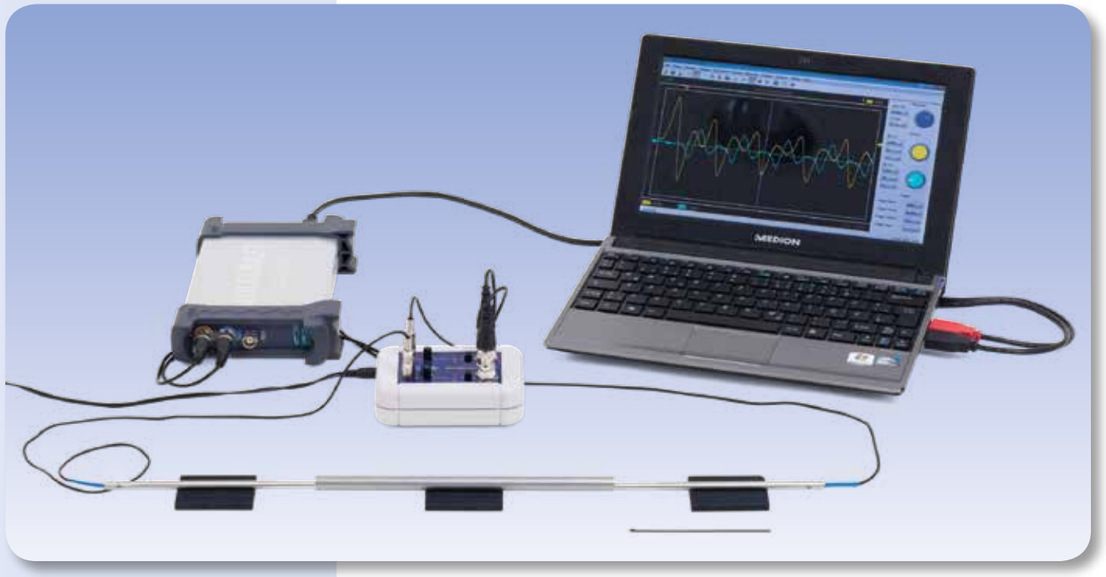
UE1070410 SCHALLAUSBREITUNG IN STÄBEN



AUFGABEN

- **Impulsartige Erregung von longitudinalen Schallwellen in Stäben und Detektion mit zwei Mikrofonsonden**
- **Analyse der Schallimpulse in Abhängigkeit von Material und Länge der Stäbe mit einem Oszilloskop**
- **Bestimmung der longitudinalen Schallgeschwindigkeiten der Materialien aus den Laufzeiten der Schallimpulse**
- **Bestimmung der Elastizitätsmodule der Materialien aus den longitudinalen Schallgeschwindigkeiten und den Dichten**

Technische Informationen zu den Geräten finden Sie unter 3bscientific.com

2

ZIEL

Untersuchung longitudinaler Schallwellen in Rundstäben und Bestimmung der longitudinalen Schallgeschwindigkeit

ZUSAMMENFASSUNG

Schallwellen können sich in Festkörpern als Longitudinal-, Transversal-, Dehn- oder Biegewellen ausbreiten. Eine elastische Longitudinalwelle breitet sich in einem Stab durch eine periodische Abfolge von Dehnung und Spannung in Längsrichtung des Stabes aus. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit hängt nur vom Elastizitätsmodul und der Dichte des Materials ab, wenn der Durchmesser des Stabes deutlich kleiner als seine Länge ist. Sie wird im Experiment aus den Laufzeiten der Schallimpulse nach impulsartiger Erregung bestimmt.

BENÖTIGTE GERÄTE

Anzahl	Geräte	Art.-Nr.
1	Gerätesatz „Schallausbreitung in Stäben“ (230 V, 50/60 Hz)	**1018469 oder**
	Gerätesatz „Schallausbreitung in Stäben“ (115 V, 50/60 Hz)	**1018468**
1	USB-Oszilloskop 2x50 MHz	**1017264**
2	BNC-Kabel, 1 m	**5007670**

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Schallwellen können sich nicht nur in Gasen oder Flüssigkeiten, sondern auch in Festkörpern ausbreiten. In Festkörpern können Longitudinal-, Transversal-, Dehn- oder Biegewellen auftreten.

Eine elastische Longitudinalwelle breitet sich in einem Stab durch eine periodische Abfolge von Dehnung und Spannung in Längsrichtung des Stabes aus. Die Dehnung wird durch eine periodische Auslenkung der Atome aus ihren Ruhelagen verursacht. Bei einem Stab, dessen Durchmesser deutlich

kleiner als seine Länge ist, ist die Querkontraktion vernachlässigbar, d.h. für die Poissonzahl gilt in sehr guter Näherung $\mu = 0$. Der Zusammenhang zwischen den zeitlichen und räumlichen Änderungen von Spannung σ und Auslenkung ξ wird in diesem Fall durch folgende Gleichungen beschrieben:

(1) $$\frac{\partial\sigma}{\partial x} = \rho \cdot \frac{\partial v}{\partial t} \quad \text{und} \quad \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{1}{E} \cdot \frac{\partial\sigma}{\partial t} \quad \text{mit} \quad v = \frac{\partial\xi}{\partial t},$$

ρ: Dichte des Stabmaterials,
E: Elastizitätsmodul des Stabmaterials

Daraus ergeben sich die Wellengleichungen

(2) $$\frac{\partial^2\sigma}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \cdot \frac{\partial^2\sigma}{\partial x^2} \quad \text{und} \quad \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}$$

mit der longitudinalen Schallgeschwindigkeit

(3) $$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}}.$$

Im Experiment werden longitudinale Schallwellen in Stäben unterschiedlicher Materialien und Längen durch impulsartige Erregung an einem Stabende erzeugt, mit Mikrofonsonden am erregten und am gegenüberliegenden Stabende detektiert und auf einem Oszilloskop dargestellt.
Die Stabenden stellen schallharte Grenzflächen dar, zwischen denen die Schallimpulse hin- und her laufen. Aus den Oszillogrammen werden die Laufzeiten der Schallimpulse bestimmt.
Bei langen Stäben sind die mehrfach reflektierten Schallimpulse zeitlich deutlich getrennt, bei kurzen Stäben können sie sich zu „stehenden Wellen“ überlagern.

AUSWERTUNG

Aus den Laufzeiten der Schallimpulse werden die longitudinalen Schallgeschwindigkeiten gemäß

(4) $$c_L = \frac{2 \cdot L}{T}, \quad L\text{: Stablänge}$$

bestimmt, da der Schallimpuls den Stab in der Zeit T zwei Mal durchläuft.
Aus den ermittelten Schallgeschwindigkeiten und den durch Wägung bestimmten Dichten der Materialien werden die Elastizitätsmodule nach (3) berechnet.

Tabelle 1: Für verschiedene Materialien gemessene longitudinale Schallgeschwindigkeiten c_L, Dichten ρ und Elastizitätsmodule E.

Material	c_L **(m / s)**	ρ **(g / cm³)**	E **(m / s)**
Glas	5370	2,53	73
Aluminium	5110	2,79	73
Holz (Buche)	5040	0,74	19
Edelstahl	4930	7,82	190
Kupfer	3610	8,84	115
Messing	3550	8,42	106
Acrylglas	2170	1,23	6
PVC	1680	1,50	4

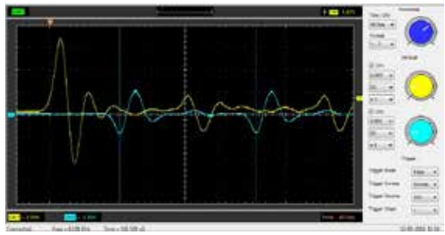


Abb. 1: Ausbreitung eines Schallimpulses, Signal am erregten Stabende (Gelb) (Edelstahlstab, 400 mm).

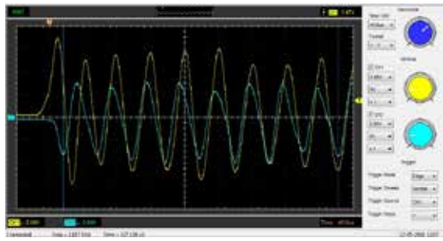


Abb. 2: Stehende Welle, Signal am erregten Stabende (Gelb) (Edelstahlstab, 100 mm)

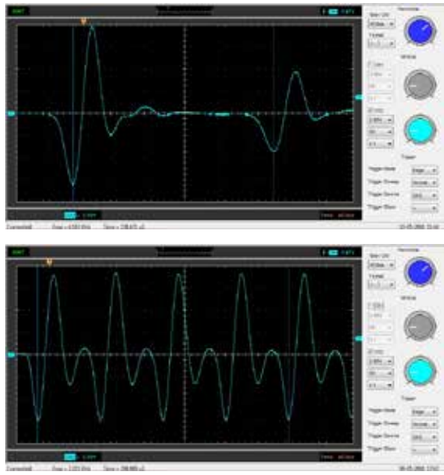


Abb. 3: Ausbreitung eines Schallimpulses (oben: PVC-Stab, 200 mm, unten: Glasstab, 200 mm), Signal an dem der Erregung gegenüberliegenden Stabende (cyan)

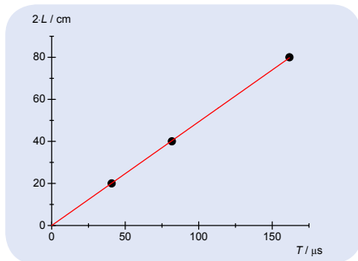


Abb. 4: Doppelte Stablänge $2 \cdot L$ in Abhängigkeit der Laufzeit T für die Edelstahlstäbe