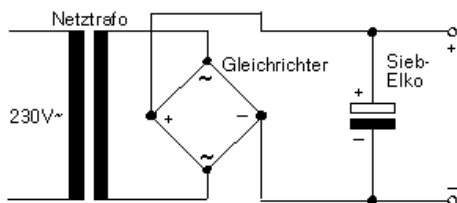




## Vom 230V-Netz zur perfekten Gleichspannung

Ein Audioverstärker ist nur so gut, wie seine Stromversorgung.  
Das Ausgangssignal einer NF-Stufe besteht zu 100% aus der Betriebsspannung, gesteuert vom Eingangssignal.  
Je kleiner die Signalspannung, desto größer der Einfluss von Störungen auf der Betriebsspannung.  
Um das optimale Netzteil zu konfigurieren, beschreiben wir hier einige Grundlagen.  
Grundsätzliche Funktion der einzelnen Stufen  
Mindestanforderungen an ein Audio-Netzteil

### 1. Grundsätzlicher Aufbau von Netzteilen.

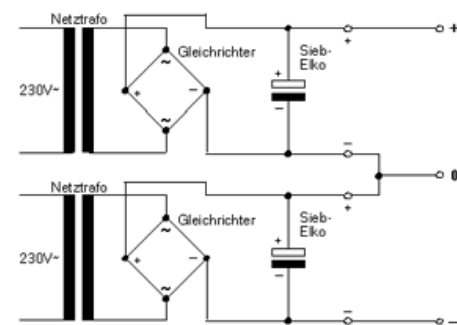


**A**

Diese Skizze zeigt die grundsätzliche Reihenfolge der Netzteil-Elemente:  
**230V-Netz - Netztrafo - Gleichrichter - Siebung, je nach Anforderung.**

Hier wird ein **asymmetrisches Netzteil** (eine Spannung) gezeigt. Den Minuspol bezeichnet man auch als Null (0) und dient in der Regel als System-Masse (auch: Ground oder GND).

**Alle unsere Audio-Module benötigen eine symmetrische Betriebsspannung**

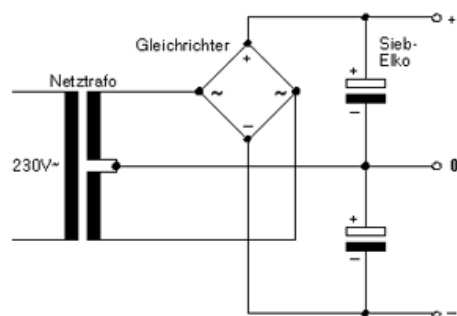


**B**

**< Symmetrisches Netzteil 1. Version**  
**Zwei Einzel-Spannungen**

Ein symmetrisches Netzteil besteht immer aus zwei Spannungen, die in Reihe geschaltet werden. Der Mittelpunkt der Reihenschaltung wird als NULL (0) bezeichnet und dient in der Regel als System-Masse (auch: Ground oder GND).  
Im einfachsten Fall werden die Ausgänge von zwei Einzelnetzteilen in Reihe geschaltet, wie nebenstehende Skizze zeigt.

Nach diesem Prinzip sind alle unsere Klein-Netzteile aufgebaut



**C**

**< Symmetrisches Netzteil 2. Version**

Im anderen Fall wird ein Netzteil gleich symmetrisch aufgebaut. Man spart einen Gleichrichter.  
Die Ausgangsspannungen können nicht mehr galvanisch getrennt werden, wie z.B. bei unserem Netzteil [SPR 8.2](#) und den [Power-Siebungen](#)

**Spannungsmessung an einem symmetrischen Netzteil**

Die Ausgangsspannung eines symmetrischen Netzteils bezeichnet man allgemein z.B. **+/-15V**

Das bedeutet:

+ hat 15V positive Spannung gegen Null (Masse) gemessen

- hat 15V negative Spannung gegen Null (Masse) gemessen

Von + nach - würde man entsprechend die Summe von +/-15V = 30V messen

**Die obenstehenden Skizzen stehen stellvertretend für alle Arten von Spannungsquellen.**

Ein Trafo mit zwei Ausgangswicklungen kann durch zwei Trafos mit Einzelwicklungen ersetzt werden.

Ein Gleichrichter kann aus einem Bauteil, oder aus Einzeldioden bestehen.

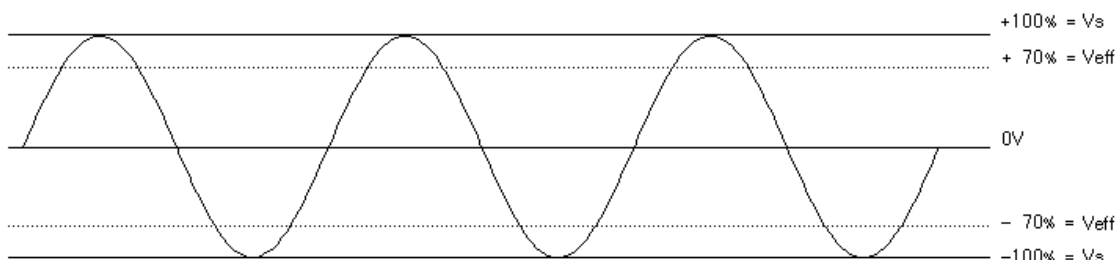
Ein Elko kann eine Parallelschaltung mehrerer Elkos bedeuten.

**Das Prinzip der Reihenschaltung gilt auch bei Akkus, oder sonstigen Netzteilen mit Einzelspannungen.**

### Die Kette Wechselspannung - Gleichrichtung - Siebung

Der Netztrafo stellt die gewünschte Spannung zur Verfügung. Seine Leistung sollte je nach Qualität mindestens der des Verbrauchers entsprechen, bzw. etwas höher sein.  
Die Spannungsangaben eines Trafos gelten in der Regel bei Nennlast, d.h. wenn er mit dem max zulässigem Strom belastet wird, stellt sich die angegebene Spannung ein. Im Leerlauf (unbelasteter Zustand) beträgt die Spannung ca. 4% bis 25% mehr als die Nennspannung, je nach Größe des Trafos.

Beispiel: 700VA ca. 4%, 15VA ca. 25%. Das ist in jedem Falle zu berücksichtigen. Man hat also nie in allen Lastbereichen die gleiche Spannung.

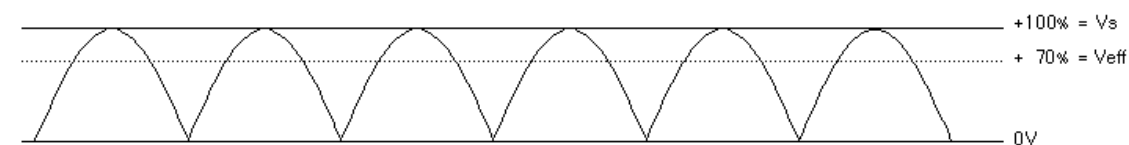


**2.**

Diese Skizze zeigt den Verlauf der Wechselspannung am Trafo-Ausgang.  
"Vs" bedeutet Spitzenspannung, "Veff" die effektive Wechselspannung. Das ist die Spannung, die ein Voltmeter im AC-Bereich anzeigt. (AC=Wechselspg.)

So sieht die ideale Wechselspannung am Trafo-Ausgang aus. In der Praxis leider immer öfter nicht mehr der Fall. Siehe "Anmerkung" am Ende der Seite. Die Sinusspitzen stellen die sog. Spitzenspannung dar. Ein normales Wechselspannungs-Voltmeter zeigt jedoch den Effektivwert an. Das ist ein gemittelter Wert zwischen VS und Null. VS beträgt bei einem sauberen Sinus das 1,414-fache von Veff, oder Veff 70,1% von VS. Wird der Sinus durch Belastung des Trafos "deformiert" stimmt diese Formel nicht

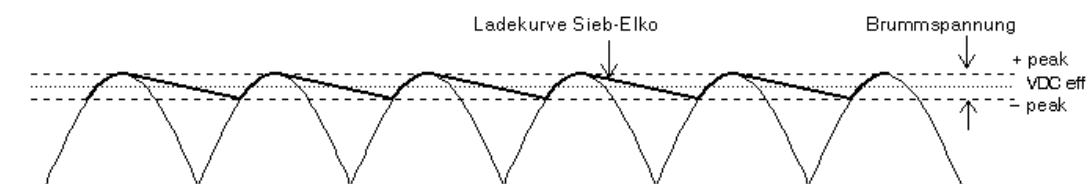
mehr ganz.



3.

Diese Skizze zeigt die Form der Gleichspannung am Gleichrichter-Ausgang, wenn kein Sieb-Elko vorhanden wäre. Die untere Hälfte ist sozusagen hochgeklappt.

So sieht die gleichgerichtete Wechselspannung am Gleichrichter aus (ohne Sieb-Elko). Die Frequenz hat sich von 50Hz auf 100Hz verdoppelt. Für Audioschaltungen ist diese Spannung immer noch unbrauchbar. Dagegen könnten Anzeigelämpchen oder LEDs (mit Vorwiderstand) damit betrieben werden. Effektiv- und Spitzenwert verhalten sich wie unter "2" beschrieben.



4.

Diese Skizze zeigt den Verlauf der gleichgerichteten und gesiebten Spannung unter Last an. Es entsteht dabei eine weitere, sogenannte Brummspannung, die der Gleichspannung überlagert ist.

So sieht die mit einem Elko gesiebte Gleichspannung aus (Ladekurve Sieb-Elko). Ohne Belastung wäre diese Spannung "glatt". Unter Last entsteht jedoch eine sog. Brummspannung, oder überlagerte Wechselspannung. Der Elko wird in den Sinusspitzen aufgeladen, um seine gespeicherte Energie in den "Pausen" wieder abzugeben. Wie weit diese Spannung dazwischen absinkt, hängt von der Kapazität der Elkos und von der Belastung der Spannung ab.

**Wichtig:** Der Elko kann nur in der Zeit von -peak bis +peak geladen werden. Daher ist der Ladestrom vom Trafo immer ein kurzer hoher Spitzenstrom mit langen Pausen. Der Spitzenstrom ist also wesentlich höher, als der effektive Strom des Verbrauchers. Daher sollten die Leitungen zwischen Trafo und Siebung so kurz wie möglich gehalten werden, um keine Störungen durch elektromagnetische Felder der Zuleitungen zu verursachen. Wird ein Netzteil "ausgelagert", sollte der Trafo samt Gleichrichtung und Siebung ausgelagert werden.

**Die Brummspannungsangabe** bezieht sich auf die Spannungsdifferenz zwischen +peak und -peak. Ein Gleichspannungs-Voltmeter würde als Gleichspannung einen Wert zwischen +peak und -peak (VDC eff) gegen Null anzeigen. Stellt man das Voltmeter auf AC, so muss die angezeigte effektive Wechselspannung mit ca. 3,5 multipliziert werden und man erhält den Wert von +peak bis -peak.

**Die Brummspannung** ist ein Maß für die Qualität des Netztes.

Sie errechnet sich vereinfacht in etwa wie folgt:  $(\text{Strom} \times 10.000) / \text{Kapazität} (\mu\text{F})$ . (Bei größerer Brummspannung kann auch mit 8000 gerechnet werden, da durch den größeren Spannungseinbruch früher nachgeladen wird).

#### Spannungsstabilisierung

Unter Last sinkt die Gesamtspannung (VDC eff), je nach Belastbarkeit des Trafos. Diese Tatsache zu berücksichtigen ist auch wichtig beim Einsatz einer nachfolgenden Stabilisierungs-Schaltung.

Diese benötigt immer eine etwas höhere Eingangsspannung (ca. 2-4V) als die einzustellende Ausgangsspannung. Der niedrigste Wert der Gleichspannung (-peak) muss also unter Vollast noch mindestens um diese Spannungsdifferenz höher liegen, als die gewünschte Ausgangsspannung.

Einem Verbraucher steht also höchstens nur die sog. "-peak" Spannung abzüglich der Regeldifferenz von 2-4 Volt unter Vollast zur Verfügung.

#### Benötigte Trafospannung bei einer Stabilisierung

Das lässt sich nicht immer genau vorherbestimmen. Pauschal kann man erst mal davon ausgehen, dass die Trafowechselspannung der benötigten Ausgangsgleichspannung entspricht. Wird der Trafo mit deutlich weniger Strom belastet, als er liefern kann, so kann eine höhere Gleichspannung als die Trafowechselspannung eingestellt werden. Wird der Trafo bis zur Grenze seiner Stromlieferfähigkeit belastet, so kann die Ausgangsgleichspannung nur knapp unter der Trafowechselspannung eingestellt werden. Dieser Abstand wird besonders groß bei niedrigen Trafospannungen von unter 10Volt, da Spannungsabfälle von Regelreserve und Gleichrichter konstante Werte sind.

### 5. Mindestanforderungen an ein Audio-Netzteil

Da die **Brummspannung** bei obiger Anordnung immer vorhanden ist, stellt sich die Frage, wieviel eine Audioschaltung toleriert. Dazu ein Rechenbeispiel:

Eine 200W/40Ohm Endstufe zieht im Leerlauf 200mA und das Netzteil wird mit 22.000µF gepuffert.

Nach obiger Formel ergibt sich eine Brummspannung von etwa 90mV.

Bei Vollast fließt z.B. ein Strom von 3,5 Ampere effektiv (pro symmetrischer Spannungshälfte), was eine Brummspannung von etwa 1,7 Volt zur Folge hat.

Zuviel oder nicht zuviel?

Das hängt davon ab, wieviel am Ausgang einer Audiostufe davon noch ankommt. Und das hängt sehr vom Gegenkopplungsfaktor ab. Hat eine NF-Stufe keine Gegenkopplung (wie z.B. bei Röhren oft üblich), so kann die Brummspannung am Ausgang nahezu den gleichen Wert annehmen, wie auf der Betriebsspannung. Bei einer Gegenkopplung werden auch die Störungen der Betriebsspannung unterdrückt. Einige Datenblätter von Schaltungen geben eine sog. "Betriebsspannungsunterdrückung" an. Der Wert beträgt in der Regel ca. 80 - 120dB, kann aber im Einzelfall weit darüber oder darunter liegen. Hat eine Endstufe z.B. eine Unterdrückung von 80dB (10.000-fach), so kommen von den oben genannten 1,7Volt noch 0,17mV am Ausgang unter Vollast an, also so gut wie unhörbar. Im Leerlauf sind es ca. 9µV auf der Lautsprecherleitung. Brummspannungsmäßig ist eine solche Kapazität also völlig ausreichend. Bei Vorstufen sieht die Sache etwas anders aus, da hier mit sehr kleinen Signalen gearbeitet wird, und somit der Abstand zur Brummspannung nicht mehr so groß ist. Beispiel: Kapazität 2.200µF, Strom ca. 50mA, ergibt eine Brummspannung von ca. 220mV. Das könnte zuviel sein. Abhilfe schafft dann nur eine Stabilisierung, oder größere Siebung.

Aber nicht die Brummspannung allein ist maßgebend, sondern die **Standhaftigkeit bei Impulsbelastungen**. Und hier kann man nicht mehr nach den Mindestanforderungen gemäß den Lehrbüchern gehen. Denn Elko-Qualitäten im Zusammenhang mit den eingesetzten Trafos und Dioden bestimmen in einem großen Maße die Erfüllung von High-End-Ansprüchen. Elkos können nicht den Spannungseinbruch am Trafo verhindern. Normalerweise sind den Elkokapazitäten technisch keine Grenzen gesetzt, wenn Trafo und Gleichrichter den Einschaltstrom verkraften. Deshalb müssen Dioden oft einen höheren Strom aufweisen, als im Betrieb tatsächlich fließt. Nur der Trafo wirkt beim Einschalten begrenzend. Aber nicht nur die Kapazität, sondern auch die Schnelligkeit der Stromlieferung ist wichtig. Dazu werden oft kleine Kondensatoren (MKP oder noch besser KP=Film-Foil) parallelgeschaltet. Diese können noch einmal die Schnelligkeit steigern. Allerdings sollte man bedenken, dass ein langes Kabel zum Verbraucher durch seine Induktivität wieder bremsend wirkt (ab 10cm), so dass ein solcher Stützkondensator auf jeden Fall auch direkt am Verbraucher angebracht sein sollte.

Bei überdimensionierten Kapazitäten sollte man ein paar wichtige Dinge beachten: Solche Anordnungen können sehr gefährlich sein. Im Kurzschlussfall können mehrere 100 Ampere fließen!! Auch muss der Trafo in der Lage sein, große Elkos in einer kurzen Zeit nachzuladen.

#### Anmerkung:

Bei der Wahl des Trafos gibt es noch einen wichtigen Punkt zu beachten. Schauen Sie noch einmal auf **Skizze 4**. Dort sehen Sie, dass ein Elko nur während der Sinusspitze nachgeladen werden kann. Somit ist der Lade-Spitzenstrom immer höher, als der entnommene Effektivstrom. Der Trafo wird also nicht sinusförmig sondern immer nur mit ca. 3-fach höheren Stromspitzen belastet, als effektiv in den Verbraucher fließt. Ob deswegen ein Trafo überdimensioniert werden muss, hängt von seiner Qualität und von seinen technischen Merkmalen ab. Unsere Trafos sind z.B. für diesen Umstand ausgelegt, so dass Sie für einen 400W-Verstärker einen ca. 450VA-Trafo einsetzen können.

Die Belastung der Sinusspannung im Spitzenwert findet nicht nur hier, sondern auch in vielen anderen Geräten aus ähnlichen Gründen statt. Daher kommt es oft vor, dass

der Netz-Sinus schon deformiert (in der Spitze abgeflacht) im Haushalt ankommt. Das ist nicht weiter tragisch, verändert aber mehr oder weniger das Ergebnis von Berechnungen. z.B. Spitzenspannung = ca. 1,3-fach statt 1,414 (Wurzel aus 2) fach.

---

**Stabilisierte Spannungen** kennen so gut wie keine Probleme mit Brummspannung.

**Akkuspannungen** haben auch sehr große Vorteile, sind jedoch im ganzen nicht so schnell, was durch geeignete Elkopufferung ausgeglichen werden kann.