



**Hochschule Konstanz**  
Technik, Wirtschaft und Gestaltung

**Signale, Systeme und Sensoren**

# **Fourieranalyse und Akustik**

**D. Wollmann, V. Bratulescu**

**Konstanz, 14. Dezember 2020**

## **Zusammenfassung (Abstract)**

Thema:	Fourieranalyse und Akustik	
Autoren:	D. Wollmann	da161wol@htwg-konstanz.de
	V. Bratulescu	vl161bra@htwg-konstanz.de
Betreuer:	Prof. Dr. Matthias O. Franz	mfranz@htwg-konstanz.de
	Jürgen Keppler	juergen.keppler@htwg-konstanz.de
	Mert Zeybek	me431zey@htwg-konstanz.de

In diesem Versuch wird die Fourieranalyse auf einen akustischen Ton angewendet. Dieser wird in Form eines Keyboards produziert und mithilfe von Python verarbeitet. Dabei wird die Technik der Fouriertransformation angewendet.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>Listingverzeichnis</b>	<b>V</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 . . . . .	4
2.3 Auswertung . . . . .	5
2.4 Interpretation . . . . .	7
<b>Anhang</b>	<b>8</b>
A.1 Quellcode . . . . .	8
A.1.1 Quellcode Versuch 1 . . . . .	8

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Versuchsaufbau . . . . .	3
2.2	Ausschnitt vom Signal des Keyboards . . . . .	4
2.3	Das aufgenommene Signal . . . . .	4
2.4	Gesamtes Amplitudenspektrum bis zur Hälfte . . . . .	5
2.5	Ausschnitt des Amplitudenspektrums . . . . .	6

# Tabellenverzeichnis

2.1	Ergebnisse . . . . .	5
2.2	Ergebnisse . . . . .	6

# Listingverzeichnis

3.1	Skript Versuch 1a . . . . .	8
3.2	Skript Versuch 1b . . . . .	9
3.3	Skript Versuch 1c . . . . .	10

# Kapitel 1

## Einleitung

In dem dritten Versuch wird die Fourieranalyse auf ein akustisches Signal angewendet. Das akustische Signal wird durch ein Keyboard erzeugt, welches einen konstanten Ton abspielt, der periodisch ist. Der abgespielte Ton wird mithilfe der pyaudio Bibliothek in Python aufgenommen und weiterverarbeitet. Dabei werden die Grundperiode, Signaldauer und weitere Merkmale berechnet. Anschließend wird durch die Fouriertransformation das Amplitudenspektrum berechnet und graphisch dargestellt.

# **Kapitel 2**

## **Versuch 1: Bestimmung der Tonhöhe eines akustischen Signals**

### **2.1 Fragestellung, Messprinzip, Aufbau, Messmittel**

In diesem Versuch wird die Fourieranalyse auf ein akustisches Signal angewendet. Dazu wird mit einem Keyboard ein konstanter Ton (C4) erzeugt und mittels eines Mikrofons aufgenommen. Der aufgenommene Ton soll eine genügend hohe Amplitude haben und gleichmäßig wiederholende Perioden aufweisen. Der Ton wird über das Mikrofon mittels der pyaudio Bibliothek aufgenommen und anschließend in einer .csv Datei abgespeichert. Das verwendete Mikrofon wurde in der Nähe der Ausgabelautsprecher des Keyboards platziert, sodass der abgespielte Ton gut aufgenommen werden kann.





Abbildung 2.1: Versuchsaufbau

Des Weiteren ist die Aufgabe mehrere Perioden des Signals graphisch darzustellen und anhand dieses Plots die Grundfrequenz und Grundperiode zu ermitteln. Zu dem soll die Signaldauer, Abtastfrequenz, Signallänge und Abtastintervall berechnet werden. Im Anschluss soll die Fouriertransformation mithilfe der Python Funktion `numpy.fft.fft()` angewendet und daraus das Amplitudenspektrum bestimmt und graphisch dargestellt werden. Dabei ist zu beachten, dass die x-Achse mit der Frequenz nicht in Hertz sondern in Anzahl Schwingungen innerhalb der gesamten Signaldauer definiert ist. Die zugehörige Frequenz  $f$  in Hertz kann jedoch durch die Formel

$$f = \frac{n}{M \cdot \Delta t}$$

berechnet werden. Durch das Amplitudenspektrum kann anschließend die ursprüngliche Grundfrequenz identifiziert werden.

## 2.2 Messwerte

In Abbildung 2.2 ist ein Ausschnitt einzelner Perioden des aufgenommenen Signals dargestellt, welches wir durch ein Keyboard erzeugt haben. Die x-Achse repräsentiert den Zeitpunkt in Millisekunden von der Aufnahme der jeweiligen Messung. Die jeweiligen Zeitpunkte haben wir berechnet und den Daten in der .csv Datei hinzugefügt. Um den jeweiligen Zeitpunkt zu berechnen, haben wir das Abtastintervall mit dem jeweiligen Index des Messwertes multipliziert. Die pyaudio Bibliothek produziert nur Werte mit der Einheit Digital Number. Diese sind nicht auf die Spannung kalibriert.

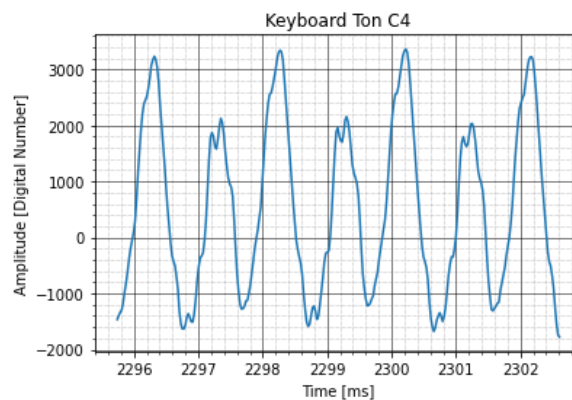


Abbildung 2.2: Ausschnitt vom Signal des Keyboards

In der nachfolgenden Abbildung 2.3 ist das gesamte aufgenommene Signal zu sehen. Da wir den Ton schon vor Beginn der Aufnahme abgespielt haben, ist kein Einschwingvorgang oder ähnliches zu erkennen.

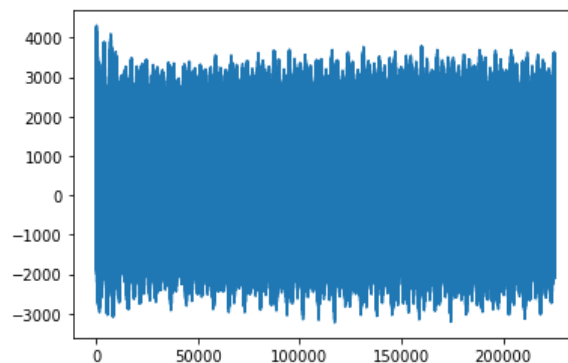


Abbildung 2.3: Das aufgenommene Signal

## 2.3 Auswertung

Aus der Abbildung 2.2 kann die Grundperiode in Millisekunden abgelesen werden, welche 2ms beträgt. Dadurch kann die Grundfrequenz von 500Hz abgeleitet werden. Die Signaldauer, Abtastfrequenz, Signallänge und Abtastintervall können durch einfache Berechnungen ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 2.1 zu sehen.

Beschreibung	Wert
Grundperiode [ms]	2
Grundfrequenz [Hz]	500
Signaldauer [sec]	5.171
Abtastfrequenz [Hz]	43558.89
Signallänge [Anzahl der Abtastzeitpunkte]	225280
Abtastintervall [sec]	2.295e-05

Tabelle 2.1: Ergebnisse

Das Amplitudenspektrum wird durch den Betrag der numpy Funktion `np.fft.fft()` berechnet. Wie zuvor erwähnt, ist die x-Achse Beschriftung jedoch in der Einheit Anzahl Schwingungen innerhalb der gesamten Signaldauer und nicht in Hertz eingegeben. Deshalb muss die oben genannte Formel angewandt werden. Außerdem wird das Amplitudenspektrum nur bis zur Hälfte angezeigt. Dieses wird in Abbildung 2.4 dargestellt.

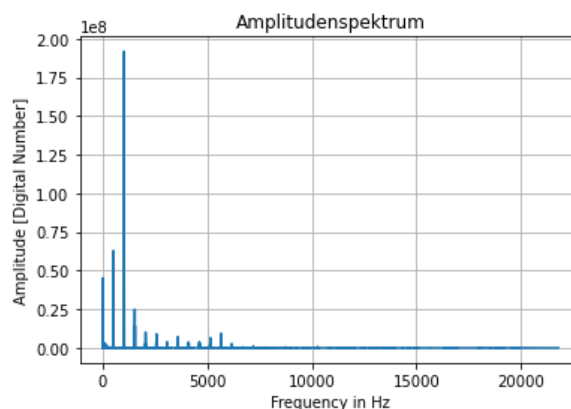


Abbildung 2.4: Gesamtes Amplitudenspektrum bis zur Hälfte

In Abbildung 2.5 ist ein Ausschnitt des Amplitudenspektrums zu sehen.

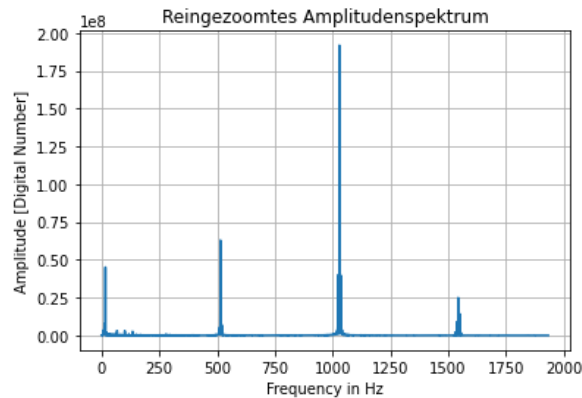


Abbildung 2.5: Ausschnitt des Amplitudenspektrums

Der größte Amplitudenausschlag innerhalb des Spektrums liegt bei der Frequenz 1029Hz. Außerdem ist die Wellenzahl  $k$  zu berechnen, die wir mit der Formel

$$k = \frac{1}{\lambda}$$

ermittelt haben. Wobei  $\lambda$  die Wellenlänge ist, die in unserem Fall 2ms beträgt. Dies kann in der Abbildung 2.2 abgelesen werden. Durch die errechnete Wellenzahl ergibt sich eine Frequenz von 500Hz, die wiederum der Grundfrequenz entspricht.

Die Frequenz mit dem maximalen Amplitudenwert kann mithilfe einer einfachen for Schleife, die über das Spektrum iteriert, ermittelt werden.

Beschreibung	Wert
Maximaler Amplitudenausschlag	191860000.7
Frequenz mit der größten Amplitude [Hz]	1029.22

Tabelle 2.2: Ergebnisse

Der Amplitudenwert bei der Grundfrequenz von 500Hz beträgt ungefähr  $0.62 \cdot 10^8$  Digital Numbers.

## 2.4 Interpretation

Wie zu erwarten, ist in Abbildung 2.2 sehr gut ersichtlich, dass der Ton gleichmäßig und mit konstanter Tonhöhe gespielt wurde.

Aus der Tabelle 2.1 lässt sich schließen, dass die Signaldauer das Ergebnis der Multiplikation von der Signallänge mit dem Abtastintervall ist. Des Weiteren ist das Abtastintervall komplementär zur Abtastfrequenz, da die Frequenz zunimmt, wenn das Intervall abnimmt. Analog gilt das auch für die Grundperiode und Grundfrequenz.

In Abbildung 2.5 sind die harmonischen vielfachen der Grundfrequenz sehr deutlich zu sehen. Des Weiteren ist sehr schön zu sehen, dass nicht so viele Obertöne vorhanden sind, was darauf zurückzuführen ist, dass der Ton durch ein digitales Keyboard erzeugt wurde und nicht durch ein klassisches Klavier.

# Anhang

## A.1 Quellcode

### A.1.1 Quellcode Versuch 1

```
1  # -*- coding: utf-8 -*-
2
3  import time
4  import pyaudio
5  import numpy
6  import matplotlib.pyplot as plt
7  FORMAT = pyaudio.paInt16
8  SAMPLEFREQ = 44100
9  FRAMESIZE = 1024
10 NOFFRAMES = 220
11
12 start = time.time()
13
14 p = pyaudio.PyAudio()
15 print("running")
16 stream = p.open(format=FORMAT,channels=1,rate=SAMPLEFREQ,input=True,frames_per_buffer=FRAMESIZE)
17 data = stream.read(NOFFRAMES*FRAMESIZE)
18 decoded = numpy.fromstring(data, "Int16");
19 stream.stop_stream()
20 stream.close()
21 p.terminate()
22
23 end = time.time()
24
25 abtastintervall = ((end - start) * 1000) / (NOFFRAMES*FRAMESIZE)
26
27 plt.plot(decoded)
28 plt.show()
```

```

29
30 decodedWithTimestamp = numpy.zeros((decoded.size,2))
31
32 for i in range(decoded.size):
33     decodedWithTimestamp[i,0] = decoded[i]
34     decodedWithTimestamp[i,1] = abtastintervall * (i)
35
36 #Aufnahme Sound 111
37 #Lautstärke 6
38 numpy.savetxt("decoded.csv", decodedWithTimestamp, delimiter=",")

```

Listing 3.1: Skript Versuch 1a

```

1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 import numpy as np
4 import matplotlib.pyplot as plt
5
6 data, time = np.genfromtxt("decodedRichtig.csv", delimiter=",", unpack=True, skip_header=0)
7
8 plt.title('Keyboard Ton C4')
9 plt.xlabel('Time [ms]')
10 plt.ylabel('Amplitude [Digital Number]')
11
12 plt.minorticks_on()
13 plt.grid(which='major', linestyle='-', linewidth='0.5', color='black')
14 plt.grid(which='minor', linestyle=':', linewidth='0.5', color='gray')
15
16 plt.plot(time[100000:100300], data[100000:100300], "-")
17 plt.savefig('Keyboard.png', dpi=900)
18 plt.show()
19
20 #Abgelesen von Plot:
21 #Eine Schwingung geht von 2296 1,5 bis 2298 1,5
22 #Grundperiode => 2ms
23 #Grundfrequenz => 500Hz
24
25 print("Grundperiode: 2ms")
26 print("Grundfrequenz: 500Hz")
27
28 #kann auch durch Abtastintervall * Signallänge berechnet werden
29 gemesseneZeit = 5.17184853553772 #sekunden
30

```

```

31 NOFFRAMES = 220
32 FRAMESIZE = 1024
33
34 abtastintervall = (gemesseneZeit / (NOFFRAMES*FRAMESIZE))
35 signaldauer = gemesseneZeit
36 signallaenge = NOFFRAMES*FRAMESIZE
37 abtastfrequenz = 1/(abtastintervall)
38
39 print("Signaldauer: " + str(signaldauer) + "sec")
40 print("Abtastfrequenz: " + str(abtastfrequenz) + "Hz")
41 print("Signallänge (Anzahl Abtastzeitpunkte): " + str(signallaenge))
42 print("Abtastintervall: " + str(abtastintervall) + "sec")

```

Listing 3.2: Skript Versuch 1b

```

1  # -*- coding: utf-8 -*-
2
3  import numpy as np
4  import matplotlib.pyplot as plt
5
6  data, time = np.genfromtxt("decodedRichtig.csv", delimiter=",", unpack=True, skip_header=0)
7
8  abtastintervall = 0.022957424252209337 / 1000 #sec
9  signallaenge = 225280
10
11 data = data # / 1000 #von mV in V
12
13 fourier = np.fft.fft(data)
14
15 spektrum = np.abs(fourier)
16
17 haelfte = int(signallaenge / 2)
18
19 print(abtastintervall * signallaenge)
20
21 freq = np.zeros(signallaenge)
22
23 # Formel um die Anzahl der Schwingungen in die Frequenz umzurechnen – f = n / (M * (delta)t)
24 for n in range(0, signallaenge, 1):
25     freq[n] = n/(abtastintervall * signallaenge)
26
27 # Darstellung des Amplitudenspektrums
28 plt.plot(freq[:haelfte], spektrum[:haelfte], "-")

```



```

29 plt.grid()
30 plt.title("Amplitudenspektrum")
31 plt.xlabel('Frequency in Hz')
32 plt.ylabel('Amplitude [Digital Number]')
33 plt.savefig('AmplitudenspektrumBreit.png')
34 plt.show()
35
36 # Darstellung des Amplitudenspektrums
37 plt.plot(freq[:10000], spektrum[:10000], "-")
38 plt.title("Reingezoomtes Amplitudenspektrum")
39 plt.grid()
40 plt.xlabel('Frequency in Hz')
41 plt.ylabel('Amplitude [Digital Number]')
42 plt.savefig('AmplitudenspektrumSchmal.png')
43 plt.show()
44
45 maxValue = 0
46 maxFreq = 0
47
48 for i in range(0, haelfte):
49     if(maxValue < spektrum[i]):
50         maxValue = spektrum[i]
51         maxFreq = freq[i]
52
53 print("Maximalster Amplitudenausschlag", round(maxValue, 1))
54 print("Frequenz mit der größten Amplitude", maxFreq)

```

Listing 3.3: Skript Versuch 1c