



**HOCHSCHULE KONSTANZ TECHNIK, WIRTSCHAFT UND GESTALTUNG**  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**Signale, Systeme und Sensoren**

# **Fourieranalyse und Akustik**

**M. Kieser, J. Altmeyer**

**Konstanz, 30. November 2015**

## **Zusammenfassung (Abstract)**

Thema:	Fourieranalyse und Akustik	
Autoren:	M. Kieser	makieser@htwg-konstanz.de
	J. Altmeyer	jualtmey@htwg-konstanz.de
Betreuer:	Prof. Dr. Matthias O. Franz	mfranz@htwg-konstanz.de
	Jürgen Keppler	juergen.keppler@htwg-konstanz.de
	Martin Miller	martin.miller@htwg-konstanz.de

In diesem Versuch wird die Tonhöhe eines akustischen Signals und der Frequenzgang von zwei Lautsprechern ermittelt. Um die Tonhöhe eines Signals zu bestimmen, wird u.a. die Fourieranalyse verwendet. In dem dadurch entstandenen Spektrum lässt sich die Tonhöhe bzw. die Frequenz einfach ablesen. Im Ergebnis konnte eine Tonhöhe von 1923 Hz festgestellt werden. In dem jeweiligen Frequenzgang der beiden Lautsprecher zeigt sich, dass die Lautsprecher das Eingangssignal nicht linear wiedergeben.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Listingverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Versuch 1 - Bestimmung der Tonhöhe eines akustischen Signals</b>	<b>2</b>
2.1 Fragestellung, Messprinzip, Aufbau, Messmittel . . . . .	2
2.2 Messwerte . . . . .	2
2.3 Auswertung . . . . .	4
2.4 Interpretation . . . . .	5
<b>3 Versuch 2 - Frequenzgang von Lautsprechern</b>	<b>7</b>
3.1 Fragestellung, Messprinzip, Aufbau, Messmittel . . . . .	7
3.2 Messwerte . . . . .	8
3.3 Auswertung . . . . .	8
3.4 Interpretation . . . . .	8
<b>Anhang</b>	<b>11</b>
A.1 Quellcode für Versuche 1 - 2 . . . . .	11
A.2 Messergebnisse . . . . .	13
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>16</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Mundharmonika Signal von 25 ms Dauer . . . . .	3
2.2	Mundharmonika Signal Ausschnitt . . . . .	4
2.3	Amplitudenspektrum in Hertz (halblogarithmische Darstellung der Frequenz)	5
3.1	Frequenzgang des großen Lautsprechers . . . . .	9
3.2	Frequenzgang des kleinen Lautsprechers . . . . .	10
4.3	Messwerte des großen Lautsprechers . . . . .	14
4.4	Messwerte des kleinen Lautsprechers . . . . .	15

# Listingverzeichnis

4.1	QuellCodeV1 bis V2 . . . . .	11
-----	------------------------------	----

# 1

## Einleitung

In den folgenden Versuchen soll u. a. gezeigt werden, wie die Tonhöhe eines akustischen Signals am Beispiel einer Mundharmonika bestimmt werden kann. Dazu wird zum einen das aufgenommene Signal analysiert und zum anderen eine Fourieranalyse angewandt, um aus dem erhaltenem Spektrum die Tonhöhe feststellen zu können. Des weiteren wird der Frequenzgang von zwei Lautsprechern ermittelt und untersucht. Wie gut sind die Lautsprecher? Welche Frequenzen werden verstärkt oder abgeschwächt?

Diese Versuche basieren auf dem dritten Aufgabenblatt [1] aus der Vorlesung Signale Systeme und Sensoren.

## 2

# Versuch 1 - Bestimmung der Tonhöhe eines akustischen Signals

Im nachfolgenden Versuch soll die Tonhöhe eines akustischen Signals gemessen werden. Dabei werden zwei verschiedene Verfahren zur Ermittlung der Tonhöhe bzw. Grundfrequenz durchgeführt. Zum einen durch direktes Auslesen der Daten und zum anderen durch das Amplitudenspektrum mithilfe der Fouriertransformation.

### 2.1 Fragestellung, Messprinzip, Aufbau, Messmittel

Was ist die Tonhöhe bzw. Grundfrequenz eines akustischen Signals verursacht durch eine Mundharmonika? Messprinzip ist aufgebaut aus einem Audiosensor in Form eines Mikrophons [Messmittel], welches an ein Oszilloskop angeschlossen ist, das die eingehenden Informationen als Spannungswerte pro Zeit darstellt. Der Aufbau des Versuchs besteht aus einer Mundharmonika, die einen Ton in das Mikrophon abgibt und dieser vom Oszilloskop aufgezeichnet wird.

### 2.2 Messwerte

Das aperiodische Signal von einem Mundharmonika Ton, der 25 ms aufgezeichnet wurde ist in Abbildung 2.1 zu sehen.

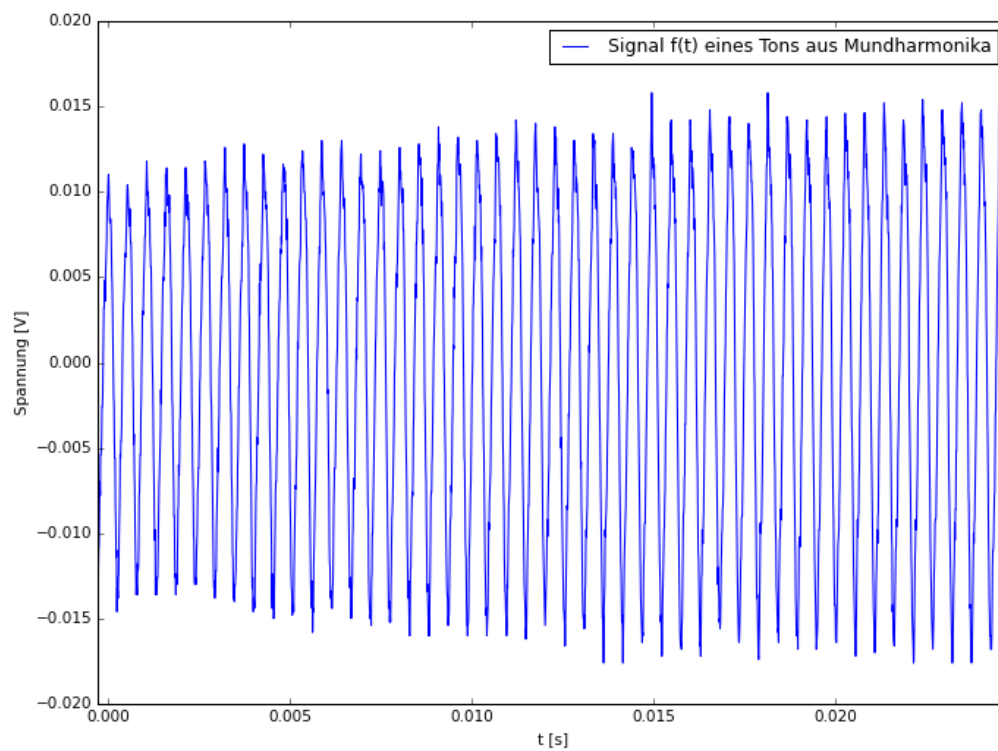


Abbildung 2.1: Mundharmonika Signal von 25 ms Dauer

Zur Verdeutlichung des Signals ein vergrößerter Ausschnitt des Anfangs in Abbildung 2.2 .



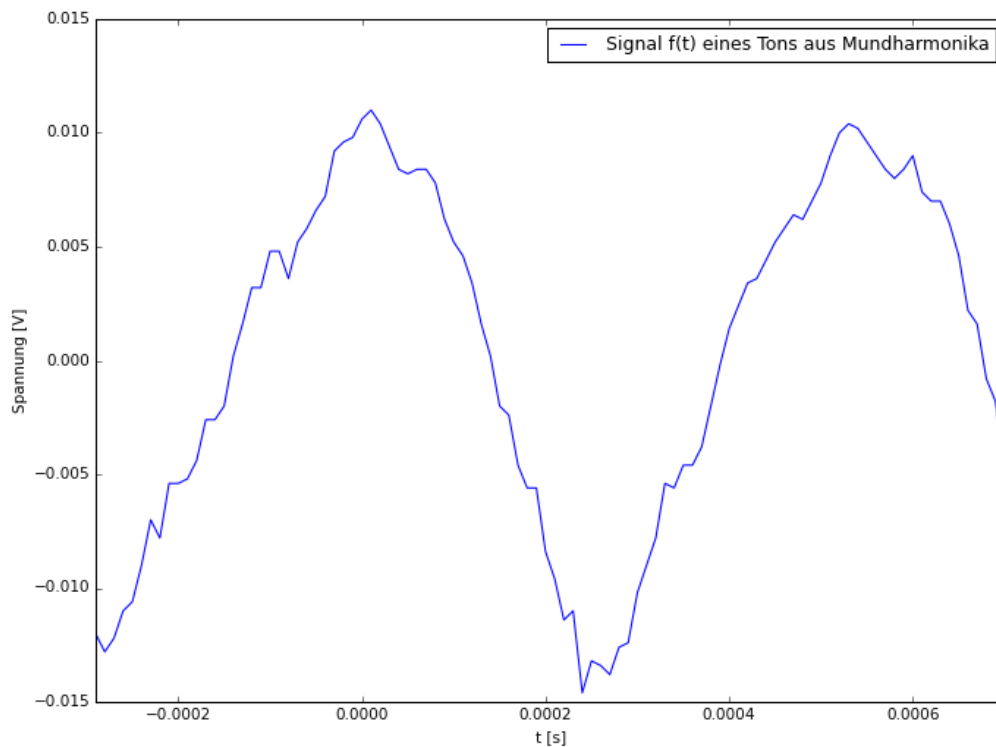


Abbildung 2.2: Mundharmonika Signal Ausschnitt

## 2.3 Auswertung

Nachfolgend wird die Auswertung in zwei mögliche Ermittlungsverfahren unterteilt.

### 1. ermitteln der Grundfrequenz und anderer Eckdaten durch direktes ablesen aus den Daten

Die nachfolgenden Werte ergeben sich durch auslesen der Daten, die in Abbildung 2.1 dargestellt sind. Die Grundperiode ermittelt sich aus auslesen der Zeit einer Periode aus den Daten. Hierfür wurde die Zeitdifferenz zwischen zwei maximal Ausschlägen gemessen. Die Grundfrequenz berechnet sich dann aus dem Kehrwert der Grundperiode.

Grundperiode: 0.52 ms

Grundfrequenz: 1923 Hz

Signaldauer: 0.025 s

Abtastfrequenz: 100 kHz

Signallänge M: 2500

Abtastintervall  $\Delta t$ : 0.00001 s

## 2. ermitteln der Grundfrequenz mit Hilfe der Fouriertransformierten des Signals

In Abbildung 2.3 ist das Amplitudenspektrum in Hertz abgebildet. Dies wurde aus dem Mundharmonika Signal mithilfe der Fouriertransformation erstellt. Die Berechnung der Ergebnisse ist dem Pythoncode in Listing 4.1 Methode versuch1\_2 zu entnehmen.

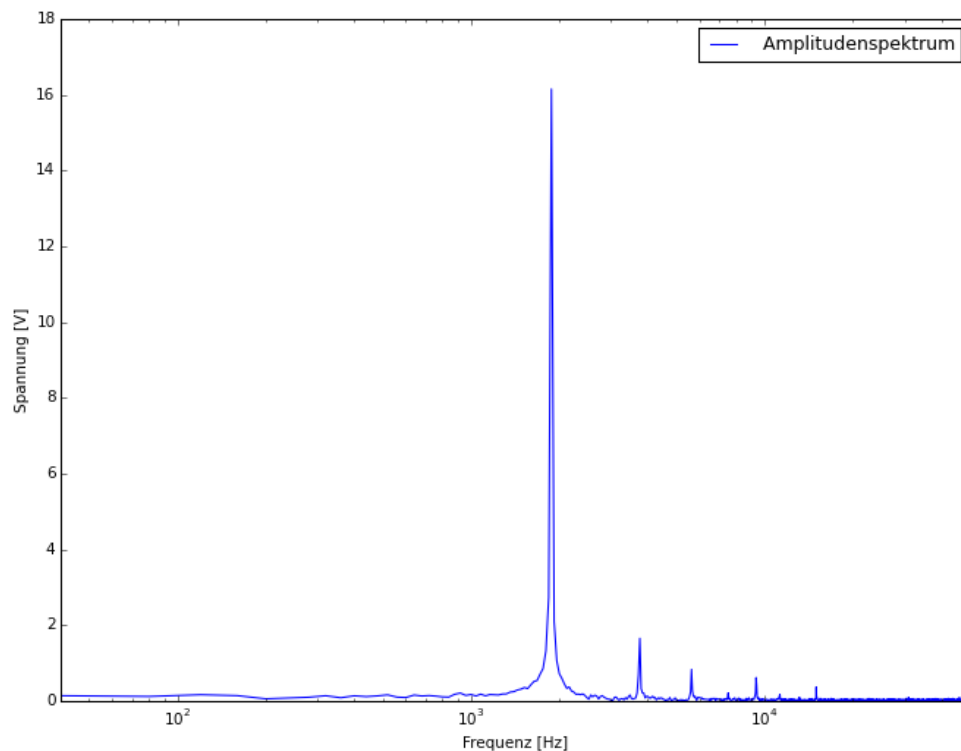


Abbildung 2.3: Amplitudenspektrum in Hertz (halblogarithmische Darstellung der Frequenz)

## 2.4 Interpretation

Wie aus der Abbildung 2.3 zu erkennen ist, ist der Amplitudenausschlag bei ca. 2000 Hz besonders stark. Dies entspricht auch dem durch ablesen ermittelten Wert der Grundfrequenz von 1923 Hz. Somit weisen beide Ermittlungsverfahren das gleiche Ergebnis auf. Bei der

Ermittlung über das Amplitudenspektrum kann man desweiteren aussagen über das ganze Spektrum machen. Hier zum Beispiel, dass noch ein Anteil von vielfachen der Grundfrequenz enthalten sind.

# 3

## Versuch 2 - Frequenzgang von Lautsprechern

Dieser Versuch zeigt, wie der Frequenzgang eines Lautsprechers ermittelt werden kann. Dazu werden zwei unterschiedlich große Lautsprecher verwendet.

### 3.1 Fragestellung, Messprinzip, Aufbau, Messmittel

Wie verändert ein Lautsprecher sein Eingangssignal? Welche Frequenzen werden verstärkt, abgeschwächt oder verzögert? Um dies beantworten zu können, benötigt man den Frequenzgang des Lautsprechers.

Für diesen Versuch wurde ein Funktionsgenerator, ein Oszilloskop, zwei unterschiedlich große Lautsprecher und ein Mikrofon verwendet. Der Funktionsgenerator ist mit dem Oszilloskop und einem Lautsprecher verbunden. Das Mikrofon ist jeweils zu diesem Lautsprecher hin ausgerichtet und auch mit dem Oszilloskop verbunden. Folgende Messungen wurden einmal für den großen und einmal für den kleinen Lautsprecher durchgeführt.

Mit dem Funktionsgenerator wird zunächst ein Sinussignal mit 100 Hz erzeugt. Dieses Signal gibt der Lautsprecher wieder und das Mikrofon nimmt es auf. Das original Signal des Funktionsgenerators und das Ausgangssignal des Lautsprechers werden nun auf dem Oszilloskop dargestellt. Dadurch kann die Amplitude und die Phasenverschiebung des Ausgangssignals abgelesen werden. Dies wird für die Frequenzen 200, 300, 400, 500, 700, 850 Hz, 1, 1.2, 1.5, 1.7, 2, 3, 4, 5, 6, 10 kHz wiederholt.

## 3.2 Messwerte

In Abbildung 4.3 und 4.4 sind die Ergebnisse der oben durchgeführten Messungen für die beiden Lautsprecher zu sehen. Es ist tabellarisch die Frequenz und die dazugehörige Amplitude und Phasenverschiebung eingetragen.

## 3.3 Auswertung

Die Messwerte wurden in Python übertragen und graphisch dargestellt (Listing 4.1). Abbildung 3.1 und 3.2 zeigen somit den Frequenzgang für den jeweiligen Lautsprecher. Die Spannung wurde in Dezibel und die Phase in Grad umgerechnet.

## 3.4 Interpretation

Generell muss man sagen, dass nur der Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 2 kHz sinnvolle Messwerte beinhaltet. Dies liegt daran, dass das Mikrofon auch einen eigenen Frequenzgang besitzt und somit das Signal zusätzlich verfälscht. Lediglich in diesem Bereich weißt das Mikrofon einen konstanten, linearen Frequenzgang auf.

**1. Amplitudengang** Im Amplitudengang des großen Lautsprechers (Abbildung 3.1) ist zu erkennen, dass niedrige Frequenzen weniger abgeschwächt werden als hohe Frequenzen. Dies ist dadurch erklärbar, dass der Lautsprecher eine große Membran hat und somit tiefe Töne besser wiedergeben kann. Der kleine Lautsprecher hingegen kann die tiefen Töne kaum wiedergeben (Abbildung 3.2). Niedrige Frequenzen unter 300 Hz werden sehr stark abgeschwächt.

**2. Phasengang** Der Sprung der Phase des großen Lautsprechers (Abbildung 3.1) bei 300 bis 400 Hz bzw. beim kleinen Lautsprecher (Abbildung 3.2) bei 500 bis 700 Hz entsteht dadurch, dass die Phasenverschiebung mehr als  $360^\circ$  beträgt. Auffallend ist im Phasengang des großen Lautsprechers, dass sich ab 1 kHz die Phase kurzzeitig erneut sprunghaft ändert. Dieser Ausreißer ist vermutlich ein Messfehler. Man würde eigentlich erwarten, dass die Phase an dieser Stelle gleichmäßig fällt.

Beide Lautsprecher sind nicht besonders gut, da sie die Amplitude und die Phase des Eingangssignals nur stark verändert wiedergeben. Sie besitzen keinen linearen Frequenzgang.

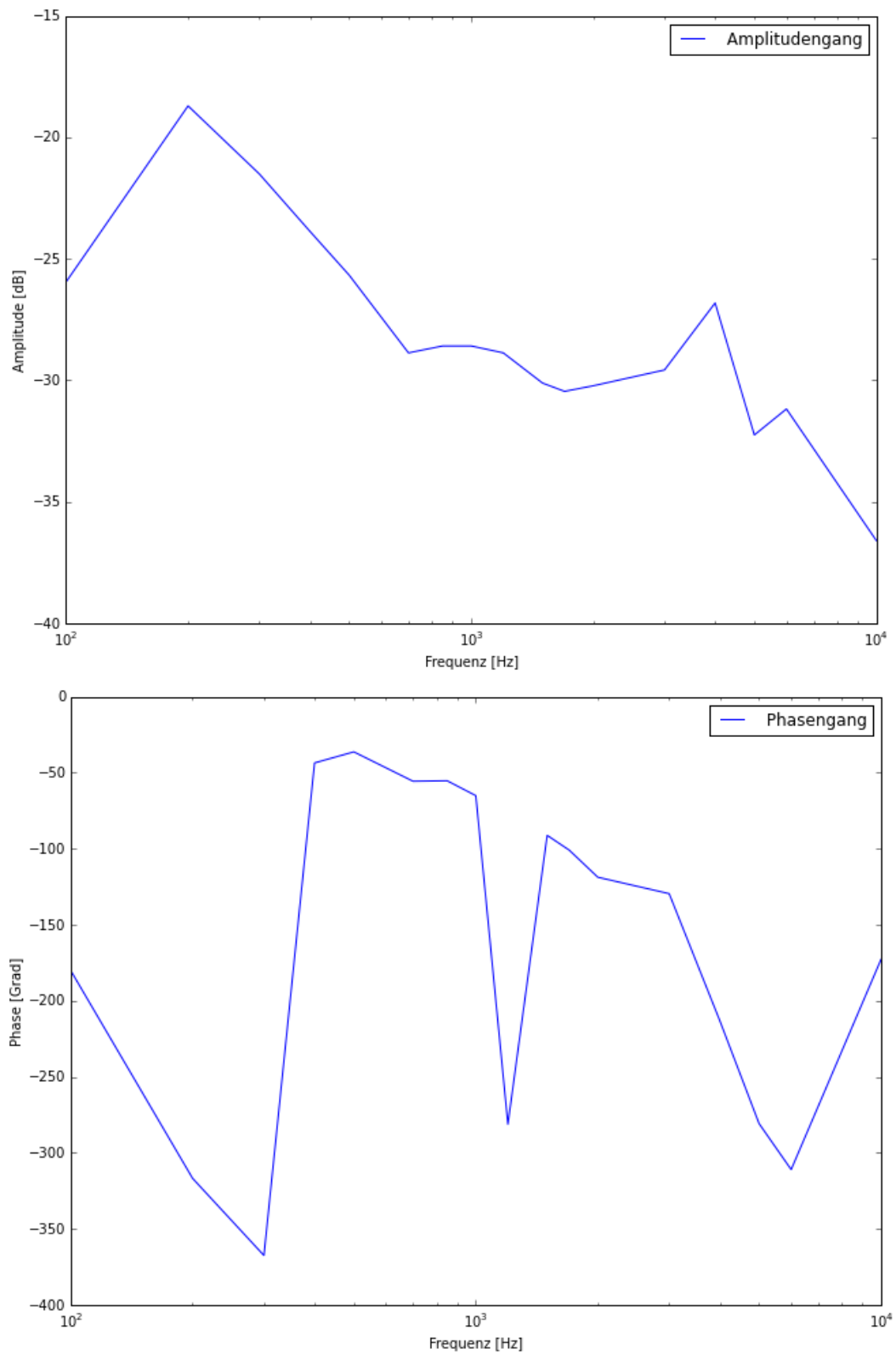


Abbildung 3.1: Frequenzgang des großen Lautsprechers

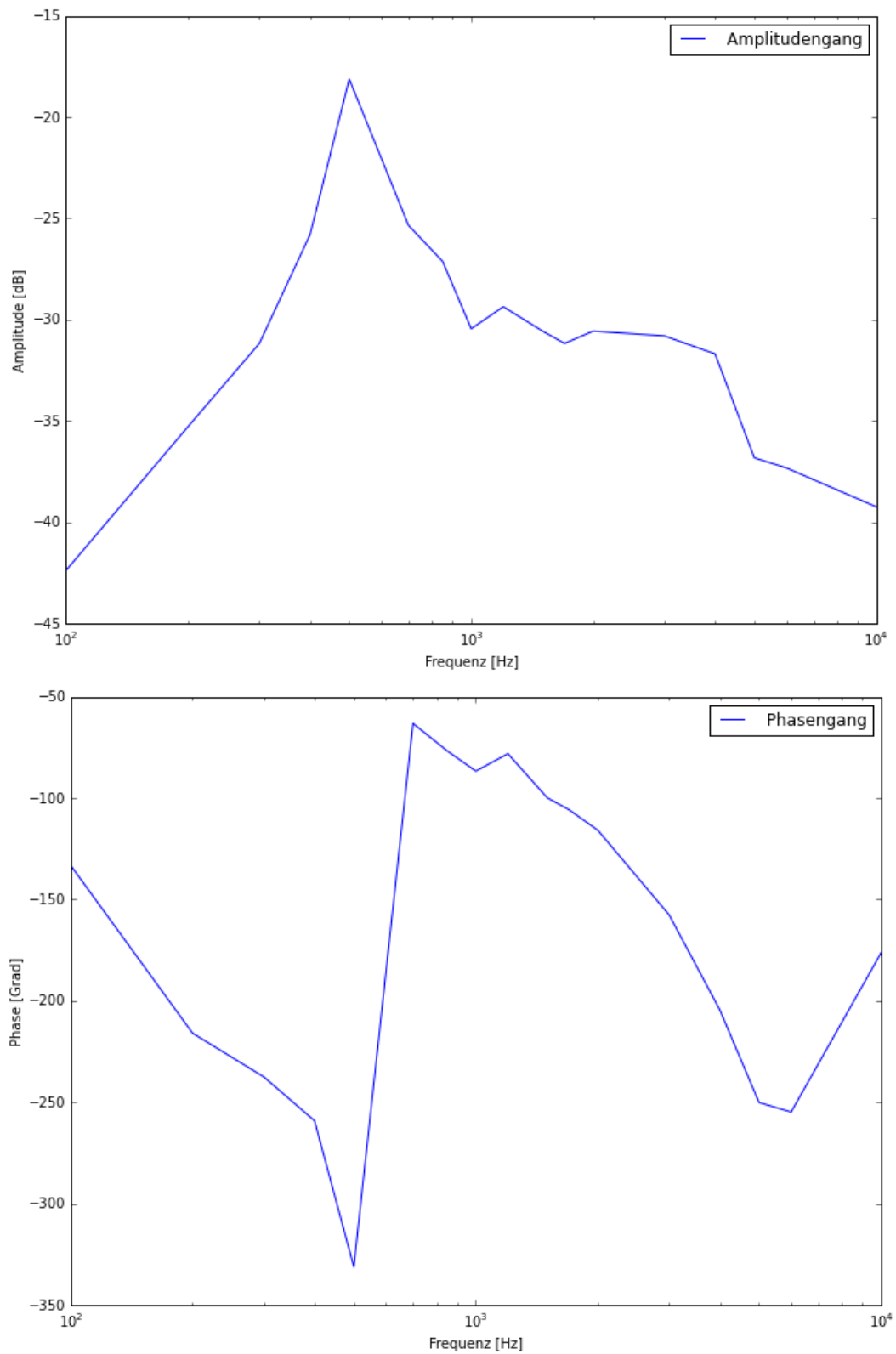


Abbildung 3.2: Frequenzgang des kleinen Lautsprechers

# Anhang

## A.1 Quellcode für Versuche 1 - 2

```
1
2 # -*- coding: utf-8 -*-
3 """
4 Created on 2016-10-27
5 @author: Julian Altmeyer, Marcel Kieser
6 """
7
8 import numpy as np
9 import matplotlib.pyplot as plt
10
11
12 def versuch1_1():
13     #lese OsziDaten aus csv
14     oszi = np.genfromtxt('v3_mundharm_tonhoehe2.csv', delimiter=",")
15
16     # Anzeige
17     dpi=75
18     fig, ax = plt.subplots(figsize=(800/dpi,600/dpi), dpi=dpi)
19     ax.plot(oszi[:,0], oszi[:,1], color = "blue", label="Signal f(t) eines Tons aus Mundharmonika")
20     # lässt X-Achse bei 0 beginnen
21     ax.autoscale(enable=True, axis='x', tight=True)
22     ax.set_xlabel("t [s]")
23     ax.set_ylabel("Spannung [V]")
24     ax.legend(loc='upper right');
25
26     # als png abspeichern
27     plt.savefig('V1_Signal_grundfrequenz.png', dpi=dpi)
28     plt.savefig('V1_Signal_komp.png', dpi=dpi)
29
30 def versuch1_2():
```



```

31 #lese OsziDaten aus csv
32 oszi = np.genfromtxt('v3_mundharm_tonhoehe2.csv', delimiter=",")
33
34 #fft
35 # n = Anzahl der Schwingungen innerhalb der gesamten Signaldauer
36 c = np.fft.fft(oszi[:,1])
37 n = np.abs(c)
38
39 # spiegeln eliminieren
40 half = len(n)/2+1
41 print(half)
42 count = np.arange(0, int(half)) / 0.025
43 print(count)
44
45 # Anzahl der Schwingungen innerhalb der gesamten Signaldauer dargestellt
46 dpi=75
47 fig, axN = plt.subplots(figsize=(800/dpi,600/dpi), dpi=dpi)
48 axN.semilogx(count[:,n[:half]], color = "blue", label=" Amplitudenspektrum ")
49 # lässt X-Achse bei 0 beginnen
50 axN.autoscale(enable=True, axis='x', tight=True)
51 axN.legend(loc='upper right');
52 axN.set_xlabel("Frequenz [Hz]")
53 axN.set_ylabel("Spannung [V]")
54
55 # als png abspeichern
56 plt.savefig('V1_2_Amplitudenspektrum.png', dpi=dpi)
57
58 def versuch2(file):
59     # einlesen der Messwerte
60     l = np.genfromtxt(file, delimiter=",")
61     l[:,1] = l[:,1]/1000 # V
62     l[:,1] = 20 * np.log10(l[:,1]) # dB
63     l[:,2] = l[:,2]/1000 # s
64
65     #print(l)
66
67     # Amplitudengang log
68     dpi=75
69     fig, ax = plt.subplots(figsize=(800/dpi,600/dpi), dpi=dpi)
70     ax.semilogx(l[:,0], l[:,1], color = "blue", label=" Amplitudengang ")
71     ax.legend(loc='upper right');
72     ax.set_xlabel("Frequenz [Hz]")

```

```

73 ax.set_ylabel("Amplitude [dB]")
74
75 # umrechnen von Delta-t nach Grad
76 l[:,2] = -1 * l[:,2]*l[:,0]*360
77 #print(l)
78
79 # Phasengang log
80 fig, ax2 = plt.subplots(figsize=(800/dpi,600/dpi), dpi=dpi)
81 ax2.semilogx(l[:,0], l[:,2], color = "blue", label=" Phasengang ")
82 ax2.legend(loc='upper right');
83 ax2.set_xlabel("Frequenz [Hz]")
84 ax2.set_ylabel("Phase [Grad]")
85 #plt.plot(l[:,0], l[:,1])
86 #plt.plot(l[:,0], l[:,2])
87
88 # Amplitudengang
89
90 def main():
91     #versuch1_1()
92     #versuch1_2()
93     versuch2('Aufg2_Messungen/1Lautsprecher_Messwerte.csv')
94     versuch2('Aufg2_Messungen/2Lautsprecher_Messwerte.csv')
95
96
97 if __name__ == "__main__":
98     main()

```

Listing 4.1: QuellCodeV1 bis V2

## A.2 Messergebnisse

1 Lautsprecher (tiefe bass töne)

$f [Hz] = \frac{1}{T}$	Amplitude [mV]	Phase [ms]
100	50,4 mV	5 ms
200	116 mV	4,4 ms
300	+ 84 mV	$3,4 \text{ ms} + \frac{1}{300 \text{ s}} = 3,403$
400	64 mV	$0,3 + \frac{1}{400} = 0,303$
500	52 mV	$0,2 + \frac{1}{500} = 0,202$
700	36 mV	$0,22 + \frac{1}{700} = 0,221$
850	37,2 mV	$0,18 + \frac{1}{850} = 0,181$
1000	37,2 mV	$0,18 + \frac{1}{1000} = 0,181$
1200	36,0 mV	$0,65 + \frac{1}{1200} = 0,651$
1500	31,2 mV	$0,168 + \frac{1}{1500} = 0,169$
1700	30 mV	$0,164 + \frac{1}{1700} = 0,165$
2000	30,8 mV	$0,164 + \frac{1}{2000} = 0,165$
3000	33,2 mV	$0,120 + \frac{1}{3000} = 0,120$
4000	45,6 mV	$0,148 + \frac{1}{4000} = 0,148$
5000	24,4 mV	$0,156 + \frac{1}{5000} = 0,156$
6000	27,6 mV	$0,144 + \frac{1}{6000} = 0,144$
10.000	14,8 mV	$0,048 + \frac{2}{10.000} = 0,048$

23. 11. 15  
M. D.

Abbildung 4.3: Messwerte des großen Lautsprechers

2 Lautsprecher (hohe tone)

f [Hz]	Amplitude	Phase
100	7,6 mV	3,7 ms = 3,700
200	17,2 mV	3 ms = 3,000
300	27,6 mV	2,2 ms = 2,200
400	51,2 mV	1,8 ms = 1,800
500	124,0 mV	1,84 ms = 1,840
700	54,0 mV	$0,25 + \frac{1}{700} = 0,251$
850	44,0 mV	$0,25 + \frac{1}{850} = 0,251$
1000	30 mV	$0,24 + \frac{1}{1000} = 0,241$
1200	34 mV	$0,18 + \frac{1}{1200} = 0,181$
1500	29,6 mV	$0,184 + \frac{1}{1500} = 0,185$
1700	27,6 mV	$0,172 + \frac{1}{1700} = 0,173$
2000	29,6 mV	$0,160 + \frac{1}{2000} = 0,161$
3000	28,8 mV	$0,146 + \frac{1}{3000} = 0,146$
4000	26, mV	$0,142 + \frac{1}{4000} = 0,142$
5000	14,4 mV	$0,139 + \frac{1}{5000} = 0,139$
6000	13,6 mV	$0,118 + \frac{1}{6000} = 0,118$
10000	10,9 mV	$0,049 + \frac{2}{10.000} = 0,049$

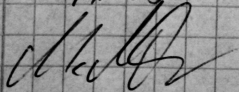
23.11.15  


Abbildung 4.4: Messwerte des kleinen Lautsprechers

# Literaturverzeichnis

- [1] Prof. Dr. Matthias O. Franz. Anleitung zu versuch 3: Fourieranalyse und akustik datei.  
In *Vorlesung Technische Grundlagen der angewandten Informatik*, 2015.