

Von Wolfgang Bauernfeind

Mit großen Schritten nähern wir uns dem Ziel der optimal eingestellten Anlage. Nachdem wir uns in *autohifi* 1/2006 um die passenden Übergangsfrequenzen unserer Weiche gekümmert haben und in Heft 2/2006 dem Equalizer zu Leibe gerückt sind, hören wir uns das Ergebnis nochmals kritisch an: Aha! Es klingt harmonisch, es klingt räumlich, es klingt schon richtig gut.

Aber irgendwas stimmt doch noch nicht. Die Anlage im Wohnzimmer spielt jedenfalls anders, dort breitet sich die Bühne gleichmäßig zwischen den Lautsprechern aus. Im Auto ist das in der bisherigen Konfiguration nicht so. Der Fahrer sitzt gezwungenermaßen viel näher am linken vorderen Lautsprecher als am rechten, weshalb das musikalische Geschehen etwas zerrissener und leicht inhomogen wirkt.

Noch weiter weg spielen Hecksystem und Subwoofer, wodurch die vorderen Passagiere in der Musik sitzen statt direkt vor der Bühne. Hinzu kommt, dass unser Subwoofer ortbar von hinten aus dem Kofferraum seiner Tätigkeit nachgeht.

Das alles soll sich ändern, indem wir die Bühnenabbildung mithilfe der Laufzeitkorrektur optimieren. Bei richtiger Einstellung spielt unsere Anlage dann wie aus einem Guss.

Was genau ist eigentlich die „Laufzeit“?

Grundsätzlich handelt es sich bei der Laufzeit um die Dauer, die eine Schallwelle benötigt, um elektronische Bauteile oder eine bestimmte Strecke in der Luft zu durchlaufen. Zwischen dem Autoradio und unseren Ohren befinden sich jedoch verschiedenste Faktoren, die diese Zeit beeinflussen.

Das erste Hindernis ist der Weg von der Headunit durch das Cinchkabel bis zum Verstärker im Kofferraum. Die Verzögerung, die dadurch entsteht, ist aber so gering, dass wir sie vernachlässigen können. Im Verstärker trifft das Signal auf Filter und durchwandert diverse Bauteile. Deren Einfluss ist nicht mehr vernachlässigbar, da vor allem Filter die Töne frequenzabhängig bremsen.

Verlässt das Signal den Verstärker wieder, geht's über die Lautsprecherkabel (die Verzögerung dort ist ebenfalls irrelevant) zu den Lautsprechern und zum Subwoofer.



Laufzeit, lauf!

Die Anlage richtig einstellen, dritter Teil:
Die Laufzeitkorrektur ist essenziell, um eine saubere Bühnenabbildung zu erhalten.

Die Speaker schicken nun die Schallwellen auf die Reise an unser Ohr. Durch die unterschiedlichen Entfernungen der einzelnen Lautsprecher entstehen erneute Laufzeiten von mehreren Millisekunden, was für unser Hörempfinden von entscheidender Bedeutung ist. Man spricht dabei von der Luft-Laufzeit ③.

Zum Glück lässt sich genau diese Zeit mit einer Formel berechnen. Als Beispiel soll der Abstand vom Sub-

woofer zum Fahrer-Ohr dienen. Dieser liegt bei ca. 2 Metern. Schall bewegt sich mit 340 Metern in der Sekunde fort. Die Luft-Laufzeit ergibt sich aus der Division der beiden Werte: 2 m geteilt durch 340 m pro Sekunde = 0,0058 Sekunden, sprich rund 6 Millisekunden. Analog dazu kann man die Laufzeit für die Frontlautsprecher bestimmen.

Wohlgemerkt haben wir jetzt erst den Wert für die Luft-Laufzeit und

noch nicht die tatsächliche Zeit, welche die Welle auf ihrem gesamten Weg zurückgelegt hat. Um die zeitlichen Einflüsse von Filterbauteilen und Luft-Laufzeit auszugleichen, brauchen wir einen Digitalen Signalprozessor (DSP).

Das Equipment

Ein DSP mit Laufzeitkorrektur findet sich in vielen Radios ab ca. 600

gen Anschluss auch per Gehör. Ein Testtrack mit einer in Stereo aufgenommenen Stimme hilft dabei.

Wirkt die Stimme diffus ⑨ und kommt von irgendwo im Raum (des öfteren wird auch von einem drückenden Gefühl auf den Ohren gesprochen), dann liegt eine Verpolung der Lautsprecher vor. Einfach Plus- und Minuskabel, die vom Verstärker kommen, an einer Frequenzweiche vertauschen und das Problem ist behoben. Erscheint die Stimme exakt in der Mitte zwischen den beiden vorderen Lautsprechern festgenagelt, spielen sie in Phase.

Anschließend wollen wir erreichen, dass das Klanggeschehen vor dem Fahrersitz stattfindet und nicht mehr zwischen beiden Frontsitzen ⑩. Dazu benötigen wir eine in Mono aufgenommene Stimme – sie bietet die beste Fokussierung.

Euro, etwa im JVC KD-SHX 851 oder im Clarion DXZ 958 RMC. Auch externe DSPs wie der Alpine PXA-H 701 oder der Alto Drive 20 können die Laufzeit für jeden der Frontkanäle, der Hecklautsprecher und den Subwoofer korrigieren ①.

In einem Punkt können sich die Geräte unterscheiden: Die Laufzeit lässt sich entweder in Zentimetern oder in Millisekunden einstellen. Wenn möglich sollte die Variante gewählt werden, bei der man millisekundengenau justieren kann.

Laufzeitkorrektur für das Frontsystem

Für das Zusammenspiel der Lautsprecher des Frontsystems gilt zunächst genau das, was später für Subwoofer plus Frontsystem gilt: Sie müssen in Phase spielen. Daher kontrollieren wir zunächst, ob die Polung aller Chassis stimmt. Ist auch nur ein Lautsprecher an der Frequenzweiche oder am Amp falsch angeschlossen, kann uns das in den Wahnsinn treiben. Ermitteln können wir den richti-

Jetzt ist Ausprobieren angesagt. In den Einstellungen für die Laufzeit verzögern wir das Signal für den linken Lautsprecher in kleinen 0,1 bis 0,2 Millisekunden-Schritten, bis die Stimme dort steht, wo sie sein soll. Bei einem Abstand des linken Lautsprechers von 1 Meter zum Ohr und dem Abstand von 1,40 Meter des rechten Lautsprechers ergibt das eine Differenz von 40 cm. Gemäß der Formel dürfte die Laufzeitverzögerung für vorne links bei vielen Fahrzeugen etwa 1,2 Millisekunden betragen.

Laufzeitkorrektur für den Subwoofer

Wir wollen nun auch erreichen, dass sich der Bass vorne beim Armaturenbrett in das Klanggeschehen einreicht und nicht deutlich ortbar irgendwo hinter den Rücksitzen herumwummert ⑪.

Das Signal hat ja bereits eine beträchtliche Strecke zurückgelegt, bis es vom Verstärker beim Subwoofer abgeliefert wurde. Dort folgen nun die weitaus größten Einflüsse auf die

1 Das Equipment



Praktisch: Viele Radios ab ca. 600 Euro erlauben die Korrektur der Laufzeit in Millisekunden (oben) oder Zentimetern. Auch externe DSPs bieten die Möglichkeit zur Laufzeitkorrektur.

Gut ausgestattete Endstufen verfügen über einen stufenlosen Phasenschieber.

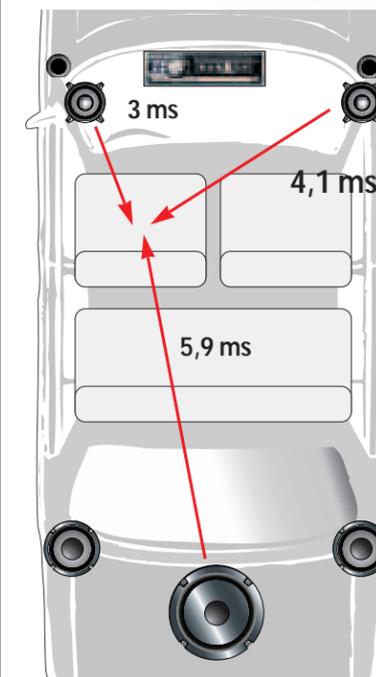
2 Das Mess-System

„Praxis“ kann kostenlos auf www.autohifi-magazin.de downgeload werden. Dazu in die Suchzeile oben links einfach das Wort „Praxis“ eingeben. Die Erklärung des Programms kann hier auch gleich mit runtergeladen werden. Neben einem Laptop benötigt man noch ein Mikrofon. In den Heften 6 und 7/2002 entwickelte *autohifi* passend zum Messprogramm Praxis ein Messmikrofon mit Vorverstärker, das man über info@audio-system.de für 49,90 Euro bestellen kann.

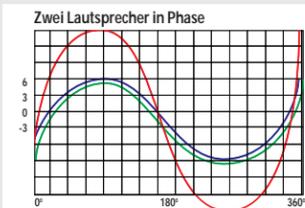


3 Luft-Laufzeit

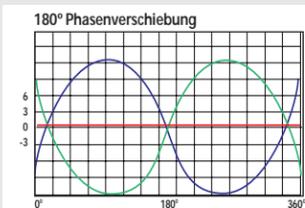
Bei der Luft-Laufzeit handelt es sich um genau die Zeit, die der Schall benötigt, um von den einzelnen Lautsprechern zum Ohr des Hörers zu gelangen. Für die Korrektur der Laufzeit, das Klanggeschehen soll sich ja in der Mitte vor dem Fahrer abspielen, hat der Faktor Luft-Laufzeit den größten Einfluss. Die Laufzeit jedoch nur nach diesem Element zu korrigieren führt noch nicht zum erwünschten Ergebnis. Die Welle wird nämlich ausserdem von den Signalwegen (Kabel) etwas verzögert und trifft auf dem Weg durch die Bauteile des Verstärkers (vor allem Filter) auf bremsende Hindernisse.



4 Die Phasenlage

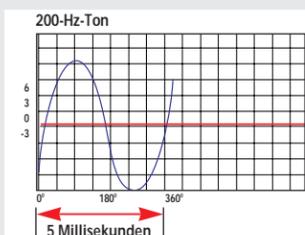
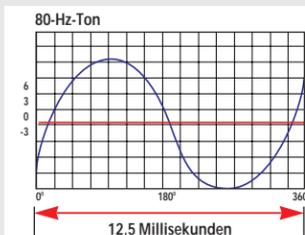


Spielen zwei Lautsprecher phasengleich, kommt es zu einer Verstärkung (rote Linie).



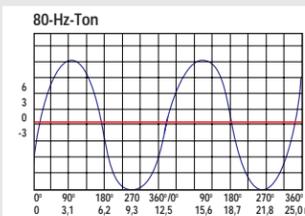
Zwei Lautsprecher um 180 Grad gegeneinander phasenverschoben: Totalauslöschung ist die Folge. Werte zwischen 0 und 180 Grad führen zu teilweisen Auslöschungen und sind auch nicht wünschenswert.

5 Schwingungsdauer



Die Länge einer kompletten Schwingung für einen 80- bzw. 200-Hz-Ton. Auch wenn sich die Längen unterscheiden, entspricht eine Schwingung immer 360 Grad.

6 Kontext zwischen Laufzeit und Phase



15,6 Millisekunden bedeuten für einen 80-Hz-Ton eine Verschiebung um 90 Grad, da sich die Phase wiederholt.

Laufzeit. Zunächst spielt das Gehäuseprinzip unserer Tieftonpumpe eine Rolle: Während die Verzögerung bei geschlossenen Subwooferkisten sehr gering bleibt, steigert sie sich bei einer Bassreflex-Box und erreicht den höchsten Betrag bei Bandpass-Woofern. Dazu kommt noch die Luftlaufzeit. Wie lange die Welle nun letztendlich von Anfang bis Ende unterwegs ist, lässt sich leider nicht berechnen, aber messen und hören.

Das Mess-System

Deswegen fügen wir unserer Equipmentliste an dieser Stelle noch einen PC mit dem kostenlosen Frequenzgang-Mess-Programm „Praxis“ hinzu.

Wer Praxis noch nicht kennt, dem seien die Informationen und Links auf www.autohifi-magazin.de empfohlen (einfach in die Suchspalte oben links das Wort „Praxis“ eingeben). Auch im Einbaukurs benutzen wir „Praxis“ (ab Seite 78). Mithilfe der Frequenzgangmessung lässt sich die korrekte Phasenlage zwischen Frontsystem und Subwoofer bestens überprüfen.

Denn für die korrekte akustische Ankopplung des Basses ans Frontsystem ist zunächst die richtige Phasenlage wichtig. Was hat jetzt die Phase mit der Laufzeit zu tun? Folgendes: Ändert man die Laufzeit, ändert sich auch die Phase und umgekehrt. Das ist bei der Korrektur für den Subwoofer besonders wichtig.

Ein schnelles Einrichten der Phasenlage gelingt mit einem stufenlosen Phasensteller (Phase-Shift), der an manchen Endstufen vorhanden ist. Wir drehen so lange am Phase-Shift, bis das Mess-System „Praxis“ im Übergangsbereich (Frequenz) von Subwoofer und Frontsystem den höchsten Pegel anzeigt. Voilà, Phasenlage passt! Wozu denn dann noch das Geschraube an den Laufzeitreglern? Hat man eben keinen stufenlosen Phasenregler zur Hand, kann man aufgrund der Beziehung zwischen Laufzeit und Phase auch über die Laufzeitkorrektur zur richtigen Phasenlage gelangen. Da ist es nützlich, über folgenden Sachverhalt Bescheid zu wissen:

$$1000/\text{Frequenz in Hz} = \text{Tondauer (in Millisekunden)}$$

In unserem Beispiel trennen wir Frontsystem und Subwoofer bei 80 Hz. Die Front-Speaker und der Sub müssen als bei 80 Hz in Phase spielen. Ein 80-Hz-Ton braucht $1000/80 = 12,5$

Millisekunden für eine Schwingung. Während dieser Zeit durchläuft er die komplette Welle (360 Grad). Verschieben wir die Phase der Frequenz um einen bestimmten Betrag, verschieben wir gleichzeitig die Laufzeit:

$$(\text{Phasenänderung}/360\text{Grad}) \times \text{Schwingungslänge in Millisekunden} = \text{Laufzeit (in Millisekunden)}$$

Bei 80 Hz bedeutet eine Phasenänderung von 90 Grad: $90/360 \times 12,5 = 3,1$ Millisekunden Laufzeitverzögerung.

Das heißt, wir können über die Laufzeit die Phase verändern. Sehr praktisch! Jetzt können wir uns den Woofer vorknöpfen. Zunächst messen wir den Frequenzgang von Frontsystem und Sub. Haben wir im Übernahmehereich keine Einbrüche, passt alles und wir sind schon fertig.

Dies dürfte aber unwahrscheinlich sein. Vermutlich klafft um 80 Hz eine Lücke, die es zu stopfen gilt. Hierfür verzögern wir das Frontsystem schrittweise, bis es mit dem Sub in Phase spielt. Um nicht tagelang zu messen, wählen wir 90-Grad-Schritte.

Wie wir wissen, entspricht ein 90-Grad-Schritt bei unserer Trennfrequenz von 80 Hz genau 3,1 Millisekunden. Wie viele 90-Grad-Schritte nötig sind, lässt sich nur durch Ausprobieren ermitteln. Gibt es keine Einbrüche mehr im Übergangsbereich, passt die Verzögerung.

Trotzdem wird man das Gefühl nicht los, dass der Woofer bei knackiger Musik einen Tick „zu spät“ kommt. Deswegen korrigieren wir nochmals das Timing. Vorsicht! Um die korrekte Phasenlage nicht zu zerstören, verzögern wir das Frontsystem zusätzlich zum Phasen-Ausgleich um einen weiteren 12,5 Millisekunden-Schritt, also um 360 Grad. Der Woofer hat nun eine Welle Vorsprung, das Timing passt perfekt.

Der Kompromiss

Laufzeitverzögerung stellt prinzipiell immer einen Kompromiss dar. Zum einen soll eine saubere Bühnenabbildung vor dem Fahrerplatz erreicht werden, zum anderen soll die Räumlichkeit erhalten bleiben. Zudem kann man sich dem Ideal der optimalen Laufzeit für den kompletten Frequenzbereich nur annähern, da die Laufzeit frequenzabhängig ist und es kein Gerät gibt, bei dem man für eine sehr große Zahl an verschiedenen Frequenzen die Laufzeit justieren kann.

9 Laufzeitkorrektur, Step 1



Die Frontlautsprecher müssen in Phase spielen. Wenn der Stimmfokus wirkt wie auf dem Bild, stimmt die Phase nicht.



Das Umpolen eines Lautsprechers kann schon viel bewirken.

10 Laufzeitkorrektur, Step 2



An diese Position soll die Stimme bei der Justage rücken, um die Bühne genau vor den Fahrer zu bekommen.



Im Laufzeitkorrekturmenü tasten wir uns beim Linken Lautsprecher in 0,1 Millisekunden-Schritten an das Optimum heran. Laut Formel landen wir bei ungefähr 1,2 Millisekunden.

11 Laufzeitkorrektur, Step 3



Die Stimme steht, nun muss nur noch der Bass ins Frontstaging eingefügt werden.



Dazu geben wir beiden Frontlautsprechern, um die Phasenlage zu garantieren, 3,1-Millisekunden-Schritte zu, bis der gemessene Einbruch bei 80 Hz verschwunden ist. Dann wird das Frontsystem nochmals um 12,5 Millisekunden (entspricht 360 Grad) zugegeben, um den Subwoofer eine Wellenfront Vorsprung zu geben.

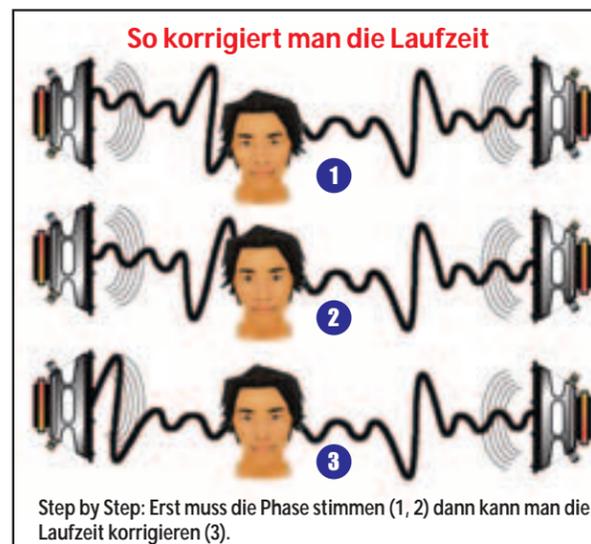
Einen weiteren Kompromiss geht man ein, weil man die Positionierung der Bühne zunächst nur für den Fahrer und Fondpassagiere einstellen. Bei Fahrer und Fondpassagiere müssen mit diesem „entrückten“ Klangbild leben. Man kann aber einen Kniff anwenden, um zwei Fliegen mit einer Klappe zu schlagen.

Laufzeitkorrektur für das Hecksystem

Besitzt man ein Hecksystem, kann die Bühnenabbildung für die anderen Passagiere verbessert werden. Außerdem kann mit der Laufzeitverzögerung des Hecksystems erreicht werden, dass die Räumlichkeit verbessert wird, sich der Klang mehr von den Speakern löst und auch die Hinterbänker einen Frontstaging-Effekt bekommen. Aber auch hier gilt:

Die Hecklautsprecher müssen zunächst im Übergangsbereich des Subs in Phase spielen. Herausfinden

Ist das nicht der Fall, gehen wir vor wie beim Sub: Das bei 80 Hz getrennte Hecksystem wird in 90-Grad-



So korrigiert man die Laufzeit

Step by Step: Erst muss die Phase stimmen (1, 2) dann kann man die Laufzeit korrigieren (3).

lässt sich das per Mess-System. Gibt es keine Einbrüche bei unserer Übergangsfrequenz von 80 Hz, spielt alles in der richtigen Phasenlage.

volle Wellenlänge bei 80 Hz Vorsprung (12,5 Millisekunden). Experimentierfreude vorausgesetzt, lässt sich so ein toller Klang erzielen. ■

12 Zusammenhang Verzögerung/Strecke und Phase

60 Hz (Tondauer 16,7 ms)		
Verzögerung	Strecke	Phase
2,1 ms	0,7 m	45 Grad
4,2 ms	1,4 m	90 Grad
8,4 ms	2,9 m	180 Grad
12,6 ms	4,3 m	270 Grad
16,7 ms	5,7 m	360 Grad

80 Hz (Tondauer 12,5 ms)		
Verzögerung	Strecke	Phase
1,5 ms	0,5 m	45 Grad
3,1 ms	1,0 m	90 Grad
6,2 ms	2,1 m	180 Grad
9,3 ms	3,2 m	270 Grad
12,5 ms	4,2 m	360 Grad

90 Hz (Tondauer 11,1 ms)		
Verzögerung	Strecke	Phase
1,4 ms	0,4 m	45 Grad
2,8 ms	0,8 m	90 Grad
5,6 ms	1,9 m	180 Grad
8,4 ms	2,8 m	270 Grad
11,1 ms	3,8 m	360 Grad

100 Hz (Tondauer 10 ms)		
Verzögerung	Strecke	Phase
1,3 ms	0,4 m	45 Grad
2,5 ms	0,9 m	90 Grad
5,0 ms	1,7 m	180 Grad
7,5 ms	2,6 m	270 Grad
10,0 ms	3,4 m	360 Grad