1.8 Schallgeschwindigkeit in Metallen

1 Einführung

In festen elastischen Medien sind sowohl Longitudinalwellen (Verdichtungswellen) als auch Transversalwellen (Verformungen) möglich. Dies entspricht der Eigenschaft fester Stoffe, dass sie auf zwei verschiedene Arten elastisch deformiert werden können. Entweder verändert sich das Volumen oder die Gestalt. Die Volumenänderungen hängen von dem Elastizitätsmodul E, die Gestaltsänderungen hingegen von dem Schub- oder Torsionsmodul G (siehe auch Versuch 1.4) ab. Da bei Longitudinalwellen nur Verdichtungen und Verdünnungen erzeugt werden, sind sie in allen Medien möglich, die eine Volumenelastizität besitzen, d.h. neben festen auch in flüssigen und gasförmigen Stoffen.

Für die Ausbreitungsgeschwindigkeit c von longitudinalen Wellen in Stäben (zur Unterscheidung von Longitudinalwellen im unbegrenzten Medium werden diese auch Dehnungswellen genannt) liefert die Theorie den Ausdruck:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}. \tag{1}$$

ρ ist Dichte des Materials. Diese Gleichung gilt jedoch nur, solange die Querabmessungen des Stabes klein gegen die Wellenlänge sind. Im Gegensatz hierzu liefert die Theorie für ein unendlich ausgedehntes festes Medium einen komplizierteren Ausdruck für die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer longitudinalen Welle:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}\cdot\frac{1-\mu}{(1+\mu)\cdot(1-2\mu)}}. \tag{2}$$

Hier bei ist μ die Poisson-Zahl. Für die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer longitudinalen Welle in einem unendlich ausgedehnten festen Medium ergibt sich also ein größerer Wert als in einem seitlich begrenzten Stab.

2 Versuchsaufbau und -durchführung

Mit einem Impulsgenerator werden periodische Spannungsimpulse mit einer steilen negativen Vorderflanke erzeugt. Diese Impulse werden an Bariumtitanatkristalle gelegt, die auf die Endflächen von vier Metallstäben geklebt sind. Durch den piezo-elektrischen Effekt werden die Impulse in mechanische Impulse in Längsrichtung der Stäbe umgeformt. Diese Impulse durchlaufen die Stäbe mit Schallgeschwindigkeit, werden an einer Störung (offenes Ende oder aufgesetzte Masse) reflektiert und im Kristall wieder in Spannungsimpulse umgewandelt. Startimpuls und reflektierter Impuls können mit einem Oszilloskop beobachtet, und die Laufzeit gemessen werden. Das reflektierte Signal besteht aus einem ganzen Schwanz von Schwingungen, die durch Eigenschwingungen des Kristalls nach der Impulsanregung entstehen. Die Antwort auf die anregende Flanke ist der Einsatzpunkt dieser Schwingungen mit dem richtigen Vorzeichen. Um den Einsatzpunkt der erregenden Flanke beobachten zu können, wird das Oszilloskop durch einen Impuls getriggert, der dem eigentlichen Signal vorausläuft (Triggerausgang des Generators). Zur Kalibrierung der Zeitachse des Oszilloskops steht ein Signal mit einer Frequenz von 7,8125 kHz zur Verfügung. Um den Schirm des Ozilloskops voll auszunutzen, sind eine geeignete Zeitablenkung, x-Verstärkung und x-Verschiebung am Oszilloskop einzustellen.

Aufgaben:

2.1 Kalibrieren Sie die Zeitachse des Oszilloskops. Messen Sie dazu die Laufzeit über die volle Stablänge, und nutzen Sie die Schirmbreite voll aus. Bestimmen Sie die Zahl der abgebildeten Perioden des

Kalibriersignals pro Längeneinheit auf dem Bildschirm. Daraus ergibt sich der Kalibrierfaktor (Zeit/Länge) mit zugehörigem Fehler. Vernachlässigen Sie den Frequenzfehler des Kalibrieroszillators. Berechnen Sie aus den ermittelten Messwerten zur Kontrolle die Schallgeschwindigkeit.

2.2 Messen Sie die Laufzeit des Echos mit einer angeschraubten Masse in verschiedenen Positionen. Verändern Sie die Kalibrierung hierbei nicht.
Hinweis: Die Schrauben der Masse müssen möglichst fest angezogen werden, um ein sichtbares Signal zu erhalten

Material	ρ in kg/m^3
Aluminium	$(2{,}70 \pm 0{,}05) \cdot 10^3$
Eisen	$(7{,}86 \pm 0{,}05) \cdot 10^3$
Messing	$(8{,}400 \pm 0{,}005) \cdot 10^3$
Kupfer	$(8{,}940 \pm 0{,}005) \cdot 10^3$

Tabelle 1: Dichtewerte der verschiedenen Metalle

2.3 Tragen Sie die Messpunkte mit Fehlerbalken in ein Diagramm ein, und ermitteln Sie die Schallgeschwindigkeiten nach dem Verfahren der linearen Regression (grafisch und rechnerisch).

2.4 Berechnen Sie die Elastizitätsmodule und deren Fehler.

Literatur:

Bergmann, Schäfer:	Lehrbuch der Experimentalphysik Band 1 (Mechanik, Akustik, Wärme)
Meschede:	Gerthsen Physik
Hering, Martin, Stohrer:	Physik für Ingenieure
Walcher:	Praktikum der Physik, Kap. 2.7

Geräte:

Messstrecke (4 Stäbe aus verschiedenen Metalle mit Piezokristallen), Impulsgenerator, Oszilloskop, Messband

9.2012/Ra