

# **DIPLOMARBEIT**

## **Bluetooth-Aktivbox**

Ausgeführt im Schuljahr 2016/17 von:

Markus Bointner  
Andreas Macsek

Betreuer/Betreuerin:

Prof. Dipl.-Ing. Dr. Herbert Wagner

St. Pölten, am 8. Februar 2017



## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

---

Markus Bointner

---

Andreas Macsek

## **DIPLOMARBEIT DOKUMENTATION**

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Namen der<br>Verfasser/innen |  |
| Jahrgang<br>Schuljahr        |  |
| Thema der Diplomarbeit       |  |
| Kooperationspartner          |  |

|                  |  |
|------------------|--|
| Aufgabenstellung |  |
|------------------|--|

|              |  |
|--------------|--|
| Realisierung |  |
|--------------|--|

|            |  |
|------------|--|
| Ergebnisse |  |
|------------|--|

Typische Grafik, Foto etc.  
(mit Erläuterung)

Teilnahme an Wettbewerben,  
Auszeichnungen

Möglichkeiten der  
Einsichtnahme in die Arbeit

Approbation  
(Datum / Unterschrift)

Prüfer/Prüferin

Direktor/Direktorin  
Abteilungsvorstand/Abteilungsvorständin

## **DIPLOMA THESIS DOCUMENTATION**

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Author(s)             |  |
| Form<br>Academic year |  |
| Topic                 |  |
| Co-operation Partners |  |

|                     |  |
|---------------------|--|
| Assignment of Tasks |  |
|---------------------|--|

|             |  |
|-------------|--|
| Realisation |  |
|-------------|--|

|         |  |
|---------|--|
| Results |  |
|---------|--|

Illustrative Graph, Photo  
(incl. explanation)

Participation in Competitions  
Awards

Accessibility of  
Diploma Thesis

Approval  
(Date / Signature)

Examiner

Head of College/Department

# Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1      | Erste Idee . . . . .                                      | 1         |
| 1.2      | Weiterführende Gedanken . . . . .                         | 1         |
| <b>2</b> | <b>Gesamtprojekt</b>                                      | <b>2</b>  |
| 2.1      | Ziele . . . . .   | 2         |
| 2.1.1    | Elektronik . . . . .                                      | 2         |
| 2.1.2    | Lautsprecher . . . . .                                    | 3         |
| <b>3</b> | <b>Grundlagen und Methoden</b>                            | <b>4</b>  |
| 3.1      | Altium . . . . .  | 4         |
| <b>4</b> | <b>Realisierung und Ergebnisse</b>                        | <b>5</b>  |
| 4.1      | Mono-Bass-Addier-Schaltung und Mono-Bass-Weiche . . . . . | 5         |
| 4.1.1    | Allgemeines . . . . .                                     | 5         |
| 4.1.2    | Zielsetzung . . . . .                                     | 5         |
| 4.1.3    | Auswahl des Tiefpass-Filters . . . . .                    | 5         |
| 4.1.4    | Butterworth-Filter 2. Ordnung . . . . .                   | 6         |
| 4.1.5    | Schaltung . . . . .                                       | 6         |
| 4.1.6    | PCB . . . . .   | 7         |
| 4.2      | Tieftöner- und Hochtönerweiche . . . . .                  | 8         |
| 4.2.1    | Allgemeines . . . . .                                     | 8         |
| 4.2.2    | Zielsetzung . . . . .                                     | 9         |
| 4.2.3    | Filter . . . . .  | 9         |
| 4.2.4    | Schaltung . . . . .                                       | 10        |
| 4.2.5    | PCB . . . . .   | 10        |
|          | <b>Abkürzungsverzeichnis</b>                              | <b>13</b> |
|          | <b>Abbildungsverzeichnis</b>                              | <b>14</b> |
|          | <b>Tabellenverzeichnis</b>                                | <b>14</b> |
|          | <b>Danksagungen</b>                                       | <b>15</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>                               | <b>16</b> |



# 1 Einleitung

In diesem Kapitel wird erläutert, wie die Idee für diese Diplomarbeit entstanden ist und warum sie auch so verwirklicht wurde.

## 1.1 Erste Idee

Das Grundkonzept stammt von uns, also Markus Bointner und Andreas Macsek. Da wir beide von Musik begeistert sind, dachten wir uns, dass es sehr interessant wäre selbst eine Lautsprecherbox zu entwickeln. Gleich zu Beginn war klar, dass wir noch ein kleines Extra mit einbauen wollten: eine Bluetooth-Ansteuerung.

## 1.2 Weiterführende Gedanken

Um all unsere Ideen zu verwirklichen haben wir entschieden, diese Diplomarbeit ohne Firma und für den privaten Gebrauch zu entwickeln. Genauer gesagt ist die Box dafür gedacht, im Freien oder in größeren Räumen, die Musik für kleinere Menschenmengen bereitzustellen. Das soll auch ohne externe Stromzufuhr möglichst einfach funktionieren. Aus diesem Grund entstand dann die Idee einen Akku zu verbauen. Die einfache Bedienung soll mithilfe eines Bluetooth-Moduls verwirklicht werden.

# 2 Gesamtprojekt

## 2.1 Ziele

Es soll ein 2.1-System entwickelt werden. Ein Mono-Subwoofer übernimmt die tiefen Bässe, während 2 Satelliten - mit jeweils einem Hoch- und Tieftöner - den Rest übernehmen. Dieser Aufbau wurde gewählt um einen Stereo-Klang erzeugen zu können. Die Versorgung der Elektronik erfolgt entweder über Akku- oder Netzbetrieb. Jeder Hoch- und Tieftöner bekommt einen eigenen Verstärker (auch der Mono-Subwoofer). Die Auftrennung der Signale erfolgt über aktive Frequenzweichen.

Unsere Diplomarbeit kann grob in 2 Teile aufgeteilt werden:

- Entwicklung der Elektronik
- Auswahl und Messungen der Lautsprecher

Die Ziele der 2 Teile werden in diesem Kapitel kurz erläutert.

### 2.1.1 Elektronik

Wie bereits in der Einleitung (1.2) erwähnt, ist das Projekt auch für Akkubetrieb ausgelegt und benötigt daher eine passende Versorgungsschaltung. Das Versorgungskonzept sieht einen 12V-Akku mit entsprechendem Ladegerät vor. Dieses wurde zugekauft, da unser Projekt sich eher auf die Lautsprecher konzentriert. Bei Anschluss an das Stromnetz übernimmt das vorgesehene Netzteil die Versorgung der Elektronik. Wegen einer höheren Versorgungsspannung als 12V, steht bei Netzbetrieb eine höhere Leistung zur Verfügung.

Es werden analoge Verstärker von uns verwendet. Gründe dafür sind:

- Einfacher Aufbau
- Genügend Leistung und Effizienz für dieses Projekt
- Bewährte Technik für Audioverstärker

Das Audio-Signal muss vor den Verstärkern natürlich noch gefiltert werden. Diese Aufgabe übernimmt eine Aktive Frequenzweiche. Für den Mono-Subwoofer wird eine eigene Schaltung entwickelt die nicht nur die unerwünschten Signal-Anteile herausfiltert, sondern auch noch das Stereo-Signal auf ein Mono-Signal addiert.

Die Signalaufnahme erfolgt über ein Hauptboard mit dem Bluetooth-Modul, welches während einer Projektarbeit in der HTBLuVA St. Pölten entwickelt wurde. Darauf befindet sich außerdem noch ein Klinkenanschluss und eine Addierschaltung.

### **2.1.2 Lautsprecher**

Das Ziel für die Auswahl der Lautsprecher war es, möglichst laute Chassis mit möglichst gutem Frequenzgang (wenig Schwankung, möglichst waagrecht) zu finden. Ein weiteres Ziel ist die Verringerung des Volumens der Box, wobei dennoch eine gute Klangqualität erhalten bleibt. Ein kleines Volumen ist nötig, da das fertige System auch für den Außenbereich verwendet werden soll und daher tragbar sein sollte.

## 3 Grundlagen und Methoden

Verwendete technische Konzepte, sowie benötigte Software werden in diesem Kapitel genauer beschrieben.

### 3.1 Altium

„Altium Designer“ ist eine Software zum Entwickeln und Designen von elektronischen Leiterplatten (engl. PCB). In unserem Fall wurde die Version 13.3 verwendet.

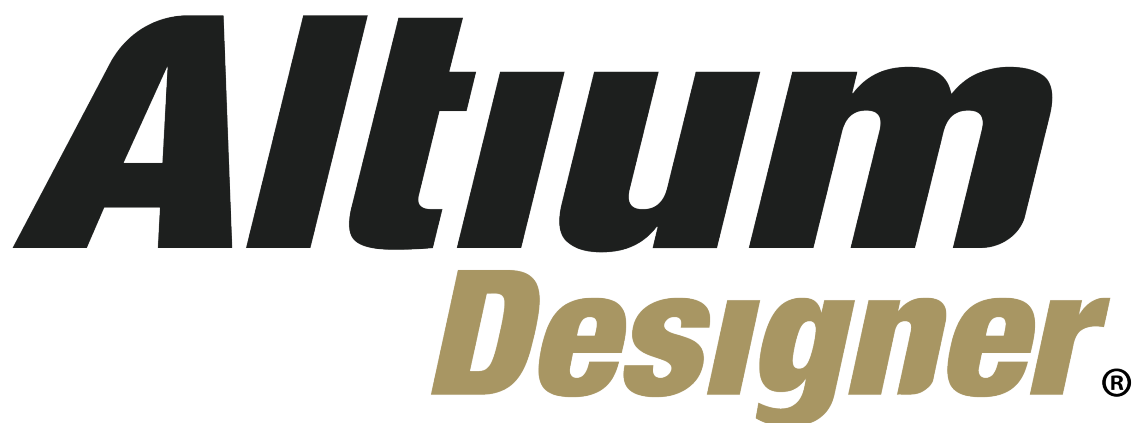


Abbildung 3.1: Logo von „Altium Designer“ ([http://www.altium.com/resources/images/media-release/ad\\_logo.png](http://www.altium.com/resources/images/media-release/ad_logo.png))

Für jedes neues „PCB“-Projekt muss eine „Schematic“-Datei und eine „PCB“-Datei angelegt werden.

# 4 Realisierung und Ergebnisse

## 4.1 Mono-Bass-Addier-Schaltung und Mono-Bass-Weiche

### 4.1.1 Allgemeines

Das empfangene Audio-Signal muss für das Lautsprecher-System aufgetrennt werden. In Hoch, Mitte und Tief Audiofrequenz. Für den „Mono-Bass“ werden nur die tiefen Frequenzen des Signals gebraucht. Da, wie der Name schon sagt, es sich um einen „Mono-Bass“ handelt, muss das Stereo-Audio-Signal vorher noch mittels OPV-Addierschaltung addiert werden um ein Mono-Audio-Signal zu erhalten.

### 4.1.2 Zielsetzung

Es soll ein Print angefertigt werden, welcher über eine OPV-Addierschaltung verfügt und des weiteren das eintreffende Audio-Signal über ein Filter passend für den „Mono-Bass“ filtert. Diese Schaltung für das Tiefpass-Filter muss variabel designet werden. Das Tiefpass-Filter muss unabhängig vom Printdesign, nur durch Ändern von Bauteilwerten, andere Grenzfrequenzen liefern können.

### 4.1.3 Auswahl des Tiefpass-Filters

Es wurde nach einem möglichst steilen, im Durchlassbereich linearen und einfachen Tiefpass-Filter gesucht. Man hat sich nach Überlegen für ein „Aktives-Tiefpass-Filter 2.Ordnung“ entschieden, dabei wurde die „Butterworth-Schaltung“ bevorzugt. Wegen seiner hohen Linearität im Durchlassbereich und einer Dämpfung von  $\frac{-20dB}{Dek.}$ . Dies bedeutet, dass eine Frequenz die 10mal größer ist als die Grenzfrequenz einen um  $\frac{1}{10}$  kleineren Pegel aufweist, als die Grenzfrequenz.

Zur Regelung wird an den Eingängen (Rechts, Links) und am Ausgang der Schaltung jeweils ein Potentiometer in der Größenordnung von 1kOhm verbaut. Diese dienen zur Anpassung der Amplitude des ein- und ausgehenden Signals, um mögliche Übersteuerungen zu vermeiden.

#### 4.1.4 Butterworth-Filter 2. Ordnung

Die Grundschaltung eines Butterworth-Tiefpass-Filter 2. Ordnung ist auch bei verschiedenen Grenzfrequenzen gleich. Es besteht hauptsächlich aus einem OPV, drei Widerständen und zwei Kondensatoren. Deren Anordnung ist ausschlaggebend für das Tiefpass-Filter (Abb. 4.1).

Bedingt durch das Beschalten des OPVs wird das Ausgangssignal invertiert, was hier keine größeren Folgen mit sich bringt.

Am Plus-Eingang des OPVs wird entweder Masse bei symmetrischer Spannungsversorgung, oder  $\frac{V_{cc}}{2}$  bei asymmetrischer Spannungsversorgung angelegt.

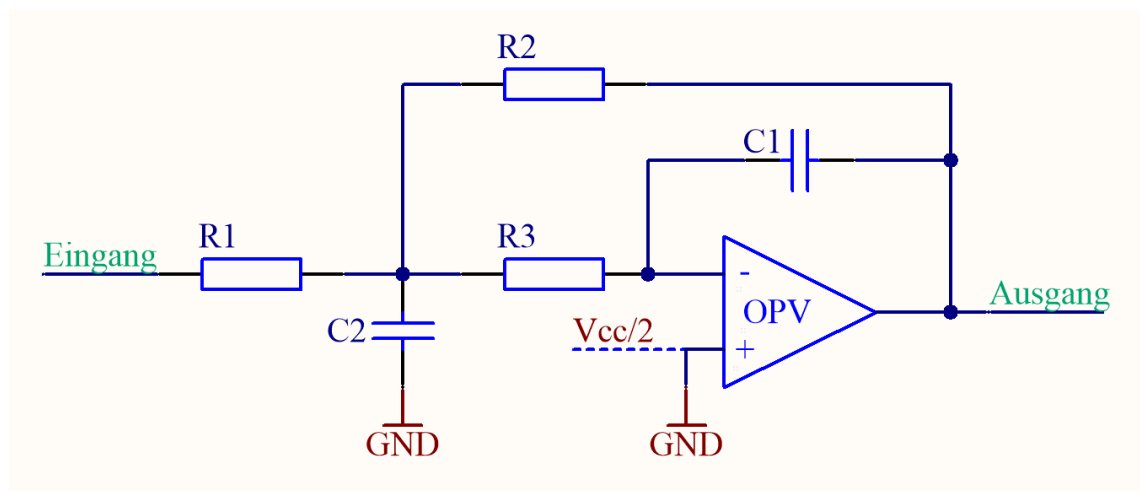


Abbildung 4.1: Butterworth-Filter 2. Ordnung

#### 4.1.5 Schaltung

Passend dem Signalverlauf sitzt am Beginn der Schaltung (Abb. 4.2) die erste Regelung über Potentiometer. Anschließend kommt man zu der Addier-Schaltung (Abb. 4.3) welche das Stereo-Signal in ein Mono-Signal wandelt und dadurch Stereo-Effekte wie zB. Balance am „Mono-Bass“ entfernt.

Wichtig ist bereits hier die Versorgung der Schaltung. Bedingt durch eine asymmetrische Spannungsversorgung (0...12V) muss am OPV ein Arbeitspunkt eingestellt werden. Dabei handelt es sich um ein absichtliches Anheben des Signals in Y-Richtung bei einem Spannungs-Zeit-Verlauf, sodass die untere Halbwelle des Signals nicht verloren geht. Dafür muss am Plus-Eingang des OPVs der Addier-Grundschaltung und der Butterworth-Filter-Schaltung die halbe Versorgungsspannung angelegt werden, um das beste Ergebnis zu erzielen. Dafür wird an den beiden Plus-Eingängen der OPVs über eine Spannungsteiler-Schaltung aus zwei Widerständen das benötigte  $\frac{V_{cc}}{2}$

angelegt.

Um Störungen im OPV zu vermeiden wird sehr nahe an diesem ein 10µF ELKO in der Versorgungsspannungsleitung vorgesehen.

Nach Addieren des Stereo-Signals zu einem Mono-Signal kommt dieses zum Aktiven-Tiefpass-Filter(Abb. 4.4). Bevor das gefilterte Signal weiter zum Verstärker geht wird nochmals die Möglichkeit geboten um die Amplitude des Signals anzupassen.

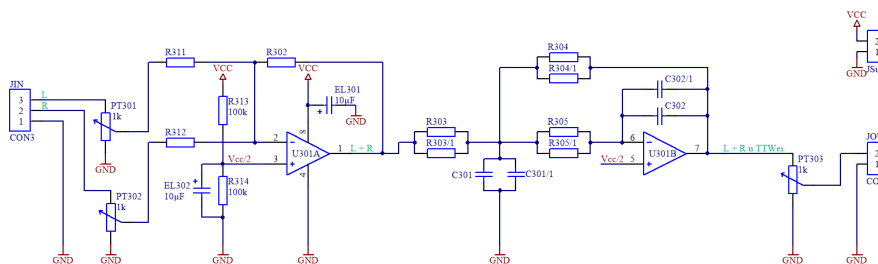


Abbildung 4.2: Schematic Mono-Bass-Addier-Schaltung und Mono-Bass-Weiche

Abbildung 4.3: Schematic Mono-Bass-Addier-Schaltung

Abbildung 4.4: Schematic Mono-Bass-Weiche

#### 4.1.6 PCB

An einer der vier Seiten der Leiterplatte(Abb. 4.5) wurden alle wesentlichen Ein- und Ausgänge platziert. Eine dreipolige Eingangsstiftleiste für Rechts, Links und Masse. Eine zweipolige Ausgangsstiftleiste für Signal und Masse. Des weiteren darf die Spannungsversorgung nicht fehlen. Wegen größeren Spannungen wurden massivere Stecker verwendet. In diesem Fall handelt es sich um Pol-Klemmen. Zum testen wurde ein zusätzlicher Masse-Printstift angebracht um bei Messungen mit einem Oszilloskop einem besseren Massebezugspunkt zu haben.

Die Bauteile wurden nach Möglichkeit gestaffelt, beziehungsweise gruppiert auf der Leiterplatte platziert um den Platzbedarf zu minimieren.

Es wurde grundsätzlich auf jeden Print versucht eine geeignete Beschriftung vor zu sehen um Außenstehenden die Handhabung mit dem Print ebenfalls zu ermöglichen. Masse wurde selten Beschriftet, da eine Massefläche verwendet wurde und daher die Massepins sehr gut ersichtlich sind.

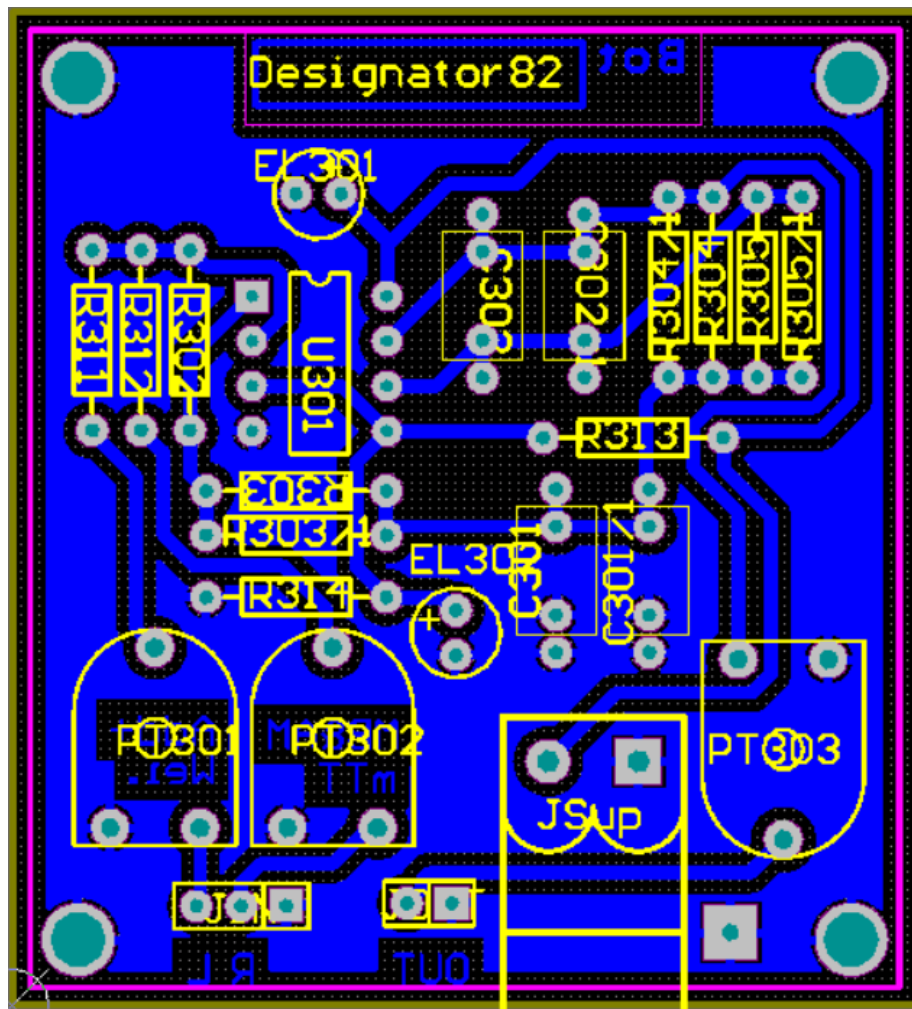


Abbildung 4.5: PCB

## 4.2 Tieftöner- und Hochtönerweiche

### 4.2.1 Allgemeines

Für die Satellitenlautsprecher, welche aus einem Hochtöner und einem Tieftöner bestehen werden nun die Teilfrequenzbereiche Mitte und Hoch benötigt. Da es sich bei dem Satellitensystem um ein Paar an Boxen handelt und diese räumlichen weiter entfernt voneinander stehen, können nun Stereo-Effekte verwendet und mit dem reinen Stereo-Eingangssignal gearbeitet werden. Eine Aufteilung des Signals in Linke- und Rechte-Satellitenbox muss jedoch schon getroffen werden, um die Effekte richtig zu erhalten. Dafür wird einfach für die Linke-Satellitenbox, bestehend aus Hoch- und Tieftöner die entsprechenden Weichen verwendet und das Selbe für die Rechte-Box.



### 4.2.2 Zielsetzung

Das unberührte Eingangssignal soll so gefiltert werden, dass der Hochtöner nur Frequenzen über 1,5kHz und der Tieftöner Frequenzen bis 6kHz zum abstrahlen erhält. Dementsprechend sollen die Filter gewählt und designet werden.

Obwohl es den Mono-Bass gibt der die untersten Frequenzen ( $>20\text{Hz}$ ) abzustrahlen hat, dürfen die Satelliten-Tieftöner im selbigen Bereich ebenfalls spielen. Somit wird die abstrahlende Fläche vergrößert und freiwerdende absolute Pegel höher. Bei dem Satelliten-Tieftöner wird jedoch ein Bandpass vorgesehen um bei möglichen Resonanzen mit dem Mono-Bass das Signal filtern zu können.

Dementsprechend sollen die Filter gewählt und designet werden.

### 4.2.3 Filter

Es wurden wie bereits in Kapitel 4.1 „Butterworth-Tiefpass-Filter 2. Ordnung“ verwendet. Dieses mal ein Bandpass-Filter und ein Hochpass-Filter ebenfalls nach Butterworth. Dabei handelt es sich wieder um „Aktive-Filter“ was bedeutet, dass OPV-Schaltungen verwendet wurden.

Bandpass(4.6), Hochpass(4.7).

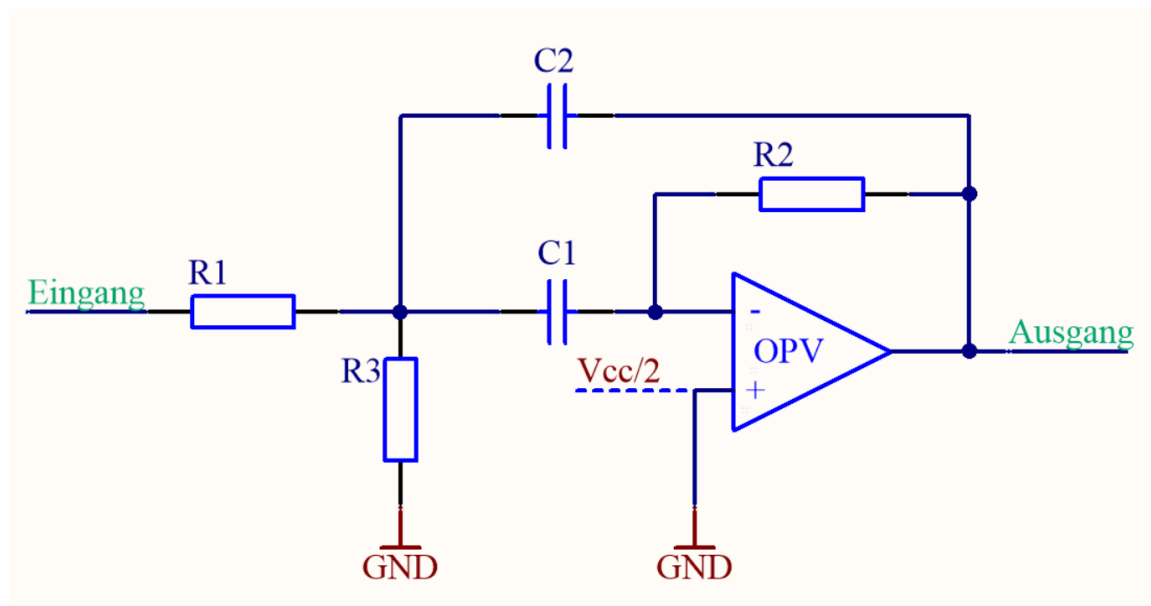


Abbildung 4.6: Butterworth-Bandpass-Filter 2. Ordnung

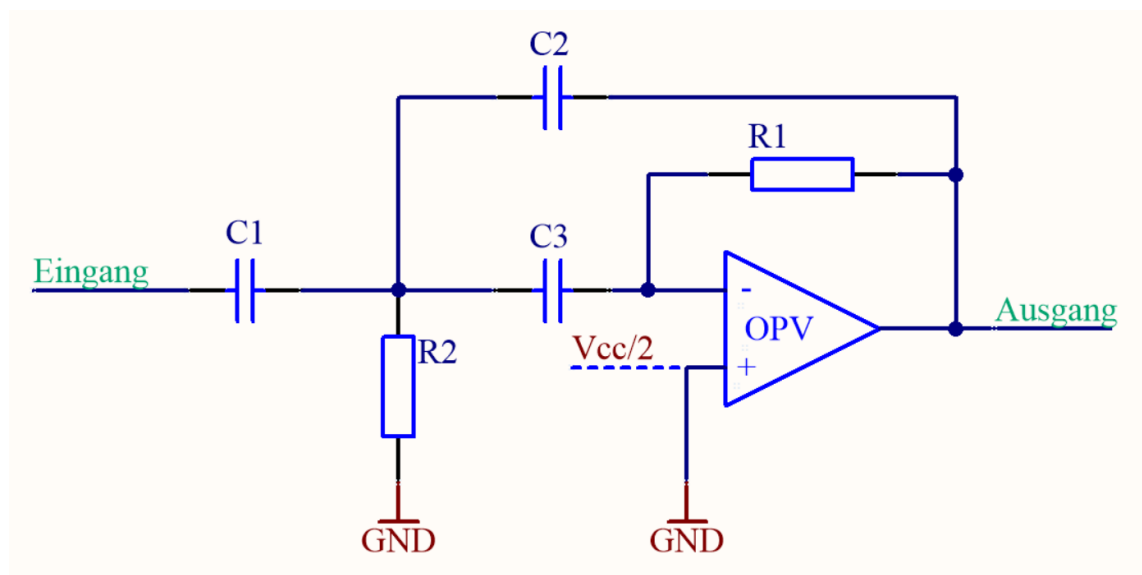


Abbildung 4.7: Butterworth-Hochpass-Filter 2. Ordnung

#### 4.2.4 Schaltung

Das Eingangssignal (Links, Rechts, Masse) wird an einer dreipoligen Stifleiste angeschlossen (Abb. 4.8). Zuerst gelangt Signal-Links und -Rechts an jeweils ein Potentiometer um den Pegel anpassen zu können, es bietet also eine Regelmöglichkeit. Es folgen die Filter. Hochpass für Links/Rechts und Tiefpass für Links/Rechts. Ein „Butterworth-Tiefpass-Filter 2. Ordnung“ wurde bereits in dem Kapitel 4.1.4 erklärt. Das „Butterworth-Hochpass-Filter und -Bandpass-Filter 2. Ordnung“ weist keine groben Unterschiede auf, der Unterschied liegt lediglich in der Bauteilaufteilung. Nach den Filtern gelangen die getrennten Signale zu deren Ausgangspunkt. Es ist für jede Signalleitung eine zweipolige Stifleist vorgesehen (Signal + Masse), da der darauffolgende Verstärker einen selbigen Eingang besitzt. Die Stifleisten sind jedoch gruppiert nach Bandpass- und Hochpass-Ausgang.

#### 4.2.5 PCB

Es wurden wieder die grundlegenden Regeln zur Leiterplattenentflechtung angewandt (??). Bei dem Design wurde wieder auf hohe Variierbarkeit geachtet um auch zB. Kondensatoren mit unterschiedlichen Footprint einbauen zu können. Es wurden wieder nahe an den IC's ELKOs in der Spannungsversorgungsleitung verbaut, um Störungen zu verhindern.

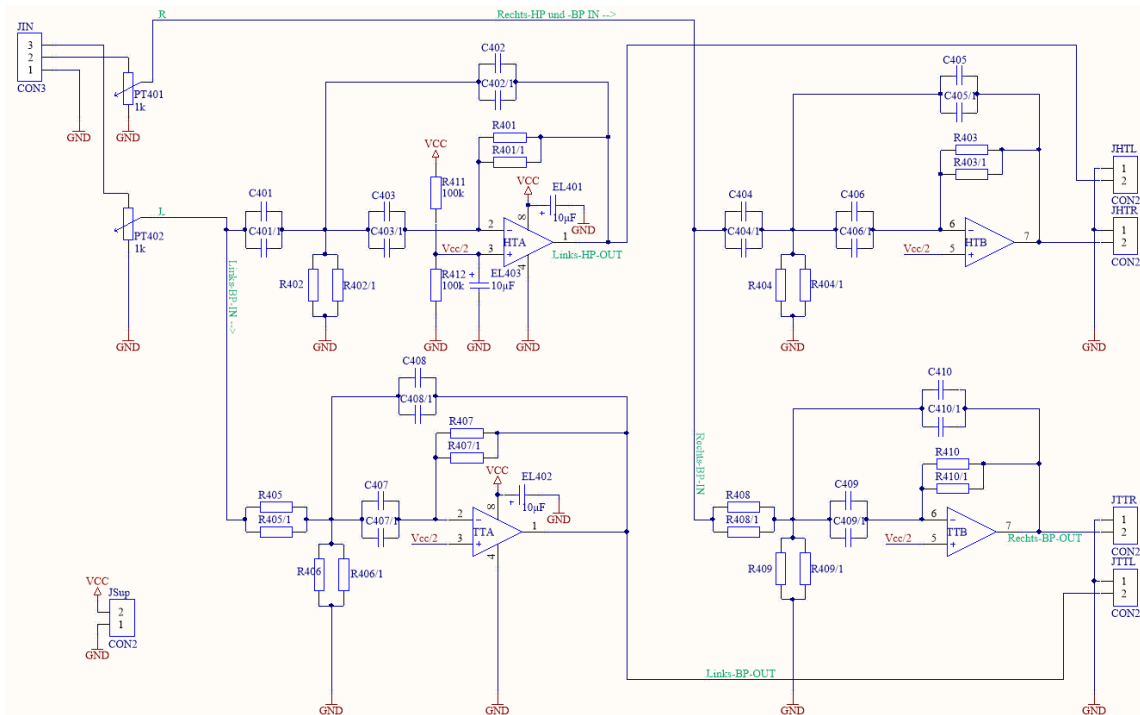


Abbildung 4.8: Butterworth-Bandpass-Filter 2. Ordnung

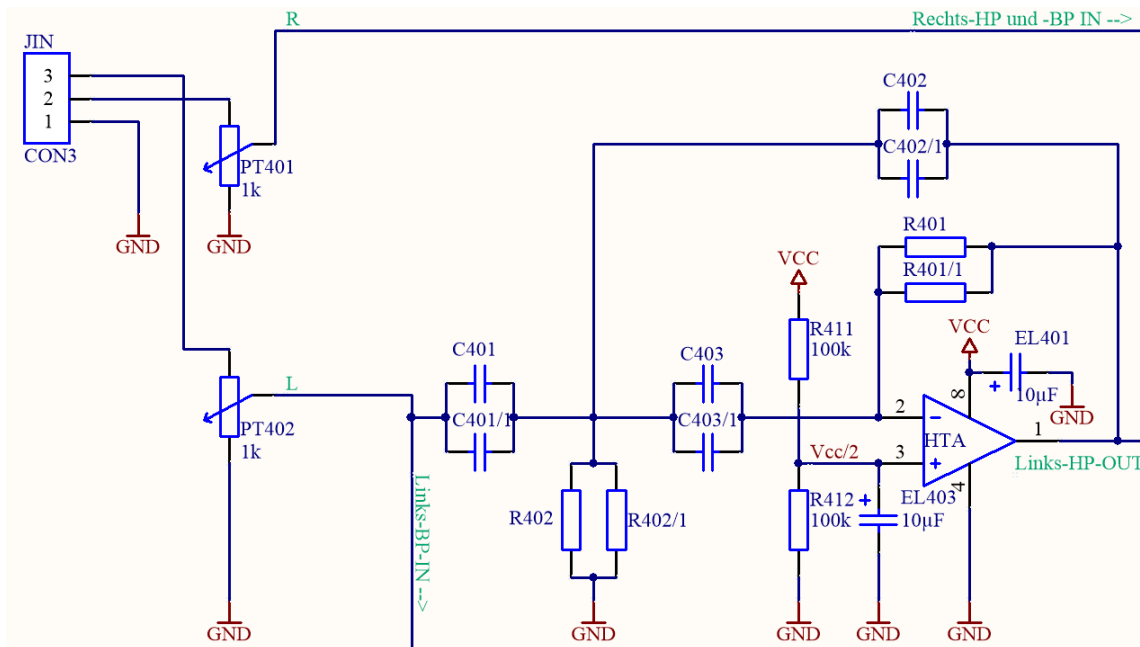


Abbildung 4.9: Butterworth-Bandpass-Filter 2. Ordnung - aus 4.8

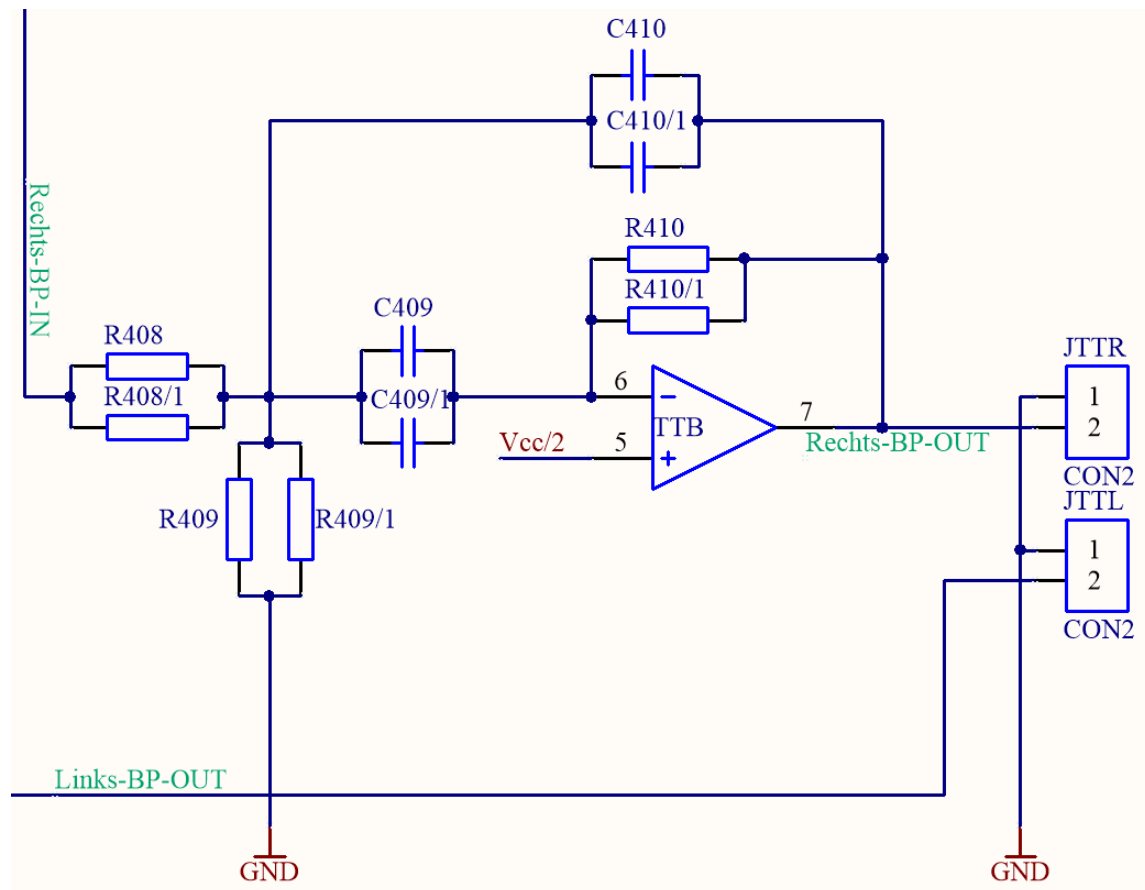


Abbildung 4.10: Butterworth-Bandpass-Filter 2. Ordnung - aus 4.8

# Abkürzungsverzeichnis

**PCB**            Printed Circuit Board - dt. Leiterplatte

# Abbildungsverzeichnis

|      |  |    |
|------|--|----|
| 3.1  | Logo von „Altium Designer“ ( <a href="http://www.altium.com/resources/images/media-release/ad_logo.png">http://www.altium.com/resources/images/media-release/ad_logo.png</a> ) . . . . . | 4  |
| 4.1  | Butterworth-Filter 2. Ordnung . . . . .  | 6  |
| 4.2  | Schematic Mono-Bass-Addier-Schaltung und Mono-Bass-Weiche . . .  | 7  |
| 4.3  | Schematic Mono-Bass-Addier-Schaltung . . . . .   | 7  |
| 4.4  | Schematic Mono-Bass-Weiche . . . . .   | 7  |
| 4.5  | PCB . . . . .  | 8  |
| 4.6  | Butterworth-Bandpass-Filter 2. Ordnung . . . . .   | 9  |
| 4.7  | Butterworth-Hochpass-Filter 2. Ordnung . . . . .   | 10 |
| 4.8  | Butterworth-Bandpass-Filter 2. Ordnung . . . . .   | 11 |
| 4.9  | Butterworth-Bandpass-Filter 2. Ordnung - aus 4.8 . . . . .   | 11 |
| 4.10 | Butterworth-Bandpass-Filter 2. Ordnung - aus 4.8 . . . . .   | 12 |

# Tabellenverzeichnis

## Danksagungen

Wir bedanken uns bei

**Prof. Dipl.-Ing. ABCD** für ...

**FL Ing. DEFG** für ...

# Literaturverzeichnis

- [1] **Donald E. Knuth:** *The T<sub>E</sub>Xbook*. 1986, ADDISON–WESLEY Verlag, ISBN-13: 978-0-201-13447-6



**Ild. Nr.:**

Kandidaten/Kandidatinnen:

Betreuer/in:

Ort:

Datum:

Zeit:

Besprechungsinhalt:

| Name | Notiz |
|------|-------|
|      |       |
|      |       |
|      |       |

### Aufgaben:

[illegible]

**Ifd. Nr.:**

Kandidaten/Kandidatinnen:

Betreuer/in:

Ort:

Datum:

Zeit:

Besprechungsinhalt:

| Name | Notiz |
|------|-------|
|      |       |
|      |       |
|      |       |

### Aufgaben:

[illegible]