

Audio-Experimente einfach gemacht

Prototypenadapter PAD7 Audio

Mit dem neuesten Prototypenadapter-Set PAD7 steigen wir in die Welt der Audio-Verstärker ein. Dabei haben wir eine Auswahl bestehend aus verschiedenen Verstärkertypen (Class AB/D, Audio-Operationsverstärker), MEMS- und Elektret-Mikrofonen, einer 4-poligen Stereo-Klinkenbuchse, einem Sound-Transducer und einem Prüflautsprecher für Audio-Experimente zusammengestellt. Das insgesamt 11-teilige Set ist in dem bekannten Prototypenadapter-Format ausgeführt, somit sind Experimentieraufbauten auf dem Breadboard schnell und einfach realisierbar. Mit der aufgedruckten Anschlussbeschriftung sind alle Bauteilwerte und -funktionen auf einen Blick ersichtlich und verbessern damit die Übersichtlichkeit von Steckbrett-Aufbauten gegenüber dem konventionellen Aufbau deutlich.

Mit einem Klick
direkt zum Bausatz



Infos zum Bausatz PAD7



Schwierigkeitsgrad:
leicht



Ungefähre Bauzeit:
1 h



Besondere Werkzeuge:
Lötcolben, Messschieber



Lötverfahren:
ja



Programmierkenntnisse:
nein



Elektrische Fachkraft:
nein

Früher und heute

Mit dem mittlerweile siebten Set für Experimente auf dem Breadboard ergänzen wir die bisherige Reihe der ELV Prototypenadapter-Sets um Module aus dem Audibereich. Natürlich kann man solche Schaltungen auch mit einzelnen Bauteilen klassisch realisieren. Will man aber schnell und einfach einen Breadboardaufbau oder eine Stand-alone-Schaltung um eine Audiokomponente erweitern, dann sind die Module aus dem PAD7-Set eine echte Hilfe.

In Bild 1 sieht man eine Gegenüberstellung des Class-AB-Audioverstärker-Moduls LM386 aus dem PAD7-Set und dem konventionellen Aufbau auf dem Breadboard. Hier wird deutlich, dass man mit den Prototypenadapter-Modulen schneller und übersichtlicher als in der mit einzelnen Bauteilen aufgebauten Schaltung auf dem Breadboard experimentieren kann. Durch die Beschriftung auf dem Modul sind zudem die Funktionen bzw. Anschlüsse einfach zu erkennen und Werte wie z. B. Spannung und Leistung ablesbar.

Tabelle 1 zeigt die im Audio-Set PAD7 enthaltenen Module. Von dem TPA2013-Audioverstärker-Modul sind zudem zwei gleiche Module vorhanden, um auch einen Stereoaufbau mit Lautsprecher realisieren zu können. Neben den Verstärkermodulen ist auch an den Audioeingang

PAD7
Artikel-Nr.
156575
Bausatz-
beschreibung
und Preis:



www.elv.com



Übersicht aller im PAD7 enthaltenen Bauteile

Tabelle 1

Menge	Typ	Funktion	Modulbezeichnung	Seite
1	LM386	Audioverstärker, Class-AB, 0,3 W	CM-IC-LM386-A	4
1	LM4906	Audioverstärker, Class-AB, 1 W	CM-IC-LM4906-A	5
2	TPA2013	Audioverstärker, Class-D, 2,2 W	CM-IC-TPA2013-A	6
1	MAX4409-A	Kopfhörerverstärker, 2x 80 mW	CM-IC-MAX4409-A	8
1	NE5532-A	Audio-Operationsverstärker, 2-fach	CM-IC-NE5532-A	9
1	Elektret-Mikrofon	Elektret-Mikrofonkapsel	CM-AM-02	10
1	MEMS-Mikrofon	MEMS-Mikrofon	CM-AM-01	11
1	Sound-Transducer	Sound-Transducer mit Steuertransistor	CM-AS-01	12
1	Prüflautsprecher	Prüflautsprecher, 0,25 W	CM-AS-02	12
1	4-polige Klinkenbuchse	4-polige Stereo-Klinkenbuchse, 3,5 mm	CM-FC-PJ35-A	13

gedacht. Mit einem Elektret- und einem modernen MEMS-Mikrofon bieten wir gleich zwei verschiedene Technologien zur Audioaufzeichnung an. Eine Audioquelle kann bequem mit der 4-poligen Stereo-Klinkenbuchse angeschlossen werden und die Ausgabe kann über einen im Set enthaltenen Prüflautsprecher bzw. einen Soundtransducer ausgegeben werden.

Audio-Verstärkertypen

Bei Audioverstärkern gibt es hinsichtlich der Betriebsart einige Unterschiede, die wir hier kurz ansprechen wollen. Wer detaillierte technische Information zu den unterschiedlichen Verstärkertypen sucht, kann sich unter [1] informieren.

Im PAD7 kommen sowohl Class-AB- als auch moderne Class-D-Verstärker zum Einsatz. Obwohl der uralte Class-AB-Verstärker vom Typ LM386 nicht unbedingt neuester Technik entspricht, haben wir ent-

schieden, diesen auch mit in unser Set aufzunehmen. Viele Nachbausaltungen bzw. Vorschläge basieren auf diesem robusten und bewährten Verstärker. Somit wird es für den Einsteiger leichter, genau den identischen Verstärker nach Vorgabe einzusetzen als vielleicht einen moderneren Ersatz zu nehmen, der dann nicht unbedingt pinkompatibel ist.

Natürlich kommen im PAD7 auch moderne Verstärker zum Einsatz, wie z. B. der Class-D-Verstärker TPA2013.

In [Tabelle 2](#) sind die technischen Daten der Verstärker dargestellt. Wesentliche Unterschiede gibt es vor allem bei der Versorgungsspannung. Neue und modernere Verstärkerbausteine sind beispielsweise nur bis zu einer Betriebsspannung von 3–5 V verwendbar.

Wer mit höheren Spannungen arbeiten möchte, kommt um den LM386 nicht herum, denn dieser Baustein ist für Spannungen bis 12 V zugelassen.

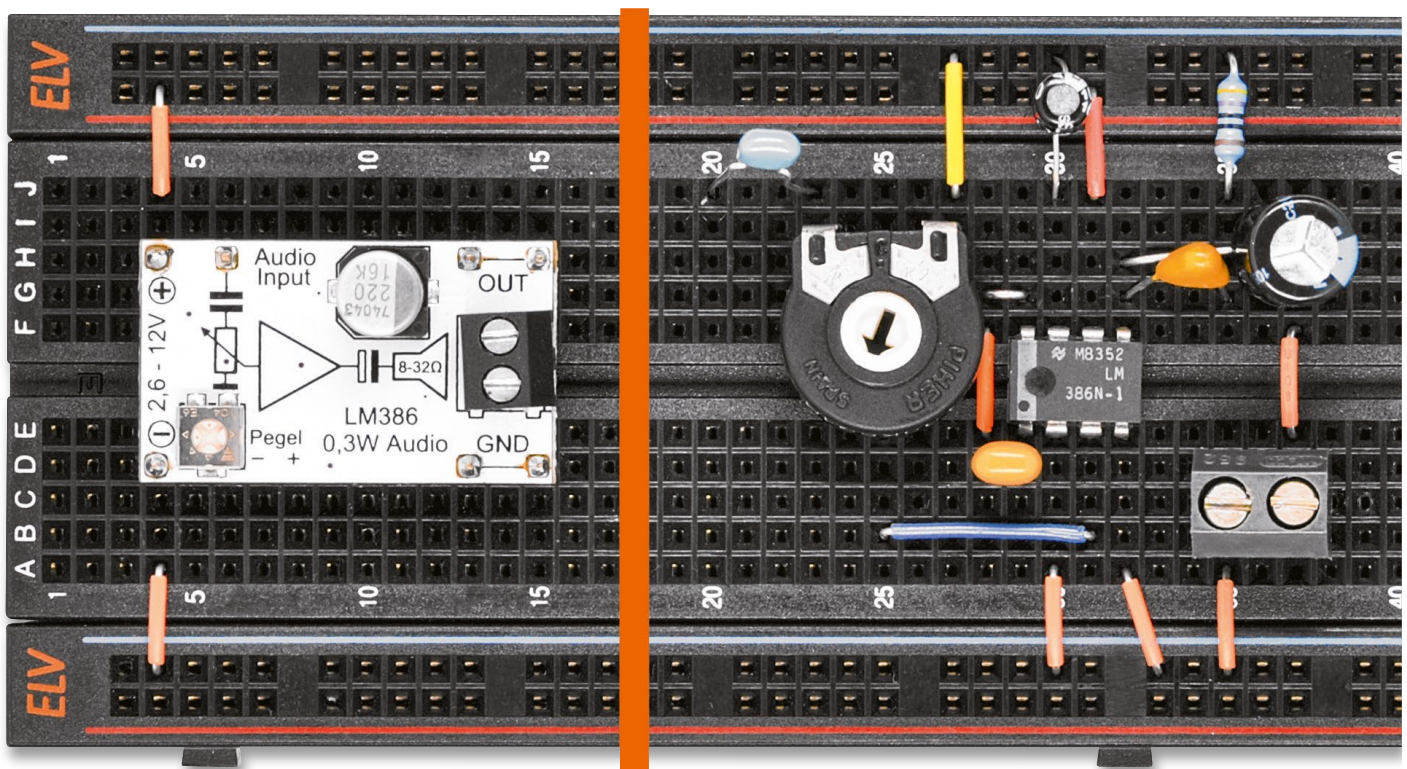


Bild 1: PAD7-Modul LM386 (links) im Vergleich zum konventionellen Aufbau (rechts)



Technische Daten der Verstärker in der Übersicht

Bezeichnung	LM386	LM4906	TPA2013	MAX4409
Modulbezeichnung	CM-IC-LM386-A	CM-IC-LM4906-A	CM-IC-TPA2013-A	CM-IC-MAX4409-A
Ausgangsleistung (RMS)	0,3 W (Mono)	1 W (Mono)	2,2 W (Mono)	2x 60 mW (Stereo)
Typ	Class-AB	Class-AB (Brückenschaltung)	Class-D	Kopfhörerverstärker
Versorgungsspannung	4–12 V	2,6–5,5 V	1,8–5 V	1,8–3,6 V
Stromaufnahme	4 mA (ohne Signal) max. 150 mA (mit Signal)	5 mA (ohne Signal) 0,1 μ A (Stand-by) max. 200 mA (mit Signal)	6 mA (ohne Signal) 0,3 μ A (Stand-by) max. 160 mA (mit Signal)	5 mA (ohne Signal) 20 μ A (Stand-by) max. 80 mA (mit Signal)
Max. Eingangspegel für max. Leistung	35 mVeff @ 4 V / v = 20 125 mVeff @ 12 V / v = 20 8 mVeff @ 4 V / v = 200 18 mVeff @ 12 V / v = 200	350 mVeff	700 mVeff	2 Veff
Verstärkungsfaktor (v)	20 (26 dB) / 200 (46 dB)	4 (12 dB)	10 (20 dB)	1 (0 dB)
Klirrfaktor (THD + N)	0,2 % @ 0,15 W / 9 V 10 % @ 0,3 W / 9 V	0,2 % @ 0,4 W / RL 8 Ω 1 % @ 1 W / RL 8 Ω	1 % @ 1,2 W / RL 8 Ω 10 % @ 2,2 W / RL 8 Ω	0,02 % / RL 16 Ω
Wirkungsgrad	ca. 50 % max.	ca. 50 %	> 87 %	ca. 50 %
Lautsprecherimpedanz	$\geq 8 \Omega$	$\geq 8 \Omega$	$\geq 8 \Omega$	$\geq 16 \Omega$
Frequenzgang	50 Hz – 100 kHz (-3 dB)	20 Hz – 100 kHz (-3 dB)	60 Hz – 20 kHz (-3 dB)	15 Hz – 100 kHz (-3 dB)
Anschlüsse	Eingang: Stiftleiste Ausgang: Schraubklemme/Stiftleiste	Eingang: Stiftleiste Ausgang: Schraubklemme/Stiftleiste	Eingang: Stiftleiste Ausgang: Schraubklemme/Stiftleiste	Eingang: Stiftleiste Ausgang: Klinenbuchse/Stiftleiste
Abm. Platine (B x T)	33 x 18 mm	33 x 18 mm	33 x 18 mm	33 x 18 mm
Gewicht	5 g	4 g	4 g	4 g

Tabelle 2

Der Klassiker – LM386 Class-AB-Audioverstärker, 0,3 W

Diesen kleinen Audioverstärker LM386 könnte man als Urgestein bezeichnen. Der von National Semiconductor Anfang der 1980er-Jahre entwickelte Baustein ist in unzähligen Schaltungen zu finden. Wer also eine – vielleicht im Internet gefundene Schaltung – nachbauen möchte, kommt in den meisten Fällen nicht um einen LM386 herum.

Technisch gesehen ist der LM386 veraltet, denn am Ausgang wird ein relativ großer Koppelkondensator benötigt (s. Schaltbild Bild 2).

Dieser große Elko (Elektrolytkondensator) ist notwendig, da die Ausgangsstufe des LM386 eine Komplementärstufe [2] ist, deren Arbeitspunkt bei $U_B/2$ liegt. Da der Lautsprecher an einem Anschluss an Masse liegt, muss der DC-Anteil mittels eines Kondensators entfernt werden. Diese Technik wird heute bei Audioendstufen nicht mehr verwendet. Stattdessen wird in modernen Verstärkern eine Brückenschaltung verwendet, die ohne Ausgangskondensatoren auskommt. Trotz seines Alters hat der LM386 aber einen entscheidenden Vorteil: Die erlaubte Betriebsspannung kann bis zu 12 V betragen, was bei neueren Bausteinen nur sehr selten ist. Somit kann der LM386 z. B. auch mit einer 9-V-Batterie versorgt werden. Mit dem Trimmer R1 kann eine Pegelanpassung vorgenommen werden.

In Bild 3 sind die Platinfotos des LM386-Moduls (CM-IC-LM386-A) abgebildet. Im Anschlusschema (Bild 4) ist eine typische Konfiguration dargestellt. Ist die Kabelverbindung zur Audioquelle länger als ca. 50 cm, sollte man abgeschirmtes Kabel verwenden, um Störeinstrahlungen zu vermeiden. Es sollte außerdem darauf geachtet werden, dass ein Anschluss des Lautsprechers auf Massepotential (GND) liegt.

Der Verstärkungsfaktor der Audiodstufe beträgt normalerweise 20 (26 dB). Dies ist für viele Anwendungen die Default-Einstellung. Mithilfe der Lötbrücke J3 kann der Verstärkungsfaktor auf 200 (46 dB) erhöht

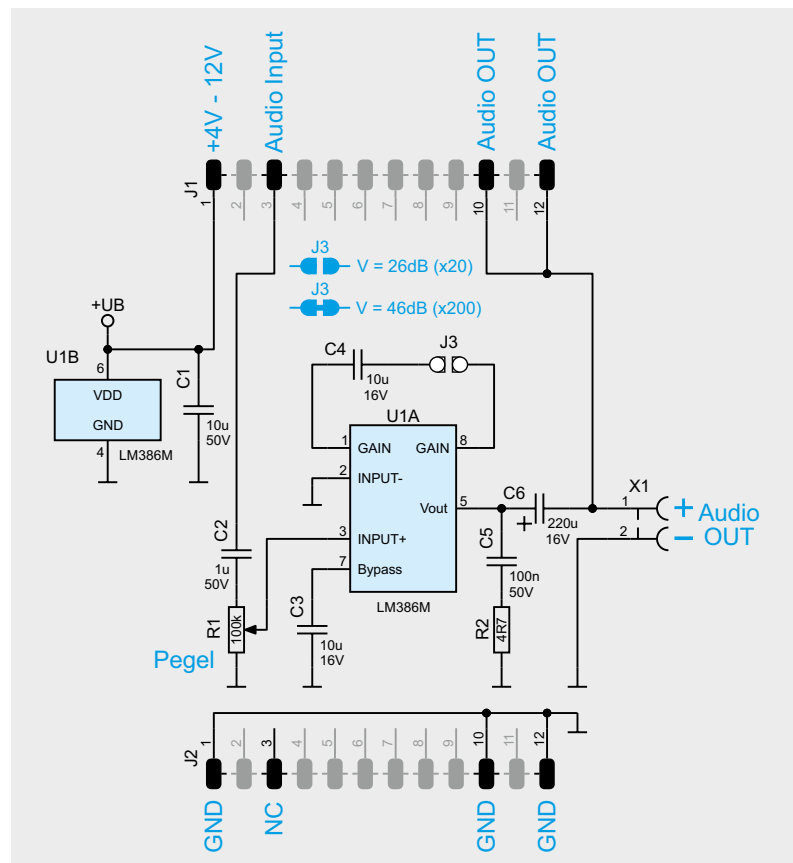


Bild 2: Schaltbild des CM-IC-LM386-A



werden. Hierzu muss die Lötbrücke J3 geschlossen werden, was durch Auflöten einer gewollten Lötzinnbrücke geschieht. Dies sollte jedoch nur der erfahrene Elektroniker machen, da die Lötstellen von J3 sehr klein sind.

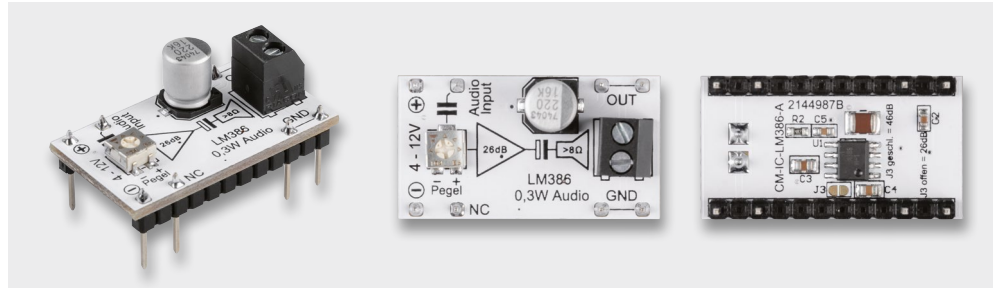


Bild 3: Platinenfotos des LM386-Moduls

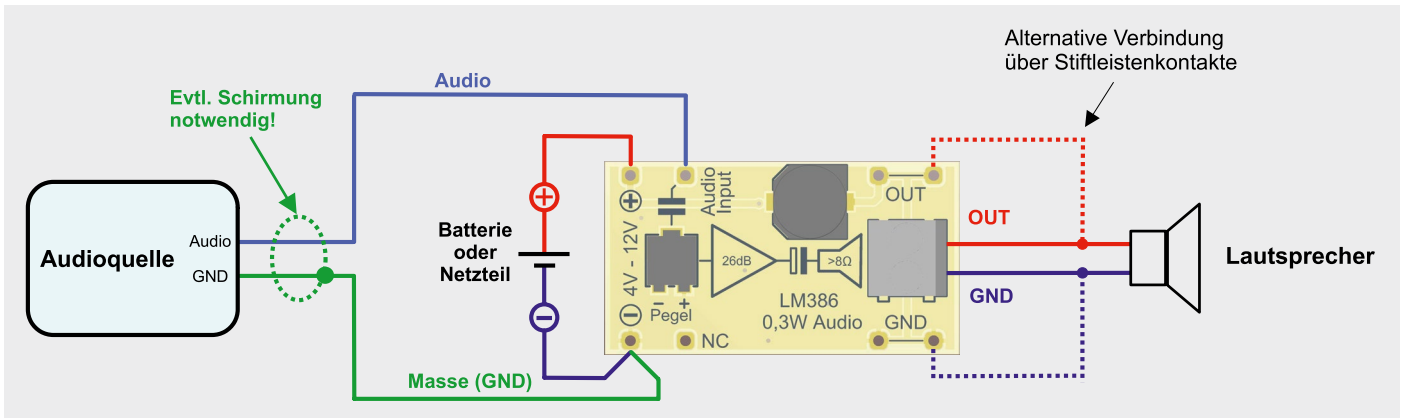


Bild 4: Anschlussschema für das LM386-Modul

LM4906 Class-AB-Audioverstärker, 1 W BTL

Dieses kleine Verstärkermodul mit dem IC LM4906 ist im Gegensatz zum LM386 etwas moderner. Durch die Brückenschaltung (BTL) des Lautsprechers entfällt der ansonsten übliche Ausgangskondensator, da im Ruhezustand (ohne Signal) an beiden Ausgängen das gleiche DC-Potential anliegt. Im Prinzip besitzt der LM4906 zwei Ausgangsstufen, wie man auch im Blockschaltbild (Bild 5) erkennt. Der Lautsprecher ist jeweils an einen dieser Ausgänge angeschlossen. Diese beiden Endstufen werden gegenphasig angesteuert.

Durch die Brückenschaltung ergeben sich zahlreiche Vorteile gegenüber einer „normalen“ Endstufe mit nur einer Komplementärendstufe:

- Ein Ausgangs-Elko kann entfallen, da im Ruhezustand die Differenzspannung am Ausgang null Volt beträgt.

- Die Ausgangsspannung hat sich (gemessen über dem Lautsprecher) verdoppelt. Eine Spannungsverdopplung steigert die Ausgangsleistung um das Vierfache ($P=U^2/R$).

Die technischen Daten können der [Tabelle 2](#) entnommen werden.

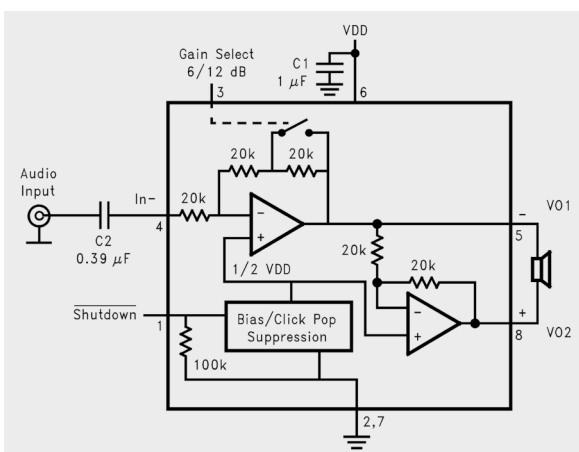


Bild 5: Blockschaltbild des LM4906 (Quelle: Ti.com)

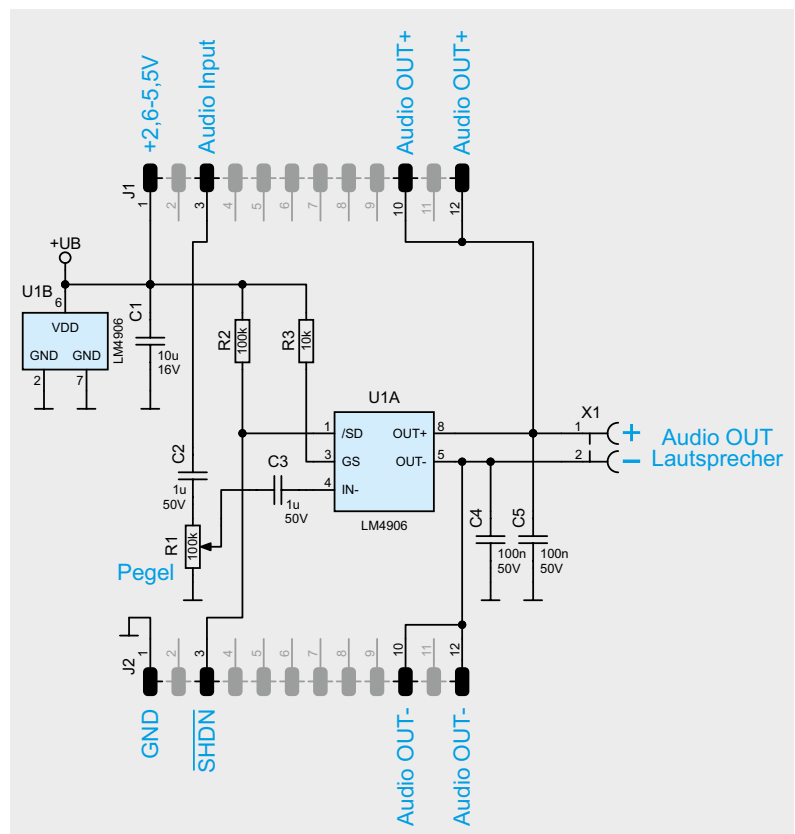


Bild 6: Schaltbild des Verstärkermoduls CM-IC-LM4906-A

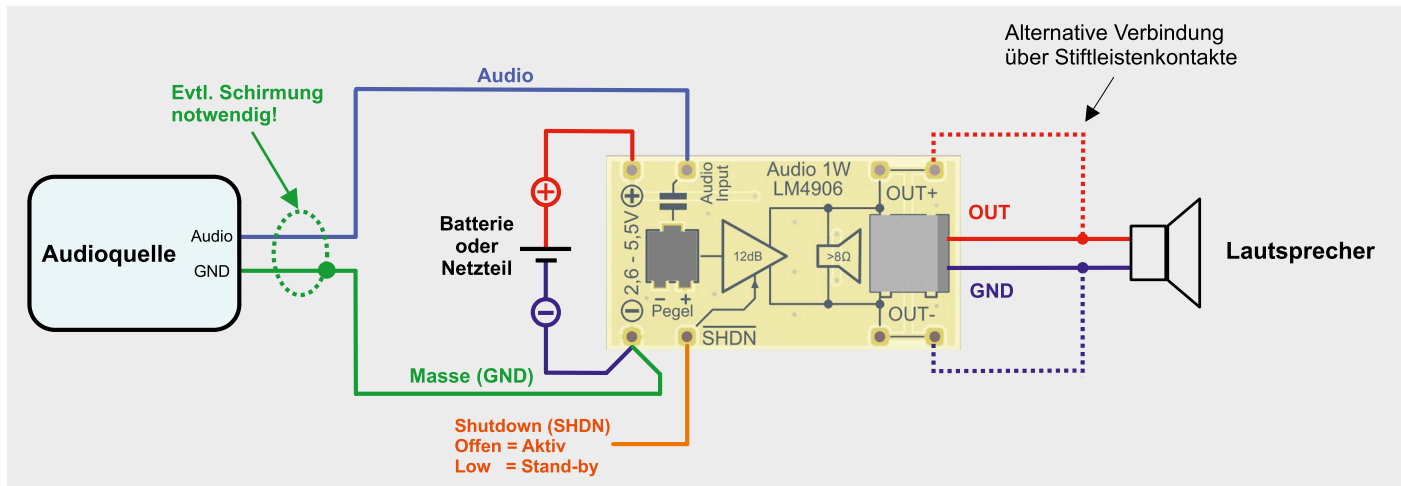


Bild 7: Anschlusschema des Verstärkermoduls CM-ICLM4906-A

Als weiteres Feature gilt der Shutdown-Betrieb. In batteriebetriebenen Anwendungen möchte man möglichst Energie sparen. Wenn die Audioendstufe nicht benötigt wird, kann diese durch den Eingang „Shutdown/SHDN“ deaktiviert werden. Die Stromaufnahme beträgt im Shutdown nur $0,1 \mu\text{A}$. Die Deaktivierung der Endstufe über den Anschluss „Shutdown“ hat den Vorteil, dass man nicht die komplette Versorgungsspannung abschalten muss.

In Bild 6 ist das Schaltbild des Verstärkermoduls CM-IC-LM4906-A zu sehen. Wie man sieht, kann auch hier eine Pegelanpassung mit einem Trimmer (R1) vorgenommen werden.

Der Verstärkungsfaktor der Endstufe ist fest auf den Wert 4 (12 dB) eingestellt. Bei der Verwendung dieses Verstärkers sollte auf den eingeschränkten Spannungsbereich geachtet werden. Eine Versorgungsspannung oberhalb von 5,5 V kann zur Zerstörung des Bauteils führen.

Wie man das Verstärkermodul korrekt anschließt, ist im Anschlusschema in Bild 7 zu sehen. Ist die Kabelverbindung zur Audioquelle länger als ca. 50 cm, sollte man abgeschirmtes Kabel verwenden, um Störeinstrahlungen zu vermeiden.

Die Platinenfotos des CM-IC-LM4906-A sind in Bild 8 dargestellt.

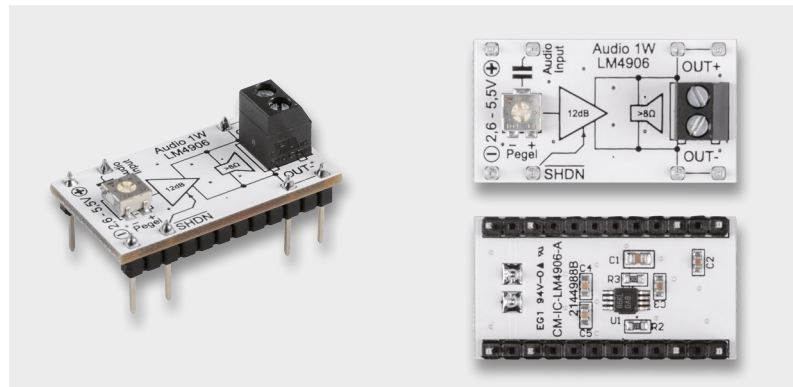


Bild 8: Platinenfotos des LM4906-Moduls

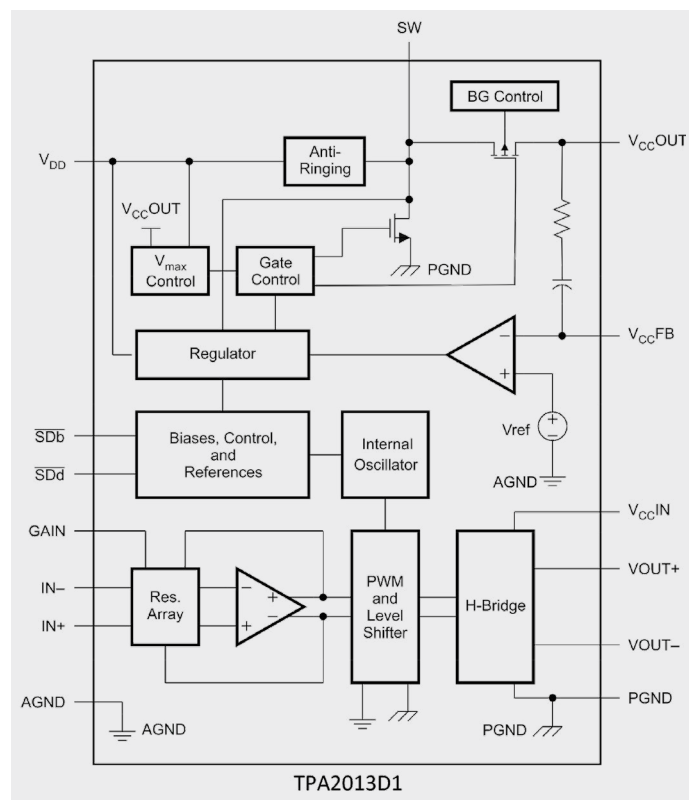
TPA2013 Class-D-Audioverstärker 2 W

Kommen wir nun zum Kraftpaket unter den kleinen Verstärkern. Der TPA2013 ist ein Class-D-Verstärker, mit einer Leistung von ca. 2 W (je nach Betriebsspannung). Class-D bedeutet, dass diese Endstufe digital arbeitet, im Gegensatz zu den analogen Class-AB-Verstärkern. Die Funktionsweise ist im Kasten „Elektronikwissen“ beschrieben.

Der TPA2013 ist zwar in einem sehr kleinen Gehäuse untergebracht, das Innenleben ist jedoch recht komplex, wie man im Blockschaltbild (Bild 9) erkennt.

Das Besondere an diesem Modul ist der integrierte Step-up-Wandler, der einfach gesagt eine Betriebsspannungserhöhung vornimmt. Auch bei z. B. nur einer niedrigen Betriebsspannung von 3 V wird hieraus eine stabile Spannung von 5,5 V generiert. Wie wir wissen, bringt eine Verdopplung der Betriebsspannung eine Vervierfachung der Leistung. Dies ist anhand folgender Formel gut erkennbar: $P = U^2/R$.

Wer also mit niedriger Batteriespannung eine möglichst hohe Ausgangsleistung generieren möchte, liegt mit diesem Verstärker genau richtig. Das Schaltbild der kompletten Verstärkerschaltung ist in Bild 10 dargestellt.

Bild 9:
Blockschaltbild des TPA2013

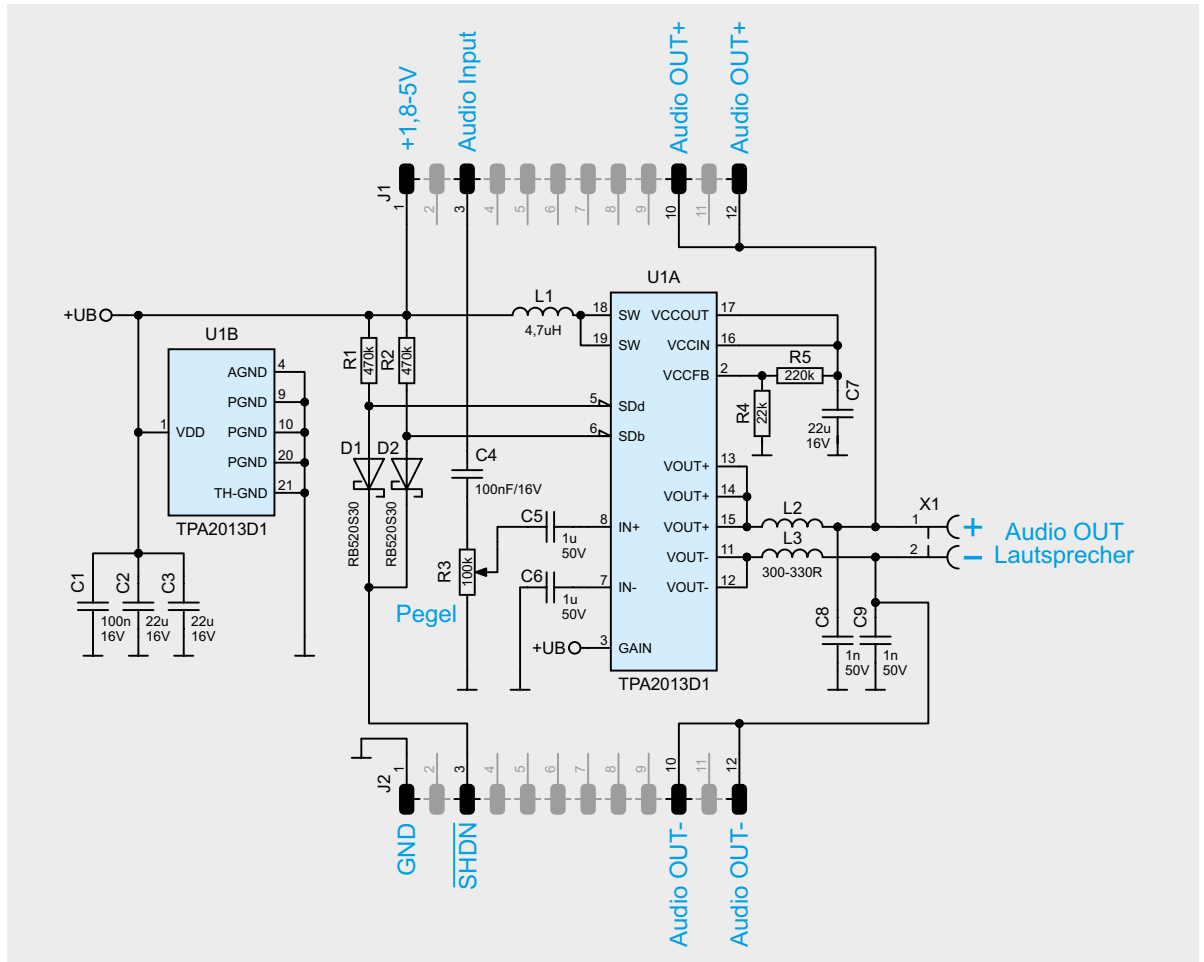


Bild 10: Schaltbild des Verstärkers CM-IC-TPA2013-A

Die für Class-D-Verstärker üblichen Ausgangsfilter zur Störunterdrückung werden von L2/L3 und C8/C9 gebildet. Wie auch bei den anderen Verstärkermodulen kann der Pegel mit einem Trimmer (R1) angepasst werden.

Hinweis! Die untere Grenzfrequenz des Verstärkers liegt, bedingt durch C4, bei ca. 60 Hz. Tiefe Frequenzen (Bässe) unterhalb dieser Grenzfrequenz würden sehr viel Energie benötigen, und somit einen Batteriebetrieb negativ beeinflussen.

Bild 11 zeigt die Platinenfotos der Verstärkerplatine. Wie man das Verstärkermodul korrekt anschließt, ist im Anschlussschema in Bild 12 zu sehen.

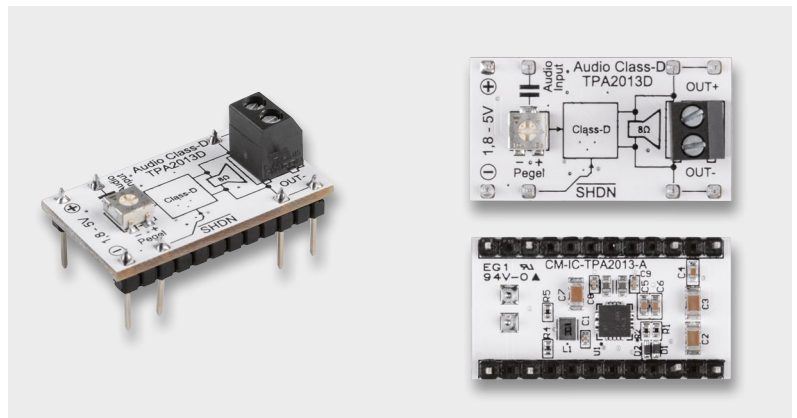


Bild 11: Platinenfotos des Moduls TPA2013-A

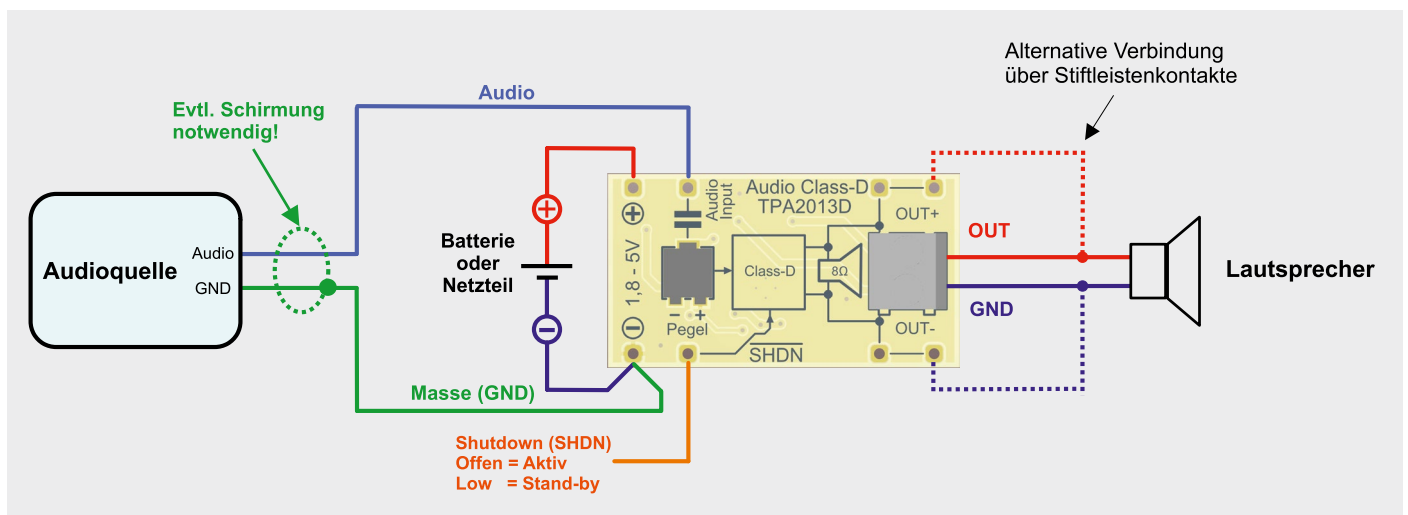


Bild 12: Anschlussschema für das Verstärkermodul CM-IC-TPA2013-A



MAX4409 Kopfhörerverstärker

Dieses Modul enthält einen Low-Voltage-Kopfhörerverstärker mit dem Baustein MAX4409, der eine Ausgangsleistung von $2 \times 80 \text{ mW}$ ($@R_L=16 \Omega$) aufweist. Der MAX4409 erhöht die Ausgangsleistung durch eine interne Ladungspumpe, die eine zusätzliche, negative Betriebsspannung erzeugt. Hierdurch ist die Ausgangsspannung der Endstufen doppelt so hoch, und als angenehmer Nebeneffekt können die sonst übli-

chen (und voluminösen) Ausgangs-Elkos entfallen, da kein DC-Anteil am Verstärkerausgang anliegt.

Weitere Features des MAX 4409 sind die automatische Abschaltung bei Kurzschluss, Übertemperatur, Unter- oder Überspannung sowie die Unterdrückung von Klick- und Popgeräuschen beim Ein- und Ausschalten.

Mit seinem Spannungsbedarf von nur 1,8 bis 3,6 V eignet sich dieser Verstärker sehr gut für batterie- oder akkubetriebene Anwendungen. Das Schaltbild des Verstärkermoduls ist in [Bild 13](#) dargestellt. Der Ver-

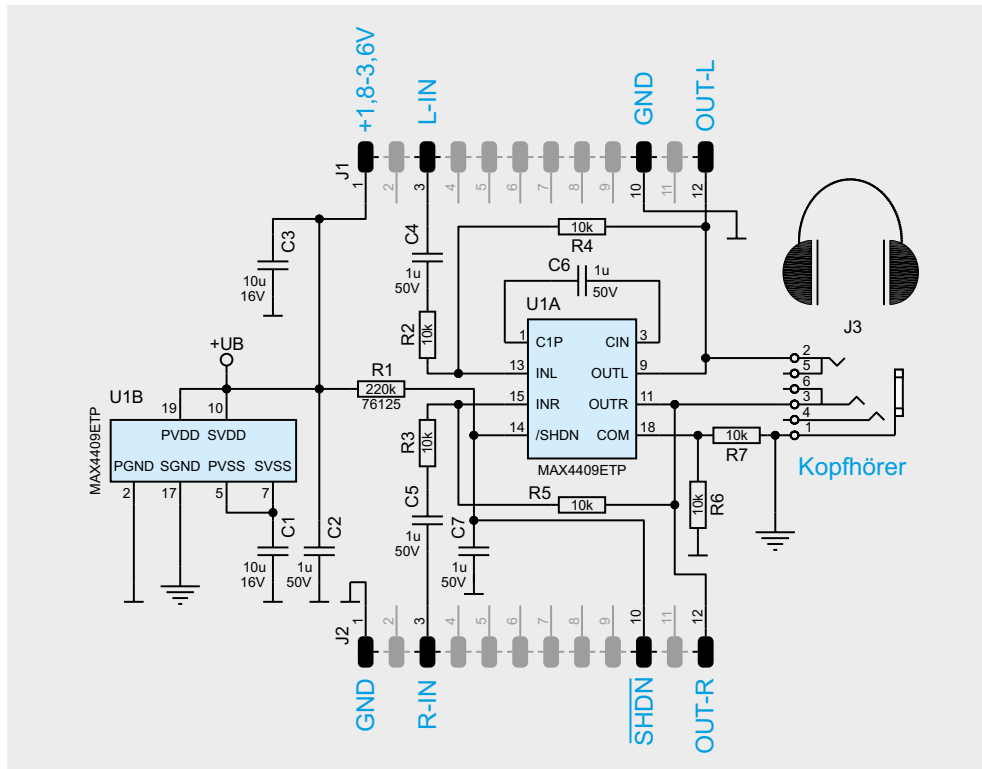


Bild 13: Schaltbild des Kopfhörerverstärkers

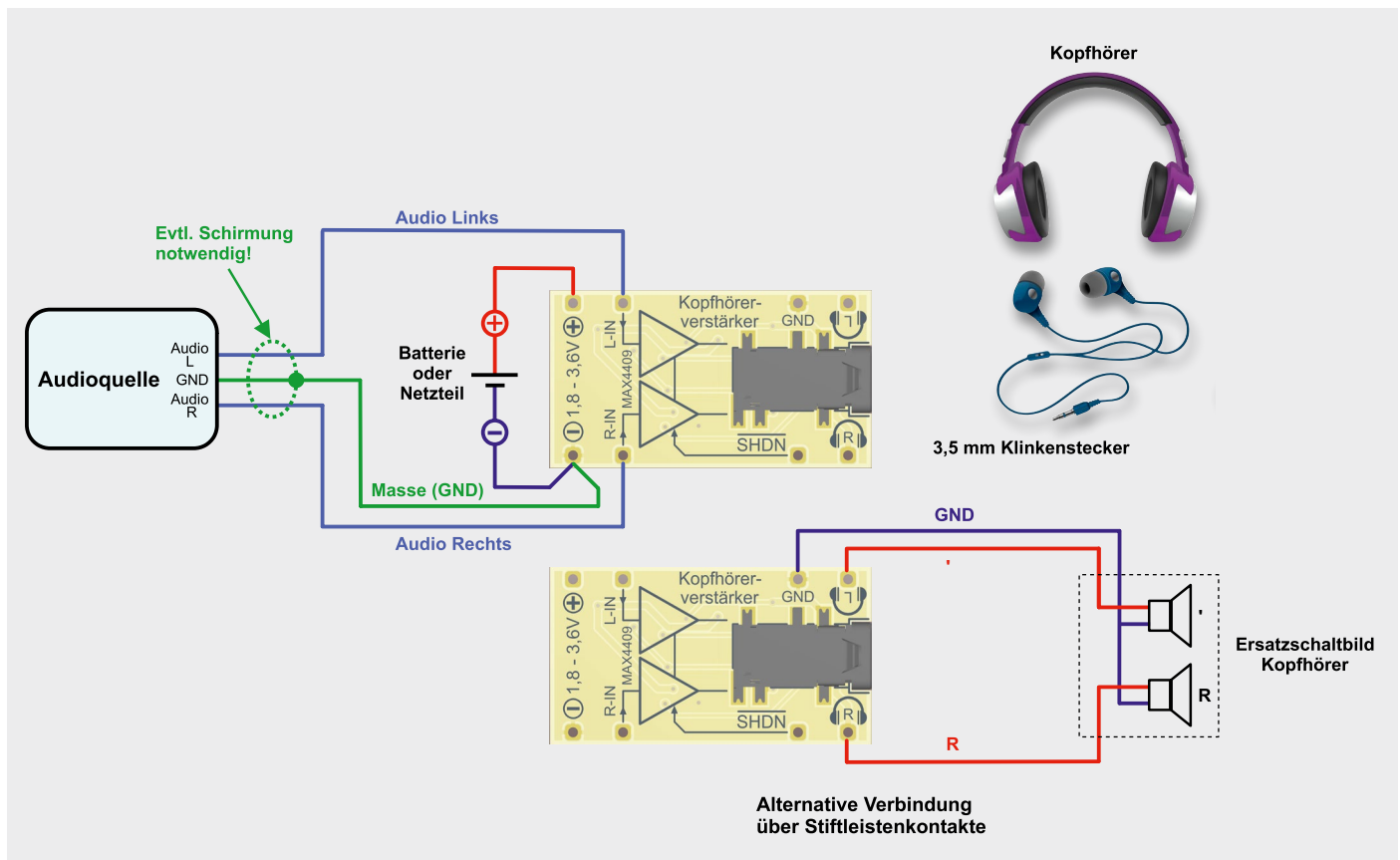


Bild 14: Anschlussschema des Kopfhörerverstärkers



stärkungsfaktor beträgt 1 (0 dB) und wird durch das Verhältnis der Widerstände R_4/R_2 und R_5/R_1 bestimmt. Wie man erkennt, handelt es sich in dieser Dimensionierung um einen Stromverstärker, denn die Spannungsverstärkung beträgt nur 1. Die Stromverstärkung ist aber ausreichend, um Kopfhörer mit einer Impedanz von 16–32 Ω zu treiben. Der Kopfhörer kann direkt mit der Klinkenbuchse auf der Platine verbunden werden.

Die Kontaktierung kann aber auch über die Stiftleisten erfolgen, wie im Anschlusschema (Bild 14) zu sehen ist. In Bild 15 sind die Platinenfotos dargestellt.

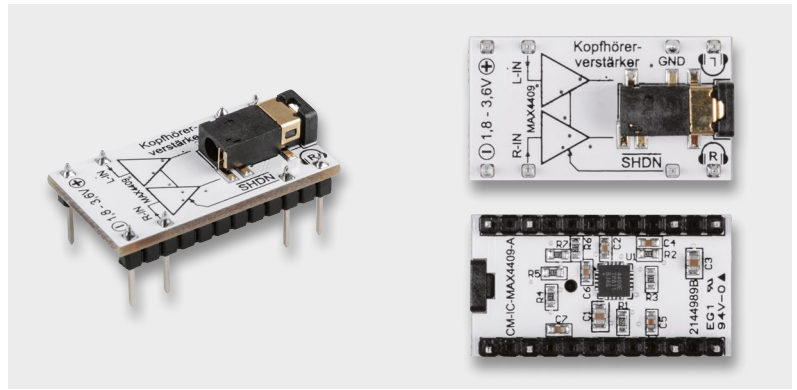


Bild 15: Fotos des Kopfhörerverstärkers MAX4409-A

NE5532 Audio-Operationsverstärker (2-fach)

Dieses Modul enthält den bekannten Operationsverstärker (OP) NE5532 als Dual-OP (s. Bild 16). Dieser seit vielen Jahren bewährte Operationsverstärker ist sehr rauscharm und wird deshalb gerne in Audioschaltungen eingesetzt.

Der Versorgungsspannungsbereich erstreckt sich von 10 V bis 30 V. Die minimale Spannung beträgt eigentlich 10 V oder ± 5 V. Wenn die Ein- und Ausgangsspannungen nicht zu dicht an die Versorgungsspannungsschienen (Rail) reichen und die Signalspannung relativ klein ist, kann der NE5532 auch mit einer Spannung ab ca. 5 V betrieben werden. Allerdings garantiert dann der Hersteller die technischen Daten nicht mehr.

Daten

NE5532

Modulbezeichnung:	CM-IC-NE5532-A
Bezeichnung OP:	NE5532
Typ:	2-fach-Operationsverstärker/rauscharm
Versorgungsspannung:	10–30 V
Stromaufnahme:	8 mA (pro OP)
Ausgangsstrom (I_{out}):	35 mA
Offset (U_{E0}):	0,5 mV
Grenzfrequenz (f_T):	10 MHz
Abm. Platine (B x T):	23 x 13 mm

Wer häufig Operationsverstärker verwendet und diese als Prototypenadapter benötigt, sollte sich das ELV Prototypenadapter-Set PAD2 [3] anschauen, denn dieses Set bietet reichlich unterschiedliche Operationsverstärker.

Die Platinenfotos des NE5532-Moduls sind in Bild 17 dargestellt.

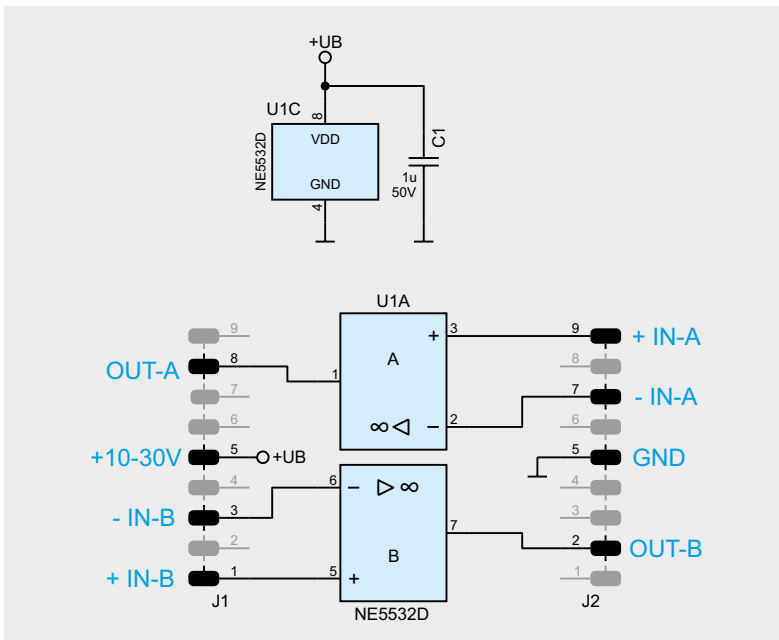


Bild 16: Schaltbild des Moduls CM-IC-NE5532-A

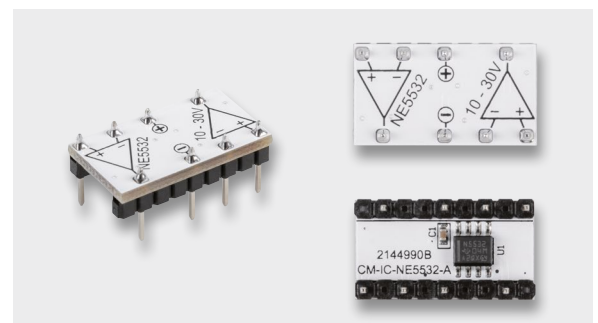


Bild 17: Platinenfotos des NE5532-A -Moduls



Elektret-Mikrofon

Diese Modulplatte ist mit einem Elektret-Mikrofon ausgestattet. Dieser Mikrontyp wird in riesigen Stückzahlen produziert, deshalb ist er recht preiswert. Auf die detaillierte Funktionsweise wollen wir hier nicht näher eingehen, sondern uns auf die wichtigsten elektrischen Parameter beschränken. Diesen Mikrontyp gibt als 2- und 3-polige Version (s. Bild 18), wobei sich heutzutage die 2-polige Version durchgesetzt hat. Von der Funktion her sind beide Varianten identisch.

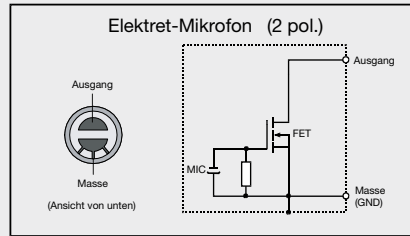
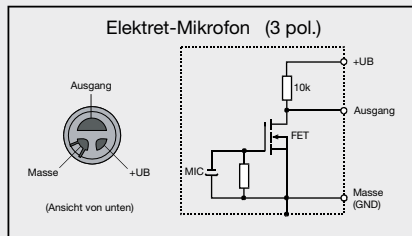


Bild 18: Anschlussbelegungen von Elektret-Kapseln

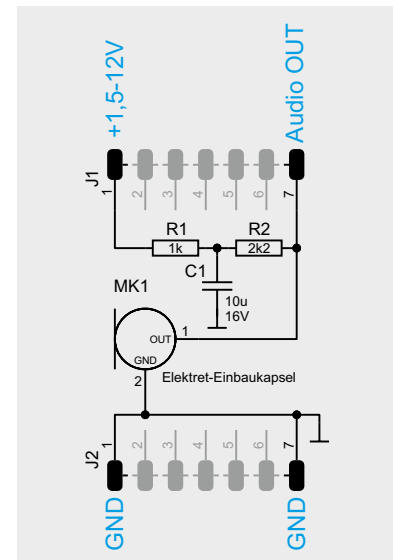


Bild 19: Schaltbild des Elektret-Mikrofans CM-AM-02

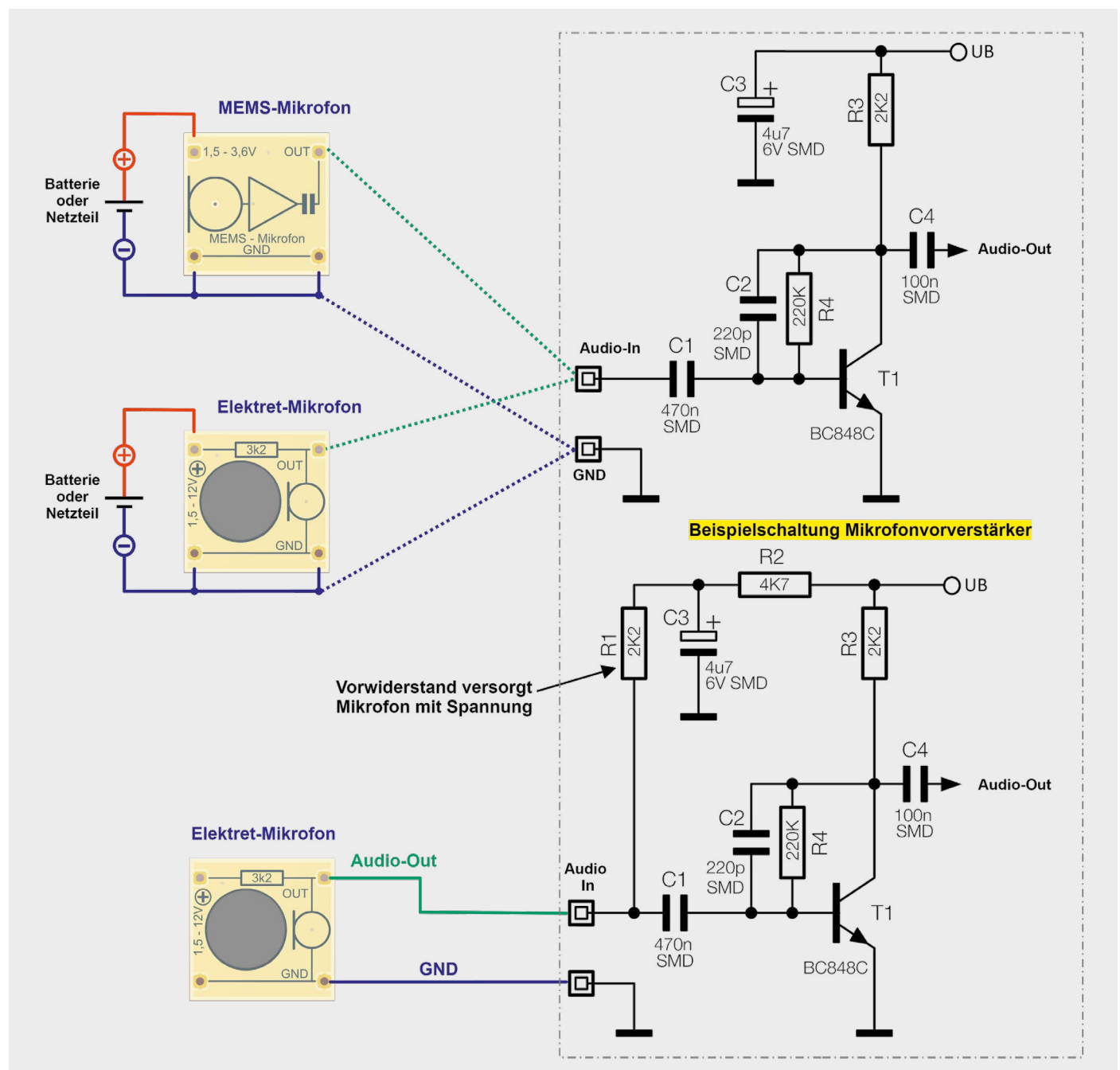


Bild 20: Anschlussschema Elektret- bzw. MEMS-Mikrofon



Eines haben beide Versionen gemeinsam: Sie benötigen eine Versorgungsspannung für den internen Transistor (FET). Bei der 3-poligen Version ist der Drainwiderstand mit im Gehäuse untergebracht, weshalb hier ein weiterer Anschluss benötigt wird.

Wie man im Schaltbild unserer Mikrofonplatine (Bild 19) erkennt, ist hier auch ein Drain- bzw. Vorwiderstand vorhanden, der in zwei einzelne Widerstände aufgeteilt ist. Mit R1 und C1 wird die Versorgungsspannung von Störspannungen befreit. Widerstand R2 ist der eigentliche Drainwiderstand für die Elektretkapsel MK1. Im Prinzip entspricht unser Mikrofonmodul somit der Anschlussbelegung eines 3-poligen Mikrofons.

Die Versorgungsspannung kann im Bereich von 1,5 bis 12 V liegen, wobei die Stromaufnahme sehr gering ist, was auch den Einsatz in batteriebetriebenen Geräten ermöglicht.

Das Anschlussschema (Bild 20) zeigt, wie man die Mikrofonplatine verwenden kann. Die Platinenfotos sind in Bild 21 zu sehen.

Daten	Elektret-Mikrofon	
	Modulbezeichnung:	CM-AM-02
	Typ:	Elektret, ECM-60PB
	Versorgungsspannung:	1,5–12 V
	Stromaufnahme:	max. 0,5 mA
	Frequenzgang:	50 Hz bis 4 kHz
Abm. Platine (B x T):	18 x 15,3 mm	



Bild 21: Platinenfotos des CM-AM-02

MEMS-Mikrofon

Diese Modulplatine ist mit einem MEMS-Mikrofon ausgestattet. Diese ultrakleinen Mikrofone finden sich heutzutage in vielen Handys und Smartphones. Sie sind in der sogenannten MEMS-Technologie (Micro-Electro-Mechanical Systems) [4] aufgebaut und haben die klassischen Elektret-Mikrofone in diesem Sektor verdrängt. Nicht nur die mechanischen Abmessungen, sondern auch die technischen Daten sind überzeugend. So zeichnen sich MEMS-Mikrofone durch einen hohen Signal-Rausch-Abstand, große Empfindlichkeit und den sehr geringen Stromverbrauch aus.

Wie man im Schaltbild (Bild 22) erkennt, bedarf es keiner zusätzlichen Peripherie, lediglich zwei Kondensatoren sind erforderlich. Der Kondensator C1 dient zur Glättung der Versorgungsspannung, während C2 als Koppelkondensator am Ausgang dient.

Im Anschlussschema Bild 20 ist zu erkennen, dass die Verwendung recht einfach ist. Man sollte jedoch unbedingt auf die max. Versorgungsspannung achten. Eine zu hohe Spannung von mehr als 3,6 V könnte zur Zerstörung des Mikrofons führen.

Die Platinenfotos sind in Bild 23 zu sehen.

Daten	MEMS-Mikrofon	
	Modulbezeichnung:	CM-AM-01
	Typ:	MEMS (SPU0410LR5H-QB / Knowles)
	Versorgungsspannung:	1,5–3,6 V
	Stromaufnahme:	0,5 mA max.
	Frequenzgang:	100 Hz bis 80 kHz
	Ausgangsimpedanz:	400 Ω
	Abm. Platine (B x T):	18 x 15,3 mm

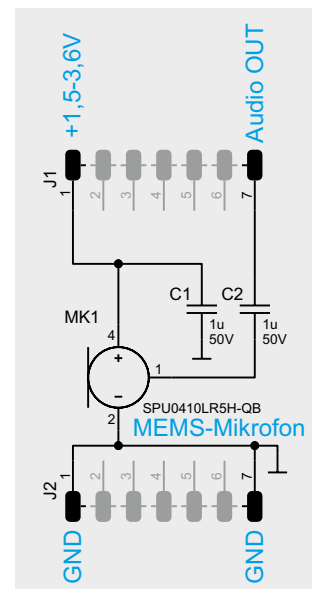


Bild 22: Schaltbild des MEMS-Mikrofons CM-AM-01

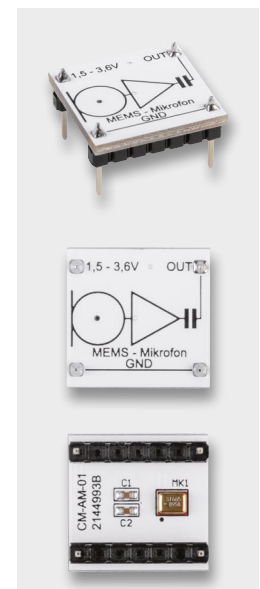


Bild 23: Fotos des MEMS-Mikrofons CM-AM-01

Sound-Transducer

Der Sound-Transducer ist ein elektroakustisches Bauelement, das wie bei einem Lautsprecher akustische Signale wiedergeben kann. Dieses Bauteil sollte nicht mit einem Piezo verwechselt werden, denn im Gegensatz zum Piezo besitzt der Transducer eine Schwing-spule aus Kupferdraht, hat also einen ohmschen Widerstand.

Ein kleiner Nachteil ist, dass der Transducer eine bestimmte Resonanzfrequenz aufweist, bei der die maximale Lautstärke erreicht wird. Natürlich werden auch Frequenzen von z. B. 1 kHz wiedergegeben, aber eben nicht mit voller Lautstärke.

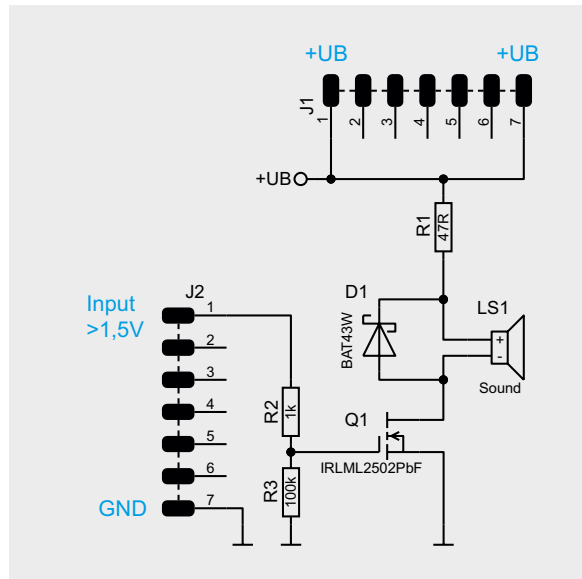


Bild 24: Schaltbild des Sound-Transducers

Sound-Transducer

Typ:	Sound-Transducer 2 kHz
Modulbezeichnung:	CM-AS-01
Betriebsspannung:	3–10 V
Eingangsspegel:	1,5–12 V
Resonanzfrequenz:	ca. 2 kHz
Stromaufnahme:	40 mA max. @ 10 V
Abm. Platine (B x T):	18 x 15,3 mm

Daten

Die Schaltung enthält noch einen kleinen Schalttransistor, der die Ansteuerung vereinfacht (s. [Schaltbild Bild 24](#)). Ab einer Spannung von 1,5 V schaltet der Transistor durch und steuert (schaltet) somit den eigentlichen Transducer. Die Ansteuerung geschieht mit einem Rechtecksignal mit einer minimalen Signalspannung von 1,5 V_{pp}.

Bild 25 zeigt die Fotos des Sound-Transducer-Moduls.

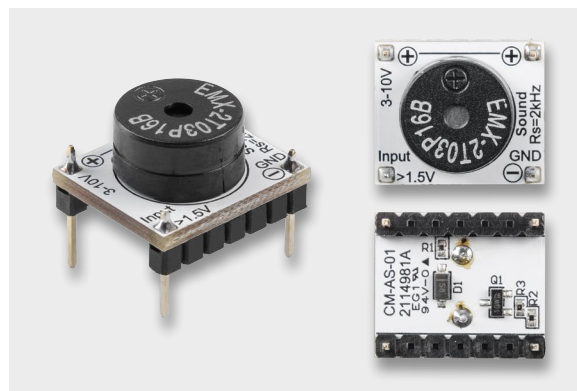


Bild 25: Sound-Transducer-Modul

Prüflautsprecher

Wenn man eine Audioschaltung entwickelt oder zusammengesetzt hat, steht man oft vor der Aufgabe, diese auch zu testen. Für solche Aufgaben eignet sich dieser Prüflautsprecher. Die Betonung liegt dabei auf dem Wort „Prüf“, denn ein vollwertiger Lautsprecher ist dieser kleine Lautsprecher nicht.

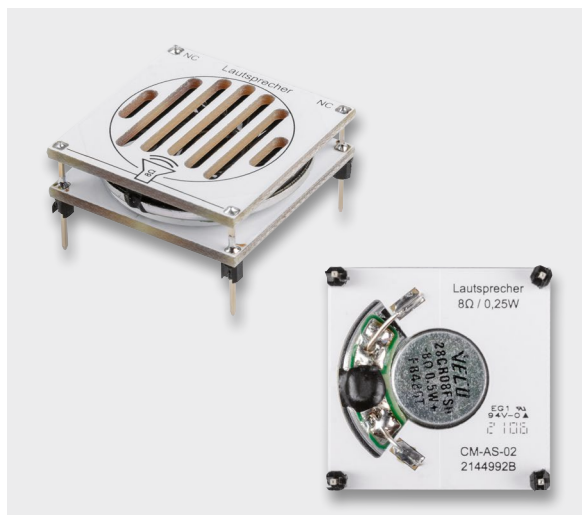


Bild 26: Lautsprecher CM-AM-01

In Bild 26 sind die Fotos des Lautsprechermoduls CM-AS-02 dargestellt. Der Fachmann erkennt: Ohne ein richtiges Gehäuse kann ein Lautsprecher nicht ordentlich funktionieren, da sich durch die offene Bauweise die Schallwellen neutralisieren. Aber unser Prüflautsprecher hat den Vorteil, dass er sehr klein und problemlos zu handhaben ist. Einfach auf ein Steckboard setzen und mit der zu prüfenden Schaltung verbinden (s. Bild 27).

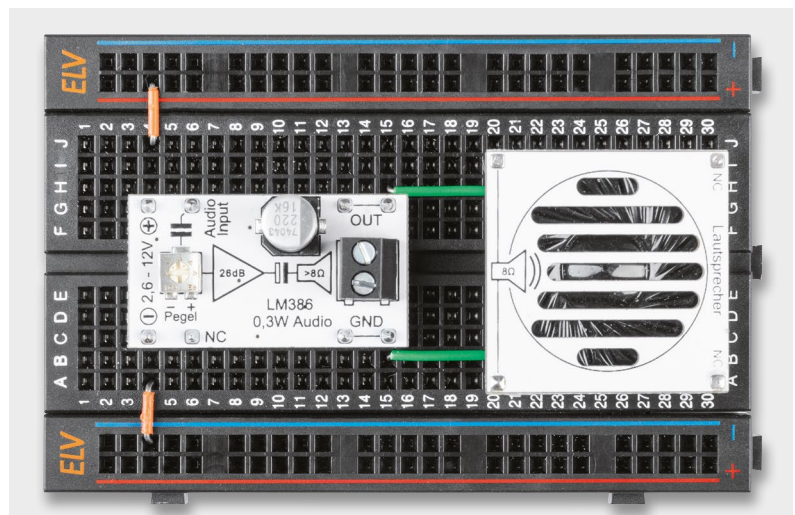


Bild 27: Anwendungsbeispiel für den Prüflautsprecher CM-AS-02 auf einem Steckboard



4-polige Klinkenbuchse

Diese kleine Modulplatine beinhaltet eine 4-polige Klinkenbuchse zur Aufnahme von Steckern mit einem Durchmesser von 3,5 mm. Klinkenstecker und Buchsen in dieser Größe werden häufig als Audio-Ein- und -Ausgang genutzt, wie z. B. für Mikrofone, Kopfhörer usw. Dank der 4-poligen Ausführung kann diese Buchse auch für spezielle Kontaktierungen verwendet werden, bei denen ein zusätzlicher Kontakt benötigt wird,

wie z. B. an einem Headset (Kopfhörer und Mikrofon). Dieser zusätzliche Kontakt ist mit „4“ gekennzeichnet (s. Schaltbild Bild 28). Natürlich ist diese Buchse auch als normaler 3-poliger Stereo- oder Monoklinkenstecker nutzbar (Kontakte 1–3). Weitere Informationen zum Thema Klinkenstecker findet man unter [5].

Die Platinenfotos sind in Bild 29 zu sehen.

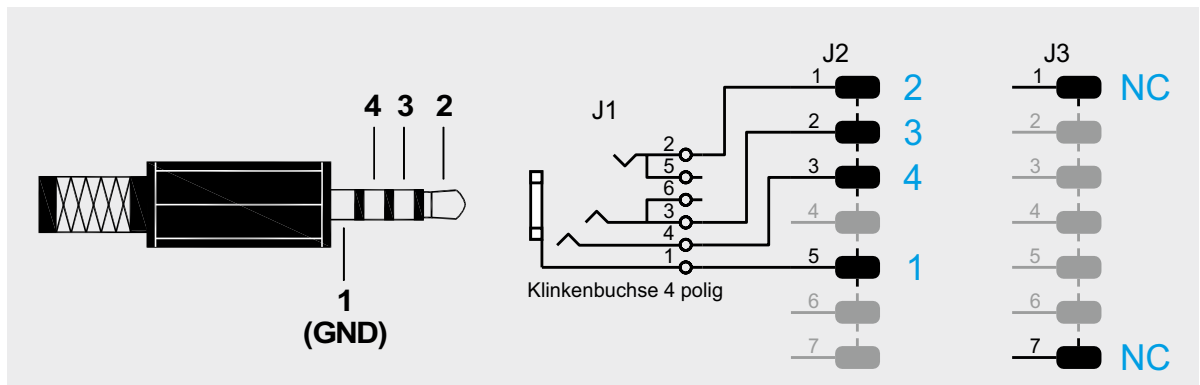
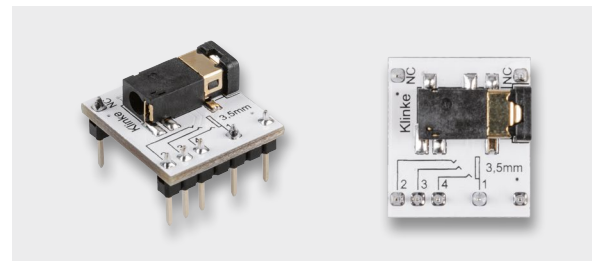


Bild 28: Anschlussbelegung und Schaltbild der 4-poligen Klinkenbuchse

Bild 29: Fotos der 4-poligen Klinkenbuchse CM-FC-PJ35-A



Nachbau

Die einzelnen Module sind aus produktionstechnischen Gründen schon mit SMD-Bauteilen vorbestückt. Die Bauteilgehäuse sind nach heutigem SMD-Stand sehr klein und können fast nur noch maschinell bestückt und verlötet werden. Nun besteht die Aufgabe darin, die entsprechenden Stiftleisten und die Anschlussklemmen aufzulöten.

In der Regel sind die passenden Stiftleisten in der entsprechenden Polzahl vorhanden und müssen somit nicht gekürzt werden. Bei einigen Modulen müssen nicht genutzte Pins aus den Stiftleisten entfernt werden. Dies geschieht, wie in Bild 30 zu sehen, mit einer kleinen Zange. Die so vorbereiteten Stiftleisten (Bild 31) werden von unten in die Platinen eingesetzt und auf der Oberseite verlötet.

Da die so angefertigten Platinen auch optisch gut aussehen sollen, empfiehlt sich die Reinigung der Platinenoberfläche. Bei jedem Lötvorgang bleiben unweigerlich Rückstände von dem im Lötzinn enthaltenen Flussmittel auf der Platine zurück. Diese können mit Alkohol oder noch besser mit einem speziellen Lötmittelreiniger (z. B. Fluxfrei [6]) entfernt

werden. Praktisch hat sich hierbei der Einsatz einer (alten) Zahnbürste bewährt. Die zu reinigende Platine wird hierbei kurz eingesprüht und anschließend mit der Zahnbürste gereinigt (Bild 32).



Bild 30: So werden nicht benutzte Stifte entfernt.

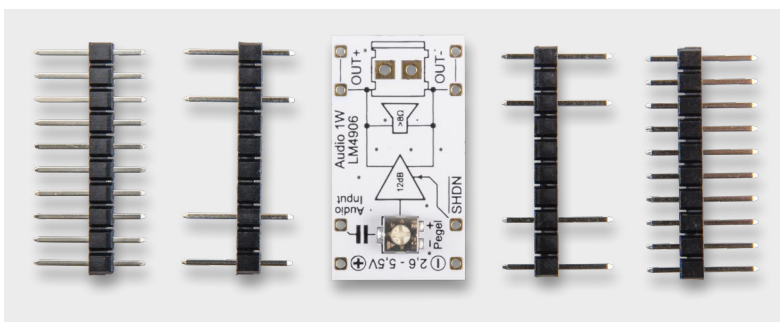


Bild 31: So sehen die vorbereiteten Stiftleisten vor dem Verlöten aus.

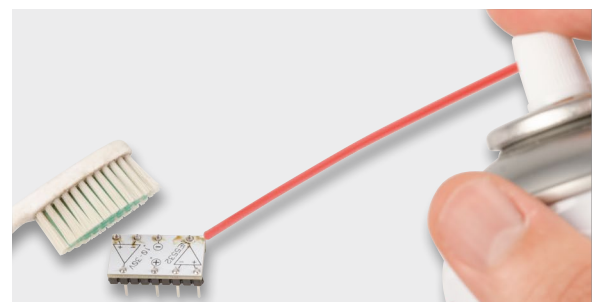


Bild 32: Mit einer Zahnbürste und einem Reiniger werden Rückstände vom Flussmittel entfernt.



Bild 33: So wird die 5-polige Stiftleiste in fünf einzelne Stifte geteilt.

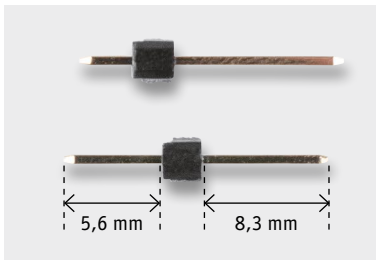


Bild 34: Der Stiftkörper muss so weit verschoben werden, bis sich die gezeigten Maße ergeben.

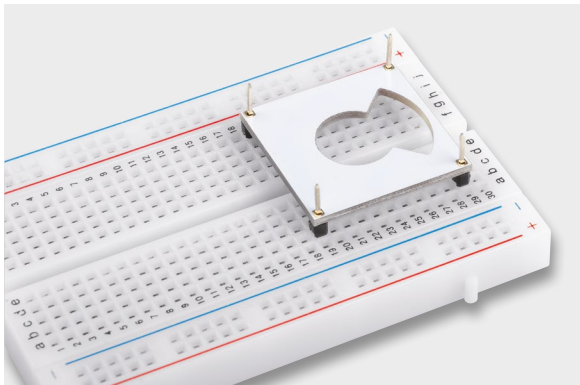


Bild 35: So kann die Montage auf einem Steckboard erfolgen.



Bild 36: So werden die Stifte von oben mit der Platine verlötet.



Bild 37: So werden zum Schluss die Stifte auf der Platinenoberseite angelötet.

Aufbau der Lautsprecherplatine

Der Zusammenbau der Lautsprecherplatine bedarf etwas Vorbereitung und ist nicht ganz so einfach. Wenn man sich strikt an unsere Anleitung hält, ist der Zusammenbau jedoch auch für Elektronikeinsteiger kein Problem.

Zuerst müssen die Stiftleisten bearbeitet werden. Die 5-polige Stiftleiste muss zunächst in einzelne Stifte aufgeteilt werden. Dies kann auf unterschiedliche Arten erfolgen. Der erfahrene Elektroniker versucht dies einfach mit einem Seitenscheider, was leider nicht immer zum gewünschten Erfolg führt, da die Stiftkörper in ungleichmäßige Teile zerfallen können. Besser geeignet ist ein Klingenmesser (Cutter), wie in Bild 33 dargestellt – es geht aber auch mit einem dünnen Sägeblatt.

Warnhinweis: Hier besteht bei unsachgemäßer Handhabung Verletzungsgefahr! Man setzt das Messer auf die gewünschte Schnittstelle an, und bewegt die Messerklinge unter Druck von oben hin und her. Irgendwann gibt der Kunststoff nach und bricht. Hier sollte man jedoch aufpassen, denn die Stiftleisten können sich selbstständig und durch die Luft fliegen.

Nachdem man nun fünf einzelne Stifte zur Verfügung hat, von denen vier benötigt werden, müssen diese bearbeitet werden. Der Stiftkörper wird so weit verschoben, bis sich die in Bild 34 gezeigten Maße ergeben. Zum Abmessen sollte man unbedingt einen Messschieber verwenden, um die notwendige Genauigkeit zu erreichen.

Die so vorbereiteten Stifte werden nun vorzugsweise auf ein (altes) Steckboard (Breadboard) mit einem quadratischen Abstand von 25,4 mm (entspricht 10 Rastereinheiten) eingesetzt, und zwar so, dass das längere Ende nach oben zeigt (Bild 35). Auf diese Stifte wird die untere Platine vom Lautsprechermodul aufgesetzt, aber noch nicht verlötet, wie in Bild 36 zu sehen ist.

Anschließend legt man den Lautsprecher auf die untere Platine, so dass sich die Anschlussplatte des Lautsprechers oberhalb der Aussparung befindet. Wenn man den Lautsprecher langsam dreht, merkt man, wie dieser förmlich einrastet. Probesthalber setzt man die obere Platine noch auf und kontrolliert, ob alles passt und korrekt ausgerichtet ist.

Die Stifte sollten auf der oberen Platine ca. 0,5 mm herausragen, gerade noch so viel, dass diese angelötet werden können. Nun entfernt man den Lautsprecher und die obere Platine wieder und lötet die vier Stifte, wie in Bild 36 zu sehen ist, von oben an. Anschließend setzt man die Teile wieder zusammen.

Wichtig! Das Lautsprechersymbol muss sich oberhalb der Aussparung für den Lautsprecher befinden, wie in Bild 36 dargestellt.

Nun verlötet man die die Stifte, die oben aus der Platine herausragen (Bild 37).



Damit der Lautsprecher fest zwischen den beiden Platinen eingeklemmt wird, bedarf es einer gewissen Spannung zwischen den beiden Platinen. Diese wird erreicht, wenn man die schon verlöteten Lötstellen der Stifte noch mal mit dem LötKolben erwärmt und mit einem Finger leichten Druck auf die Platine ausübt, wie in **Bild 38** zu sehen ist.

Hat man alle Lötstellen in dieser Vorgehensweise nachgearbeitet, sollte der Lautsprecher fest zwischen den beiden Platinen verankert sein.

Zum Schluss nimmt man das Lautsprechermodul vom Steckboard und stellt die Verbindung zwischen Lautsprecher und Platine her. Hier wird, wie in **Bild 39** zu sehen ist, mit jeweils einem Stück Silberdraht die Verbindung zwischen Lautsprecheranschlüssen und Lötanschlüssen auf der Platine mittels Lötung hergestellt.

Hinweise zur Verwendung

Betriebsspannung

Die einzelnen Module weisen unterschiedlichen Betriebsspannungen auf, deren obere Grenze unbedingt eingehalten werden muss. Eine zu hohe Betriebsspannung kann zur Zerstörung des Bauteils führen. Wird z. B. das MEMS-Mikrofon, das nur bis zu einer Betriebsspannung von 3,6 V geeignet ist, mit einem Audioverstärker mit $U_B=9\text{ V}$ kombiniert, muss mit einem Spannungsregler die Betriebsspannung für das MEMS-Mikrofon auf 3,3 V stabilisiert werden. Hierfür kann ein Spannungsregler mit 3,3-V-Ausgang verwendet werden, beispielsweise ein TS9011(SMD) oder ein Spannungsregler aus unserem PAD2 [3].

Auf den Verstärkermodulen befinden sich Blockkondensatoren für die Betriebsspannung. Aus Platzgründen wurden die maximal möglichen Kondensatoren verwendet. Es kann in gewissen Fällen (z. B. Spannung bricht unter Last zusammen) notwendig sein, dass die Betriebsspannung zusätzlich mit weiteren Kondensatoren geblockt werden muss. Hier empfiehlt es sich, einen Elko ($> 100\ \mu\text{F}$) parallel zur Betriebsspannung zu schalten.

Anwendung auf einer Lochrasterplatine

Die Stiftleisten der Module sind im Rastermaß angeordnet, was den Einsatz auf Lochrasterplatine ermöglicht. Die Module können direkt (ohne Sockel) auf einer Lochrasterplatine verwendet werden, was aber dazu führt, dass ein Entnehmen oder Austausch nicht mehr möglich ist. Praktischer ist, die Module auf Buchsenleisten zu setzen, wie in **Bild 40** dargestellt. So hat man die Möglichkeit, die Module wieder zu entnehmen, um diese eventuell an anderer Stelle erneut zu verwenden.



Bild 38: Unter leichtem Druck mit einem Finger werden die Lötstellen noch einmal erhitzt.



Bild 39: So wird die elektrische Verbindung zwischen dem Lautsprecher und den Platinenanschlüssen hergestellt.

Bei den Buchsenleisten sollte darauf geachtet werden, dass diese trennbar und für Stifte von einem Durchmesser von 0,7 bis 0,9 mm geeignet sind. Qualitativ hochwertig sind sogenannte Präzisionsbuchsenleisten, deren Kontakte aus gedrehten Hülsen bestehen, wie man sie auch von hochwertigen IC-Fassungen kennt. In **Bild 40** ist der Aufbau auf einer Lochrasterplatine mit Buchsenleisten zu sehen.

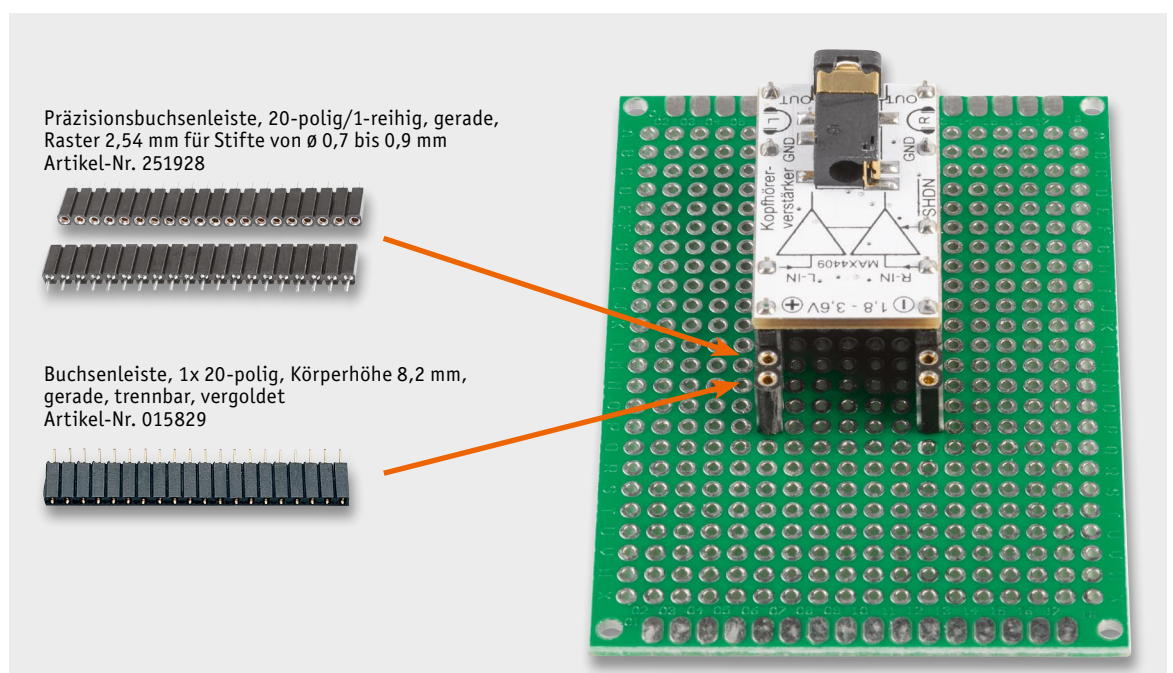
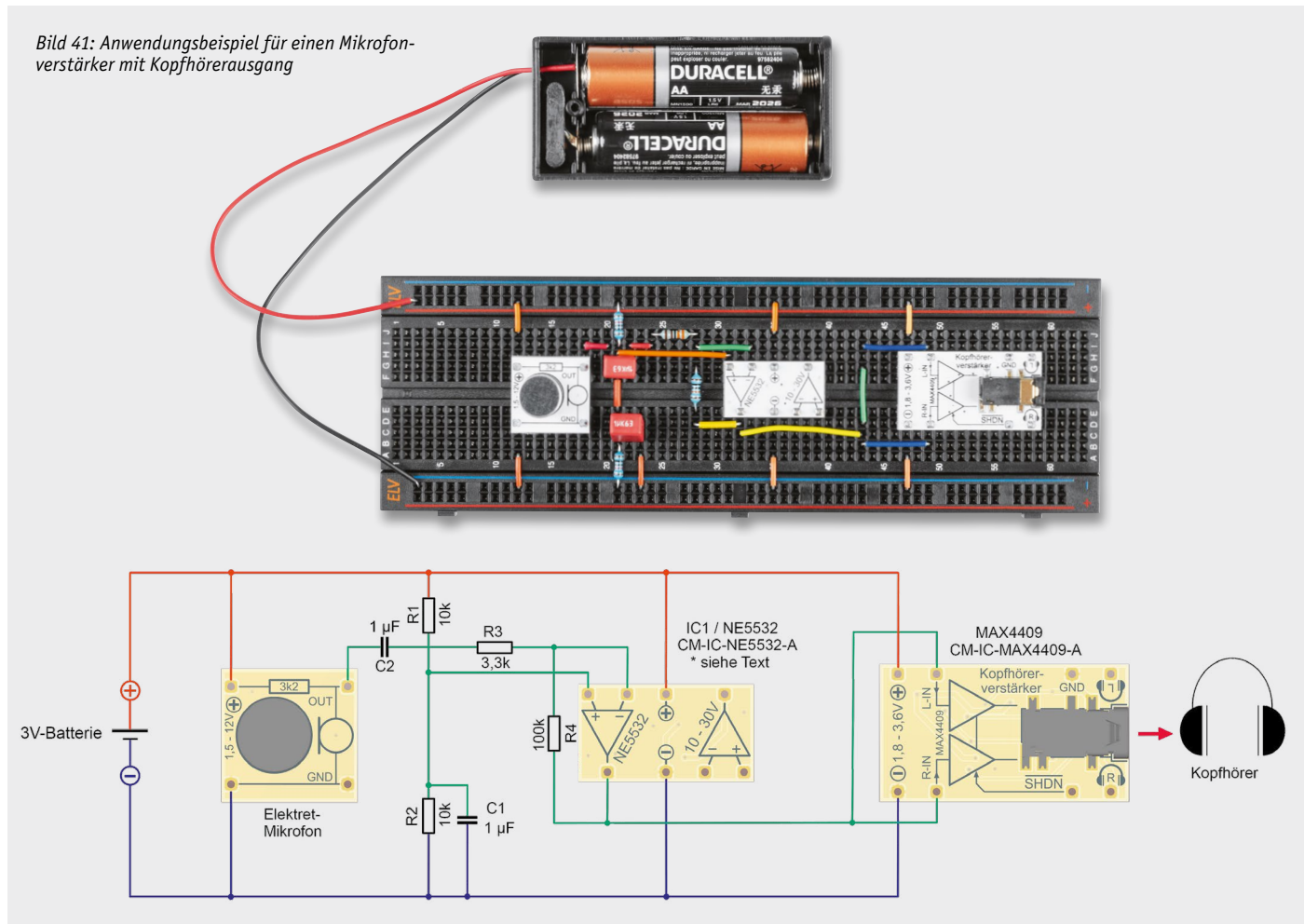


Bild 40: So können die Module auf einer Lochrasterplatine verwendet werden.



Anwendungsbeispiel „Mikrofonverstärker“

Bild 41: Anwendungsbeispiel für einen Mikrofonverstärker mit Kopfhörerausgang



In dem hier beschriebenen Anwendungsbeispiel wollen wir zeigen, wie man aus den Komponenten des PAD7 einen Mikrofonverstärker mit Kopfhörerausgang aufbaut. Ein paar zusätzliche bedrahtete Bauteile wie Widerstände und Kondensatoren sind allerdings noch notwendig. Aber die sind vielleicht noch in der eigenen „Bastelkiste“ vorhanden.

Alle benötigten Bauteile sind in der [Tabelle 3](#) zusammengefasst. Den fertigen Aufbau und den Verdrahtungsplan zeigt das [Bild 41](#), somit sollte der Nachbau keine Probleme bereiten.

Kommen wir zuerst zur Schaltungsbeschreibung. Als Mikrofon kommt das Elektret-Mikrofon (CM-AM-02) zum Einsatz. Da der Pegel des Mikrofons für den Kopfhörerverstärker MAX4409 nicht ausreicht, muss ein zusätzlicher Verstärker zwischengeschaltet werden. Dies übernimmt in der Regel ein Operationsverstärker. In unserer Testschaltung verwenden wir den NE5532, obwohl dieser OP laut Hersteller eine minimale Betriebsspannung von 10 V benötigt.

Unsere Testschaltung funktioniert auch mit einer Betriebsspannung von 3 V (Batterie) und stellt somit exemplarisch eine Verstärkerstufe dar. Wer eine praktische Verstärkerstufe für Batteriebetrieb aufbauen möchte, sollte einen stromsparenden Operationsverstärker mit niedrigem Spannungsbedarf wie z. B. den TLV272 oder LMV358 verwenden.

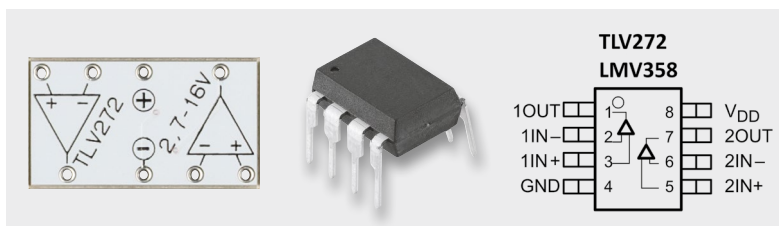


Bild 42: Der OP TLV272 als PAD (links) und im DIP-Gehäuse (rechts)

Unterschiedliche Operationsverstärker finden sich in unserem Prototypenadapter-Set PAD2 [\[3\]](#). Natürlich kann anstelle eines Prototypenadapters auch ein konventioneller OP im DIP-Gehäuse verwendet werden. Unsere Prototypenadapter dienen ja vielmehr zum Testen und Experimentieren. In einem Lochrasteraufbau kann praktischerweise auch ein DIP-Gehäuse verwendet werden.

[Bild 42](#) zeigt den TLV272 aus dem ELV PAD2, der sich hervorragend für Batteriebetrieb eignet. Im Vergleich dazu ist im rechten Teil von [Bild 42](#) ein handelsübliches DIP-Gehäuse mit Anschlussbelegung für den TLV272/LMV358 zu sehen.

Der OP ist in unserer Testschaltung als invertierender Operationsverstärker beschaltet. Der Verstärkungsfaktor wird vom Verhältnis der Widerstände R_4 zu R_3 bestimmt und liegt in unserem Fall bei 30 ($v = R_4/R_3$). Das Signal des Mikrofons gelangt über einen Koppelkondensator C_2 auf den Eingang des Operationsverstärkers (R_3). C_2 ist notwendig, damit der DC-Anteil vom Mikrofon den Arbeitspunkt des Operationsverstärkers nicht beeinflusst. Der Arbeitspunkt des Operationsverstärkers wird mit dem Spannungsteiler R_1/R_2 erzeugt und liegt bei $U_B/2$.

Diese Spannung führt auf den nichtinvertierenden Eingang (+) des Operationsverstärkers. Der Kondensator C_1 glättet (stabilisiert) die Arbeitspunktspannung. Vom Ausgang des Operationsverstärkers gelangt das Signal auf die Eingänge des Kopfhörerver-



stärkers MAX4409. Da dieser Kopfhörerverstärker zwei Kanäle hat (Stereo) werden beide Eingänge (L+R) miteinander verbunden.

Als Versorgungsspannung eignet sich eine Batteriespannung von 3 V. Dies wird, wie in Bild 41 zu sehen, durch zwei Batterien mit Batteriehälter erreicht.

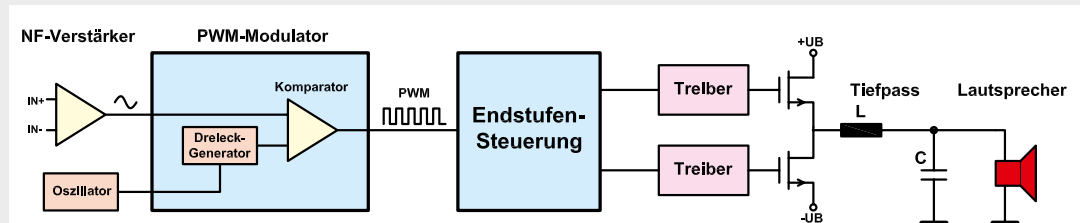
Wenn man die Schaltung so weit aufgebaut hat und die Spannungsversorgung und der Kopfhörer angeschlossen sind, kann man die Umgebungsgeräusche nun verstärkt über den Kopfhörer wahrnehmen.

ELV

Tabella 3

Bauteilliste für das Anwendungsbeispiel „Mikrofonverstärker“

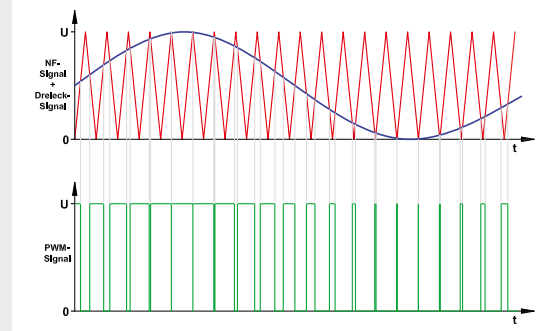
Menge	Referenz	Beschreibung	ELV Artikel-Nr.
1	IC 1	NE5532 aus Prototypenadapter PAD7 TLV272 aus Prototypenadapter PAD2	156575 154712
1		Elektret-Mikrofon aus Prototypenadapter	156575
1		Steckboard 830 Kontakte	125903 (weiß) 250986 (schwarz)
1		Steckbrückenset	058831
1		Batteriehälter 2x Mignon mit Kabel	080118
1	R3	Widerstand 3,3 K Ω , bedrahtet	006358 (VPE = 10 Stück)
2	R1, R2	Widerstand 10 K Ω , bedrahtet	006313 (VPE = 10 Stück)
1	R4	Widerstand 100 K Ω , bedrahtet	006309 (VPE = 10 Stück)
2	C1, C2	Kondensator 1 μ F, >10 V	100218



Der Class-D-Verstärker

Im Gegensatz zum AB-Verstärker, der ein analoges Audiosignal linear verstärkt, arbeitet ein Class-D-Verstärker als (digitaler) Schaltverstärker. Dabei wird das vorverstärkte Audiosignal und ein durch einen internen Oszillator mit vielfacher Frequenz des Audiosignals erzeugtes Dreiecksignal in einem PWM-Modulator mit einem Komparator zu einem PWM-Signal gewandelt. Durch Vergleich der Spannungshöhe des Audiosignals und des Dreiecksignals wird hier ein Rechtecksignal erzeugt, in dessen Pulsweite die Information zu Amplitude und Frequenz enthalten ist. Dieses Signal gelangt auf die Endstufensteuerung, die dafür sorgt, dass die Endstufentransistoren in exakt definierter Zeitfolge durchgeschaltet bzw. gesperrt werden und so das digitale Signal verstärken. Ein Tiefpass am Ausgang trennt schließlich die hochfrequenten Anteile des Signals (die Trägerfrequenz) ab, und es gelangt lediglich das Audiosignal auf den Lautsprecher. In einem Filterfree-System entfällt der eigentliche Tiefpass, hier wirkt der Lautsprecher inklusive seiner Zuleitungen selbst als Tiefpass und erzeugt die Audiofrequenz.

Die Vorteile dieser aufwendigen Signalverarbeitung sind ein nahezu verlustfreier Betrieb der Endstufentransistoren und weit geringere Anforderungen an die Stromversorgung der Endstufe.



Denn hier werden die Endstufentransistoren nicht wie beim Analog-Verstärker linear betrieben, sondern als steilflankig angesteuerte Schaltstufe, die nur den Zustand „ein“ oder „aus“ zu realisieren hat. Hierdurch entfällt die bei Linearverstärkern entstehende Verlustleistung weitgehend (hier wirkt lediglich der $R_{DS(on)}$ -Widerstand des Transistors), es sind nur kleine bis gar keine Kühllkörper erforderlich. So kann eine solche Endstufe sehr kompakt ausfallen und belastet das Umfeld nicht durch Verlustwärme.



Weitere Infos:

- [1] Wikipedia – Endstufe: <https://de.wikipedia.org/wiki/Endstufe>
- [2] Wikipedia – Kompletärendstufe: <https://de.wikipedia.org/wiki/Gegentaktendstufe>
- [3] ELV Bausatz Prototypenadapter für Steckboards PAD2, linear – Artikel-Nr. 154712
- [4] MEMS-Technik: https://en.wikipedia.org/wiki/Microelectromechanical_systems
- [5] Wikipedia – Klinkenstecker: <https://de.wikipedia.org/wiki/Klinkenstecker>
- [6] ITW Cramolin Flux-Frei: Lötmitteleiniger, 400 ml – Artikel-Nr. 029321

Alle Links finden Sie auch online unter: de.elv.com/elvjournals-links