

# Wellenwiderstand, Impedanz

... ist Eigenschaft des Mediums, in dem sich Welle ausbreitet

anschaulich: Impedanz repräsentiert Steifigkeit/Härte oder Weichheit des Mediums

Schallimpedanz:

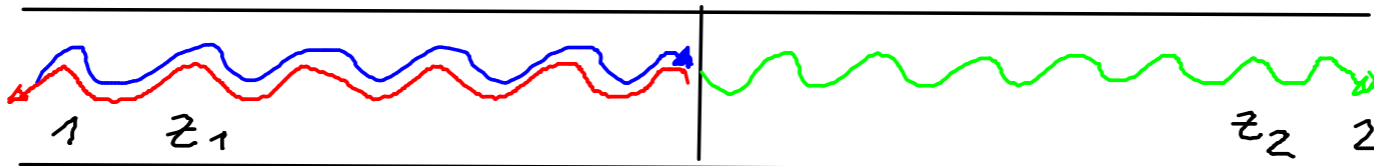
$$Z = \rho \cdot c$$

Einheit:  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{s}}$

wegen  $c = v_{\text{ph}} \sim \frac{1}{\sqrt{\rho}}$  wächst Impedanz mit  $\sqrt{\text{Dichte}}$  des Mediums

Bedeutung: Besitzen zwei Medien gleiche Schallimpedanz  $Z$ , so tritt an Grenzfläche keine Reflexion auf

einlaufend  
reflektiert



durchgelassen/transmittiert

► Reflexionsfaktor

$$R = \frac{I_{\text{reflektiert}}}{I_{\text{einlaufend}}} = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

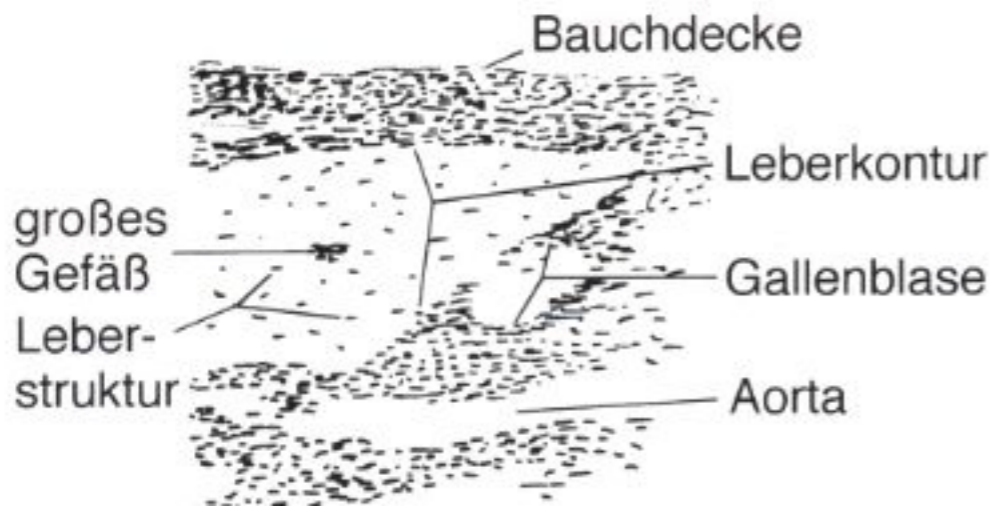
► Transmissionsfaktor

$$T = \frac{I_{\text{transmittiert}}}{I_{\text{einlaufend}}} = 1 - R$$

Versuch: Echolot bzw. Schallgeschwindigkeit:  $\left\{ \begin{array}{l} \Delta x = 12.435 \text{ m} , \Delta t = 72.8 \text{ ms} \\ c_{\text{Luft}} = \frac{2 \cdot \Delta x}{\Delta t} = 341.6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ bei } 20^\circ\text{C} \end{array} \right.$

Anwendung von Schallwellen

▶ Ultraschallbilder:



▶ Nierenstein - Zerkleinerung (Lithotripsie)

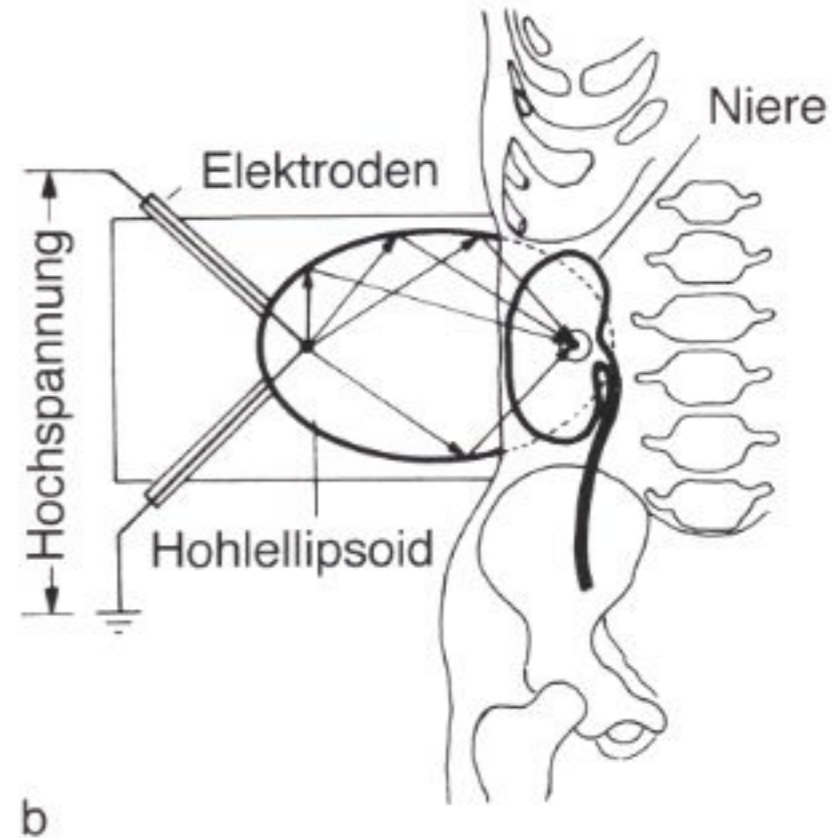


Abb. 7.26 (a) Zeitlicher Verlauf einer Stoßwelle (b) räumliche Anordnung bei der Lithotripsie.

## 3 Wärmelehre, Thermodynamik

... beschreibt kollektives physikalische Verhalten von sehr vielen Massenpunkten (typ.  $10^{23}$ ) eindeutig und vollständig durch kollektive makroskopische Zustandsgrößen:  
z.B. Druck, Volumen, Temperatur, Stoffmenge, ...

- ▶ Mittelwerte ( $\hat{=}$  intensive Zustandsgrößen), z.B. Druck, Temperatur, Dichte...
- ▶ Gesamtwerte ( $\hat{=}$  extensive Zustandsgrößen), z.B. Volumen, Stoffmenge, Masse, ...

NB: Verhältnisse extensiver Zustandsgrößen ergeben intensive Größen,  
z.B.  $\text{Dichte} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}}$

durch Zustandsgleichungen:

funktionale Gesetzmäßigkeit zwischen Zustandsgrößen  
z.B.  $p \cdot V = \text{const.}$

## Stoffmenge und Temperatur

Stoffmenge  $n$ , Einheit mol

$\cong$  Anzahl von  $^{12}\text{C}$ -Atome in 12g Kohlenstoff (rein  $^{12}\text{C}$ )

$N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$  Teilchen/mol  
Avogadro- oder Loschmidt-Zahl

Atomare Masseneinheit:  $1u = \frac{1}{12} \cdot m_{^{12}\text{C}} = 1.661 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$   
z.B.  $m_{^{16}\text{O}} = 16u$  bzw. Molmasse:  $M_{^{16}\text{O}} = m_{^{16}\text{O}} \cdot N_A = 16 \text{ g/mol}$

Temperatur  $T$ , Einheit Kelvin, K

auch gebräuchlich: Grad Celsius,  $^{\circ}\text{C}$ :  $0^{\circ}\text{C} = 273.15 \text{ K}$

Grad Fahrenheit,  $^{\circ}\text{F}$

$$T_{^{\circ}\text{F}} = \left(\frac{9}{5} T_{^{\circ}\text{C}}\right) + 32^{\circ}\text{F}, \quad T_{^{\circ}\text{C}} = \frac{5}{9} (T_{^{\circ}\text{F}} - 32^{\circ}\text{F})$$

Temperatur ist Maß für mittlere kinetische Energie der Massenpunkte

$$\overline{E_{\text{kin}}} = \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \frac{3}{2} k_B \cdot T, \quad k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \text{ Boltzmann-Konst.}$$

Versuch: Brownsche Molekularbewegung beweist mikroskopische Bewegung

Temp. Messung: z.B. durch Längen- oder Volumenänderung

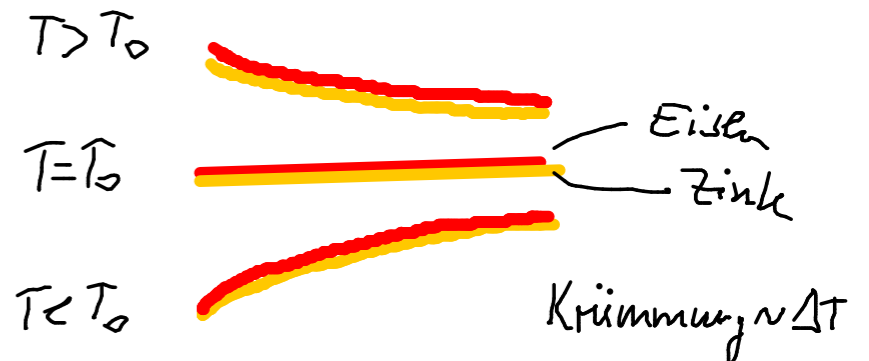
$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha \cdot \Delta T, \quad \frac{\Delta V}{V} = \gamma \cdot \Delta T$$

$\uparrow$  Ausdehnungskoeffizient       $\nearrow$  materialabhängig ( $\gamma \approx 3\alpha$ )

□ Bimetallthermometer

$$\alpha_{\text{Eisen}} = 11.8 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$$

$$\alpha_{\text{Zink}} = 30.2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$$

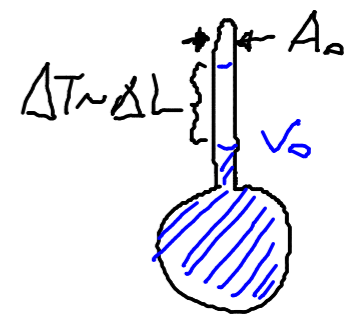


□ Flüssigkeitsthermometer

$$\frac{\Delta V}{V} = \gamma \cdot \Delta T \rightarrow \Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T,$$

$$\Delta V(T) = V(T) - V_0 = A_0 \cdot \Delta L \stackrel{!}{=} \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T$$

$$\rightarrow \Delta L = \left( \frac{\gamma V_0}{A_0} \right) \cdot \Delta T$$



□ Gas-Thermometer, Thermoelemente, Elektrischer Widerstand (PT100, PT1000), ...

● Zustandsgleichung: Ideale Gasgleichung

für Ideales Gas (Gasteilchen wie Punktteilchen der klassischen Mechanik, nur elastische Stöße, kein Eigenvolumen  
→ okay für verdünnte Gase: kleine  $p$ , mittlere  $T$ )

gilt:  $\frac{p \cdot V}{T} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = \text{const.}$  mit  $p_0 = 101325 \text{ Pa}$ ,  $T_0 = 273.15 \text{ K}$   
und  $V_0 = 22.41 \text{ l/mol}$  molares Volumen