

## LM386-Kopfhörerverstärker

---

Ein Verstärker auf Basis des LM386-OpAmp ist universell einsetzbar und hat darüber hinaus den Vorteil, dass die Schaltung übersichtlich ist und mit wenigen Bauteilen auskommt. Daher ist der LM386 das passende Bauteil für den angehenden Elektroniker oder wenn man schnell einen Verstärker braucht, der Kopfhörer oder zur Not auch kleine Lautsprecher antreiben kann. Deshalb sind auch alle technischen Details in diesem Artikel möglichst einfach und verständlich erklärt. Profi-Elektroniker unter den Lesern mögen diesen Umstand berücksichtigen, es geht hier einzig und allein darum, den Nachbau transparent zu erklären und eine möglichst hohe Nachbausicherheit zu gewährleisten. Der LM386 ist übrigens auch gut geeignet, wenn Smartphones und GPS-Empfänger um ein leistungsfähiges „Soundsystem“ ergänzt werden sollen.

Den LM386 gibt es schon sehr lange, er ist schon ein alter Hut, trotzdem hier noch einmal die Vor- und Nachteile:

### Plus:

- Günstiger Preis, die DIP8-Version kostet etwa 1,00 Euro
- Robust und relativ anspruchslos, daher ideal für Elektronik-Anfänger
- Als LM386N-1 mit 325mW und als LM386N-3 mit 700mW Ausgangsleistung verfügbar
- Audio Class AB-Verstärker
- Simple Stromversorgung 4 bis 12 Volt, keine symmetrische (+/-) Stromversorgung notwendig
- Geringer Stromverbrauch, Ruhestromaufnahme nur 4 mA
- Schaltungsaufwand sehr gering, schon 3 externe Bauteile reichen für Minimalkonfiguration

### Minus:

- Tonqualität bei minimalem Schaltungsaufbau sehr gut aber kein High-End
- Bei höheren Verstärkungsfaktoren starke Neigung zu Grundrauschen
- Bei Übersteuerung deutliche Verzerrungen wahrnehmbar (Klirrfaktor)
- Benötigt fast immer Metallgehäuse (Schirmung), sonst Brummneigung

Für den Schaltungsaufbau kann man getrost die Vorschläge aus dem Datenblatt von National Semiconductor übernehmen, denn die sind völlig in Ordnung – oder man verwendet die hier vorgestellte Schaltung, welche die Möglichkeiten des LM386 optimal ausnutzt.

Bauteile sind bei Audiogeräten ein Thema. Natürlich kann man die Bastelkiste durchsuchen oder Altgeräte ausschachten und den Verstärker auf die billigste Art aufbauen. Das ist empfehlenswert, wenn der LM386 z. B. nur als Lautsprecherverstärker für ein Navigationssystem dienen soll. Möchte man den ohnehin nicht allzu hohen Qualitätslevel des LM386 ausreizen, empfehlen sich Bauteile für Audiogeräte, wie zum Beispiel Metallfilmwiderstände und hochwertige Kondensatoren. Die paar Cent Preisunterschied zu Billig-Bauteilen fallen bei diesem Projekt überhaupt nicht ins Gewicht.



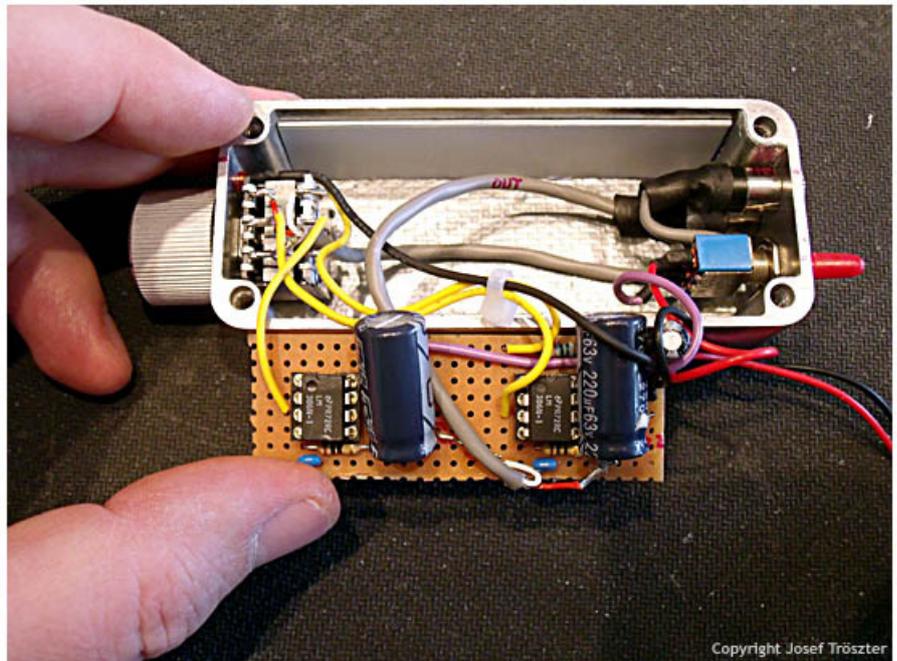
LM386-Kopfhörerverstärker für Batteriebetrieb in einem Hammond 1590A Gehäuse

Hier wird der National Semiconductor LM386-N1 beschrieben. Das ist der am leichtesten verfügbare Typ im DIP8-Gehäuse. Der LM386 ist einkanalig, also eine Mono-Ausführung. Für einen Stereo-(Kopfhörer)-Verstärker muss die Schaltung daher doppelt aufgebaut werden. Eine Lochrasterplatte ist dafür gut geeignet, man sollte das Layout nicht zu groß auslegen und die Bauteile relativ dicht nebeneinander platzieren. Das erschwert zwar den Zusammenbau, hilft aber Einstreuungen (brummen) zu verhin-

dern. Masseleitungen sollten so kurz als möglich gehalten und alle Audioverbindungen als geschirmte Leitungen ausgeführt werden. Der Verstärker kann auch mit einem Lautstärkpotentiometer versehen werden, wobei man bei diesem Bauteil nicht unbedingt einen ALPS-High-End-Regler für 25 Euro verbauen muss aber trotzdem auf adäquate Qualität achten sollte. Gleiches gilt auch für das Gehäuse. Da tut es zur Not eine Bonbonschachtel aus Metall („Altoids“-Dose) oder ein preiswertes Hammond 1590A für knapp 8 Euro.

Das Grundrauschen des LM386 hängt von verschiedenen Faktoren ab. Ganz wichtig ist der Verstärkungsfaktor (Gain). Als Kopfhörerverstärker verwendet, sollte der Standardwert von Gain 20 gewählt werden. In diesem Fall ist der LM386 mit Kopfhörern ab etwa 25 Ohm Impedanz sehr rauscharm, lediglich ohne Eingangssignal bei ganz konzentriertem Zuhören ist ein Grundrauschen wahrnehmbar. Ein 10uF Kondensator in Verbindung mit einem 1.2R Widerstand zwischen den Pins 1 und 8 des LM 386 erhöht den Verstärkungsfaktor auf Gain 50. Mehr sollte man aus dem LM386 nicht herausholen wollen. Bei Gain 50 hat man zwar auch mit hochohmigen Kopfhörern oder kleinen Lautsprechern genügend Reserven bei der Lautstärke, das Rauschen wird aber beim Hörtest ohne Eingangssignal leichter wahrnehmbar. Übrigens könnte der Verstärkungsfaktor bis auf den Faktor 200 gesteigert werden, empfehlenswert ist das aber nicht, denn dann rauscht der LM386 ganz sicher. Gain 20 ist für die meisten Kopfhörer die beste Wahl. Will man Kopfhörer mit einer sehr geringen Impedanz im Bereich von 4 bis 16 Ohm verwenden, wie es zum Beispiel alle In-Ear-Ohrhörer-Typen sind, dann ist das Grundrauschen auch bei einem sauber gearbeiteten Schaltungsaufbau ein Thema. Schuld daran ist, dass der LM386 nicht als Kopfhörerverstärker konzipiert wurde und leistungsmäßig darauf ausgelegt ist kleine Lautsprecher anzutreiben. Dem LM386 fehlt eine Last um ordentlich zu funktionieren und hier schafft der ominöse Widerstand unmittelbar vor dem Kopfhörer-Ausgang Abhilfe. Die Lösung ist zwar nicht sehr elegant, hat sich aber bei meinen Eigenbauten immer bewährt. Ein Widerstand mit 10R bis 470R in Serie geschaltet erzeugt die erforderliche Last um auch In-Ear-Kopfhörer ohne Rauschen zu betreiben. Der Ordnung halber sei erwähnt, dass man einen möglichst geringen Widerstandswert verwenden soll, den passenden Wert ermittelt man am besten durch probieren.

Die Stromversorgung ist beim LM386N-1 relativ unkritisch und kann im Bereich von 4 Volt bis 12 Volt liegen. Ein LM386-Verstärker als Nachbrenner für iPods und MP3-Player kann mit einer 9-Volt-Batterie betrieben werden, will man das Gerät stationär vom Stromnetz betreiben, empfiehlt sich ein 7809-Festspannungsregler in Verbindung mit einem 12-Volt-Steckernetzgerät. Eine ausreichende Stromversorgung mit entsprechend dimensionierten Kondensatoren beim Spannungswandler verhindert Oszillation und sollte eine Selbstverständlichkeit sein. Eine passende Schaltung gibt es ebenfalls auf dieser Seite. In einem Fahrzeug sollte ein LM386-Verstärker vorzugsweise mit einer 9-Volt-Batterie betrieben werden. Das ist eine simple und zugleich wirkungsvolle Methode um Störungen aus dem Bordstromnetz fernzuhalten. Mit einem 9Volt NiMH-Akku 235mAh sind, je nach Lautstärke, deutlich über 10 Stunden Betrieb möglich.



Der LM386 benötigt nur wenige externe Komponenten und deshalb lassen sich sehr kompakte Kopfhörerverstärker realisieren. Geschirmte Leitungen für die Audiosignale erhöhen die Resistenz gegen Störstrahlung.

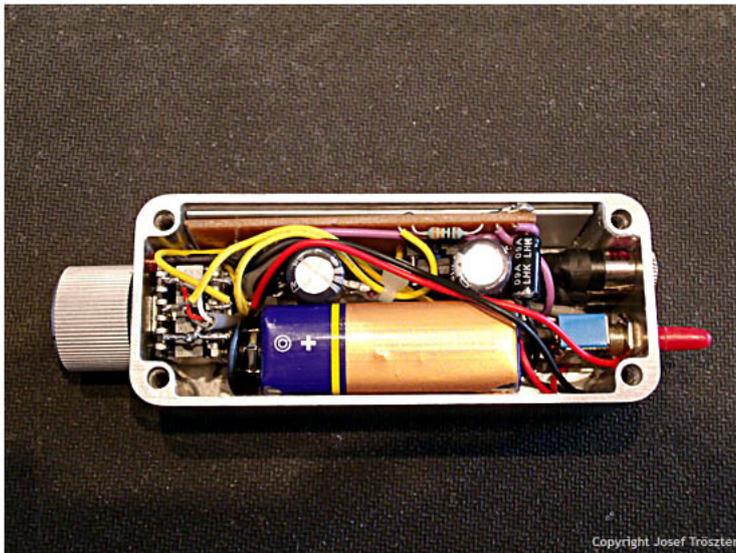
Vor der ersten Inbetriebnahme sollte die Schaltung noch einmal auf Kurzschlüsse kontrolliert und auch der DC-Offset gemessen werden. DC-Offset ist ein Gleichspannungsanteil, der beim Kopfhörer ankommt. Der Anteil sollte so gering wie möglich sein, denn DC-Offset bewirkt, dass die Kopfhörermembrane bei eingeschaltetem Verstärker immer aus ihrer Mittelstellung bewegt werden und sich der nutzbare Ausschwingbereich der Membrane verkleinert. Gemessen wird der DC-Offset am Kopfhöreranschluss zwischen Masse und dem Ausgang für linken bzw. rechten Kanal. Dabei muss der Verstärker eingeschaltet und ein (ausgemusterter aber funktionsfähiger!) Kopfhörer angeschlossen sein. Es darf kein Signal eingespeist werden und das Lautstärkpotentiometer muss sich in der Minimumposition befinden. Am Multimeter den Bereich DC mV wählen und Messungen vornehmen. Es dürfen einige wenige mV als DC-Offset auftreten, üblicherweise bewegen sich die Werte zwischen 1,5 und 5,5 mV. Ein zu hoher DC-Offset ist fast immer die Folge eines „beleidigten“ LM386 oder liegt an einem Problem mit dem Kondensator C3 (zu geringer Wert oder falsche Polarität). Ich habe im Lauf der Zeit etliche LM386-Verstärker gebaut, dabei ist mir aufgefallen, dass unterschiedliche LM386-Generationen verschiedene DC-Offset-Werte sowie leicht verschiedenes Rauschverhalten haben.



Wurde der LM386-Verstärker sorgfältig aufgebaut sollte es keine Probleme mit Einstreuungen und Rauschen geben. Manchmal ist man aber vom Pech verfolgt und der LM386-Verstärker rauscht, surrt und saust. In diesem Fall sollte man zuerst kontrollieren, ob das Rauschen nicht vom Zuspelgerät kommt. Viele MP3-Player liefern nicht nur das Musiksignal, sondern auf Grund einer einfachen Kopfhörerstufe auch gleich noch eine Menge Rauschen dazu. Zieht man das Kabel vom Eingang des LM386-Verstärkers ab und plötzlich ist Ruhe, hat man die Ursache gefunden. Ein weiterer Tipp: greift man auf den Lautstärkereglern und es brummt, ist es sinnvoll das (metallene) Potentiometer-Gehäuse mit Masse zu verbinden. Meistens sind die Störgeräusche dann verschwunden.

Bereits vorhin wurde auch erwähnt, dass die Kopfhörer-Impedanz Grundrauschen verursachen kann, auch das sollte berücksichtigt werden. Bekommt man Störungen und Rauschen gar nicht weg, kommen die als Option vorgesehenen Widerstände unmittelbar vor dem Kopfhörer-Ausgang ins Spiel. Der Wert für diese Widerstände sollte so gering als möglich gehalten werden, als Bandbreite gilt der Bereich von 10 bis 470 Ohm. Einfach den Verstärker ohne eingespeistes Signal voll aufdrehen und

hören, ob das (fast immer) vorhandene Grundrauschen durch brummen überlagert wird. Danach den Widerstandswert kontinuierlich erhöhen, bis man nur das Grundrauschen hört. Für diese Feinabstimmung ist Geduld und ein Vorrat an verschiedenen Widerständen erforderlich.



Wird der LM386-Kopfhörerverstärker inklusive einem Lautstärkepotentiometer aufgebaut, passen alle Komponenten gerade in ein Hammond 1590A Gehäuse hinein. Wichtig ist es die Innenseite des Aluminiumgehäuses an erforderlichen Stellen mit einer Isolationsschicht zu versehen um Kurzschlüssen an der Platine vorzubeugen.

Klanglich gesehen ist der LM-386 Verstärker sicher kein High-End-Produkt sondern gute Mittelklasse. Dazu trägt schon die Architektur des ICs bei, denn der LM386 wurde in erster Linie als preiswerte Lösung u.a. für tragbare batteriebetriebene Geräte entwickelt. Für den betriebenen Aufwand ist die Audioqualität aber mehr als in Ordnung und gegenüber den schwachen OpAmps in MP3-Playern eine Verbesserung, vor allem dann, wenn man höherohmige Kopfhörer verwendet. Mit allen meinen Kopfhörern (AKG K702, AKG K-270 Studio, Sony MDR-P180, Sennheiser CX350) sind Verzerrungen auf Grund von Übersteuerung kein Thema, weil dieses Phänomen erst bei einer Lautstärke auftritt, die sowohl für den Zuhörer als auch die Kopfhörer-Hardware kritisch wird. Weitere Argumente für einen LM386-Verstärker sind der geringe Anschaffungspreis und die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten. Egal ob Kopfhörerverstärker,

Line-Booster für den Aux-Eingang bei einem Autoradio, Monitorverstärker für kleine Lautsprecher oder als Soundsystem bei Smartphone und PocketPC, der LM386 passt fast immer. Die Bauteile und das Gehäuse sind ab etwa 35 Euro zu haben – der ideale Testlauf, wenn man plant einen CMoy oder anderen komplexeren Kopfhörerverstärker zu bauen.

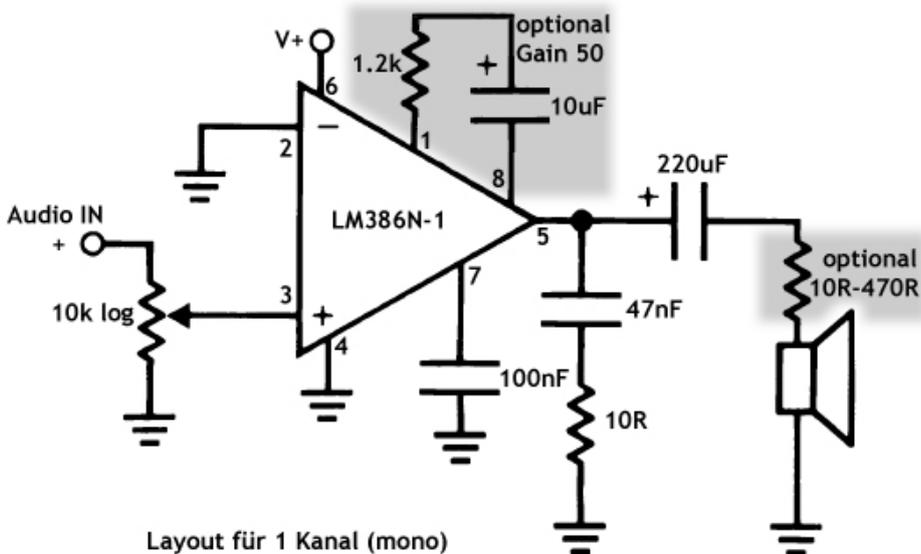


Bereit für lange Outdooreinsätze: Gehäuse, Buchsen, Schalter, der Drehknopf für die Lautstärke und auch die Achse des Potentiometers sind aus Metall. Der LM386-Kopfhörerverstärker hält einiges aus und kann problemlos in der Jackentasche transportiert werden. Beim Gehäuse wurde auf eine Lackierung oder eine Schicht transparentem Schutzlack verzichtet, denn die Struktur des Aluminiumfinish steckt kleine Kratzer locker weg. Für die Beschriftung wurde ein Brother TZ-System mit durchsichtigem Band und schwarzer Schrift verwendet. Das Band hält einiges aus und kann wenn es unansehnlich wird oder sich ablöst einfach erneuert werden.

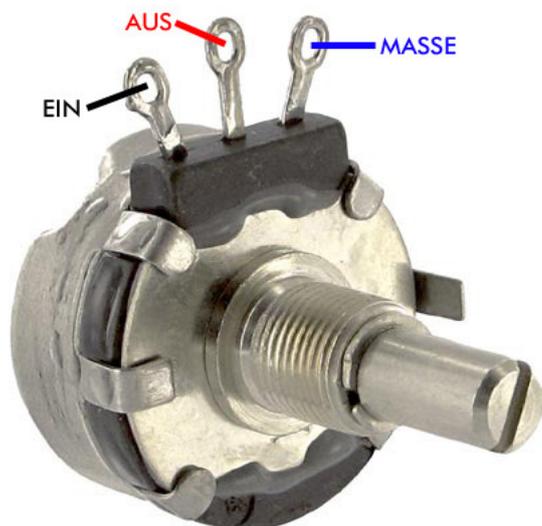
Das Schaltbild des LM386-Kopfhörerverstärker für einen Kanal. Die Stereo-Version besteht aus zwei identischen Schaltkreisen.

Die beiden grau unterlegten Bereiche kennzeichnen optionale Ausführungen und Komponenten. Die Verbindung zwischen dem Pin 1 und dem Pin 8 des LM386 besteht aus einem 10µF-Kondensator und einem 1.2k-Widerstand und stellt die Verstärkung des LM386 auf den Wert 50 ein. Lässt man die Bauteile weg beträgt der Standard-Gain den Faktor 20 (empfohlener Wert).

Der optionale Widerstand mit einem Wert zwischen 10R und 470R im Signalweg zum Lautsprecher ist dann erforderlich, wenn bei der Verwendung sehr niederohmiger Kopfhörer starkes Rauschen auftritt.



Layout für 1 Kanal (mono)



Der Anschluss eines Potentiometers ist gerade für Elektronik-Anfänger nicht immer leicht. Hier eine kurze Zusammenfassung:

Die Nullstellung (geringste/keine Lautstärke) liegt üblicherweise am Linksanschlag, der Regler wird also gegen den Uhrzeigersinn bis zum Anschlag gedreht.

Hat man das Potentiometer vor sich, die Lötkontakte sehen nach oben und die Achse weist zum Körper ist die Anschlussbelegung

LINKS = Eingang - verbindet die IN-Buchse im Gehäuse mit dem Poti.

MITTE = Ausgang - verbindet das Poti mit der Verstärkerplatine.

RECHTS = Masse - wird mit der Signalmasse verbunden.

Auch hier ist wieder nur ein Kanal, also ein Mono-Potentiometer, abgebildet. Die Stereoausführung hat dann eine zweite Reihe, also insgesamt 6 Anschlüsse, die als 2 Mono-Potentiometer zu beschalten sind.

Üblicherweise erfolgt der Betrieb des LM386-Kopfhörerverstärker mit einer 9-Volt-Batterie. Falls gewünscht, gibt es aber auch ein passendes Netzteil:

Der LM386 benötigt nur eine positive Versorgungsspannung, daher ist ein 7809-Spannungsregler ausreichend. Der Bausatz Nr. 115576 von Conrad Electronic ist eine gute Basis für die Stromversorgung. Ergänzt werden 4 Stück Kondensatoren 22nF mit denen die Gleichrichterdiode überbrückt werden und eine Diode 1N4002 zwischen Ein- und Ausgang des Spannungsreglers.

Der Kondensator C1 wird auf eine Kapazität von 3300µF/35V und der Kondensator C4 auf 330µF/35V vergrößert. Mit einem Steckernetzteil 12 bis 15 Volt wird die Verbindung zum Stromnetz hergestellt.

