

ZIEL

Bestimmung der Schallgeschwindigkeiten für Longitudinal- und Transversalwellen in Festkörpern

ZUSAMMENFASSUNG

Schall breitet sich in Festkörpern in Form von Longitudinal- und Transversalwellen aus. Die Schallgeschwindigkeiten beider Wellen unterscheiden sich erheblich, da die longitudinale Schallgeschwindigkeit durch den Elastizitätsmodul des Festkörpers bestimmt ist, während transversale Schallgeschwindigkeit vom Schermodul abhängt. Durch Messung beider Schallgeschwindigkeiten lassen sich die elastischen Konstanten des Festkörpers bestimmen.

AUFGABEN

- Bestimmung der Schallgeschwindigkeit für Longitudinalwellen in Polyacryl aus den Laufzeiten eines 1-MHz-Ultraschallsignals.
- Messung der Transmission von longitudinalen und transversalen Schallwellen im Festkörper durch eine schräg gestellte, planparallele Platte.
- Bestimmung der Schallgeschwindigkeiten für Longitudinal- und Transversalwellen aus den Grenzwinkeln der Totalreflexion.
- Bestimmung des Elastizitätsmoduls E , des Schermoduls G und der Poisson-Zahl μ des Festkörpers aus den beiden Schallgeschwindigkeiten.

BENÖTIGTE GERÄTE

| Anzahl | Geräte | Art.-Nr. |
|--------|---|----------|
| 1 | Ultraschall-Echoskop | 1002580 |
| 2 | Ultraschallwandler 1 MHz | 1002581 |
| 1 | Gerätesatz Longitudinal- und Transversalwellen | 1002584 |
| 1 | Aluminiumplatte in Probenhalter mit Winkelskala | 1002585 |
| 1 | Satz 3 Zylinder | 1002588 |
| 1 | Ultraschall-Koppelgel | 1008575 |

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Schall breitet sich in Gasen und Flüssigkeiten ausschließlich in Form von Longitudinalwellen aus. Dabei oszilliert der Druck um einen Gleichgewichtswert und erzeugt oszillierende Bereiche mit Verdichtung und Verdünnung. Durch Festkörper dringt Schall auch in Form von Transversalwellen, in denen die Scherspannung oszilliert. Sie können sich in einem Festkörper ausbreiten, weil dort die zur Weiterleitung erforderlichen elastischen Schubkräfte vorhanden sind.

Longitudinalwellen und Transversalwellen haben unterschiedliche Schallgeschwindigkeiten. Diese hängen von der Dichte ρ und den elastischen Konstanten des Festkörpers ab. Dabei ist die Schallgeschwindigkeit der Longitudinalwelle

$$(1) \quad c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\mu}{(1+\mu) \cdot (1-2\mu)}}$$

E : Elastizitätsmodul, μ : Poisson-Zahl

größer als die der Transversalwelle

$$(2) \quad c_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

G : Schermodul



Elastizitätsmodul E und Schermodul G eines Festkörpers sind über die Poisson-Zahl μ miteinander verknüpft:

$$(3) \quad \frac{E}{G} = 2 \cdot (1 + \mu)$$

Also lassen sich alle drei elastischen Größen berechnen, wenn die beiden Schallgeschwindigkeiten c_L und c_T bekannt sind.

Im Experiment werden zunächst die Laufzeiten t für den Durchgang eines 1-MHz-Ultraschallsignals durch drei Polyacrylzyylinder unterschiedlicher Länge s gemessen und in ein s - t -Diagramm eingetragen (siehe Abb. 1). Aus der Steigung der an die Messpunkte angepassten Geraden ergibt sich die longitudinale Schallgeschwindigkeit in Polyacryl. Anschließend wird ein mit Wasser gefüllter Trog in den Strahlengang gebracht und die Durchgangszeit gemessen. Diese wird durch zusätzliches Einbringen einer dünnen, planparallelen Platte aus Polyacryl oder Aluminium in den Strahlengang verkürzt, da sich der Schall im Plattenmaterial schneller ausbreitet als in Wasser. Genauer misst man jetzt hinter dem Wassertrog zwei getrennte Ultraschallsignale, die auf die Laufzeitunterschiede für die longitudinale und die transversale Schallgeschwindigkeit im Festkörper zurückzuführen sind (siehe Abb. 2).

Steht die Platte unter einem Winkel α schräg zum einfallenden Strahl, wird dieser gemäß dem Snellius'schen Gesetz in zwei Teilstrahlen unter den Winkeln β_L und β_T gebrochen (siehe Abb. 3).

$$(4) \quad \frac{c}{\sin \alpha} = \frac{c_L}{\sin \beta_L} = \frac{c_T}{\sin \beta_T}$$

c : Schallgeschwindigkeit in Wasser

Da die beiden Schallgeschwindigkeiten c_L und c_T des Festkörpers größer als die Schallgeschwindigkeit c des Wassers sind, tritt schließlich – für Longitudinal- und Transversalwellen getrennt – das Phänomen der Totalreflexion auf, bei dem die transmittierten Signale völlig verschwinden. Aus den beiden Grenzwinkeln α_L für die Longitudinalwellen und α_T für die Transversalwellen lassen sich die zugehörigen Schallgeschwindigkeiten berechnen:

$$(5) \quad c_L = \frac{c}{\sin \alpha_L} \quad \text{und} \quad c_T = \frac{c}{\sin \alpha_T}$$

AUSWERTUNG

a) Die im ersten Teil aus den Laufzeitmessungen gewonnenen Messpunkte liegen im s - t -Diagramm nicht auf einer Ursprungsgeraden, da die Laufzeit des Signals durch die Anpassungs- und Schutzschicht der Ultraschallwandler systematisch mitgemessen wird.

b) Aus den Gleichungen 1 bis 3 ergibt sich die Bestimmungsgleichung für die Poisson-Zahl μ

$$\mu = \frac{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{c_L}{c_T}\right)^2 - 1}{\left(\frac{c_L}{c_T}\right)^2 - 1}$$

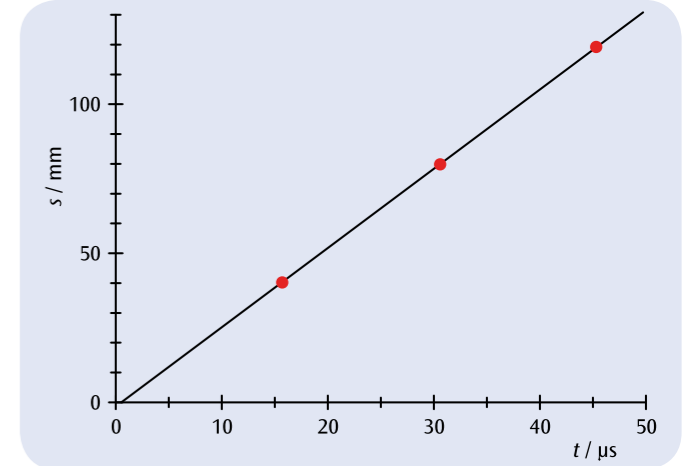


Abb. 1: s - t -Diagramm des Ultraschallsignals in Polyacryl.

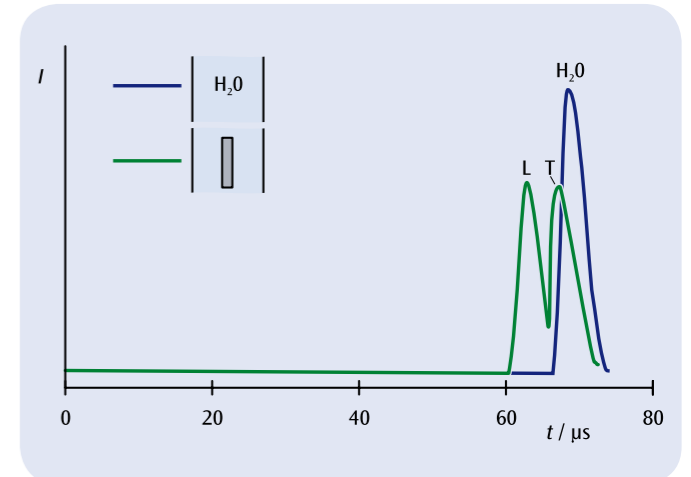


Abb. 2: Ultraschallsignal nach Durchgang durch den Wassertrog (blau: ohne planparallele Platte, grün: mit planparalleler Platte).

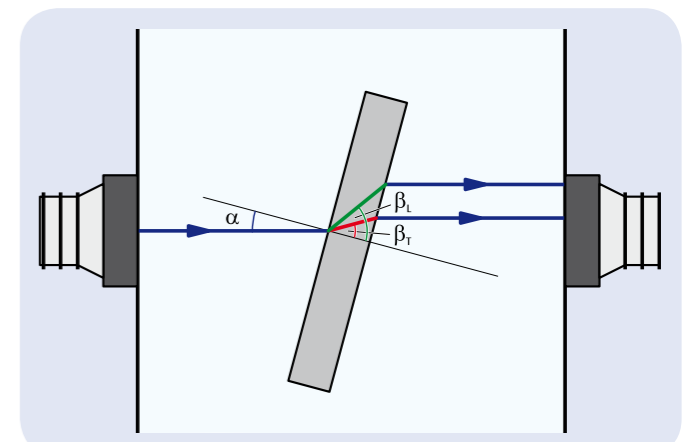


Abb. 3: Messanordnung zur Bestimmung der longitudinalen und der transversalen Schallgeschwindigkeit eines Festkörpers aus den Grenzwinkeln der Totalreflexion.