



„Doppler-Effekt“, na und?

Breitbandlautsprecher werden von Kritikern mit dem Doppler-Effekt in Zusammenhang gebracht, ist es korrekt? Was passiert bei der Klangerzeugung wirklich? Der Versuch einer etwas anderen Betrachtung.

Immer, wenn man von Klang spricht, sind auch wenigstens 2 Töne vorhanden. Die Addition von Tönen ist Klang. Ob er damit schon „schön“ ist, mag bezweifelt werden, aber als Anschauungsobjekt ist es gut und im technischen Sinn korrekt.

In der Musik sind Grundtöne und die gleichzeitig erzeugten Obertöne Klang, es ist damit in der hier gezeigten Betrachtung stellvertretend, also nur 2 Töne zu benutzen zur Anschauung. Und hat den Vorteil, dass die gravierenden Zusammenhänge sofort erkennbar werden.

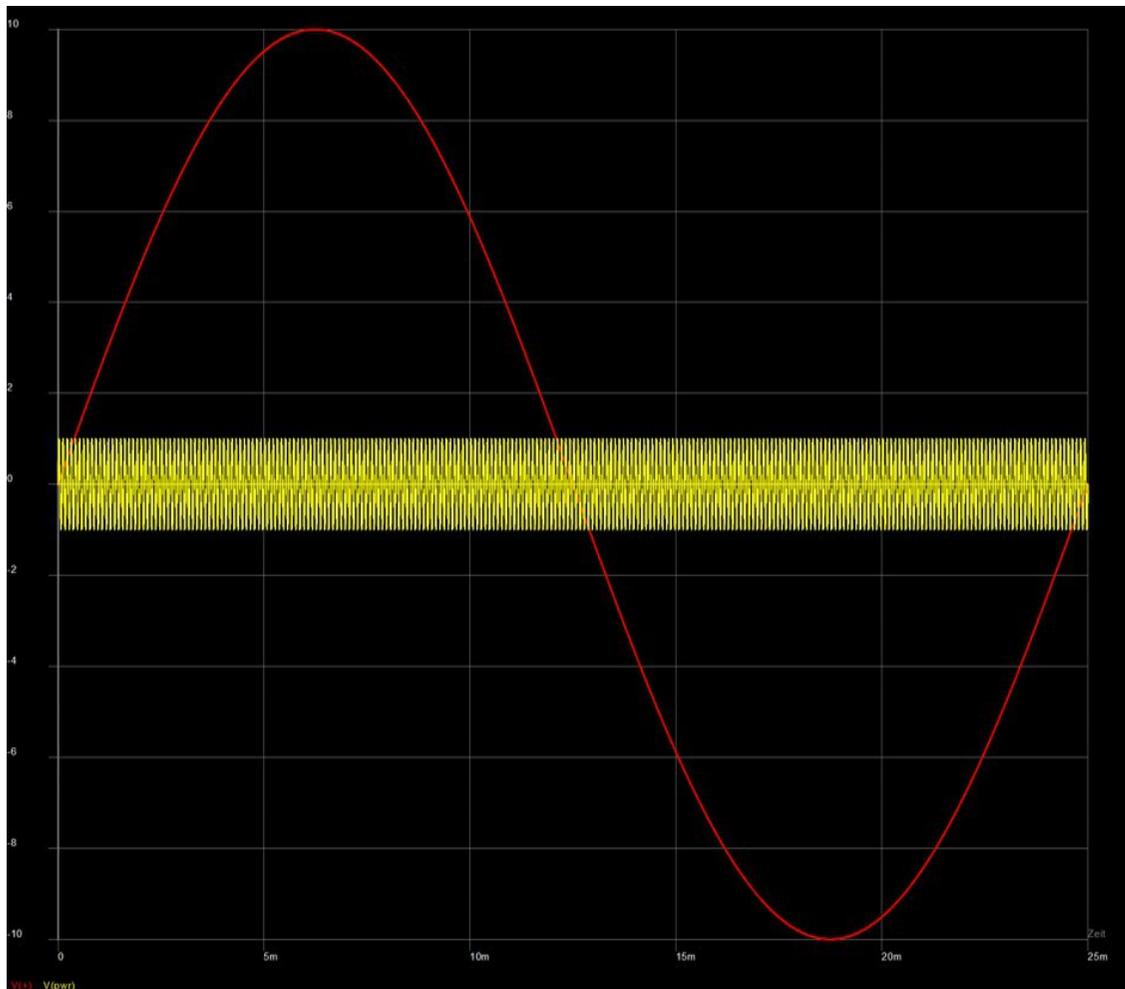
In den folgenden Beispiel-Bildern soll stets eine tiefe Frequenz 40 Hz und eine hohe Frequenz 8 kHz als Betrachtung genutzt werden. Bei einer Lautsprecher-Box z. B. würden dann diese Töne abgestrahlt werden, bei Breitbändern werden die beiden Töne im Messaufbau addiert und dem Lautsprecher als Summensignal zugeführt.

Bei Mehrweg-Lautsprechern (egal wie viel Wege, es soll nur der Tieftöner und der Hochtöner betrachtet werden) wird das Signal über die Frequenzweiche aufgeteilt. Man kann auch die Breitbänder (wenn keine Mehrweg-Lautsprecher zur Verfügung stehen) so aufstellen, dass ein Breitbänder nur die Tiefen abstrahlt und der andere nur die Höhen, in diesem Fall sogar ohne Frequenzweiche. Am letzten Beispiel kann man dann auch noch sehen, ob die Entfernung zwischen Tief- und Hochtönursprung bei der Addition im Raum am Hörplatz (Messmikrofon) am grundsätzlichen Ergebnis gravierende Änderungen erzeugt.

Warum aber diese einfach gehaltene Argumentation? In den einschlägigen Lehrbüchern wird dem Breitbandlautsprecher stets die Tonhöenschwankung „vorgeworfen“ und der bekannte Doppler-Effekt als Begründung herangezogen. Danach hört sich im Klang ein herannahender Zug beispielsweise anders an als ein wegfahrender Zug vom Ort des Betrachters. Da ein 40 Hz Ton (stellvertretend für vorhandenen Tiefbass) gleichzeitig vom Breitbänder mit der Hochtön-Wiedergabe einhergeht, und damit

die Membran einen meist kräftigen Hub hat, würde damit für die Hochtonwiedergabe mit quasi unsichtbarem Hub auf der Membran mit dem Tiefton-Hub stets eine unterschiedliche Entfernung zum Hörplatz haben. Erst wenn die Tieftonwiedergabe fehlt, würde die Membran nur die Höhen für sich allein abstrahlen und scheinbar still stehen (für unser Auge).

Im Bild die beiden Einzeltöne 40 Hz (rot) und 8 kHz (gelb), jeweils am



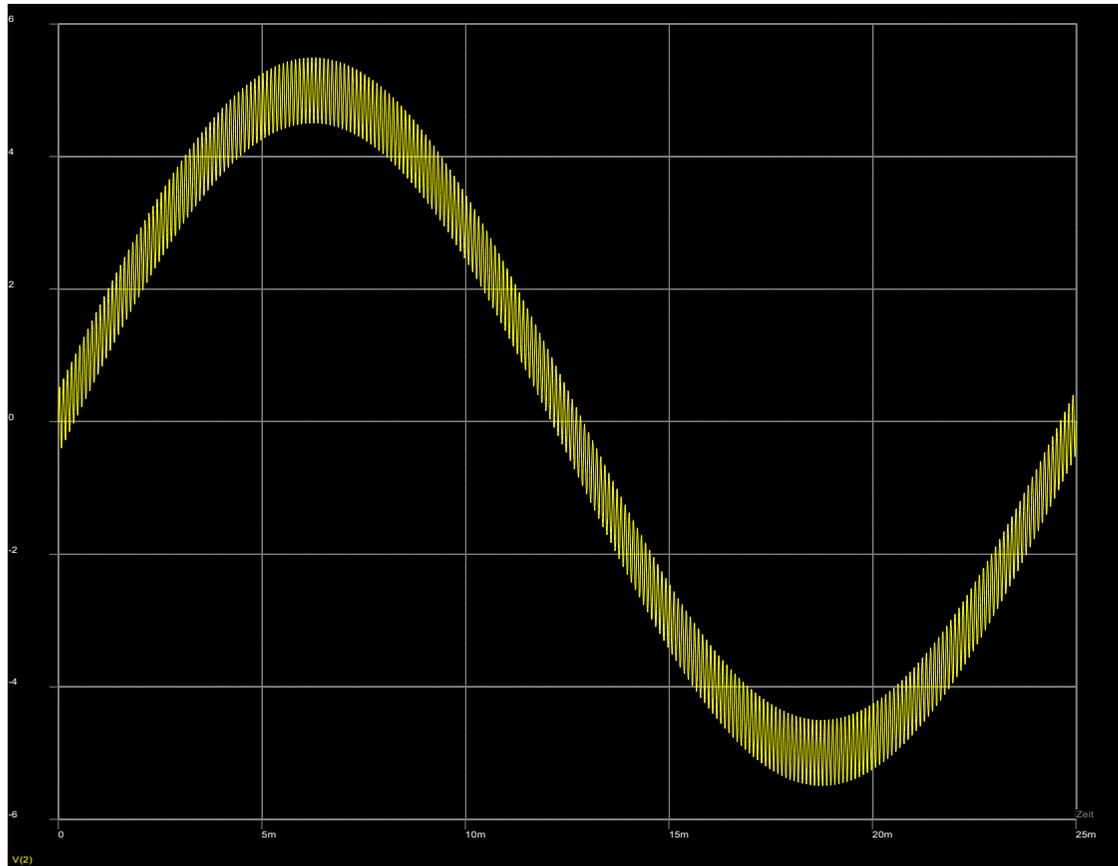
Tongenerator, vor der Addition.

Man sieht eindeutig, beide Signale sind 1. phasengleich (nur bei Dehnung erkennbar) und 2. auf der gemeinsamen Nulllinie.

Damit ist die Anfangsbedingung klar. Bei einem Mehrweg-Lautsprecher wäre dann auch klar, dass der Hochtöner nur die 8 kHz und der Tieftöner nur die 40 Hz als Signal erhält. Doch was danach in der Luft passiert, ändert die Situation grundlegend, wie noch klar wird.

Bild 2 zeigt zunächst die Addition beider Töne (gelb).

Abbildung 1



Die Addition macht deutlich, was zunächst passiert. Das Hochtonsignal verlässt je nach momentaner Zeit die Nulllinie. Es wird durch die 40 Hz-Amplitude geprägt. Hier von Modulation zu sprechen ist aber falsch. Es ist eine komplexe Addition. In gedehnter Darstellung sieht man es gut (nächstes Bild unterhalb).

Bei richtiger Polung schwingt die Membran nach vorn, wenn die positive Halbwelle anliegt, und nach hinten, wenn die negative Halbwelle anliegt. Jedoch schwingt die Membran im Rhythmus der 8 kHz schnell und zugleich „langsam“ mit der 40 Hz Amplitude. Diese Addition als Druckwelle in der Luft wird am Hörplatz (zur Vereinfachung werden Veränderungen durch Raumeinflüsse nicht betrachtet, man könnte das Experiment ja auch auf einem erhöhten Platz im Freien durchführen) dann wieder mit einem Messmikrofon gemessen. Könnte man die Umgebungsgeräusche ausfiltern oder die Raumeinflüsse - würde wieder die elektrische Kurve wie oben (gelb) entstehen. Fälschlicherweise wird diese auch als Hüllkurve bezeichnet. Doch genau diese Hüllkurve steht als Ergebnis wieder zur Verfügung. D. h. als Schall kann sie dann vom Ohr gehört werden. Wenn nun stattdessen ein Mehrweg-Lautsprecher benutzt wird, sieht es dort anders aus. Die Signale sind wie im ersten Bild gleich, normalerweise dann als Addition dem Lautsprecher zugeführt und innerhalb der Box wieder (bei normalen Boxen) mit der Frequenzweiche getrennt.

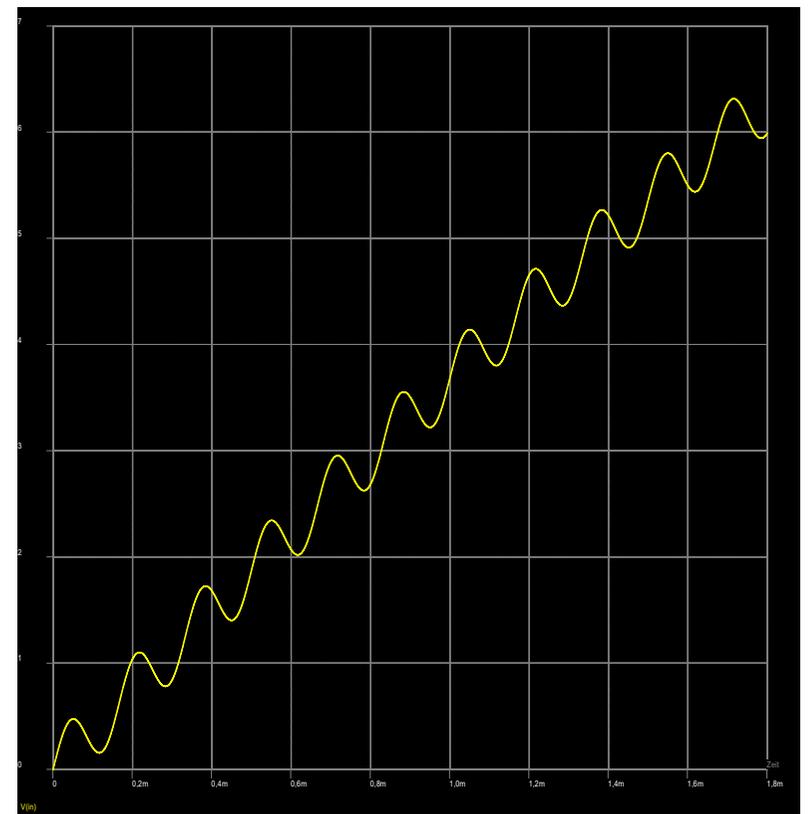


Abbildung 3

Damit wird der (rot) 40 Hz - Ton vom Tieftöner und der 8 kHz - Ton (gelb) vom Hochtöner abgestrahlt. Doch am Hörplatz-Mikrofon entsteht die Kurve wie die gelbe Kurve! Nur die Phasenlage dürfte sich u. U. unterscheiden, was aber beim großen Frequenzunterschied unbedeutend ist. Das bedeutet zunächst nur, dass die „Hüllkurve“ sich ähnlich darstellt wie beim Breitbänder! Damit scheint klar zu sein, wenn in beiden Fällen die Hüllkurve sich quasi gleich darstellt, kann auch kein Nachteil für den Breitbänder ausgemacht werden! Im Gegenteil, die Frage nach dem Wie entsteht. Wie also kann die Höhenamplitude der Mehrweg-Box mit dem fest auf der Schallwand befindlichen Hochtöner mit seiner geringen Amplitude ohne den „Makel“ der Doppler-Effekte dann auch nur auf der Grundwelle „tanzen“? Weil Luft sich ähnlich als Medium verhält wie Wasser? Da kann man auch gut

sehen, was passiert, wenn ein leichter Körper ruhig auf der Oberfläche schwimmt, jedoch würde beim Eintreffen einer Welle sofort der leichte Körper auf der Welle hoch und runter tanzen. Dieser Vergleich scheint nicht so falsch die Luftbewegung zu beschreiben.

Aber auch Sprache oder Fremdgeräusche, die manchmal auftreten oder durch Kommunizieren kurz vorhanden ist, bei Entzerrer-Rechteckeinmessungen sehe ich es deutlich am Messmikrofon, wird z. B. bei einer Messkurve eines tiefen Tones oder Rechtecksignals nicht auf der Nulllinie dargestellt, sondern „schwebt“ immer rythmisch auf der Grundschiwingung. Schweigt man, ist wieder die eigentliche Signalkurve für sich allein. Es kann auch gar nicht anders sein! Deshalb ist jede Behauptung, Breitbänder erzeugen FM-Verzerrungen oder Doppler-Verzerrungen und Mehrweg-Lautsprecher nicht, falsch. Die Effekte sind immer vorhanden und sind völlig normal. Jedoch sind wir ständig (weil normal) damit vertraut, wie es klingt und es plötzlich als fehlerhaft (bezogen auf Breitbänder) zu bezeichnen ist völliger Unsinn! Die Druckunterschiede - von hohen Tönen mit meist kleinerer Amplitude - sind damit immer auch vom Vorhandensein großer Druckunterschiede mit langer Wellenlänge auf dieser „Grunddruckschwankung“ aufgeprägt, also addiert. Die elektrische Signaldarstellung ist stets nur ein Abbild von Druckempfängern bzw. Erzeugern, und damit ein realer Vorgang. Ganz ohne jede „elektrische“ Beteiligung kann auch der Klang von Instrumenten damit gezeigt werden. Die hohen Töne einer Geige würden auch - obwohl u. U. weit entfernt - durch eine große tiefe Orgel nicht unbeeinflusst bleiben. Nicht dass die Geige dadurch wesentlich anders klingt, aber in der Mikrofonmessung würden eben auch die Obertöne „auf die Orgelgrundwelle“ addiert werden und nicht etwa „für sich getrennt“ auf der Nulllinie bleiben. Daher sind die Verfechter der Mehrweg-Boxen zwar nicht im Unrecht, wenn sie meinen, durch die getrennten Hochtöner würde kein Doppler-Effekt entstehen oder im Messvorgang (weil man getrennt misst!) vorkommen, jedoch durch die gemeinsame Luft (es gibt nun mal keine „2 - oder 3 - Weg - Luft“) nutzt es wenig, denn der gleichzeitige Tiefton hebt diese falsche Theorie wieder auf. Deshalb sollte man völlig darauf verzichten, diese „doppelte Moral“ zu predigen. Daher gilt der eigentliche Umstand, dass Mehrweg-Lautsprecher nicht nur die Schallerzeugung mittels Schallzerteilung und falscher Zusammensetzung bewerkstellten, sondern entweder falsch gemessen werden (einzelne Bereiche immer für sich allein), sondern auch noch versucht wird, fehlerhafte Konstrukte durch fehlerhafte Beschreibung als „richtig“ zu verkaufen!

Ob also der Doppler-Effekt durch zu kleine Basslautsprecher (in Mehrweg-Boxen) oder zu kleine Breitbandlautsprecher erzeugt wird ist nicht die Frage. Sondern wie laut bzw. welchen Hub fahren diese dann. Und in welcher Entfernung mit welcher Ausdünnung am Ohr wird der Vorgang wahrgenommen.

Das Gleiche gilt auch für Kopfhörer. Ein großer Kopfhörer mit relativ großer Membran lenkt bei Bässen auch kräftig aus, ein kleiner Ohrhörer dagegen müsste bei gleich lautem Bass noch viel mehr Auslenkung verkraften! Bei normalen Kopfhörern mit einer einige cm großen Membran entsteht auch ein deutlich sichtbarer Hub, welcher auch einige mm betragen kann. Doch klanglich fällt auf, dass die meisten guten Kopfhörer den Lautsprechern in fast allen Punkten ebenbürtig oder besser sind!

Stellt sich damit die konkrete Frage, haben Kopfhörer Doppler-Effekte oder nicht? Wenn diese nicht auffallen oder stören - dann kann man den Schalldruck am oder im Ohr als Maß für die Wellenauslenkung begreifen. Also den Anteil der „Entfernungsänderung“ im Obertonbereich zur Grundwelle direkt am Ohr ins Verhältnis setzen! Hier wird dann deutlich - dass der Vergleich der Theoretiker, welche gern auf den „fahrenden Zug abfahren“ (und die verhältnismäßig große Wegedifferenz zitieren) und die Tonhöenschwankung dort zum Anlass nehmen, den Effekt zu dramatisieren, eigentlich lächerlich wirkt. Auf Lautsprecher bezogen heißt dies, man muss nur umrechnen, wie viel Hub welche Membran machen müsste, um je nach Entfernung und geforderter Lautstärke am Ohr den gleichen Schalldruck wie den der Kopfhörer zu erzeugen.

Zusammengefasst kann man sagen, der „Doppler-Effekt“ ist grundsätzlich vorhanden. Die Frage stellt sich immer, wann würde er störend auftreten. Wie viel darf die Obertonabstrahlung gegenüber einer Tiefton-Lautstärke durch diese „leiden“. Es ist dabei die Erzeugung des Tiefton-Hubs entscheidend. Würde man diesen vom Kopfhörer auf den Lautsprecher hochrechnen, dann würde wohl klarer werden, wann eine Membran welche Hubgröße und welchen Durchmesser haben sollte, bezogen auf den Wiedergaberaum, Entfernung und Lautstärke. Die Raumverdünnung des Schalldrucks unmittelbar in der Nähe der Membran ist kaum vorhanden, erst mit der Raumwelle nimmt der Druck durch die Verteilung stark ab. Das erklärt den recht großen Hub einer Bassmembran gegenüber dem Membran-Hub eines Kopfhörers bei gleicher Lautstärke. Gemeint ist hier die Lautstärke am Ohr, egal ob vom Kopfhörer oder vom Basslautsprecher. Doch am Ohr kommt immer der „winzige Hub“ an, der dem des Kopfhörers entspricht! Vielleicht hilft auch die bei Breitbändern nötige Hubreduzierung, indem ein weiteres Basschassis diesen unterstützt. Die Frage diesbezüglich hängt eben an den Forderungen bezüglich Endlautstärke und Frequenzgang. Und wenn die Musik gleichzeitig tiefe, laute Bässe spielt, wird der Obertonpegel auch „moduliert“. Auch die Obertöne von nicht am Bass beteiligter Instrumente sind da nicht ausgenommen. Das Ganze nennt man dann „Live“...