

*Fried Reim*

# Das Kopfhörerverstärker Kochbuch

---

*Oder: Warum überhaupt  
Kopfhörerverstärker?*

---

**n̄MBUS**

**LAKE PEOPLE**

**VIOLECTRIC**

# INHALT

<b>1 – WARUM KOPFHÖRERVERSTÄRKER?</b>	<b>5</b>
Warum eine variable Verstärkung sinnvoll ist .....	6
Warum eine hohe interne Betriebsspannung wichtig ist .....	8
Warum ein hoher Dämpfungsfaktor wichtig ist .....	9
Warum ein Relais beim Ein-/Ausschalten sinnvoll ist .....	10
Warum es sinnvoll ist, den Frequenzgang zu begrenzen .....	10
Warum ein guter Lautstärkeregler wichtig ist .....	11
Warum symmetrische Signale Vorteile haben .....	13
Warum Verstärker mit symmetrischen Ausgängen Vorteile haben .....	13
<b>2 – DETAILS ZUR LAUTSTÄRKEREGELUNG</b>	<b>15</b>
Das Poti .....	15
Der Stufenschalter .....	17
Der elektronische Schalter .....	18
Der VCA .....	18
Monolithische integrierte Schaltkreise .....	19
Der DCA .....	19
Der RCA .....	20
<b>3 – DETAILS ZUR SYMMETRIERUNG</b>	<b>23</b>
Verschiedene Arten und Zwecke von Symmetrien .....	23
Vorteile von symmetrischen Kopfhörerverstärkern .....	28
<b>4 – DIE KOPFHÖRERVERSTÄRKER     VON LAKE PEOPLE</b>	<b>33</b>



- 1 -

# WARUM ÜBERHAUPT EIN KOPFHÖRER- VERSTÄRKER?

Ist es nicht so, dass ein Kopfhörer nur ein kleiner Lautsprecher ist und deshalb lediglich – wenn überhaupt – einen kleinen Verstärker braucht?

Der Kopfhörerverstärker ist ein Gerät zum Konditionieren eines Audiosignals mit dem Zweck, es auf die speziellen Besonderheiten eines Kopfhörers anzupassen.

Das klingt im ersten Augenblick nicht sonderlich sensationell und kann auch mit wenig Aufwand erledigt werden. Es zeigt sich aber, wie bei fast allen Dingen, dass der Teufel im Detail steckt und ein gewisser Aufwand nötig ist, um möglichst einen Verstärker für alle Kopfhörer zu haben.

Der Kopfhörer per se ist sehr variabel. Hier gibt es zwei Kenngrößen: Impedanz und Empfindlichkeit.

Generell kann man sagen, dass Kopfhörer mit hoher Impedanz unempfindlicher sind als Kopfhörer mit niedriger Impedanz, die sind im Allgemeinen empfindlicher. Das stimmt zwar nicht immer – aber meistens.

Kopfhörer mit **hoher Impedanz** sind meist **unempfindlicher** als Kopfhörer mit niedriger Impedanz.

Die Empfindlichkeit von Kopfhörern wird meist in dB (Schalldruck) pro mW angegeben. Zwei Extreme sind hier der AKG K1000 mit 74dB/mW einerseits und der Sennheiser HD 25 mit 108 dB/mW andererseits.

Es braucht somit über 2500 mal mehr Leistung, um den K1000 auf den gleichen Schalldruck wie den HD 25 zu bringen.

Erschwerend kommt hinzu, dass Kopfhörer mit hoher Impedanz meist auch viel Spannung brauchen, um wirklich

laut zu sein – man braucht also Verstärker, die mit hoher Betriebsspannung arbeiten. Speziell bei hochohmigen Kopfhörern reicht es also nicht, einen „kleinen“ Verstärker zu haben. Bei niederohmigen Kopfhörern sollten andere technische Details beachtet werden, auf die im Weiteren eingegangen wird.

## WARUM EINE VARIABLE VERSTÄRKUNG SINNVOLL IST

### PRE-GAIN bei LAKE PEOPLE und Vioelectric Geräten

Aufgrund der Tatsache, dass Kopfhörer sehr nah am Ohr sind, haben sie gegenüber Lautsprechern eine wesentlich höhere Empfindlichkeit. Bei sogenannten IEM (In-Ear-Monitors) kann diese sogar extrem sein. Dadurch kann das statische Rauschen eines Verstärkers störend – weil hörbar – werden.

Das statische Rauschen ist aus physikalischen Gründen immer vorhanden. Seine Höhe hängt direkt von der Grundverstärkung des (End-)Verstärkers ab. Diese kann aus Gründen der elektrischen Stabilität nicht beliebig niedrig gewählt werden. Deshalb liegt die Grundverstärkung üblicherweise bei ca. 10 – 20 dB = Faktor 3 – 10.

Eine hohe Verstärkung wäre für empfindliche Kopfhörer auch nicht nötig, ein hochohmiger (etwas un-

empfindlicherer) Kopfhörer braucht sie hingegen! Um niedrigstes Rauschen einerseits und eine möglichst hohe Verstärkung andererseits zu erreichen, ist also eine variable Verstärkungseinstellung vor der Endstufe wünschenswert.

Dieses Feature haben wir PRE-GAIN genannt. Es ist bei uns meist in 5 Stufen zu -12, -6, 0, +6, +12 dB einstellbar.

**Pre-GAIN ermöglicht niedrigstes Rauschen in Kombination mit einer möglichst hohen Verstärkung.**

Dazu zwei extreme Beispiele, die fixe Größe ist dabei ein Kopfhörerverstärker mit einer Verstärkung von 8 dB (2,5 Fach) bei aufgedrehtem Lautstärkereglern.



# HPA RS02

Der LAKE PEOPLE HPA RS02 verfügt über eine variable Verstärkungseinstellung vor der Endstufe, die sich in fünf Stufen anpassen lässt!

### 1. Beispiel:

Der (Vor-) Verstärker liefert eine Spannung von 4 Volt, der Kopfhörer braucht aber nur 2 Volt um 100dB Schalldruck zu erzeugen. Bei aufgedrehtem Lautstärkeregler würde der Kopfhörerverstärker bei 8dB Verstärkung 10 Volt Spannung liefern. Man dürfte den Lautstärkeregler also nur vorsichtig bedienen, um keinen Hörschaden davon zu tragen. Weiter sollten laute Störgeräusche am Eingang vermieden werden, weil die auch gnadenlos verstärkt werden.

Durch PRE-GAIN kann man den Eingangspegel um 12dB (1/4) vermindern, aus 4 Volt Eingangspegel wird 1 Volt. Dieses Volt wird wieder 2,5-fach verstärkt, es werden also 2,5 Volt daraus – man kann den Lautstärkeregler beruhigt aufdrehen.

### 2. Beispiel:

Der (Vor-) Verstärker liefert eine Spannung von 1 Volt, der Kopfhörer braucht aber 10 Volt um 100dB Schalldruck zu erzeugen.

Bei aufgedrehtem Lautstärkeregler würde der Kopfhörerverstärker mit 8dB Verstärkung 2,5 Volt Spannung liefern – viel zu wenig für den Kopfhörer.

Durch PRE-GAIN kann man den Eingangspegel um 12dB (4-fach) erhöhen, aus 1 Volt Eingangspegel werden 4 Volt. Das wird wieder 2,5-fach verstärkt, es werden also 10 Volt daraus. Und das ist genau richtig für diesen Kopfhörer.

## WARUM EINE HOHE INTERNE BETRIEBSSPANNUNG WICHTIG IST

Ein Kopfhörer braucht zwar nicht viel Leistung, aus  $P = \frac{U^2}{R}$  ergibt sich jedoch, dass bei gegebenem (Last-) Widerstand die Spannung quadratisch in die Leistung einght.

Je hochohmiger ein Kopfhörer ist, desto mehr Spannung braucht er also.

Dies hat nur bedingt mit der absolut erzielbaren Lautstärke zu tun: Musik lebt von schnellen Transienten, die hohe Anforderungen an die Übertragungstechnik stellen. Und so kann ein schneller Impuls einen gewöhnlichen Verstärker mit maximal +/- 15 Volt Betriebsspannung leicht an sein Limit bringen.

LAKE PEOPLE und Vioelectric Geräte haben meist eine interne Betriebsspannung von +/-30V. Dadurch gewinnt man wesentlich mehr Aussteuerungsfähigkeit und die Sicher-

heit, den Kopfhörer auch bei hohen Lautstärken im linearen, unverzerrten Bereich zu betreiben. Das kommt der Lebensdauer des teuren Stücks zugute.

## WARUM EIN HOHER DÄMPFUNGSFAKTOR WICHTIG IST

Jedes elektrodynamische System erzeugt nach einer Wirkung eine Rückwirkung (Gegen-EMK). Wird die Schwingspule eines Kopfhörers durch den Verstärker ausgelenkt, entsteht ein (Fehl-)Strom wenn sie wieder in ihre Ausgangslage zurück fällt.

Dieser Strom muss so gut wie möglich unterdrückt werden – und das gelingt am besten, wenn die Ausgangsimpedanz des Verstärkers so niedrig wie möglich ist. Dann ist nämlich seine Fähigkeit zur Stromaufnahme so hoch wie möglich.

Der Dämpfungsfaktor beschreibt also das Verhältnis des Ausgangswiderstandes (= Ausgangsimpedanz) eines Verstärkers zu einer gegebenen Last.

Da technische Vorschriften fehlen, definieren wir die Last (= Impedanz der Schwingspule) mit 50 Ohm.

Daraus ergeben sich Dämpfungsfaktoren über 500 bei Ausgangsimpedanzen kleiner 0,1 Ohm bei unseren Verstärkern.

Weiter wirken sich die Ausgangsimpedanz des Verstärkers und die Impedanz des Kopfhörers ungünstig auf die Linearität des Frequenzgangs aus und „verbiegen“ ihn. Dies umso mehr, je höher die Ausgangsimpedanz des Verstärkers und je niedriger die Impedanz des Kopfhörers ist.

Ein Kopfhörer kann – je nach **Dämpfungsfaktor** – an verschiedenen Verstärkern komplett unterschiedlich klingen.

Dies erklärt, warum ein Kopfhörer an einen spezifischen Verstärker „gefällt“, an einem anderen hingegen nicht!

## WARUM EIN RELAIS BEIM EIN-/AUSSCHALTEN SINNVOLL IST

Jeder Verstärker verursacht während des Ein- und Ausschaltvorgangs Störungen. Diese können die angeschlossenen Kopfhörer beschädigen.

Über ein Relais und die zugehörige Elektronik kann der Kopfhörer verzö-

gert mit dem Verstärker verbunden und nach dem Ausschalten sofort wieder getrennt werden. So wird der Kopfhörer vor der Geräteelektronik geschützt, solange keine klar definierten Verhältnisse zu erwarten sind.

## WARUM ES SINNVOLL IST, DEN FREQUENZGANG ZU BEGRENZEN

Töne sind elektrische Wechselspannungen. Hören kann man diese als junger Mensch von ca. 20 Hz bis 20.000 Hz. Je älter der Mensch, desto weniger hört er vor allen Dingen die hohen Frequenzen.

Um diese Frequenzen möglichst gut zu übertragen muss der Frequenzgang eines Verstärkers möglichst breit und glatt sein. Nach unten ist diese Grenze durch die Gleichspannung (0 Hz) gesetzt, tiefer geht es nicht.

Nach oben kann sich die Grenze grundsätzlich in (fast) jeder beliebigen Höhe befinden – jedoch wird das Gerät dadurch auch empfindlich für elektromagnetische Einstrahlung.

Diese hört man zwar erstmal nicht, sie mischen sich aber mit den Nutzfrequenzen und können dann hörbar werden. Ein beliebig offener Frequenzgang zeugt also nicht unbedingt von bemerkenswerter Ingenieurleistung, sondern eher von Verantwortungslosigkeit.

# WARUM EIN GUTER LAUTSTÄRKEREGLER WICHTIG IST

Ein Lautstärkereglер ist ein mechanisches Stellglied, das es am Weltmarkt beliebig günstig gibt. Zwar wird es inzwischen oft durch elektronische Schaltungen ersetzt, die haben jedoch bezüglich Dynamik, Rauschen und Verzerrungen deutliche Nachteile.

Widerstandsbahnen aus Leitplastik, hochwertige „Multitap“-Schleifer und getrennte Kammern für die einzelnen Sektionen sind für hochwertige Anwendungen wünschenswert. Um einen problemlosen Betrieb über Jahre sicher zu stellen, ist eine hohe Qualität unabdingbar.

Da der Markt für richtig gute Potis klein ist, haben Hersteller wie Noble oder Panasonic nichts mehr im Angebot. Deshalb ist mit die Spitze des Machbaren das RK27 Poti von Alps.

Weitere Details zum Thema Lautstärkereglер können Sie auf Seite 15 nachlesen.





# VIOELECTRIC V280

*Der Vioelectric V280 bietet neben zwei unsymmetrischen Kopfhöreranschlüssen auch eine 4-polige XLR-Buchse zum symmetrischen Betrieb von Kopfhörern.*

## WARUM SYMMETRISCHE SIGNALE VORTEILE HABEN

Im Gegensatz zu unsymmetrischen Signalen werden symmetrische Signale über zwei Leitungen geführt (zuzüglich der Masseleitung). Ein symmetrisches Signal wird erzeugt, indem das ursprüngliche Signal im „sendenden“ Gerät invertiert wird (um  $180^\circ$  phasen-verschoben). Auf der einen Leitung liegt also das Signal (a), auf der anderen das invertierte Signal (-a). Im „empfangenden“ Gerät wird das symmetrische Signal auf einen Differenzverstärker geleitet. Dieser bildet die Differenz aus  $(a) - (-a) = 2a$ .

Auf dem Weg zwischen den Geräten können Störsignale (s) das Signal beeinträchtigen. Diese Störsignale sind gleichphasig und gelangen natürlich ebenfalls zum Differenzverstärker. Dieser bildet die Differenz aus den Störsignalen  $(s) - (s) = 0$ . Im Idealfall werden so alle Störungen auf der Leitung eliminiert.

Weitere Details zum Thema symmetrische Signale können Sie ab Seite 23 nachlesen.

## WARUM VERSTÄRKER MIT SYMMETRISCHEN AUSGÄNGEN VORTEILE HABEN

Beim üblichen (unsymmetrischen) Anschluss von Kopfhörern mit Klinkesteckern wird die Restenergie über das **gemeinsame** Massekabel auf die Gerätemasse zurück geleitet, die selbst auch einen Widerstand hat. Hierdurch wird die Masse, die eigentlich ruhen sollte, weil sie der Bezugspunkt ist, mit den Resten von L+R „verseucht“.

Dieses Übersprechen ist als Intermodulation zwischen den Kanälen mess- und hörbar!

Im symmetrischen Betrieb wird jede Schwingspule des Kopfhörers durch zwei Verstärker angetrieben, die um  $180^\circ$  versetzt im „Push-Pull“ Betrieb arbeiten. Während der eine „drückt“, „zieht“ der andere. Dadurch wird nicht nur eine doppelt so hohe Ausgangsspannung und damit eine wesentlich höhere Lautstärke realisiert, sondern gleichzeitig die Masse frei von jeglichen Störeinflüssen gehalten.

Weitere Details können Sie auf Seite 28 nachlesen.

VIOLECTRIC



- DIG (with a small yellow LED indicator)
- RCA (with a small yellow LED indicator)
- XLR (with a small yellow LED indicator)
- HEAD (with a small green LED indicator)
- LINE (with a small green LED indicator)

VOLUME

HPA V220



- 2 -

# VERTIEFENDE DETAILS ZUR LAUTSTÄRKE- REGELUNG

Zur Regelung der Lautstärke ist ein Spannungsteiler nötig, der nur bestimmte Anteile des Pegels einer Vorstufe zur Endstufe eines Gerätes durchlässt. Die einfachste Variante dieses Spannungsteilers ist ein Potentiometer oder auch kurz Poti genanntes mechanisches Stellglied.

## DAS POTI

Ein Poti zur Lautstärkeregelung kann man sich als einen „nackten“ Widerstand vorstellen. Dieser ist mit der einen Seite an das Signal der Quelle angeschlossen, die andere Seite liegt an Masse. Auf der Oberfläche dieses Widerstands kann ein mechanischer Schleifer bewegt werden.

Ist er näher an der Seite der Quelle ist das Signal lauter, ist er näher an der Masse-Seite ist das Signal leiser. Liegt der Schleifer direkt auf Masse, ist das Signal „weg“.

Es ist unschwer vorstellbar, dass solch ein mechanisches Stellglied mit mehr oder weniger großem Aufwand hergestellt werden kann.

Die Widerstandsbahnen können aus besserer oder schlechterer Kohle, aus Keramik oder Leitplastik sein, die Schleifer aus einfachem oder besonderem Material, einfacher oder spezieller geformt.

Für Stereo-Anwendungen ergeben sich weitere Komplikationen, denn die Widerstandsbahnen müssen für den linken und rechten Kanal möglichst gleich sein (schwierig) und sich am besten räumlich getrennt in unterschiedlichen Kammern befinden.

Um einen problemlosen Betrieb über Jahre sicherzustellen sollten die Oberflächen der Widerstandsbahnen möglichst hart und glatt sein. Die Schleifer sollten wenigstens an den Kontaktflächen aus besonderem Material wie Silber oder Gold sein.

Das Poti ist mit speziellem Fett gefüllt. Alterung und Materialabrieb lassen ein Poti früher oder später kratzen, weil der Schleifer nicht mehr akkurat auf der Widerstandsbahn sitzt.

Wichtig! Ein Poti **niemals** mit Kontaktspray behandeln!

Wer jetzt meint, dem Poti mit Kontaktspray etwas Gutes zu tun, liegt restlos falsch. Durch das Spray wird das Fett aufgelöst, das Poti kratzt zwar Anfangs nicht mehr, nach kurzer Zeit aber umso schlimmer.

Die Anforderungen an die Mechanik sind ebenfalls hoch. Die Achsen sollten nicht wackeln, ein „sattes“ Drehgefühl ist genauso erstrebenswert wie ein identisches Drehmoment bei Geräten mit mehreren Potis.

Durch mechanische Maßnahmen innerhalb des Potis können Rasterungen realisiert werden um eine (Re-)Positionierung zu erleichtern:

- für die Lautstärke wird gern eine 31- oder 41-fach Rasterung genommen
- ein Balance-Poti hat oft eine Mittelrast
- für die Klangregelung empfiehlt sich ein 13-fach Raster

Diese Rasterungen haben nichts mit den Stufen eines Stufenschalters zu tun! Sie dienen lediglich einer besseren Positionierbarkeit und vermitteln ein gewisses Präzisionsgefühl.

Prinzip bedingt stellt das Poti für die Quelle eine recht konstante und hohe Impedanz dar, für die nächste Stufe jedoch eine höchst variable. Um Störeinflüsse auszuschließen, sollte diese Impedanz jedoch ebenfalls klein sein. Das lässt sich nur mit zusätzlichem elektronischem Aufwand bewerkstelligen, am besten durch einen Pufferverstärker.

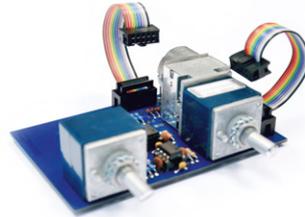
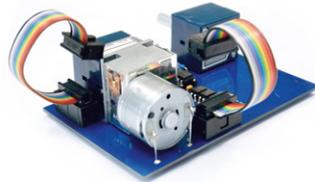
Oben genanntes ist ein Grund dafür, dass passive Stellglieder im Signalweg meist mehr Probleme bereiten als lösen!

Potis gibt es am Weltmarkt (fast) beliebig günstig – für ein paar Cent, oder auch exorbitant teuer – für einige hundert Euro, wie das Alps RK50.

Der Markt für richtig gute Potis ist klein, deshalb haben Hersteller wie Noble oder Panasonic nichts mehr im Angebot. Das RK27 Poti von Alps ist das Mittel der Wahl, wenn es um vernünftige Qualität zu einem akzeptablen Preis geht.

Potis können recht einfach „automatisiert“ werden, indem man über ein Getriebe einen Motor anbaut. Eine Rutschkupplung sorgt dafür, dass vorn per Hand gedreht werden kann während hinten der Motor läuft.

Da Potis oft teuer sind und früher oder später anfällig werden wird schon lange über Ersatz nachgedacht.



## DER STUFENSCHALTER

Ein Stufenschalter kann recht gut als Poti-Ersatz dienen. Hier gibt es keine Widerstandsbahn, sondern einen, durch je zwei Widerstände pro Schaltstufe gebildeten, Spannungsteiler.

Die Vorteile sind ein sehr guter Kanalgleichlauf. Bei guter Qualität der Kontakte und einer nachhaltigen Konstruktion ist der Schalter langlebiger als ein Poti.

Die Nachteile sind allerdings auch beträchtlich. Durch die begrenzte Anzahl der Stufen (12 oder 24) ist solch ein Stufenschalter nur bedingt zur Regelung der Lautstärke geeignet. Er ist auch teuer, speziell die 24-stufige Variante, aufwendig in der Herstellung und nicht automatisierbar.

# DER ELEKTRONISCHE SCHALTER

Ein elektronischer Schalter ist ein Element, das von einem „recht hochohmigen“ Widerstand zu einem „recht niederohmigen“ Widerstand umgeschaltet werden kann.

Die ersten Varianten dieser elektronischen Schalter hatten ein Problem mit dem „recht niederohmigen“ Zustand. Dieser war nämlich nicht wirklich niederohmig und variierte auch stark. Auch ist der „Schalter“ ein Feldeffekt-Transistor, der für nicht unwesentliche zusätzliche Verzerrungen verantwortlich sein kann.

Unter gewissen schaltungstechnischen Voraussetzungen können elek-

tronische Schalter als Relais-Ersatz, zum Beispiel zur Eingangsumschaltung verwendet werden. Es gibt inzwischen auch elektronische Schalter, die enger tolerierte „ON-Widerstände“ haben.

Trotz allem Fortschritt sind elektronische Schalter nur bedingt als Poti-Ersatz verwendbar.

Das Klang-Ergebnis ist, abgesehen davon, dass solch ein Schalter sicher nicht kratzt, meist nicht sehr Hi-Fidel, wegen der ins bodenlose gefallen Preise jedoch eine günstige Alternative. Ein Vorteil ist auch die sehr einfache Automatisierbarkeit.

# DER VOLTAGE CONTROLLED ATTENUATOR (VCA)

Der VCA ist ausgeschrieben ein „Voltage Controlled Attenuator“, also ein „spannungsgesteuerter Abschwächer“.

Bekannt aus frühen Analog-Rechnern und dort auch Vier-Quadranten-Multiplizierer genannt, wurde er in den frühen 80er Jahren für die Audiotechnik weiterentwickelt. In der Studiotechnik kam er in Limitern und Noise-Gates zur Anwendung.

Auch frühe Mischpult-Automationen bedienen sich des VCA.

Er produziert im dämpfenden Zustand nicht zeitgemäße Verzerrungen und ist deshalb für HiFi untauglich. Die Steuerungsspannung des VCA ist recht klein (6 mV pro dB Dämpfung) und damit für guten Kanal-Gleichlauf nur bedingt zu gebrauchen. Auch ist er nur mit recht viel Aufwand automatisierbar.

# MONOLITHISCHE INTEGRIERTE SCHALTkreISE

Einen frühen Ansatz verfolgte Anfang der 80er Jahre Philips mit den Bausteinen TCA730 und TCA740. Dies waren Chips die mit einfachen linearen Potis die Lautstärke, Balance, Höhen und Tiefen für zwei Kanäle regeln konnten.

Die Idee dahinter war der Einsatz billigster Potis und eine reduzierte Verdrahtung. Leider hatten die ICs schon in den 80ern ihren Ruf als „Rausch- und Klirrgeneratoren“ weg. Für HiFi absolut ungeeignet.

## DER DIGITAL CONTROLLED ATTENUATOR (DCA)

Der Fortschritt in der Chip-Technologie brachte mit Ende der 90er den DCA, ausgeschrieben ein „Digital Controlled Attenuator“, also ein „digital steuerbarer Abschwächer“. Wobei der Abschwächer selbst analog ist, das Setzen der internen „Schalter“ erfolgt digital über Datenworte.

Intern ist ein DCA eine intelligente Kombination aus vielen elektronischen Schaltern, Präzisionswiderständen und Pufferverstärkern.

Eines der ersten tauglichen Exemplare war der CS3310 von Cirrus Logic. Dieser und nachfolgende Bausteine sind zweikanalig und verfügen meist über 256 Stufen zu je 0,5dB. Ein

Schalten im Nulldurchgang der Welle ist vorgesehen und überhaupt ist die ganze Angelegenheit schon recht Hi-Fidel, was die Linearität, zusätzliches Rauschen und Klirren angeht. Eine Automatisierung ist sehr einfach durchführbar.

Ein Nachteil des CS3310 ist, dass er nur mit 5V zu betreiben ist, die Aussteuerungsfähigkeit ist also eingeschränkt. Dies ist bei seinen diversen Derivaten teilweise verbessert worden.

Der CS3310 und seine Kollegen werden oft und gern eingesetzt. Sie sind aber von ernsthaften Hi-End noch ein ordentliches Stück entfernt.

# DER RELAY CONTROLLED ATTENUATOR (RCA)

Der „Relay Controlled Attenuator“, also der „Relais-gesteuerte Abschwächer“ vereint die Vorzüge aller bereits genannten Arten und vermeidet deren spezifische Nachteile.

Durch die Relais werden Widerstandskombinationen geschaltet, ähnlich dem Stufenschalter, jedoch mit deutlich mehr Stufen – außerdem ist die Angelegenheit automatisierbar / fernbedienbar.

Bei LAKE PEOPLE / Vioelectric gibt es momentan eine 128-stufige Variante. Die Schrittweite ist 0,75 dB, so dass ein Regelumfang von 96 dB entsteht.

Natürlich sind keine 128 Relais pro Kanal beteiligt, sondern es ergeben sich aus 27 durch 7 Relais pro Kanal 128 Kombinationen.

Eine 256-stufige Variante mit einer Schrittweite zwischen 0,3 und 0,5 dB ist natürlich auch möglich und wird bei Niimbus realisiert.

## Die Vorteile:

- kein Kratzen, weil keine Widerstandsbahn vorhanden ist
- beste Kanalgleichheit durch den Einsatz von 1% und 0,1% Widerständen
- beste Übersprechdämpfung weil die Kanäle räumlich getrennt sind
- Regelbereich theoretisch größer als bei einem Potentiometer
- Multikanalbetrieb sehr einfach realisierbar
- keine Gefahr von zusätzlichem Klirr oder Rauschen, da nur Festwiderstände im Signalweg sind

## Es gibt auch Nachteile:

- die technisch aufwendigste und damit teuerste Lösung
- mechanische Geräusche während der Einstellung
- teilweise leichte Tonstörungen und knacksen während der Einstellung

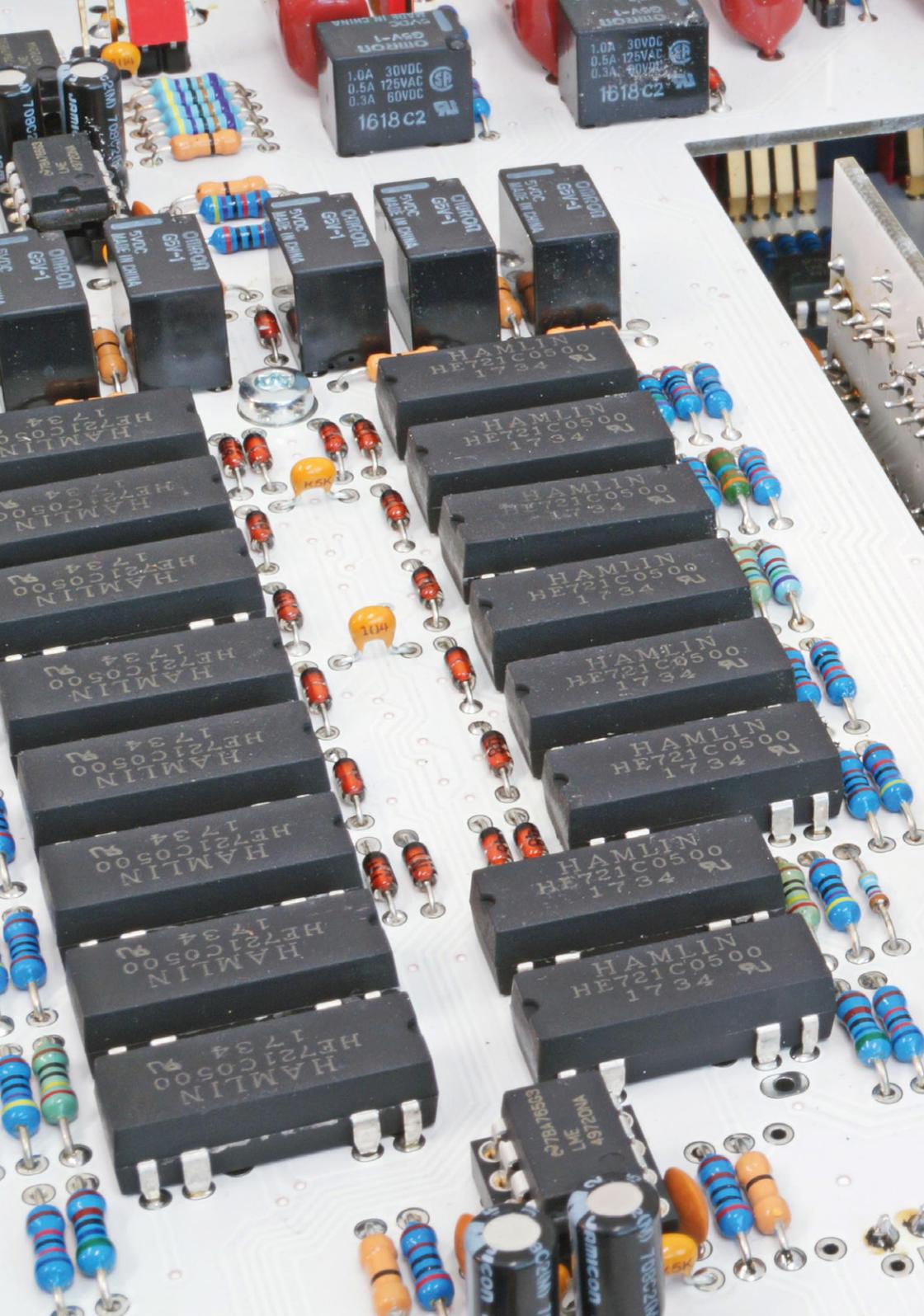
## Fazit:

Der relaisgesteuerte Abschwächer ist die absolut beste Möglichkeit, die Lautstärke zu regeln!



# NIIMBUS US 4+

*Als Lautstärkereger nutzt der Niimbus US4+ ein nahezu unhörbares Reed-Relais mit 256 Stufen in 0,4 dB Schritten.*



# VERTIEFENDE DETAILS ZUR SYMMETRIERUNG

## VERSCHIEDENE ARTEN UND ZWECKE VON SYMMETRIEN

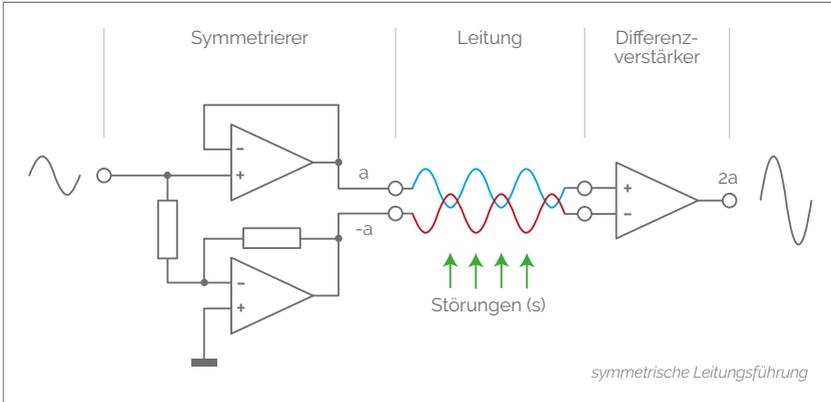
Die symmetrische Leitungsführung wird angewendet mit dem Ziel, maximale Störnempfindlichkeit auf einer Signalleitung zu erreichen.

Wer mal bei der Bundeswehr gewesen ist, kennt vielleicht das Feldtelefon und die „Bongos“ mit ihren Kabeltrommeln auf dem Rücken. Beim Feldtelefon handelt es sich um ein Telefon in rudimentärer Form, ohne jedwede Elektronik, ohne Stromversorgung. Es wird mit einem anderen durch eine simple, verdrehte zweiadrige Leitung verbunden. Diese kann durchaus einige Kilometer lang sein und die Verständigung klappt trotzdem. Das ist angewandte symmetrische Leitungsführung!

Die einfachste, zuverlässigste und sehr präzise Art der Symmetrierung erfolgt durch Transformatoren – die sind leider teuer und haben Probleme mit hohen Frequenzen!

In einem elektronischen Symmetrierer wird zu einem vorhandenen unsymmetrischen Signal ( $a$ ) ein invertiertes, um  $180^\circ$  gedrehtes Signal ( $-a$ ) gebildet.

Die beiden Signale werden über eine zwei-adrige, verdrehte Leitung geschickt, die nicht einmal abgeschirmt sein muss. Auf dem Weg zum Empfänger können Störeinflüsse ( $s$ ) auf beide Signale einwirken. Im Empfänger gelangt das Signal auf einen Differenzverstärker.



Wie der Name schon sagt, bildet solch ein Bauteil eine Differenz, subtrahiert also ein Signal vom anderen – und das geht so:  $a - (-a) = 2a$ . Mit den Störeinflüssen macht der Differenzierer genau dasselbe:  $(s) - (s) = 0$ .

Im idealisierten Ergebnis erhält man im „Empfänger“ die doppelte Signalstärke ohne Störeinflüsse. In der Wirklichkeit klappt das natürlich nicht zu 100%.

Hier müssen Spannungs- und Impedanz-Verhältnisse berücksichtigt werden, was in der Praxis als Gleichtaktunterdrückung gemessen werden kann. Je mehr konstruktiver Aufwand getrieben wird, desto besser ist das Ergebnis.

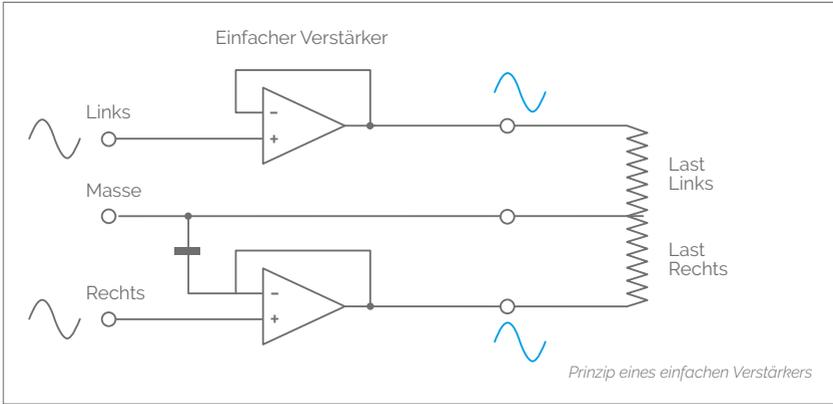
Neben der, gegenüber unsymmetrisch geführten Signalen, deutlich erhöhten Störfreiheit, ergibt sich konstruktionsbedingt der weitere Vorteil, dass die Masse bzw. der Schirm des Kabels tatsächlich nur als

Schirm zum Schutz der Signale und zum Potentialausgleich zwischen den angeschlossenen Geräten gebraucht wird – also wirklich eine rein statische Funktion hat.

Anders als bei der unsymmetrischen Anschlussart wird der Schirm und / oder die Masse nämlich nicht zum Rückfluss der Signale gebraucht. Die Masse ruht also und wird nicht moduliert!

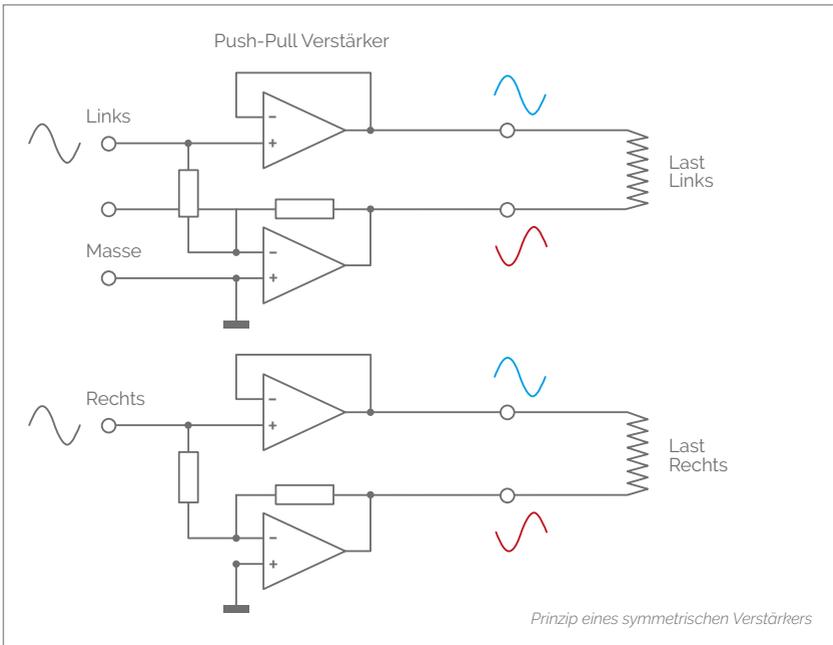
Während also eine symmetrische Leitung in erster Linie dazu dient, eine weitgehend störungsfreie Signalübertragung und eine statische Masse zu gewährleisten, stehen bei einem symmetrischen Verstärker andere Dinge im Vordergrund.

Dazu zuerst ein Blick auf das Prinzip eines einfachen Verstärkers: Die linken und rechten Eingangssignale werden verstärkt und der linken und rechten Last zugeführt.



Symmetrische Verstärker sind grundsätzlich nichts Neues, sondern schon lange bekannt z.B. im Autoradio, wo diese Technik gern hergenommen wurde (und wird), um bei begrenzter

Spannung (12V) 4-fache Leistung zu erzeugen. Diese Schaltungstechnik wird gern auch Vollbrücken-Verstärker, Push-Pull-Verstärker oder BTL (bridge terminated load) genannt.



Dabei werden die Eingangssignale jeweils über zwei Verstärker der Last zugeführt. Der Trick ist, dass einer der Verstärker „normal“ arbeitet, der andere invertiert, also um  $180^\circ$  phasenverschoben. Während der eine Verstärker die Schwingspule drückt (push), zieht (pull) der andere Verstärker.

Bei gleicher Betriebsspannung ergibt sich gegenüber dem einfachen Verstärker der doppelte Spannungshub bzw. die vierfache Leistung. Ein weiterer Vorteil ist die vollkommen unbelastete Masse, denn sie hat nichts mit der Verstärkung zu tun.

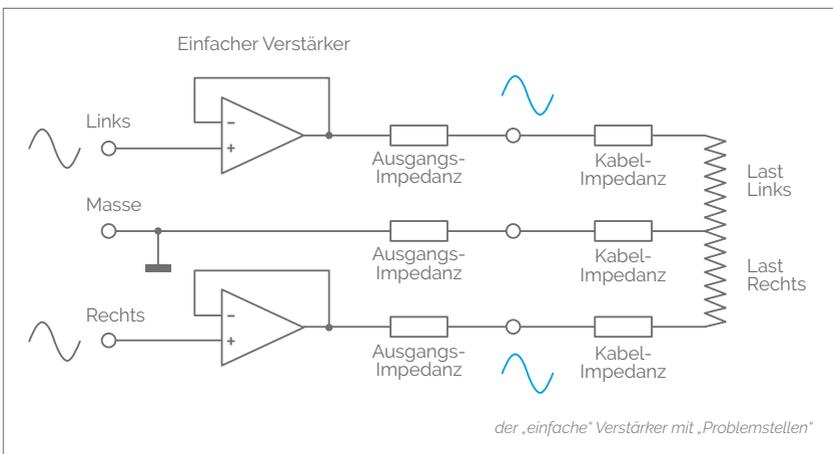
Einer der Nachteile dieser Schaltung wird auch sofort ersichtlich: Verdoppelung der Bauelemente. Leider ist das richtige Leben nicht so einfach, wie die vorherigen Prinzip-Schaltbilder. Hier der „einfache“ Verstärker mit „Problemstellen“:

Außer der Last, die anzutreiben die Aufgabe ist, kommen noch reichlich parasitäre Impedanzen ins Spiel, die es zu berücksichtigen gilt und die potentiell geeignet sind, das Ergebnis des möglichst sauberen Antriebs der Schwingspule zu beeinträchtigen.

Impedanzen sind ein komplexer Mix aus ohmschen, kapazitiven und induktiven Parametern, die beispielsweise bei einem hohen kapazitiven Anteil eines Kabels zu Instabilitäten des Verstärkers führen können.

Der Einfachheit halber soll im Folgenden aber nur der ohmsche Anteil berücksichtigt werden. An jeder ohmschen Last fällt eine Spannung ab, die für Nichtlinearitäten im System verantwortlich ist!

Aus dem unteren Schaltbild sind einige Probleme sofort ersichtlich:

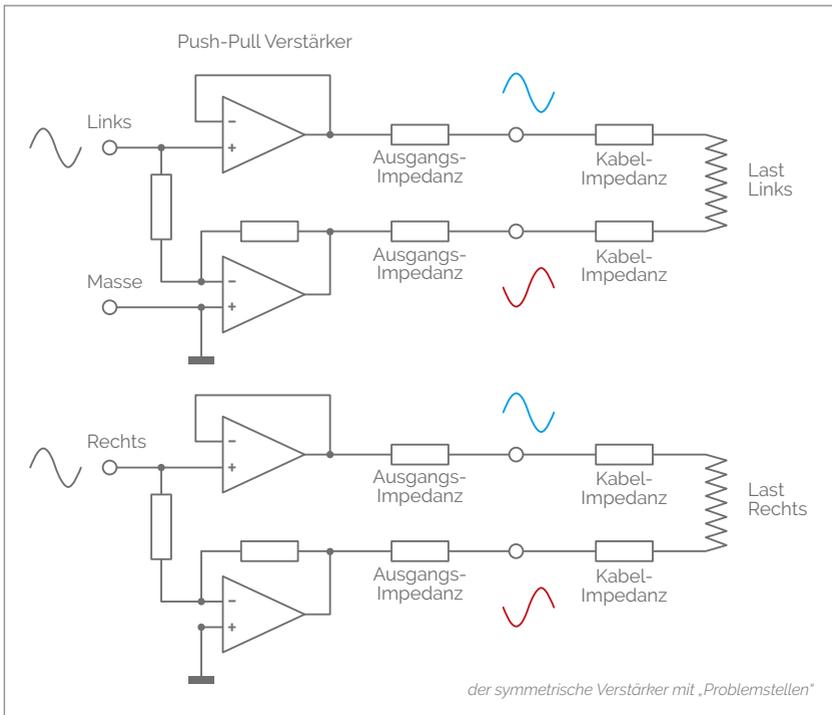


- Je höher die ohmsche Last, desto geringer der Einfluss der parasitären Impedanzen
- Je geringer die ohmsche Last, desto höher der Einfluss der parasitären Impedanzen
- Je geringer die Ausgangsimpedanz des Verstärkers, desto geringer sein Einfluss auf die Qualität der Übertragung
- Je geringer die ohmsche Last, desto höher der Einfluss des Kabels und der Ausgangsimpedanz
- Bei Kopfhörern mit Klinkenstecker entstehen große Fehler durch das für beide Kanäle gemeinsame

Massekabel und die suboptimale Verbindung Klinkenstecker – Klinkenbuchse mit ihren viel zu großen Kontaktstellen

- Die Masse ruht nicht, sondern wird belastet, mit den über das Kabel und den internen Impedanzen abfallenden Spannungen von Links und Rechts. Sie wird also mit dem Mono-Signal moduliert, was als Übersprechen bzw. Intermodulation mess- und hörbar ist

Für einen symmetrischen Verstärker sieht ein Schaltbild mit „Problemstellen“ so aus:



Anstatt sechs Problemstellen wie bei „einfachen“ Verstärkern hat man jetzt zum Glück nicht zwölf, sondern derer nur acht. Also zumindest keine Verdoppelung der Schwierigkeiten.

- Höheres statisches Rauschen durch doppelte Verstärkung
- Gefahr von zusätzlichen Intermodulationen wegen doppelter Verstärker

Die Übertragungsqualität wächst, weil keine gemeinsame Masseleitung zu berücksichtigen ist, ebenso wie es keine Belastung der Masse gibt.

Beim Einsatz eines symmetrischen oder Push-Pull-Verstärkers als Kopfhörerverstärker geht es im Kern nicht um die Maximierung der Ausgangsamplitude.

Allerdings ist nicht alles Gold beim Push-Pull Verstärker:

- Verteuerung durch die Verdoppelung der Bauelemente
- Verdoppelung der Ausgangsimpedanz wegen zweier Impedanzen pro Kanal

Vor allen Dingen nicht, wenn niederohmige Kopfhörer getrieben werden sollen. Da gibt es Geräte im LAKE PEOPLE / Vioelectric Portfolio, die mehr als genug Amplitude bringen – auch an hochohmigen Kopfhörern.

## WAS ALSO MACHT EINEN SYMMETRISCHEN KOPFHÖRERVERSTÄRKER SINNVOLL UND ERSTREBENSWERT?

Wie weiter oben schon erwähnt, hat ein „einfacher“ Verstärker die Masse als seinen Bezugspunkt. Präziser gesagt nicht irgendeine Masseleitung oder Fläche im Gerät, sondern den Fußpunkt des Trafos.

spannung begrenzt. Die theoretische maximale effektive Amplitude ( $V_{\text{eff}}$ ) errechnet sich vereinfacht so:

$$\frac{\text{Betrag der Betriebsspannungen}}{2 \times \sqrt{2}} \approx \frac{\text{Betrag der Betriebsspannungen}}{2,83}$$

Die Amplitude des Nutzsignals schwingt möglichst gleich um diesen Bezugspunkt (sonst redet man von DC-Offset) und wird nur von der positiven und negativen Betriebs-

Über die Last (die Schwingspulen des Kopfhörers) wird diese Spannung über eine gemeinsame Leitung

auf den Masse-Anschluss der Kopfhörerbuchse ins Gerät zurück geführt und von da aus zum Fußpunkt des Netztrafos geleitet, dem eigentlichen Bezugspunkt oder Massepunkt.

Die Leitungen des Kopfhörers und im Gerät, ebenso wie die Massefläche im Gerät sind nicht unendlich niederohmig, sondern haben selbst auch einen Widerstand – und sind damit eine Last über die Spannung abfällt.

So wird der Bezugspunkt Masse, der ja eigentlich ruhen sollte, mit den Resten von Links + Rechts „verseucht“. Das ist ein summiertes Mono-Signal! Das kann man messen und hören, nämlich als Intermodulation bzw. Übersprechen!

Wie weiter oben dargestellt, spielen die Schaltung selbst (Ausgangsimpedanz), das Schaltungslayout, das Kabel des Kopfhörers, das Verhältnis zwischen der Summe von Masse und Rückleitungswiderstand zu Last-Widerstand (Schwingspule) tragende Rollen.

## Vorteile symmetrischer Kopfhörerverstärker

Ein symmetrischer Verstärker (oder Vollbrücken- oder Push-Pull- oder BTL-Verstärker) besteht deshalb aus zwei Verstärkern pro Kanal, von denen einer das „Normale“, der andere das um 180° Phasen-gedrehte

(invertierte) Eingangssignal an die Schwingspulen des Kopfhörer liefert.

Da die Last (die Schwingspule) jetzt zwischen der modulierten positiven und negativen Betriebsspannung „hin und her gezogen“ wird, ist die Masse vollkommen aus dem Spiel. Sie ist nicht mehr belastet und hat damit auch keinen Einfluss auf das Übersprechen. Auch die Leitungen des Kopfhörers gehen nicht mehr, zum Teil gemeinsam, zum Teil getrennt, in die Wirk-Bilanz ein, sondern sind ganz klar zugeordnete ohmsche Lasten (nämlich je zwei Leitungen pro Schwingspule) mit sehr geringen komplexen Impedanzanteilen.

Symmetrische Kopfhörerverstärker stehen für eine **besonders hohe Kanaltrennung**.

Der besondere Vorteil eines symmetrischen (Kopfhörer-) Verstärkers ist also die hohe Kanaltrennung. Die Kanaltrennung ist üblicherweise auch bei „Standard“ Verstärkern meist so hoch, das sich keiner beschwert – viele wissen aber auch nicht, wie es „besser“ geht.

Auf Grund der IKL (Im-Kopf-Lokalisation) wird die besonders hohe Kanaltrennung beim hören mit Kopfhörern, teilweise auch als „unnatürlich“ empfunden und z.B. durch „Crossfeed“ künstlich reduziert



BEIM HÖREN MIT  
SYMMETRISCHEN  
KOPFHÖRERN  
IST MAN TEIL DES  
„ORCHESTERS.“

Die optimierte Übersprechdämpfung und die geringere Intermodulation – die reinere Kanaltrennung – sind aber der Grund für das Aha-Erlebnis, das viele beim symmetrischen Kopfhörer (-Verstärker) empfinden.

Die Räumlichkeit gewinnt, die Abbildungsschärfe nimmt zu, die Ortbarkeit einzelner Instrumente im Raum wird klarer.

Um es plakativ auszudrücken: Beim Hören mit Lautsprechern sitzt man im Auditorium. Beim Hören mit „normalen“ Kopfhörern wechselt man auf den Platz des Dirigenten. Beim Hören mit „symmetrischen“ Kopfhörern ist man Teil des Orchesters.

### **Vorteile des symmetrischen Ausgangs**

Ein technischer Vorteil des symmetrischen Ausgangs ist, dass man jetzt endlich von dem unseligen Klinkenstecker mit seinen teils dramatischen Übergangswiderständen weg muss / kann. Wobei die Verwendung von 2 Stück 3-pol XLR die man hin und wieder sieht, ebenfalls Sinnhaftigkeit vermissen lässt! Auch die Variante mit 2 Stereo-Klinkenstecker gibt es ...

Bei LAKE PEOPLE / Violectric hat man sich für einen 4-poligen XLR-Anschluss als Ausgangsbuchse entschieden, mit einer Belegung die seit den Tagen des AKG K1000 gebräuchlich ist. Jedoch abweichend von der Norm die Buchse (female) am Gerät und ohne Verriegelung (Latch), Stecker (male) am Kopfhörerkabel.

### **Symmetrische Kopfhörer**

Bleibt die Frage, ob und wie man vorhandene Kopfhörer auf symmetrischen Betrieb umrüsten kann, wenn es sie nicht gleich symmetrisch gibt.

Generell gilt: wenn das Kabel vierpolig ausgeführt ist, ist alles kein Problem. Dies ist meist der Fall, wenn das Kabel in die linke UND rechte Hörmuschel eingeführt wird.

Es wird einfach die Klinke abgeschnitten und ein 4-pin XLR drangelötet.



VIOLET

HPA V200



VOLUME +



VIOLET

DAC V800



VOLUME +

COAX



OPTO



MUTE ON



ERROR

OF



LOCK



BE

INPUT SELECT

MUTE

R

- 4 -

# DIE KOPFHÖRER- VERSTÄRKER DER FIRMA LAKE PEOPLE

Seit 1986 sind wir Ihr Partner für professionelle Audioelektronik.

Nach dem Motto „**Tools – not Toys**“ haben wir seitdem das Vertrauen unserer Kunden im Studiobereich, bei Rundfunk- und Fernsehanstalten gewonnen und gesichert. Auch Flughäfen, Messen, Veranstaltungs- und Kongresszentren setzen auf die Qualität unserer Produkte Made in Germany.

Alles fing an unter dem Dach der Rosgartenstraße 13 in Konstanz. Hier begannen drei junge Leute mit der nicht sonderlich erfolgreichen Entwicklung und Fertigung von Limitern und Noise-Gates. Das wirtschaftliche Überleben auf niedrigem Niveau wurde durch den Bau von Kopfhörerverstärkern gesichert.

Die erste Entwicklung ging dabei auf eine Anregung von Lupo Greil zu-

rück, damals Chef des Music Shop in München. Er benötigte einen Kopfhörerverteiler, der gern auch aktiv sein könnte.

Unsere Gedanken zu diesem Thema gefielen ihm, so dass noch im LAKE PEOPLE Gründungsjahr der **Phone-Amp V6** entwickelt wurde und für umgerechnet 270 Euro zum Verkauf stand.

Das Gerät fand schnell zufriedene Nutzer, die jedoch manchmal die etwas unzureichende Lautstärke an den damals üblichen hochohmigen Kopfhörern bemängelten.

In der Tat war das Innenleben des **V6** eher „gewöhnlich“. Die zur Verfügung stehenden Betriebsspannungen von  $\pm 15V$  ließen den nötigen Spannungshub für die Lautstärkehungrige Klientel nicht zu.

## 1988

Schon 1988 wurde deshalb das Portfolio um den **Phone-Amp V6 HP** (High Power) ergänzt, der aus 60 Volt (+/- 30 V) Betriebsspannung an hochohmigen Lasten (>200 Ohm) satte 20 Volt effektiv liefern konnte. Das grundsätzliche Konstruktionsproblem bestand darin, das Gerät bei sehr kompakten Abmessungen kurzschlussfest zu bekommen – was mit einem speziellen temperaturüberwachten Trafo gelang. Der **V6 HP** kostete ca. 320 Euro.



## 1989

Ab 1989 gab es den **Phone-Amp V6 HP** mit gleichem Namen als **AKG** Produkt, auch gab es in diesem Jahr mit dem **V6 HPS** die erste Sonderanfertigung für den damaligen SDR, den Süddeutscher Rundfunk in Stuttgart.

## 1990

Ab 1990 wurden die Kopfhörerverstärker mit dem Namenszusatz „Pro“ als **V6 Pro** und **V6 HP Pro** auch mit

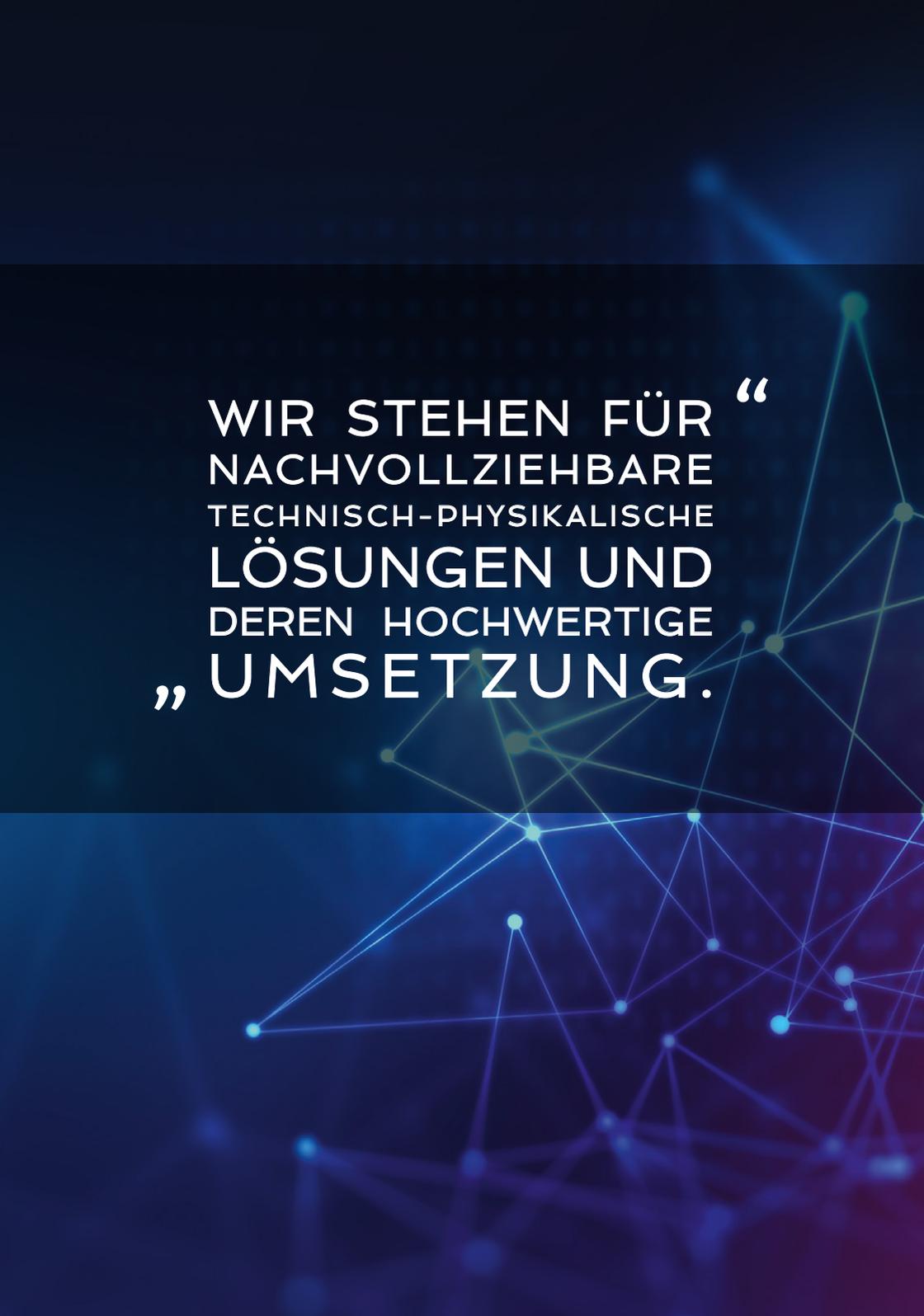
symmetrischen Eingängen angeboten. Diese kosteten ca. 350 bzw. 400 Euro.

Eine Neuentwicklung des Jahres 1990 war der **G1 HP**, mit den Abmessungen 110x56x80 mm der wohl kleinste Kopfhörerverstärker der Welt, mit eingebautem Netzteil für ca. 175 Euro. Den gab es auch offen, ohne Gehäuse zum Selbsteinbau als **G2**.



Eine weitere Entwicklung für den SDR war der **Satellit G7**, ein Kopfhörerverstärker mit eingebautem 8-Kanal Mischpult, betrieben über ein 36-poliges Systemkabel mit Centronics Steckverbindern. Der verkaufte sich anschließend an praktisch alle deutschsprachigen Sender.





WIR STEHEN FÜR  
NACHVOLLZIEHBARE  
TECHNISCH-PHYSIKALISCHE  
LÖSUNGEN UND  
DEREN HOCHWERTIGE  
„UMSETZUNG.“

Mit der Entwicklung der ersten **20bit A/D- und D/A-Wandler** Deutschlands Anfang der 90er Jahre war LAKE PEOPLE plötzlich in aller Munde und erlangte ausgesprochen publizitätswirksame Hightech-Attribute.



Mit dem gewachsenen Know-How wurde die Produktpalette in den folgenden Jahren im analogen und digitalen Bereich kräftig ausgebaut.

### 1991

Ab 1991 wurden die jetzt wieder bei LAKE PEOPLE befindlichen **V6** und **V6 HP** in **G5** und **G6** umbenannt und natürlich auch in der Pro-Ausführung verkauft.

### 1992

Seit 1992 gab nur noch „HP“ Kopfhörerverstärker. Die „normalen“ und auch das „HP“ zur Unterscheidung entfielen ersatzlos.

Der **Satellit G7** wurde zum **G7MkII** und in einer weiteren Ausführung zum **G14**.

### 1995

1995 wurden die bisherigen Kopfhörerverstärker völlig neu konstruiert und erschienen als einfacher **Phone-Amp G3** (unsym. Eingänge) für ca. 200 Euro, als **G3 Pro** mit symmetrischen Eingängen für ca. 250 Euro und als **Deluxe Phone-Amp G8** für ca. 300 Euro.

### 1999

1999 brachte noch einmal überarbeitete Kopfhörerverstärker mit neuer Technologie.

Wurde bis jetzt eher auf eine maximal erzielbare Lautstärke Wert gelegt, so sollte nun bei unverändert hoher Lautstärke auch die Übertragungsqualität sehr gut sein.

Der hierfür entwickelte Verstärker tut im Prinzip auch im **G109** und im **V100** seinen Dienst. Die frischen Kopfhörerverstärker hießen nun **G92**, **G94** und **G96** zu Preisen von 220 bis 320 Euro.

### 2000

Schon im Jahr 2000 wurde der **G92** durch den relativ günstigen **G91 Std** (ab 170 Euro) und **Pro** ersetzt.

### 2001

Das Jahr 2001 sah den Nachfolger des **G7**, den **Satellit G98** für ca. 900 Euro.

## 2004

Ab 2004 gab es die aus den **G94** und **G96** weiter entwickelten **G95** und **G97**, der **G91** wurde 2005 zum **G93**.

## 2005

Unsere Geräte wurden nicht nur im Studio sondern auch gern zu Hause eingesetzt. Im Jahr 2005 reifte deshalb der Entschluss, den **G97** mit einem Premium-Poti Alps RK27 als **G99** für den Heimbereich zu lancieren. Das war so erfolgreich, das 2008 der **G99**, weiter veredelt, als **G100** mit Ringkerntrafo, optimierter Schaltung und RK 27 erschien – letztlich der Urahn der Vioelectric Geräte.

## 2009

Die Marke Vioelectric wurde 2009 begründet, die ersten Geräte waren die Kopfhörerverstärker **HPA V90** als Einstiegsmodell, der **HPA V100**, eine Weiterentwicklung des **G100** und als Spitzengerät der **HPA V200** mit einer Verstärkertechnik die einzigartig war und ist.



## 2010

Das Jahr 2010 sah mit dem **HPA V181** den ersten deutschen Kopfhörerverstärker mit symmetrischem Ausgang.

## 2012

2012 erschienen die optisch und technisch verbesserten LAKE PEOPLE Kopfhörerverstärker **G103**, **G105**, **G107** und **G109**.

## 2014

Ab 2014 wurden mit den Modellen **HPA V220** und **V281** die aufwendigsten, besten und auch teuersten Kopfhörerverstärker bei Vioelectric realisiert, in die all das Wissen und die Erfahrungen der letzten 3 Jahrzehnte eingeflossen sind.





**ZUKUNFT** “  
„ BRAUCHT HERKUNFT!

## 2015

2015 wurde das Vioelectric Programm gestrafft und die Verstärker **V90** und **V100** entfielen.

Seitdem wird auch die „**V100 Technologie**“ (4 Transistoren pro Kanal, **G105**, **G107**, **G109**, **RS 02**, **RS 08**) von der „**V200 Technologie**“ unterschieden (8 Transistoren pro Kanal, **V200**, **V280**, **V281**), die Vioelectric vorbehalten bleibt.

Außerdem wurde 2015 mit dem **HPA V280** ein „einfacher“ symmetrischer Verstärker ins Vioelectric Programm aufgenommen.



Ende 2015, zum 30. Bestehen von LAKE PEOPLE, erschien der **PHONE-AMP G109-A** als Statement und Exklusiv-Model „30 Years of Excellence Special Anniversary Edition 1986 – 2016“

## 2016

2016 wurde die Premium Reihe von LAKE PEOPLE (RS Series = Reference Standard) um die Kopfhörerverstärker **RS 02** (unsymmetrisch) und **RS 08** (symmetrisch) ergänzt.



## 2018

Im Mai 2018 wurden unter der Marke Niimbus die Kopfhörerverstärker **US 4** und **US 4+** präsentiert. Dies sind letztlich Weiterentwicklungen des **V281** in denen all die Erfahrung steckt, die in über 30 Jahren LAKE PEOPLE gewonnen wurde.



Niimbus bedient sich äußerlich einer eigenen Formensprache und innerlich einer verschwenderischen Schaltungs-Komplexität die wohl einzigartig ist.

ZUKUNFT BRAUCHT HERKUNFT!

# nimbus

# LAKE PEOPLE

# VIOELECTRIC

**LAKE PEOPLE electronic GmbH**

Turmstr. 7a, 78467 Konstanz, Germany

Telefon: +49 7531 73678

Fax: +49 7531 74998

[info@lake-people.de](mailto:info@lake-people.de)

[www.lake-people.de](http://www.lake-people.de)

## **Weltweiter Vertrieb:**



**cma audio GmbH**  
Sammelweisstr. 8,  
82152 Planegg, Germany

Tel: +49 89 9788038-0  
[gmbh@cma.audio](mailto:gmbh@cma.audio)  
**[www.cma.audio](http://www.cma.audio)**