



Ein Aufsatz zum Thema „Schnelligkeit“ von Audio-Verstärkern

## Wie „schnell“ ist ein Audioverstärker – und was bedeutet das für den Klang?

Welche Geschwindigkeit bieten Audio-Programme?

Kaum eine Komponente einer HiFi-Kette gibt eine Frequenz von mehr als 20 Kilohertz (kHz) heraus. Analogschallplatten noch weniger - und noch viel weniger, etwa 12kHz, ein UKW-Stereo-Sender. CD-Player werden wegen möglicher Störungen durch die Abtastfrequenz steifflankig bei 20kHz befiltert.

... und wie schnell ist das Ohr?

Zunächst ist festzustellen, dass das menschliche Ohr schon deutlich unter 20.000Hertz (20kHz) Schluss macht. Auch die Analogschallplatte liefert entgegen verbreiteter Vorurteile nicht mehr. Beim gleichzeitigen Auftreten verschiedener – auch unhörbarer – Schallanteile werden wieder hörbare Frequenzen erzeugt. Diese werden nicht in Form ihrer Bestandteile, sondern als akustische Summe wahrgenommen; es entsteht eine sogenannte Hüllkurve – die wird als „Umhüllende“ bezeichnet und ist stets niedriger als die höchsten Einzelfrequenzen. Ein Tonträger oder ein Audioprogramm liefert nicht etwa die Einzelfrequenzen ans Ohr, sondern stets nur eine Umhüllende. Und das ist in der natürlichen Geräuschwelt nicht anders - auch nicht bei der Schallplatte.

**NF-Verstärker oder Kurzwellensender? - Frequenzgang von Audioverstärkern:**

Sehr verbreitet ist vor allem in der High-End-Audioszene der Glaube, ein Verstärker müsse möglichst 200kHz oder mehr liefern können. Nachfolgend soll der Frage nachgegangen werden, ob und wieviel Sinn das macht.

Die höchstmögliche Anstiegsgeschwindigkeit am Ausgang ergibt sich aus der höchstmöglichen Signalgeschwindigkeit am Eingang. Ein Verstärker muss diese Geschwindigkeit aber auch bei maximalem Strom und maximaler Spannung erreichen können. Ist er auch noch mit einem Sinussignal von 30kHz dazu in der Lage, erfüllt er eigentlich alle Anforderungen.

**Das Rechteck – akustisch "wertlos"**

Ein unbegrenztes Rechtecksignal von 30kHz muss ein Verstärker nicht übertragen können, allenfalls ein begrenztes. Mathematisch ist ein Rechtecksignal aus einer unendlichen Zahl von Sinusfrequenzen zusammengesetzt. Allerdings

- in der Musik kommen unbegrenzte Rechtecksignale nicht vor,
- Mikrofone könnten unbegrenzte Rechtecke nicht aufnehmen und
- Lautsprecher können unbegrenzte Rechtecke nicht reproduzieren.

Als begrenzt kann bei dieser Betrachtung ein Rechteck mit Frequenzanteilen von nicht über 25kHz gelten.

Allerdings ist es möglich, ein Rechteck mit einem Rechteckgenerator zu erzeugen und dies als Spannungssignal über einen Verstärker einem Lautsprecher zuzuführen. Ein solches Signal kann mit einer sehr geringen Frequenz als Testsignal erzeugt werden und wird dann an der abfallenden Flanke durch die Hochpassfunktion eines Verstärkers verschliffen. Es

sollte deshalb nicht unter 15 Hz erzeugt werden. Mit diesem Rechteck schnellte die Lautsprechermembrane in eine Richtung, bleibt kurz stehen und eilt dann in die Ausgangslage zurück. Zwei Impulse werden so erzeugt, die akustisch als zweimaliges Knacken wahrgenommen werden. Sonst nichts.

### **Das Rechteck – nur aufschlussreich zum Testen**

Ein Rechteck eignet sich zuweilen gut als Testsignal. Die Lautsprechermembrane soll nach einer Bewegung unverzüglich ohne überzuschwingen stoppen und nach Rückkehr in die Ausgangsposition ebenfalls ohne Überschwingen stehen bleiben. Dies hat allerdings nichts mit der Schnelligkeit eines Verstärkers zu tun, sondern lediglich mit dem [Dämpfungsfaktor](#). Ausschließlich wie schnell die Membrane in beide Richtungen beschleunigt wird, sagt etwas über die Schnelligkeit eines Verstärkers aus. Alle Anforderungen sind aber erfüllt, wenn die Beschleunigung einem 25kHz-Sinussignal entspricht.

### **Befilterung muss sein...**

Musterbeispiel ist auch in dieser Hinsicht wieder der ABACUS-Transkonduktanzverstärker. Dieser wird nach oben mit einem Bessel-Tiefpassfilter zum Beispiel bei 75kHz ([Ampino](#)) gebremst. Andere Verstärker enthalten auch Tiefpassfilter, allerdings nur mit einfacher RC-Kombination. Diese Tiefpass-RC-Kombination befindet sich generell bereits im Eingang der Schaltung und dient dort als Tiefpass zur Hochfrequenzunterdrückung.

### **Befilterung... aber um welchen Preis?**

Eine RC-Kombination folgt in der Befilterung und der Phasenlage einer Exponentialkurve und hat erst unterhalb von 1/5 der Nennfrequenz keine nennenswerte Dämpfung mehr. Ein solches Filter, das für 50kHz dimensioniert wird, hat erst unterhalb von 10kHz eine vertretbare Dämpfung, aber der Phasenfehler beträgt dann immer noch etwa 10 Grad. Bei Nennfrequenz ist die Dämpfung -3dB, also 0,707 vom Maximum und die Phasenverschiebung ist 45 von maximal 90 Grad. Die Dämpfung und die Phasenverschiebung werden mit abnehmender Frequenz kleiner und sind dann bei einem Fünftel der Nennfrequenz praktisch bedeutungslos.

Die hier vorgetragenen Erkenntnisse könnten der Grund dafür sein, dass von einem konventionell aufgebauten Verstärker wenigstens 200kHz erwartet werden.

### **ABACUS-Verstärker - optimal mit Filter nach Bessel**

Ein Bessel-Filter ist generell aktiv aufgebaut. Es hat

- eine wesentlich größere Flankensteilheit,
- weniger Phasenverschiebung und
- eine konstante Gruppenlaufzeit im relevanten Frequenzbereich.

Symptomatisch für ein Bessel-Filter ist die Sprungantwort in Form nur eines Überschwingers nach der ansteigenden Flanke eines unbegrenzten Rechtecksignals.

Innerhalb der Befilterung hat der ABACUS-Verstärker die Fähigkeit, auch auf Frequenzen weit oberhalb von 75kHz zu reagieren. Auch deshalb sind die Verzerrungen bei diesem Verstärker von Haus aus vernachlässigbar gering. Absolut unerreicht ist die Fähigkeit des ABACUS-Verstärkers, bei jeder Tonfrequenz und Phasenverschiebung des Lautsprecherstroms den erforderlichen Strom und die entsprechende Spannung zu liefern.

**Er ist zwar unübertroffen schnell, der ABACUS-Verstärker, aber Chopins Minutenwalzer in 45 Sekunden – das schafft er auch nicht...**

**September 2009 - es**