

Crossover

Unsere neue Serie „Die Anlage richtig einstellen“ zeigt, wie Sie alles aus Ihrer Anlage herauskitzeln. Los geht's mit der perfekten Justage von Frequenzweichen.



Von Wolfgang Bauernfeind

Die Vorfreude ist riesig: Eine neue kraftstrotzende Endstufe hat ihr Plätzchen im Kofferraum eingenommen, die sorgsam ausgesuchten Lautsprecher sind in den Türen verstaut. Jetzt noch schnell ein paar Grundeinstellungen vornehmen, und schon darf die Anlage zeigen, was sie kann. Schnell ein paar Grundeinstellungen vornehmen? Oh je, bloß wie?

An dieser Stelle greift der verzweifelte Einsteiger oft zur Tastatur und sendet hilfeschend E-Mails an die autohifi-Redaktion. Wo trenne ich meinen Subwoofer am besten vom Frontsystem? Brauche ich eine separate Aktivweiche? Wie gehe ich bei der Frequenzauftrennung prinzipiell vor? Der erste Teil der neuen autohifi-Serie „Die Anlage optimal einstellen“, die in diesem Heft startet, stellt sich dieser Problematik, vermittelt das nötige Wissen sowie Praxistipps.

Für jeden Bereich den passenden Lautsprecher

Grundsätzlich deckt jeder Speaker nur ein bestimmtes Frequenzspektrum ab: Große, schwere Membranen schwingen langsam und bedienen somit die unteren Frequenzen. Je kleiner und leichter die Membran wird, desto schneller kann sie schwingen – Stichwort Masseträgheit – und

folglich auch mittlere oder hohe Töne wiedergeben.

Betrachtet man den Frequenzgang eines Lautsprechers, fallen zwei Bereiche auf, an denen der Speaker leiser wird – zu erkennen daran, dass die Kurve rechts und links kontinuierlich abfällt. Hier muss er von einer Frequenzweiche ausgeblendet werden, um einem geeigneteren Lautsprecher die Arbeit zu überlassen.

Aktiv oder passiv?

Nahezu allen Zwei- oder Dreiwege-Lautsprecherkompos liegen passive Frequenzweichen bei 1. „Passiv“ bedeutet, dass in ihr keine strom- oder spannungsverstärkenden Bauteile wie etwa Transistoren stecken. Nur Spulen, Kondensatoren und Widerstände, so genannte passive Bauelemente, sorgen dafür, dass bestimmte Frequenzbereiche abgesenkt werden. Im Allgemeinen sitzen passive Frequenzweichen nach der Endstufe und direkt vor dem Speaker.

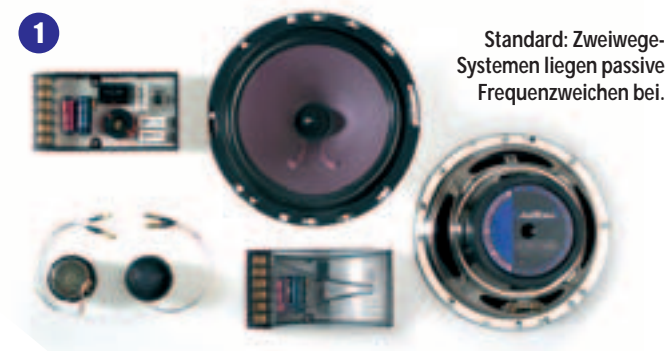
Der Vorteil solcher Weichen liegt auf der Hand: Die Entwickler können die Frequenzaufteilung passend auf die Speaker abstimmen. Dummerweise bringt genau das auch einen Nachteil mit sich, denn dem User stehen bis auf eine Pegelabsenkung im Hochtonzweig meist keine weiteren Abstimmungsmöglichkeiten zur Ver-

fügung 2. Nur bei wirklich teuren und aufwendigen Systemen lassen sich weitere Eingriffe vornehmen, zum Beispiel die Beeinflussung des Mittenpegels oder bestimmter Filtereigenschaften.

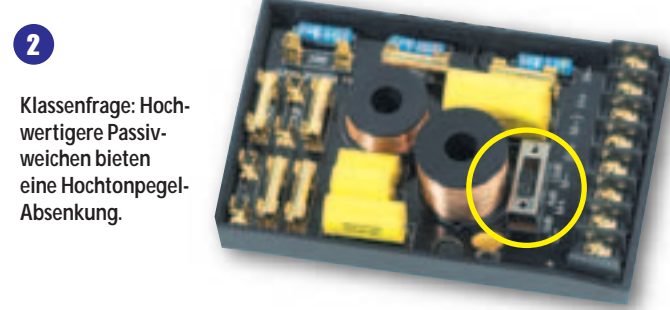
Dem gegenüber stehen aktive Frequenzweichen. Mit ihnen lässt sich ein Lautsprecher präzise in Pegel und Frequenzumfang justieren. Weiterer Vorteil: Da sie vor der Endstufe sitzen, müssen sie nur mit sehr geringen Leistungen umgehen, das heißt, dass

Also regeln wir nun die Ankopplung zum Frontsystem mithilfe einer im Verstärker integrierten Aktivweiche oder mit einer externen Aktivweiche, wie sie auch in digitalen Signalprozessoren (Alto UCS Pro, Alpine PXA H 701) verwendet wird. Auch in hochwertigen Radios sind meist DSPs mit flexiblen Filtern eingebaut 3.

Hochwertige aktive Frequenzweichen gestatten nicht nur eine Regelung der Übergangsfrequenz (für den Subwoofer sind Werte zwi-



Standard: Zweige-Systemen liegen passive Frequenzweichen bei.



2 Klassenfrage: Hochwertigere Passivweichen bieten eine Hochtonpegel-Absenkung.



3 Stellmodul: Externe, aktive Frequenzweichen bieten die umfangreichsten Einstellmöglichkeiten. Leichte Zugänglichkeit und Bedienkomfort machen sie zum Schlager.

Grundausrüstung: Gute Amps glänzen mit weitreichenden Einstellmöglichkeiten – Hochpass, Tiefpass oder sogar Bandpass können über stufenlose Drehregler justiert werden.



sie anders als Passivweichen keine nennenswerten Leistungsverluste erzeugen. Außerdem bleiben negative Einflüsse durch wechselseitige Beeinflussung passiver Bauelemente aus.

Von allem das Beste: Der Teilaktivbetrieb

Eine Mischung beider Filtervarianten, der so genannte Teilaktivbetrieb, ist dann am sinnvollsten, wenn wir einen Subwoofer an ein passiv getrenntes Frontsystem ankopplern wollen. Warum soll nun gerade der Subwoofer seine frequenzmäßige Obergrenze von einem Aktivfilter erhalten? Weil eine passive Trennung unter 100 Hz nur sehr unsauber gelänge und dröhnigen Sound, Verzerrungen und Impulsschwächen mit sich brächte. Außerdem fehlt die gerade für den Bass so wichtige Pegelsteuerung.

schen 40 und 120 Hz praxisgerecht). Auch die Flankensteilheit lässt sich einstellen. Diese beschreibt, wie wirkungsvoll der Frequenzgang ab einer gewählten Übergangsfrequenz im Pegel abfällt. Gemessen wird sie in Dezibel (dB) pro Oktave. Eine Oktave entspricht physikalisch gesehen einer Frequenzverdopplung bzw. Halbierung. Bei einer Flankensteilheit von 12 dB pro Oktave besitzt der Speaker also zum Beispiel bei 50 Hz 12 dB weniger Schallenergie als bei 100 Hz 4. Sollen zwei Frequenzbereiche besonders effektiv voneinander getrennt werden, ist die höhere Flankensteilheit die bessere. Kein Vorteil ohne Nachteil – je höher die Flankensteil-

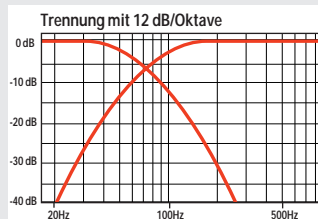


Hilfreich und gut: Radios gehobener Klasse besitzen integrierte DSPs, die die Filteranpassungen auf digitalem Wege über mathematische Algorithmen vornehmen. Eine hohe Präzision der Werte ist somit gewährleistet.

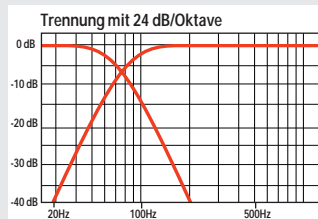


Königsklasse: Das umfangreichste Sortiment an Reglern und Stellern bieten externe digitale Signalprozessoren. Aufgrund ihrer Komplexität ist die Konfiguration per PC meist unumgänglich.

4 Verschiedene Flankensteilheiten

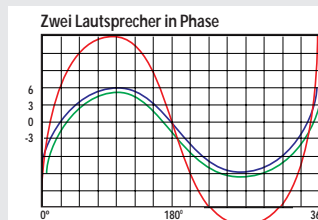


Als Übergangsfrequenz ist 80 Hz gewählt. Bei 40 bzw. 160 Hz ist der Pegel bereits um 12 dB gefallen.

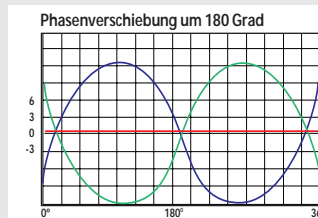


Die steilere Trennung bewirkt, dass der Pegel eine Oktave höher bzw. tiefer schon 16mal geringer ist.

5 Die Phasenlage



Spielen zwei Lautsprecher phasengleich, kommt es zu einer Verstärkung (rote Linie).



Zwei Lautsprecher um 180 Grad gegeneinander phasenverschoben: Totalauslöschung ist die Folge.

6 Flankensteilheit, Schalldruck, Phase

Ordnung	Flankensteilheit	Schalldruck	Verschiebung der Phasen
1.	6 dB/Okt.	1/2	90°
2.	12 dB/Okt.	1/4	180°
3.	18 dB/Okt.	1/8	270°
4.	24 dB/Okt.	1/16	360°

Steile Schieber und Drücker: So verhalten sich die drei relevanten Parameter zueinander.

heit, desto mehr wird auch an der Phase, dem Schwingungszustand einer Welle an einer bestimmten Stelle und zu einem bestimmten Zeitpunkt, gedreht. Im Optimalfall spielen Lautsprecher in Phase **5**.

Das bedeutet, dass die abgestrahlten Schallwellen aller Lautsprecher die Ohren zur gleichen Zeit in der gleichen Phase erreichen, was im Auto aber kaum zu machen ist. Denn nicht nur die Platzierung der Lautsprecher, der Abstand zum Hörer sowie der Winkel zum Hörplatz beeinflussen das Phasenverhalten der Speaker, sondern auch die Filtercharakteristiken der Weiche: Eine Flankensteilheit von 6 dB (der Fachmann spricht von einem Filter erster Ordnung) bewirkt eine Drehung der Phase um 90 Grad **6**.

Werden nur Filter geradzahlig Ordnung wie 12 (zweiter), 24 (vierter) etc. kombiniert, muss man sich über die Phasen Anpassung keine großartigen Gedanken machen, da die elektrisch bedingte Phasendrehung bei 180 Grad liegt und mit dem simplen Umpolen des Lautsprechers behoben werden kann.

Handelt es sich jedoch um eine Mischung aus Filtern geradzahlig und ungeradzahlig Ordnung wie 6 dB (erster), 12 (zweiter) etc., sieht die Sache schon komplizierter aus, denn der Phasenunterschied zwischen einem 6-dB- und einem 12-dB-Filter beträgt 90 Grad. Da hilft kein Umpolen mehr, sondern nur ein stufenloser Phasenregler **7**.

Praktisch ergeben sich durch die akustischen Unwägbarkeiten im Fahrzeug aber so viele unterschiedliche Phasenprobleme, dass diese 90-Grad-Verschiebung nicht unbedingt relevant sein muss.

Jetzt geht's an die Einstellung

Nach so viel Theorie machen wir uns nun auf zur praktischen Anwendung, denn schließlich wollen wir

unserer Anlage ja klanglich auf die Sprünge helfen. Zu Beginn lohnt sich in jedem Fall ein Blick auf den Frequenzgang und das Datenblatt der Lautsprecher, die es voneinander zu trennen gilt. *autohifi* drückt bei seinen Tests zum Glück den Frequenzverlauf jedes Speakers ab. Ziel ist es, die Bereiche der Speaker, in denen sie linear laufen, möglichst optimal auszunutzen **10**.

So erreichen wir perfektes Bass-Staging

Zunächst widmen wir uns der Ankopplung des Subs an das Frontsystem. Vor der Prozedur müssen wir uns – danke, liebe Physik! – entscheiden: Wollen wir Basspegel bis zum Abwinken oder soll die Abstimmung audiophil ausfallen, so dass sich der Subwoofer harmonisch ins Geschehen auf dem Armaturenbrett einfügt? **8**

Beides gleichzeitig zu erreichen ist nicht ganz einfach. Der Grund: Je höher die Übernahmefrequenz zum Sub eingestellt wird, desto besser befreien wir den Tiefmitteltöner vor allzu hoher Membranauslenkung. Dies dankt er uns mit einer höheren Pegelfähigkeit. Allerdings erkaufen wir uns diese Extraportion Pegel mit zwei Nachteilen. Da nun der Subwoofer bis hoch in den Kickbassbereich spielen muss, klingt die Anlage oft nicht mehr so zackig und impulsiv – Stichwort Masseträgheit der Woofermembran.

Außerdem nimmt die Ortbarkeit unseres Subwoofers zu. Das liegt daran, dass das menschliche Ohr Frequenzen unter 100 Hz nicht mehr deutlich einer Richtung zuordnen kann, da zu tiefen Frequenzen hin die Abstrahlcharakteristik der Schallwellen zunehmend kugelförmig ausfällt. Daher suchen wir die optimale Übergangsfrequenz für perfektes Bass-Staging und verzichten lieber auf die letzten paar dB Gesamtpegel.

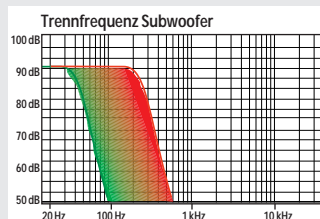
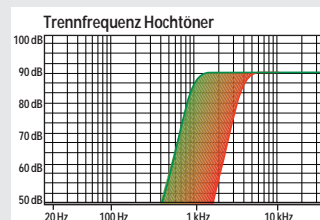
Und das geht so: Zuerst stöpseln wir den Subwoofer aus und hören nur

7 Stufenloser Phasenregler



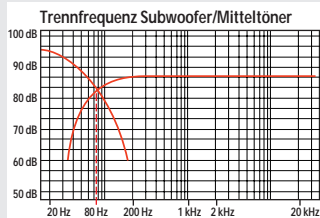
Richtig eingestellt verbessern Phasen-Schieber den Klang erheblich.

8 Das Staging



Im grünen Bereich: Das obere Diagramm zeigt die für normale Hochtöner üblichen Trennfrequenzen, das untere die für Subs. Je näher man sich mit der Übergangsfrequenz in den grünen Bereich begibt, desto besser wird das Frontstaging.

9 Trennung von Woofer und Front



Der Woofer trennt bei 60, der Mitteltöner bei 80 Hz. Mit einer Flankensteilheit von 12 dB/Oktave gelingt ein sauberer Übergang bei 80 Hz.



Superlative: Die flexible Weiche des Dreiwegekompos Alpine F#1 Status SPX-Z18T ermöglicht fast 40 000 Kombination.

ins Frontsystem rein. Hierfür wählen wir eine gut klingende CD, die auch etwas Bass zu bieten hat. Wichtig ist, nicht zu leise zu hören, damit unser Gehör Veränderungen auch deutlich wahrnehmen kann.

Die Aktivweiche für unser Frontsystem stellen wir erst einmal auf eine sehr tiefe Frequenz ein (zum Beispiel 30 Hz), die keinen hörbaren Einfluss auf den Frequenzgang hat – so tief spielt nämlich kein 16er. Dann schieben wir langsam die Trennfrequenz nach oben, bis wir hören, dass der Speaker einen Tick weniger Bass macht. Jetzt haben wir fürs Frontsystem schon mal unsere Übernahmefrequenz gefunden – sie liegt in den meisten Fällen in der Nähe von rund 80 Hz. Bei analogen Filtern sollten wir dem abgelesenen Wert an der Weiche keine allzu große Bedeutung zumessen, denn die Beschriftung stimmt oft nicht mit der wirklichen Frequenz überein.

Ähnlich gehen wir nun beim Tiefpass für den Subwoofer vor: erst eine niedrige Frequenz einstellen und diese dann dem Wert, den wir für das Frontsystem gefunden haben, annähern. Wenn wir hören, dass der Bass füllig und wummerig wird, drehen wir wieder einen Tick zurück.

Warum nehmen wir nicht gleich die fürs Frontsystem gefundene Frequenz, in obigem Beispiel die 80 Hz? Dazu sehen wir uns das Diagramm Nummer 9 an: Aus verschiedenen Gründen klingt ein Woofer oft nur dann gut, wenn er lauter als das Frontsystem spielt. Damit sich Sub und Tiefmitteltöner dann sauber ergänzen, macht es daher oft Sinn, den Subwoofer beispielsweise schon bei 60 Hz auszublenden, damit er bei 80 Hz in etwa den Pegel des Frontsystems erreicht. Wohl gemerkt benutzen wir gerade eine Flankensteilheit von 12 dB/Oktave.

Kommen wir zum Soundcheck: Je knackiger und homogener die Musik klingt, desto besser. Ein optimal eingestellter Bass spielt wie aus einem Guss und scheint im Armaturenbrett zu entstehen – und nicht hinten im Kofferraum.

Klingt's trotz aller Bemühungen um die beste Trennfrequenz noch matschig und wenig impulsiv, muss weiter getüftelt werden. Vermutlich tut sich im Übernahmehereich eine Lücke auf, die durch Auslöschungen von Frontsystem und Bassmacher herrührt. Wie das Diagramm 5 zeigt, erhalten wir bei Schallwellen, die gegeneinander eine Phasenverschiebung nahe 180 Grad haben, Auslöschungen.

Jetzt polen wir den Woofer erst einmal um – klingt es danach knackiger und lauter, super. Tut sich nicht viel, hat uns ein Phasenproblem irgendwo zwischen 0 und 180 Grad ereilt. Aber auch dafür gibt es Lösungen: Ein stufenloser Phaseshift für den Subwoofer, wie er auch in einigen Endstufen verbaut wird, ermöglicht, dass wir die Phasenlage der

unterschiedliche Filtertypen bietet. Hier gibt's allerdings keine Patentrezepte, es gilt, mit den Werten zu spielen. 6 dB/Oktave sind allerdings zu wenig, im Auto sollte mit Werten zwischen 12 und 24 dB experimentiert werden. Außerdem: Je höher die Flankensteilheit, desto näher darf die Abtrennung des Frontsystems an die des Woofer heranrücken, da die beiden Kandidaten ja auch effektiver in ihre akustischen Schranken gewiesen werden.

Aber wie gesagt: Ausprobieren ist hier die Devise. Das Ziel ist erreicht, wenn sich der Bass geschmeidig ins Frontstaging einfügt, knackig klingt und es zu keinen Pegelbrüchen im Übergangsbereich kommt.

Nicht vergessen: Subwooferschutz

Nun soll aber nicht nur der Tiefmitteltöner von unnötiger Bass-Arbeit befreit werden. Auch der Subwoofer steckt viel Energie in die Produktion des Frequenzkellers. Und dies soll er möglichst effektiv tun. Gerade die alleruntersten Frequenzen, die das menschliche Ohr gar nicht mehr wahrnimmt, kosten besonders viel von unserer teuer erkauften Verstärkerleistung.

Zu viel Bass ganz unten kann in Wechselwirkung mit Fahrzeugresonanzen zudem Dröhnen verursachen oder sogar unser Chassis beschädigen. Um dies zu vermeiden, verfügen die meisten Amps über einen Hochpass für den Woofer, das so genannte Subsonicfilter. Es setzt wählbar zwischen ca. 15 und 35 Hz ein.

Bei dessen Justierung regeln wir die Frequenz beginnend mit dem niedrigsten Wert so lange hoch, bis die Resonanzen nicht mehr wahrnehmbar sind. Aber Vorsicht: Nicht zu weit hochregeln, wir wollen ja schließlich den Woofer und damit uns nicht um den Tiefbass bringen.

So viel im ersten Teil unserer Serie „Die Anlage richtig einstellen“. In *autohifi* 2/2006 kümmern wir uns um Equalizer, die in immer mehr hochwertigen Radios verbaut sind.



Schmuckstück: Damit der Woofer nicht nur toll aussieht, sondern sich auch sauber ins Frontstaging einfügt, bedarf es optimaler Einstellung.

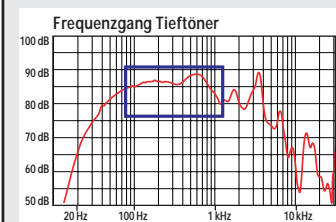
Lautsprecher zueinander anpassen können, bis der Klang unseren Wünschen entspricht. Steht kein Phaseshift zur Verfügung, müssen wir uns mit Veränderungen an der Übergangsfrequenz und Flankensteilheit an das Optimum herantasten – und zwar auf folgende Weise.

Erzwungene Harmonie: Der Trick mit der Phase

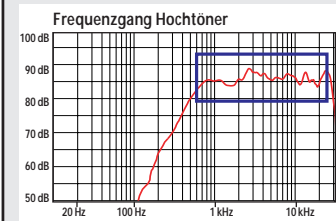
Wie wir oben erfahren haben, ändert sich bei einem Wechsel der Flankensteilheit auch die Phasenlage des Musiksignals. Das heißt, wir können versuchen, Phasenverschiebungen, die sich im Auto ergeben, über einen Wechsel der Flankensteilheit auszugleichen. Das setzt allerdings voraus, dass unsere Aktivweiche überhaupt

10 Die optimale Einstellung

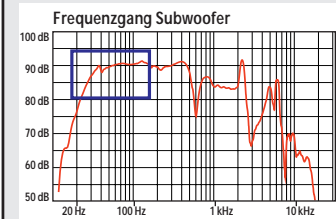
Ausnutzen wollen wir – so weit es geht – nur die Bereiche, in denen es zu keinen großartigen Pegelbrüchen kommt (blaue Umrandung).



Recht früher Frequenzabfall ab ca. 800 Hz, Membranresonanz bei 3,5 kHz.

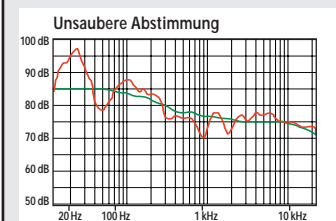


Breitbandig arbeitender Hochtöner mit kleinem Peak bei 2,8 kHz.

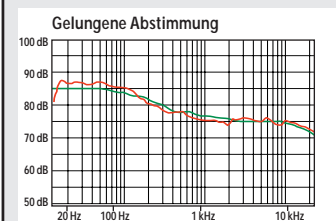


Bis 500 Hz linear laufender Frequenzgang. Steiler Abfall ab 30 Hz.

Frequenzgang bei richtiger und falscher Abstimmung



Bei falscher Abstimmung erhalten wir Auslöschungen im Übernahmehereich zwischen Subwoofer und Frontsystem.



Haben wir die passenden Übergangsfrequenzen und Flankensteilheiten gefunden, gerät der Frequenzgang linearer.