

Sehen und verstehen

Grundlagen der Lautsprecher-Messtechnik, Teil 2

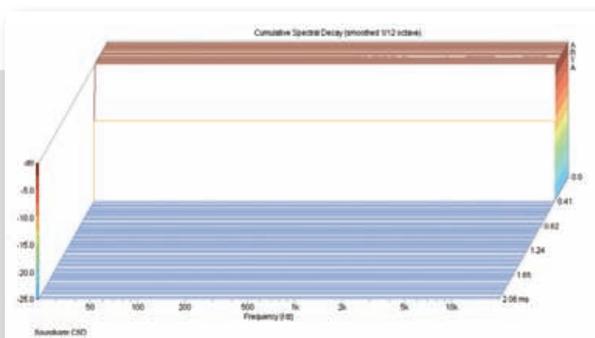


Abb. 2 (idealer Impuls)

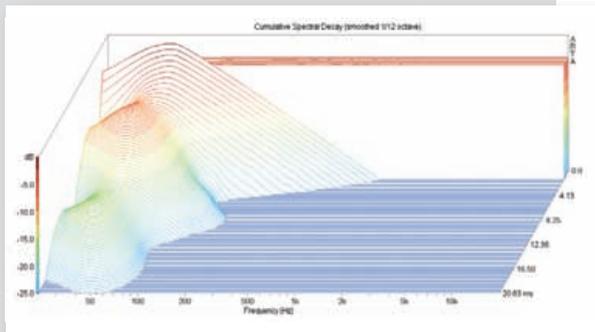


Abb. 3 (Impuls 50 Hz HP)

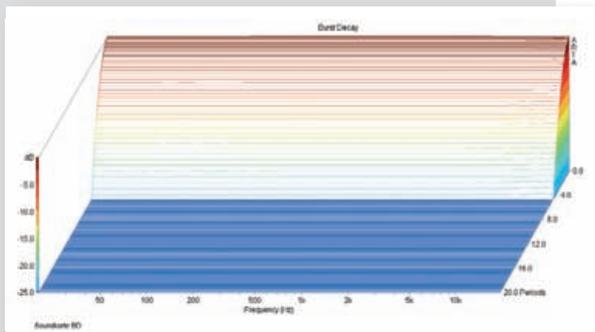


Abb. 4 (idealer Impuls, „relativ“)

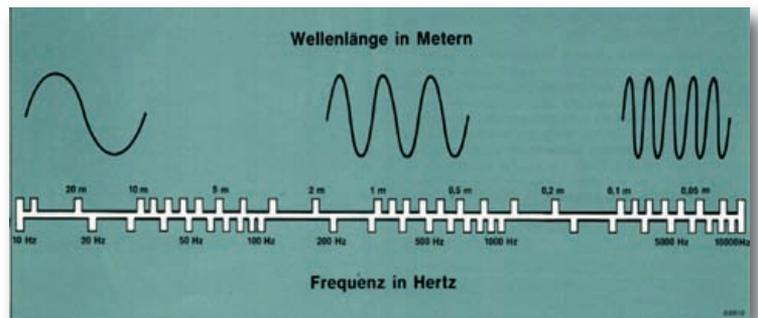


Abb. 1 Zusammenhang von Frequenz- und Wellenlänge (Quelle: Brüel & Kjaer, 1984)

Von Fabian Reimann

Im zweiten Teil unserer Grundlagenreihe beschäftigen wir uns mit dem sogenannten „Wasserfallspektrum“ oder einfach „Zerfallsspektrum“, welches neben dem Amplitudenfrequenzgang (vgl. auch den ersten Teil der Grundlagenreihe) wohl als eine der am häufigsten gezeigten Darstellungen gelten kann – zu Recht, denn wie im Folgenden erläutert werden soll, spielt das Ausschwingverhalten eines Lautsprechersystems für den Höreindruck eine wichtige Rolle.

Bevor es jedoch an die Interpretation der teilweise schwer zu deutenden Lautsprechermessungen geht, wurden zunächst Messungen an „idealen“ Wandlern durchgeführt, um so die die Interpretation erschwernenden Effekte klar herauszustellen.

Abbildung 2 zeigt das Zerfallsspektrum eines idealen Impulses. Lesen kann man die dreidimensionale Grafik zunächst so wie die altbekannte, zweidimensionale Darstellung des Frequenzganges, denn auch hier werden zunächst lediglich Pegel (in dB; siehe Y-Achse) und Frequenz (in Hz; siehe X-Achse) zueinander in Beziehung gesetzt. Hinzu kommt nun jedoch auch ein dritter Datenbereich (in ms; siehe Z(eit)-Achse), der dem Ganzen seine Dreidimensionalität verleiht. In diesem Beispiel sind mehrere schnurgerade Frequenzverläufe am oberen Rand der Grafik zu sehen, die nach kurzer Zeit abrupt und völlig gleichmäßig abfallen – ein idealer Impuls eben, der nur die Zustände „an“ bzw. „aus“ kennt, nicht aber die sonst gewohnten Zwischenformen. Verzögerungen des Ausschwingverhaltens sind

hier prinzipiell nicht zu beobachten. In der folgenden **Abbildung 3** wird derselbe ideale Impuls dargestellt, diesmal jedoch mit einer Hochpassfilterung bei 50 Hz sowie deutlich verlängerter Z-Achse. Klar erkennbar ist hier das lange Nachschwingen des Filters bei 50 Hz mit einer Dauer von ca. 20 Millisekunden. Zu bemerken ist ebenfalls, dass sich die Verzögerung des Ausschwingverhaltens in dieser Darstellung sogar auf benachbarte Frequenzbereiche ausdehnt.

Wie erklärt sich das lange Nachschwingen bei 50 Hz in Abbildung 3?

Zunächst ist festzustellen, dass eine Schwingung mit steigender Frequenz eine „schnellere“ Periode (sprich: Durchgang einer vollen Schwingung) hat. **Abbildung 1** zeigt diesen Zusammenhang durch Darstellung der Wellenlänge diverser Frequenzen in Metern. Hier ist die Wellenlänge tieferer Frequenzen deutlich „länger“ (**links im Bild**) als die höherer Frequenzen (**rechts im Bild**).

Äquivalent zur Berechnung des Weg-Zeit-Gesetzes ($s = v \cdot t$), lässt sich auch der Durchgang einer Schwingungsperiode T in Zeit umrechnen. Die dafür gültige Formel teilt lediglich 1 durch die Frequenz ($T = 1/f$); Ergebnis dieser Division ist ein Zeitwert in Sekunden. Beim letzten Beispiel aus **Abbildung 3** ($T = 1/50\text{Hz} = 0,02 \text{ sec} = 20 \text{ msec}$) wird so klar, dass das dort zu beobachtende und optisch sehr dominante, 20 Millisekunden lange Nachschwingen bei 50 Hz lediglich einem vollen Schwingungsdurchgang dieser Frequenz entspricht. Das in unserem Beispiel gezeigte lange Nachschwingen stellt also in Wirklichkeit keine besondere Auffälligkeit dar, sondern zeigt lediglich das physikalisch erwartbare Verhalten eines vollen Schwingungsdurchgangs einer 50-Hz-Schwingung auf. Daher ist es nicht verwunderlich, wenn Zerfallsspektren von Lautsprechermessungen bei tieferen Frequenzen immer „länger“ werden – Fehler der Lautsprecher selbst werden hier in jedem Fall nicht beschrieben, lediglich das Ablesen bzw. die Interpretation wird aufgrund dieses Zusammenhangs erschwert.

Wesentlich schöner wäre es jetzt aber, gäbe es anstelle der „absoluten“ Angabe in der Zeitebene eine „relative“ Angabe zur jeweiligen Frequenz – denn ansonsten müsste man jedes Mal, wenn man ein Zerfallsspektrum beurteilen wollte, im Hinterkopf die oben dargestellten Rechnungen ausführen, um eine Lautsprecher-Messung beurteilen zu können.

Eben diese Messungen, die sich an der Frequenz und nicht mehr an der Zeit orientieren, können neuere Messsysteme aufbereiten. **Abbildung 4** zeigt den idealen Impuls, wie schon in **Abbildung 2** vorgestellt wurde – diesmal jedoch mit veränderter Z-Achse, die nun Perioden zur jeweiligen Frequenz anzeigt. Auch dieses Mal sind natürlich keine Verzögerungen zu erkennen, da der Impuls augenblicklich und „ideal“ verebht. In **Abbildung 5** wird abermals der bei 50 Hz hochpassgefilterte Impuls (**siehe auch Abbildung 3**) aufgeführt, wo sich bei genauem

Hinsehen eine leichte Verzögerung bei 50 Hz ablesen lässt – eben genau die eine, oben bereits rechnerisch bestimmte Periode.

Nachdem die rechnerischen Hürden des Zusammenhangs von Frequenz und Periode genommen wurden, stellt sich nun die Frage, worauf sonst noch bei der Interpretation eines Zerfallsspektrums zu achten ist.

Zunächst einmal können Störungen bzw. Verzögerungen des Ausschwingens eine Vielzahl von Ursachen haben:

- strukturelle Vibrationen an Lautsprechergehäusen (wie z. B. durch zu dünne, leichte Wandteile, die in Schwingung versetzt werden, aber auch undichte Fugestellen)
- stehende Wellen in Lautsprechergehäusen
- Resonanzen der verwendeten Lautsprechermembranen bzw. der Hochtöner.

Im Gegensatz zu einem Musikinstrument, das seinen individuellen Klang ja erst aus einer spezifischen Zusammensetzung aus einer Vielzahl (gewünschter) Resonanzen erhält, sollte es bei der Entwicklung eines Lautsprechers das Ziel sein, durch feinfühligere Materialauswahl sowie Dämpfung der Gehäuse mit geeigneten Absorptionsmaterialien die (unerwünschten) Resonanzen weitestgehend zu unterbinden bzw. abzumildern. Die Messung von Zerfallsspektren macht so akustische Verfärbungen bzw. Unsauberkeiten sichtbar und spielt somit für die messtechnische Beurteilung eines Lautsprechers eine gewichtige Rolle.

Beispielhaft werden nun einige Messungen interpretiert, wobei nochmals eine Gegenüberstellung der „althergebrachten“, absoluten Zeitskalierung sowie der periodenbezogenen, relativen Darstellung erfolgt. **Abbildung 6** zeigt das Zerfallsspektrum eines 12 Zoll Bassreflexsubwoofers von Studt Akustik (vgl. Test in tools 4 music 3/2008). Auffällig ist in dieser Darstellung ein augenscheinlich recht langes Nachschwingen bei 50 Hz sowie zwei deutliche Resonanzausläufer bei 450

Wie war das noch ...?

Zerfallsspektren:
Sie stellen Frequenz und Pegel in Relation zur Zeit bzw. zur Periode dar

Periode:
Zusammenhang aus Frequenz und Wellenlänge

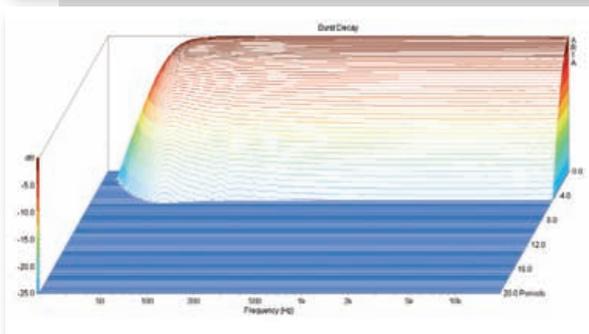


Abb. 5 (Impuls 50 Hz HP, „relativ“)

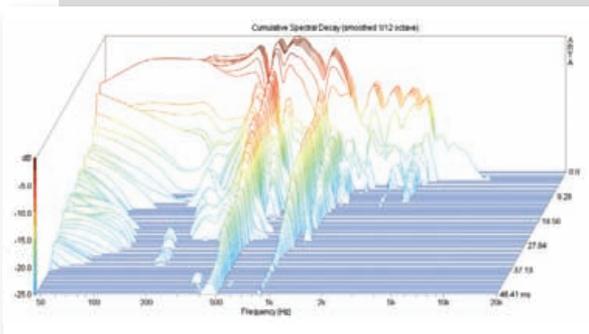


Abb. 6 (Studt Akustik, „absolut“)

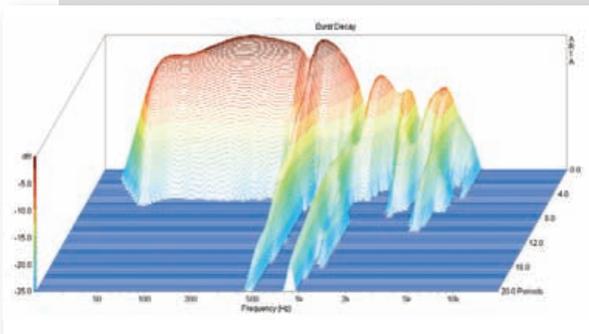


Abb. 7 (Studt Akustik, „relativ“)

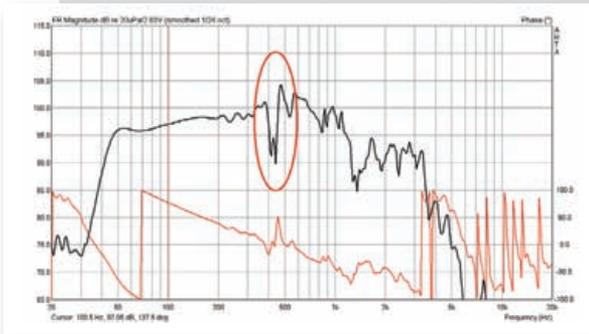


Abb. 8 (Studt Akustik 112-400)

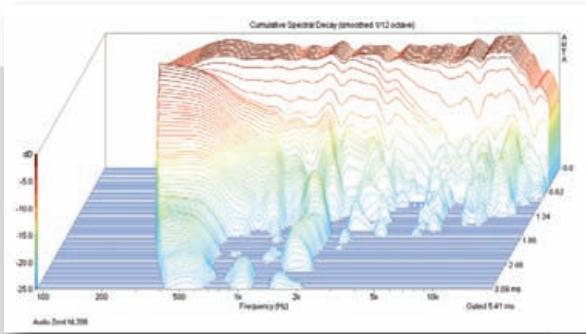


Abb. 9 (Audio Zenit, „absolut“)

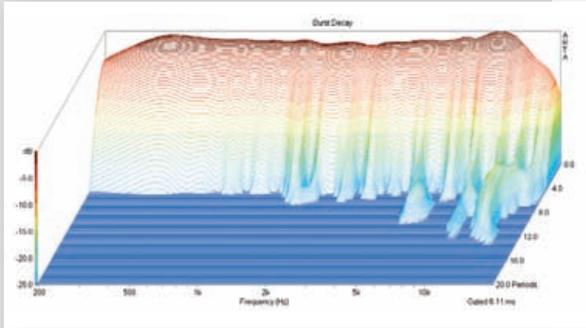


Abb. 10 (Audio Zenit, „relativ“)

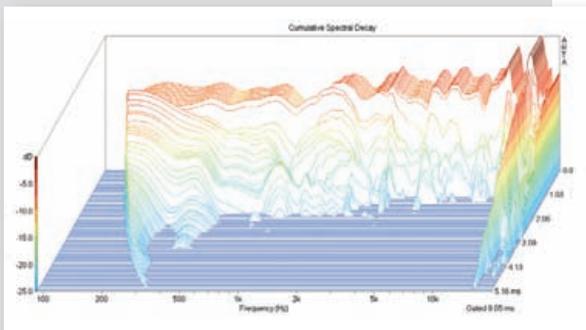


Abb. 11 (RCF, „absolut“)

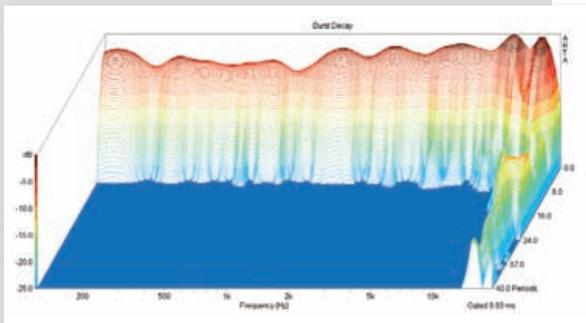


Abb. 12 (RCF, „relativ“)

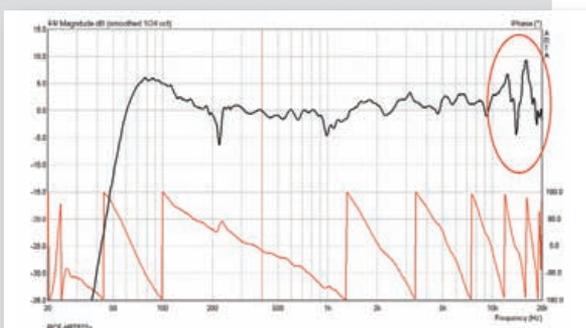


Abb. 13 (RCF Art 522a)

und 900 Hz. Betrachtet man nun **Abbildung 7**, wo dieselbe Messung mit Periodenbezug (s. o.) dargestellt wird, ist sichtbar, dass das Nachschwingen bei 50 Hz in Wahrheit eher gering ausfällt, die Resonanzen im oberen Frequenzbereich jedoch lange anhalten und nicht mehr akzeptabel wären. Derartiges Verhalten erkennt man leicht auch am Frequenzgang (siehe Markierung auf **Abbildung 8**), wo scharfe Einbrüche und/oder Überhöhungen auf derartige Anomalien hindeuten.

Da ein Subwoofer wie dieser aber wohl kaum oberhalb von 150 bis 200 Hz betrieben wird, sind diese durch Stehwellen im Gehäuse bedingten Resonanzen unkritisch, will sagen: Das sonstige Ausschwingverhalten geht völlig in Ordnung. Merke: Nicht alles, was sich messtechnisch nachweisen lässt, hat auch eine Bedeutung im „akustischen Hier & Jetzt“. **Abbildung 9** zeigt die Messung eines 2 x 8 Zoll / 1 Zoll Topteils von Audio Zenit (vgl. Test in Ausgabe 5/2008), wo sich offenbar eine Resonanz im Bereich von ca. 1,6 kHz sowie mehrere kleinere Resonanzen im Hochtonbereich erfassen ließen. Im Vergleich zur periodenbezogenen Darstellung (**Abbildung 10**) wird klar, dass alle hier messbaren Ausschwingverzögerungen sich schnell wieder beruhigen.

In **Abbildung 11** wird eine RCF-Box (vgl. Test in Ausgabe 5/2008) gezeigt, bei der sich so gut wie keine Auffälligkeiten zeigen, mit Ausnahme einer recht deutlichen Resonanz im Superhochtonbereich bei ca. 15 bis 16 kHz. Diese wird bedingt durch die schiere Größe des dort verwendeten 2 Zoll Hochtontreibers, der bei diesen Frequenzen nicht mehr störungsfrei und gleichförmig schwingen kann. Das periodenbezogene Ausmaß dieser Ausschwingverzögerung ist in **Abbildung 12** ersichtlich,

wo klar wird, dass der Hochtontreiber dem Eingangssignal um gut 40 Perioden hinterherhinkt. Da die Störungen am Rande der oberen Hörgrenze liegen, ist das Verhalten aus rein technischer Perspektive auffällig, für die Praxis aber weniger relevant. **Abbildung 13** zeigt die dazugehörige Frequenzgangmessung der RCF-Box, wo sich durch Überhöhungen bzw. Einbrüche ebenfalls deutliche Anzeichen für die beschriebenen Resonanzstörungen ausmachen lassen (siehe Markierung).

Finale

Im zweiten Teil unserer Grundlagenreihe zur Lautsprechermesstechnik haben wir in kurzer Form die Herangehensweise bei der Interpretation von Zerfallsspektren erläutert sowie, im Vergleich zur periodenbezogenen Darstellungsform dieser Spektren, die besondere Anschaulichkeit letzterer demonstriert. Leider hat sich diese noch nicht allgemein durchgesetzt – in tools werden wir jedoch nach Möglichkeit nur noch diese relativen, periodenbezogenen Diagramme drucken. Wer den ersten Teil dieser Grundlagenreihe verpasst haben sollte, kann sich diesen als pdf-Datei unter www.tools4music.de im Archiv herunterladen.

Noch Fragen? Technische Zusammenhänge kurz und knapp auf den Punkt zu bringen, ist eine Kunst. Falls in unserer Reihe noch Fragen offen geblieben sind, kann einfach zu dem Problem im Forum auf www.tools4music.de gepostet oder direkt eine Mail an die Redaktion geschickt werden.

(redaktion@tools4music.de)

In der kommenden Ausgabe wird sich der dritte Teil dieser Serie mit Verzerrungsmessungen beschäftigen.

Themenverwandte Links:

Online-Rechner für den Zusammenhang Frequenz- und Periodendauer:

<http://www.sengpielaudio.com/Rechner-periodendauer.htm>

Detection of audible Resonances:

<http://www.fesb.hr/~mateljan/arta/papers/im-aaaa2007.pdf>