

## **Ohr und Lautsprecher**

Das menschliche Hörvermögen überdeckt den Frequenzbereich von 16 bis 16.000 Hz, also volle 10 Oktaven! Ein Lautsprecher der tiefe Frequenzen abstrahlen kann muss eine große Fläche, eine schwere Membran und eine weiche Einspannung haben, einer der hohe Frequenzen kann muss hingegen leicht, klein und hart aufgehängt sein. Diese Anforderungen sind so diametral entgegengesetzt, dass es bis heute keinen Vollbereichslautsprecher gibt und wahrscheinlich auch nie geben wird. Man erkennt das auch daran, dass alle Referenzboxen in allen Ländern Dreiwegelautsprecher mit einem speziellen Basslautsprecher, Mitteltonlautsprecher und einem kleinen Hochtöner sind. Solche Mehrwegesysteme benötigen eine Frequenzweiche, die den einzelnen Spezialisten ihren passenden Frequenzbereich zuweist.

## **Die Frequenzweiche**

Die Frequenzweiche ist also eigentlich kein notwendiges Übel sondern extrem wichtiger Baustein einer Mehrwegbox. Sie entscheidet, ob ein Lautsprecher natürlich klingt oder nicht. Sie entscheidet über die Belastbarkeit, die Räumlichkeit und das Impulsverhalten. Für passive Lautsprecherboxen gibt es drei Bauteile, die zum Einsatz kommen können: Spulen, deren Widerstand zu hohen Frequenzen zunimmt, Kondensatoren, deren Widerstand hierzu im Gegensatz zu hohen Frequenzen immer kleiner wird und Widerstände, die frequenzunabhängig arbeiten und damit den gesamten Frequenzbereich eines Chassis gleichmäßig leiser machen.

Eine Frequenzweiche für einen Zweiwegelautsprecher besteht also im Minimalfall aus einer mittelgroßen Spule vor dem Basslautsprecher, die den Arbeitsbereich des Tieftöners nach oben begrenzt und einem mittelgroßen Kondensator vor dem Hochtöner, der die tiefen Frequenzen sperrt und den Hochtöner idealerweise bei der Frequenz einsteigen lässt, wo der Basslautsprecher aufhört. Eine solche Frequenzweiche wird auch als Filter 1. Ordnung bezeichnet, da jeweils nur ein Bauteil zum Einsatz kommt.

Ein solches Filter 1. Ordnung hat leider die unangenehme Eigenschaft, dass Frequenzen ab der Trennfrequenz nicht unendlich stark sondern langsam zunehmend gesperrt werden, genauer gesagt mit 6 dB pro Oktave. Bei einer Verdoppelung der Frequenz (Oktave) ist der Schalldruck also erst um 6 dB abgesunken. Als Anhaltspunkt kann man sich merken, dass eine Schalldruckerniedrigung von 10 dB als halbe Lautstärke empfunden wird. Ein Basslautsprecher, der z.B. ab 1000 Hz so gesperrt wird, besitzt bei 3175 Hz immer noch die halbe Lautstärke. Umgekehrt wird dem Hochtöner mit einem solchen Filter sehr viel zugemutet, da ja die Sperrwirkung eines Kondensators für tiefe Frequenzen entsprechend schlecht ist. Der Überlappungsbereich, also der Frequenzbereich in dem beide Lautsprecherchassis arbeiten und hörbar sind, erstreckt sich also über mehrere Oktaven, was natürlich kein sehr befriedigender Zustand ist.

Durch Verwendung zusätzlicher Bauteile kann man aber Filter höherer Ordnung, also Filter mit höherer Steilheit, erzielen. So baut man mit einer Spule und einem Kondensator z.B. ein Filter 2. Ordnung, also mit einer Steilheit von 12 dB, auf. Je nach Anordnung erhält man einen Tiefpass (Spule – Kondensator), also ein Filter, das hohe Frequenzen sperrt oder einen Hochpass (Kondensator – Spule), also ein Filter, das tiefe Frequenzen sperrt. Man erkennt sofort, dass der Überlappungsbereich jetzt deutlich kleiner ist.

Durch die Verwendung eines weiteren Bauteils lassen sich entsprechend Hochpass- und Tiefpassfilter mit 18 dB/Oktave realisieren.

Je steiler also die Filter, desto kleiner der Überlappungsbereich, desto mehr nähert man sich dem akustischen Ideal des unendlich steilen Filters, bei dem der Überlappungsbereich

praktisch null ist. Dadurch steigt natürlich auch die Belastbarkeit des Lautsprecher-Systems, weil der Lautsprecher keine Energie verarbeiten muss, die er eh nicht abstrahlen soll. Entsprechend niedrig ist der Klirrgrad dieses Lautsprechers. Und ein hoher Klirr ist etwas sehr Unangenehmes!

**Zur Information: unsere Isophon-Lautsprecherboxen arbeiten aus den oben genannten Gründen mit extrem steiflankigen Filtern. Wir haben ein Schaltungsprinzip entwickelt, mit dem wir Steilheiten von über 50 dB/Oktave realisieren. Diese setzen wir mittlerweile in allen unseren Lautsprechern ein. Fachzeitschriften haben das diverse Male nachgeprüft und als richtig bestätigt. Der Überlappungsbereich geht damit praktisch gegen null.**

**Noch einmal zur Klarstellung: der oben dargestellte Sachverhalt ist physikalisch und mathematisch unantastbar und keine Ansammlung von Marketinglügen, wie so oft schon im Leben gesehen. Dieser Text hält jeder Prüfung stand!**

Weil er richtig ist, haben wir auch viel Zeit darauf verwendet, solch steiflankige Filter zu entwickeln.

### **Das Impulsverhalten**

Es gibt nach wie vor Hersteller, die auf flache Filter (oftmals 6 dB/Oktave) setzen. Sie behaupten immer, viele Bauteile verschlechtern das Impulsverhalten. Flache Filter wären angeblich schneller.

Die Wahrheit ist allerdings komplizierter. Nicht die Frequenzweiche alleine bestimmt das Impulsverhalten sondern auch das verwendete Lautsprecherchassis und das Gehäuse. Genauer gesagt bilden das System Gehäuse (inkl. Dämmmaterial) – Frequenzweiche – Lautsprecherchassis ein elektroakustisches System, das Filtereigenschaften hat, die sich durch die Wechselwirkung der drei Teile ergeben. Verwendet man also eine Frequenzweiche, die bei einem Lautsprecher wunderbar funktioniert hat, so hat sie bei einem anderen Lautsprecher eine völlig andere Wirkung. Es gibt also keine Universalweichen im passiven Bereich, weil alles miteinander wechselwirkt. Ein Chassis mit derselben Frequenzweiche in einem anderen Gehäuse eingebaut – und schon ist der Hochpass ein anderer!

Wenn man sich diese gegenseitige Beeinflussung einmal verinnerlicht hat, erkennt man, dass die Aussage: „Eine aufwändige Frequenzweiche hat ein schlechtes Impulsverhalten“ unsinnig ist, denn nur das Gesamtsystem bestimmt das Impulsverhalten.

Im Klartext: setzt man einen „normalen“, herkömmlichen Kalottenhochtöner ab 3000 Hz mit einem 6-dB-Filter ein, so erhält man ein sogenanntes Tschebyscheff-Filter mit 3 dB Ripple, also ein sehr lang nachschwingendes, unangenehm klingendes Filter mit schlechtem Impulsverhalten. Erhöht man nun die innere Reibung der Lautsprecherschwingeinheit (niedrige mechanische Güte des Chassis), verhindert man das lange Nachschwingen, aber das Chassis wird träge und es klingt alles etwas müde, sprich man verliert Auflösung und Feindynamik.

Man erkennt: das Impulsverhalten eines Lautsprechers ist erstens einmal frequenzabhängig und zweitens sehr viele Details beeinflussen es maßgeblich. Ein perfekt konzipiertes Lautsprechersystem kann also trotz hoher Flankensteilheit ein sehr viel besseres Impulsverhalten haben als ein System mit 6-dB-Weiche!

Unsere Lautsprecher beweisen die Richtigkeit dieser Aussage.

**Zur Information: Wir konnten schon vor vielen Jahren zeigen, wie die Mathematik für die Berechnung eines Gesamtsystems aus Gehäuse – Frequenzweiche – Lautsprecherchassis funktioniert. Diese Berechnungen können von Fachleuten nachvollzogen und bestätigt werden.**

**Wir kennen derzeit aber nur zwei andere Hersteller weltweit, die über ähnliche mathematische Fähigkeiten verfügen.**

**Was hat das Alles mit Klang zu tun?**

Sehr vieles. Ein mathematisch berechnetes Lautsprechersystem wird vom Entwickler verstanden. Der Frequenzgang, das Phasenverhalten, das Impulsverhalten und die Abstrahlcharakteristik sind bekannt, man muss sich nichts „schön hören“.

Hat das System auch unter seitlichen Winkeln einen geradlinigen Frequenzgang, wird es „natürlich“ klingen. Bei gutem Impulsverhalten wird es dynamisch klingen und feine Details auflösen also hörbar machen. Bei gutem Phasenverhalten wird es räumlich klingen und sich vom Lautsprecher lösen. Bei breiter Abstrahlcharakteristik wird es luftig und transparent klingen, ohne dass der Hochtonbereich betont, also zu laut gemacht wird.

Klang ist etwas Subjektives. Klang ist keine Messung sondern eine Emotion, die im Gehirn erzeugt wird. Klang kann also nie allgemeingültig sein, aber die obigen Punkte schränken guten Klang doch schon sehr stark ein bzw. definieren ihn ganz zutreffend.

Die überwältigende Mehrheit von Hörern wird einen Lautsprecher, der obige Forderungen erfüllt, als gelungen und natürlich klingend beschreiben.

Zur Information: Betrachten Sie die Messergebnisse unserer Lautsprecher in der letzten 15 Jahren einmal unter all diesen Gesichtspunkten. Sie werden sehen, dass wir keinen Ausrutscher hatten sondern überall fantastische Gesamturteile, die mit den Messungen korrelierten.

Deshalb möchten wir Sie einfach animieren, sich eine unserer Lautsprecherboxen einmal in Ruhe anzuhören.