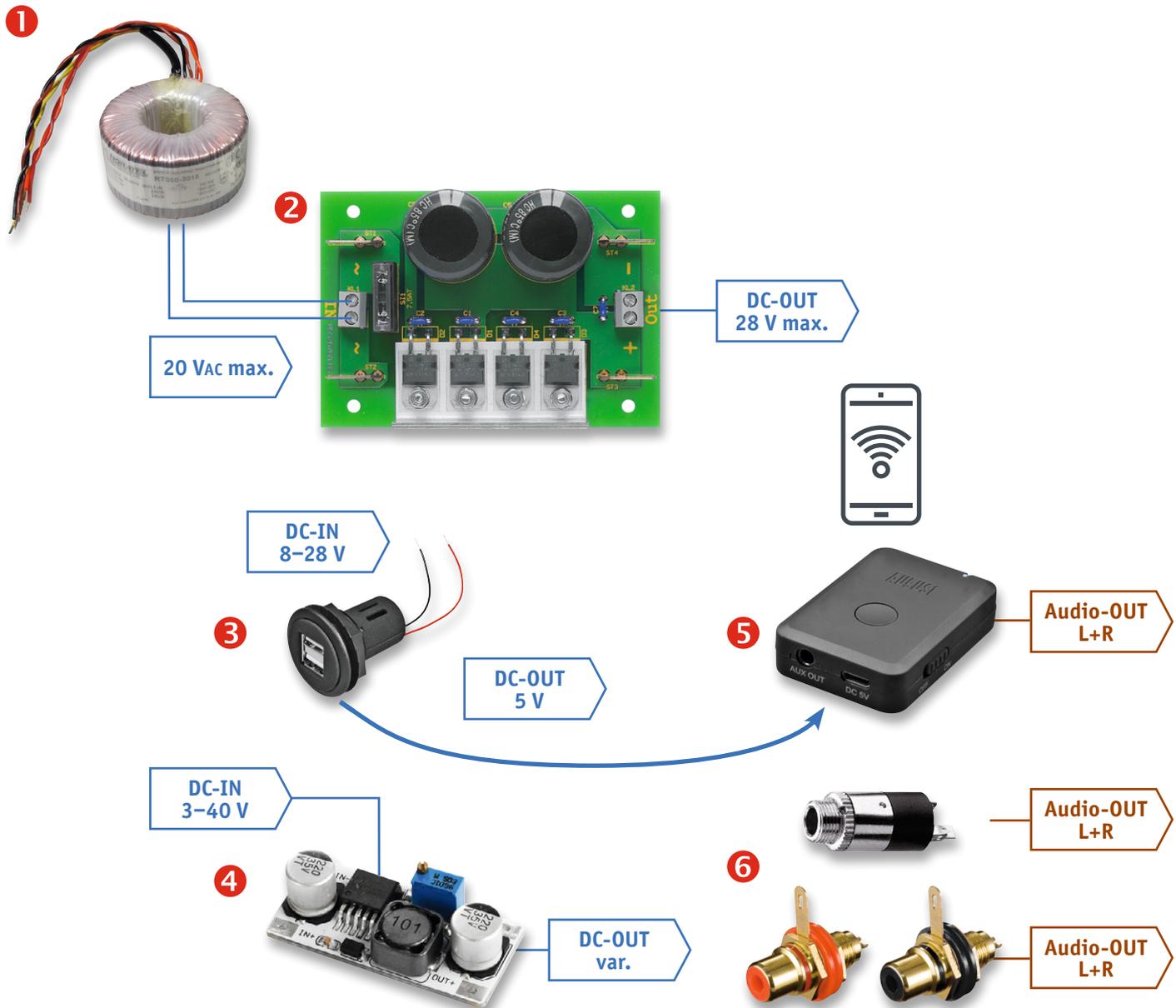




# Mach's laut

## Von Spannungsversorgung bis Endstufe – So realisieren Sie Ihre Audioprojekte

Spannungsversorgung → Audioquelle



Die Übersicht zeigt ein Blockschaltbild eines Audioverstärkers mit unterschiedlichen Endstufenoptionen. Zudem sind alle erforderlichen sowie optionalen Komponenten dargestellt.

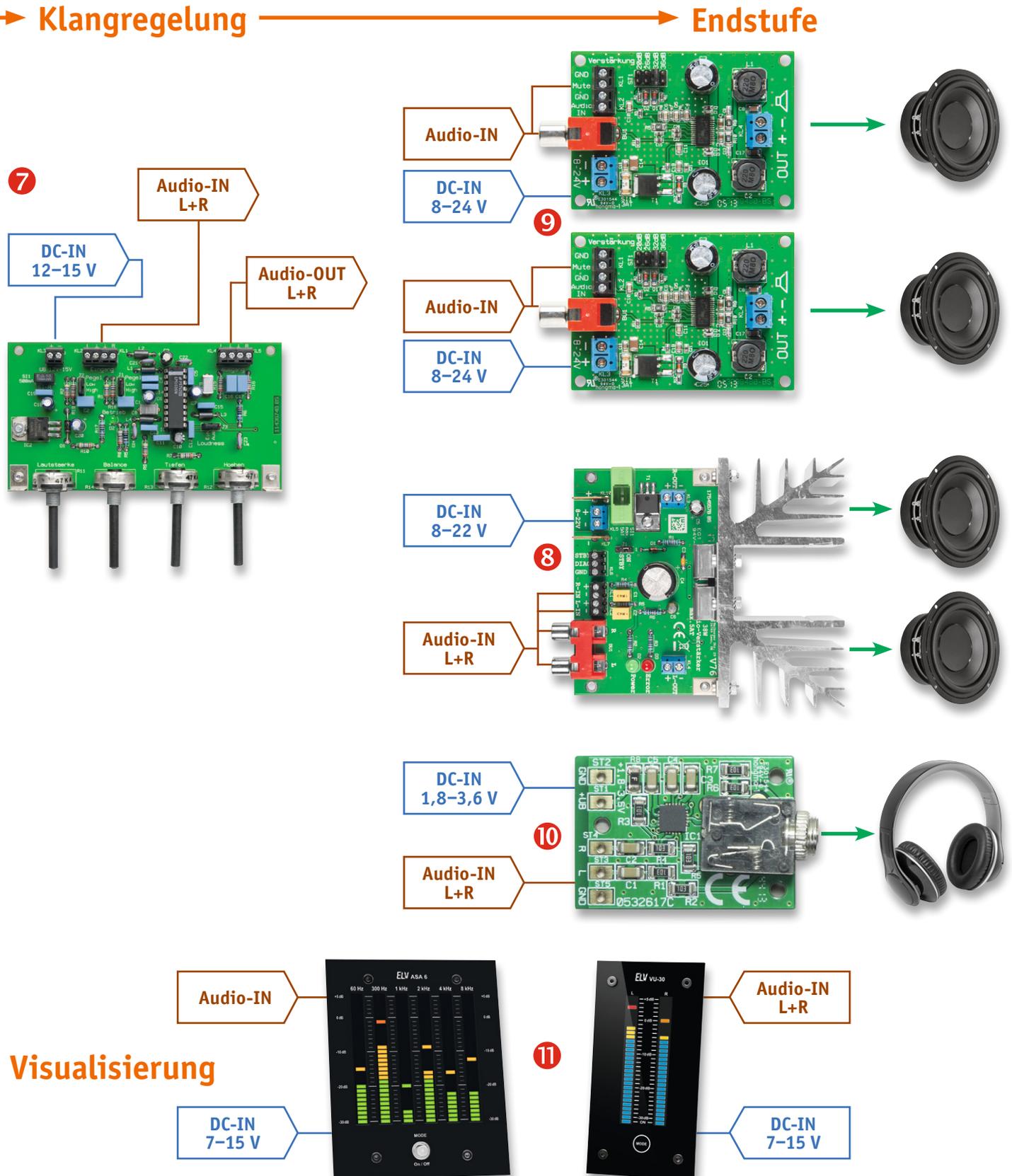
Ein Verstärker besteht in der Regel aus den Grundkomponenten Endstufe, also dem eigentlichen Verstärker, und einem Netzteil. Dann kommt eventuell noch eine Klangregelstufe mit integriertem Vorverstärker hinzu. Zur Visualisierung können auch ein Anzeigeelement wie VU-Meter oder ein Spectrum-Analyzer integriert werden.

Ein Eingangswahlschalter, wie man ihn von früher kennt, wird oft nicht benötigt, denn heutzutage werden Audiosignale häufig drahtlos per Bluetooth übertragen. Wir zeigen, wie man einen Audio-Bluetooth-Empfänger in unser Audiokonzept integriert. Als alternativen Audio-Eingang kann man aber auch klassisch eine 3,5-mm-Klinkenbuchse oder Cinch-Buchsen benutzen.



Wer kennt das nicht – man hat ein Elektronik-Projekt, das eine qualitativ hochwertige Audio-Ausgabe benötigt. Doch welche Spannungsversorgung eignet sich dafür, braucht man eine Klangregelstufe und welche Typen von Endstufen gibt es? Und wie kann ich mein Audioprojekt zusätzlich noch ansprechend visualisieren?

Wir schauen uns die verschiedenen Komponenten an, die vom Audio-Eingang bis zum Lautsprecher benötigt werden, erklären ihre Funktion und beleuchten wichtige Details, die bei der Auswahl beachtet werden müssen. Außerdem nennen wir für jede Komponente konkrete Bausätze oder Geräte, die verwendet werden können. Mit diesem Wissen können Sie Ihr nächstes Projekt einfach realisieren, haben Spaß beim Zusammenbau und punkten mit einer hochwertigen Audio-Ausgabe.



**Visualisierung**



## Mehr als nur Lautstärke

Da ist es nun – das neue Projekt, das eine hochwertige Audio-Ausgabe benötigt und nicht nur ein bisschen Quäken aus dem kleinen Einbaulautsprecher. Beispielsweise eine Musikbox für die Kinder auf Basis eines MP3-Players, der per 3,5-mm-Klinkenbuchse angeschlossen werden soll, oder etwas Selbstgebautes in der Elektronik-Werkstatt, das die Playlist vom Smartphone per Bluetooth streamt. Natürlich gibt es eine Menge an solchen Geräten fertig zu kaufen, doch was geht über den Spaß und vor allem das Lernen bei solchen Projekten, wenn man sich selbst an eine hochwertige Lösung herantasten muss?

Es fängt bei der Spannungsversorgung an, die zum einen störungsfrei eine entsprechende Spannung und vor allem ausreichend Strom liefern muss. Das, was nämlich oftmals beim Eigenbau eines Verstärkers unterschätzt wird, ist die Spannungsversorgung. Die Endstufe kann nur so viel Leistung abgeben, wie Akku oder Netzteil zur Verfügung stellen.

Vor allem tiefe Frequenzen und somit der angeschlossene Basslautsprecher benötigen viel Energie. Dabei muss eine relativ große Lautsprechermembran in Bewegung gesetzt werden. Den Hub, also wie weit sich die Membran hin- und herbewegt, bestimmt die Lautstärke. Mit zunehmender Frequenz wird der Leistungsbedarf der Lautsprecher kleiner. Hochtonlautsprecher haben oft nur eine Leistung von 5 Watt, obwohl der Lautsprecher als Ganzes beispielsweise 100 Watt leistet.

Die Spannungsversorgung muss also gut dimensioniert bzw. darf auch überdimensioniert sein. Kurzzeitige Leistungsreserven können auch durch große Kondensatoren (Elektrolytkondensatoren = Elkos) bereitgestellt bzw. gepuffert werden. Aus diesem Grund sieht man in großen Endstufen ganze Batterien von Elkos.

## Spannungsversorgung – Akku

Der einfachste Betrieb des Verstärkers ist der an einer Batterie bzw. an einem Akku. Hierbei ist lediglich auf eine ausreichende Kapazität des Akkus zu achten. Für solch einen Betrieb haben sich Blei-Gel-Akkus wie beispielsweise [1] bewährt, da diese einfach zu handhaben und robust sind. Mit einer Kapazität von z. B. 7,2 Ah kann unser im Beitrag erwähnter Class-D-Verstärker mühelos mehrere Stunden bei ausreichender Lautstärke mobil betrieben werden. Kombiniert man



Bild 1: Ringkerntransformator zum Herunterwandeln der Wechselspannung

diesen Akku mit einer Schutzschaltung wie z. B. dem Bordnetzschutz BNS12 [2], so vermeidet man schädliche Tiefentladung und sorgt für eine lange Lebensdauer des Akkus.

Eine weitere Möglichkeit sind moderne Lithium-Akkus wie beispielsweise [3], die mit kompakten Abmessungen aufwarten und je nach Kapazität auch für Verstärker mit hoher Leistung ausreichend sein können. Auch sie können bei sorgfältiger Behandlung eine hohe Lebensdauer erreichen. Nachteil gegenüber den Blei-Gel-Akkus ist der Preis, der deutlich höher liegt. Zudem sind bei Lithium-Akkus die entsprechenden Sicherheitsvorschriften zu beachten (zusätzliche Sicherung).

## Netz-Spannungsversorgung

Für Netzbetrieb kann man zwar zum entsprechend leistungsfähigen Fertignetzteil greifen, aber auch der Selbstbau ist nicht schwer und wir beschreiben den klassischen Weg für die Umwandlung der Eingangsnetzspannung in eine gleichgerichtete Ausgangsspannung, bei dem wir uns die in einem Fertiggerät gekapselten Komponenten einzeln anschauen.



### Wichtiger Hinweis:

**Vorsicht!** Arbeiten mit Netzspannung dürfen nur von Fachkräften ausgeführt werden, die aufgrund ihrer Ausbildung dazu befugt sind. Die einschlägigen Sicherheits- und VDE-Bestimmungen sind unbedingt zu beachten.

Außerdem ist bei allen Arbeiten am geöffneten Gerät, z. B. bei der Reparatur, ein Netztrenntransformator zu verwenden.

Zunächst muss man, wenn das Gerät netzbetrieben wird, die Netzwechselspannung von 230 Volt auf eine niedrigere Wechselspannung wandeln („transformieren“). Dafür eignet sich die Verwendung eines Ringkerntransformators („Trafo“), wie z. B. der Noratel Ringkerntransformator RT050-2015, der eine Ausgangsleistung von insgesamt 50 Watt (2x 25 W – 2x 15 V, 2x 1,67 A) hat (Bild 1, [4]) hat.

Da dieser Trafo zwei Sekundärwicklungen hat, müssen die Ausgänge (Sekundärwicklungen) bei Verwendung von beiden Wicklungen parallelgeschaltet werden. Hierbei ist auf die richtige Polung der beiden Wicklungen zu achten (Bild 2).

Als Nächstes muss man die heruntergewandelte Wechselspannung (AC = Alternate Current) in eine Gleichspannung (DC = Direct Current) umwandeln („gleichrichten“). Der Gleichrichter kann dabei aus vier einzel-

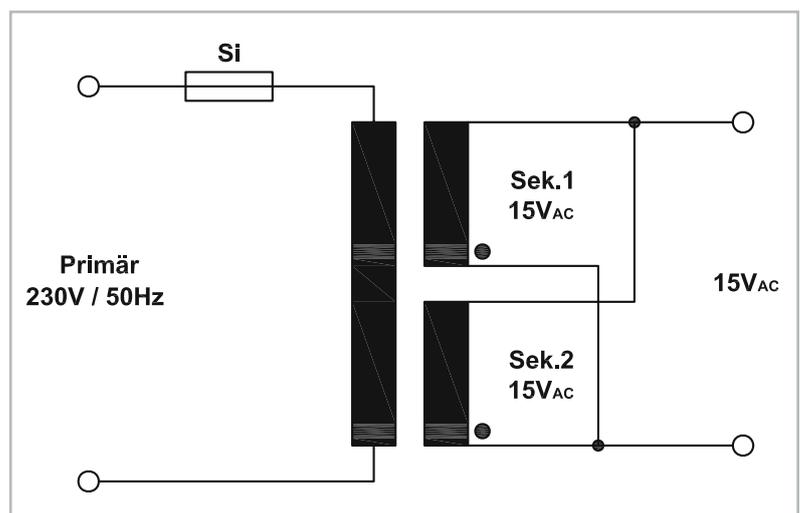
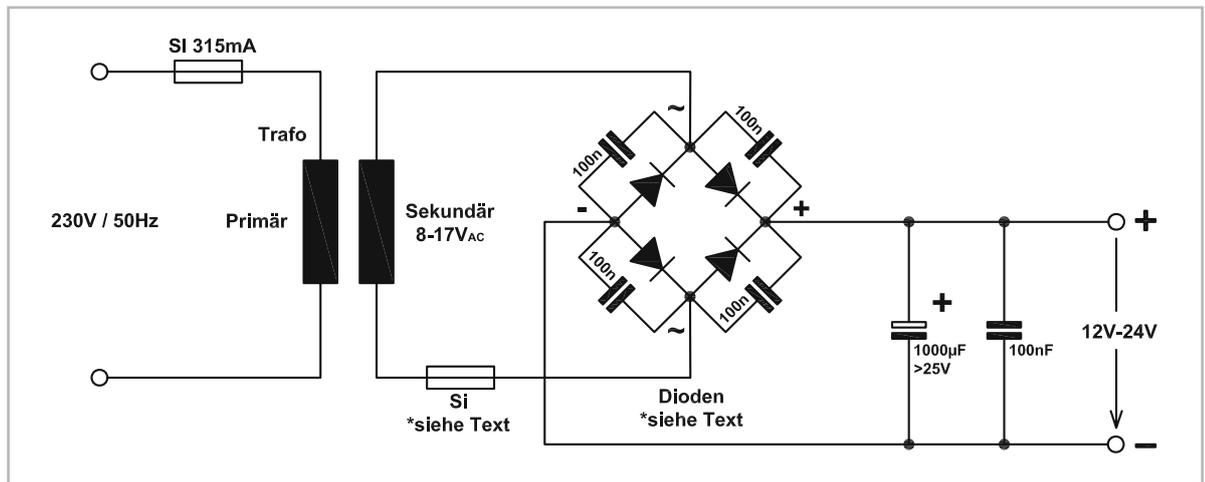


Bild 2: So werden die beiden Sekundärwicklungen eines Trafos parallelgeschaltet.



Bild 3: Minimale Gleichrichterschaltung mit Netztrafo



nen Dioden oder einem sogenannten Brückengleichrichter (Bild 3) bestehen. Die Spannungsfestigkeit der Gleichrichterdiode sollte im Beispiel mindestens 30 V und die Strombelastbarkeit mindestens 2 A betragen. Als Brückengleichrichter kann z. B. der Standardtyp B250C5000/3300 [5] genutzt werden, wobei das B250 für 250 V und C5000/3300 für 5 A/3,3 A gekühlt/ungekühlt steht. Die Kondensatoren direkt über den Dioden sind nicht zwingend notwendig, sie dienen der besseren Störunterdrückung.

Für den Lade-Elko (im Beispiel 1000 µF, > 25 V) kann die Aussage getroffen werden: Je größer die Kapazität, desto besser kann er Stromspitzen, etwa bei Bässen, abfangen. Die Größe richtet sich auch nach dem vorhandenen Platz und den daraus resultierenden mechanischen Abmessungen des Elkos. Wichtig hierbei: auf korrekte Polung achten.

Eine Absicherung auf der Primärseite des Trafos ist erforderlich, falls der Trafo nicht kurzschlussfest ist (im Beispiel: 315 mA). Auf der Sekundärseite ist ebenfalls eine Sicherung einzubauen. Die Größe richtet sich nach dem maximalen Ausgangsstrom. Hier gilt die Faustregel, dass der Auslösestrom der Sicherung 1,5-mal höher als der Nennausgangsstrom sein sollte.

2 Wer sich den verdrahteten Aufbau einer Gleichrichterschaltung ersparen möchte, kann die fertige Gleichrichterplatine V 42N [6] verwenden (Bild 4).

Diese Netzteilplatine (Bild 5) besteht aus einem verlustarmen Gleichrichter, der mit Schottky-Dioden (D1–D4) realisiert ist. Durch den Einsatz von Schottky-Dioden wird gegenüber herkömmlichen Silizium-Dioden eine Verringerung der Verlustleistung um ca. 50 % erreicht. So schafft dieser Gleichrichter einem maximalen Strom von 6 A/4 A (gekühlt/ungekühlt). Die Schaltung ist schon mit einer sekundären Sicherung bestückt (SI1), deren Wert bei Bedarf (erwähnte Faustregel) auch verkleinert werden kann. Die beiden (Lade-)Elkos mit je 4700 µF (= 4,7 mF) glät-

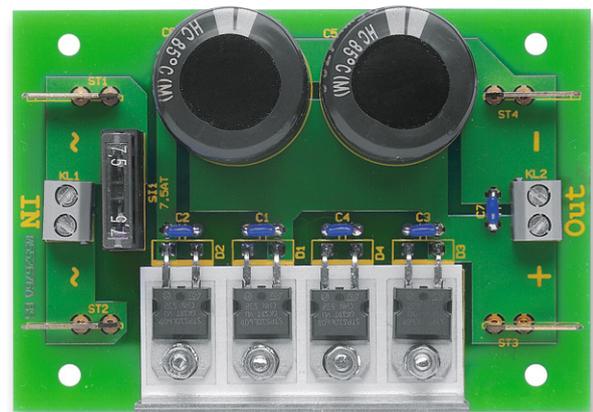


Bild 4: Netzteilplatine V 42N

ten und puffern die Ausgangsspannung. Man sollte beachten, dass die Leerlaufspannung von einfachen ungestabilisierten Netzteilen höher als die Nennspannung des Transformators ist. Die Daten eines Netztransformators beziehen sich auf die Nennlast. Ein 12-V-Transformator liefert z. B. im Leerlauf eine Ausgangsspannung von ca. 18 V. Auch Schwankungen der Netzspannung sollten berücksichtigt werden.

### Weitere Spannungswandlung

Für die meisten Komponenten wie Klangregelstufe, Endstufen/Verstärker und VU-Meter bzw. Spectrum-Analyzer, die wir später im Beitrag besprechen, reicht

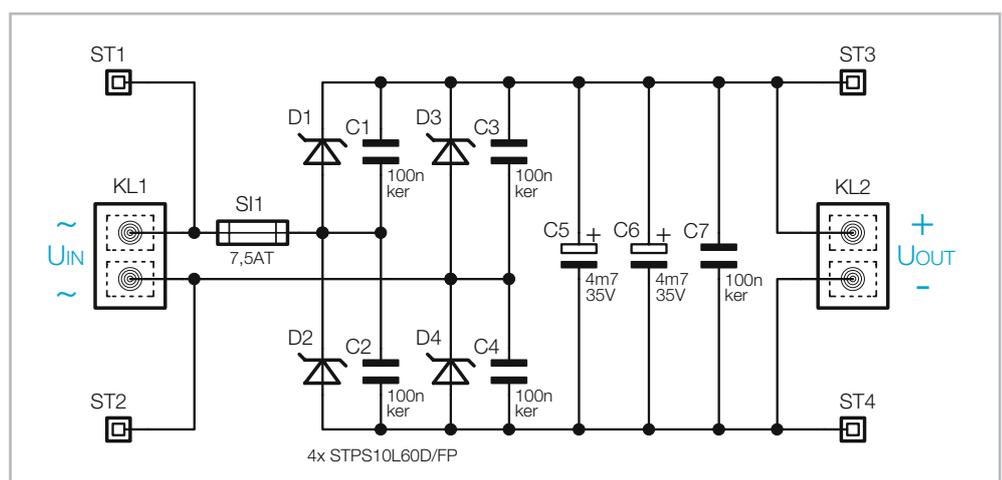


Bild 5: Das Schaltbild des Netzteils V 42N



die Ausgangsspannung der Netzteilplatine als Versorgungsspannung bereits aus. Allerdings müssen – soweit sie in dem Projekt verwendet werden – für den Bluetooth-Audio-Adapter und den Kopfhörerverstärker die Spannungen weiter herabgesetzt werden, damit sie nicht beschädigt werden.

Der für unser System vorgeschlagene Bluetooth-Audio-Adapter (Bild 6, [7]) wird mit 5 V betrieben. Um die Ausgangsspannung der Netzteilplatine auf diese Spannung herabzusetzen, benötigen wir einen entsprechenden Wandler.



Bild 6: Bluetooth-Audio-Adapter



Bild 7: Pro Car USB-Doppelsteckdose 12–24 V

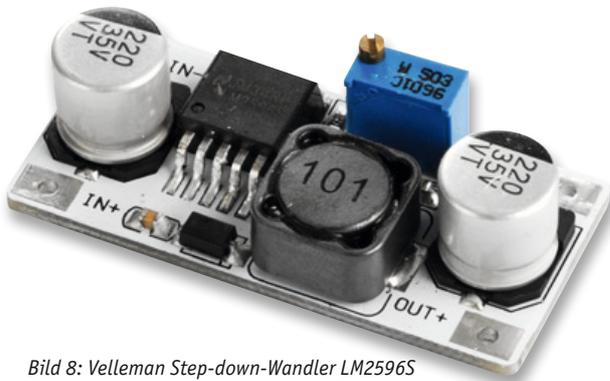


Bild 8: Velleman Step-down-Wandler LM2596S

Eine Möglichkeit dafür ist eine USB-Doppelsteckdose ([8], Bild 7), die Eingangsspannungen von 12–24 V verarbeiten kann und am Ausgang 2x 5 V mit je 2,2 A zur Verfügung stellt. So kann neben dem Bluetooth-Audio-Adapter gegebenenfalls noch ein anderes 5-V-Gerät wie ein Smartphone mit Spannung versorgt werden. Die USB-Doppelsteckdose lässt sich durch die runde Einbauform und eine Kunststoffmutter gut in ein Gehäuse integrieren.

Möglich ist natürlich auch ein 5-V-Steckernetzteil zur Versorgung, das aber separat aus einer Steckdose gespeist werden muss und nicht die Option für den Anschluss eines zweiten Gerätes hat.

Soll der weiter unten beschriebene Kopfhörerverstärker benutzt werden, müssen wir die aus der Netzteilplatine vorhandene Ausgangsspannung ebenfalls herabsetzen. Der Kopfhörerverstärker arbeitet mit einer Eingangsspannung von 1,8 bis 3,6 V, daher eignet sich ein Step-down-Wandler wie ([9], Bild 8) für diesen Zweck. Die Ausgangsspannung wird bei diesem Modell mit einem Potentiometer eingestellt. Die Ausgangsspannung des Wandlers sollte zuerst ohne Verbraucher eingestellt werden.

Dieser Typ von Step-down-Wandler arbeitet im Gegensatz zu Linearreglern, die wie ihr Name schon verrät, die Spannung linear regeln und die überschüssige Leistung in Wärme umwandeln, getaktet. Vereinfacht gesagt begrenzen sie die Ausgangsspannung durch einen IC, der mithilfe eines elektronischen Schalters und weiteren Bauteilen nur so viel Spannung erzeugt, wie am Ausgang eingestellt ist bzw. benötigt wird. Im ELVjournal haben wir in einem zweiteiligen Beitrag zu Schaltreglern diese Technologie intensiv beleuchtet [10].

Schaltregler haben aber unter anderem den Nachteil, dass sie durch die Schaltfrequenz, die bei einigen Hundert Kilohertz bis einigen MHz liegen kann, unter Umständen Störungen erzeugen. Manche günstige USB-Netzteile stören teilweise so stark, dass der Empfang des DCF-Zeitsignals, das in vielen Uhren zur automatischen Uhrzeitkorrektur genutzt wird, nicht oder nur noch schlecht möglich ist. Auch die Welligkeit der Ausgangsspannung (Ripple) sollte möglichst niedrig liegen, damit der angeschlossene Verstärker eine gleichmäßige Eingangsspannung erhält und keine Störungen aufgrund schlechter Spannungsversorgung ausgibt. Verwendet man also Schaltregler als Spannungsversorgung für Verstärker, sollte man auf diese beiden Punkte besonders achten. Dieses gilt übrigens für alle Netzteile mit dieser Technologie, so z. B. auch für das oben als Alternative zu den Transformatoren erwähnte Fertignetzteil. Hier gibt es qualitativ teilweise sehr große Unterschiede – ein Grund, warum wir für die Basisspannungsversorgung einen klassischen Transformator ausgewählt haben, um eine hochwertige Audio-Ausgabe zu erzeugen.

### Blauzahn, Klinke oder Cinch

Mit der Spannungsversorgung haben wir die erste Komponente eines Audioverstärkersystems besprochen und kommen als Nächstes zum Audio-Eingang. Früher hat man oft einen Eingangswahlschalter für die

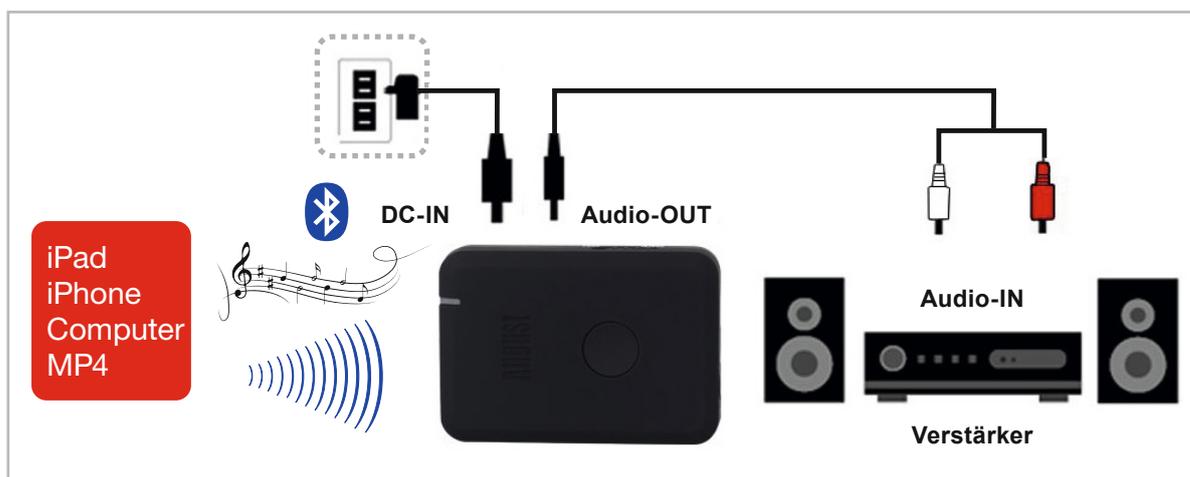


Bild 9: Anschlussschema des August Bluetooth Audio Receiver MR230



verschiedenen Audioquellen benutzt – heutzutage werden Audiosignale häufig drahtlos per Bluetooth beispielsweise vom Smartphone übertragen. Alternativ kann als Audio-Eingang aber auch klassisch eine 3,5-mm-Klinkenbuchse oder Cinch-Buchsen benutzt werden, die mit den nachfolgenden Komponenten per Kabel verbunden werden.

5

Der von uns ausgewählte August Bluetooth Audio Receiver MR230 [7] ist ein sehr kleines Modul (50 x 35 x 14 mm) für die Umsetzung von Bluetooth-Audio-Signalen beispielsweise vom Smartphone auf Klinken- oder Cinch-Buchse zum Anschluss an unsere Klangregelstufe und/oder Endstufen.

Das Gerät wird aus der USB-Doppelsteckdose mit 5 V gespeist – alle benötigten Kabel wie USB A auf USB-Micro, 3,5-mm-Klinke auf Cinch (Stereo) und 3,5-mm-Klinke-auf-Klinke liegen dem Gerät bei.

Neben dem 5-V-Eingang zur Spannungsversorgung hat der Bluetooth-Audio-Adapter noch einen internen LiPo-Akku mit 200 mAh Kapazität und kann so bis zu zehn Stunden autark arbeiten.

Die Verbindung zum Smartphone ist denkbar einfach – das Gerät wird angestellt, meldet sich dann als Bluetooth-Gerät MR230 und muss nur noch gekoppelt werden. Ab sofort steht dann das Gerät als Audio-Ausgang auf dem Smartphone zur Verfügung und kann per 3,5-mm-Klinkenstecker am Aux OUT mit den nachfolgenden Komponenten verbunden werden. Bild 9 zeigt ein Anschlussschema.

6

Sowohl der Bluetooth-Audio-Adapter als auch Audioquellen mit herkömmlichen 3,5-mm-Klinkensteckern oder Cinch-Buchsen können als Audioquelle an die entsprechenden Gegenstücke ([11, 12], Bild 10) angeschlossen werden.

### Klangregelstufe

Haben wir unsere Audioquelle und Anschlussart ausgewählt, folgt die nächste Stufe unseres Verstärkers. Wir haben hierbei zwei Optionen: Entweder wir schließen unser Eingangssignal direkt an eine Endstufe an, um das verstärkte Signal über die an die Endstufen angeschlossenen Lautsprecher auszugeben, oder wir schalten eine sogenannte Klangregelstufe dazwischen, mit der wir das Audiosignal anpassen können.

7

Unser Bausatz Klangregelstufe KLS1 ([13], Bild 11) ist eine sehr rauscharme Klangregelstufe mit dem bewährten LM1036 zur Einstellung von Lautstärke, Balance, Tiefen und Höhen. Eine zuschaltbare „Loudness-Compensation“ (s. [Elektronikwissen](#)) sorgt für eine gehörrichtige Lautstärkeregelung. Dank des ausschließlichen Aufbaus mit bedrahteten Bauteilen ist die leicht aufzubauende Schaltung auch für Anfänger geeignet.

Ob man eine Klangregelstufe als zusätzliche Komponente in ein Verstärkersystem einbaut, ist eine Entscheidung des persönlichen Geschmacks. Puristen hassen jede Beeinflussung des Originals, der eine mag es mehr bassbetont, der andere mehr höhenbetont, je nach Musikstück und Leistungsfähigkeit der Wiedergabetechnik. Auch das Alter spielt eine Rolle, bereits kurz nach der Jugend nimmt die Fähigkeit, hohe Frequenzen zu hören, stetig ab, womit eine Klangkorrektur nötig wird, um den gewohnten Klangeindruck wiederherzustellen. Auch die Art der wiederzugebenden Musik spielt eine große Rolle: Rockmusik stellt andere Anforderungen als klassische Musik oder gar Sprache.

Um den Wiedergabeeindruck (Klangbild) einer Tonquelle auf seine persönlichen Bedürfnisse anzupassen, ist also eine Klangeinstellung erforderlich, die in der Regel zwischen der Quelle und der Endstufe geschaltet ist. Neben der Klangeinstellung ist auch die Einstellung von Lautstärke und Balance von Bedeutung. Während früher industriell gefertigte Geräte wie Radios oder Hi-Fi-Anlagen über „Höhen- und Tiefenregler“ sowie mehr oder weniger umfangreiche, schaltbare Zusatzfilter – man denke nur an das berühmte „Formantfilter“ (betont durch eine spezielle Filteranordnung die spezifischen Klangeigenheiten bestimmter Instrumente) – verfügten, sind moderne meist (auch zusätzlich) mit einer elektronischen Equalizerschaltung bestückt, die feste Frequenzgänge für bestimmte Wiedergabeinhalte oder Wiedergaberäume vorgibt oder



Bild 10: 3,5-mm-Klinkenbuchse, Cinch-Buchsen (v. l.)

einstellbar macht. Bei (einfachen) Eigenbaugeräten wie etwa Boomboxen oder anderen Verstärkern hingegen genügt die herkömmliche „Klangregelung“ mit Einstellmöglichkeiten für Höhen, Tiefen, Balance und Lautstärke, die auch dank fertig konfektionierter ICs recht einfach und betriebssicher aufzubauen ist.

Das Hauptanwendungsgebiet der Klangregelstufe ist, wie erwähnt und in Bild 12 dargestellt, der Einsatz mit einer Endstufe. Die Niederfrequenz-Verbindungen müssen aus abgeschirmten Leitungen bestehen, um äußere Störeinstrahlungen (z. B. 50-Hz-Netzbrummen) zu minimieren. Die Abschirmung wird hierbei immer mit Masse/GND verbunden.

Die Potentiometer sind so angeordnet, dass der Einbau in ein Gehäuse gut möglich ist. Zudem besteht die Möglichkeit, zwei Befestigungswinkel an der Platine zur Verschraubung in der Frontplatte anzubringen.

### Das Herzstück – die Endstufe

Kommen wir nun zur Kernkomponente eines Verstärkers – der Endstufe. Hier haben wir die Qual der Wahl, nämlich ob wir uns für eine klassische sogenannte Class-AB- oder eine Class-D-Endstufe entscheiden. Audioverstärker in Class-AB-Technik erfreuen sich weiterhin großer Beliebtheit, obwohl diese von den modernen Class-D-Verstärkern immer weiter verdrängt werden. Class-D-Endstufen haben den Vorteil, dass der Wirkungsgrad sehr hoch ist und somit in der Regel ein Kühlkörper entfallen kann. Auch wenn der Wirkungsgrad einer „altmodischen“ Class-AB-Endstufe bei nur 50 % liegt, sind diese Verstärker damit noch nicht vom Markt verdrängt, denn sie haben auch einige Vorteile.

Klanglich gesehen ist nach subjektiver Empfindung der Class-AB-Verstärker im Vorteil. Bässe klingen „satter“ und „voller“ im Vergleich zu Class-D-Verstärkern. Bei kommerziell aufgebauten Verstärkern in Class-D ist der Unterschied nicht mehr so groß, da hier viel Aufwand in die Ausgangsfilter gesteckt wird.

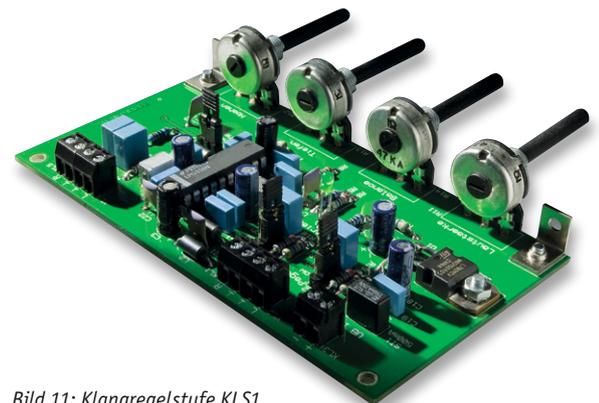


Bild 11: Klangregelstufe KLS1

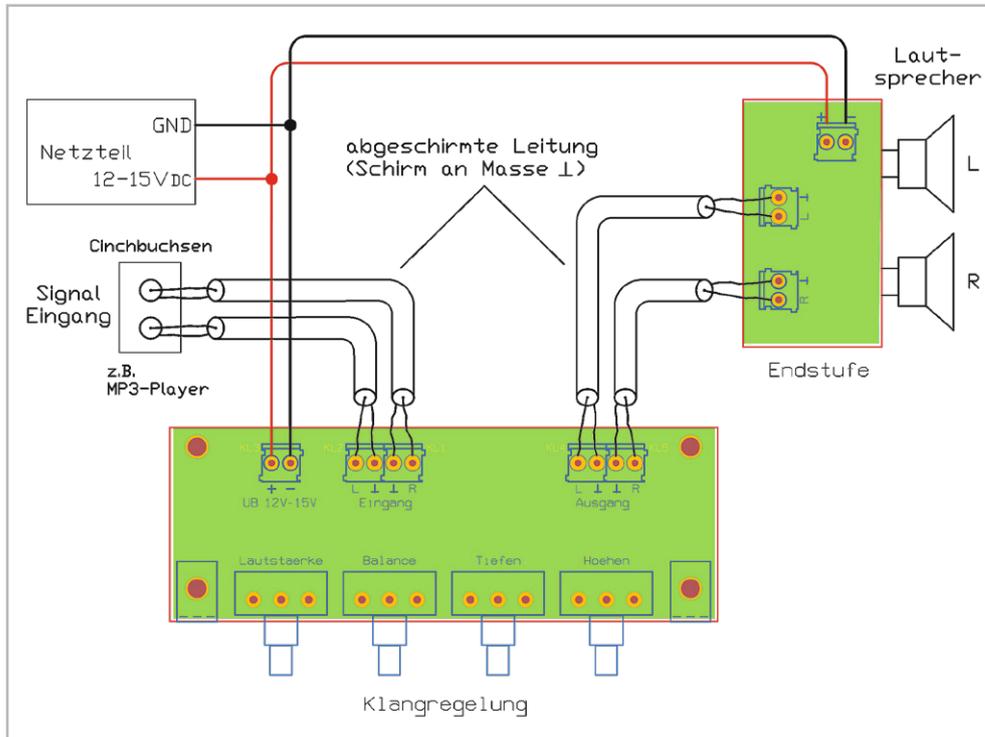


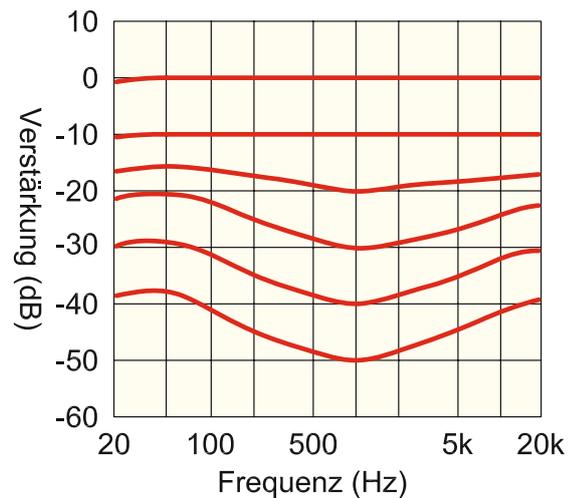
Bild 12: So erfolgt die Einbindung der KLS1 in eine Verstärkeranlage.

### „Loudness“ – gehörchtige Lautstärkeregelung

Je nach Wiedergabelautstärke haben wir ein unterschiedliches spektrales Hörempfinden für das Gesamtklangbild: Je leiser die Wiedergabe ist, desto mehr fehlen scheinbar Höhen und vor allem Tiefen im Frequenzgemisch – die Lautstärkewahrnehmung ist frequenz- und pegelabhängig, unser Gehör ist vor allem für tiefe Frequenzen bei geringen Pegeln weniger empfindlich. Entsprechend klingt etwa ein bei einem bestimmten Hörpegel aufgenommenes Musikstück „flach“, wenn es nur mit geringer Lautstärke abgespielt wird, ja, es kann sogar vorkommen, dass bestimmte Frequenzen aus dem Klangbild ganz verschwinden.

Um nicht bei unterschiedlichen Hörlautstärken ständig die Klangeinstellung z. B. einer Hi-Fi-Anlage bedienen zu müssen, wurde die sogenannte gehörchtige Lautstärkeregelung entwickelt. Dabei wird der Frequenzgang entsprechend der Einstellung der Lautstärke so verändert, dass Höhen und Tiefen um einen pegelabhängigen Betrag angehoben werden (siehe Grafik rechts). Dabei werden die Tiefen jeweils etwas stärker angehoben als die Höhen. Für eine exakte gehörchtige Lautstärkeeinstellung gibt es eine Norm, die ISO 226-2003.

Früher konnte man bei Wiedergabegeräten Filter per Taste zuschalten (z. B. „Loudness“, „Leise“, „Contour“ genannt). Dies war allerdings relativ unexakt, da die Filtercharakteristik hier fest eingestellt war und man also bei unterschiedlichen Lautstärken das Filter jeweils zu- oder abschalten musste.



So erfolgt die Loudness-Korrektur beim LM1036. Man erkennt, dass bei kleinen Signalpegeln tiefe und hohe Frequenzen angehoben werden.

Später wurden hochwertige, logarithmische Lautstärkepotentiometer mit mehreren Abgriffen eingesetzt, an die Filternetzwerke angeschlossen waren, die bei bestimmten Lautstärkeeinstellungen mehr oder weniger wirksam wurden. Auch diese Methode ist nicht immer wirkungsvoll, da sie das tatsächliche Klangspektrum ebenfalls nicht auswertet.

Mit dem Einzug elektronischer Klang-Einstellbausteine konnte diese Funktion wesentlich eleganter und wirksamer in die Einstellalgorithmen der elektronischen Filterstufen eingebunden werden. Während einfache Einstellbausteine weitgehend ebenso global wirken wie o. g. Potentiometer, werten dagegen voll-digitale Klangprozessoren das Klanggemisch auch frequenzselektiv aus und stellen die Hörkurve entsprechend ein.



Kurz zusammengefasst kann man die beiden Verstärkertypen folgendermaßen einordnen:

**Class-AB:**

**Positiv:** Subjektiv besser Klang gegenüber Class-D, vor allem im Bassbereich

**Negativ:** Schlechterer Wirkungsgrad, aufwendige Kühlung notwendig

**Class-D:**

**Positiv:** Hoher Wirkungsgrad, Kühlung kann in den meisten Fällen entfallen, hohe Leistung auf kleinen Raum, für Batteriebetrieb geeignet

**Negativ:** Verzerrungen bei unsauberer Versorgungsspannung

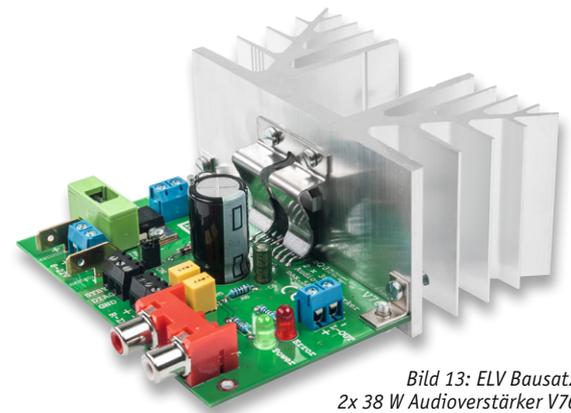


Bild 13: ELV Bausatz 2x 38 W Audioverstärker V76

### Class-AB-Endstufe

8

Der Verstärkerbausatz V76 ([14], Bild 13) ist in klassischer Class-AB-Technik ausgeführt. Die analoge, kompakte Endstufe mit 2x 38 W stellt entsprechend viel Leistung mit den o. a. Eigenschaften zur Verfügung.

Zum Einsatz kommt hier ein als Stereo-Brücken-Verstärker (siehe [Elektronikwissen Audio-Brückenschaltung \(BTL\)](#)) genutzter 4-Kanal-Verstärkerchip, der über die Zusatzfunktionen „Stand-by-Modus“ zum stromsparenden Bereitschaftsbetrieb und zur Einschaltklick-Unterdrückung, über eine Fehleranzeige für Fehlfunktionen und Störungen sowie über einen Ausgang verfügt, der Lautsprecherimpedanzen zwischen 2 und 16 Ω erlaubt. Durch den Aufbau mit bedrahteten Bauteilen eignet sich der Verstärker auch für Elektronik-Einsteiger.

Die Verbindungskabel vom Netzteil (z. B. V 42N, s. o.) zum Verstärker sollten einen minimalen Querschnitt von 1,5 mm<sup>2</sup> aufweisen. Da sowohl am Verstärker als auch am Netzteil V 42N die Anschlüsse für die Betriebsspannung über 6,3-mm-Flachstecker zur Verfügung stehen, können die Verbindungsleitungen auch steckbar ausgeführt werden. Hier werden die Kabelenden mit einer entsprechenden 6,3-mm-Flachsteckerbuchse versehen. Es ist darauf zu achten, dass die Buchsen fest auf dem Flachstecker sitzen. Für die Lautsprecherkabel sind Kabelquerschnitte von mindestens 0,75 mm<sup>2</sup> einzusetzen.

Bei der Installation ist zu beachten, dass die gesamte Baugruppe so installiert wird, dass der Kühlkörper mit genügend Frischluft versorgt wird, bei einem Gehäuseeinbau sind deshalb ausreichend große Öffnungen für Zu- und Abluft vorzusehen.

Bei der Beschaltung der Eingänge ist zudem wichtig, dass hier abgeschirmte Leitungen einzusetzen sind – bei der Verwendung von fertigen Cinch-Zuleitungen ist die Abschirmung automatisch gegeben.

### Class-D-Endstufe

9

Class-D-Verstärker erfreuen sich wegen ihrer Effizienz und ihrer Kompaktheit zunehmender Beliebtheit, vor allem auch im mobilen Bereich, wo es gerade auf diese Merkmale ankommt. Und da es nicht immer ein Stereoverstärker sein muss, stellen wir mit dem Bausatz DA25 ([15], Bild 14) eine kompakte und leistungsfähige Mono-Endstufe vor, die in einem weiten Versorgungsspannungsbereich nutzbar ist.

Der DA25 liefert maximal 25 W an 8 Ω bei einer Versorgungsspannung von 24 V. Die Ausgangsleistung ist die reine Nennleistung und nicht etwa die früher gebräuchliche Angabe in Musikleistung oder gar das zu Marketingzwecken benutzte PMPO (Peak Music Power Output). Besonders für mobile und kompakte Geräte ist hier der Umstand interessant, dass kein sperriger Kühlkörper benötigt wird, sodass der gesamte Verstärker sehr kompakt ausfällt. Nicht zuletzt auch wegen des sehr hohen Wirkungsgrades eignet sich dieser Verstärker besonders gut für mobile Anwendungen wie z. B. eine Musikbox („Boombox“) oder den einfachen Umbau von Lautsprechern zu mobilen Aktivboxen. Durch den hohen Wirkungsgrad wird viel Energie eingespart, was bei Batterie- bzw. Akkubetrieb sehr vorteilhaft ist. Wer eine Stereoausführung benötigt, nimmt einfach zwei dieser Verstärker. In [Tabelle 1](#) ist ein Vergleich der wichtigsten technischen Daten beider Endstufen aufgeführt.

### Kopfhörerverstärker

Möchte man das Audioprojekt mit Kopfhörern ausstatten, bietet sich z. B. der Low-Voltage-Kopfhörerverstärker LVKV1 ([16], Bild 15) an. Der Mini-Kopfhörerverstärker ist nur 24 x 34 mm groß und mit einer Betriebsspannung von 1,8–3,6 V universell einsetzbar. Die Audioquelle kann über eine Standard-Kopfhörer-Stereo-Klinkenbuchse 3,5 mm an den Verstärker angeschlossen und mit Kopfhörern mit einer Impedanz von 16–32 Ω verbunden werden.

10

Wie im Abschnitt Spannungsversorgung bereits beschrieben, muss die Spannung gegebenenfalls mit einem Step-down-Wandler auf die angegebene Betriebsspannung herabgesetzt werden.

**Wichtig!** Eine zu hohe Versorgungsspannung führt zur Zerstörung des Verstärkers!

### Laut und hübsch

Für eine hochwertige Ausgabe des Sounds haben wir mit den oben vorgestellten Komponenten gesorgt. Ein Audioprojekt lebt aber nicht nur von den akustischen Eindrücken, sondern auch von visuellen Elementen. Zudem kann man die weiter unten vorgestellten Anzeigepaneele VU-Meter und 6-Kanal Audio-Spectrum-Analyzer auch zur qualitativen Beurteilung der Audio-Ausgabe nutzen.

11

### Pegelanzeiger

Mit dem Bausatz VU-Meter VU-30 ([17], Bild 16) können wir eine früher Pegelmesser oder Aussteuerungsanzeige genannte Anzeigeeinheit in unser Projekt integrieren. Das mit 30 LEDs pro Kanal ausgestattete

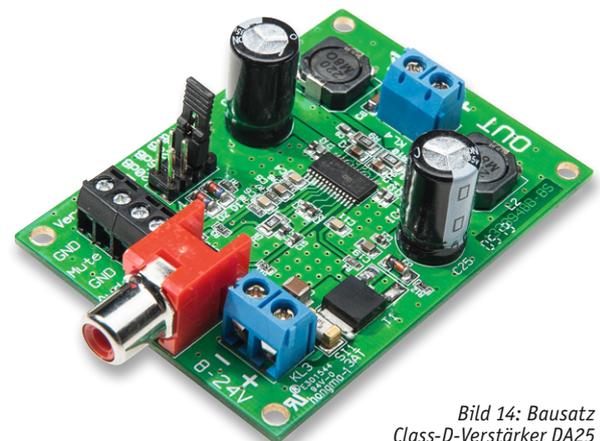


Bild 14: Bausatz Class-D-Verstärker DA25

**Vergleich DA25 und V76**

Bezeichnung	DA25	V76
Ausgangsleistung (RMS)	1x 25 Watt (Mono)	2x 38 Watt (Stereo)
Typ	Class-D	Class-AB
Versorgungsspannung	8–24 V	8–22 V
Stromaufnahme	1,2 A max. (UB = 24 V) 20 $\mu$ A (Stand-by)	5,7 A max. (Volllast) 0,14 A (ohne Signal) 2 mA (Stand-by)
Eingangspegel	220 mV	680 mV
Ausgangsleistung	25 W RMS @ UB 24 V, RL 8 $\Omega$ , THD 0,1 % 18 W RMS @ UB 24 V, RL 4 $\Omega$ , THD 0,5 % 11,5 W RMS @ UB 12 V, RL 4 $\Omega$ , THD 0,25 % 8 W RMS @ UB 12 V, RL 8 $\Omega$ , THD 0,1 %	2x 38 W RMS @ UB 22 V RL 4 $\Omega$ THD 3 % 2x 10 W RMS @ UB 12 V RL 4 $\Omega$ THD 3 %
Klirrfaktor (THD+N)	0,1 % @ UB 24 V/RL 8 $\Omega$	0,6 % @ 38 W/RL 4 $\Omega$ 0,1 % @ 10 W/RL 4 $\Omega$ 0,02 % @ 8 W/RL 4 $\Omega$
Wirkungsgrad	94 % max.	50 % max.
Frequenzgang	18 Hz bis 26 kHz (-3 dB)	10 Hz bis 22 kHz (-3 dB)
Anschlüsse	Eingang: Cinch und Schraubklemme Ausgang/Lautsprecher: Schraubklemme	Eingang: Cinch und Schraubklemme Ausgang/Lautsprecher: Schraubklemme
Sonstiges	kurzschlussfest, Temperaturabschaltung	Temperaturabschaltung, Übersteuerungsanzeige (Clipping)
Abm. Platine (B x T)	50 x 70 mm	100 x 65 mm
Gewicht	30 g	60 g

Tabelle 1



Bild 15: ELV Komplettbausatz Low-Voltage-Stereo-Kopfhörer-Verstärker

VU-Meter (s. [Elektronikwissen Audiopegelmessung – VU oder PPM?](#)) ist eine optisch ansprechende Ergänzung für (selbst gebaute) Audio-Aufnahmegeräte, Mischpulte und Verstärker. Auch zum Auspegeln verschiedener Tonquellen bei Live-Veranstaltungen sind Aussteuerungsanzeigen ein wertvolles Hilfsmittel.

Moderne Mikroprozessortechnik und intelligente Anzeigesteuern machen professionelle Features möglich, die früher nur mit hohem Aufwand realisierbar waren, wie echte Spitzenwerterkennung, Peak-Hold und sehr hoher Dynamikumfang.

Die Features des VU-30 im Überblick:

- Echte Anzeigenskalierung in dB (Dezibel)
- 30 LEDs pro Kanal mit Peak-Hold
- Spitzenwertgleichrichter mit einer Zeitkonstante von 10 ms zur Detektierung von kurzen Spannungsspitzen
- Bargraph-LED-Anzeigen in der Leuchtfarbe Weiß, sodass eine individuelle Farbgebung mittels Farbfilterfolien möglich ist
- Helligkeitseinstellung mittels Einstelltrimmer
- Berührungsloser Taster hinter der Frontplatte zur Umschaltung des Betriebsmodus

### Spectrum-Analyzer

Ein Audio-Spectrum-Analyzer erlaubt die Pegeldarstellung von Frequenzbändern. Der Bausatz Audio-Spectrum-Analyzer ASA6 ([18], Bild 17) kann dies für sechs Kanäle mit jeweils einer 30-teiligen LED-Bargraph-Anzeige. So lässt sich die spektrale Frequenzverteilung eines Audiosignals auf einen Blick erkennen. Der Audio-Spectrum-Analyzer erlaubt die Auswahl unterschiedlicher Anzeigemodi und durch die Kombination von zweien dieser Geräte kann die Anzeige auf zwölf Kanäle erweitert werden.

Durch Farbfilterfolien sind unterschiedliche Anzeigefarben frei wählbar. Der Audio-Spectrum-Analyzer ist eine wertvolle Hilfe nicht nur für den Studio- oder Bühnenprofi, sondern auch für den Heimgebrauch. Durch die Visualisierung des ausgegebenen Audiospektrums sind Klanganpassungen objektiver möglich als bei rein gehörmäßiger Einstellung. Besonders bei den sehr unterschiedlichen Wiedergabespektren von Medien wie etwa Filmen, Konzertwiedergaben, Sportsendungen, Computerspielen usw. ist eine kontrollierte Klangeinstellung entweder durch feste Equalizer-Einstellungen oder durch variable Klanganpassung mit Kontrolle durch eine spektrale Anzeige sehr praktisch. Auch bei der immer mehr zunehmenden eigenen Produktion von Videos und der damit verbundenen Tonproduktion ist solch eine Kontrolle sehr



Bild 16: VU-Meter VU-30 mit Peak-Hold



Bild 17: 6-Kanal Audio-Spectrum-Analyzer ASA6



wichtig, z. B., um auch Pegelspitzen in bestimmten Bereichen zu bedämpfen und Frequenzgänge dem Medium, z. B. einer Internet-Video-Plattform, anzupassen.

**Fazit**

Mit den hier vorgestellten Komponenten – hauptsächlich Bausätze, die neben dem akustischen auch noch den Bastelspaß sichern – wurden die Grundlagen für einen qualitativ hochwertigen Verstärker vorgestellt.

Aus den verschiedenen Komponenten kann man beliebig auswählen – ob nun ein großer, stationärer und leistungsfähiger an eine analoge Audioquelle angeschlossener Verstärker oder eine kleine, kompakte per Bluetooth betriebene Version in das Audioprojekt integriert werden soll. Dabei ist das Spektrum vom per Akkubetrieb und einfach zu lötenen Bausätzen bis hin zu mit einem Ringkerntransformator erzeugter Spannungsversorgung sehr breit und richtet sich sowohl an Einsteiger als auch Fortgeschrittene. Wir wünschen viel Spaß beim Planen und Zusammenbauen. **ELV**

**Audio-Brückenschaltung (BTL)**

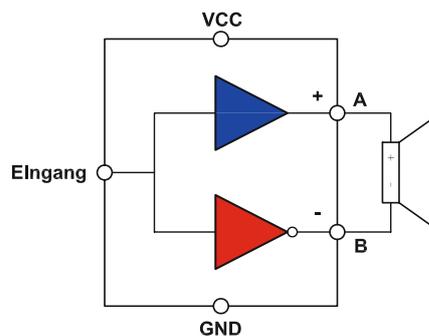
Die Ausgangsleistung eines Audioverstärkers ist durch die Versorgungsspannung begrenzt. Dies wird in der Formel für die Leistung deutlich:

$$P = \frac{U^2}{RL}$$

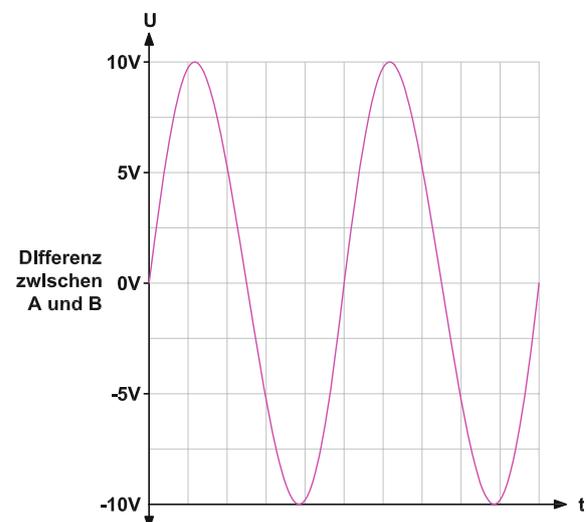
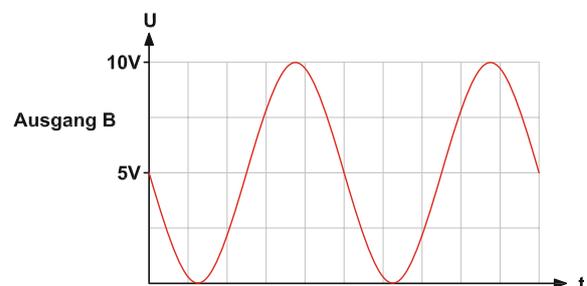
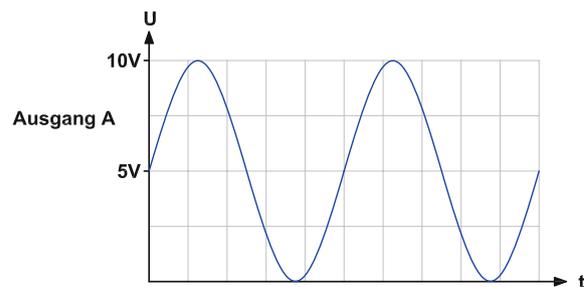
Möchte man die Ausgangsleistung erhöhen, gibt es zwei Möglichkeiten: Verringerung der Lautsprecherimpedanz RL oder eine Erhöhung der Betriebsspannung. Da der Lautsprecher einen konstanten Wert hat, bleibt nur der Weg über die Betriebsspannung.

Es gibt aber noch einen Trick, wie man bei gleichbleibender Spannung die Ausgangsleistung erhöht. Diese Schaltungstechnik wird als Brückenschaltung oder im Englischen als BTL (Bridge Terminated Load) bezeichnet. Die Last, in diesem Fall der Lautsprecher, liegt nicht einseitig an Masse oder VCC (UB), sondern „hängt“ zwischen zwei Ausgängen. Die beiden Ausgänge sind gegenphasig, wie im Bild oben zu sehen (die untere Endstufe ist invertiert). Darunter sind die Ausgangssignale dargestellt. An der Last (Lautsprecher) liegt nun die Differenzspannung der beiden Ausgänge A und B. Wie man erkennt, ist die Amplitude am Lautsprecher doppelt so groß wie am Ausgang A oder B. Warum ist das so? Man kann sich die Funktion vereinfacht so vorstellen: Man misst die Spannung an einem Netzteilanschluss (z. B. 10 V) mit einem Multimeter oder Oszilloskop. Verpolt man die Messspitzen in periodischer Folge, erhält man einen Ausschlag in positiver bzw. negativer Richtung von 10 V. Dies wäre zwar nur eine Rechteckspannung, aber es zeigt die Funktionsweise vereinfacht. Bei einer Wechselspannung ergibt sich somit eine doppelte Amplitude.

Anhand der oben genannten Formel wird deutlich, dass eine Verdopplung der Ausgangsspannung eine Vervierfachung der Ausgangsleistung an einer Endstufe bedeutet.



Blockschaltbild einer Audio-Endstufe in Brückenschaltung

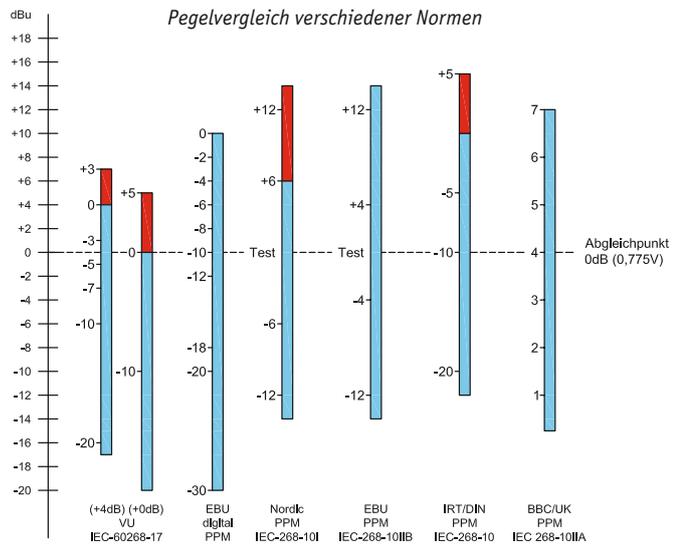


Spannungen an der Brückenschaltung

### Audiopegelmessung – VU oder PPM?

Der Begriff VU-Meter kommt aus dem Englischen, wobei VU für „voltage unit“ steht. Ein VU-Meter misst den Spannungspegel eines Audiosignals. Dies wird vor allem bei Aufnahmegegeräten benötigt, um ein Übersteuern zu vermeiden.

Das ursprüngliche VU-Meter wurde von der amerikanischen Telefongesellschaft Bell Telephone Laboratories entwickelt, um bei der Telefonübertragung einheitliche Werte zur Beurteilung der Leistungsanpassung zu erreichen. Ein VU-Meter bestand in der Anfangszeit aus einem analogen Messgerät, das in der Regel mit einem Drehspulinstrument aufgebaut war. Die Anzeige war sehr träge und zeigte im Prinzip den arithmetischen Mittelwert des Audiosignals an. Kurze Spannungsspitzen wurden nicht erfasst, da die Integrationszeit des Gleichrichters bei ca. 300 ms lag. Moderne Messgeräte können auch kurze Spannungsspitzen anzeigen, da der Gleichrichter als Spitzenwertdetektor arbeitet und Integrationszeiten von 3–10 ms aufweist. Die Integrationszeit ist die Zeitspanne, die das Ausgangssignal (Gleichrichter) benötigt, um 99 % der maximalen Spannung zu erreichen. Je kürzer diese Zeit ist, desto schneller wird der maximale Spannungswert erreicht – es können also auch kurze Spannungsspeaks detektiert werden. Diese Technik wird als PPM (Peak Programme Meter) bezeichnet. Ein VU-Meter, das im Prinzip den Effektivwert einer Sinusspannung anzeigt, ist heute nicht mehr zeitgemäß.



Um einen möglichst weiten Anzeigebereich zu erreichen, wird eine logarithmische Skala in Dezibel (dB) benötigt. Der dB-Wert gibt nur das Verhältnis an, nicht aber den eigentlichen Wert. Beim Vergleich von Spannungswerten bedeutet +6 dB eine Verdopplung und -6 dB eine Halbierung der Spannung. Um aus dem dB-Wert den Spannungswert berechnen zu können, ist immer ein Bezugspunkt (Referenzwert) notwendig. In der Regel wird der 0-dB-Punkt einer Referenzspannung zugeordnet. Meist wird dem Wert 0 dB in der Audiotechnik eine Spannung von 0,775 mV zugeordnet. Einem Wert von +6 dB würde somit das Doppelte, also 1,55 V, entsprechen. Hier gibt es allerdings eine große Vielfalt von Normen, wie die Vergleichsgrafik zeigt. Jede Norm bzw. jedes Land hat ihren eigenen Bezugspunkt. Dann wird auch noch zwischen VU und PPM unterschieden.



Ein analoges VU-Meter, hier bereits mit einem separaten LED-Indikator (Quelle: Wikipedia)



### Weitere Infos:

- [1] Kung Long VdS-Blei-AGM-Akku WP7.2-12, 12V, 7,2 Ah: Artikel-Nr. 048264
- [2] Bordnetzschutz BNS12: Artikel-Nr. 152639
- [3] Ansmann 4er-Lithium-Ionen-Akkupack 18650, 4S1P, 14,4 V, 2600 mAh: Artikel-Nr. 144118
- [4] Noratel Ringkerntransformator RT050-2015: Artikel-Nr. 112862
- [5] Brückengleichrichter B250C5000/3300: Artikel-Nr. 069640
- [6] Netzteilplatine V 42N: Artikel-Nr. 065860
- [7] Bluetooth-Audio-Adapter: Art-Nr. 251684
- [8] Pro Car USB-Doppelsteckdose 12–24 V: Artikel-Nr. 116570
- [9] Velleman Step-down-Wandler LM2596S: Artikel-Nr. 133302
- [10] ELVjournal 4+5/2020, DC-DC-Converter – Verlustarmut durch Schalttechnologie  
Teil 1: Artikel-Nr. 251418, Teil 2: Artikel-Nr. 251511
- [11] Lumberg Klinkenbuchse KLB 4, 3,5 mm, stereo: Artikel-Nr. 099030
- [12] Cinch-Einbaubuchse, schwarz/rot: Artikel-Nr. 109128, 109129
- [13] ELV Komplettbausatz Stereo-Vorverstärker mit Klangregelstufe KLS1: Artikel-Nr. 099447
- [14] ELV Bausatz 2x 38 W Audioverstärker V76: Artikel-Nr. 151486
- [15] ELV Komplettbausatz 25-W-Mono-Digitalverstärker DA25: Artikel-Nr. 130628
- [16] ELV Komplettbausatz Low-Voltage-Stereo-Kopfhörer-Verstärker: Artikel-Nr. 062441
- [17] ELV Komplettbausatz VU-Meter VU-30 mit Peak-Hold inkl. Frontplatte, Set mit Farbfilterfolien: Artikel-Nr. 119011
- [18] ELV Komplettbausatz 6-Kanal Audio-Spectrum-Analyzer ASA6: Artikel-Nr. 142018

Alle Links finden Sie auch online unter: [de.elv.com/elvjournal-links](http://de.elv.com/elvjournal-links)