

Bestimmung der Schallgeschwindigkeit mit Hilfe des Piezoelektrischen Effekts



Sowas Praktikum 2016 Gruppe N

Teilnehmer: Sebastian Gallon, Lukas Linzen, Nikolai Spitzer, Christopher Wenzel

Gruppenleiter: Patrik Gawliczek

RUB

Motivation

Der piezoelektrische Effekt findet in vielen Bereichen der Technik Anwendung. Insbesondere in der Analyse und Aufnahme von Schallwellen.

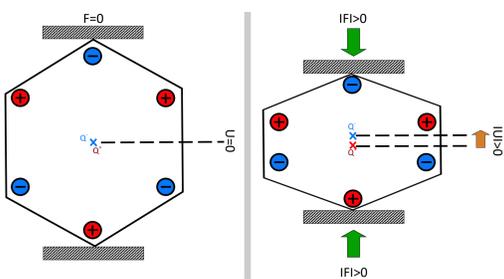
Im spezifischen Fall des Körperschalls können so Rissentstehung und Materialversagen registriert werden.

In diesem Projekt geht es darum, die Schallgeschwindigkeiten in unterschiedlichen festen Medien mit Hilfe des Piezoelektrischen Effektes, zu bestimmen.

Physikalische Grundlagen

Der Piezoelektrischen Effekt wird in den direkten piezoelektrischen Effekt (Umwandlung mechanischer Energie in elektrische Energie) und den reziproken piezoelektrischen Effekt (Umwandlung elektrischer Energie in mechanische) unterteilt.

Beim direkten piezoelektrischen Effekt werden neutral geladene Kristalle mit lokalen Nettoladungen gestaucht bzw. gestreckt. Dadurch verschieben sich sowohl die Ladungen innerhalb des Kristalles als auch die Ladungsschwerpunkte. Der Kristall ist nun elektrisch polarisiert.



Die Grundgleichung des Piezoelektrischen Effektes lautet (mit skalaren Größen):

$$P = d \cdot t$$

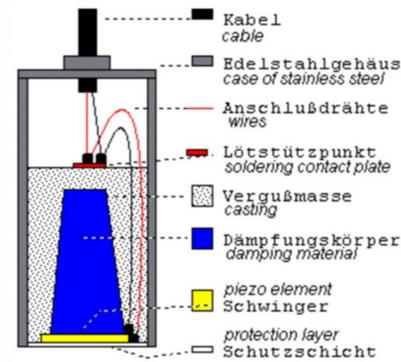
Mit der Polarisation P, der Proportionalitätskonstante d und der mechanischen Spannung t.

Ein natürliches piezoelektrisches Material ist α -Quarz (SiO_2). Im Experiment wurden Piezoelemente aus dem synthetischen Material PZT (Blei-Zirkonat-Titanat) verwendet.

Bau der Piezosonden

Die Piezosonden dienen für dieses Experiment zur Umwandlung von mechanischen Schwingungen in oszillierende Spannungssignale. Dabei können sie in beide Richtungen als Empfänger (mechanisch \rightarrow elektrisch) und als Sender (elektrisch \rightarrow mechanisch) genutzt werden.

Der Aufbau der Piezosonden ist in untenstehender Abbildung schematisch dargestellt.



Zunächst werden an die Piezokristalle Kabel gelötet. Diese werden dann mit Bananensteckern und Koaxialadaptern versehen, um sie an die konventionellen messtechnischen Geräte anschließen zu können.

Zusammen mit dem Dämpfungskörper wird der Piezokristall im Metallgehäuse fixiert und mit einer Härtemasse vergossen. Von unten wird mit Klebeband der Piezokristall mit einer Schutzschicht versehen. Nach dem Aushärten kann die Piezsonde an verschiedene Messgeräte angeschlossen werden, um Messungen zu realisieren.

Versuchsaufbau & Durchführung

Zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeiten in verschiedenen Metallen, wird die Methode der Laufzeitanalyse genutzt:

Die Stäbe werden an zwei Punkten auf Stative gelegt. Auf einer Seite wird eine Piezsonde an dem Stab angebracht. Die Piezsonde wird mittels eines ADC an einen Laptop mit Labview angeschlossen, welcher eine Zeit-Spannungs-Kurve mit 10^5 Werten pro Sekunde aufnimmt.



Mithilfe eines kurzen Metallzylinders werden die Stäbe am freien Ende manuell angeregt und die Spannung, welche durch die ankommende Welle und deren Reflexionen im Piezokristall erzeugt wird, vom Laptop aufgezeichnet.

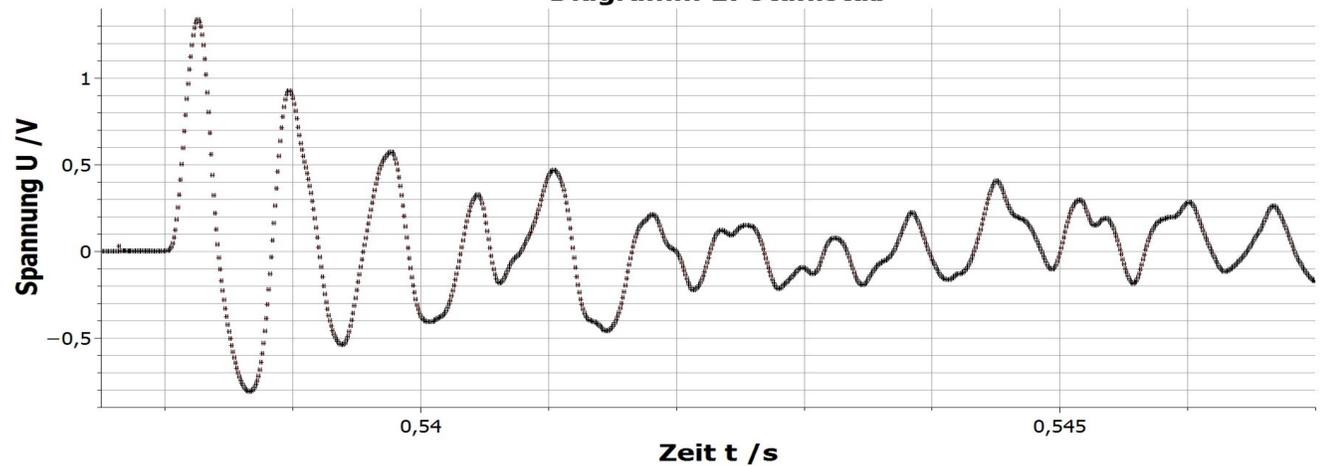
Drei Metallstäbe werden auf ihre Schallgeschwindigkeit untersucht. Dabei wurden zu jedem Stab zehn Messungen durchgeführt.

Fazit

Der Graph zeigt die Mehrfachreflexionen eines Schallimpulses an den Stabenden. Von Peak zu Peak durchquert der Impuls die 2-fache Stablänge $2l$. Die Schallgeschwindigkeit c im Stab berechnet sich also folgendermaßen:

$$c = \frac{2l}{\Delta t}$$

Diagramm 1: Stahlstab



Zur Bestimmung von Δt wurden die ersten beiden Peaks jeder Messung benutzt, um so den Fehler möglichst gering zu halten. Die Fehler wurden mithilfe der Standardabweichung bestimmt.

Diagramm 2: Datenablesung



Material	Geschwindigkeit (m/s)	Literaturwerte (m/s)
Aluminium	4917 +/- 308	5080
Messing	3420 +/- 260	3490
Stahl	4440 +/- 110	5000-5920

Die gemessenen Schallgeschwindigkeiten von Aluminium und Messing stimmen sehr gut mit den Literaturwerten überein. Dagegen weicht die Schallgeschwindigkeit im Stahlstab deutlich von den Literaturwerten ab. Jedoch ist die genaue Stahlsorte des Stabes nicht bekannt, sodass der wirkliche Fehler schwer abzuschätzen ist.

Eine mögliche Erklärung für eine zu geringe Schallgeschwindigkeit sind innere Schäden im Stahlstab. So können Risse im Stab den Schallimpuls bremsen und führen dadurch zu längeren Laufzeiten, die sich als reduzierte Geschwindigkeit äußern.

Quellen

- Bücher: Demtröder, Wolfgang: Experimentalphysik 1.
 Demtröder, Wolfgang: Experimentalphysik 2.
 Ikeda, Takuru: Fundamentals of Piezoelectricity
 Rose, Joseph L.: Ultrasonic Waves in Solid Media.
 Rosen, Carol Z. [Hrsg.]: Piezoelectricity
 Sheludew, Ivan S.: Elektrische Kristalle
 Walcher, Wilhelm: Praktikum der Physik

Internet:

- <http://www.piceramic.de/piezo-technologie/grundlagen.html> (PI Ceramic)
<http://www.vetsuisse-bern.ch/~vet-iml/lernmodule/htmls/slide.html?radiosurfvet%7Cradgeneral%7Csonography%7Csonobasics%7C2> (Univeristet Bern)