

# **DIPLOMARBEIT**

## **Bluetooth-Aktivbox**

Ausgeführt im Schuljahr 2016/17 von:

Markus Bointner  
Andreas Macsek

Betreuer/Betreuerin:

Prof. Dipl.-Ing. Dr. Herbert Wagner

St. Pölten, am 10. 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 Verfasser/innen	
Jahrgang 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 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
3.1.1	Einstellungen für die PCB-Entwicklung . . . . .	5
3.1.2	Designregeln für die PCB-Entwicklung . . . . .	5
3.2	TDA2030 . . . . .	6
3.2.1	Absolute Maximalwerte . . . . .	6
3.2.2	TDA2030-Grundschialtung . . . . .	7
3.2.3	Leistungstransistor-Schaltung . . . . .	8
3.2.4	H-Brückenschaltung der TDA2030-Verstärkerschaltung . . . . .	9
3.2.5	Asymmetrische Spannungsversorgung . . . . .	10
3.3	Filter . . . . .	11
3.3.1	Butterworth-Filter 2. Ordnung . . . . .	11
3.4	Satelliten-Lautsprecher . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Entwicklung der Elektronik</b>	<b>14</b>
4.1	Mono-Bass-Addier-Schaltung und Mono-Bass-Weiche . . . . .	14
4.1.1	Allgemeines . . . . .	14
4.1.2	Zielsetzung . . . . .	14
4.1.3	Schaltung . . . . .	14
4.1.4	PCB . . . . .	16
4.2	Tieftöner- und Hochtönerweiche . . . . .	18
4.2.1	Allgemeines . . . . .	18
4.2.2	Zielsetzung . . . . .	18
4.2.3	Schaltung . . . . .	18
4.2.4	PCB . . . . .	21



---

4.3	Tieftöner-Verstärker . . . . .	23
4.3.1	Allgemeines . . . . .	23
4.3.2	Zielsetzung . . . . .	23
<b>5</b>	<b>Lautsprechermessungen</b>	<b>24</b>
5.1	Allgemeines . . . . .	24
5.1.1	Andere wichtige Eigenschaften eines Lautsprechers . . . . .	25
5.2	Messaufbau . . . . .	26
5.2.1	Software . . . . .	27
5.2.2	Messmodul . . . . .	28
5.2.3	Mikrofon . . . . .	29
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>30</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>31</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>31</b>
	<b>Danksagungen</b>	<b>32</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>33</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.

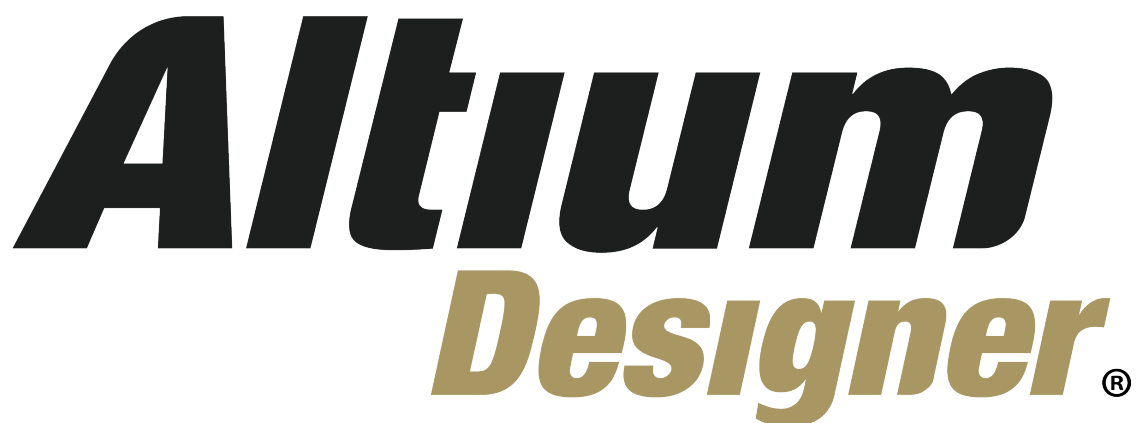


Abbildung 3.1: Logo von „Altium Designer“ ([http://www.altium.com/resources/images/media-release/ad\\_logo.png](http://www.altium.com/resources/images/media-release/ad_logo.png))

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

### 3.1.1 Einstellungen für die PCB-Entwicklung

Beim „Layouten“ der Schaltung in „Altium Designer“ mussten einige wichtige Einstellungen vorab getätigt werden:

Wie da wären:

- Arbeiten mit der Metrischen Einheit „mm“
- Layers benennen nach Vorgaben der Leiterplattenfertigung
- Kupferabstände
- Kupferbreite
- Lochdurchmesser und Restringeinstellungen für Vias
- Wärmefallen
- Restring für Pads
- Lochdurchmesser für Pads

### 3.1.2 Designregeln für die PCB-Entwicklung

Beim Entwickeln einer Leiterplatte musste ständig auf wichtige Faktoren geachtet werden um eine Durchwegs EMV konforme, elektrisch wie auch mechanisch Stabile und Teils variable Schaltung zu erhalten. Variabel daher weil es keine Prints für Serienreife sind, welche im Notfall auch mit anderen Bauteilen als den zuvor Vorgeesehenen bestückt werden können.

Zu den Wichtigen Faktoren zählen:

- EMV-Technische-Faktoren
  - Kurze Leiterbahnen
  - Durchdachtes Spannungsversorgungsnetz
  - kleine Leiterschleifen
  - Massefläche verwenden
  - Anordnung der Bauteile
- Ausnützen der Printfläche
- Mehrfach-Footprints ermöglichen für verschiedene Bauteile
- Mechanische Aufhängebohrungen vorsehen (in jeder Ecke des Prints)
- Beschriftung bei Möglichkeit vorsehen

## 3.2 TDA2030

Der TDA2030 ist ein für den Audio-Frequenzbereich optimierter OPV. Dieser kann symmetrisch sowie auch asymmetrisch versorgt werden. Eine typische Beschaltung ist im Datenblatt auch vorgegeben, welche auch verwendet wurde. Der TDA2030 besitzt ein Pentawatt-Gehäuse, welches eine Kühlfläche besitzt. Diese Kühlfläche hat das selbe Potential wie der mittlere Anschlusspin (Abb. 3.2).

Es wird auch für geringfügigen Betrieb ein Kühlkörper empfohlen!

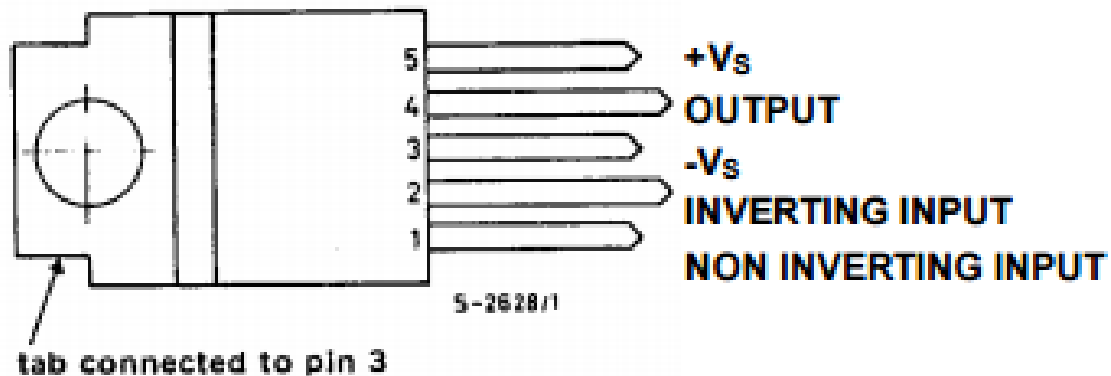


Abbildung 3.2: TDA2030-Pinning

1. Noninverting Input = Plus-Eingang des Verstärkers
2. Inverting Input = Minus-Eingang des Verstärkers
3.  $-V_s$  = negative Versorgungsspannung (bzw. Masse)
4. Output = Verstärkerausgang
5.  $+V_s$  = positive Versorgungsspannung

### 3.2.1 Absolute Maximalwerte

Diese Werte wurden zu aller erst mit den Bedingungen an der Schaltung verglichen, da sie ein sehr genaue, kurze Übersicht über den Baustein liefern. (Abb. 3.3)

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_s$	Supply voltage	$\pm 18$ (36)	V
$V_i$	Input voltage	$V_s$	
$V_i$	Differential input voltage	$\pm 15$	V
$I_o$	Output peak current (internally limited)	3.5	A
$P_{tot}$	Power dissipation at $T_{case} = 90^\circ\text{C}$	20	W
$T_{stg}, T_j$	Storage and junction temperature	-40 to 150	$^\circ\text{C}$

Abbildung 3.3: TDA2030-Maximum Ratings

**3.2.2 TDA2030-Grundschialtung**

Ein wichtiges Bauelement in der Grundschialtung (Abb. 3.4) sind die Dioden. Sie schützen den angeschlossenen Lautsprecher vor Überspannungsspitzen.

Das Widerstandsverhältnis am Minus-Eingang des OPVs von 150k Ohm zu 4,7k Ohm liefert die Verstärkung der Schaltung. Hier wäre es dementsprechend eine Verstärkung von ungefähr  $\times 32$ .

Viele vereinzelte Kondensatoren wurden zum Entstören und gegen mögliches Schwingen der Schaltung vorgesehen.

Der Große-Ausgangs-ELKO wird deshalb verbaut um keine Verschleppte-Gleichspannung am Lautsprecher unnötigerweise anzulegen. Da Gleichspannung an einem Lautsprecher weder hörbar (Frequenz = 0Hz) nur sinnvoll ist, sie zerstört wenn den Lautsprecher ohne es wesentlich mit zu bekommen. Der Kondensator lädt sich einmal mit dieser Gleichspannung auf und lässt die Wechselspannung ohne weiteres passieren.

Ein weiteres wesentliches Bauelement ist das „Boucherot-Glied“ ein in Serie geschalteter Kondensator und Widerstand von der Ausgangsleitung des Verstärkers gegen Masse, noch vor dem Ausgangs-ELKO. Es dient zur Widerstandsanpassung im höheren Audio-Frequenzbereich, da der Lautsprecher einen induktiven Impedanzabfall aufweist, dieser wird mit dem Kapazitiven Impedanzanstieg in diesem Bereich kompensiert. So bleibt die Impedanz im Arbeitsbereich des Verstärkers im wesentlichen die selbe. Ein weiterer Vorteil ist das Frequenzen über der Grenzfrequenz des „Boucherot-Glieds“ wie ein Kurzschluss behandelt werden und so mögliche auftretende Schaltfrequenzen gedämpft werden und nicht anderer folgende Schaltungen beeinflussen können.

Die Schaltung ist grundsätzlich für symmetrische und asymmetrische Versorgungsspannung ausgelegt. Die Schaltung ist für 4 und 8 Ohm Lautsprecher spezifiziert.



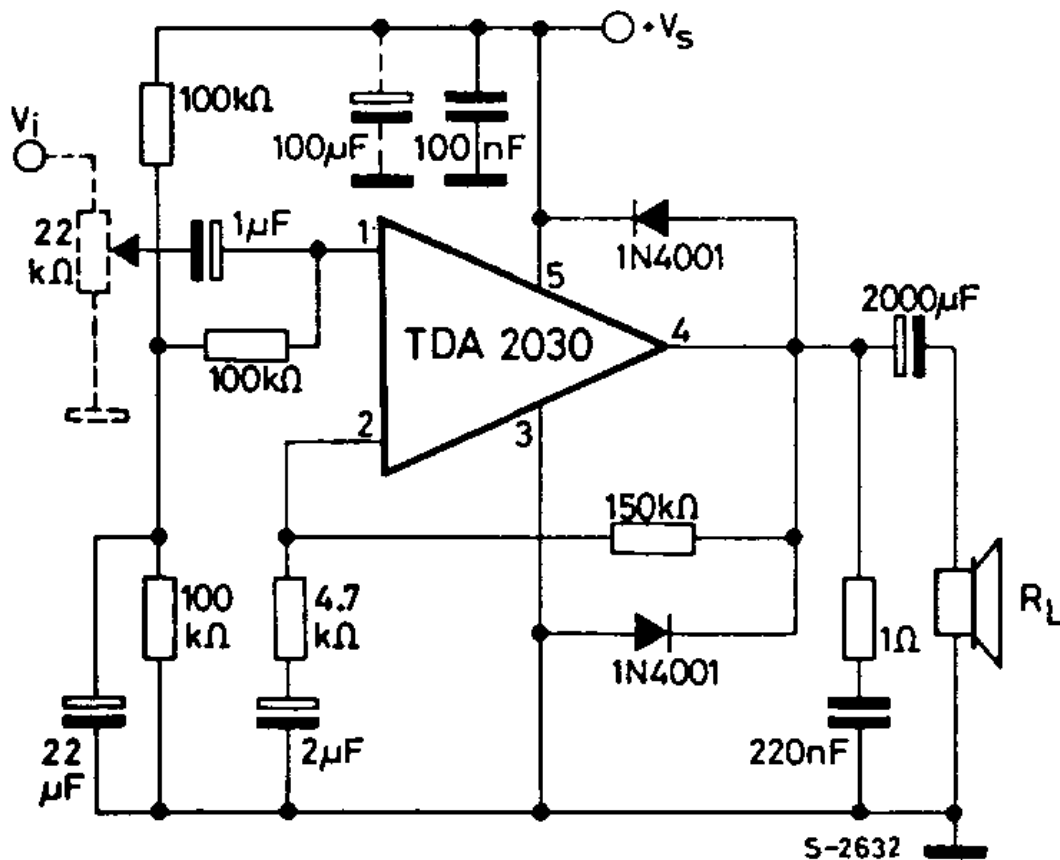


Abbildung 3.4: TDA2030-Leistungstransistorschaltung  
Die im Bild vorhandenen Werte müssen nicht der entwickelten Schaltung entsprechen. Es dient nur zu Veranschaulichung der Schaltung.

### 3.2.3 Leistungstransistor-Schaltung

Durch das erweitern der TDA2030-Grundschriftung(Kap. 3.2.2) mit zwei Leistungstransistoren wird die Schaltung leistungsfähiger. Die Transistoren schalten Ströme über den maximalen schaltbaren Strömen des TDA2030. Während des Normalbetriebes fließt kein Strom durch die Transistoren, sobald aber eine Grenze erreicht wird wird Grundsätzlich mit den Transistoren gearbeitet. Um die Schaltschwelle der Leistungstransistoren fest zu legen wird ein kleiner Widerstand von der Versorgungsspannung gegen den Basis-Anschluss des Transistors geschallten. Beziehungsweise wird dieser Widerstand von der Negativen Versorgungsspannung, oder in diesem Fall von Masse, gegen den Basis-Anschluss des Leistungstransistors geschallten. Des weiteren sind die Leistungstransistoren im besten Fall aus der selben Familie. Ver-

wendet wird ein PNP-Leistungstransistor für die positive Halbwelle des Signals und ein NPN-Leistungstransistor für die negative Halbwelle.

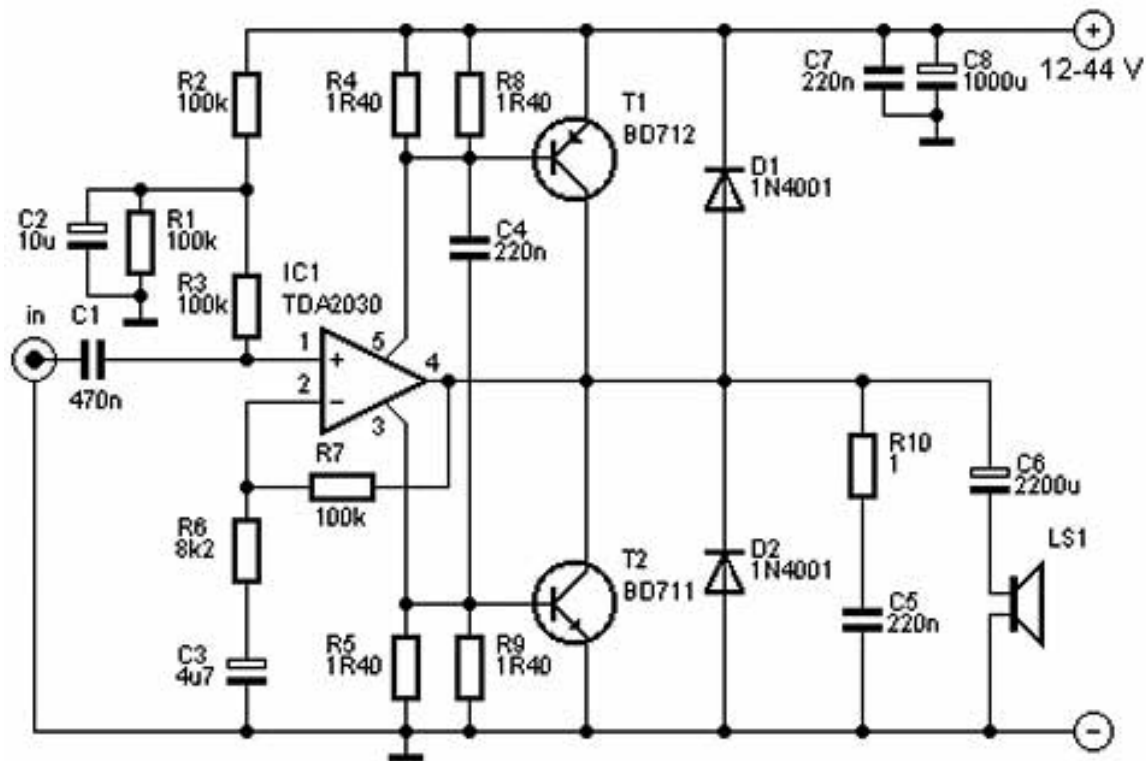


Abbildung 3.5: TDA2030-Leistungstransistorschaltung

Die im Bild vorhandenen Werte müssen nicht der entwickelten Schaltung entsprechen. Es dient nur zu Veranschaulichung der Schaltung.

### 3.2.4 H-Brückenschaltung der TDA2030-Verstärkerschaltung

Um noch mehr aus dem TDA2030 herauszuholen kann man zwei dieser Verstärker in H-Brücke (Abb. 3.6) gegeneinander schalten. Das bedeutet der eine TDA2030 verstärkt das originale Signal, währenddessen der Zweite das um 90° Phasenverschobene Signal erhält und dieses verstärkt. Das hat zur Folge das während der eine TDA2030 die positive Halbwelle verstärkt der zweite die negative Halbwelle verstärkt. Dies bewirkt einen größeren Hub, da wenn der eine Verstärker bei maximaler Auslenkung die positive Versorgungsspannung erreicht, erreicht der zweite die negative Versorgungsspannung. So erhält man mit zwei TDA2030 den doppelt so hohen Ausgangspegel des Signals.

Einzigster Nachteil dieser Konstellation, zwischen den beiden Verstärkern gibt es keinen Massebezug. Bei messen der Schaltung ist Vorsicht geboten, da bei anschließen der Tastkopf-Masse wird je nach anliegendem Signal der eine oder der andere Ver-

stärker kaputt (Kurzschluss!).

Es kann in diesem Fall auch die Leistungstransistorschaltung in H-Brücke geschaltet werden um noch mehr aus der Sache heraus zu holen.

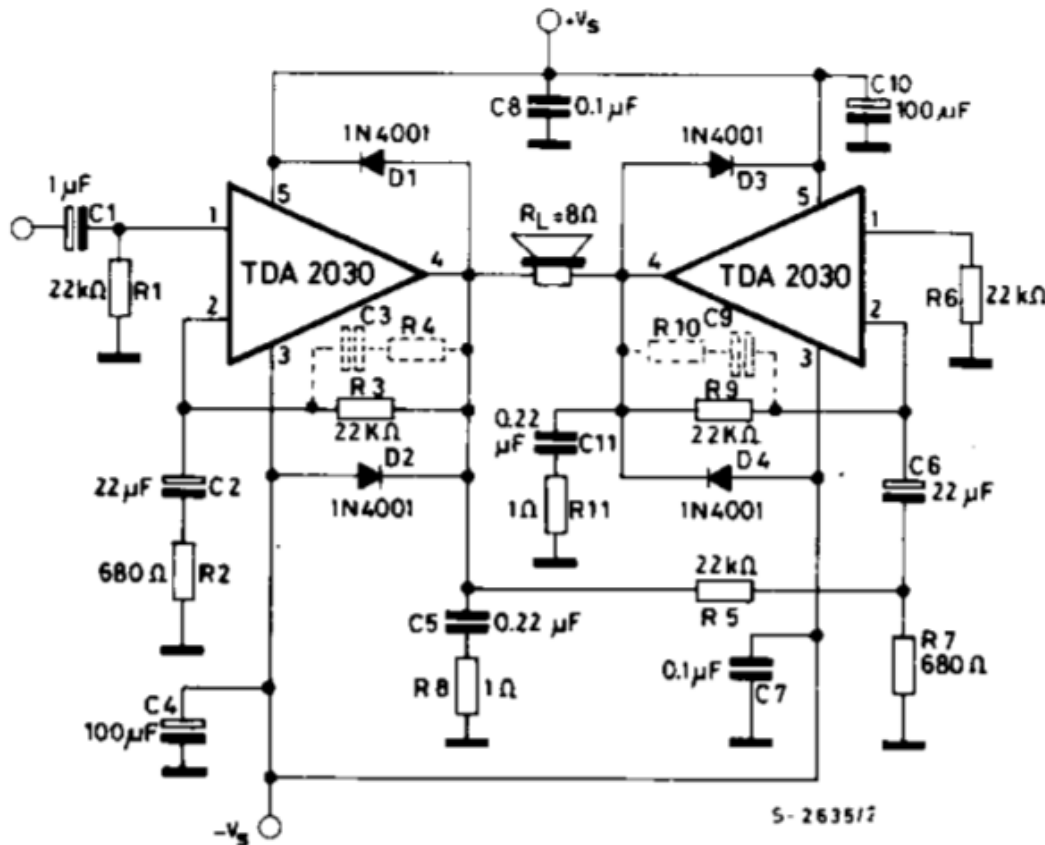


Abbildung 3.6: TDA2030-Leistungstransistorschaltung  
Die im Bild vorhandenen Werte müssen nicht der entwickelten Schaltung entsprechen. Es dient nur zu Veranschaulichung der Schaltung.

### 3.2.5 Asymmetrische Spannungsversorgung

Bedingt durch eine asymmetrische Spannungsversorgung (z.B. 0 und 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 negative Halbwelle des Signals nicht verloren geht. Die negative Halbwelle würde sonst in den negativen Spannungsbereich reichen wollen, aber dieser ist mit negativer Versorgungsspannung von 0V, also Masse, nicht vorhanden.

Dieser Effekt tritt auf da ein Audio-Signal in der Regel ein symmetrisches Signal ist und eine asymmetrische Versorgungsspannung des Verstärkers dementsprechend die

Symmetrie stört.

Um die Symmetrie jedoch trotz asymmetrische Spannungsversorgung bei zu behalten wird ein Arbeitspunkt eingestellt. Dafür wird an dem Plus-Eingang des OPVs über eine Spannungsteiler-Schaltung aus zwei Widerständen das benötigte  $\frac{V_{cc}}{2}$  angelegt.

## 3.3 Filter

Es wurde nach einem möglichst steilen, im Durchlassbereich linearen und einfachen Filter gesucht. Man hat sich nach Überlegen für ein „Aktives-Filter 2.Ordnung“ entschieden, dabei wurde die „Butterworth-Schaltung“ bevorzugt. Wegen seiner hohen Linearität im Durchlassbreich und einer Dämpfung von  $\frac{-20dB}{Dek.}$ . Dies bedeutet, dass bei einer Tiefpass-Filterung 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 bei der Schaltung (Abb. 4.8) auch am Ausgang, 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.

### 3.3.1 Butterworth-Filter 2. Ordnung

Die Grundsaltung eines „Butterworth-Filters 2. Ordnung“ ist für verschiedene Grenzfrequenzen die selbe, lediglich die Bauteilwerte variieren. Auch ist die Schaltung der verschiedenen Grundfilterarten unterschiedlich.

Die da wären:

- Hochpass
- Tiefpass
- Bandpass

Ein Butterworth-Tiefpass-Filter 2. Ordnung besteht hauptsächlich aus einem OPV, drei Widerständen und zwei Kondensatoren. Deren Anordnung ist ausschlaggebend für das Tiefpass-Filter (Abb. 3.7). Dieses Filter lässt alle Frequenzen unterhalb seiner Grenzfrequenz durch.

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.

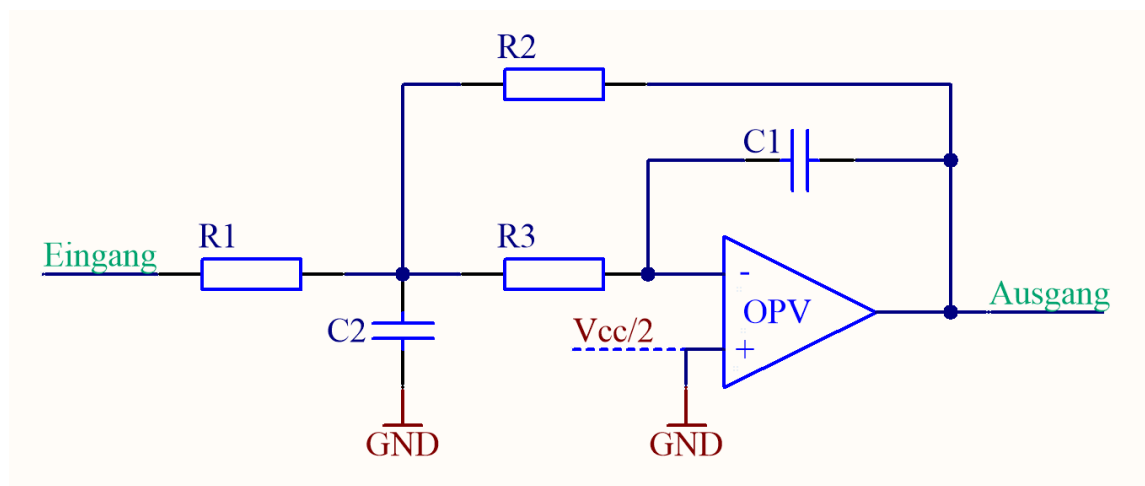


Abbildung 3.7: Butterworth-Tiefpass-Filter 2. Ordnung

Das Bandpass-Filter(3.8) besteht aus drei Widerständen, zwei Kondensatoren und einem OPV, jedoch mit anderer Anordnung als bei dem Tiefpass-Filter. Dieses Filter lässt alle Frequenzen oberhalb seiner Unteren-Grenzfrequenz und unterhalb seiner Oberen-Grenzfrequenz durch.

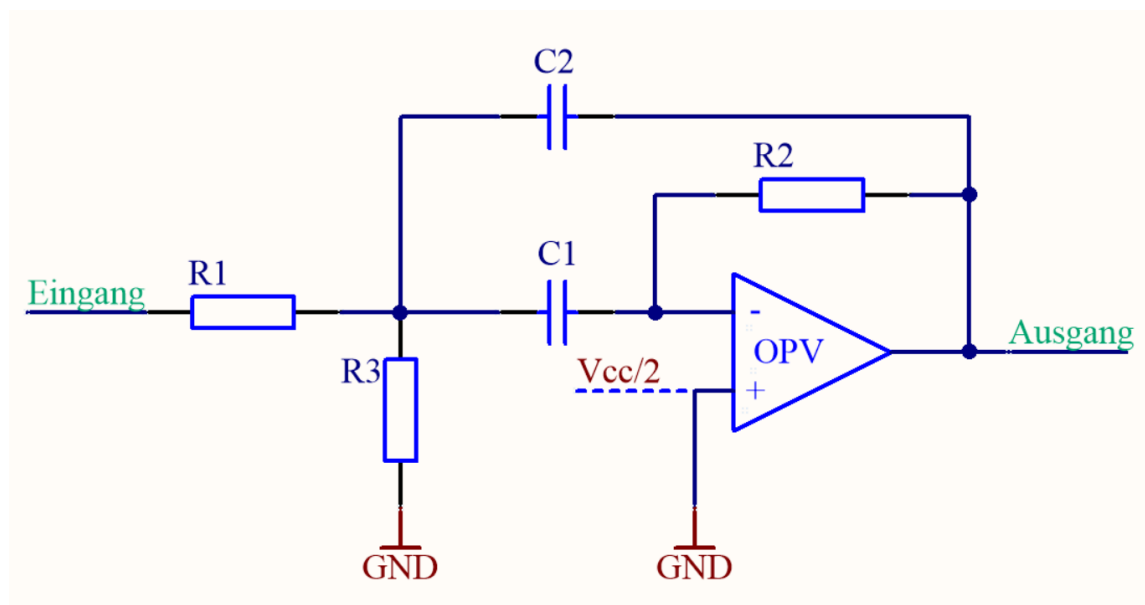


Abbildung 3.8: Butterworth-Bandpass-Filter 2. Ordnung

Das Hochpass-Filter(3.9) hat wieder eine ähnliche Konstruktion. Dieses besteht aus drei Kondensatoren, zwei Widerständen und einem OPV. Wiederum in mit bestimmter Anordnung. Dieses Filter lässt alle Frequenzen oberhalb seiner Grenzfrequenz durch.

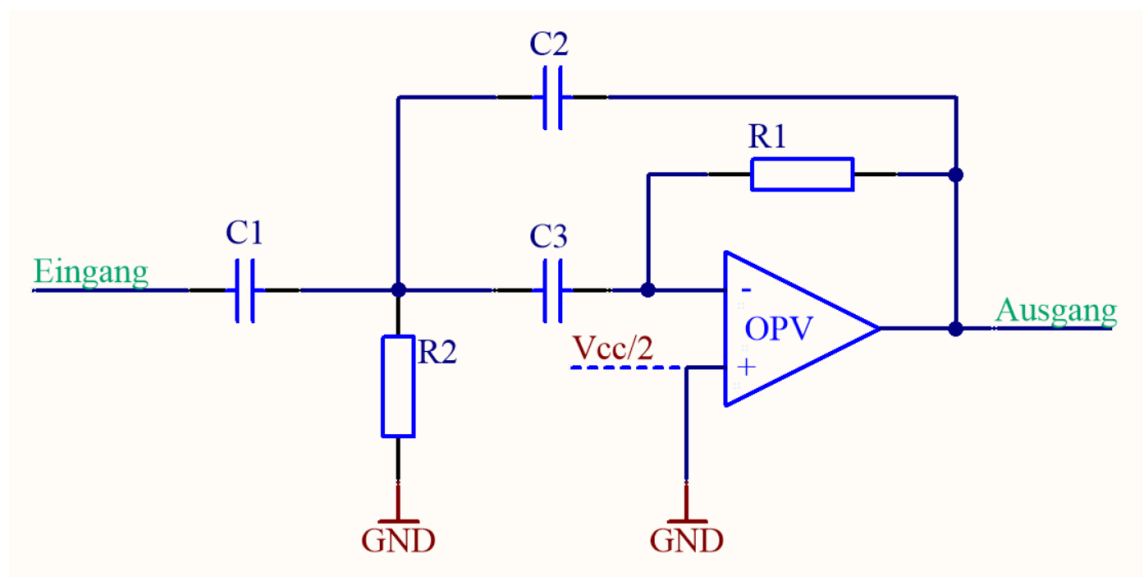


Abbildung 3.9: Butterworth-Hochpass-Filter 2. Ordnung

### 3.4 Satelliten-Lautsprecher

Satellitenlautsprecher sind meist passive Lautsprecher, die zumeist durch ein Aktives-Element betrieben werden. Da es sich bei dem Satellitensystem meist um ein Paar oder mehr Boxen handelt und diese räumlichen weiter entfernt voneinander stehen, können Stereo-Effekte verwendet und mit dem reinen Stereo-Eingangssignal gearbeitet werden. Eine Aufteilung des Signals in Linke- und Rechte-Satellitenbox/en muss jedoch schon getroffen werden, um die Effekte richtig zu erhalten.

# 4 Entwicklung der Elektronik

## 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 Schaltung

Passend dem Signalverlauf sitzt am Beginn der Schaltung (Abb. 4.1) die erste Regelung über Potentiometer. Anschließend kommt man zu der Addier-Schaltung (Abb. 4.2) 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-Grundsaltung 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  $10\mu\text{F}$  ELKO in der Versorgungsspannungsleitung vorgesehen.

Nach Addieren des Stereo-Signals zu einem Mono-Signal kommt dieses zum Aktiven-Tiefpass-Filter (Abb. 4.3). Bevor das gefilterte Signal weiter zum Verstärker geht wird nochmals die Möglichkeit geboten um die Amplitude des Signals anzupassen.

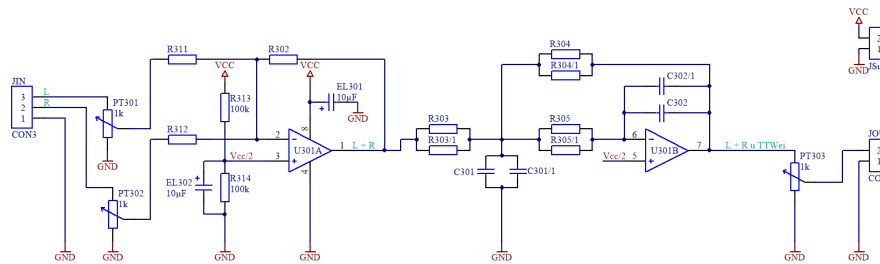


Abbildung 4.1: Schematic Mono-Bass-Addier-Schaltung und Mono-Bass-Weiche

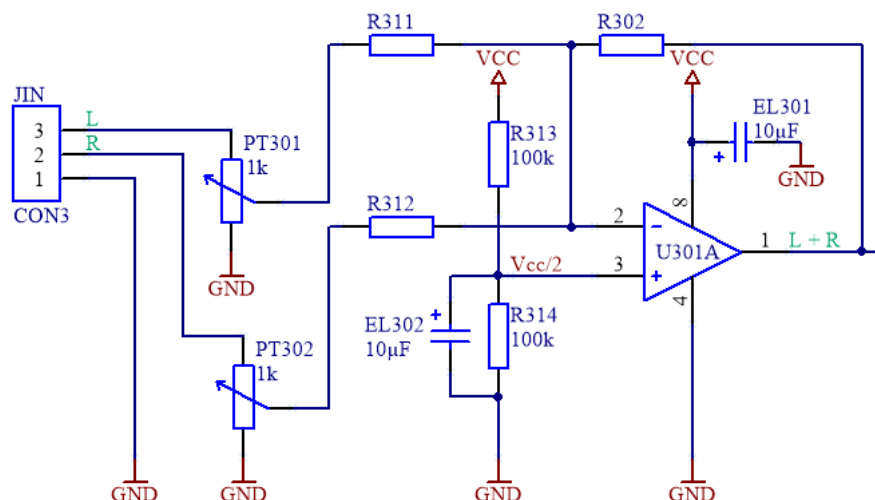


Abbildung 4.2: Schematic Mono-Bass-Addier-Schaltung



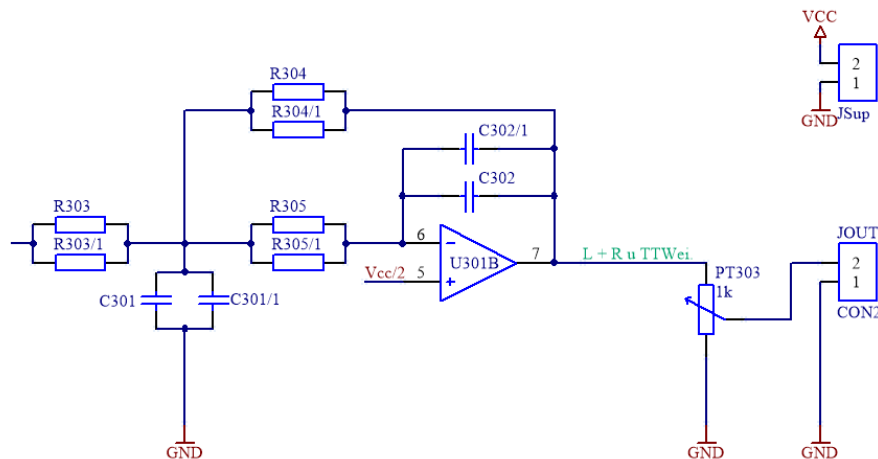


Abbildung 4.3: Schematic Mono-Bass-Weiche

#### 4.1.4 PCB

An einer der vier Seiten der Leiterplatte (Abb. 4.4) (in diesem Fall: Unten) 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 steckbare Pol-Klemmen. Zum Testen wurde ein zusätzlicher Masse-Printstift angebracht um bei Messungen mit einem Oszilloskop einen 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 Masseverbindungen sehr gut ersichtlich sind.



## 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 Schaltung

Das Eingangssignal (Links, Rechts, Masse) wird an einer dreipoligen Stiftleiste angeschlossen (Abb. 4.5). 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 Stiftleiste vorgesehen (Signal + Masse), da der darauffolgende Verstärker einen selbigen Eingang besitzt. Die Stiftleisten sind jedoch gruppiert nach Bandpass- und Hochpass-Ausgang.

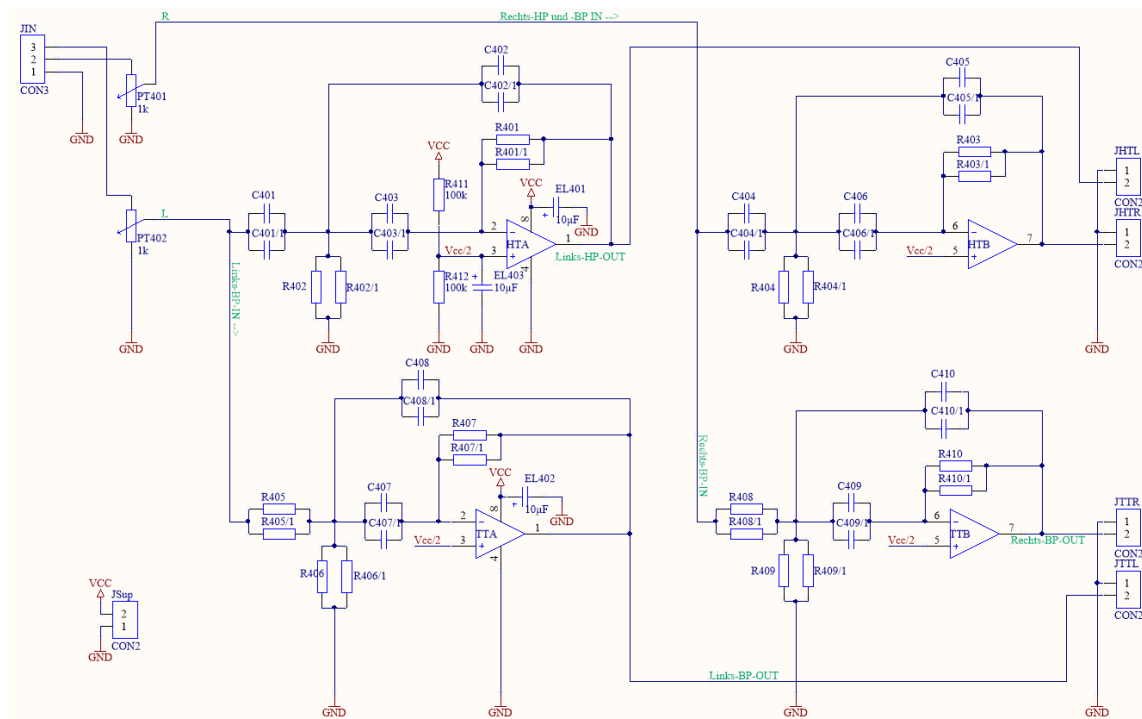


Abbildung 4.5: Butterworth-Bandpass-Filter 2. Ordnung

Eines der Bandpass-Filter. Gut sichtbar die doppelte, parallele Ausführung von Widerständen und Kondensatoren um krumme Werte auch erhalten zu können. Bedingt durch Parallel-Schaltung von Widerständen und Kondensatoren.

Der Eingang wurde gespiegelt um ein schöneres Bild zu erlangen. Die Spiegelung ist für das PCB-Layout nicht relevant!

Bedingt durch die Versorgungsspannung ist auch der Spannungsteiler für  $\frac{V_{cc}}{2}$  am Plus-Eingang des OPVs implementiert.

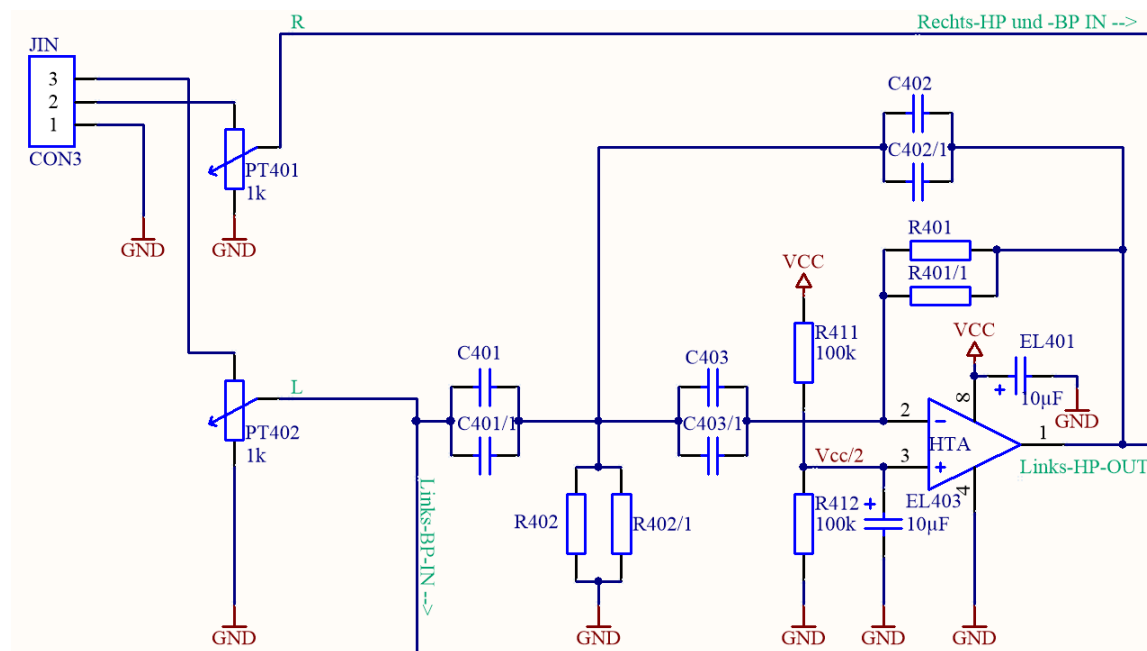


Abbildung 4.6: Butterworth-Bandpass-Filter 2. Ordnung - aus Abb.4.5

Am B-Teil des OPVs (erkennbar an der Beschriftung: TT„B“) ist keine Versorgung einzuzeichnen, da er mit dem A-Teil einen achtpinnigen IC mit zwei integrierten OPVs ergibt. Die zwei Teile sind über das IC-Gehäuse mit der gleichen Versorgungsspannung verbunden, deshalb ist das einmalige Kennzeichnen ausreichend.

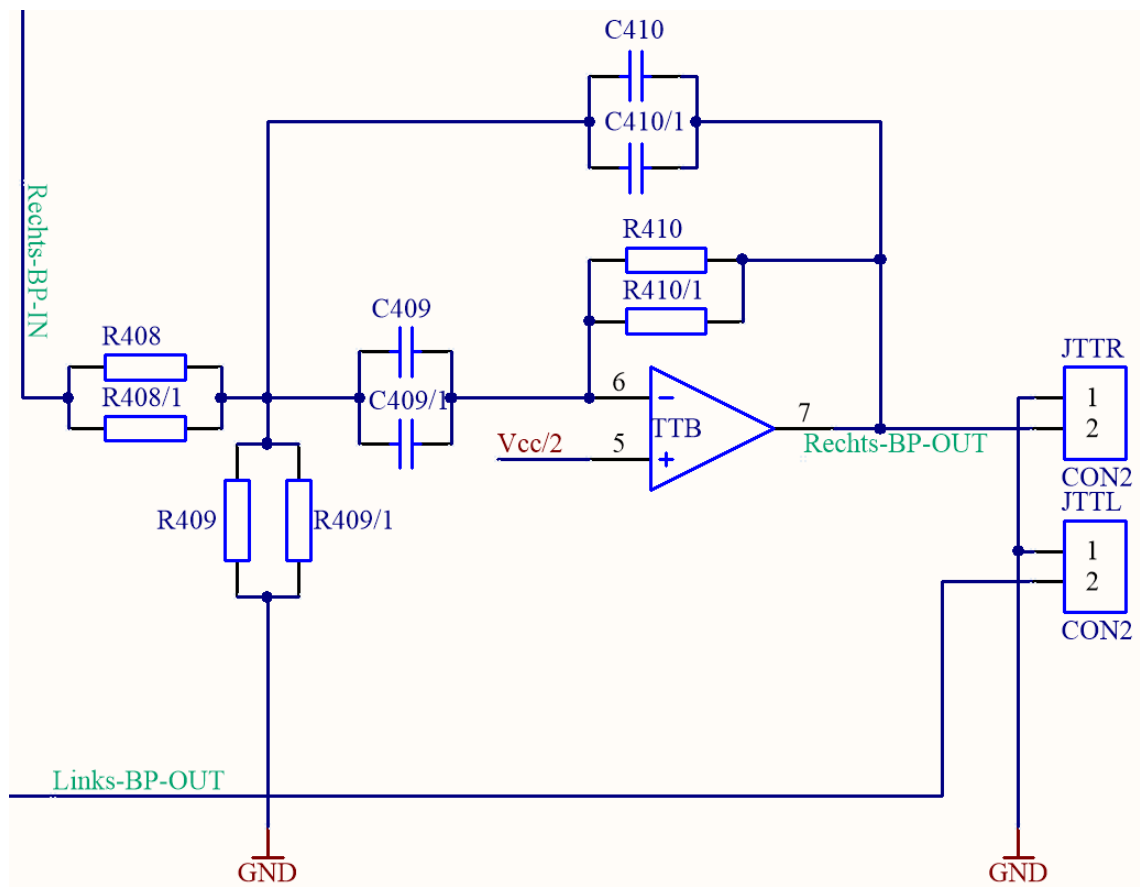


Abbildung 4.7: Butterworth-Bandpass-Filter 2. Ordnung - aus Abb.4.5

#### 4.2.4 PCB

Es wurden die grundlegenden Regeln zur Leiterplattenentflechtung angewandt (3.1.2). Bei dem Design (Abb. 4.8) wurde auf hohe Variierbarkeit geachtet um auch zB. Kondensatoren mit unterschiedlichen Footprint verwenden zu können.

Es wurden wieder nahe an den IC's ELKOs in der Spannungsversorgungsleitung verbaut, um Störungen zu verhindern.

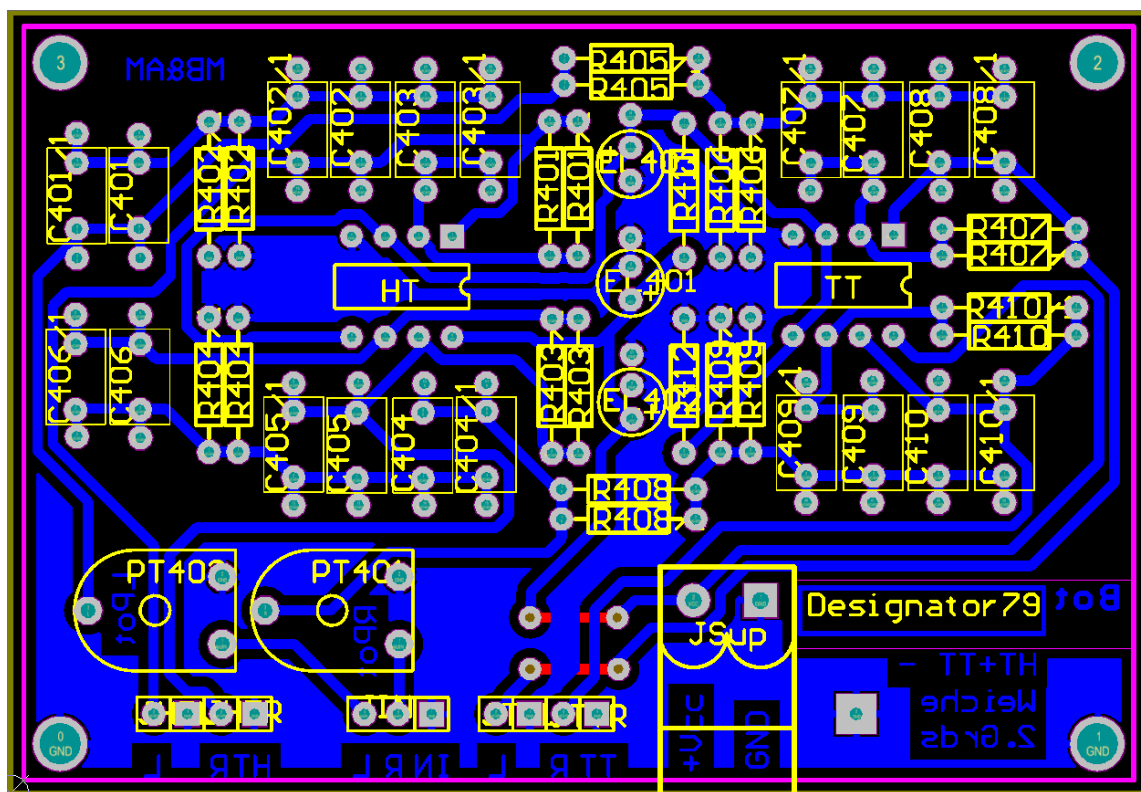


Abbildung 4.8: Tieftöner- und Hochtönerweichen - PCB

## 4.3 Tieftöner-Verstärker

### 4.3.1 Allgemeines

Nach dem Filtern des Signals soll dieses vor dem Abstrahlen am Lautsprecher verstärkt werden. Es wurde eine analoge Verstärker-Schaltung verwendet, da diese einfacher und mit weniger Problemen realisiert werden konnte. Mithilfe bereits bekannter, bewährter Schaltungen konnte ein Layout für diese Schaltung designet werden. Ein wichtiger Baustein in dieser Schaltung ist der Verstärker „TDA2030“, wie in Kapitel 3.2 beschrieben. Des weiteren wurden zwei Leistungstransistoren verbaut die höhere Ströme schalten können, falls der maximale Schaltstrom des TDA2030 erreicht wird.

### 4.3.2 Zielsetzung

Das Eingangssignal soll verstärkt werden um am Ausgang der Schaltung höhere Spannungs-Amplituden und höheren Ströme aufzuweisen. Es soll nach diesem Schritt möglich sein den Tieftöner in einer der zwei Satellitenboxen mit ausreichend Signal zu versorgen, um einen Schalldruck von zumindest Zimmerlautstärke zu erhalten.



# 5 Lautsprechermessungen

## 5.1 Allgemeines

Um die Charakteristika eines Lautsprechers zu beurteilen ist es wichtig den genauen Frequenzgang eines Lautsprecherchassis zu wissen. Dieser sagt aus, wie sich ein Lautsprecher bei bestimmten Frequenzen verhält. Der von uns gemessene Frequenzbereich beginnt bei 20Hz und endet bei 20kHz. Dieser Bereich wurde gewählt, da auch das menschliche Gehör nur in diesen Frequenzen aktiv ist.

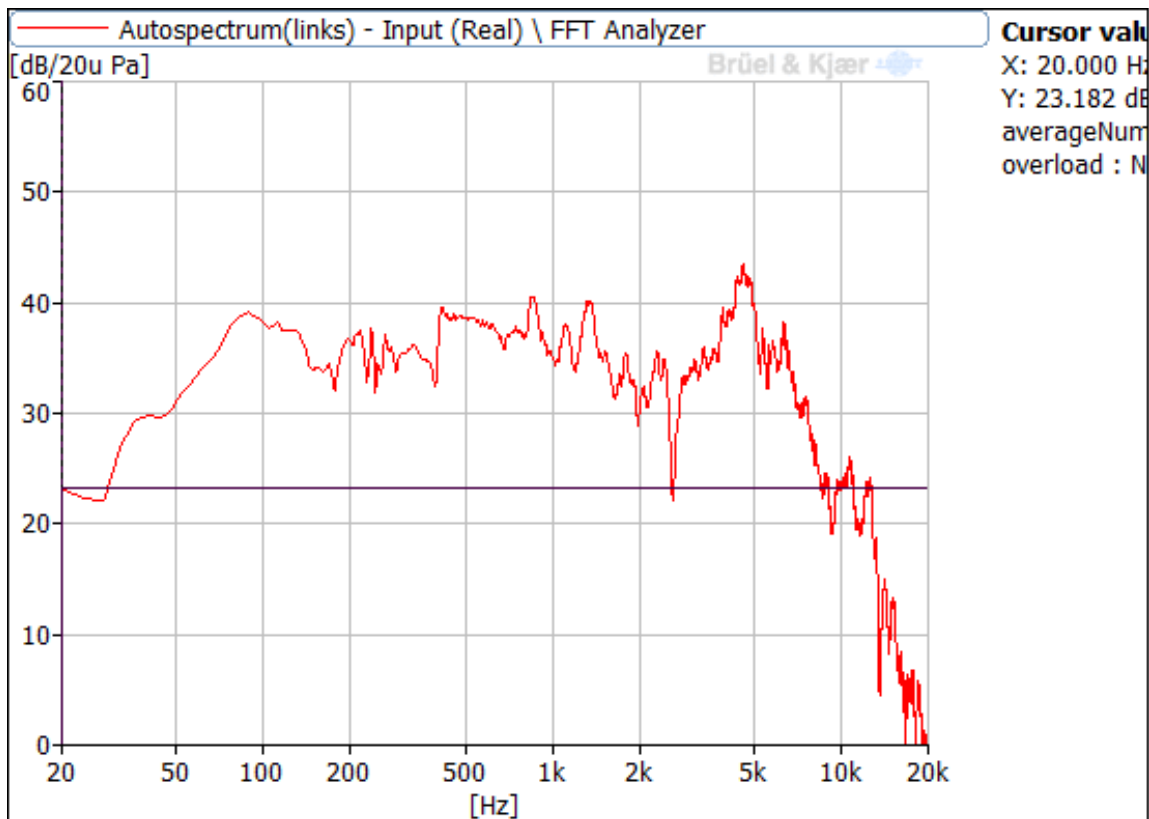


Abbildung 5.1: Beispiel eines Frequenzganges (Tieftöner PSS 297 58206)

Anhand dieses Beispiels kann man bereits sehr gut erkennen, wie sich der Schalldruckpegel (hier in dB angegeben) in Abhängigkeit der Frequenz verändert.

Da der gemessene Lautsprecher in diesem Fall ein Tieftöner ist, sinkt der Pegel ab einer gewissen Frequenz sehr stark ab. Das bedeutet, dass diese Frequenzen wenig oder gar nicht von dem Lautsprecher abgestrahlt werden - also nicht hörbar sind.

Die Qualität des Frequenzganges eines Lautsprechers hängt nun nicht direkt von dem absoluten Schalldruckpegel ab, sondern viel mehr von den relativen Schwankungen. Der absolute Pegel wird nämlich vom Signal des Verstärkers - im weiteren Sinne vom Benutzer - festgelegt. Das Wichtige dabei ist, was der Lautsprecher aus diesem Signal macht und so entsteht ein Frequenzgang.

In diesem Fall werden hohe Frequenzen vom Lautsprecher „gedämpft“ und somit nicht abgestrahlt.

### 5.1.1 Andere wichtige Eigenschaften eines Lautsprechers

Ein Lautsprecher wird aber nicht nur durch seinen Frequenzgang definiert. Es gibt viele andere Eigenschaften, die auch unter dem Namen „Thiele-Small-Parameter“ bekannt sind:

- Äquivalentvolumen  $V_{as}$
- Resonanzfrequenz  $F_{ms}$
- Elektrische Güte  $Q_{es}$
- Mechanische Güte  $Q_{ms}$
- Gesamtgüte  $Q_{ts}$
- Bewegte Masse  $M_{ms}$
- Membranfläche  $S_d$
- Nachgiebigkeit der Aufhängung  $C_{ms}$
- Gleichstromwiderstand  $R_e$
- Induktivität der Schwingspule  $L_e$
- Verschiebevolumen  $V_d$
- maximale Auslenkung  $X_{max}$
- Kraftfaktor  $B \times l$
- mechanischer Verlustwiderstand  $R_{ms}$

Diese Eigenschaften, sowie auch die Impedanz  $Z$ , beschreiben ebenfalls das Verhalten eines Lautsprechers. Sie wurden aber nicht von uns gemessen, weil der Fokus unseres Projekts eher an der Optimierung des Frequenzganges liegt. Die Thiele-Small-Parameter sind aber nicht veränderbar, also auch nicht optimierbar.

## 5.2 Messaufbau

Um überhaupt präzise Messungen an Lautsprechern durchführen zu können, benötigt man einen geeigneten Messraum. Die HTBLuVA St. Pölten verfügt glücklicherweise über so einen schalldichten Raum. Dieser ist innen mit schalldämpfenden Material ausgekleidet und dämpft somit jede Schallwelle in ihm.

Abbildung 5.2: Schalldichter Raum in der HTBLuVA St. Pölten

In diesem Raum wurden alle Lautsprecher gemessen. Um nun auch ein passendes Mess-Signal erzeugen zu können ist noch weiteres Equipment nötig:

- Mess-Software „PULSE LabShop Version 13.5.0“ von „Brüel & Kjær“
- USB-Dongle zur Aktivierung der Software
- Messmodul von „Brüel & Kjær“
- Signal-Verstärker
- Mess-Mikrofon
- Optional: Oszilloskop
- Optional: Einstellbares Filter als Frequenzweiche

### 5.2.1 Software

Als Software wurde „PULSE LabShop Version 13.5.0“ von „Brüel & Kjær“ verwendet. Der Mess-PC basierte auf dem Betriebssystem „Windows XP“. Um diese Software ordnungsgemäß verwenden zu können wird noch ein kleiner USB-Dongle benötigt. Nur mit diesem Dongle lässt sich die Software aktivieren.

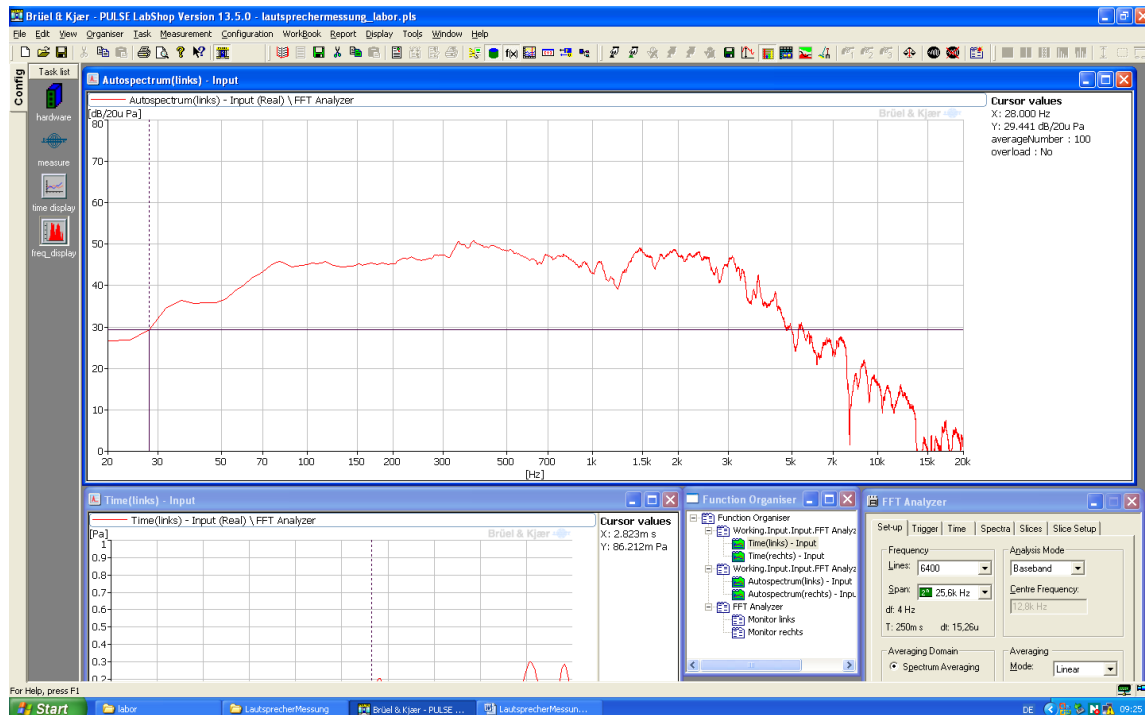


Abbildung 5.3: Ausschnitt aus der Software „PULSE LabShop“

In der Abbildung 5.3 ist bereits ein gemessener Frequenzgang eines Tieftöners zu sehen. Das liegt daran, dass bei den Messungen eine abgespeicherte Datei inklusive allen Einstellungen verwendet wurde, da man sonst immer wieder die nötigen Einstellungen treffen müsste. Die Software ist damit auf alle verwendeten Komponenten abgestimmt und sendet auch das richtige Mess-Signal aus. Mit einem Klick auf die Start-Taste beginnt die Messung. Es werden insgesamt 100 Messungen gemittelt um einen möglichst genauen Frequenzgang aufnehmen zu können. Dies dauert in etwa 20s.

All diese Einstellungen sind je nach Wunsch veränderbar. Genau wie auch die Angaben und Einheiten der 2 Achsen. Die Frequenzachse ist logarithmisch von 20Hz bis 20kHz dargestellt. Die Achse des Schalldruckpegels ist in der Einheit dB angegeben. In diesem Beispiel (Abb. 5.3) ist der Bereich von 0dB bis 80dB gewählt. Diese Einstellung wurde von uns später geändert auf 0dB bis 60dB um möglichst vergleichbare Messungen zu erzeugen.

### 5.2.2 Messmodul

Das Modul ist über ein Ethernet-Kabel mit dem PC und somit mit der Software verbunden. Sobald der Befehl zum Start der Messung kommt, beginnt das Modul das Mess-Signal auszusenden und gleichzeitig über ein Mikrofon die Ergebnisse aufzunehmen.

Das Mess-Signal besteht aus einem „weißen Rauschen“. Dieses Signal ist optimal für die Messung von Lautsprechern, da alle Frequenzen mit gleichem Pegel ausgesendet wird.

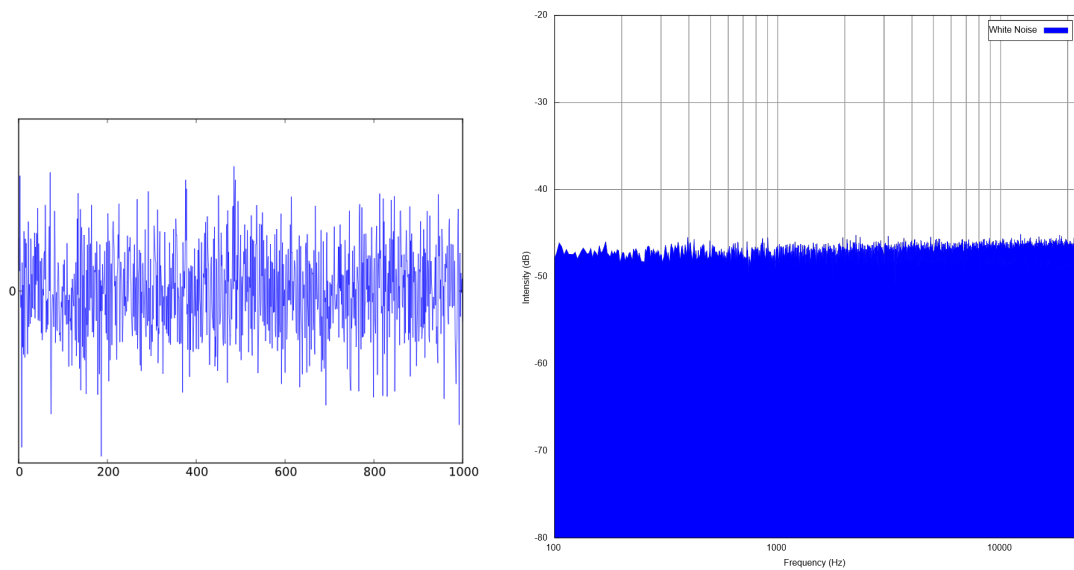


Abbildung 5.4: Zeitfunktion und Spektrum von „weißem Rauschen“

Abbildung 5.5: Messmodul

### 5.2.3 Mikrofon

Um den Schalldruckpegel möglichst präzise messen zu können wird auch ein dementsprechend genaues Mikrofon benötigt. Das bei uns verwendete Mikrofon war das „Brüel & Kjær Type 2669“.

Ebenfalls wichtig ist die Ausrichtung des Mikrofons. Es sollte immer auf Höhe der Mitte des Lautsprechers angebracht werden. Die Entfernung muss bei verschiedenen Lautsprechern gleich bleiben, um vergleichbare Messungen zu ermöglichen. Bei einem Zwei-Weg-System (Hoch- und Tieftöner) haben wir das Mikrofon (vertikal gesehen) zwischen den Lautsprechern befestigt.



Abbildung 5.6: Messmikrofon „Brüel & Kjær Type 2669“

# Abkürzungsverzeichnis

<b>PCB</b>	Printed Circuit Board - dt. Leiterplatte
<b>ELKO</b>	Elektrolyt Kondensator
<b>VIA</b>	Durchkontaktierungen einer Doppelseitigen-Leiterplatte
<b>EMV</b>	Elektro-Magnetische Verträglichkeit
<b>OPV</b>	Operations Verstärker
<b>Abb.</b>	Abbildung
<b>Kap.</b>	Kapitel
<b>Hz</b>	Hertz
<b>dB</b>	Dezibel
<b>Dek.</b>	Dekade
<b>Vcc</b>	Positive Versorgungsspannung
<b>F</b>	Farad
<b>V</b>	Volt
<b>zB.</b>	zum Beispiel
<b>IC</b>	Integrated Circuit - dt. Integrierter Schaltkreis

# 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
3.2	TDA2030-Pinning . . . . .	6
3.3	TDA2030-Maximum Ratings . . . . .	7
3.4	TDA2030-Leistungstransistorschaltung . . . . .	8
3.5	TDA2030-Leistungstransistorschaltung . . . . .	9
3.6	TDA2030-Leistungstransistorschaltung . . . . .	10
3.7	Butterworth-Tiefpass-Filter 2. Ordnung . . . . .	12
3.8	Butterworth-Bandpass-Filter 2. Ordnung . . . . .	12
3.9	Butterworth-Hochpass-Filter 2. Ordnung . . . . .	13
4.1	Schematic Mono-Bass-Addier-Schaltung und Mono-Bass-Weiche . . . . .	15
4.2	Schematic Mono-Bass-Addier-Schaltung . . . . .	15
4.3	Schematic Mono-Bass-Weiche . . . . .	16
4.4	PCB . . . . .	17
4.5	Butterworth-Bandpass-Filter 2. Ordnung . . . . .	19
4.6	Butterworth-Bandpass-Filter 2. Ordnung - aus Abb.4.5 . . . . .	20
4.7	Butterworth-Bandpass-Filter 2. Ordnung - aus Abb.4.5 . . . . .	21
4.8	Tieftöner- und Hochtönerweichen - PCB . . . . .	22
5.1	Beispiel eines Frequenzganges (Tieftöner PSS 297 58206) . . . . .	24
5.2	Schalldichter Raum in der HTBLuVA St. Pölten . . . . .	26
5.3	Ausschnitt aus der Software „PULSE LabShop“ . . . . .	27
5.4	Zeitfunktion und Spektrum von „weißem Rauschen“ . . . . .	28
5.5	Messmodul . . . . .	28
5.6	Messmikrofon „Brüel & Kjær Type 2669“ . . . . .	29



# 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

# Betreuungsprotokoll zur Diplomarbeit

**Ifd. Nr.:**

### Themenstellung:

Kandidaten/Kandidatinnen:

Jahrgang:

Betreuer/in:

Ort:

Datum:

Zeit:

Besprechungsinhalt:

Name	Notiz

### Aufgaben:

[illegible]

# Betreuungsprotokoll zur Diplomarbeit

**Ifd. Nr.:**

### Themenstellung:

Kandidaten/Kandidatinnen:

Jahrgang:

Betreuer/in:

Ort:

Datum:

Zeit:

Besprechungsinhalt:

Name	Notiz

### Aufgaben:

[illegible]