Schallausbreitung in Festkörpern

BESTIMMUNG DER SCHALLGESCHWINDIGKEITEN FÜR LONGITUDINAL- UND TRANSVERSALWELLEN IN FESTKÖRPERN.

- 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.

UE1070530
04/16 JS

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 Polyacrylzylinder unterschiedlicher Länge *s* gemessen (siehe Fig. 1) und in ein *s*-*t*-Diagramm eintragen. Aus der Steigung der an die Messpunkte angepassten Geraden ergibt sich die longitudinale Schallgeschwindigkeit in Polyacryl.

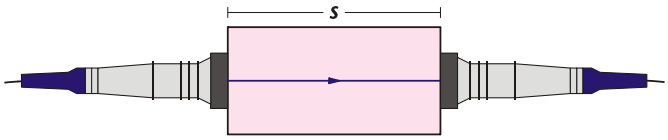


Fig. 1: Anordnung zur Laufzeitmessung für den Durchgang eines Ultraschallsignals durch einen Festkörper der Länge *s*

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 Fig. 2).

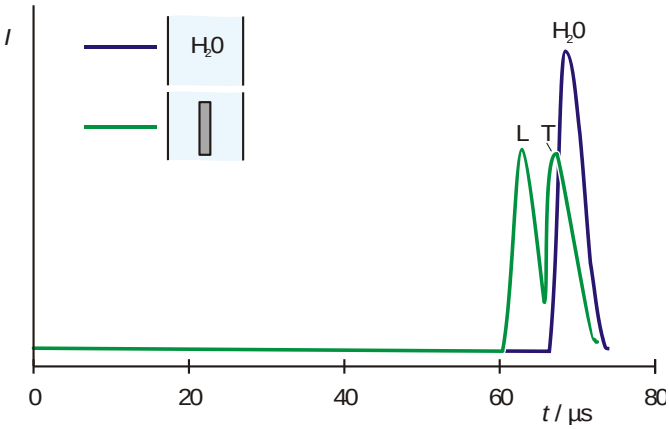


Fig. 2: Ultraschallsignal nach Durchgang durch den Wassertrog (blau: ohne planparallele Platte, grün: mit planparalleler Platte)

GERÄTELISTE

1 Ultraschall-Echoskop GS200	1018616 (U100102)
2 Ultraschallsonde 1 MHz GS200	1018618 U10015
1 Gerätesatz „Ultraschall in Festkörpern"	1002584 (U10020)
1 Aluminiumplatte mit Winkelskala	1002585 (U10022)
1 Satz 3 Zylinder	1002588 (U10026)
1 Ultraschall-Koppelgel	1002588 (XP999)

Zusätzlich erforderlich:
1 PC mit Windows

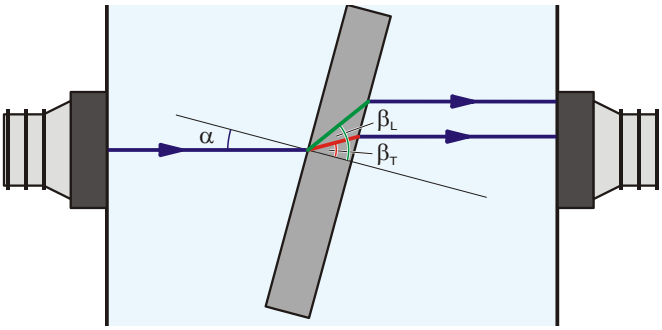
Steht die Platte unter einem Winkel α schräg zum einfallenden Strahl, wird dieser gemäß dem Snellius'schen Gesetz in zwei Teilstrahlen unter den Winkeln β_L und β_T gebrochen (siehe Fig. 3).

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

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:

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



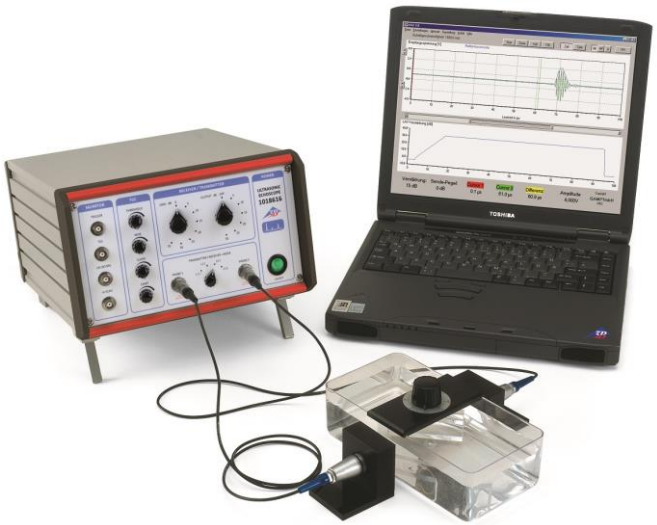


Fig. 3: Messanordnung zur Bestimmung der longitudinalen und der transversalen Schallgeschwindigkeit eines Festkörpers aus den Grenzwinkeln der Totalreflexion.

AUFBAU

- Ultraschall-Echoskop an PC anschließen.
- Ggf. Auswertesoftware auf PC installieren.
- Beide Ultraschallsonden in Sondenhalter befestigen.
- Erste Sonde an den Ausgang PROBE 1, die zweite an den Ausgang PROBE 2 des Ultraschall-Echoskops anschließen.

DURCHFÜHRUNG

- Ultraschall-Echoskop einschalten und Auswertesoftware starten.

a) Laufzeitmessungen an Longitudinalwellen:

- Stirnfläche der Ultraschallsonden mit einer dicken Schicht Ultraschall-Koppelgel bestreichen und die Sonden fest an die Stirnseiten des langen Polyacryzylinders drücken.
- Signalstärke OUTPUT dB, Verstärkung GAIN dB, sowie die Parameter THRESHOLD, WIDE und SLOPE am Ultraschall-Echoskop so einstellen, dass ein möglichst großes, aber nicht übersteuertes Laufzeitsignal gemessen wird.
- Laufzeit t vom Beginn des Sendeimpulses bis zum Beginn des Empfangsimpulses messen und in Tab. 1 notieren.
- Gleiche Messung am mittleren und am kurzen Polyacrylzylinder durchführen und Laufzeiten in Tab. 1 notieren.

b) Longitudinal- und Transversalwellen:

- Poylacrylzylinder durch Schalltrog ersetzen und Ultraschallsonden fest an die Längsseiten drücken.
- Schalltrog mit Wasser füllen.
- Signalstärke OUTPUT dB, Verstärkung GAIN dB, sowie die Parameter THRESHOLD, WIDE und SLOPE am Ultraschall-Echoskop so einstellen, dass ein möglichst großes, aber nicht übersteuertes Laufzeitsignal gemessen wird.
- Beginn des Empfangsimpulses auf dem Bildschirm mit Cursor markieren.
- Aluminiumplatte mit Probenhalter senkrecht zum Strahlengang einsetzen und Aufspaltung und Verschiebung des Laufzeitsignals beobachten.
- Aluminiumplatte drehen und Winkel α_L bestimmen, bei dem das durch Longitudinalwellen hervorgerufene (das linke) Signal verschwindet.
- Aluminiumplatte weiter drehen und Winkel α_T bestimmen, bei dem auch das durch Transversalwellen hervorgerufene (das rechte) Signal verschwindet.
- Aluminiumplatte mit Probenhalter durch Polyacrylplatte mit Probenhalter ersetzen und senkrecht zum Strahlengang stellen.
- Polyacrylplatte drehen und Winkel α_L bestimmen, bei dem das durch Longitudinalwellen hervorgerufene (das linke) Signal verschwindet.
- Polyacrylplatte weiter drehen und Winkel α_T bestimmen, bei dem auch das durch Transversalwellen hervorgerufene (das rechte) Signal verschwindet.

MESSBEISPIEL UND AUSWERTUNG

a) Bestimmung der Laufzeiten:

Tab. 1: Laufzeiten *t* in Polyacrylkörpern der Länge *s*

s / mm	*t* / µs
40	15,7
80	30,6
120	45,3

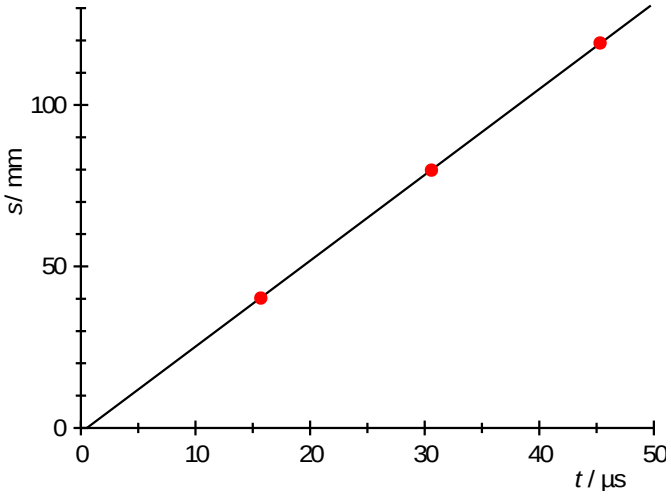


Fig. 4: *s*-*t*-Diagramm des Ultraschallsignals in Polyacryl

Die Messdaten der Tab. 1 liegen in einem *s*-*t*-Diagramm nicht auf einer Ursprungsgeraden (siehe Fig. 4), da die Laufzeit des Ultraschallsignals durch die Anpassungs- und Schutzschicht der Ultraschallsonden systematisch mitgemessen wird. Dennoch lässt sich aus der Steigung der Geraden die longitudinale Schallgeschwindigkeit in Polyacryl bestimmen. Man erhält

$$v_L = 2660\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

b) Longitudinal- und Transversallwellen:

Tab. 2: Messtabelle mit den Grenzwinkeln der Totalreflexion für Longitudinal- und Transversalwellen

	Polyacryl	Aluminium
α_L	33°	14°
$\sin \alpha_L$	0,54	0,24
v_L / m/s	2700	6100
α_T	86°	29°
$\sin \alpha_T$	0,998	0,48
v_T / m/s	1500	3100
μ	0,29	0,33
G / MPa	2700	25000
E / MPa	6900	67000
ρ / g/cm³	1,2	2,7

Unter Anwendung von Gl. 5 werden in Tab. 2 aus den Grenzwinkeln der Totalreflexion die Schallgeschwindigkeiten berechnet. Dabei wird für die Schallgeschwindigkeit in Wasser der Wert.

$$c = 1485\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

eingesetzt.

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

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

Somit lassen sich bei bekannter Dichte ρ die elastischen Konstanten berechnen.

© Copyright 2016 3B Scientific GmbH