

V10: Ultraschall

PRAKTISCHE ÜBUNGEN IN PHYSIK FÜR MEDIZINER, ZAHNMEDIZINER UND BIOLOGEN

STAND: 28. MÄRZ 2019

EINLEITUNG

Als Ultraschall bezeichnet man die Schallwellen, die eine höhere Frequenz als ca. 16 kHz haben und somit für den Menschen unhörbar sind.

In diesem Versuch lernen Sie die physikalischen Grundlagen des Ultraschalls kennen. Dabei wird mit drei verschiedenen Aufbauten die Schallgeschwindigkeit ermittelt und Sie lernen typische Anwendungsverfahren (wie das Echolot) kennen.

Zur Durchführung der Versuche stehen zwei piezoelektrische Ultraschallwandler zur Verfügung, die sowohl als Sender, als auch als Empfänger genutzt werden können. Der Sender wird über einen Funktionsgenerator angesteuert, der wahlweise im Dauerbetrieb eine gleichförmige Sinusschwingung liefert oder im Pulsbetrieb im Abstand von 80 ms einen Schallimpuls von 0,2 ms Dauer aussendet. Das Signal des Empfängers ist sehr schwach und muss vor der Darstellung am Oszilloskop verstärkt werden.

I. BESTIMMUNG DER WELLENLÄNGE EINER ULTRASCHALLWELLE SOWIE DER SCHALL-(PHASEN-)GESCHWINDIGKEIT IN LUFT

In diesem Versuchsteil soll über den Zusammenhang $c = \lambda\nu$ die Schallphasengeschwindigkeit in Luft bestimmt werden. Hierzu werden in einem ersten Schritt die Resonanzfrequenzen des Ultraschallwandlers bestimmt. Dann wird durch Verschiebung des Empfängers die Wellenlänge ermittelt, sodass die Schallgeschwindigkeit berechnet werden kann.

VERSUCHSAUFBAU

Die beiden Ultraschallwandler werden auf Stativhaltern montiert und im Abstand von ca. 50 cm zueinander ausgerichtet. Der Funktionsgenerator wird auf Dauerbetrieb geschaltet. Das Signal des Funktionsgenerators (bzw. dessen Triggerausgangssignal) wird auf Kanal 1 des Oszilloskops gelegt (Einstellungen des Oszis: 2 V/Div, 5 μ s/Div, Trigger: intern, AUTO, CH1). Das Signal des Empfängers wird auf Kanal 2 des Oszilloskops beobachtet (Einstellung ca. 0,5 V/Div).

Denken Sie daran, dass das Oszilloskop die Signale nicht verändert, es ändert lediglich die Darstellung.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Variieren Sie die Frequenz des Funktionsgenerators. Das Signal am Oszilloskop zeigt eine maximale Amplitude bei den Resonanzfrequenzen des Ultraschallwandlers. (Benötigt für Teil III) Lesen Sie die Schwingungsdauer ab.

Stellen Sie den Funktionsgenerator auf eine Resonanzfrequenz ein. Verschieben Sie nun Sender und Empfänger relativ zueinander und beobachten Sie die Phasenverschiebung. Der Empfänger wird solange verschoben, bis eine Phasenverschiebung von wenigstens 10 vollen Schwingungen beobachtet werden.

VERSUCHSAUSWERTUNG

Bestimmen Sie aus der abgelesenen Schwingungsdauer die Resonanzfrequenzen der Ultraschallwandler. Schätzen Sie die Messungenauigkeit ab.

Bestimmen Sie die Wellenlänge der Ultraschallwelle aus der Verschiebungsstrecke. Schätzen Sie auch hier die Messungenauigkeit ab.

Berechnen Sie mit Hilfe der zuvor ermittelten Frequenz und der bestimmten Wellenlänge die Geschwindigkeit der Ultraschallwelle. Bestimmen Sie die statistische Unsicherheit mittels GAUSS'scher Fehlerfortpflanzung.

II. BESTIMMUNG DER SCHALL-(GRUPPEN-)GESCHWINDIGKEIT NACH DEM ECHOLOT-VERFAHREN

Ein Schallimpuls, der eine Laufstrecke s zurücklegt, benötigt dazu eine Laufzeit t . Die Schallgruppengeschwindigkeit ist dann durch $c = s/t$ gegeben.

VERSUCHSAUFBAU

Sender und Empfänger werden nebeneinander aufgebaut und auf eine Reflexionsplatte im Abstand d ausgerichtet. Achten Sie dabei darauf, dass der Abstand zwischen Sender und Empfänger ca. 10 cm beträgt. Schalten Sie den Funktionsgenerator auf Impulsbetrieb um. Der Ausgang des Funktionsgenerators wird

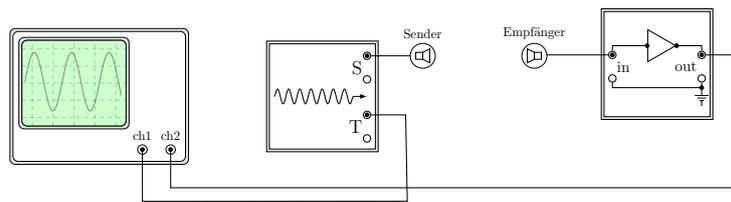


Abbildung 1: Aufbau für die Messung der Phasengeschwindigkeit in Luft.

auf Kanal 1 des Oszilloskops gelegt (Einstellungen des Oszilloskops: 2 V/Div, 1 ms/Div, Trigger NORMAL). Das Empfängersignal wird auf Kanal 2 des Oszilloskops eingespeist (Einstellungen: 0,1 V/Div).

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Messen Sie den Abstand d , sowie die Laufzeit des Signals t . Wiederholen Sie die Messung für vier weitere Abstände.

VERSUCHSAUSWERTUNG

Tragen Sie $s = 2d$ gegen t graphisch auf. Bestimmen Sie aus der Steigung der Geraden die Gruppengeschwindigkeit c und die Unsicherheit des ermittelten Wertes.

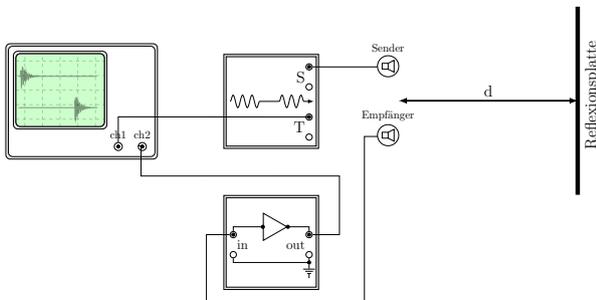


Abbildung 2: Aufbau für die Messung der Gruppengeschwindigkeit mit dem Echolot-Verfahren.

III. BESTIMMUNG DER SCHALLWELLENLÄNGE NACH PIERCE

Lässt man die von einem Ultraschallsender erzeugte Schallwelle senkrecht auf eine Platte im Abstand D fallen und reflektieren, so kann sich zwischen der Stirnfläche des schwingenden Quarzes und der Reflektorplatte eine stehende Schallwelle ausbilden, wenn der Abstand D der Bedingung

$$D = (2n + 1) \cdot \lambda/4 \quad (1)$$

genügt. Die stehende Welle hat am Sender einen Schwingungsbauch, an der reflektierenden Platte einen

Knoten. Unter der Bedingung verbraucht der Sender besonders viel Strom, was mittels eines vorgeschalteten Mikroamperemeters beobachtet werden kann.

VERSUCHSAUFBAU

Der Sender wird mit einem zwischengeschalteten Amperemeter an den Funktionsgenerator angeschlossen. Er wird über einer Reflektorplatte montiert, die mit einem Hebetisch in der Höhe verstellt werden kann. Der Funktionsgenerator steht wieder auf Dauerbetrieb. Die im ersten Versuchsteil bestimmte Resonanzfrequenz muss sehr genau eingestellt sein, damit der Effekt gut sichtbar ist. Zwischen Funktionsgenerator und Wandler wird das Mikroamperemeter geschaltet. Der Ultraschallwandler wird so dicht wie möglich über der in der Höhe voll ausgefahrenen horizontalen Reflektorplatte montiert.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Der Abstand Platte - Wandler wird kontinuierlich vergrößert. Von jeweils einem Strommaximum zum nächsten wird der Abstand D an der Skala des Hebetisches abgelesen. Messen Sie über vier bis fünf Maxima.

VERSUCHSAUSWERTUNG

Bestimmen Sie die Wellenlänge mit Hilfe von Gleichung 1 und den gemessenen Abständen. Aus der so bestimmten Wellenlänge und der eingestellten Frequenz können Sie die Phasengeschwindigkeit c bestimmen. Vergleichen Sie das Ergebnis mit den vorherigen Ergebnissen. Verzichten Sie auf eine Fehlerbetrachtung.

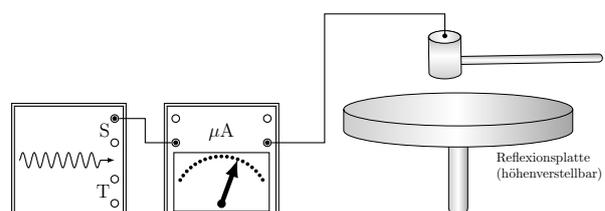


Abbildung 3: Aufbau für die Messung der Gruppengeschwindigkeit nach PIERCE.