten:





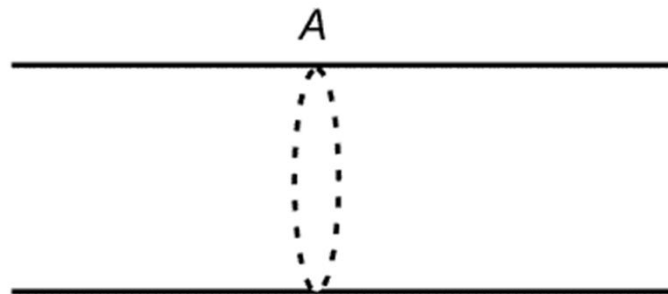
# Beispiele für laminare Strömung



- stationärer Strom: zeitlich konstant

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

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

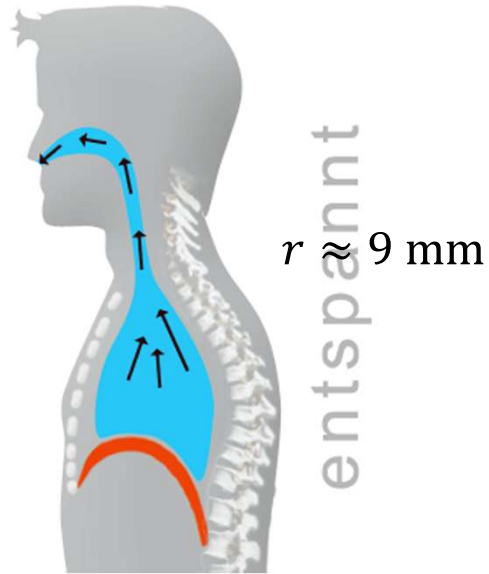


$$I =$$

$$J =$$

# Anwendung: Atmung

- Volumenstromstärke und Strömungsgeschwindigkeit in der Luftröhre in Ruhe?



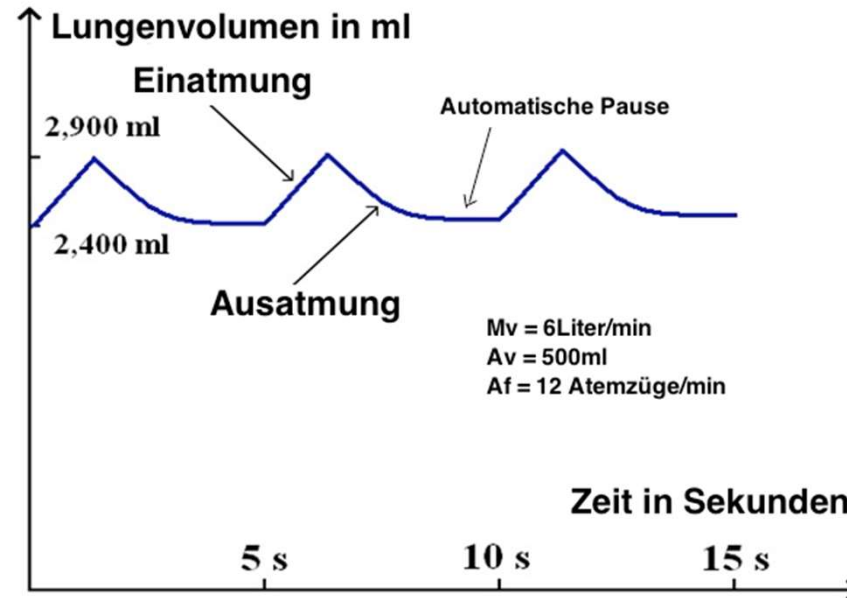
Im Durchschnitt:

$$\bar{I} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \approx 6 \frac{\text{Liter}}{\text{min}}$$

Maximal:

$$I_{\text{max}} =$$

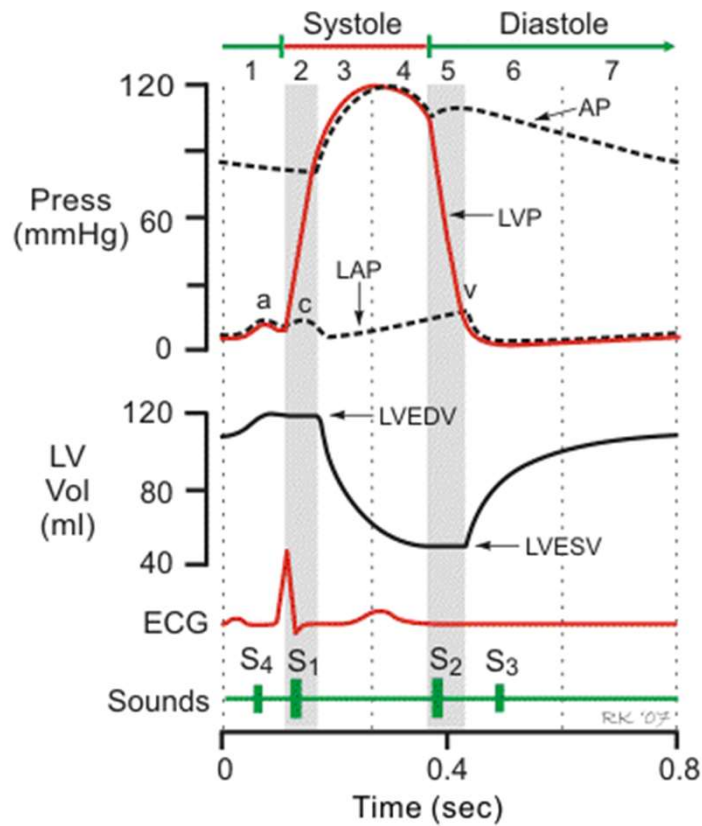
$$v_{\text{max}} =$$





# Anwendung: Blutströmung

- Volumenstromstärke und Strömungsgeschwindigkeit in der Aorta?



Im Durchschnitt:

$$\bar{I} = \frac{\Delta V}{\Delta t} =$$

$$\bar{v} =$$

Maximal:

$$I_{\max} =$$

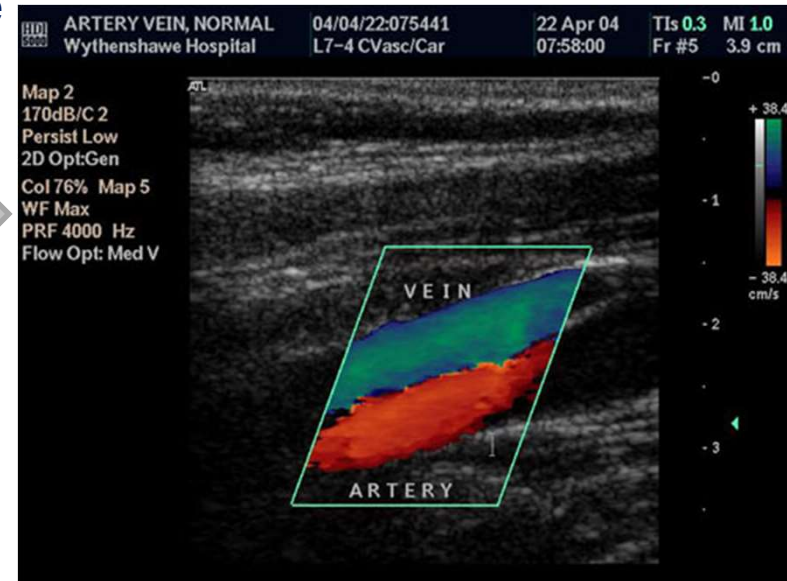
$$v_{\max} =$$

$$r \approx 12 \text{ mm}$$

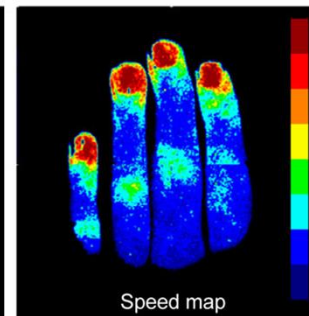
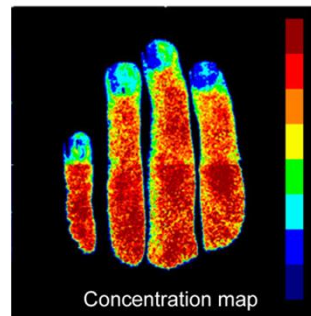
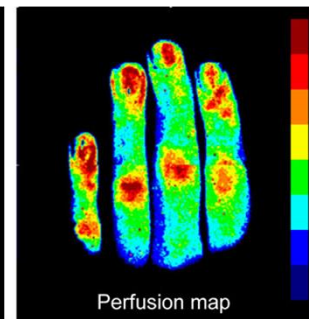
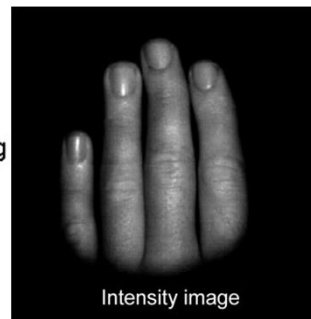
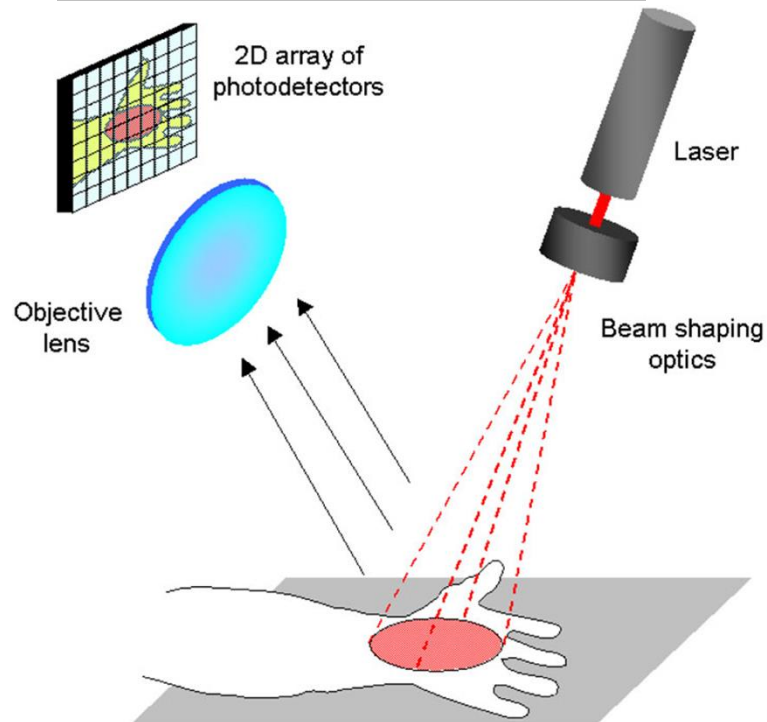
# Blutströmung

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

Ultraschall-Doppler



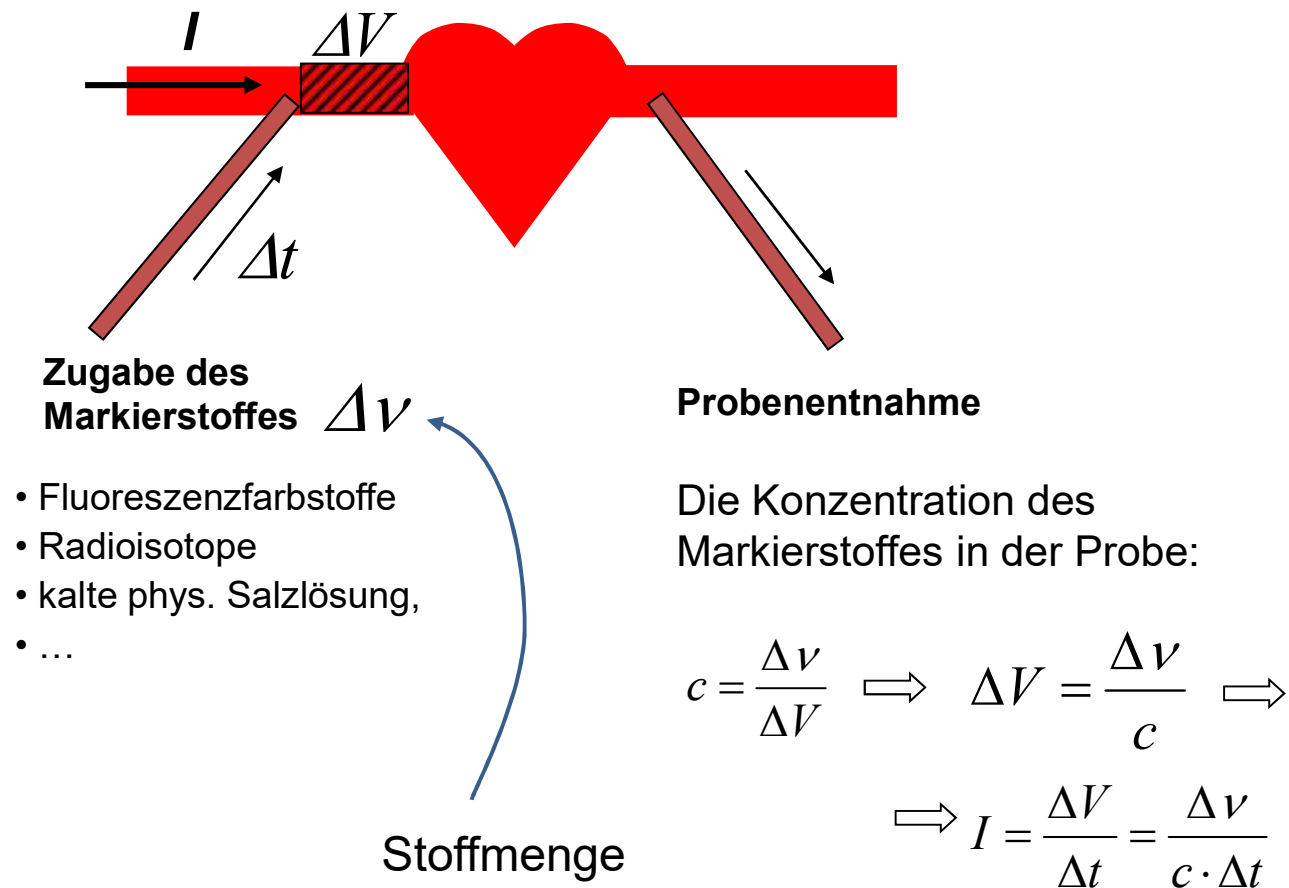
Laser-Doppler



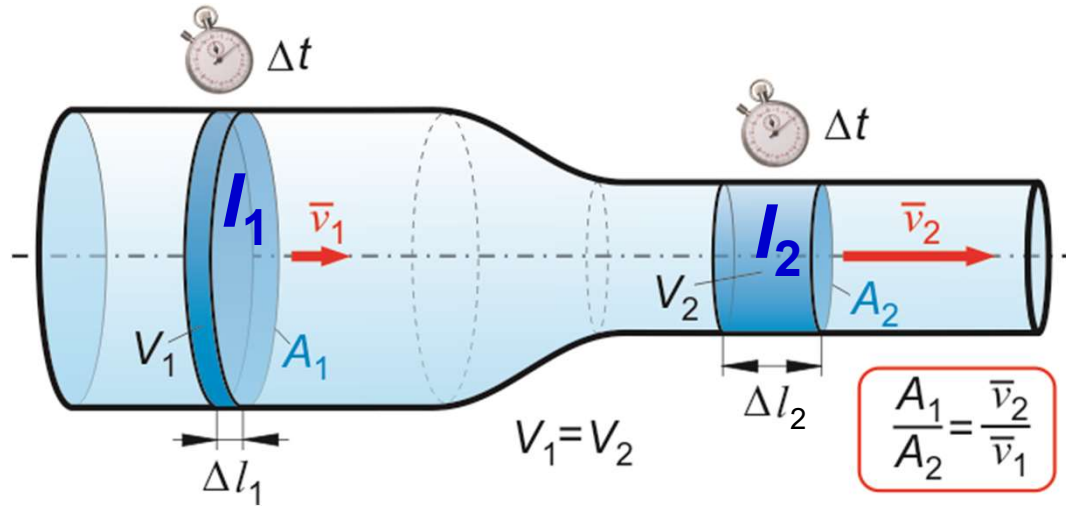
## Impedanz-Methoden

Siehe bei dem elektrischen Strom

## Verdünnungsmethoden



## 2. Kontinuitätsgleichung

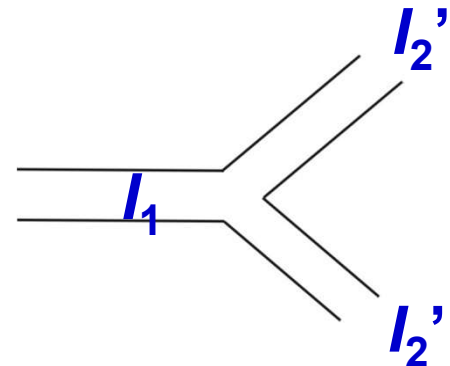


$$I_1 = I_2$$

$$A_1 \cdot \bar{v}_1 = A_2 \cdot \bar{v}_2$$

Bedingungen:

- laminare Str.
- inkompressible Fl.
- starres Rohr *oder* stationäre Str.



$$I_1 = I_2' + I_2''$$



# Kontinuitätsgleichung im Blutkreislauf

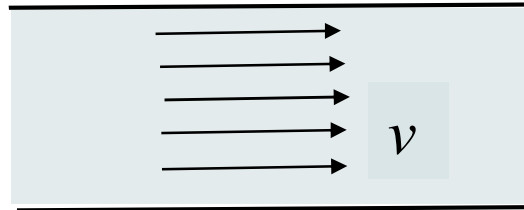


Gefäß	Aorta	Arterien	Arteriolen	Kapillaren	Venolen	Venen	Hohlvenen
R (cm)	1,2	0,2	0,0015	0,00035	0,001	0,25	1,7
Anzahl d. Äste	1	160	$57 \cdot 10^6$	$12 \cdot 10^9$	$1,3 \cdot 10^9$	200	2
A (cm <sup>2</sup> )	4,5	20	400	4500	4000	40	18
v (cm/s)	23	5	0,25	0,022	0,025	2,5	6

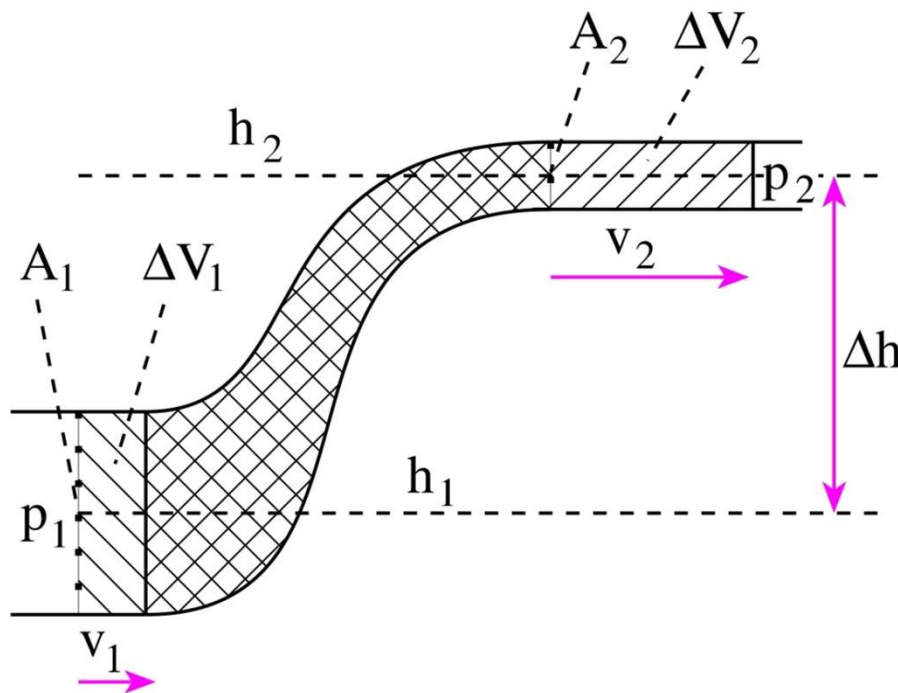
### 3. Strömung von idealen Flüssigkeiten

- Ideale Flüssigkeit: ohne innere Reibung

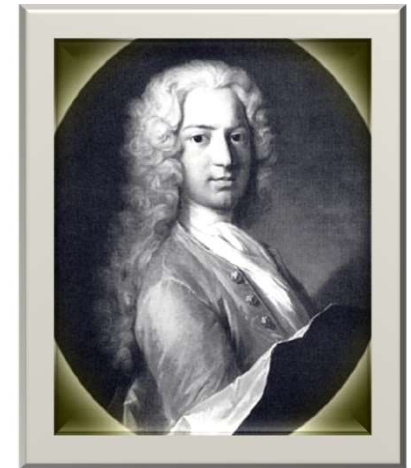
- Geschwindigkeitsprofil:



- Bernoullische Gleichung:

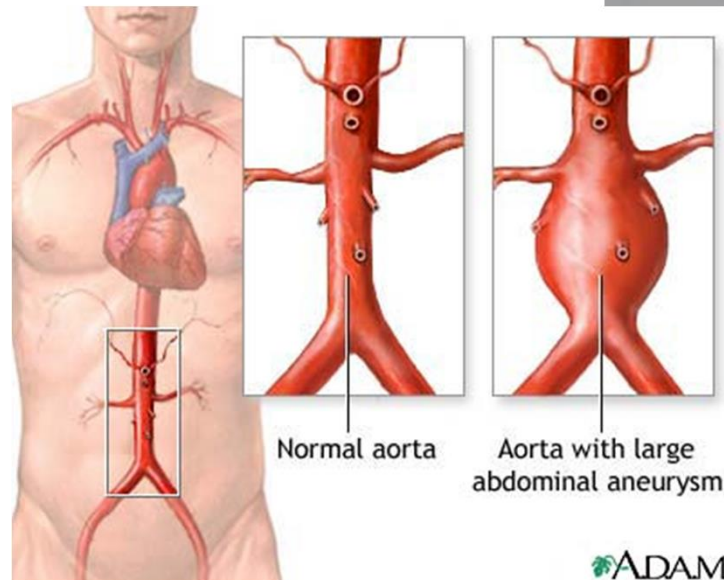
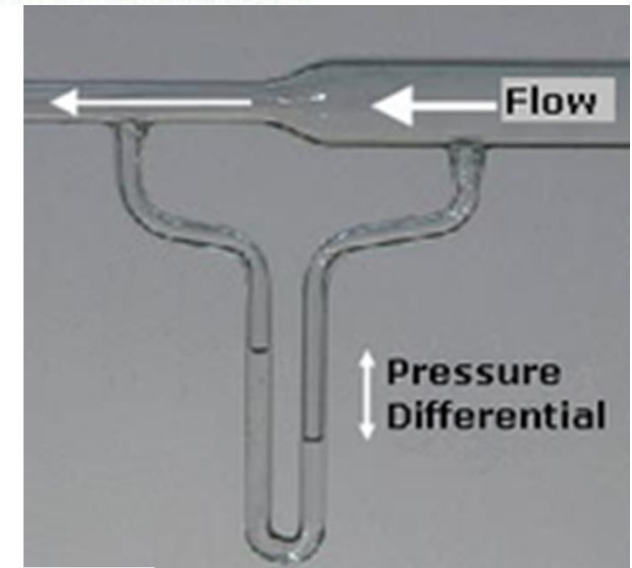
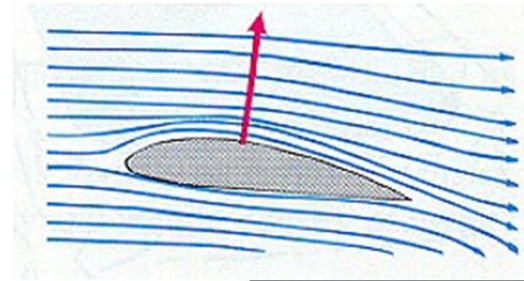
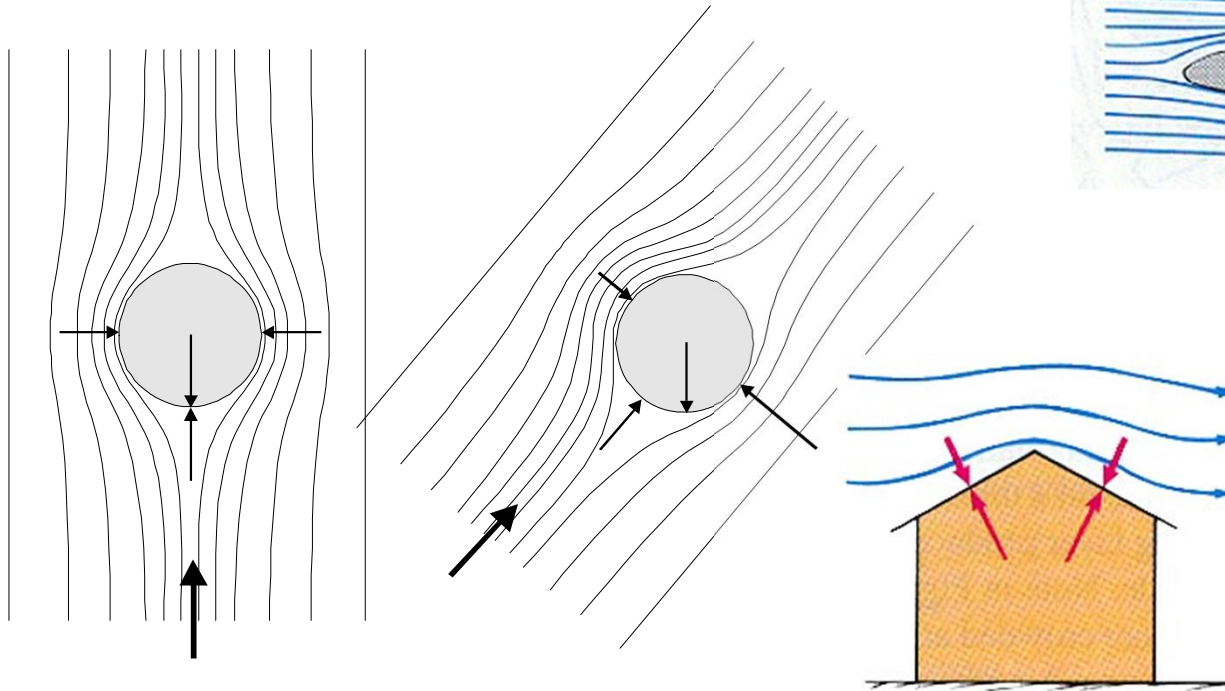


$$p + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot h = \text{konstant}$$



Daniel Bernoulli  
1700-1782  
Mathematiker  
Physiker  
Anatom

# Anwendungen der bernoullischen Gleichung



## 4. Strömung von reellen Flüssigkeiten

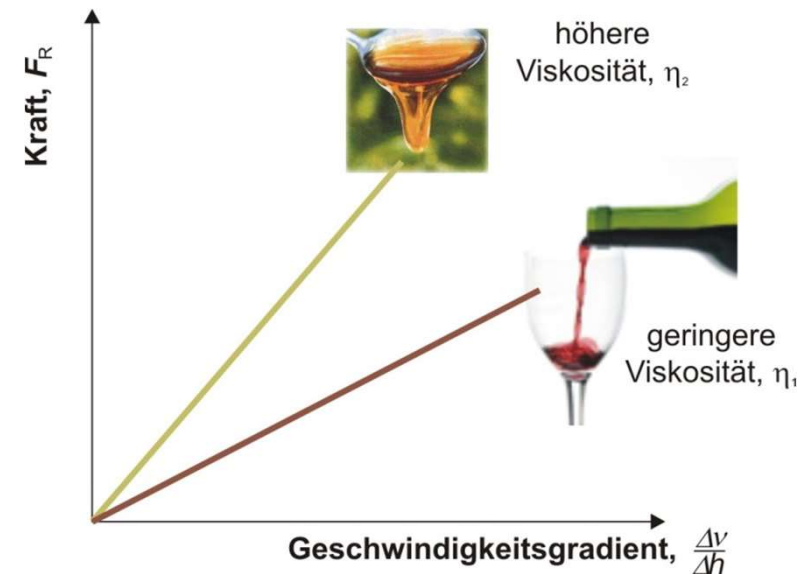
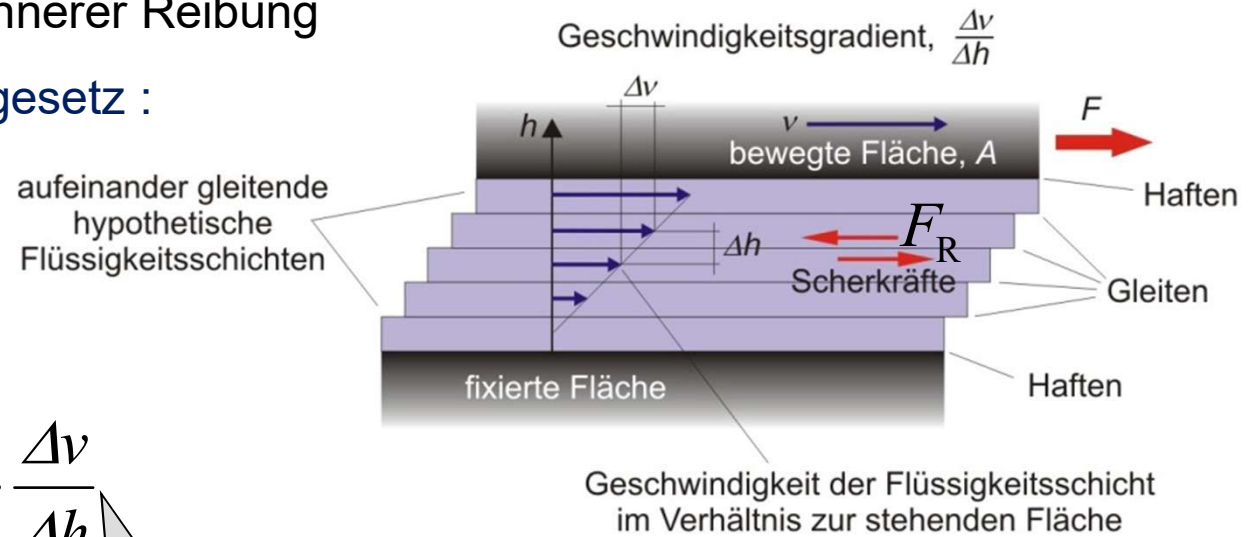
- Reelle Flüssigkeit: mit innerer Reibung
- Newtonsches Reibungsgesetz :

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

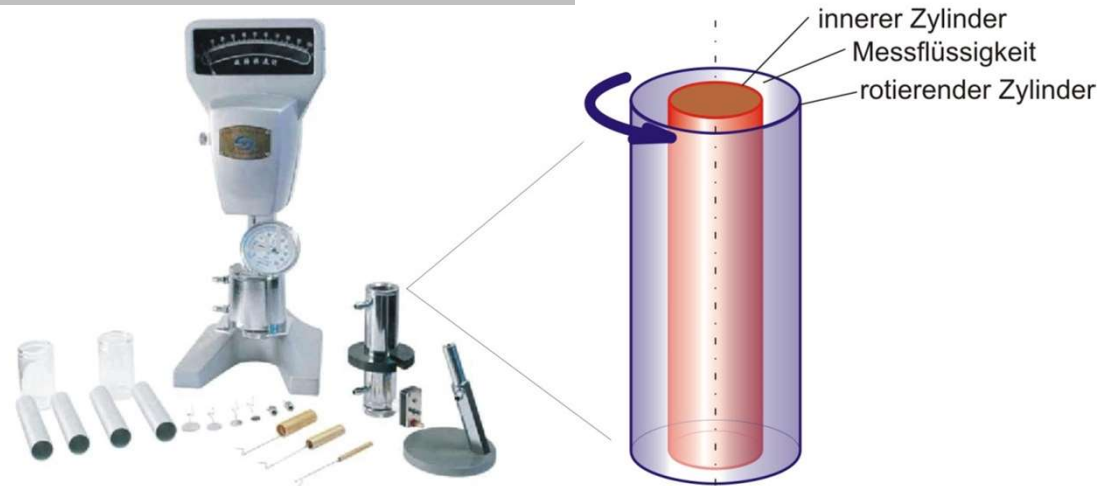




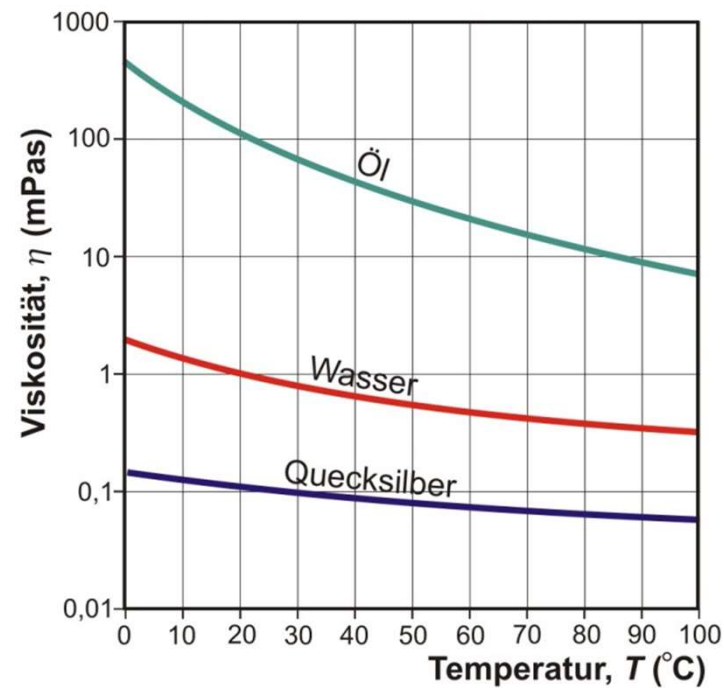
## ■ Viskosität:

- stoffspezifisch
- temperaturabhängig

### Rotationsviskosimeter



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



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

➤ geschwindigkeitsgradientabhängig

