

# ULTRASCHALL



## Notwendige Kenntnisse

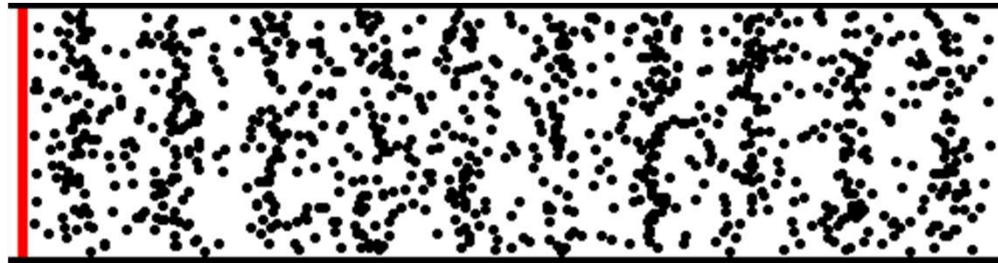
*Damjanovich et al.: Biophysik für Mediziner:*

*II/2.4., II/2.4.1, II/2.4.2, II/2.4.3*

*VIII/4.2.1*

Ausschließlich für den Unterrichtsgebrauch

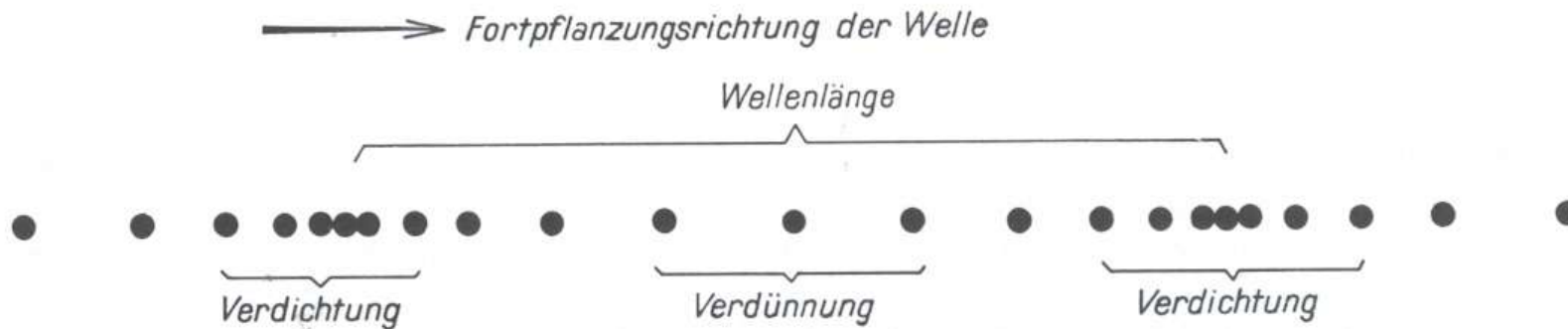
## Einleitung



### Längswellen (longitudinale Wellen):

Verdichtungen und Verdünnungen (d.h. *Druckschwankungen gegenüber dem Normaldruck*) laufen über das Trägermedium.

Die Schwingungsrichtung der einzelnen Oszillatoren ist parallel zur Ausbreitungsrichtung der Welle.



Momentbild einer fortschreitenden Longitudinalwelle

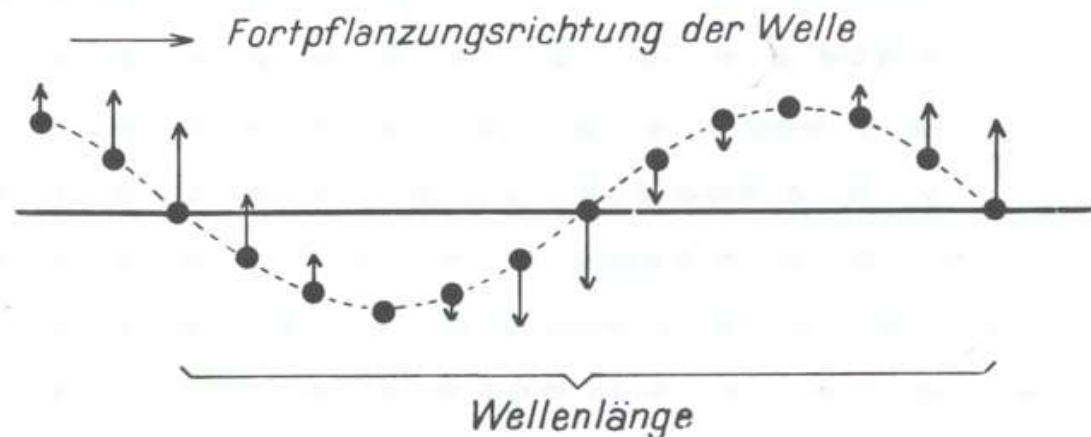
## Einleitung



### *Querwellen (transversale Wellen):*

Wellenberge und Wellentäler laufen über das Trägermedium.  
Die Schwingungsrichtung der einzelnen Oszillatoren steht senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Welle.

Momentbild einer fortschreitenden  
Transversalwelle



## Eigenschaften des Ultraschalls

mechanische Schwingung, mechanische Welle

Zur Ausbreitung ist immer ein **Medium** notwendig!

- ❖ *Mechanische Transversalwellen* entstehen nur, wenn elastische Querkräfte wirken.
- ❖ *Mechanische longitudinale* Wellen entstehen, wenn elastische Längskräfte wirken.
- ❖ *In Festkörpern* können sich Transversal- und Longitudinalwellen ausbreiten.
- ❖ *In Flüssigkeiten und Gasen* können sich nur Längswellen ausbreiten.

## Eigenschaften des Ultraschalls

### Charakteristiken

Frequenz  $f > 20 \text{ kHz}$   
Wellenlänge  $\lambda$

in den bildgebenden Geräten:

$$f = 2 - 10 \text{ MHz}$$

$$\lambda = 0,77 - 0,154 \text{ mm}$$

Frequenzbereiche der Schallwellen:

- |                   |                  |
|-------------------|------------------|
| a. 0 — 20 Hz      | Infraschall      |
| b. 20 Hz — 20 kHz | hörbarer Bereich |
| c. 20 kHz — 1 GHz | Ultraschall      |
| d. 1 GHz — 10 THz | Hyperschall      |

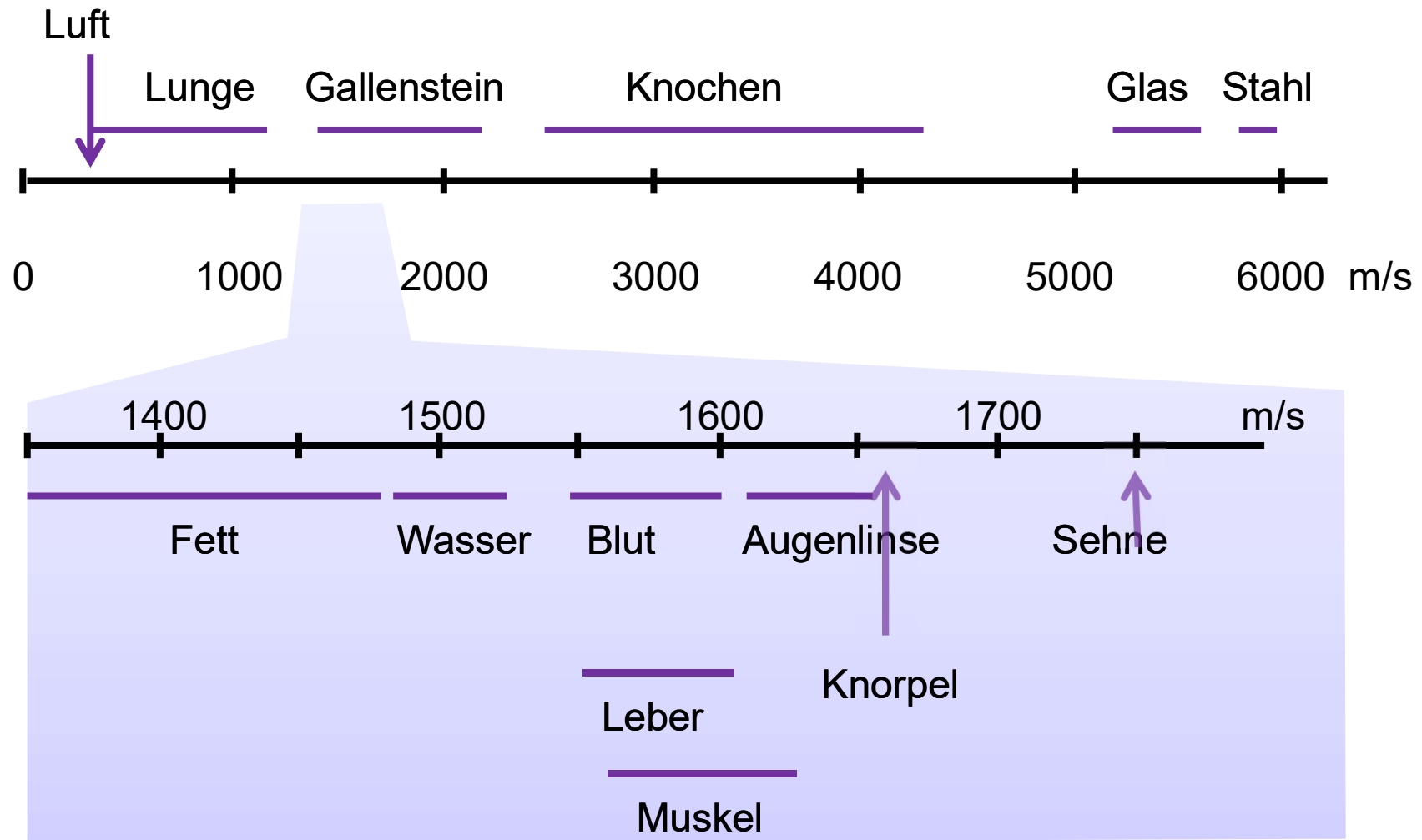
Beispiel:

$$f = 2 \text{ MHz}$$

$$c = 1540 \text{ m/s in Weichteilgeweben}$$

$$\lambda = ?$$

## Ausbreitungsgeschwindigkeit $c$ (m/s)



## Eigenschaften des Ultraschalls

Ausbreitungsgeschwindigkeit

**unabhängig von der Frequenz => keine Dispersion**

Kompressibilität ( $\kappa$ ) und  
Ausbreitungsgeschwindigkeit ( $c$ )

$$\kappa = \frac{-\Delta V / V}{\Delta p}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho \kappa}}$$

$\rho$  - Dichte

Akustische Impedanz ( $Z$ ) und  
Ausbreitungsgeschwindigkeit ( $c$ )

$$Z = c \cdot \rho = \sqrt{\frac{\rho}{\kappa}}$$

## Eigenschaften des Ultraschalls

### Die Schallintensität

$$J = \frac{1}{2Z} \Delta p_{\max}^2$$

Intensität = Energieflußdichte,  
Leistungsdichte

$$J = \frac{1}{Z} \Delta p_{\text{eff}}^2$$

effektiver Wert:

$$\Delta p_{\text{eff}}^2 = \Delta p_{\max}^2 / 2$$



## Intensität und Gewebeschädigung

Die Schallintensität bei Diagnostik  $\bar{J} = 0,01 \text{ W/cm}^2 < 0,1 \text{ W/cm}^2$

Siehe Sicherheitsaspekte!

Druckschwankung in Muskel:  
effektiv  $\sim 0,13$ fache,  
maximum  $\sim 0,2$ fache des Atmospheredruckes

Die Schallintensität bei der Therapie  $\bar{J} = 2,5 \text{ W/cm}^2$

Achte auf die Applikationsdauer!

Druckschwankung in Muskel:  
effektiv  $\sim 2$ fache,  
maximum  $\sim 3$ fache des Atmospheredruckes

Vergleich: Hörschwelle  $J_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2 = 10^{-16} \text{ W/cm}^2$   
Schmerzgrenze  $J = 10 \text{ W/m}^2 = 10^{-3} \text{ W/cm}^2$

## Eigenschaften des Ultraschalls

### Die Schwächung

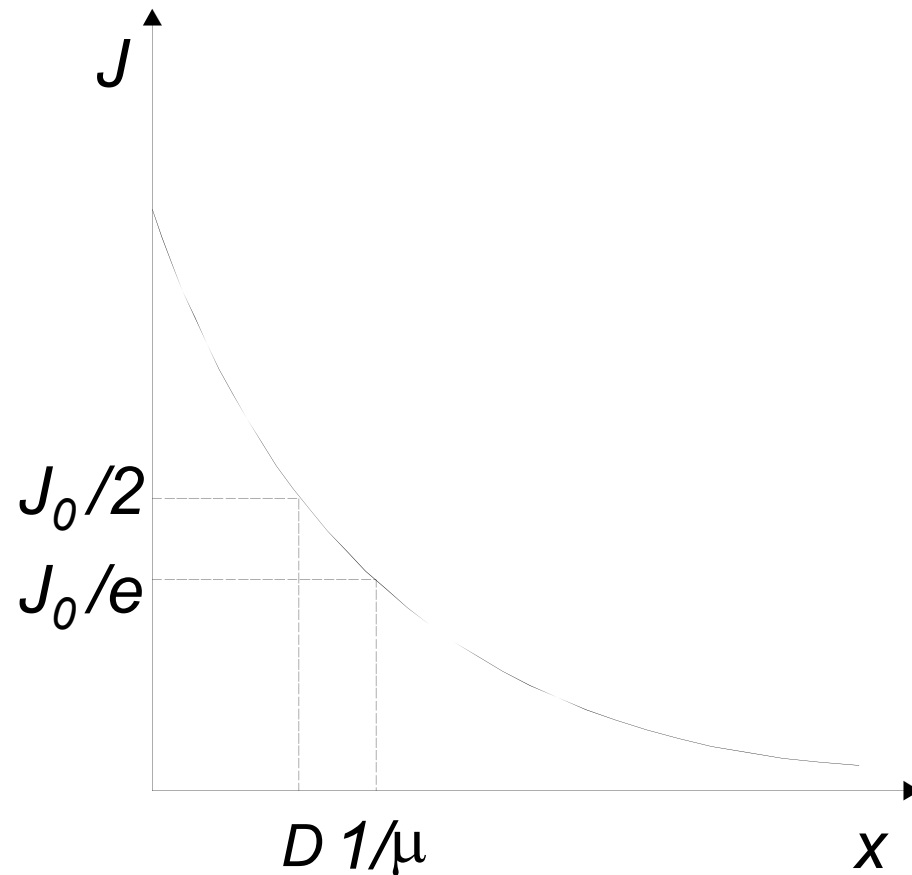
Schwächungsgesetz  $J = J_0 \cdot e^{-\mu x}$

$$\mu = \frac{\ln 2}{D} = \frac{0,693}{D}$$

$$\mu = \mu(f)$$

Stoff	D in cm bei f=0,9 MHz	D in cm bei f=2,5 MHz
Fett	7,7	2,8
Knochenmark	7,7	2,8
Muskel	2,7	1,0
Gehirn	3,6	1,3
Knochen	0,2	0,1
Wasser (distilliert)	500	180

## Die Schwächung



$$\mu = \mu(f)$$

Dämpfung:

$$\alpha = 10 \cdot \lg \frac{J_0}{J} \text{ dB}$$

$$\alpha = 10 \cdot \mu \cdot x \cdot \lg e \text{ dB}$$

spezifische  
Dämpfung:

$$\frac{\alpha}{f \cdot x}$$

Für weiche Gewebe:  
 $\sim 1 \text{ dB}/(\text{cm} \cdot \text{MHz})$

## Reflexion

$$R = \frac{J_{refl}}{J_{ein}} = \left( \frac{\rho_1 \cdot c_1 - \rho_2 \cdot c_2}{\rho_1 \cdot c_1 + \rho_2 \cdot c_2} \right)^2$$

$$Z_1 \ll Z_2, \quad R \approx 1$$

Grenzfläche	R
Muskel/Blut	0,0009
Fett/Leber	0,006
Fett/Muskel	0,01
Knochen/Muskel	0,41
Knochen/Fett	0,48
Weichteilgewebe/Luft	0,99



**Anpassungsschicht** (Koppelmedium): Wasser, Gel, Parafinöl  
vermindert den Impedanzunterschied zwischen Luft und Haut

optimale Anpassung:

$$Z_{\text{Kopplung}} \approx \sqrt{Z_{\text{Quelle}} \cdot Z_{\text{Haut}}}$$

## 2. Erzeugung des Ultraschalls

- In zwei Schritten:

- a. Erzeugung sinusförmiger elektrischer Spannung  
mit hoher Frequenz  $f > 20 \text{ kHz}$

- Sinusoszillator (siehe Praktikum Verstärker)

- b. Umwandlung der elektrische Schwingung  
in mechanische Schwingung

- Wandler (Transducer)

## Wandler



Brüder Curie, 1881:

Bei Kristallen mit polaren Achsen (Turmalin, Quarz) treten durch Druck oder Dehnung in bestimmten Richtungen elektrische Ladungen an den Enden der polaren Achsen auf.

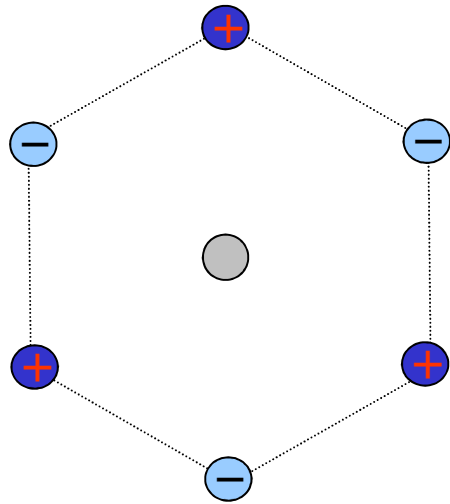
mechanische Schwingung → elektrische Schwingung

piezoelektrischer Effekt

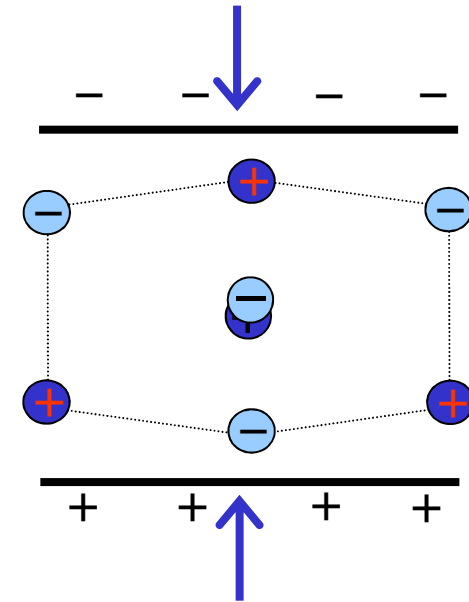
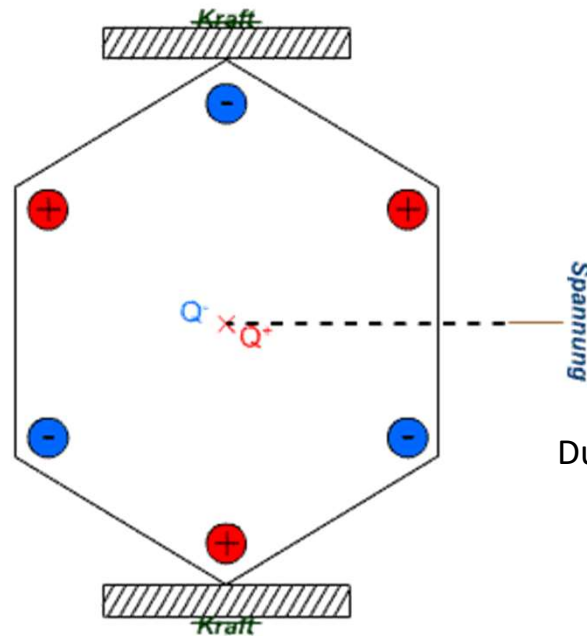
elektrische Schwingung → mechanische Schwingung

reziproker piezoelektrischer Effekt

# „Mechanismus“ des Piezoeffektes :



Die Schwerpunkte der elektrischen Ladungen fallen zusammen.



Durch Druck bzw. Dehnung werden die Schwerpunkte getrennt  
→ entsteht elektrische Spannung

## Wandler: Schwingquarz

elektrische Schwingung  $\rightarrow$  mechanische Schwingung

Bemerkungen:

a.  $f_{elektrische} = f_{mechanische}$

b.  $A_{elektrische} \sim A_{mechanische}$

c. Umwandlung in beiden Richtungen!

Schwingquarz = Sender/Detektor