

# **Laborpraktikum Prozessmesstechnik**

Piezoelektrische Wandler

LV-Nummer: 146307

Lehrveranstaltungsleiter: Prof. Dr. Alexander Sutor  
Semester: WS 22/23

von

Alex Unterkircher 11817754  
Stefan Kaufmann 51867606

Innsbruck, Januar 2023

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>1 Grundlagen</b>	<b>1</b>
<b>2 Aufbau</b>	<b>2</b>
2.1 Charakteisierung des Wandlers . . . . .	2
2.2 Messung der Schallgeschwindigkeit . . . . .	2
2.3 Materialprüfung . . . . .	3
<b>3 Messungen</b>	<b>4</b>
3.1 Charakteisierung des Wandlers . . . . .	4
3.2 Messung der Schallgeschwindigkeit . . . . .	5
3.3 Materialprüfung . . . . .	6
<b>4 Auswertung</b>	<b>8</b>
4.1 Charakteisierung des Wandlers . . . . .	8
4.2 Messung der Schallgeschwindigkeit . . . . .	9
4.3 Materialprüfung . . . . .	9
<b>5 Zusammenfassung</b>	<b>11</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>12</b>

# **Abbildungsverzeichnis**

1.1	Piezoelektrische Scheibe mit Ersatzschaltbild [1]	1
2.1	Messaufbau Schallgeschwindigkeit zweiter Versuch	3
3.1	Impedanzgang des Piezowandlers	4
3.2	Impedanzgang unterhalb der ersten Resonanz	5
3.3	Gegenüberstellung der Laufzeitmessung bei einer Anregung von $V_{pp} = 5 \text{ V}$ , $f = 1 \text{ MHz}$	7

# **Tabellenverzeichnis**

3.1 Laufzeitmessung bei unterschiedlichen Frequenzen und Empfangsamplitude . . . . . 6

# 1 Grundlagen

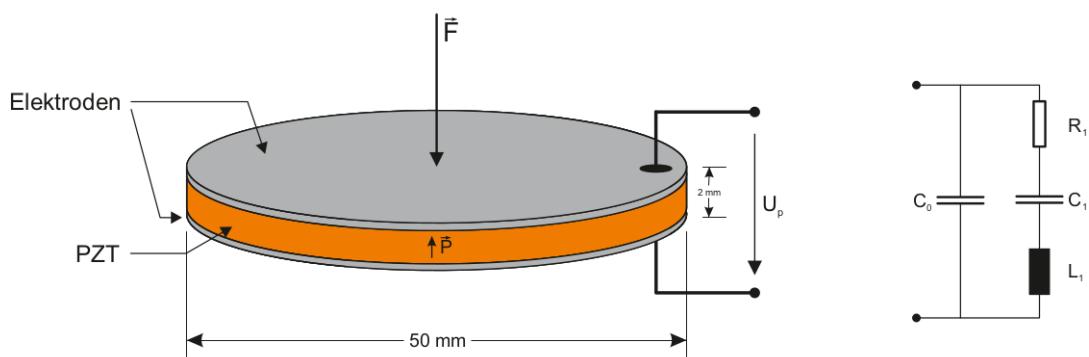


Abbildung 1.1: Piezoelektrische Scheibe mit Ersatzschaltbild [1]

## 2 Aufbau

Der Versuchsaufbau ist in drei Aufbauten unterteilt. Der erste befasst sich mit der Charakterisierung des piezoelektrischen Wandler. Aufbau zwei und drei befassen sich mit der Messung der Schallgeschwindigkeit bzw. die Messung der Laufzeit des Signals. Für die Aufbauten zwei und drei wird eine Benetzung der Kontaktflächen mit Ultraschallgel vorrausgesetzt.

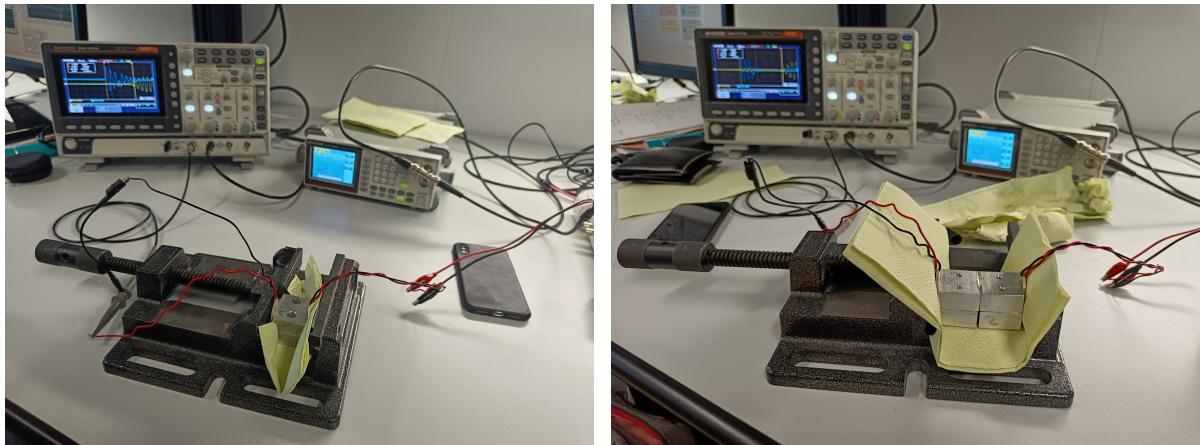
### 2.1 Charakterisierung des Wandlers

Zur Messung des Impedanzgangs des Wandlers wird der Piezo in Serie mit einem definierten Widerstand geschalten. Der Widerstand dient dabei zur bestimmung des Stromes. Dabei wird die Spannung vor und nach dem Widerstand ( $51\Omega$ ,  $2200\Omega$ ) abgegriffen. Daraus kann der Strom berechnet werden  $I = \frac{U}{R}$ . Die Auswertung erfolgt über eine Frequnezmodulation bei einer Amplitude von  $V_{pp} = 5V$  über das LabVIEW-Programm impedance.vi [1].

### 2.2 Messung der Schallgeschwindigkeit

Die Schallgeschwindigkeit wird über zwei Piezowandler und dem einem Probekörper gemessen. Ein Wandler wird dabei an einen Funktionsgenerator angeschlossen ( $V_{pp} = 5V, f = 800kHz, 1MHz, 1.4MHz$ ), dieser dient als Sender der Schallwelle. Der zweite Piezowandler wird gegenüber den ersten angebracht und an ein Oszilloskop angeschlossen. Der Aufbau ist in Abbildung 2.1 ersichtlich. Die Einspannung dient dabei der Fixierung des Aufbaus. Mittels der Laufzeit (Differenz aus Anregung und Empfang des ersten Messsignals) kann die Ausbreitungsgeschwindigkeit berechnet werden.  $c = \frac{\lambda}{T}$  Hierbei entspricht  $\lambda$  der Breite des Probelörpers und  $T$  der Laufzeit. Der Versuch wird anschließend mit zwei Probekörpern in Serie wiederholt.

## 2 Aufbau



a) Messaufbau mit einem Probekörper

b) Messaufbau mit zwei Probekörpern

**Abbildung 2.1:** Messaufbau Schallgeschwindigkeit zweiter Versuch

## 2.3 Materialprüfung

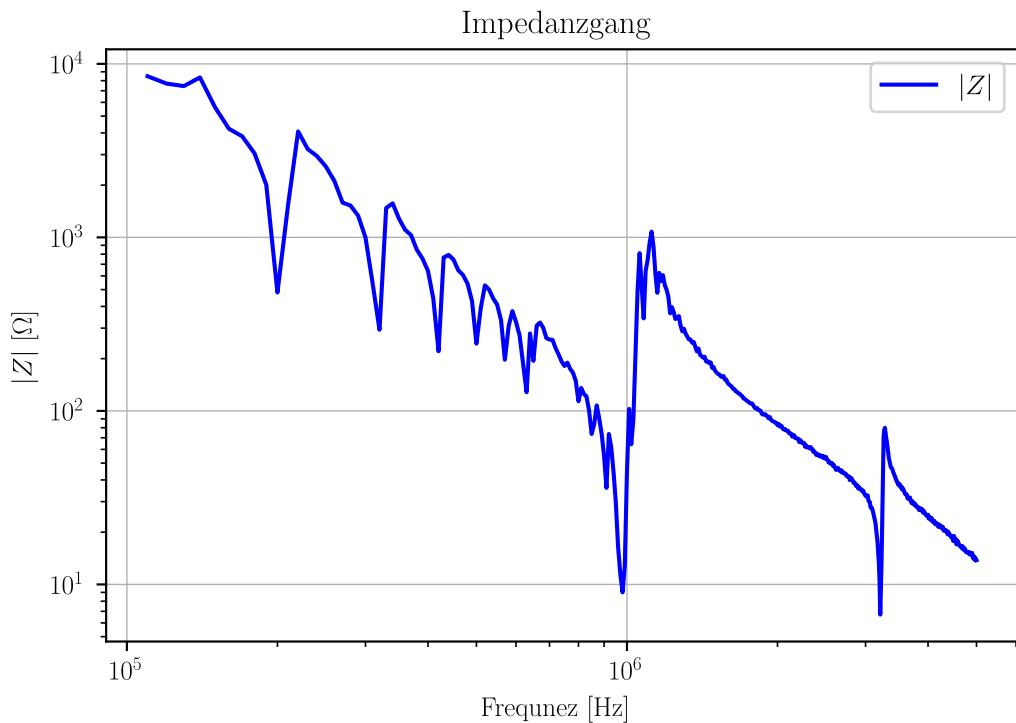
Für die Materialprüfung werden drei Probekörper vorbereitet. Einer besteht aus homogenen Material, einer beinhaltet kleine Lufteinschlüsse und ein weiterer große Lufteinschlüsse. Der Aufbau wird wie in Abschnitt 3.2 beschrieben durchgeführt. Der einzige Unterschied ist, dass die Probekörper parallel zur Schnittfläche untersucht werden.

# 3 Messungen

Das nachfolgende Kapitel legt die Ergebnisse der Messungen dar.

## 3.1 Charakterisierung des Wandlers

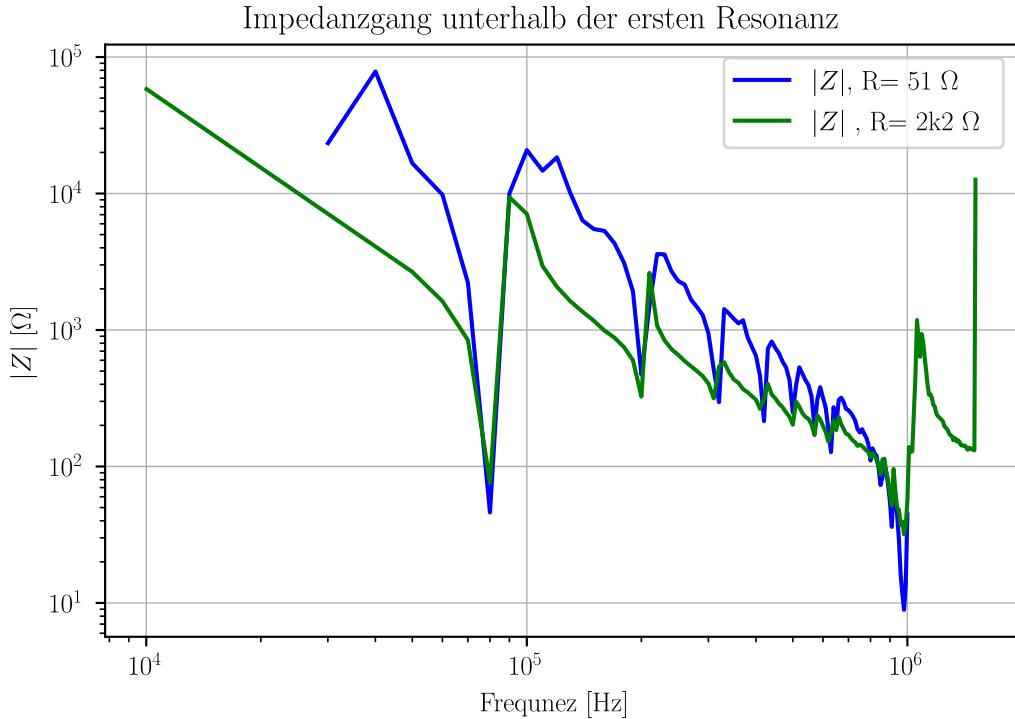
Die Ermittlung des Impedanzgangs ist in Abbildung 3.1 dargestellt. Hierbei wurde ein Serienwiderstand von  $51\Omega$  verwendet. Der Impedanzgang weist starke Ähnlichkeiten zum Impedanzgang eines Kondensators auf welche mit  $|Z| = \frac{1}{f_c}$  charakterisiert ist.



**Abbildung 3.1:** Impedanzgang des Piezowandlers

### 3 Messungen

Die genaue Untersuchung der Impedanz unterhalb der ersten Resonanz ist in Abbildung 3.2 dargestellt. Hierbei wird der Impedanzgang mit  $51\Omega$  und  $2200\Omega$  gegenübergestellt.



**Abbildung 3.2:** Impedanzgang unterhalb der ersten Resonanz

## 3.2 Messung der Schallgeschwindigkeit

Zur Messung der Schallgeschwindigkeit wird im ersten Versuchsaufbau ein Probenkörper mit der Breite 30 mm verwendet. Die Dicke des Piezos beträgt 2 mm. Es ergibt sich eine Laufzeit von  $6,1 \cdot 10^{-6}$  s. Beim zweiten Versuch eribt die Laufzeit  $10,3 \cdot 10^{-6}$  s. Über den Zusammenhang  $c = \frac{\lambda}{T}$  ergeben sich die Ausbreitungsgeschwindigkeiten zu :

$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{32mm}{6.1e-6s} = 5245.90 \frac{m}{s}$$

$$c = \frac{62mm}{6.1e-6s} = 6019.41 \frac{m}{s}$$

### 3 Messungen

## 3.3 Materialprüfung

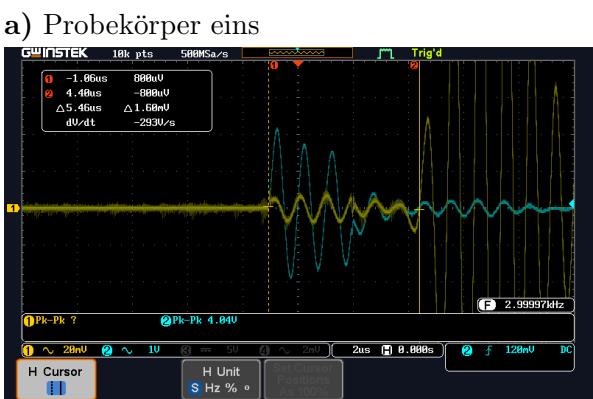
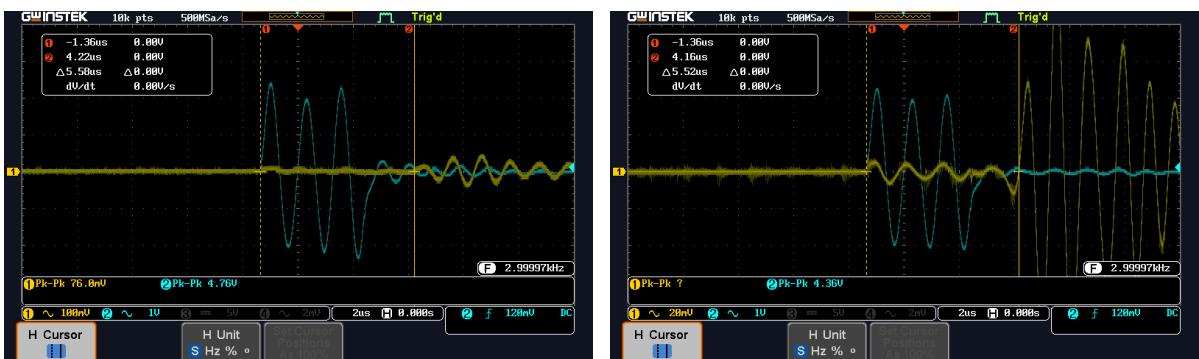
Die nachfolgende Tabelle stellt die Ergebnisse der Laufzeit der einzelnen Probekörpern bei unterschiedlichen Frequenzen dar. Alle Messungen befinden sich dabei zwischen 5,58  $\mu\text{s}$  und 6,10  $\mu\text{s}$ .

Probekörper Nr.	800 kHz	1 MHz	1,4 MHz
1	5.58	6.10	5.38
2	5.30	5.50	5.42
3	5.52	5.46	5.38

**Tabelle 3.1:** Laufzeitmessung bei unterschiedlichen Frequenzen und Empfangsamplitude

Abbildung 3.3 stellt die Laufzeitmessungen der Probekörper bei 1 MHz gegenüber. Dabei weisen die Amplitudenantworten abhängig vom untersuchten Körper unterschiedliche Amplituden auf. Die Schwingungsantwort von Probekörper einer weiß dabei die geringste und jene vom Körper drei die größte Amplitude auf.

### 3 Messungen



**Abbildung 3.3:** Gegenüberstellung der Laufzeitmessung bei einer Anregung von  $V_{pp} = 5 \text{ V}$ ,  $f = 1 \text{ MHz}$

# 4 Auswertung

Im nachstehenden Kapitel werden die Ergebnisse mit den Grundlagen aus Kapitel 1 gegenübergestellt. Daraus abgeleitet lassen sich Schlüsse über die Plausibilität der Messungen ableiten. Des Weiteren wird die Bedeutung der Resonanzen aus Abbildung 3.1 näher betrachtet.

## 4.1 Charakterisierung des Wandlers

Der Impedanzgang aus Abbildung 3.1 weist zwei eindeutige Resonanzfälle bei 1 MHz sowie bei 2,1 MHz auf. Der erste Resonanzfall stimmt mit dem theoretischen Resonanzfall sehr gut überein. Betrachtet man das Ersatzschaltbild aus Abbildung 1.1 entspricht das Minimum der Resonanz des mechanischen Systems. Das Maximum spiegelt jenes der Resonanz der Ersatzinduktivität mit dem theoretischen Kondensator  $C_0$  wieder. Bei der Anregung des Pizowandlers wird neben der Dickenresonanz auch weitere Moden angeregt. Dies ist eine Erklärung für den zweiten Resonanzfall, welcher die Resonanz in Radialer Richtung wiederspiegelt. Jene Resonanzfälle unterhalb von 1 MHz erfordern eine genauere Betrachtung. Bei niederen Frequenzen erhöht sich der Widerstand des Wandlers  $Z = \frac{1}{fC}$ . Dies hat einen geringeren Spannungsabfall am Vorwiderstand zur Folge, welche durch die endliche Auflösung des AD-Wandlers nicht hinreichend genau verarbeitet werden kann. Die Folge davon ist in Abbildung 3.2 dargestellt. Erhöht man den Vorwiderstand stellt sich eine Glättung der unteren Resonanzfälle ein. Diese verschwinden jedoch nicht vollständig. Eine Erklärung hierfür kann die ungleichmäßige Kontaktierung des Wandlers sein. Hier können parasitäre Kapazitäten ausbilden welche in Resonanz gehen. Eine weitere Erklärung liegt am Versuchsaufbau selbst. Der Piezowandler lag während der Messung am Labortisch. Damit kann es bei niederen Frequenzen zu mechanische Resonanzen zwischen dem Wandler und seiner Umgebung kommen. Eine theoretisch freie

## *4 Auswertung*

Schwingung konnte der Versuchsaufbau nicht wiederspiegeln. Weiters kann eine Wechselwirkung zwischen Radialer- und Dickenresonanz nicht ausgeschlossen werden.

### **4.2 Messung der Schallgeschwindigkeit**

Die erwartete Schallgeschwindigkeit von 5660 m/s konnte durch die Messung angenähert werden. Dies zeigt, dass eine Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wellen innerhalb eines Körpers mittels Piezowandler gemessen werden kann. Zur Sörungsfreien Ausbreitung des Schalls muss der Schall ungehindert durch den Körper wandern können. Stoßstellen befinden sich bei den Übergangsstellen zwischen dem Wandler und dem Probekörper und den beiden Probekörpern. Eine Beeinflussung des Gels auf die Messung kann damit nicht verhindert werden.

Bei der Messung der Schallgeschwindigkeit im Probekörper wurde ein Geschwindigkeitsunterschied von 14 % festgestellt. Hierbei ist hervorzuheben, dass eine kleine Änderung der Ausbreitungslänge, und damit der Pobendimensionen, einen Großen Einfluss auf das Endergebniss haben. Desweiteren wurde bei der Messung mit zwei Probekörpern unterschiedliche Proben verwendet.

### **4.3 Materialprüfung**

Bei dieser Messung ist der geringe Laufzeitunterschied der einzelnen Probekörper auffallend. Trotz unterschiedlicher Materialien innerhalb der Körper konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Dies kann auf zwei Gründe zurückzuführen sein. Die Störschicht ist so gering, dass diese die Messung nur gering beeinflussen konnte. Eine zweite Erklärung ist, dass die Störschicht nicht über die gesamte Breite des Körpers reicht. Damit breitet sich die eingebrachte Schwingung über die homogene Brücke im Material aus. Im Gegensatz zur Laufzeit wurden in Abbildung 3.3 deutliche Unterschiede in der Amplitud der Schwingungsantwort festgestellt. Dies deutet auf eine Energieumwandlung im Körper hin. Ursachen für eine Dämpfung am Übertragungsweg können Lufteinschlüsse darstellen. Die größte Dämpfung stellt sich bei Probekörper eins, die geringste bei Körper drei ein. Damit kann Probekörper drei als der homogene, Körper zwei als jener mit wenig Lufteinschlüssen und Probekörper

#### *4 Auswertung*

eins als jener mit großen Lufteinschlüssen identifiziert werden.

## **5 Zusammenfassung**

## **Literaturverzeichnis**

- [1] A. Sutor, *Laborpraktikum-Angaben*, UMIT, 2022.