

## Einige Fakten zur Komplexität von Frequenzweichen

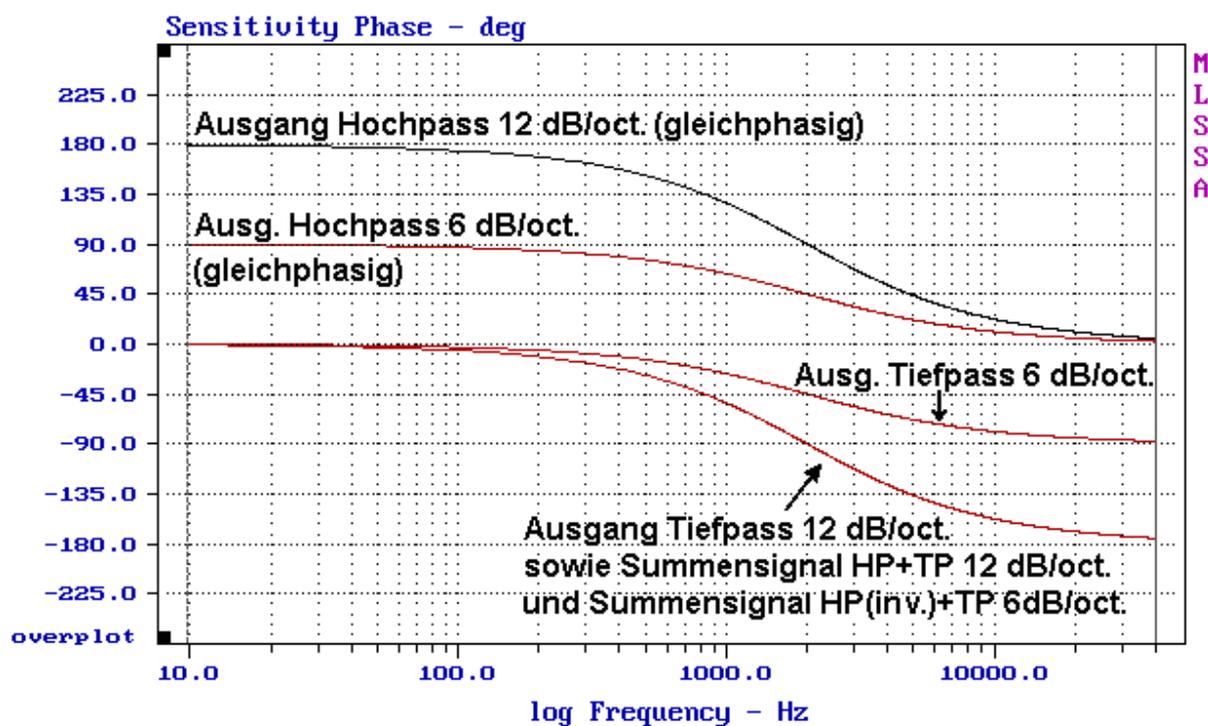
(leicht gekürzte Version)

Viele „High-End-Fans“ sind sehr stark von einer esoterischen Grundhaltung geprägt. Hier gibt es manchmal fast religiösen Fanatismus und die „seltsame“ Aussage „jedes Bauteil verfälscht den Klang“.

Man könnte mit gleichem Recht sagen: „jede Fahrrad-Speiche erhöht die ungefederte Masse des Rades“. - Also sollte man am Besten nur 1 oder 2 Speichen pro Rad einsetzen!

Oder: „Jedes Rad erhöht den Rollwiderstand“. – Wer käme auf die Idee, auf ein Einrad umzusteigen, um den Rollwiderstand zu bekämpfen?

Aktive 6 dB-Weichen können *tatsächlich* so aufgebaut werden, dass im elektrischen Summsignal keine Gruppenlaufzeit erscheint. Das ändert sich jedoch sofort, wenn noch die Lautsprecher-Chassis in's Spiel kommen. Die 90 Grad Phasenverschiebung der Weiche zwischen Hoch- und Tiefton-Kanal kann man dabei ganz gut verschmerzen, weil das im *Summsignal* wieder kompensiert wird. - Aber die *Lautsprecherchassis selbst* verhalten sich ebenfalls wie Filter und packen noch einmal jede Menge „verschobene Phase“ dazu. Bei Lautsprechern mit 6 dB-Weichen wird der Hochtöner praktisch immer verpolt angeschlossen. Verpolte 6-dB Weichen haben im Summsignal jedoch *genau die* Phasendrehungen und Gruppenlaufzeiten wie 12-dB Weichen! Damit verspielt man den theoretischen Vorteil von „sauberer Phasenlage“ und „null group delay“ ohnehin von vornherein – mit den Nachteilen muss man dann aber leben!



Ein weiteres Missverständnis bei *passiven* 6 dB-Weichen kommt wahrscheinlich daher, dass in praktisch allen Publikationen davon ausgegangen wird, dass man ein Lautsprechersystem näherungsweise als „ohmschen“ Widerstand betrachten kann; - oft sogar in Verbindung mit (völlig untauglichen) Formeln über Eckfrequenz und Phasenlage der Weiche.

Beim Hörempfinden ist die Frage, was „guter Klang“ ist, nicht so klar zu beurteilen wie die Entscheidung, wer einen 100-Meter-Lauf gewonnen hat. – Trotzdem sind die Ergebnisse recht gut reproduzierbar, wenn die Jury erfahren, gut ausgeruht und kritisch ist.

Bei „Updates“ unserer Boxen gehen wir sehr pragmatisch vor. Wir laden grundsätzlich kompetente Leute (auch aus der Tonstudio-Technik) ein und machen aufwändige Hörtests mit verschiedenen Gehäuse-Geometrien und Weichen-Konzeptionen; - erst dann entscheiden wir, welche Entwicklung das bisherige Modell ablösen soll. – Es kam auch schon öfter vor, dass Verbesserungen, die messtechnisch eindeutig waren, gehörmäßig keinen merklichen Zugewinn an Klangqualität brachten. - Dann wurde das Update *nicht* durchgeführt.

Vor der Einführung der nuBox 360/5 haben wir 12 Varianten mit gleichem Gehäuseaufbau und 2 Prototypen mit „geteilter Schallwand“ aufgebaut und bis zur (jeweils möglichen) absoluten Perfektion getrieben.

Obwohl bisher noch nie eine Box mit 6 dB-Weiche gewonnen hat, entwickeln wir mit „stoischer Gelassenheit“ immer auch diesen Weichentyp (in Verbindung mit Allpass-Filtern und zusätzlichen Entzerrungskreisen) weiter.

Seit 1995 sind auch Aktivboxen mit DSP-Systemen bei den Tests dabei; - sie haben *immer* gewonnen. - Manchmal mit relativ kleinem Abstand, - manchmal sehr deutlich.

Folgende Varianten der nuBox 360 wurden mit einer recht komplizierten Auswertung der Ergebnisse (Doppel-Blind-Tests mit perfekt schalldurchlässigem Moskito-Netz) miteinander verglichen:

- Aktiv-Box mit DSP-Weiche und 17 IIR-Entzerrungs-Filtern, mit FIR-Laufzeit-Kompensation.
- Passiv-Box mit optimal gedämpften Weichen (Basis 12 dB) und zusätzlichen Entzerrungsgliedern, die die Filtersteilheit erhöhen. Laufzeit-Kompensation durch Allpass-Funktionen.

- Aktiv-Box mit „Dämpfungs-Komponenten“ mittels zusätzlicher Passiv-Weiche.
- Passiv-Box, Basis 12/18 dB, mit Entzerrungsgliedern, ohne Laufzeit-Kompensation. (Also „Serien-360“)
- Aktiv-Box (ohne DSP) Filtersteilheit 24 dB, Laufzeit-Kompensation mit Allpass-Filtern.
- Aktivbox, Filtersteilheit 18 dB, ohne Laufzeit-Kompensation.
- Aktivbox, Filtersteilheit 12 dB, mit Allpässen (anstelle Umkehrung der Hochtöner-Polung)
- Aktivbox, Filtersteilheit 12 dB ohne Allpässe, mit verpoltem Hochtöner
- Aktivbox, Filtersteilheit 12 dB mit Laufzeit-Kompensation durch zurückversetzen Hochtöner.
- Aktivbox, Filtersteilheit 6 dB mit Allpass-Delay, gleichphasig angeschlossener Hochtöner.
- Aktivbox, Filtersteilheit 6 dB mit verpoltem Hochtöner ohne Time-Delay am Hochtöner.
- Passivbox, Filtersteilheit 6 dB mit verpoltem Hochtöner ohne Time-Delay am Hochtöner.
- Passivbox, Filtersteilheit 6 dB mit verpoltem Hochtöner und mit um 3.4 cm zurückversetztem Hochtöner (Unterschied des Akustischen Zentrums TT / HT).
- Passivbox, Filtersteilheit 6 dB, mit *gleichphasig* gepoltem, extrem (15.9 cm) zurückversetztem Hochtöner. - Also 3.4 cm, um das akustische Zentrum TT / HT gleichzustellen, 8.5 cm um zusätzlich die halbe Wellenlänge der „Verpolung“ des elektrischen Signals zu simulieren und 4 cm um die Phasendrehung des Hochtöners selbst zu kompensieren.

Die „Zeitrichtigkeit“, die von „High-End-Fetischisten“ sehr hoch angesetzt wird, spielt im Bereich der Trennfrequenz (oberhalb etwa 1.5 kHz) offenbar nur eine untergeordnete Rolle. Viel unangenehmer sind Kantenbeugungs-Effekte und Reflexionen bei mechanisch zurückgesetzten Hochtönern.

Wenn es das Preislimit der nuBox 360 erlauben würde, könnte sie durch Erhöhung der Zahl der Bauteile (Allpass-Funktion in der Hochtöner-Weiche) klanglich noch leicht zulegen.

Selbst die **6 dB-Passiv-Version** der nuBox 360 war keinesfalls eine „schlecht“ klingende Box, obwohl sie im Hörvergleich deutlich abgeschlagen auf dem letzten Platz landete. Der sehr gleichmäßig abfallende Verlauf des Tieftöners oberhalb 2 kHz und die Dämpfung der Hochtöner-Resonanz durch Ferrofluid kommen der flachen Filtersteilheit entgegen. Sie konnte sich noch recht gut gegen einige andere Fabrikate behaupten, die aus deutlich höheren Preisklassen stammten.

Woran könnte es aber liegen, daß **vor allem die passiven** 6 dB-Weichen den Klang aber doch deutlich hörbar beeinträchtigen?

Am intensivsten hörbar ist (trotz allem) die nicht perfekte Unterdrückung der Hochtöner-Resonanz und ein Anstieg des Klirrfaktors im Bereich der Trennfrequenz, (aber auch bis 1 Oktave darunter).

Der theoretische Vorteil von 6 dB-Weichen (**Null Group-Delay**, deshalb **perfektes Rechtecksignal** bei gleichphasiger Summierung des elektrischen Signals), wird durch Einfügen der Lautsprecher-Chassis in die Kette dramatisch verschlechtert, - dabei wird das Ergebnis bezüglich Zeitverhalten ähnlich bei 12 dB-Weichen. (Höhere und ungleichmäßigere Durchlaufzeiten („group delay“). – Die Klirrwerte und die Interferenzen zwischen den Chassis steigen aber dramatisch!

Wenn jemandem Boxen mit passiven 6 dB-Weichen gut gefallen, dann vielleicht, obwohl sie *nur ein* Bauteil in der Weiche haben; - ziemlich sicher nicht weil sie nur ein Bauteil haben.

Die Filter-Theorie, die bei 6 dB-Weichen „nur“ 90 Grad Phasenverschiebung zwischen Hoch- und Tieftöner beschreibt, gilt nur für rein „ohmsche“ Lasten. Ein Lautsprecher ist aber alles andere als ein ohmscher Widerstand. In der Praxis erhält man daher Werte von 160 bis 180 Grad Phasenverschiebung, weshalb Boxen mit 6 dB-Weichen praktisch immer mit „verpoltem“ Hochtöner betrieben werden müssen.

Weitere Nachteile sind schlecht unterdrückte Hochtöner-Resonanz, eingengter vertikaler Winkelbereich infolge zu breitem Überlappungsbereich und stark ansteigender Klirrfaktor im Hochtonbereich bei höheren Lautstärken.

Mit 12 dB - Weichen kann man unter Ausnutzung der Chassis-Eigenschaften und mittels zusätzlicher Weichen-Komponenten auch bei gleichphasig gepolten Chassis die Phasenverschiebung zwischen Hoch- und Tieftöner bei „null“ halten. Obwohl es damit (ohne DSP-Systeme) *auch mit diesem Weichentyp theoretisch nicht* möglich ist, eine konstante Gruppenlaufzeit zu erzielen, redet eigentlich seit 20 Jahren kaum noch jemand über 6 dB-Weichen; - außer einiger „unverbesserlicher Highender“.

#### Zur sogenannten „Zeitrichtigkeit“:

Dass die (z.B.) MLSSA-Sprungfunktions-„Zeitrichtigkeit“ (Step-Response) *unterhalb etwa 700µs* irgendeinen „wichtigen“ Einfluss auf den Klang hat, wird seit einigen Jahren kaum noch diskutiert. Vor allem im englischsprachigen Raum gibt aber noch einige (eher „esoterisch“ angehauchte) Fachzeitschriften, die solche Zusammenhänge verbreiten. Die meisten maßstabsetzenden Fachleute (z.B. in der Audio Engineering Society) behaupten: oberhalb 1500 Hz ist das damit verknüpfte „group delay“ gehörmäßig nicht unterscheidbar.

In unseren eigenen, extrem ambitionierten Hörtests kam immer wieder heraus, dass das „Richtigstellen“ von group delay (mit DSP-Systemen) unterhalb 1500 Hz *merklich*, unter 1 kHz *deutlich*, aber oberhalb 1.5 kHz *gerade noch unterscheidbar* ist; - aber weniger Unterschied ausmacht als eine Pegeldifferenz von 1 dB zwischen den Testkandidaten oder Frequenzgang-Verfälschungen von  $\pm 2$  dB (relativ zum Vergleichs-Lautsprecher).

Die meisten grundsätzlichen Überlegungen zu diesem Themenkreis werden von uns ständig neu angestellt und gehörmäßig sowie messtechnisch überprüft.

Mit freundlichem Gruß,

Günther Nubert