Projekt:
Beachbox

Mini-Audioverstärker

das Elektrotechnik- und Informatik-Labor der Fakultät IV
http://www.dein-labor.tu-berlin.de

Handout zum Projekt:

Beachbox

Mini-Audioverstärker

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**

2 Elektrotechnik-Grundlagen **2**
2.1 Strom 2
2.2 Spannung 3
2.3 Der Widerstand 4
2.4 Kondensator 5

3 Operationsverstärker **6**
3.1 Funktion 6
3.2 Leistungsverstärker 7
3.2.1 Spannungsfolger 7
3.2.2 Nichtinvertierender Verstärker 8

4 Die Schaltung **9**

5 Bestückungsplan **14**

6 Bauteileliste **15**

1 Einleitung

Wie ist dieses Projekt entstanden? Wir saßen eines schönen Tages beim Grillen beisammen. So lustig wie es auch war, es fehlte eindeutig Musik. Da wir aber keine Lust hatten, die große Anlage in den Hof zu schleppen, sind wir auf die Idee gekommen, einen handlichen Audioverstärker für die nächste Feier zu entwickeln. Wenn man schon dabei ist, warum nicht gleich noch ein Schülerprojekt daraus machen? Und nun habt ihr das Ergebnis vor euch!

Was ist ein Audioverstärker?

Das Wort *Audio* kommt vom Lateinischen und heißt: „Ich höre”. Audio ist alles das, was wir mit unseren Ohren wahrnehmen, also Geräusche, Klänge und Musik.

Aber was ist ein Audioverstärker? Vielleicht hast du schon einmal ein *Megafon* gesehen. Man spricht auf der einen Seite hinein und auf der anderen Seite kommt die Stimme um ein Vielfaches lauter heraus. Ein Verstärker macht also aus einer schwachen Quelle eine wesentlich stärkere Quelle. Ein Megafon ist ein Audioverstärker, denn es verstärkt den Klang der Stimme.

WICHTIG
Ein Audioverstärker macht aus einem leisen Geräusch ein lautes Geräusch.

Unsere Aufgabe

Unsere Aufgabe ist es, das Audiosignal unseres Handys so zu verstärken, dass wir damit einen Raum mit unserer Lieblingsmusik beschallen können. Außerdem soll unser Audioverstärker noch möglichst klein sein, so dass wir ihn ohne Problem in unsere Tasche bekommen. Und die Batterien sollten ca. sechs Stunden halten.

Wie in jeder Wissenschaft geht hier nichts ohne etwas Vorwissen, daher werden wir nun erst einmal etwas in die Grundlagen der Elektrotechnik hineinschnuppern.

2 Elektrotechnik-Grundlagen

Die Elektrotechnik findet man an jeder Straßenecke. Überall blinkt es, große Leuchttafeln erzählen uns, was wir als nächstes kaufen sollen, und zu Hause flimmern im Fernseher die neuesten Nachrichten vor sich hin. Aber auch in der Natur finden wir die Elektrotechnik: wenn die grauen, dunklen Wolken am Himmel ihre Blitze zucken lassen.

Richtig, ein Blitz ist reine Elektrizität. Die Elektrotechnik hat sich zur Aufgabe gemacht, die Elektrizität näher zu erforschen und dessen Auswirkungen zum Wohle der Menschheit einzusetzen. Wir lassen damit Lampen leuchten, Motoren drehen oder Musik erklingen.

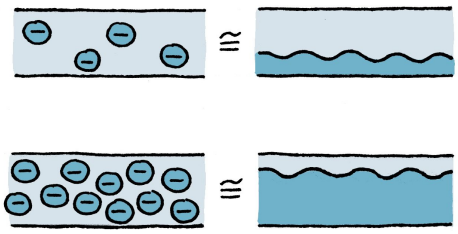
WICHTIG
Die Elektrotechnik beschäftigt sich mit der Änderung von Strom und Spannung.

2.1 Strom

Wenn wir von einer »Strömung im Fluss« sprechen, weiß jeder, was damit gemeint ist. Ein großer Fluss heißt ja auch Strom. Wenn ein Fluss schnell fließt und viel Wasser enthält, dann hat er eine hohe Strömung. Das Gleiche gibt es in der Elektrotechnik. Statt Wasser im Flussbett haben wir ganz kleine Teilchen, die sich in einem Draht bewegen. Wir nennen diese Teilchen Ladungsträger

und deren Bewegung Strom. Es gibt zwei unterschiedliche Arten von Ladungsträgern, man nennt sie negativ geladen oder positiv geladen.

Negativ geladene Teilchen heißen auch *Elektronen*. Sie beschreiben den Stromfluss und werden oft als kleine Kreise mit einem Minussymbol darin gemalt. Fließen wenige Elektronen pro Zeiteinheit durch einem Draht, dann sprechen wir von einer geringen Stromstärke (oben im Bild rechts). Sind es dagegen viele Ladungsträger, so sprechen wir von einer hohen Stromstärke (unten im Bild).

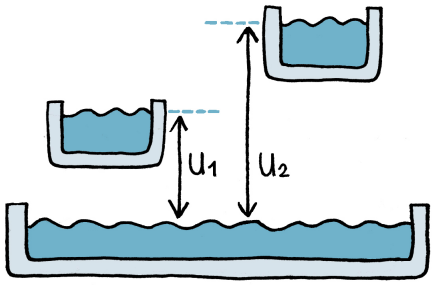


WICHTIG
Wenn sich in der Elektrotechnik Ladungsträger bewegen, spricht man von *Strom*.
Formelzeichen: I für die Stromstärke
Einheit: A (*Ampere*) zum Andenken an den Physiker *André Marie Ampère*

2.2 Spannung

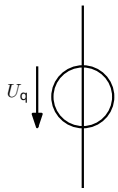
Wie fließt ein Fluss? Natürlich nur bergab, denn auf das Wasser wirkt die Erdanziehungskraft. Sie ist die Ursache der Strömung. Alles »will« nach unten: ein Apfel, den ich fallen lasse, oder das Wasser, das bergab fließt. In der Elektrotechnik gibt es ebenfalls eine Ursache für Stromfluss, diese nennen wir Spannung (auch Potentialunterschied genannt). Nur wenn Spannung vorhanden ist, bewegen sich die Ladungsträger. Nur dann also fließt Strom.

Du kannst dir eine kleinere oder höhere Spannung so vorstellen, als hättest du zwei obere Wasserbecken in unterschiedlichen Höhen und ein unteres Wasserbecken. Je höher das obere Becken, desto höher ist die Spannung (im Bild U_1 und U_2 genannt). Noch fließt hier kein Wasser. Aber sobald die Becken über Rohrleitungen miteinander verbunden werden, kann Wasser von den oberen Becken in das untere fließen.



WICHTIG
Spannung ist die Ursache, die Ladungsträger in Bewegung setzt.
Formelzeichen: U
Einheit: V (*Volt*) zum Andenken an den Physiker *Alessandro Volta*

In der Elektrotechnik gibt es Schaltungssymbole, damit jeder elektrotechnisch Begeisterte auf der Welt weiß, was man für Bauteile in einer Schaltung gemeint sind. Rechts siehst du das Symbol für eine Spannungsquelle.

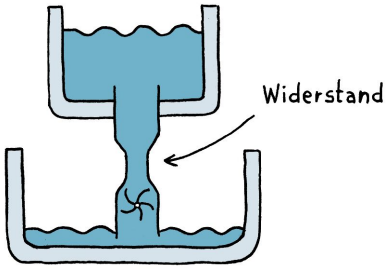


Wir haben Spannung und Strom kennengelernt. Jetzt brauchen wir noch die Bauteile, die es uns ermöglichen Strom und Spannung zu ändern.

2.3 Der Widerstand

Widerstand ist, wenn man sich gegen etwas wehrt! Das Bauelement *Widerstand* macht dies auch, es »wehrt sich« gegen den Stromfluss. Tatsächlich reduziert ein Widerstand die Stromstärke.

Mithilfe unseres Wassermodells kannst du dir das so vorstellen, dass der Widerstand den Querschnitt des Wasserrohrs reduziert. Die Wasserteilchen müssen sich durch die Engstelle hindurchquetschen und verlieren an Schwung. Dadurch kann im Vergleich zum Rohr ohne Verengung nur eine reduzierte Menge Wasser (Strom) in einer bestimmten Zeit durch das Rohr fließen.



Den Zusammenhang zwischen Widerstand, Spannung und Stromstärke kann man auch in einer Formel ausdrücken.

In der Formel nennen wir den Widerstandswert R (wegen des englischen Worts *resistor* für Widerstand), den Spannungswert U und den Wert der Stromstärke I. Diese für Elektrotechniker sehr wichtige Formel lautet:

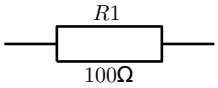
$$\boxed{R = \frac{U}{I}}$$

Die Formel bedeutet, der Widerstandswert ist gleich dem Ergebnis von Spannungswert geteilt durch Stromstärke. Weil man die Spannung U in Volt (V) misst, und die Stromstärke I in Ampere (A), ergibt sich, dass man den Widerstand $R = \frac{U}{I}$ in der Einheit $\frac{V}{A}$ misst. Der Widerstand ist allerdings eine so wichtige Größe, dass man der Einheit $\frac{V}{A}$ den Namen Ohm gegeben hat (nach dem Entdecker der Formel, dem Forscher Georg Simon Ohm). Die Formel heißt daher auch *Ohmsches Gesetz*. Häufig wird die Einheit Ohm durch den griechischen Buchstaben Omega (Ω) abgekürzt.

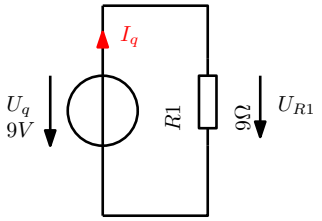
WICHTIG

Je höher der *Widerstand*, desto mehr Spannung braucht man, um einen bestimmten Strom fließen zu lassen.
Formelzeichen: R
Einheit: Ω, (Ohm), zum Andenken an den Physiker *Georg Simon Ohm*

In einem Schaltplan wird ein Widerstand anhand eines rechteckigen Schaltsymbols dargestellt:



Nun können wir mehr oder weniger Ladungsträger durch einen Widerstand fließen lassen, also mehr oder weniger Strom. Schauen wir uns dazu das Beispiel rechts an, in dem eine Spannungsquelle mit einer Spannung von $U_q = 9V$ mit einem Widerstand $R_1 = 9\Omega$ verbunden wird:



Wir suchen den Strom I_q in unserer Schaltung. Dazu brauchen wir die Spannung U_{R1} am Widerstand R_1. Dazu muss man wissen, dass alle Spannungen in einer Schaltung zusammengerechnet Null ergeben müssen. Mit dieser Bedingung kommen wir auf die Spannung U_{R1}. Wir rechnen $0 = U_q - U_{R1}$.

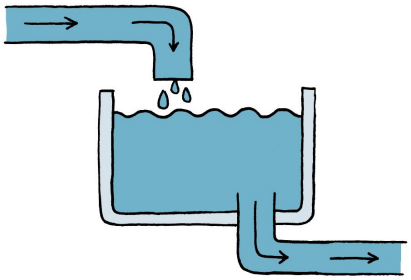
Warum $-U_{R1}$? Wir starten in Richtung des Pfeiles U_q. Alle Pfeile, die in die gleiche Richtung laufen, werden addiert, und alle die entgegen laufen, werden subtrahiert. U_{R1} läuft entgegen und wird daher subtrahiert. Stellen wir die Gleichung um, so werden wir sehen, dass $U_{R1} = U_q$ ist. Da $U_q = 9V$ ist und die Spannung über R_1 die gleiche ist, liegt an dem Widerstand die Spannung von $U_{R1} = 9V$ an. Jetzt können wir mithilfe des ohmschen Gesetzes die Stromstärke I_q ausrechnen:

$$I_q = \frac{U_q}{R1} = \frac{9V}{9\Omega} = 1A$$

2.4 Kondensator

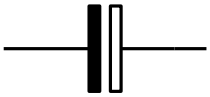
Ein Kondensator funktioniert ähnlich wie eine Batterie. Er speichert für eine gewisse Zeit Ladungsträger und gibt diese ab, wenn andere Bauteile sie brauchen. Ein Kondensator besteht aus zwei leitenden, voneinander isolierten Flächen, beispielsweise Metallplatten oder -folien. Die Kapazität C eines Kondensators ist das Maß für die Ladung, die er bei einer bestimmten angelegten Spannung speichern kann. Gemessen wird die Kapazität in der Einheit Farad (F).

Wenn wir den Kondensator mithilfe unseres Wassermodells beschreiben, können wir ihn uns als großes Staubecken in einem Fluss vorstellen. Das Wasser läuft auf der einen Seite in das Becken hinein und füllt es auf. Auf der anderen Seite kann es wieder abfließen. Es fließt aber auch dann noch ab, wenn der Zufluss längst aufgehört hat. Genau dafür wird ein Kondensator auch in einer Schaltung eingesetzt: Wenn die Batterie mal nicht genügend Ladungsträger liefert, gibt ein aufgeladener Kondensator noch eine Weile seine gespeicherte Ladung ab.



WICHTIG
Ein Kondensator speichert Ladungsträger.
Formelzeichen: C
Einheit: F (Farad) zum Andenken an den Physiker *Michael Faraday*

Das Schaltzeichen eines Kondensators erinnert an zwei gegenüberliegende Metallplatten:



Es gibt verschiedene Kondensator-Bauformen, rund und eckig, mal aus Keramik und mal aus Metallfolien. Manche Kondensatoren sind sogar gepolt. Das heißt, sie besitzen - ähnlich wie eine Batterie - einen Plus- und einen Minuspol. Dazu gehören beispielsweise die sogenannten *Elektrolytkondensatoren* (kurz: Elkos). Dann muss man aufpassen, in welcher Richtung sie in einer Schaltung eingebaut werden.

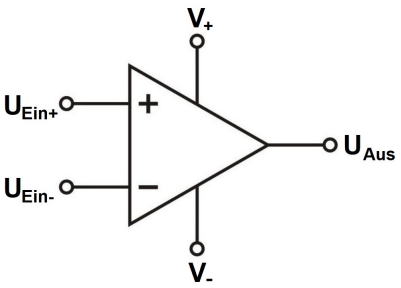
3 Operationsverstärker

In unserer Schaltung kommen außerdem sogenannte Operationsverstärker (kurz: OPV) vor. Diese werden als integrierte Schaltung (englisch *integrated circuit*, kurz IC) hergestellt. Darunter versteht man eine elektronische Schaltung aus mehreren Bauelementen, die in einem kleinen Chipgehäuse verpackt ist. Außen müssen dann nur noch die Anschlüsse des Chips, die Pins, mit der eigenen Schaltung richtig verbunden werden.

Aber wieso heißt es Operationsverstärker? Die Namensgebung ist auf die frühere Nutzung in analogen Computern zurückzuführen, dort wurde der Verstärker für Rechen-Operationen genutzt, wie z.B. Plus, Minus, Mal und Geteilt. Mit diesem Bauteil kann man nämlich viele verschiedene Anwendungen realisieren, denn die eigentliche Funktion wird durch die äußere Beschaltung bestimmt. Nur eine davon brauchen wir für unsere Beachbox. Bevor wir diese kennenlernen, schauen wir uns erst einmal an, wie ein Operationsverstärker eigentlich funktioniert.

3.1 Funktion

Rechts ist das Schaltzeichen eines Operationsverstärkers gezeigt. Er hat zwei Eingänge, einen positiven, mit $+$ gekennzeichneten Eingang und einen negativen, der mit $-$ gekennzeichnet ist. Am positiven Eingang, welcher unter Elektrotechnikern auch *nichtinvertierender Eingang* genannt wird, liegt die Spannung U_{Ein+} an und am negativen, dem *invertierenden Eingang*, die Spannung U_{Ein-} an. Rechts befindet sich der Ausgang des OPVs mit der Ausgangsspannung U_{Aus}. Außerdem benötigt der OPV eine positive und eine negative Versorgungsspannung V_+ bzw. V_-. In diesen Grenzen kann sich dann die Ausgangsspannung bewegen.



WICHTIG

Der Operationsverstärker hat zwei Eingänge:

- einen *positiven (nichtinvertierenden)*, mit einem $+$ gekennzeichnet
- einen *negativen (invertierenden)*, mit einem $-$ gekennzeichnet.

und einen Ausgang. Des Weiteren benötigt der Operationsverstärker eine Versorgungsspannung V_+ und V_-.

Die Besonderheit des OPVs ist, dass er versucht, die Spannung zwischen dem positiven und dem negativen Eingang immer auf Null zu halten. Ist die Spannung zwischen den beiden Eingängen nicht Null, legt der OPV am Ausgang eine Spannung an. Diese Spannung verändert er so lange, bis die Differenz an den Eingängen Null ist oder er seine maximale Versorgungsspannung erreicht hat. Die maximale Spannung ist V_+ oder V_-.

Der OPV misst also die ganze Zeit über die Differenz $U_D = U_{Ein+} - U_{Ein-}$ der Eingangsspannungen. Ist die Spannungsdifferenz U_D positiv, d.h. U_{Ein+} größer als U_{Ein-}, erhöht der OPV seine Ausgangsspannung. Wenn jedoch die Spannung U_{Ein-} am invertierenden Eingang höher ist, wird die Ausgangsspannung gesenkt.

Mit dem Operationsverstärker wird dann einfach die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Eingängen U_{Ein+} und U_{Ein-} mit einem bestimmten Verstärkungsfaktor A (englisch *Amplification*) vergrößert. [1] Am Ausgang ergibt sich dann die Spannung

$$\begin{aligned} U_{Aus} &= A \cdot (U_{Ein+} - U_{Ein-}) \\ &= A \cdot D \end{aligned}$$

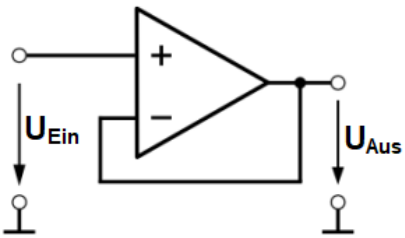
3.2 Leistungsverstärker

Für die Beachbox benötigen wir einen Leistungsverstärker. Warum wir den benutzen, wird später noch bei der Funktionsweise der Schaltung erklärt. Bei dieser Art von Verstärker ist eine hohe Ausgangsleistung wichtig. Die Leistung P (englisch *power*) wird in Watt (Einheit W) angegeben und ergibt sich allgemein aus dem Produkt $P = U \cdot I$ von Spannung U und Stromstärke I.

Wenn wir also die Leistung unseres Eingangssignals mithilfe eines Operationsverstärkers erhöhen möchten, müssen wir entweder dessen Spannung oder den Strom erhöhen. Schauen wir uns an, wie der Verstärker für unsere Anwendung beschaltet wird.

3.2.1 Spannungsfolger

Rechts wird die Beschaltung eines Operationsverstärkers als *Spannungsfolger* gezeigt. Der invertierende (negative) Eingang wurde direkt mit dem Ausgang verbunden. Diese negative Rückkopplung nennt man auch *Gegenkopplung*. Die Spannung am negativen Eingang ist nun gleich der Ausgangsspannung U_{Aus}, da diese direkt auf den Eingang zurückgeführt wird.



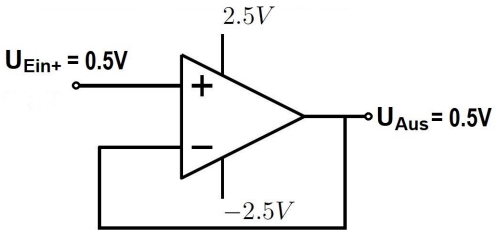
Wie der Spannungsfolger funktioniert, schauen wir uns am besten an einem Beispiel an.

[1] Man kann sagen, die Rechenoperation »Minus« wird ausgeführt und das Ergebnis A-fach verstärkt. Daher also der Name *Operationsverstärker*.

Beispiel Spannungsfolger

Am positiven Eingang des OPVs legen wir eine Spannung von $0,5V$ an. Als Versorgungsspannung haben wir $2,5V$ bzw. $-2,5V$ gewählt.

Wieso liegen am Ausgang nun auch $0,5V$ an? Wie wir gelernt haben, versucht der OPV immer, die Differenz seiner beiden Eingänge auf Null zu halten, indem er eine Spannung am Ausgang anlegt. Die Frage ist nun, wie hoch die Spannung am Ausgang sein muss, um diese Bedingung zu erfüllen.

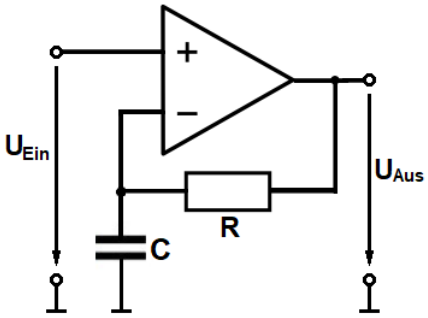


Da die Spannung am negativen Eingang gleich der Ausgangsspannung ist, können wir die Gleichung rechts aufstellen und umformen. Als Ergebnis erhalten wir, dass die Spannung am Ausgang genauso groß ist, wie die Spannung am positiven Eingang. Daher nennt man diese Verschaltung des OPVs auch *Spannungsfolger*.

$$\begin{aligned} U_{Ein+} - U_{Ein-} &= 0 \quad \Leftrightarrow \\ U_{Ein+} - U_{Aus} &= 0 \quad \Leftrightarrow \\ U_{Aus} &= U_{Ein+} \end{aligned}$$

3.2.2 Nichtinvertierender Verstärker

Beim *nichtinvertierenden Verstärker* wird der Spannungsfolger noch um einen Widerstand im negativen Rückkopplungspfad und um einen Kondensator erweitert. Der Widerstand R und der Kondensator C bilden einen *Spannungsteiler*. Das heißt, dass im Gegensatz zum Spannungsfolger nur noch *ein Teil* ($\frac{1}{A}$) des Ausgangssignals auf den negativen Eingang zurückgeführt wird.



Die Spannung U_{Ein+} am nichtinvertierenden Eingang wird in dieser Spannungsteiler-Schaltung mit dem Faktor A zum Ausgangssignal U_{Aus} verstärkt:

$$\begin{aligned} U_{Ein+} - U_{Ein-} &= 0 \quad \Leftrightarrow \\ U_{Ein+} - \frac{1}{A} \cdot U_{Aus} &= 0 \quad \Leftrightarrow \\ \frac{1}{A} \cdot U_{Aus} &= U_{Ein+} \quad \Leftrightarrow \\ U_{Aus} &= A \cdot U_{Ein+} \end{aligned}$$

Das Ziel dieser Gegenkopplung ist es auch, Verzerrungen des Audiosignals bei der Verstärkung zu verringern. Der Kondensator gleicht dabei Spannungsschwankungen aus, er *glättet* das Eingangssignal. [2]

[2] Aufgrund der Kapazität C ist die Gegenkopplung *frequenzabhängig*. Der Kondensator wirkt wie ein Widerstand, dessen Größe für höhere Frequenzen immer kleiner wird. Das hat einen Einfluss auf die Stärke der Rückkopplung und damit auf die Höhe der Verstärkung bei unterschiedlichen Frequenzen.

4 Die Schaltung

Zur Erinnerung: Die Beachbox-Schaltung soll ein Audiosignal vom Handy verstärken und das möglichst ohne Verzerrungen. Die Lautstärke soll also erhöht und über Lautsprecher wiedergegeben werden. Bei dem Signal handelt es sich allerdings um Wechselspannungen, die z.B. so wie die blaue Kurve in Abbildung 1 aussehen können.

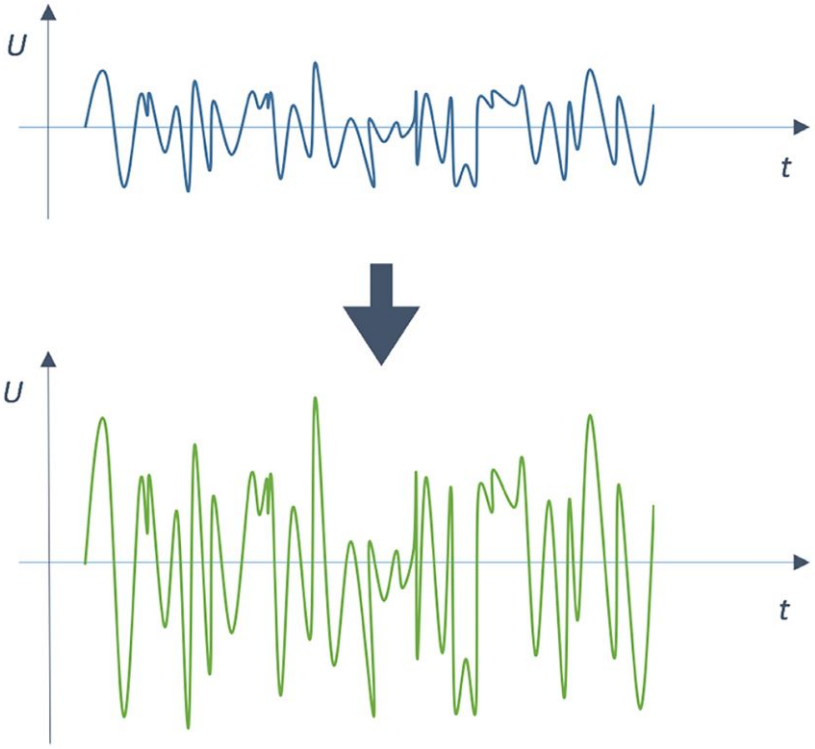
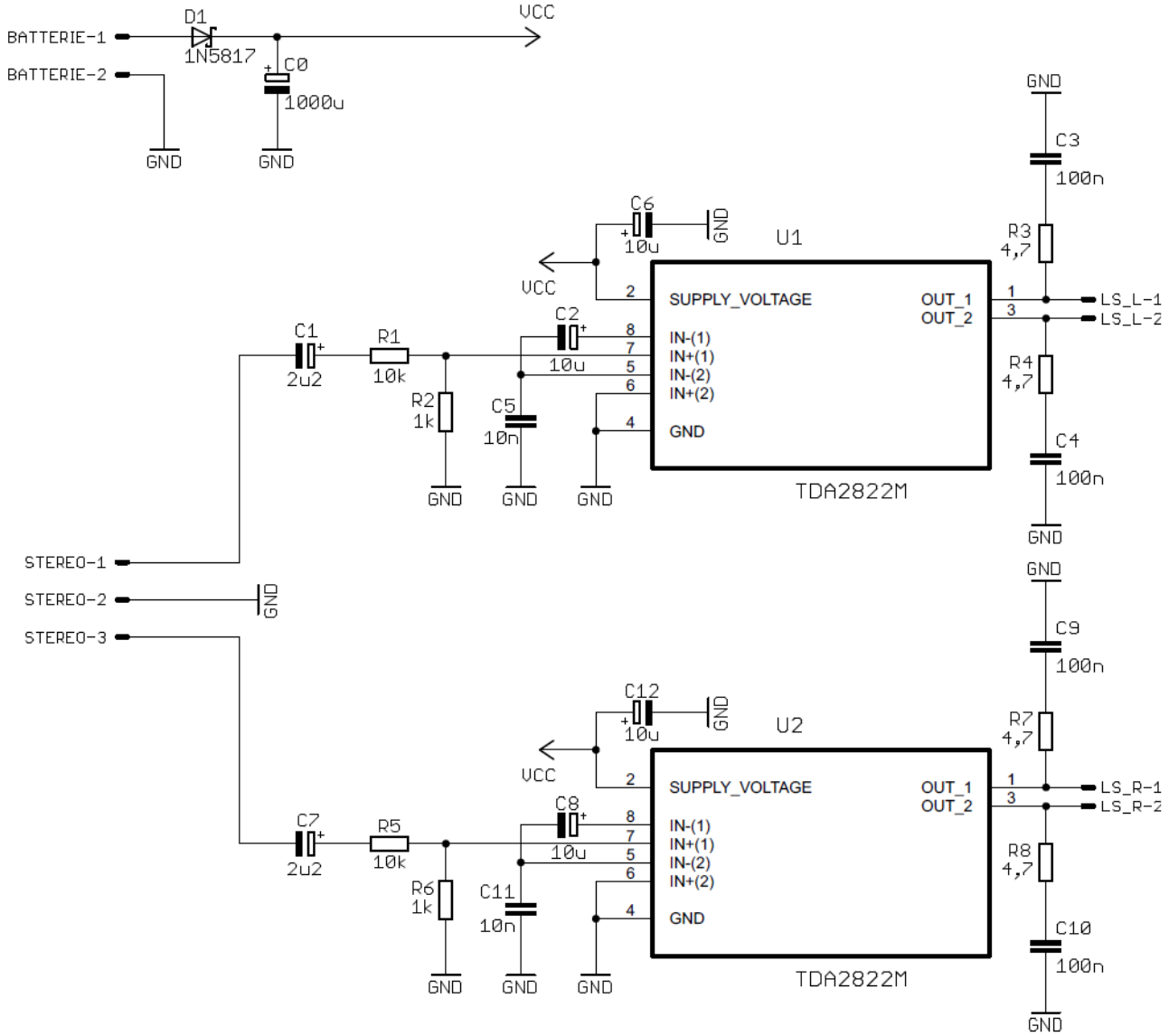


Abbildung 1: Verstärkung eines Audiosignals durch Spannungsverstärkung

Bei der Verstärkung eines Audiosignals wird die Leistung des Signals erhöht, denn diese bestimmt die Lautstärke der Töne, die vom Lautsprecher wiedergegeben werden. Die Leistung kann z.B. durch eine Verstärkung der Spannung erhöht werden, das kann man an der grünen Kurve in unserem Beispiel erkennen. Das blaue Signal wird also entlang der Spannungsachse (U-Achse) "gezogen", um die Leistung und damit die Lautstärke zu erhöhen, ohne dass sich die Zeitabhängigkeit entlang der t-Achse ändert. Die Frequenzen, also die verschiedenen Tonhöhen, bleiben dabei also gleich.

Der so verstärkte lautere Ton soll über Lautsprecher ausgegeben werden! Dies wollen wir nun mit unserer Verstärkerschaltung umsetzen. Das zu verstärkende Eingangssignal erhalten wir über ein Audiokabel von der Audiobuchse (dem Kopfhörerausgang) unseres Handys.

Der komplette Schaltplan ist hier zu sehen:



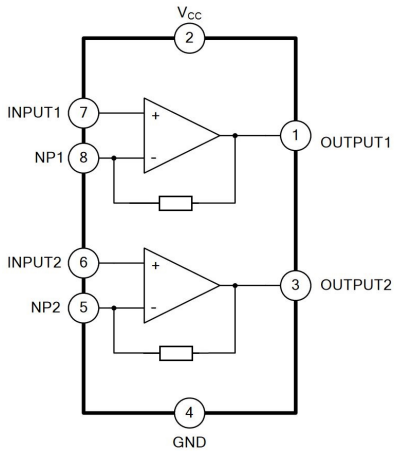
Am Eingang der Schaltung wird die *Spannungsquelle* angeschlossen, das ist oben links im Schaltplan zu erkennen. Mit *VCC* ist hierbei die Versorgungsspannung gekennzeichnet, die in unserem Fall $6V$ beträgt, da wir vier Batterien mit je $1,5V$ in Reihe schalten.

Außerdem wird die Diode $D1$, eine sogenannte *Schottky-Diode*, als Verpolungsschutz verwendet. Das heißt, dass sie das versehentliche Vertauschen von Plus- und Minuspol bei der Gleichspannungsversorgung verhindert. Weiterhin wird parallel zu der Diode der *Kondensator* C_0 geschaltet, welcher mit $1mF(1000\mu F)$ eine relativ hohe Kapazität hat und zur Glättung der Eingangsspannung dient. Mit *GND* wird das Bezugspotential (ground, auch Masse genannt) bezeichnet.

Die dreipolige Steckerbuchse für das Audiokabel kann man links gut im Schaltplan erkennen. Das Kabel endet in drei Anschlüssen (STEREO-1, STEREO-2 und STEREO-3) auf unserer Schaltung. Diese Anschlüsse splitten das Signal auf in den linken und rechten Stereokanal (STEREO-1 und STEREO-3), sowie die Masse (STEREO-2 bzw. GND). Unsere Beachbox ist als Stereoverstärker mit einem linken und einem rechten Lautsprecher ausgelegt.

In der oberen Hälfte der Schaltung ist der Schaltungsteil für den linken Lautsprecher mit dem Eingangskanal STEREO-1 zu erkennen. In der unteren Hälfte wiederholt sie sich einfach für den rechten Lautsprecher mit dem Eingang STEREO-3. Um die Funktion zu verstehen reicht es also, wenn wir uns die Beschaltung *eines* Lautsprechers, also nur den halben Schaltplan, ansehen.

Als Leistungsverstärker dient bei uns der Audio-IC TDA 2822M, der mit mehreren Widerständen und Kondensatoren von außen beschaltet wird, um die gewünschte Funktion zu erhalten. Der innere Aufbau des ICs ist rechts gezeigt. Man kann erkennen, dass der IC zwei Verstärker in einem gemeinsamen Gehäuse beinhaltet und insgesamt acht Pins besitzt, die beschaltet werden müssen. Außerdem ist zu sehen, dass die beiden Verstärker bereits mit einer internen Gegenkopplung ausgelegt sind.



In Abbildung 2 wird der IC noch mit Widerständen und Kondensatoren beschaltet. Am Pin 2 legen wir unsere Versorgungsspannung V_{CC} von $6V$ an. Hier wird der Kondensator C_6 parallel geschaltet, um die Spannung zu stabilisieren.

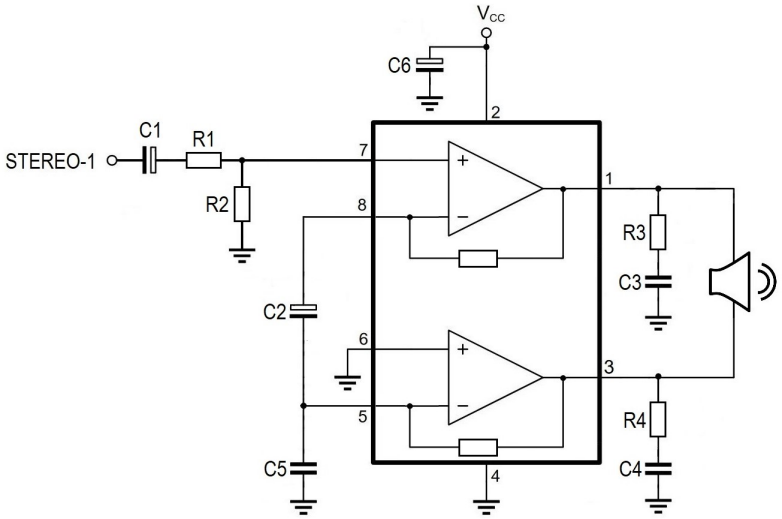


Abbildung 2: Beschaltung des Verstärker-ICs für den linken Lautsprecher

Mit den beiden Verstärkern wird eine *Brückenschaltung* aufgebaut, um eine höhere Leistung zu erzielen. Dabei ist der erste Verstärker mit dem zweiten über den Kondensator C_2 gekoppelt. Als Eingangsspannung dient das Signal STEREO-1. Über einen Spannungsteiler aus den Widerständen R_1 und R_2, sowie den Kondensator C_1 wird diese Spannung am nichtinvertierenden Eingang des ersten Verstärkers (Pin 7) angelegt. Durch den Spannungsteiler fällt nur ein Teil des Eingangssignal am Eingang des OPVs ab, wodurch die Verstärkung bestimmt wird.

Die Ausgänge der beiden Verstärker sind mit dem Lautsprecher verbunden. Die zwei Paare aus Widerstand und Kondensator R_3 und C_3 bzw. R_4 und C_4 dienen dazu, die Überlagerung des Audiosignals von unerwünschten Störsignalen zu bereinigen.

Abbildung 3 zeigt, wie Spannungen an verschiedenen Stellen der Schaltung aussehen könnten.

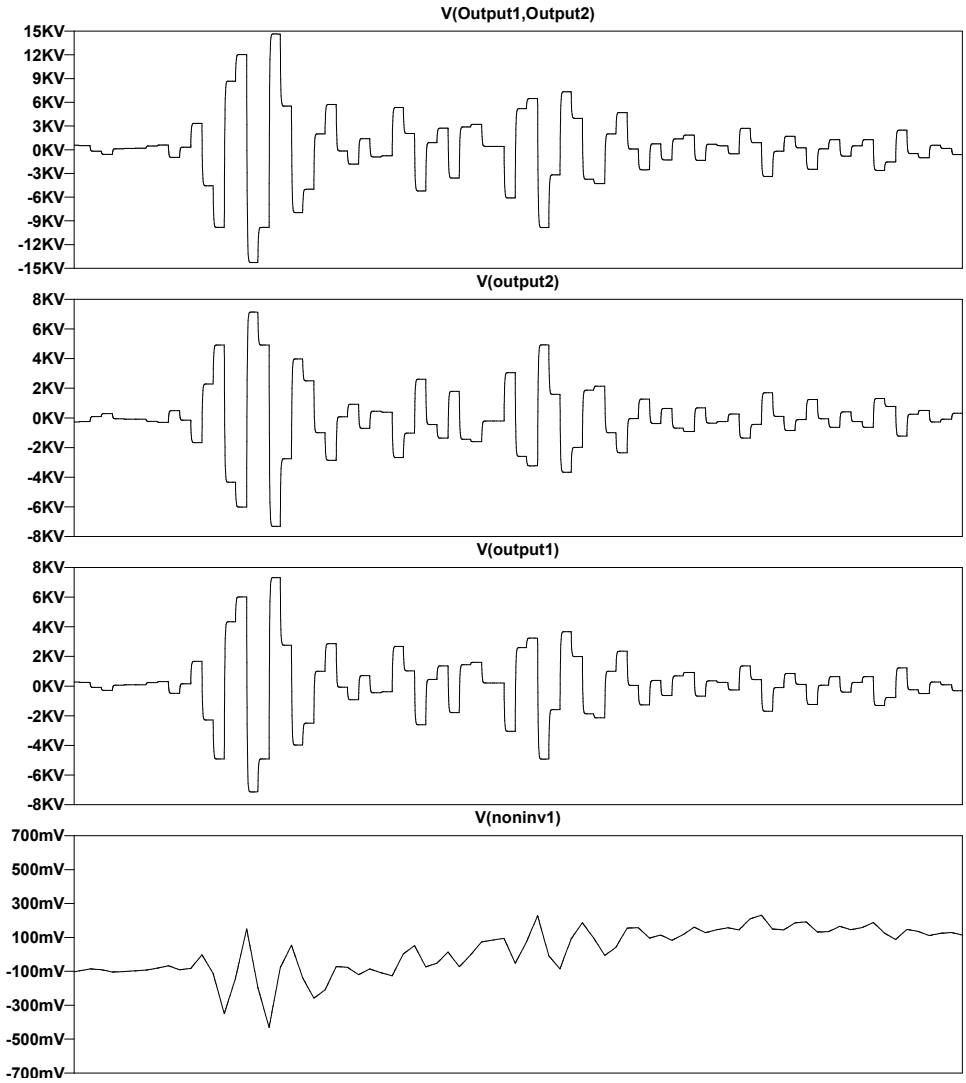


Abbildung 3: Simulation der Eingangs- und Ausgangssignale für einen Lautsprecher

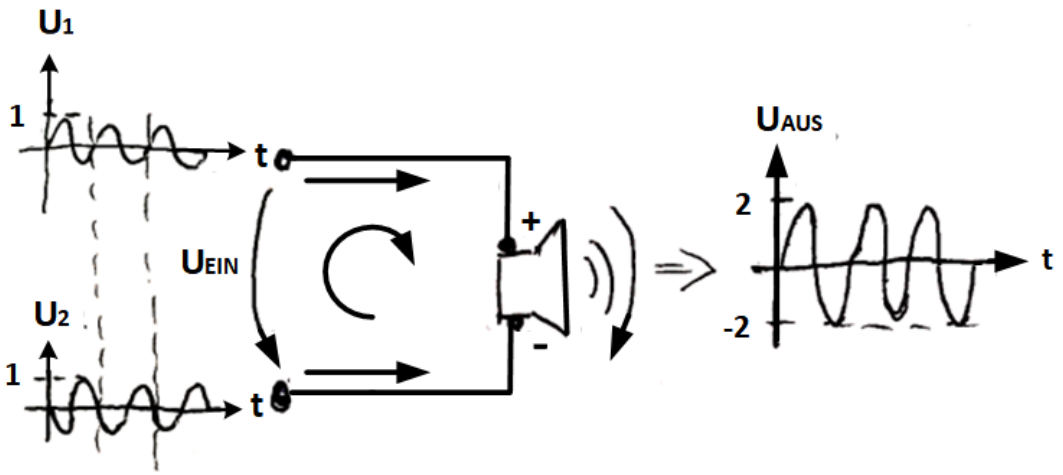
Hierfür wurden die Verstärker mit einem sehr hohen Verstärkungsfaktor ausgelegt, dies entspricht jedoch nicht den realen Werten und soll nur zur Veranschaulichung dienen. Ganz unten ist das Audiosignal **V(noninv1)** gezeigt, welches am nichtinvertierenden Eingang des ersten Verstärkers anliegt. Man kann erkennen, dass es sich um ein Wechselspannungssignal handelt, welches sich im Bereich von ein paar hundert Millivolt bewegt.

In dem Plot darüber ist die Spannung **V(output1)**, bezogen auf Masse, zu sehen, welche am Ausgang des ersten Verstärkers ausgegeben wird. Man kann deutlich erkennen, dass das Signal verstärkt wurde, wir befinden uns nun im Kilovolt-Bereich!

Darüber ist das gleiche für den Ausgang des zweiten Verstärkers geplottet. Wenn man genauer hinschaut, sieht man, dass der Verlauf von **V(output2)** genau entgegengesetzt zu dem von **V(output1)** ist. Die beiden Verstärker arbeiten gewissermaßen gegeneinander, der eine Verstärker verstärkt das invertierte Signal vom anderen.

Genau das wollen wir erreichen, um die Leistung zu erhöhen, die an unserem Lautsprecher ankommt. Und diese Spannung **V(output1, output2)** am Lautsprecher ist im obersten Plot gezeigt, sie setzt sich also aus den Ausgängen des ersten und zweiten Verstärkers zusammen. Im Bild sieht man, dass $U_{EIN} = U_1 - U_2$. Da $U_2 = -U_1$, ergibt sich, dass $U_{EIN} = 2 \cdot U_1$. Und mit der Maschenregel $0 = -U_{EIN} + U_{AUS}$ ergibt sich als Ausgangssignal $U_{AUS} = U_{EIN} = 2 \cdot U_1$.

Das sieht man auch an der Spannungsachse von **V(output1, output2)**, deren Werte haben sich nun verdoppelt.

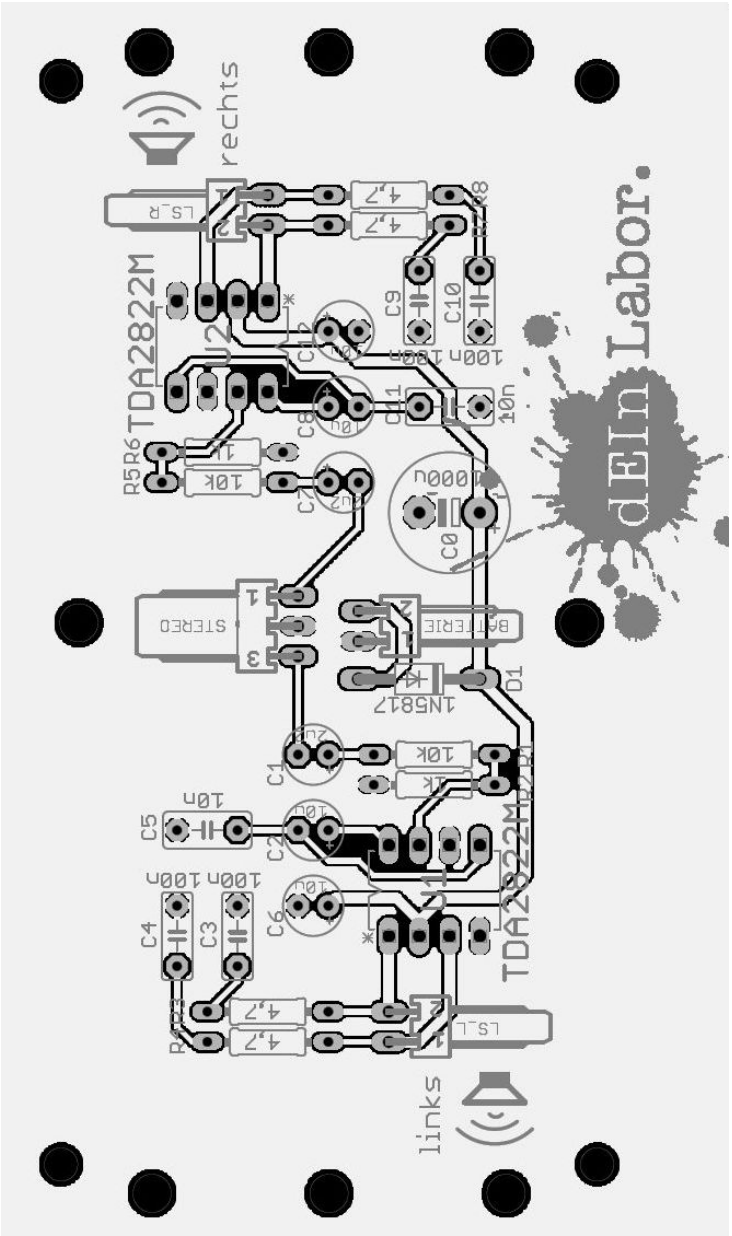


Vielleicht fragt ihr euch noch, wieso die Spannungsverläufe an den Ausgängen etwas anders aussehen, als das Audiosignal am Eingang. Das liegt daran, dass sich in unserer Schaltung Kondensatoren auf- und wieder entladen und diese typischen Kurven kann man hier erkennen, sodass diese “Stufen“ entstehen.

Und das war’s auch schon! Diese Schaltung wird genauso auch für den rechten Lautsprecher übernommen und dann kann es losgehen mit dem Bau der Beachbox!

5 Bestückungsplan

Für den Aufbau unserer Beachbox (unseres Audioverstärkers) auf einer Platine haben wir einen Bestückungsplan entwickelt, damit er so einfach wie möglich zu löten ist. Gelötet wird auf der Seite, auf der die Kupferbeschichtung gemacht wurde. Beim Löten orientieren wir uns am Bestückungsplan, der auch auf der Platine aufgedruckt ist.



6 Bauteileliste

Die Bauteileliste ordnet die Namen der Bauteile ihren Werten zu. Gehe in der Reihenfolge der Liste vor. Wenn du dir Bauelemente zum Einlöten aus der Kiste holst, achte bitte darauf, dass du nur Bauelemente gleichen Typs mitnimmst, da sonst die Verwechslungsgefahr sehr groß ist.

Name	Wert	Beschreibung
R1	10 kΩ	Widerstand
R2	1 kΩ	Widerstand
R3	4,7 Ω	Widerstand
R4	4,7 Ω	Widerstand
R5	10 kΩ	Widerstand
R6	1 kΩ	Widerstand
R7	4,7 Ω	Widerstand
R8	4,7 Ω	Widerstand
D1	1N5817	1.0A Schottky-Diode
Batterie	2-poliger Stecker	Platinensteckverbinder
LS_L	2-poliger Stecker	Platinensteckverbinder
LS_R	2-poliger Stecker	Platinensteckverbinder
Stereo	3-poliger Stecker	Platinensteckverbinder
U1	8-poliger Sockel	für IC TDA2822M
U2	8-poliger Sockel	für IC TDA2822M
C1	2,2 μF (2u2)	Elektrolytkondensator
C2	10 μF (10u)	Elektrolytkondensator
C3	100 nF (100n)	Folienkondensator
C4	100 nF (100n)	Folienkondensator
C5	10 nF (10n)	Folienkondensator
C6	10 μF (10u)	Elektrolytkondensator
C7	2,2 μF (2u2)	Elektrolytkondensator
C8	10 μF (10u)	Elektrolytkondensator
C9	100 nF (100n)	Folienkondensator
C10	100 nF (100n)	Folienkondensator
C11	10 nF (10n)	Folienkondensator
C12	10 μF (10u)	Elektrolytkondensator
C0	1000 μF (1000u)	Elektrolytkondensator