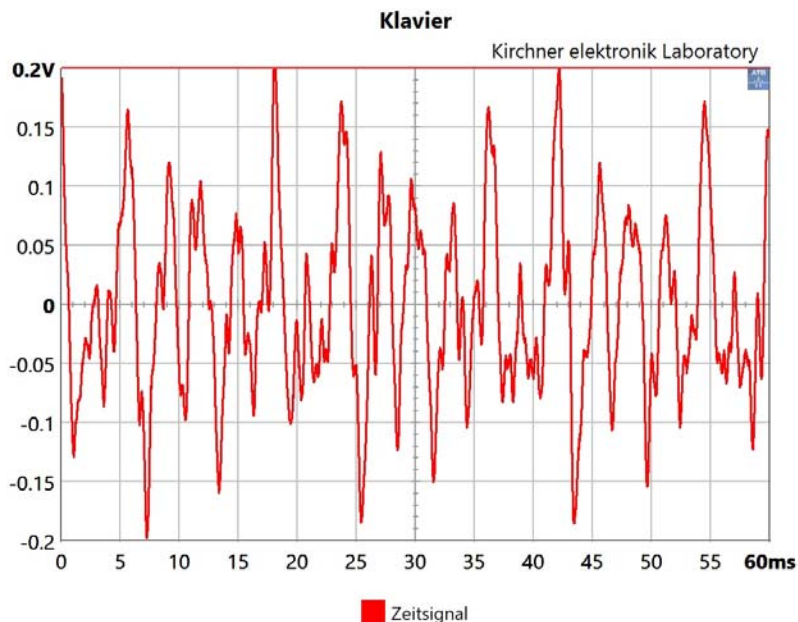


## Die Entwicklung des zeitrichtigen Lautsprechers

Ein akustisches Signal, Musik, Sprache und Geräusche wird hörbar durch die Schwingungen der Luft. Die Sinus Schwingung wird beschrieben durch die Frequenz, die Amplitude und die Phase. Schwingungen werden mit dem Oszilloskop gemessen. Das Oszilloskop zeigt den zeitlichen Verlauf der Schwingung. Die Frequenz wird durch die Zeit zwischen zwei gleichen Nulldurchgängen, der Periode, bestimmt.  $F = 1/s$ ,  $s = \text{sec}$ . Die Amplitude ist der Abstand zwischen der Nulllinie und der max. Höhe der Schwingung. Die Phase wird durch den Abstand der gleichen Nulldurchgänge zweier Schwingungen bestimmt. Hierbei ist eine Schwingung die Referenzschwingung. Die Phase wird in  $^\circ$  angegeben. Eine Periode wird als  $360^\circ$  definiert. Hierbei wird der Abstand, entsprechend der Periode der gemessenen Schwingung, normiert.

Ein Lautsprecher soll die Aufnahme von Musik, Sprache und Geräuschen hörbar machen. Diese Signale bestehen aus mehreren Tönen. Der Ton ist eine Schwingung mit einer Frequenz. Mit dem Oszilloskop wird der zeitliche Verlauf der Schwingungen gezeigt. Als Beispiel soll das Gemisch der Töne eines Klaviers betrachtet werden.



Bei dem Anschlag einer Seite entsteht der Grundton. Die Seite schwingt aber nicht nur mit der Frequenz des Grundtons, es entstehen auch eine Anzahl von Obertönen. Durch die Schwingung der Seite werden auch andere Seiten zum Schwingen angeregt und erzeugen Töne. Damit dies einen harmonischen Klang ergibt, wird das Klavier gestimmt. Bei dem Gemisch der Schwingungen mit unterschiedlichen Frequenzen haben alle Schwingungen ein festes zeitliches Verhältnis. Dieses Verhältnis wird als Phase beschrieben. Der Klang eines Klaviers wird durch die Amplituden der einzelnen Schwingungen und ihrem zeitlichen Verhältnis, der Phase, bestimmt. Faustformel für die Überlagerung von Schwingungen: Bei einem Winkel von  $180^\circ$  löschen sich die Schwingungen und bei  $0^\circ$  und  $360^\circ$  verdoppelt sich die Amplitude.

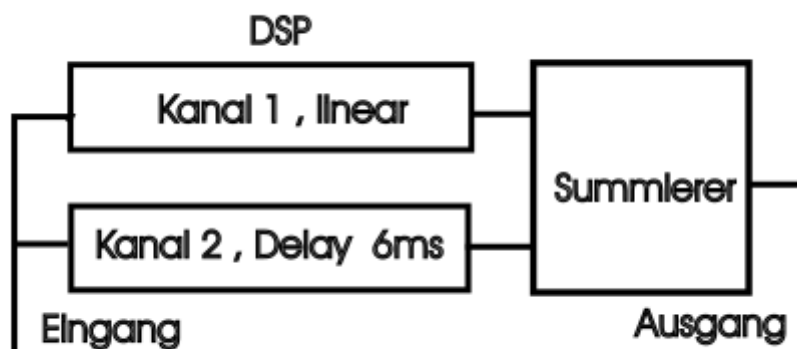
So wie bei dem Klavier die Amplitude und die zeitliche Zuordnung, die Phase, den Klang bestimmt gilt dies auch für den Lautsprecher. Bei der Entwicklung müssen beide Parameter stimmen.

Nun soll kurz die Geschichte der Lautsprecher Messtechnik betrachtet werden.

Bis vor 50 Jahren wurden die Lautsprecher mit der physikalisch richtigen Messtechnik entwickelt. Die Messungen erforderten kostspielige Geräte und waren nicht einfach zu bedienen. Mit dem MLSSA Messsystem, das mit dem PC arbeitete, kam ein recht einfaches System auf dem Markt. Durch den MLS Generator, der ein digitales Signal erzeugte, konnte

die Platine günstig hergestellt werden. Dank des guten Marketings der amerikanischen Firma und der Behauptung, dass das digitale Signal genau der Musik entspricht, wurde das Gerät gut verkauft. Dass das MLS Signal mit sehr hoher Energie im Hochtonbereich und wenig Energie im Tieftonbereich genau entgegengesetzt zur Musik ist, wurde erst spät erkannt. Das schwache Signal für den Tieftonbereich verursacht starke Messfehler. So werden zwei Messungen notwendig, eine für den Tieftonbereich und eine für den Mittel– Hochton Bereich ab 200Hz. Grundlage für die Messung des MLSSA Systems ist die Impulsantwort. Die Auswertungen zeigen den Frequenzgang und das Zerfallspektrum, den Wasserfall. Neue Messprogramme vermeiden den Fehler im Tieftonbereich und messen mit dem Sinus-Sweep. Auch diese sind für die Lautsprecherentwicklung ungeeignet, da sie kein Zeitverhalten zeigen.

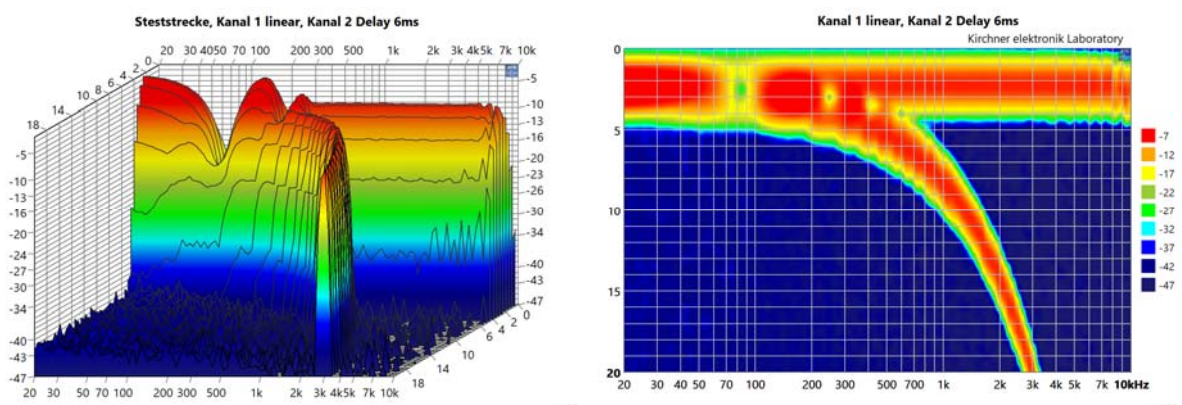
Die meisten Messprogramme für Lautsprecher arbeiten mit der Impulsantwort. Ihre Daten sind die Grundlage für die Berechnung verschiedener Auswertungen wie Sprungantwort, Frequenzgang, Wasserfall, Nachhallzeit und weitere Darstellungen. Diese Art der Messung soll getestet werden. Damit die Tests nicht durch die Akustik verfälscht werden, werden elektrische Messungen durchgeführt.



Der Aufbau der Teststrecke besteht aus einem DSP. In dem DSP werden die in den Lautsprechern vorhandenen Filter sowie die durch den Aufbau der Lautsprecher entstehenden Verzögerungen programmiert. Da die Chassis nicht die gleiche akustische Ebene besitzen, entstehen Laufzeitunterschiede des Schalls für den Hörer.

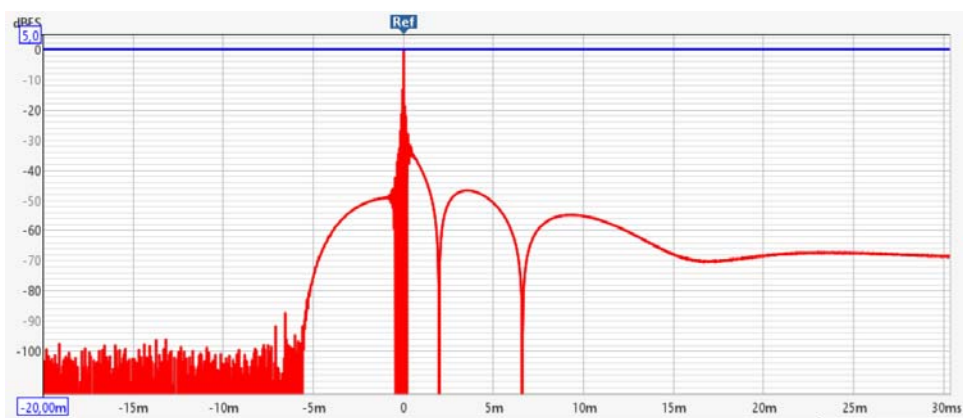
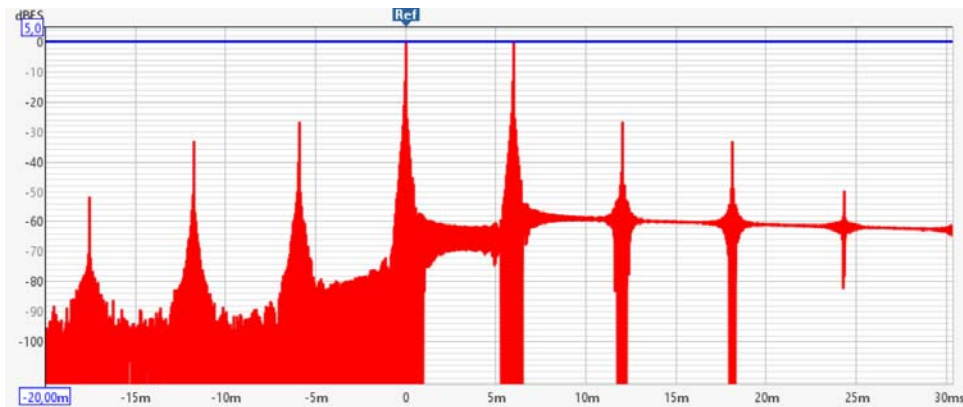
Von dem DSP werden 2 Kanäle benutzt, entsprechend 2-Wege Lautsprecher oder einem Subwoofer System. Die Ausgänge werden über eine addier Schaltung zusammengeführt. Der Ausgang der Schaltung hat die Signale eines Mikrofons.

Das ATB Wasserfalldiagramm zeigt die Funktion der Teststrecke ohne die Filter.



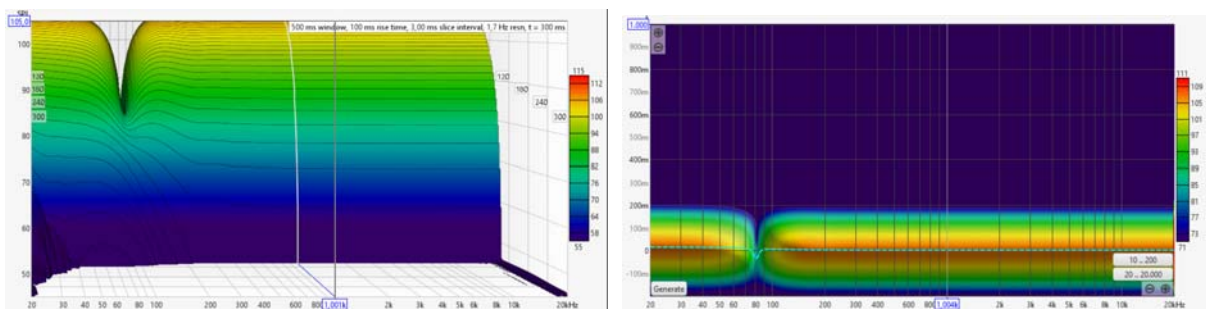
Das Wasserfalldiagramm zeigt oben den linearen Kanal 1. Nach vorne verläuft das verzögerte Signal von Kanal 2. Im Spectrogramm ist auch die Überlagerung der Signale von den beiden Kanälen zu sehen.

Die Teststrecke wird mit einem modernen Messprogramm, das die Messungen aus der Impulsantwort berechnet, gemessen.



Das erste Bild der Impulsantwort zeigt die vorher beschriebene Teststrecke. Es sind durch die hohen Linien die beiden Kanäle mit einem Abstand von 6ms zu sehen. Bei der zweiten Messung wurden Filter in den DSP programmiert.

Der Kanal 1 wird mit einem 24dB Linkwitz-Riley Tiefpass, 80Hz, programmiert. Der Kanal 2 mit einem 24dB Linkwitz-Riley Filter, 80Hz, programmiert. Kanal 1 behält das Delay von 6ms. Bei der Messung ist die Verzögerung von Kanal 1 nicht mehr zu sehen. Dieses wurde auch mit neuen Programmen getestet, mit demselben Ergebnis. Dies zeigt, dass bezüglich der Zeit die Impulsmessung keine Aussage hat, sogar dadurch, dass der ein Kanal nicht mehr gemessen wird, falsch ist. Dass die Messung auch keine Aussage über die Zeit hat, zeigen die folgenden Auswertungen.

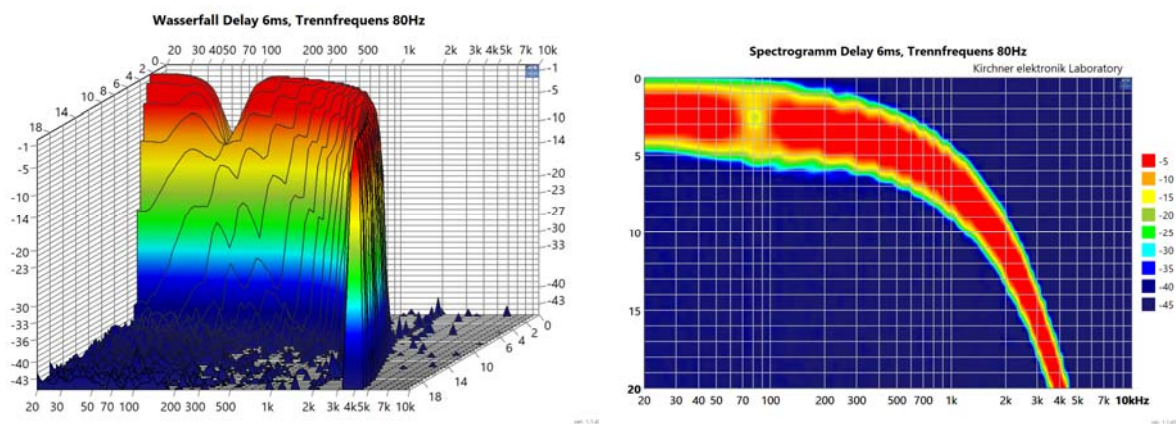


Der Wasserfall und das Spectrogramm besitzen keine zeitliche Information. Die Verzögerung von Kanal 2 wird nicht gezeigt.

Der Wasserfall zeigt mit der ersten Line bei Zeit > 0 den Frequenzgang. Andere Messungen können nur Resonanzen zeigen. Das zeitliche Verhalten, die Phase, wird nicht gezeigt. Die Phase zeigt die Phasendrehungen der Filter, die unterschiedliche Laufzeit des Schalls von den einzelnen Chassis zum Hörer sowie das Einschwingverhalten von Filtern und Lautsprechern. Mit der Frequenzanpassung wird nur ein Teil der Klang bestimmenden Eigenschaften des Lautsprechers erfasst. Das ebenfalls Klang bestimmende zeitliche Verhältnis der einzelnen Schwingungen wird nicht gezeigt.

Das ATB Messprogramm benutzt die Impulsantwort nicht. Der Dipl.-Ing. der Messtechnik, Leo Kirchner, entwickelte zusammen mit dem Programmierer Elmar Meyer-Carlstädt, ein begnadeter Mathematiker, das ATB Messsystem. Auch nach 50 Jahren bildet es noch bei vielen Firmen den Maßstab. Mit dem Programm kann die Zeit richtig gemessen werden und Lautsprecher entwickelt, die den echten Klang der Musik wiedergeben können.

Die ATB Messungen zeigen das richtige Verhalten der Teststrecke.



Mit dieser Information wird ein Lautsprecher entwickelt, der die Forderungen an eine echte Klangwiedergabe erfüllt. Da das zeitliche Verhalten gemessen werden kann.

Kirchner elektronik