

Phononen (akustischer Zweig)

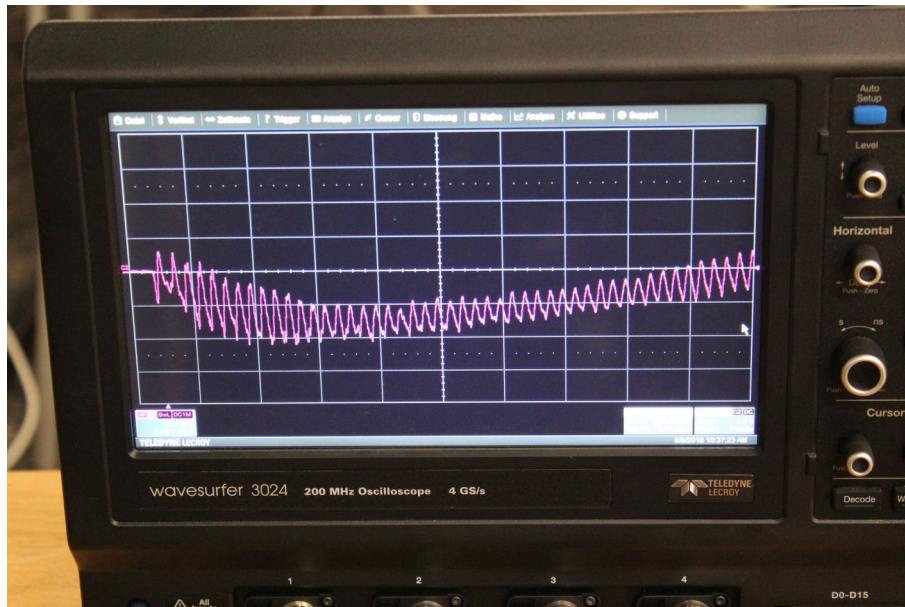


Abb.1: Reflexionen der Anregung in Aluminium.

Geräteliste:

Oszilloskop, Mikrofone (oder besser Piezoelemente), Stäbe aus unterschiedlichen Materialien (Cu, Al, Messing), Stativmaterial

Versuchsbeschreibung:

Stäbe aus verschiedenen Materialien werden an einem Ende mit einem Mikrofon versehen und auf der gegenüberliegenden Seite mit einem kurzen Metallstab oder einem kleinen Hammer angeschlagen. Auf dem Oszilloskop erscheint ein periodisches Signal (warum?). Der Zeitabstand zwischen 2 Perioden wird gemessen.

Die Piezoelemente werden in einem definierten Abstand befestigt (dabei ist auf den Masseanschluss des Oszilloskops zu achten!) Eine transversale Anregung breitet sich langsamer aus als eine longitudinale. Hier wird die Laufzeit der ersten Störung gemessen.

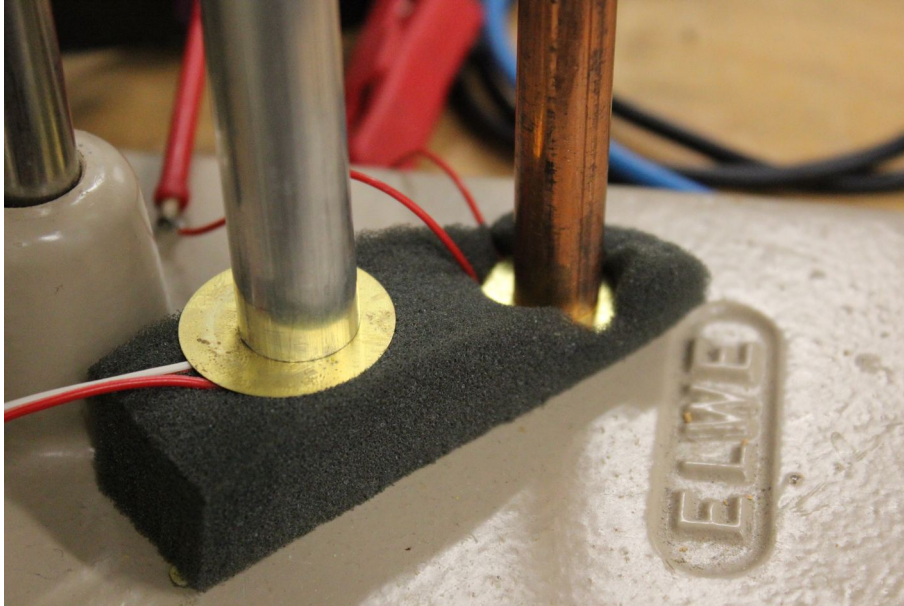


Abb. 2: Platzierung der Piezoelemente

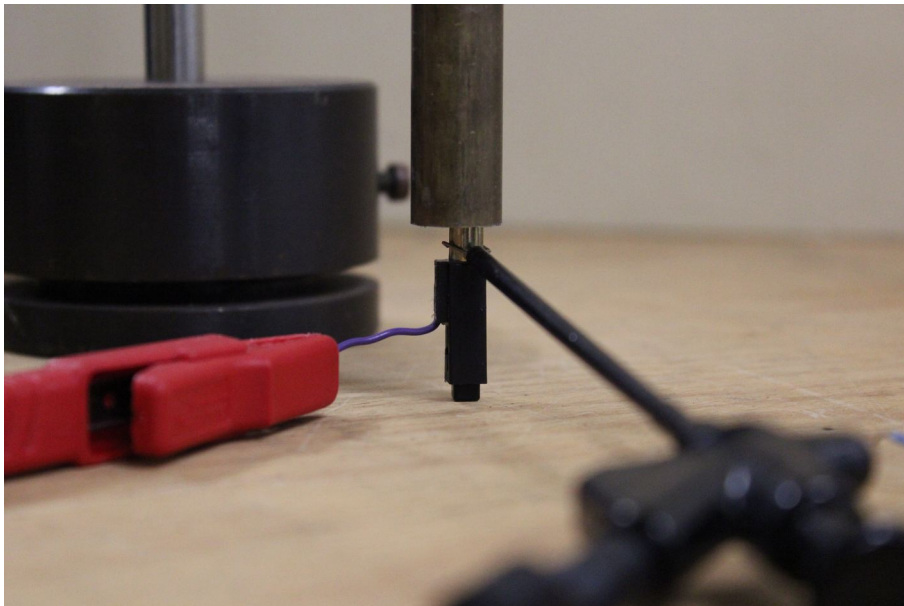


Abb. 3: Auch Piezozünder eines Feuerzeuges liefern Messwerte.

Bemerkungen:

Die Dispersionsrelation aus dem Modell der linearen Kette für Phononen lautet:

$$\omega = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{C}{M}} \sin \frac{1}{2} ka$$

Wobei C die Kopplungskonstante, M die Masse und a der Abstand der Atome darstellen. Die Frequenz ω hängt demnach über den Betrag des Sinus mit dem Wellenvektor k zusammen. Für kleine Werte von k wird diese Funktion linear angenähert.

Die Federkonstante C ergibt sich aus der Krümmung am Boden des annähernd parabolischen Gitterpotentials, das für die lineare Kette angenommen wurde. Sie lässt sich auch durch den Elastizitätsmodul E ausdrücken: $C = E d$ (Gerthsen). Für lange Wellen (verglichen mit dem Gitterabstand) ergibt sich so die Schallgeschwindigkeit der klassischen Kontinuumstheorie mit der Dichte ρ :

$$c_s = \sqrt{\frac{Ed^3}{M}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Das Elastizitätsmodul ergibt sich als die zweite Ableitung des Potentials. Festkörper mit „starr“ Potentialen (=hohe Festigkeit → große Steigung) zeigen eine größere Schallgeschwindigkeit als Festkörper mit schwächeren Bindungen.

Diese Betrachtung berücksichtigt allerdings nicht das gesamte Bild. Wellen auf einem Stab, wie im Experiment verwendet, laufen als Kontraktion und Kompression durch einen solchen. Die Materialkonstanten hängen wechselseitig zusammen. Für ein linear-elastisches, isotropes Material wird als Zusammenhang zwischen dem Schubmodul G , dem Elastizitätsmodul E und dem Kompressionsmodul K die Poissonzahl ν eingeführt:

$$\nu = \frac{E}{2G} - 1 = \frac{3K - E}{6K} = \frac{3K - 2G}{6K + 2G}$$

Die Berechnung der Schallgeschwindigkeit wird dadurch erweitert.

$$c_s = \sqrt{\frac{E(1 - \nu)}{\rho(1 + \nu)(1 - 2\nu)}}$$

Der Wert für ν wird in Tabellen für Aluminium und Kupfer mit ca 3,5 angegeben, für Edelstahl mit ca. 2,4.

Elastizitätsmodule, Dichten und Poissonzahlen für das Experiment:

	E	ρ	ν
Aluminium	: $7,22 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$	$2,7 \text{ g/cm}^3$	3,4
Edelstahl	: $20 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$	$7,93 \text{ g/cm}^3$	2,4
Kupfer	: $11,5 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$	$8,92 \text{ g/cm}^3$	3,5

Berechnete Schallgeschwindigkeiten in m/s. Die Werte in Klammern berücksichtigen die Poissonzahl.

Material	Schallgeschwindigkeit m/s	
Aluminium	5171	(6415)
Edelstahl	5022	(5452)
Kupfer	3590	(4548)

Messungen:

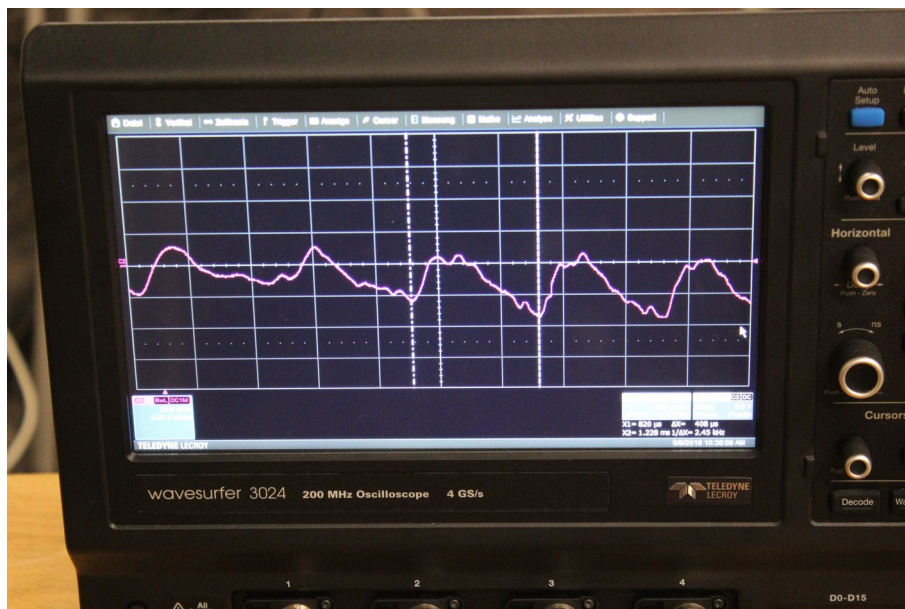


Abb. 4: Eine Stange der Länge 2 m aus Aluminium wird in $405 \mu\text{s}$ durchlaufen ($c_s \approx 4950 \text{ ms}^{-1}$) ...

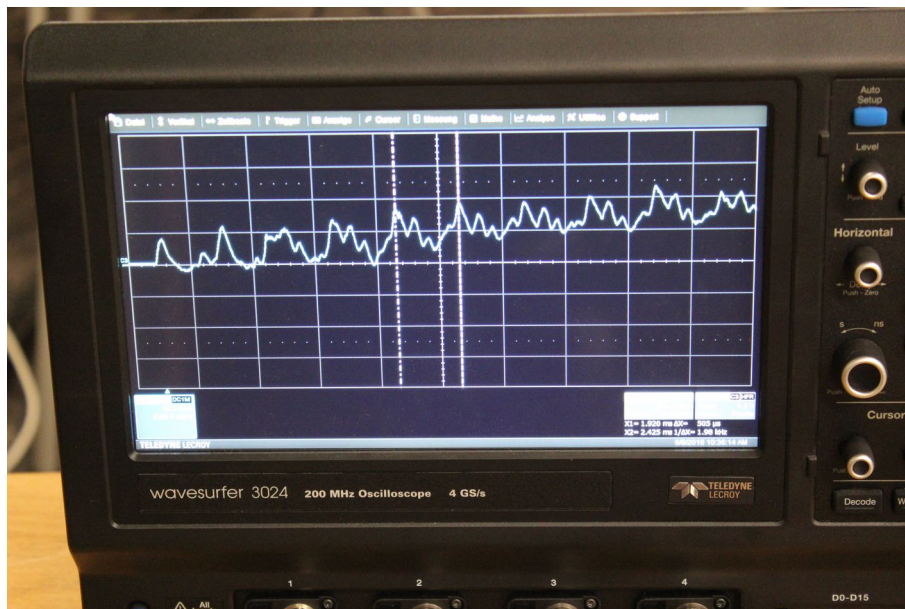


Abb. 5: ...eine 1,92 m lange Kupferstange in $505 \mu\text{s} \rightarrow c_s \approx 3800 \text{ ms}^{-1}$. Die Cursorfunktion hilft beim Ablesen.

Diese Messungen liefern Schallgeschwindigkeiten die ohne Berücksichtigung der Poissonzahl berechnet werden können.

Anfängliche Beispielmesswerte für Schallausbreitung in Festkörpern:

Hierfür wurden 2 Mikrofone im Abstand von 0,4 m an den Stangen ($L= 1\text{m}$ $d= 0,015$ m) befestigt und die Stangen transversal bzw longitudinal angeregt. Die Stangen liegen dabei auf einer Schaumstoffunterlage. Das Produzieren brauchbarer Messwerte erfordert mehrere Versuche.

Aluminium:

- longitudinal zwischen $78 \mu\text{s}$ und $84 \mu\text{s} \Rightarrow v_l \approx 5000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- transversal ca. $130 \mu\text{s} \Rightarrow v_t \approx 3000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Kupfer:

- longitudinal ca. $106 \mu\text{s} \Rightarrow v_l \approx 3700 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- transversal ca. $200 \mu\text{s} \Rightarrow v_t \approx 2000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Messing:

- longitudinal ca. $110 \mu\text{s} \Rightarrow v_l \approx 3600 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- transversal ca. $200 \mu\text{s} \Rightarrow v_t \approx 2000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Auch diese Messungen liefern Daten, die die Poissonzahl nicht berücksichtigt, sind allerdings nicht gut reproduzierbar.