

“Für Newbies - Breitbandlautsprecher entzerren - Warum? - Wie?”

Die folgende kurze Einführung in die generelle Vorgehensweise bei der Beschaltung von Breitbandlautsprechern ist ursprünglich mal im Rahmen eines Threads im diy-hifi-forum.eu entstanden. Da Threads in Foren bisweilen etwas lang sind und auch mal abschweifen, sind hier die wesentlichen Aspekte nochmal geordnet kurz zusammengefasst. Der Anspruch ist nicht unbedingt ein ‘Cook-Book’ oder ein ‘How to ...’ der Lautsprecherentwicklung. Dazu ist die Materie zu komplex. Der Einsteiger in die Materie soll vielmehr Zusammenhänge begreifen, damit er bei seinem Treiben strukturiert vorgehen bzw. später gezielt Fragen zu einzelnen Aspekten des Vorgehens stellen kann.

TOC:

- 1. Einleitung / Vorüberlegungen**
- 2. Warum Breitbandchassis entzerren?!**
- 3. Erfassen der Ausgangslage / Messungen**
- 4. Grundsätzliches zur Funktionsweise von Messprogrammen**
 - 4.1 Grundsätzliches zum Umgang mit Messprogrammen**
 - 4.2 Grundsätzliche Überlegungen zur Position des Micros**
 - 4.3 Messungen mit Raumeinfluss**
 - 4.4 Messen ohne Raumeinfluss**
- 5. Wirkung von Bauteilen**
- 6. Dimensionierung von Bauteilen**
 - 6.1 Breitbandige und schmalbandige Sperrkreise**
 - 6.2 Die Schaltung der Bauteile**
- 7. Arbeiten mit Simulationsprogrammen**
- 8. Resümee und Ausblick**

Für Newbies - Breitbandlautsprecher entzerren - Warum? - Wie?

1. Einleitung / Vorüberlegungen

Im Rahmen eines Threads tauchte sozusagen als Nebenprodukt die Frage auf, ob ein Breitbandlautsprecher in einem Bauvorschlag mit der Weiche / dem Sperrkreis beschaltet werden müsse, oder komplett ohne Beschaltung betrieben werden könne.

Breitbandlautsprecher erfreuen sich aus einer Reihe von Gründen einer großen Beliebtheit in DIY-Kreisen. Da sind sicher klangliche Aspekte zu nennen (Stichwort Punktschallquelle), vielseitige Einsetzbarkeit, ... Aber eben auch die Tatsache, dass die Beschäftigung mit zunächst nur einem Töner auch einen leichteren Einstieg ins Thema / Hobby Boxenbau verspricht.

Während die Gehäusesimulation auch für Anfänger mit gängiger Berechnungssoftware im Groben oft gut gelingt, stellt das Thema des Lötens und insbesondere des vorherigen Entwickelns einer Frequenzweiche oft eine Hürde dar.

Da kommt es dem Anfänger / Einsteiger oft ganz gelegen, dass ein Breitbandlautsprecher ohne Angst vor Zerstörung oder Beschädigung tatsächlich ohne Beschaltung betrieben werden kann. Wenn die selbstgebaute Breitband-Box ohne Beschaltung dann evtl. sogar noch passabel gut Musik wiedergibt, ist der Einsteiger, ohne sich mit dem lästigen Thema Frequenzweiche beschäftigen zu müssen, am Ziel.

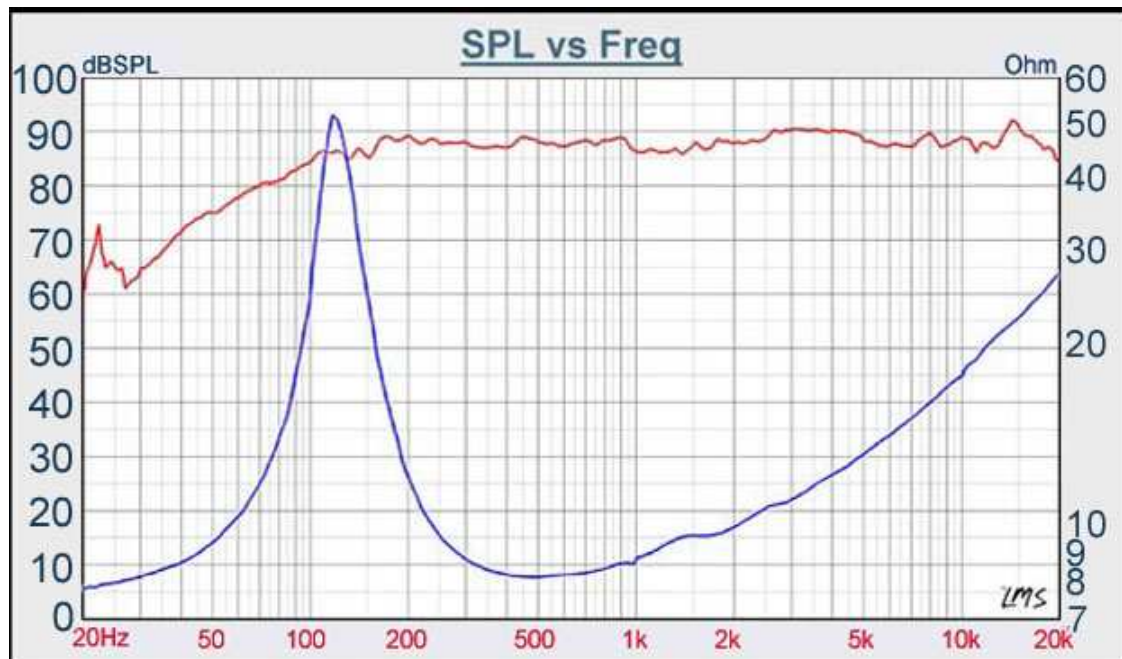
Häufig stolpert man in den Weiten des Internets auch immer wieder über Thesen, die den Selbstbauer in seinem gänzlichen Verzicht auf Beschaltung seines Breitbänders bestätigen. Die gängigen Thesen gehen in die Richtung, dass eine Beschaltung die Klangcharakteristik des Töners verändert, Dynamik kostete, lineare Lautsprecher langweilig seien, gute Töner generell keine Beschaltung bräuchten, Frequenzweichenbauteile dem wahren Geiste des Breitbandhörens widersprächen und insbesondere im Signalweg den Klang beeinträchtigten, ... Kurz; der geneigte Selbstbauer hat einen Lautsprecher, der ggf. ganz passabel klingt, und wird in seiner 'Unwilligkeit', sich mit Frequenzweichen zu beschäftigen, durch landläufige Breitband-Ideologie ganz gut bestätigt; im Zweifelsfall gibt es Equalizer, die helfen, Mängel im Klang zu beheben, zu verschleiern ...

Außerdem verspricht der Blick auf die Frequenzgänge der Herstellerseiten, dass die Chassis 'von Hause aus' bereits ordentlich lineare Frequenzgänge mitbrächten, die somit einer Korrektur auch nicht bedürften.

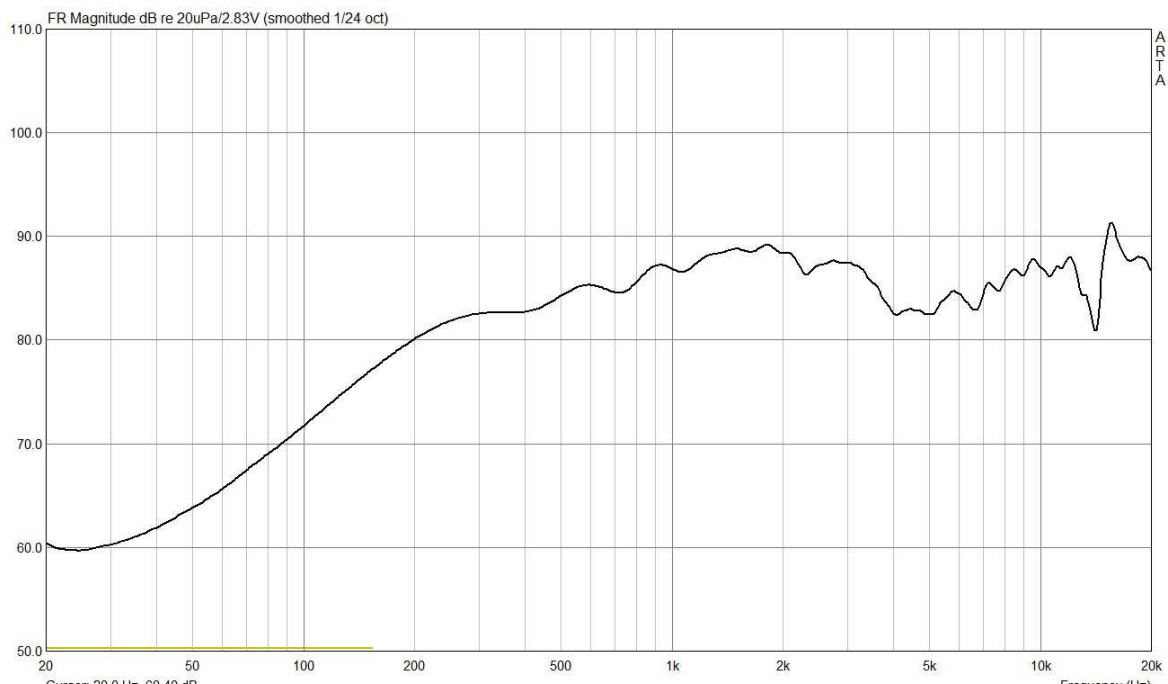
Und in der Tat gibt es einige Breitband-Konzepte, die ohne Beschaltung gut funktionieren. Diese sind in meinen Augen aber eher die Ausnahme und das Resultat ausgiebiger Tüftlei als die Regel. Ich möchte im Folgenden versuchen ein Bewusstsein dafür zu schaffen, dass es in der Regel sinnvoll ist, sich mit der Beschaltung eines Breitbänders zu beschäftigen. Vor allen Dingen ist mir aber daran gelegen, davon zu überzeugen, dass die Beschaltung des 'Breitis' kein Hexenwerk, sondern im Gegenteil, verhältnismäßig einfach ist.

2. Warum Breitbandchassis entzerren?!

Die Hersteller-Seiten und die Datenblätter der Töner versprechen in der Regel ausgewogene Frequenzgänge und HiFi-Tauglichkeit der 'ungezähmten' Breitbänder. Hier ein Beispiel:



Mit diesen Frequenzgängen ließe sich ganz gut leben und vor allen Dingen Musik hören. Eigentlich gibt es also keinen Grund, für eine Beschaltung der Töner. Also zügig ein kleines Gehäuse für einen PC-Lautsprecher gebastelt, den Töner eingeschraubt und schon lässt sich vermeintlich prima Musik hören, ohne sich mit einer lästigen Beschaltung zu beschäftigen. Ich habe also mal den Töner, dessen Hersteller-Frequenzgang oben abgebildet ist, in solch ein Gehäuse gepackt und dann mal 'quick and dirty' nachgemessen:



Das ist keine völlige Katastrophe, aber hat mit dem ausgewogenen Frequenzgang, den der Hersteller verspricht, nicht mehr viel zu tun. Es ist recht gut zu erkennen, dass der Einbau des Töners in ein wohnraumtaugliches Gehäuse den vom Hersteller versprochenen Frequenzgang 'verbiegt'. Das ist der Tatsache geschuldet, dass Messungen an Lautsprechern herstellerseitig standardisiert sind und auf großen Normschallwänden (1m x 1m oder größer) durchgeführt werden. Dasselbe Lautsprecher-Chassis zeigt in einem 'normalen' Gehäuse einen doch recht unterschiedlichen Frequenzgang, weil die hohen, tiefen und mittleren Töne unterschiedlich von der Schallwand, in welche der Töner eingebaut ist, reflektiert werden.

Ich möchte das Augenmerk auf die evtl. markanteste Beeinflussung durch den Einbau in das Gehäuse lenken. Durch den Einbau des Töners in eine wohnraumgemäße Schallwand kommt es zu einem Anstieg im Bereich der Frequenzen zwischen ca. 500 und 4500 Hz. Wenn man z.B. dafür sorgt, dass der Töner aus der Messung eine größere Schallwand 'sieht', lässt sich erahnen, dass sich bei immer größerer Schallwand ein linearerer Frequenzgang, ähnlich dem des Herstellers, einstellen würde (ich habe dazu einfach ein leeres Gehäuse über den Breit gestellt).

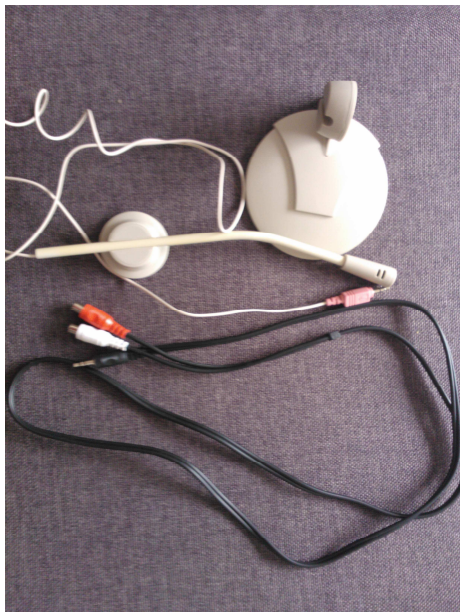


Aber in der Regel müssen wir im Wohnzimmer mit 'endlichen' Schallwänden leben. Daher ist die Überhöhung in den Mitten kein untypisches Verhalten für Breitbandlautsprecher sondern dürfte trotz Ausnahmen (Töner reagieren eben spezifisch) eher die Regel darstellen. Das Schöne für den DIYler, der meint, ohne Beschaltung auskommen zu können, ist, dass man mit diesem Lautsprecher trotzdem zunächst Musik hören kann. Je nach Gestaltung des Bassbereichs, den die Messungen hier nicht richtig erfassen, stellt sich evtl. ein brauchbares Klangbild ein.

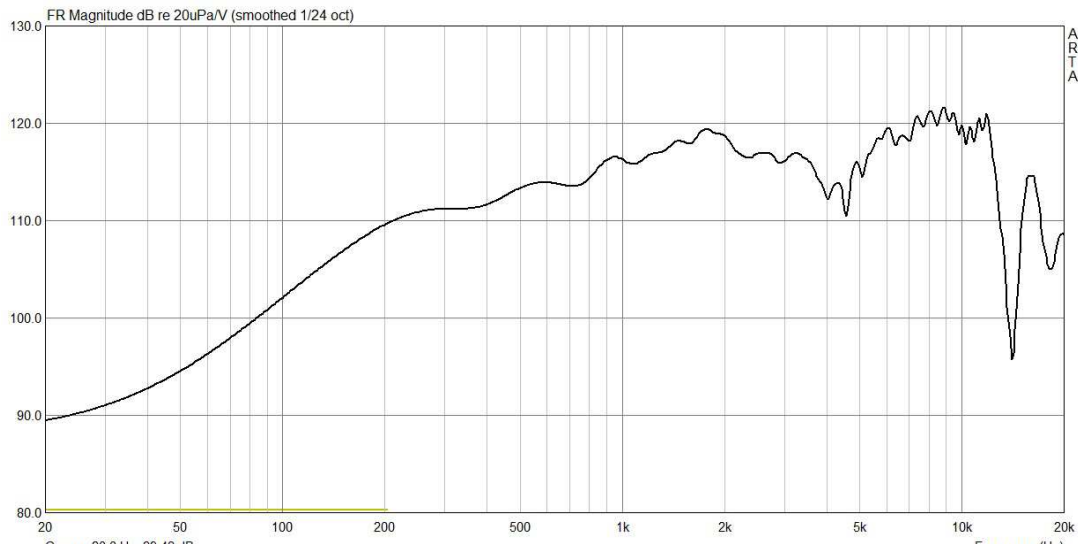
Dennoch werden Töne in den Mitten (in diesem Fall) zwischen ca. 500 und 4500 Hz viel zu laut wiedergegeben. Das führt bei längerem Hören dazu, dass sich ein sehr direktes, nasales, etwas forderndes, hartes und eher unangenehmes Klangbild ergibt. Weil das menschliche Ohr in diesem Frequenzbereich recht empfindlich ist, empfindet man längeres Musikhören als eher anstrengend und wenig entspannend. Darüber hinaus wird die Musik vom Tonträger erheblich verfälscht und nicht so wiedergegeben, wie der Künstler sie aufgenommen hat. Das hat mit HiFi also eher wenig zu tun! Bei aller Aufgeschlossenheit für Argumente von sog. Puristen (breitbandtypischer Klang, Charakteristik des Töners bewahren, etc.) sehe ich hier Handlungsbedarf. Ich mag es nicht, wenn ein Lautsprecher auf Dauer nervig klingt und der eigentliche Klang der Aufnahme verfälscht wird. Da das gezeigte Beispiel exemplarisch steht und eher die Regel als die Ausnahme abbildet, sehe ich gute Gründe, Breitband-Chassis, die dem Musikgenuss dienen sollen, zu beschalten / entzerren.

3. Erfassen der Ausgangslage / Messungen

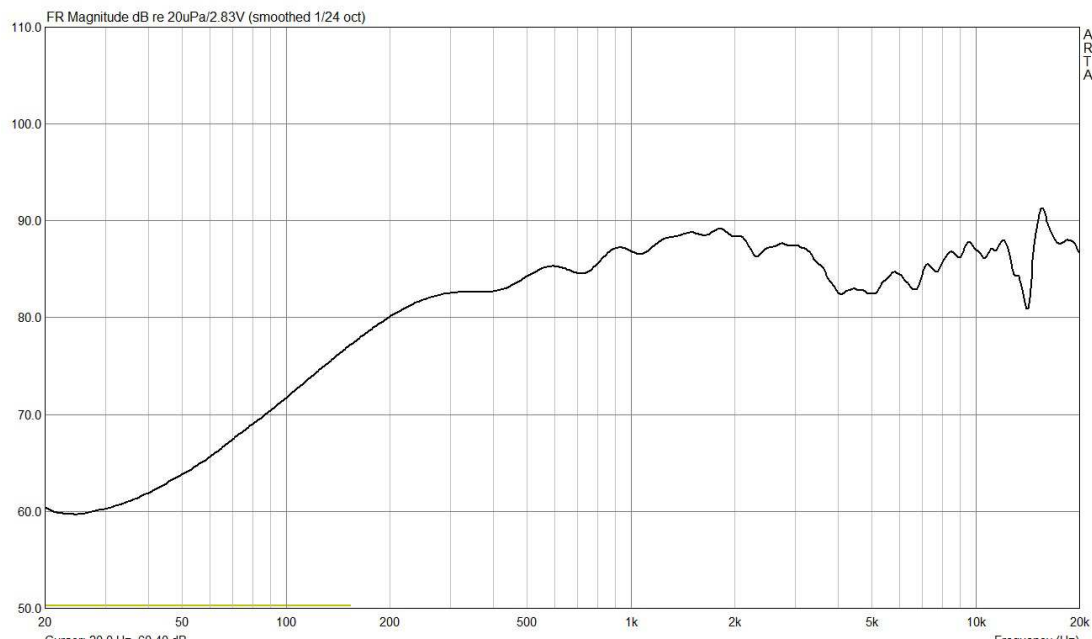
Es ist aus den ersten beiden Kapiteln deutlich geworden, dass der Einbau eines Breitbänders in ein Gehäuse typische Probleme (Veränderung des Frequenzganges / Überhöhung im Mitteltonbereich) beschert. Ich habe dies versucht anhand von Messungen, die ich mit meiner kalibrierten Messkette schnell angefertigt hatte, greifbar zu machen. Eine kalibrierte Messkette kostet aber im doch sicher dreistelligen Bereich und ist nicht in jedem Haushalt verfügbar. Ich würde in einem nächsten Schritt gern versuchen zu zeigen, dass dies:



für den Einsteiger ausreicht, um zunächst einmal zu eruieren, wie sich der Einbau des Töners in das Gehäuse auf den FG ausgewirkt hat. So ein Klinke-auf-Cinch-Kabel kostet ca. einen Euro, das Mikro habe ich mal für drei Euro erworben. Ich glaube, dass bereits die Investition von ca. fünf Euro ein brauchbarer Einstieg sein kann. Wie ich das meine und welche Einschränkungen es gibt, soll im Folgenden erklärt werden. Ich habe mit dem Billig-Equipment die Messung des Breitbanders wiederholt:



Hier nochmal zum Vergleich die Messung des Chassis im Gehäuse mit der vollkalibrierten Messkette:



Trotz der Nutzung von billigstem Equipment ist eindeutig zu erkennen, dass hier der gleiche Töner gemessen wurde. Die Unterschiede im Pegel liegen an der fehlenden absoluten Kalibrierung, die für diese Zwecke nicht nötig ist. Die Unterschiede im Verlauf sind hauptsächlich dem billigen Micro geschuldet, das nicht im gesamten Bereich verlässliche Daten liefert.

Die Kurven, die einmal mit dem kalibrierten Equipment entstanden sind und einmal mit dem 5-Euro-Billig-Zeugs unterscheiden sich hauptsächlich im Hochton erheblich. Mir ist aber eher wichtig,

aufzuzeigen, dass es eine sehr hohe Ähnlichkeit in einem bestimmten Frequenzbereich gibt! Und zum Glück für den Einsteiger liegen die Ähnlichkeiten im Bereich zwischen ca. 500 Hz und 4.5-5 kHz; genau dem Bereich, in dem der Breiti etwas 'Zicken' macht und entzerrt werden sollte / müsste. Die Infos über den für die Entzerrung wichtigen Bereich halte ich für durchaus brauchbar. Die Informationen im Hochton stimmen zwar nur noch näherungsweise, sind aber in einem für das Ohr nicht so empfindlichen Bereich. Außerdem entziehen sich diese Frequenzbereiche in der Regel sowieso der Beschaltung durch einen einfachen Sperrkreis und / oder können später durch Ein- oder Auswinkeln der Lautsprecher auf den Hörplatz effizient ohne Beschaltung beeinflusst werden.

Der Einsteiger erhält im Bereich, in dem die Weiche / der Sperrkreis wirken soll, Messungen, die bis auf kleine Abweichungen gut mit der Realität übereinstimmen. Für mich ganz klar Daumen hoch dafür, dass der Einsteiger für sein erstes Breitband-Projekt mit dem Billig-Mikro die Informationen erhalten kann, die er braucht.

Alle Fragen danach, welche Software wie zu verwenden wäre, wie zu verkabeln ist, ... wie dann am Ende mit den gewonnenen Erkenntnissen umzugehen ist, waren bis hierhin zweitrangig und werden dann in folgenden Kapiteln noch erklärt. Es ging erst mal nur darum, Mut zu machen und zu zeigen, dass der Einstieg nicht teuer sein muss.

4. Grundsätzliches zur Funktionsweise von Meßprogrammen

Auch auf die Gefahr hin, dass es dem einen oder anderen Leser zu blöde vorkommt, weil es eigentlich recht trivial ist, möchte ich dennoch mal im Groben skizzieren, wie Meßprogramme verfahren. Es wird vom Programm über die Soundkarte des PC ein Signal an den Verstärker gegeben. Der zu messende Lautsprecher gibt dieses Signal wieder. Das Mikro nimmt auf, was der Lautsprecher wiedergibt und diese Information wird vom Meßprogramm dann aufgezeichnet. Im Prinzip einfach, aber dennoch mal eine Schema:



Die Logik dahinter ist im Prinzip einfach. Das Mess-Signal ist z.B. ein Rauschen, das über alle Frequenzen von 20-20000 Hz gleich laut ist. Wenn jetzt alle Komponenten (Soundkarte, Verstärker, Lautsprecher, Mikro) 'perfekt' wären, würde was aufgenommen?

Yepp, richtig! Eine gerade Linie von 20-20000 Hz, da das Signal zwischen Ausgabe und Aufnahme überhaupt keine Veränderung erfährt. Wir kennen aber mindestens eine Komponente, die das Signal verändert, weil sie nicht alle Frequenzen gleich laut reproduziert. Yepp, wieder richtig. Unser Breitbänder im Gehäuse! 😊 😊

Die weitere Logik ist jetzt, dass, wenn ausgeschlossen werden kann, dass Soundkarte, Verstärker oder Micro das Signal verändern, der Unterschied zwischen Ausgabe und Aufnahme dem Lautsprecher anzulasten ist. Die Kurve aus meiner ersten Messung entsteht also dadurch, dass der kleine Breiti bei den ganz tiefen Frequenzen wegen seiner Bauart gar nicht laut spielen kann und dann über den Rest des Frequenzbandes im Zusammenspiel mit der Schallwand das 'schnurgerade' Ausgangssignal verändert. Im Wesentlichen dürften alle Programme so verfahren. Es ist natürlich im Detail etwas komplizierter, weil auch die anderen Komponenten (z.B. insbesondere das Billigmicro in bestimmten Bereichen des Frequenzbandes) Fehler produzieren, aber die Grundidee ist damit hoffentlich deutlich geworden.

4.1 Grundsätzliches zum Umgang mit Messprogrammen

Im Idealfall also, ist die Messkette optimal und so können alle Abweichungen des aufgenommenen Signals eindeutig dem Lautsprecher zugeschrieben werden. Daher ist es für fortgeschrittene Messungen wichtig, die Fehler der Meßkomponenten zu eliminieren oder gering zu halten. Zu diesem Zweck werden die Komponenten der Messkette gewöhnlich kalibriert. In der Messung mit dem billigen Desktop-Micro sind die einzelnen Komponenten der Messkette (insbesondere Soundkarte und Micro) sicher alles andere als optimal und kalibriert sind sie auch nicht. Und trotzdem kommt der Einsteiger im für ihn wichtigen Frequenzbereich (s.o.) zu brauchbaren Ergebnissen, weil in dem für die Entzerrung zunächst wichtigen Bereich die Abweichungen, die der Lautsprecher produziert im Vergleich zu denen der anderen Komponenten absolut dominant sind. Ermutigend, oder?

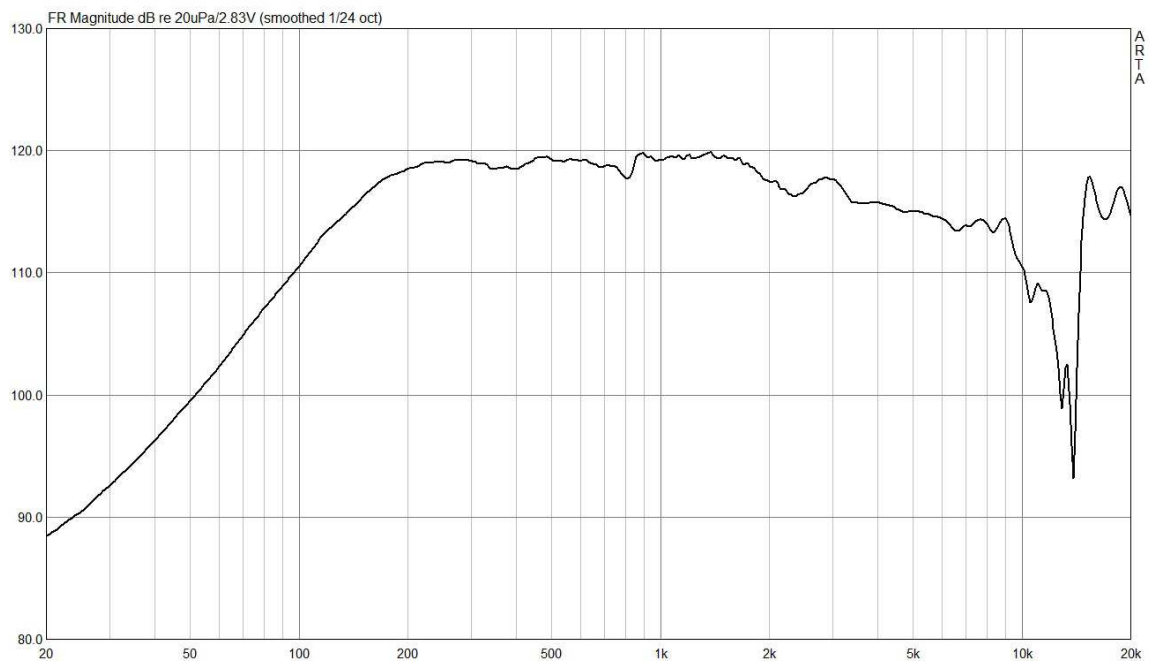
Ein weiterer Faktor, der bisher noch nicht betrachtet wurde, ist der Einfluß, den Reflektionen des Schalls durch Wände, Boden, Decke auf die Messung haben. Auch hier kann ich aber 'Entwarnung geben'. Ich werde im nächsten Schritt versuchen zu zeigen, dass man erstens durch geeignete Messprogramme diese Störgröße eliminieren kann und zweitens selbst, wenn man ein Programm wählt, was diese Störungen durch den Raum nicht eliminieren kann, bei etwas Geschick immer noch recht zuverlässige Informationen über seinen Lautsprecher erhält. Trotz nicht optimaler Messkette und der Tatsache, dass der Raum als weitere Störgröße das gemessene Signal beeinflusst, werden wir recht zuverlässig ermitteln können, was unser Breiti im Gehäuse so 'veranstaltet'.

4.2 Grundsätzliche Überlegungen zur Position des Micros

In diesem Abschnitt würde ich gern versuchen, kurz zu zeigen, wie die Microposition das Messergebnis beeinflusst. Deshalb in Folge vier Messungen; diese habe ich mit meinem kalibrierten System gemacht, weil es gerade angeschlossen war. Begonnen habe ich so:



Das Micro habe ich also unmittelbar vor dem Töner 'geparkt'. Dies ist eine sogenannte Nahefeldmessung und diese liefert folgendes Ergebnis:

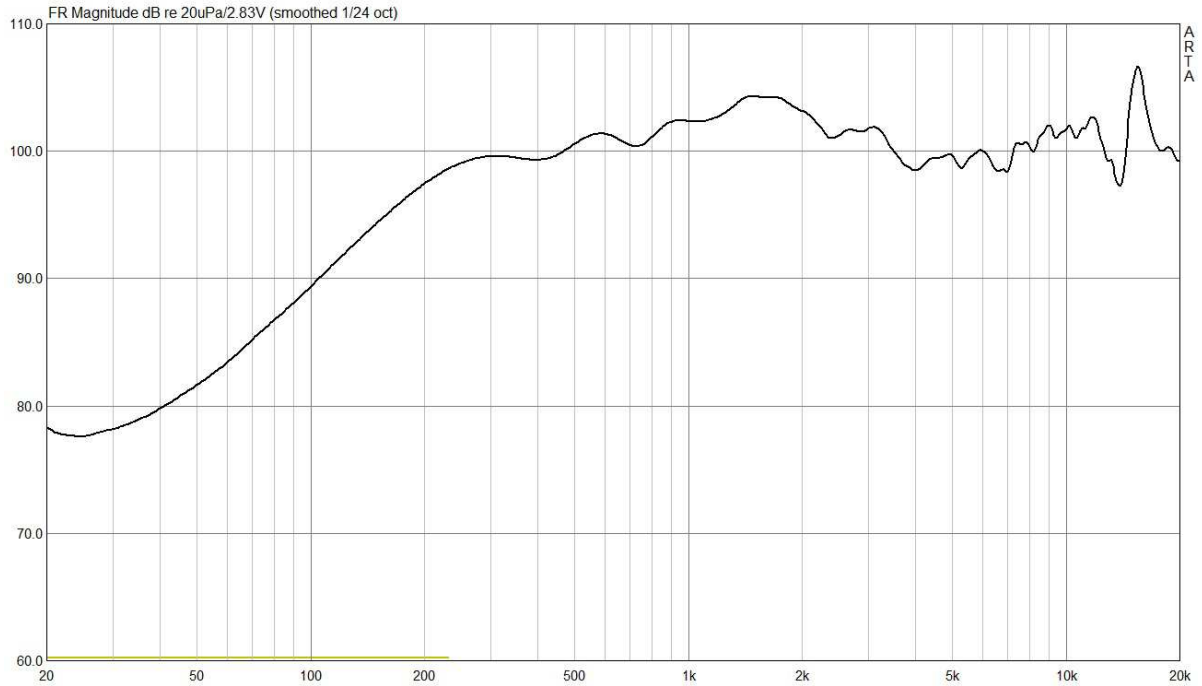


Wir hatten doch festgestellt, dass der Breiti entzerrt werden muss!? Wo ist unsere Überhöhung im Mittelton-Bereich?

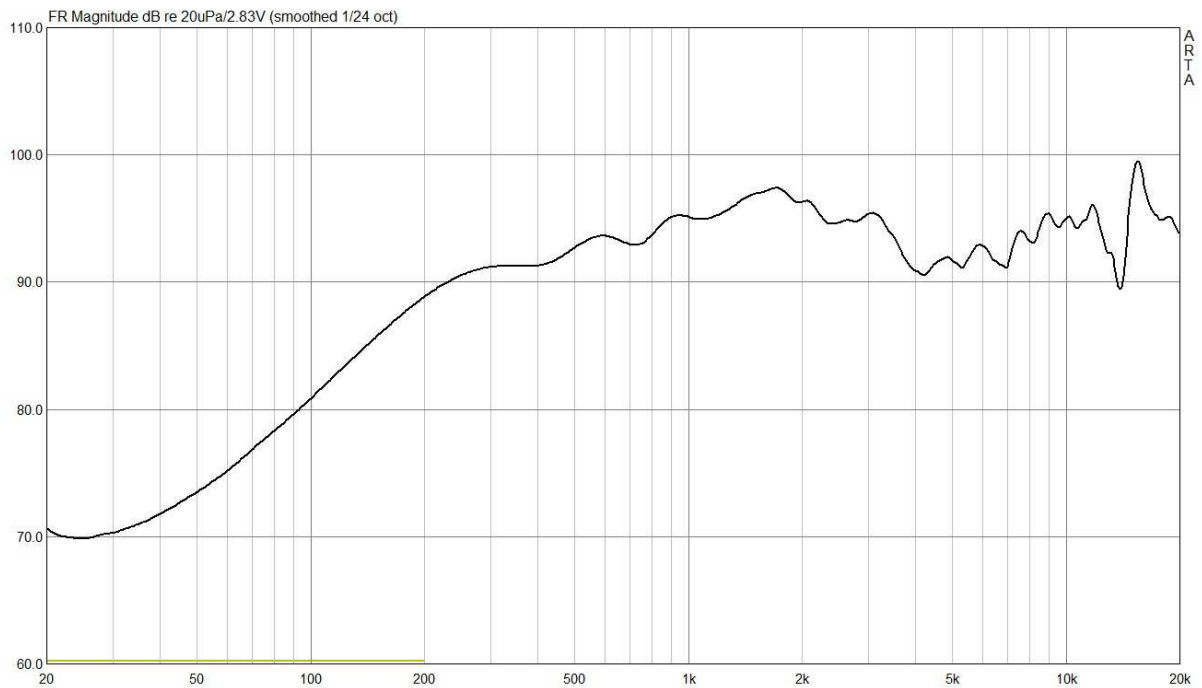
Die ist deswegen nicht vorhanden, weil die Überhöhung im Zusammenspiel zwischen Schallwand und Töner entsteht. Da ich mit dem Micro aber so nahe an der Membran bin, ist der Schall von der Membran derart dominant, dass der Einfluß der Schallwand gar nicht erfasst wird. Ich erfasse mit dieser Nahefeldmessung nur den Membranschall.

Nahefeldmessungen haben in anderen Zusammenhängen ihren Sinn; aber für unsere Aufgabe (Breiti entzerren) ist es nicht wichtig, zu wissen, wie nur der Töner spielt, sondern es ist wichtig, zu wissen,

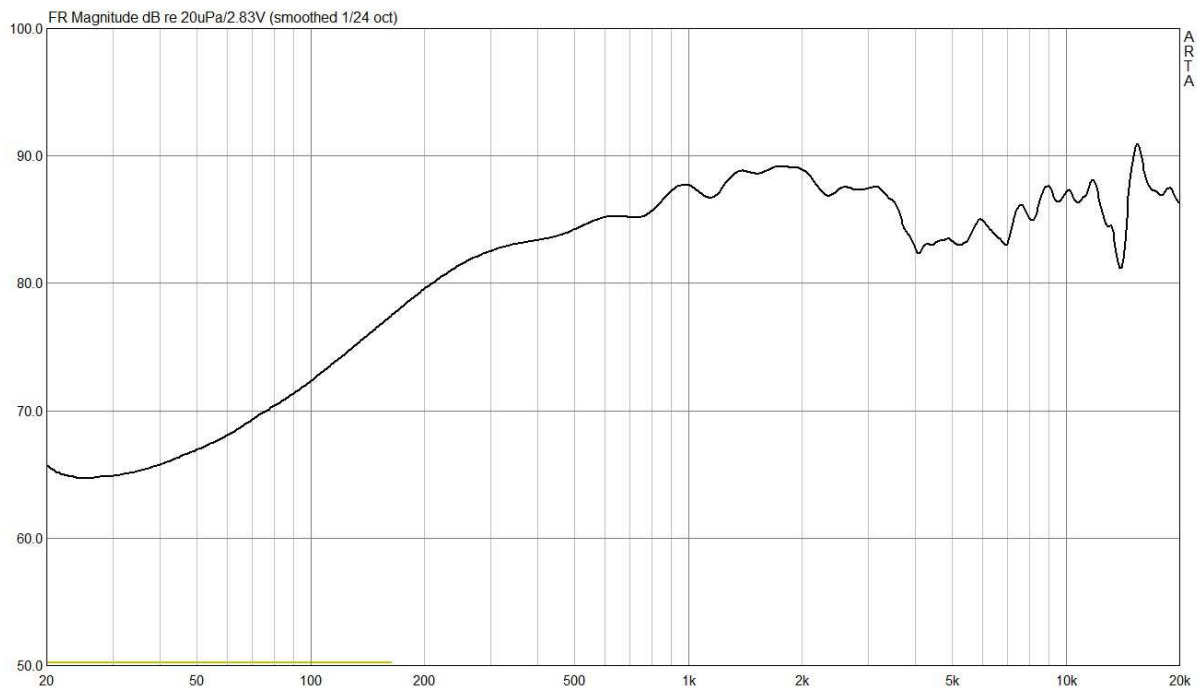
wie der gesamte Lautsprecher (also Membran + Schallwand) spielt. Dafür muss ich mit dem Micro weiter weg vom Lautsprecher; zunächst mal 15cm Entfernung (Das Programm Arta blendet dabei Raumreflektionen komplett aus. Hier werden daher tatsächlich nur Schallereignisse betrachtet, die von Membran und Schallwand verursacht werden.):



Hier in ca. 50 cm Entfernung:



Und schließlich eine sogenannte Fernfeldmessung in 1m Entfernung:



Man sieht sehr schön, wie sich bereits in geringer Entfernung durch das Zusammenwirken von Schallwand und Membranschall die zu entzerrende Überhöhung entsteht. Bei größerer Entfernung prägt sich dann schließlich der Frequenzgang des Lautsprechers aus; bereits bei 50cm ist der Unterschied zur 1m-Fernfeldmessung nicht mehr sehr groß.

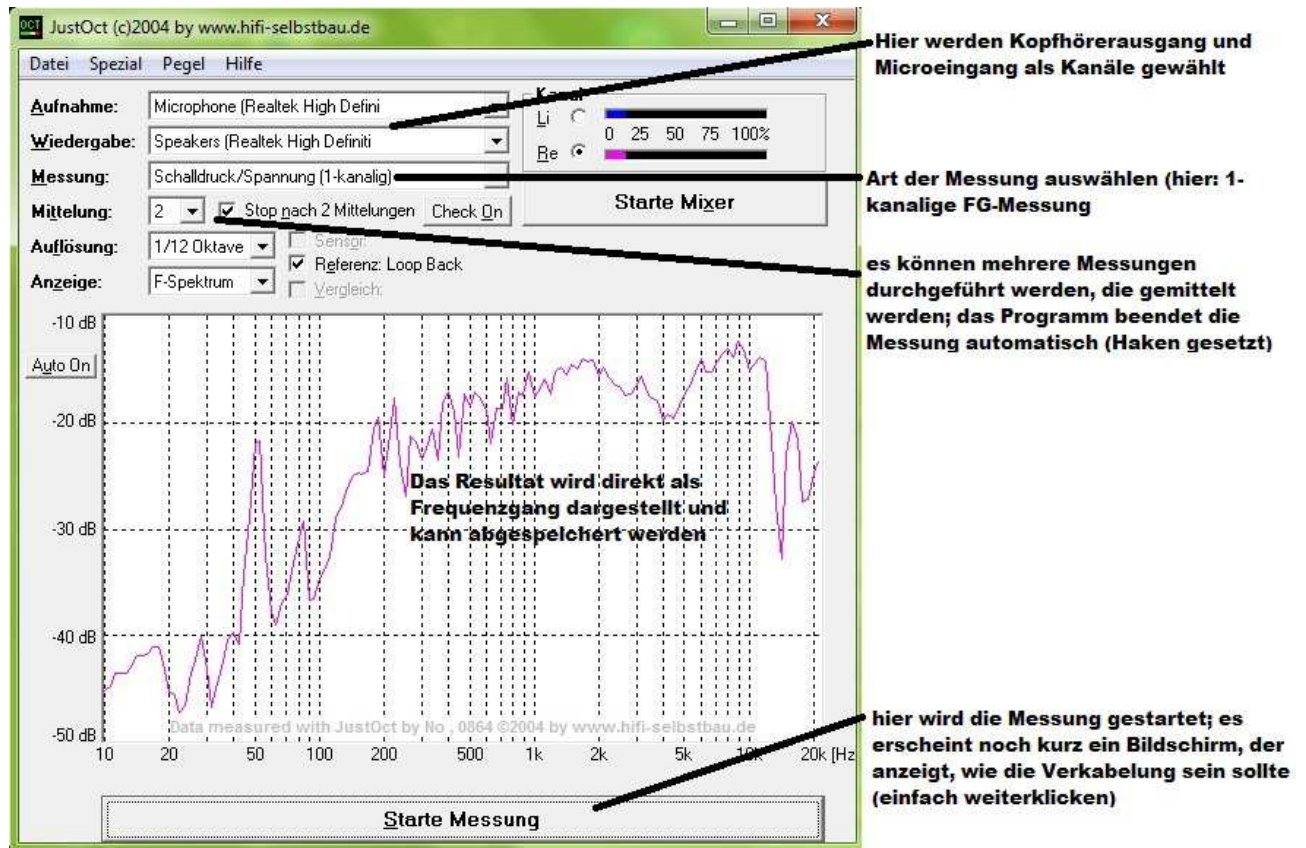
Es hat sich bei Lautsprechermessungen etabliert, im sog. Fernfeld bei 1m Entfernung zu messen. Wenn in Foren nach FG-Daten z.B. für eine Simulation gefragt wird oder User den FG ihres Lautsprechers einstellen, ist es in der Regel üblich, so zu verfahren.

Man sieht im Vergleich aber auch, dass selbst in 50-70cm Entfernung ein Frequenzgang gemessen wird, der schon sehr nahe an der 'Realität' ist. Also: Entfernung wie beschrieben muss sein, damit wir den FG des Lautsprechers (Membran + Schallwand-Einfluß) richtig erfassen. Aber im Zweifelsfall, unter bestimmten Bedingungen, können auch Messungen in 50-70cm die Informationen liefern, die man für die Entzerrung des 3er Breitis braucht. Insbesondere, wenn ein Programm verwendet wird, welches Raumeinflüsse nicht ausblenden kann, macht es Sinn, die sonst übliche Messentfernung zu unterschreiten.

Der Anfänger möge aus diesem Kapitel mitnehmen, das Membranschall und Schallwandeinfluß den Frequenzgang des Gesamtlautsprechers konstituieren. Das im Internet nicht totzukriegende Märchen von den bösen Bauteilen im Signalweg ist also schlicht falsch. Die eigentliche Beeinflussung des Frequenzgangs des Chassis, die ab ca. 50cm Messabstand deutlich zu erkennen ist, entsteht durch den Einbau in ein wohnraumtaugliches Gehäuse. Bauteile korrigieren lediglich diese unausweichliche Beeinflussung des Frequenzganges. Messungen, die Membranschall und Einfluss der Schallwand erfassen, sind unerlässlich, um diese Bauteile richtig zu dimensionieren.

4.3 Messungen mit Raumeinfluss

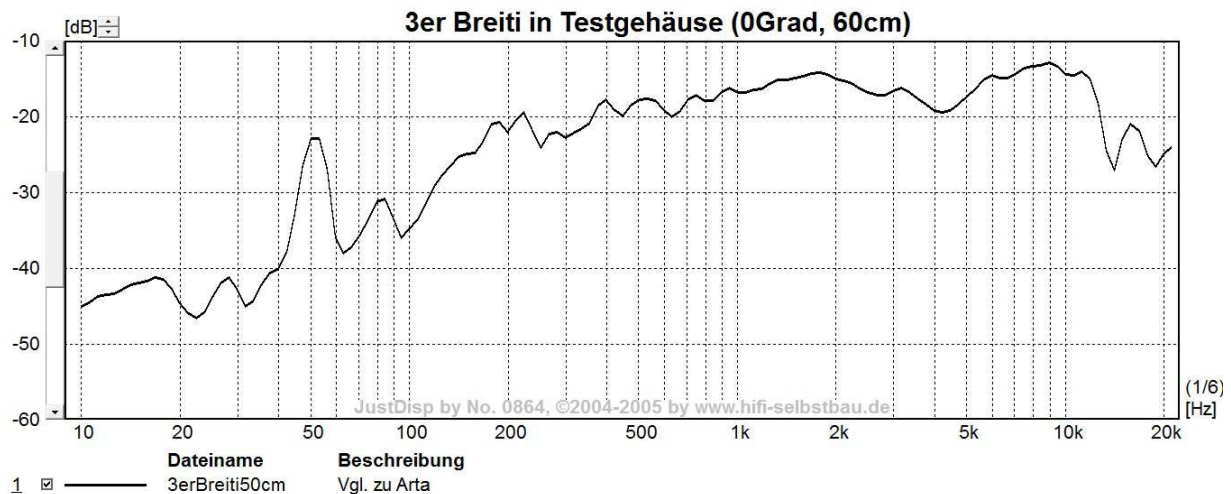
Es gibt Programme, die Raumeinflüsse nicht ausblenden können. Ein solches Programm ist JustOct, das für Abonnenten bei HSB kostenlos ist oder in einer Demo-Version verfügbar ist. Das Ganze sieht so aus:



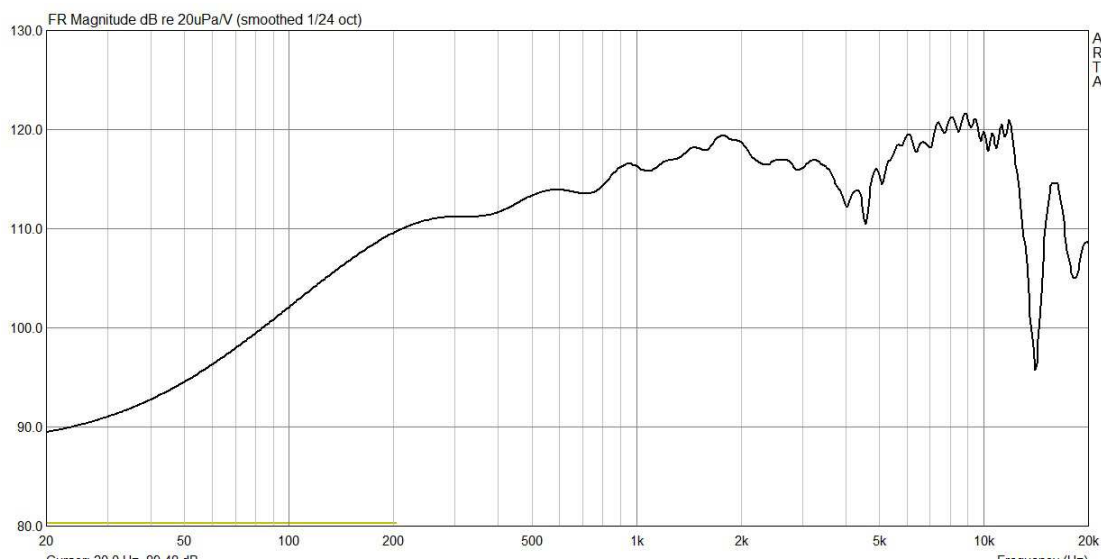
Dieses Programm ist in Teilen nicht mehr ganz State of the Art, aber es ist absolut einfach zu bedienen, wie der Beschriftung zu entnehmen ist.

Das Signal wird ausgegeben und das Micro nimmt auf. Das Ergebnis wird direkt als FG im Display dargestellt. (Die Skalierung des Displays ist aber nicht so toll; ich lasse mir die abgespeicherten Messungen lieber mit einem gesonderten Anzeigeprogramm darstellen.) Das Ergebnis enthält aber alle Raumeinflüsse, weil der Schall im Raum während der Messung von Wänden, Fußboden, Decke etc. reflektiert wird und dies auch vom Micro mit aufgenommen wird.

Das ist natürlich nicht ganz optimal, aber liefert trotzdem brauchbare Ergebnisse, wenn man die Betrachtung auf den relevanten Bereich (500Hz - 4.5 kHz) beschränkt. Es ist trotz Reflektionen deutlich am FG zu erkennen, dass es sich bei der Messung wieder um den kleinen 3-Zoll-Breit handelt. Wenn man außerdem aus dem letzten Post mitgenommen hat, dass bereits ab ca. 50cm Messentfernung der FG des Lautsprechers weitestgehend stimmig gemessen werden kann, könnte man auf die Idee kommen, das Micro statt 1m nur ca. 60cm entfernt zu stellen. Im Vergleich zu den Reflektionen ist dann der Direktschall viel lauter und die Reflektionen beeinflussen das Geschehen weniger. Ich habe das mal gemacht (und zwar mit dem billigen Micro):



Um zu sehen, ob dieses Vorgehen mit einem Programm, welches den Raum nicht herausfiltern kann, hinreichend genau ist, habe ich hier nochmal zum Vergleich die Messung mit Billig-Micro und der Mess-Software ARTA, die den Raum filtern kann:



Wenn ich jetzt weiß, dass die Verzapplung bei den tiefen Frequenzen (<500 Hz) durch den Raum entstehen und ich eh nur den Bereich bis ca. 4.5 kHz betrachte, erhalte ich trotz Billig-Micro und einfachem Messprogramm folgende Info:

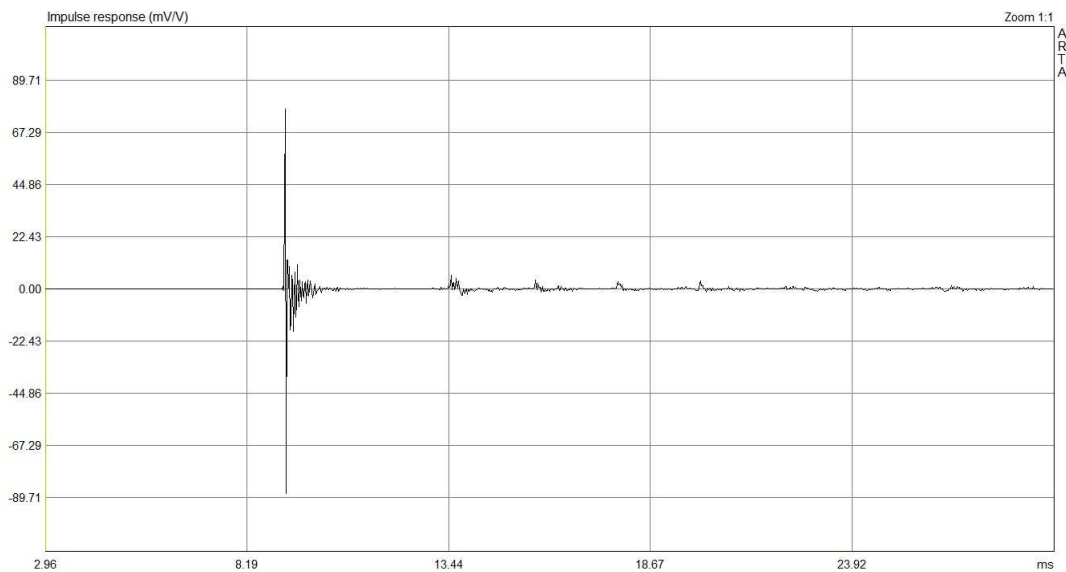
"Dein Breiti spielt mit der Spitze bei knapp 2 kHz zwischen 500 Hz und 4 kHz um ca. 5dB zu laut! Unternimm was! Beschalte ihn!"

Gar nicht so schlecht, oder? Mit billigstem Equipment und einem einfach zu bedienenden Freeware-Programm erhält der Einsteiger wichtige Informationen darüber, wie sich der Einbau des Chassis in ein Gehäuse im empfindlichen Mitteltonbereich auf den Frequenzgang auswirkt.

4.4 Messen ohne Raumeinfluß

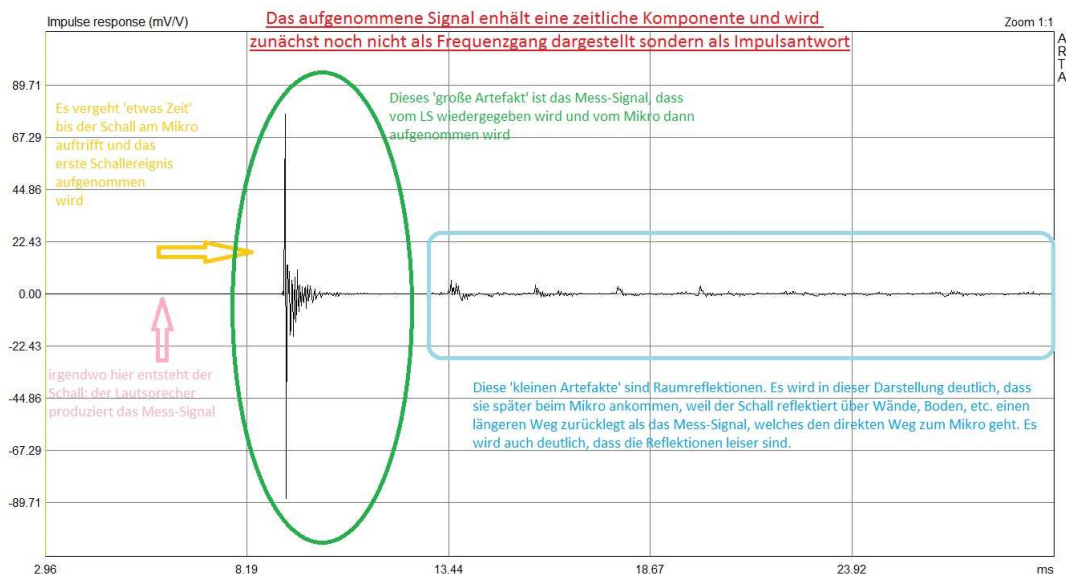
Es gibt Mess-Programme, die den Raumeinfluß, filtern können. Das wohl verbreitetste unter DIYlern dürfte Arta sein. Der Umfang und die Möglichkeiten, die die Arta bietet, sind enorm. Leider sind die richtigen Einstellungen, die Kalibrierung und Handhabung nicht so sehr eingängig. Daran dürfte so manch DIYler schon verzweifelt sein. Wenn es aber läuft, kann man damit extrem gut Lautsprecher entwickeln

Der Weg bis zur ersten gelungenen Messung ist oft ein steiniger, aber ich möchte zunächst kurz zeigen, wie ARTA im Unterschied zu JustOct bei der Messung vorgeht (wenn man es in der Richtung bedient). Auch hier wird über das Programm ein Signal über den Lautsprecher wiedergegeben und dann über das Micro gemessen und aufgezeichnet. Das Resultat der Messung wird aber nicht direkt als Frequenzgang angezeigt sondern als Impulsantwort. Das sieht dann so aus:

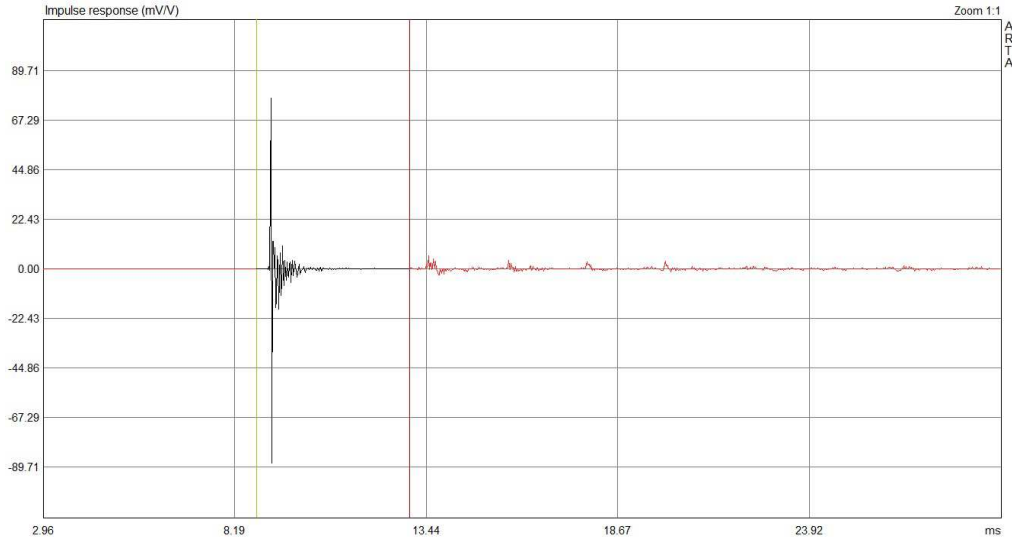


Der geneigte Leser fragt sich: Watt'n datt?

Wenn man ARTA in dieser Weise bedient, berücksichtigt Arta auch den Faktor Zeit und stellt die Messereignisse nicht nur in Lautstärke sondern auch in der Zeitebene dar. Ich habe mal versucht, das zu erklären:



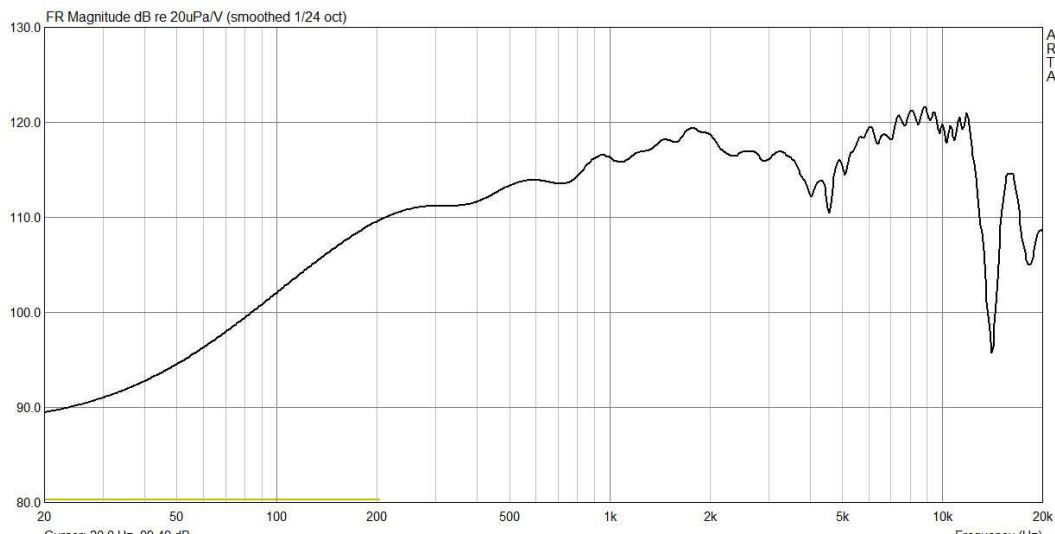
Ich hoffe das ist soweit verständlich. Der Einsteiger, der es geschafft hat, einen solchen Impuls zu messen, ist nämlich fast am Ziel. Er muss dem Programm über ein Gate / Zeitfenster nur noch sagen, welche Schallereignisse es bei der Darstellung des FG berücksichtigen soll. Und hier ist ja klar, dass der Messimpuls ausgewählt wird und die Reflektionen ausgeklammert werden sollen. Dies habe ich hier mal gemacht:



Cursor (gelbe Linie) und Marker (rote Linie) definieren den Zeit-Bereich, der vom Programm berücksichtigt werden soll. Die Raumreflektionen, nach dem Marker als kleine Impulse zu sehen, werden ausgeklammert. Jetzt ist der Selbstbauer nur noch einen Mausklick vom Frequenzgang seines Lautsprechers entfernt:



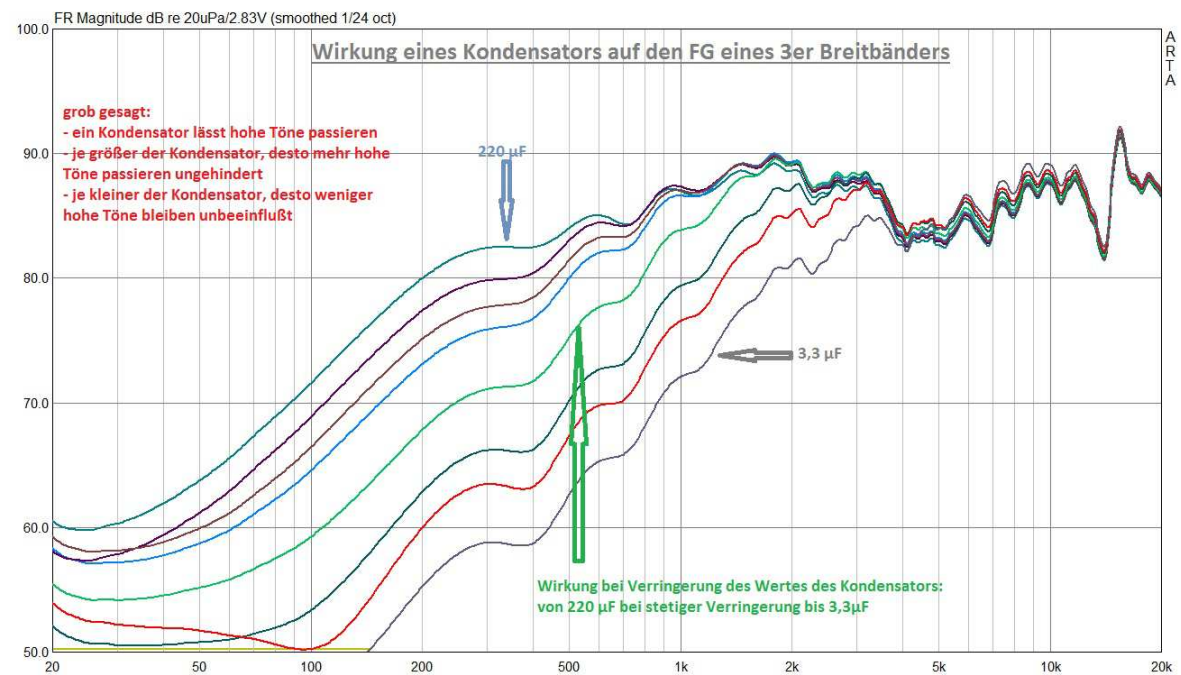
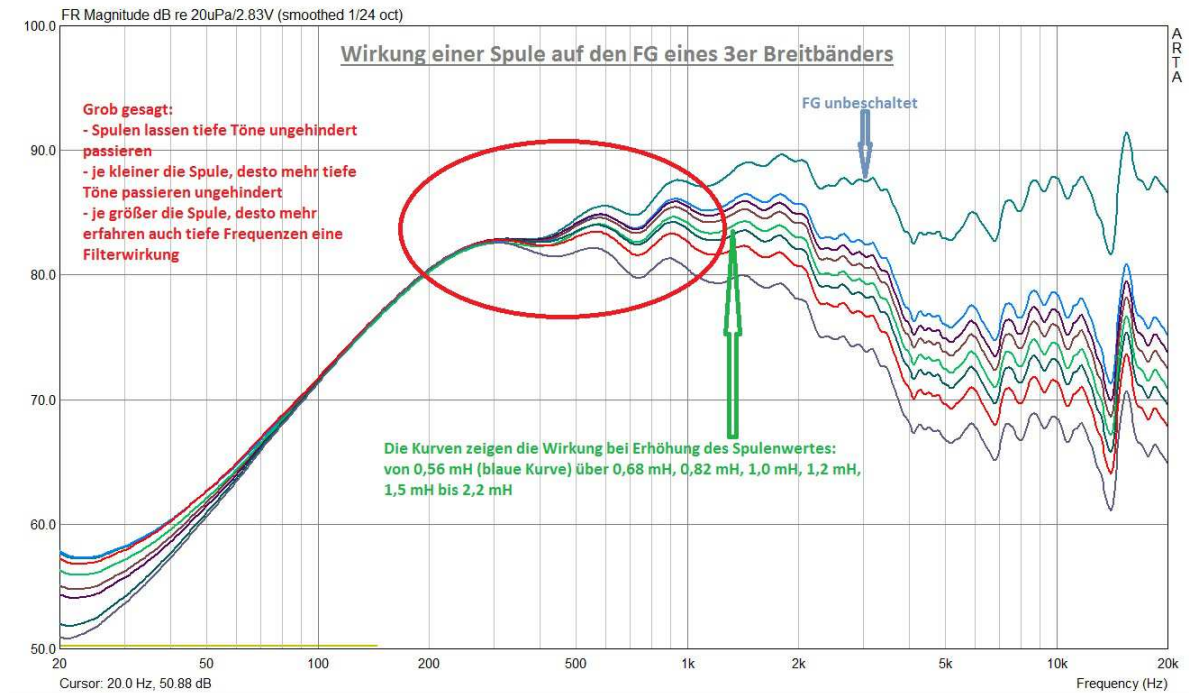
Dies getan, errechnet das Programm über einen Algorithmus den Frequenzgang ohne Raumeinfluss:

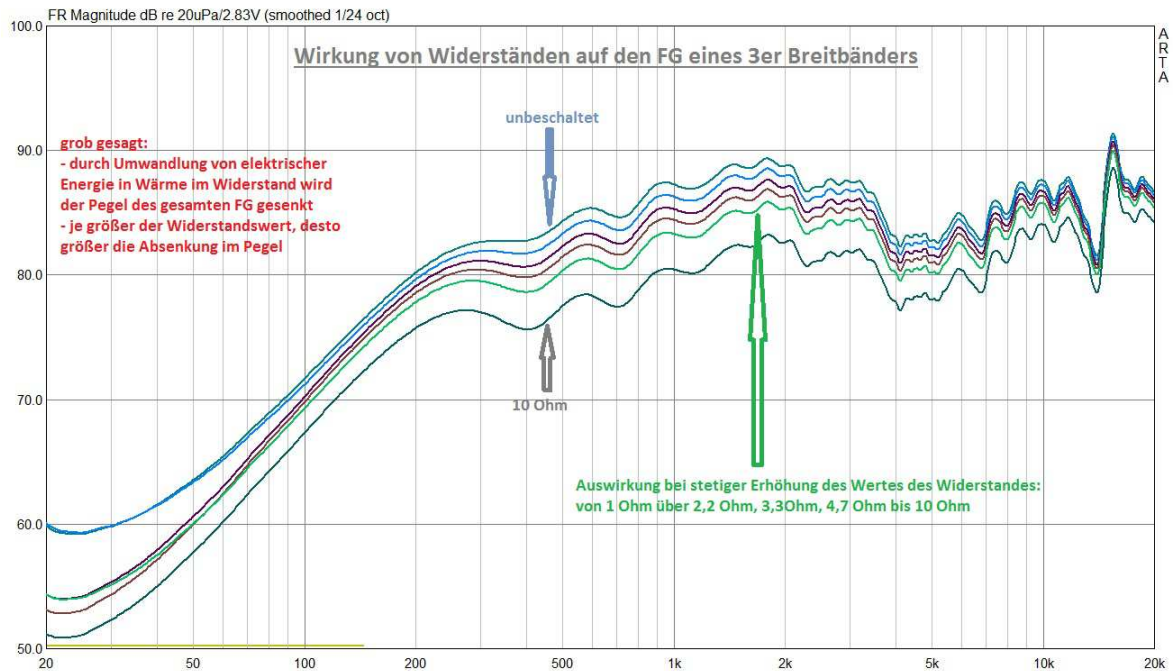


Und schon weiß der Entwickler wieder, dass sein Breiti durch Einbau ins Gehäuse im Mittelton zu laut spielt. (Ab 5 kHz liefert unser Billig-Micro, mit dem diese Messung gemacht wurde, ja keine ganz verlässlichen Daten mehr.)

5. Wirkung von Bauteilen

Um für Einsteiger generell etwas verständlicher zu machen, warum die Kombination aus drei Bauteilen (Spule, Kondensator und Widerstand) zur Entzerrung führt, möchte ich kurz die Wirkung der Bauteile zeigen. Ich habe dazu mal eben ein paar Bauteile jeweils in Reihe zum Breiti geschaltet und gemessen:

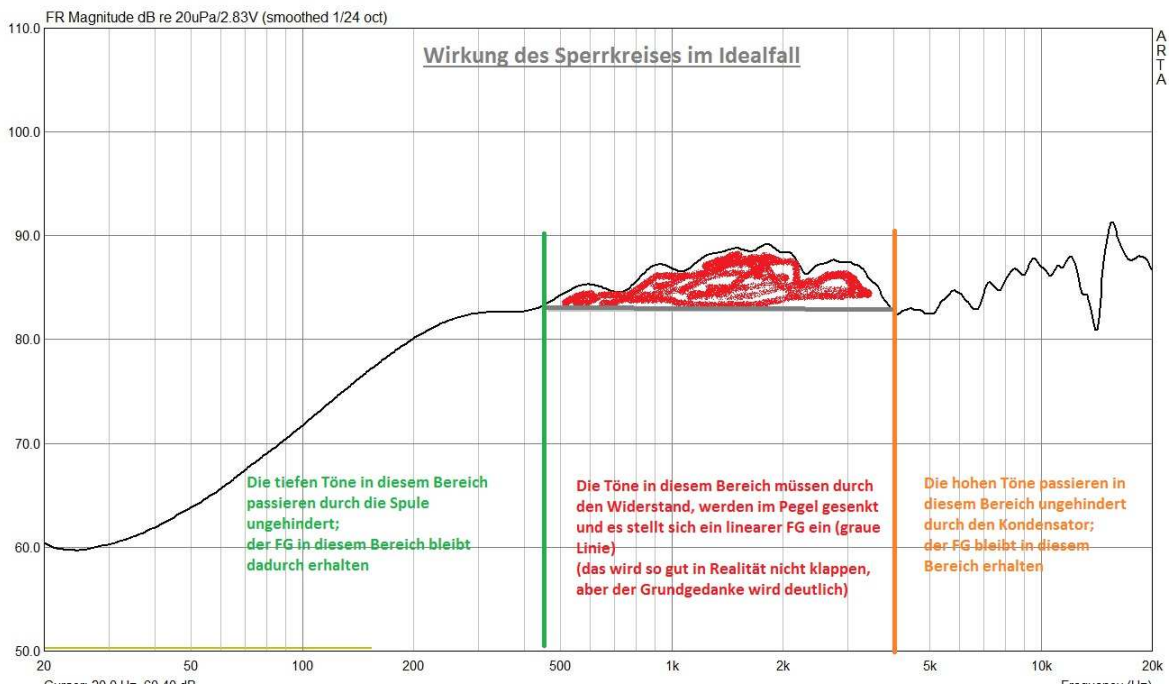




Die Idee ist also:

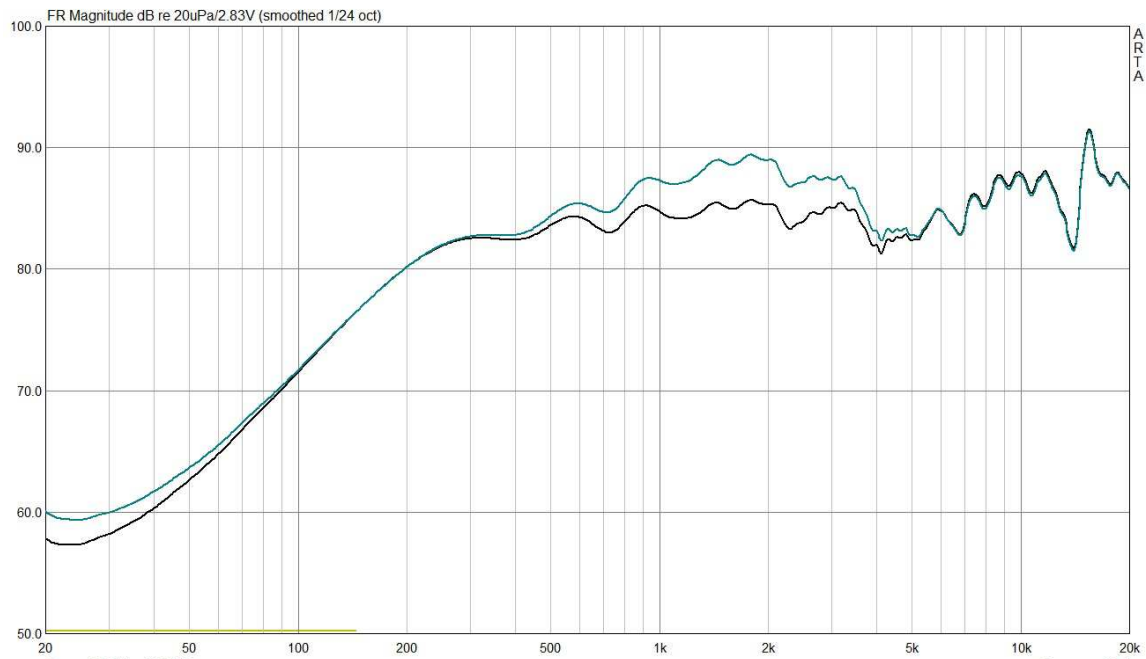
- durch die Spule einen Bereich zu schaffen, in dem Tiefe Töne ungehindert passieren / bei unserem Breiti der Bereich unterhalb von ca. 500 Hz
- durch den Kondensator einen Bereich schaffen, in dem hohe Töne unbeeinflusst bleiben / hier der Bereich oberhalb von ca. 4.5 kHz
- der Bereich dazwischen wird durch den Widerstand geschickt und dadurch im Pegel gesenkt

Im Idealfall sähe das so aus:



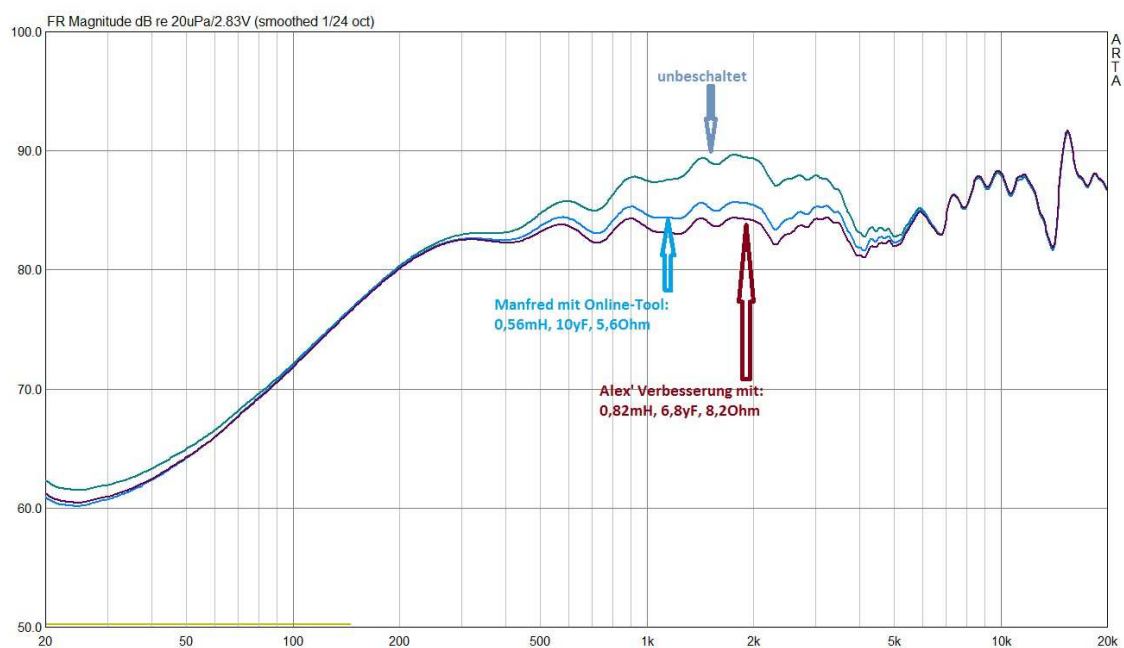
6. Dimensionierung von Bauteilen

Im Forum hatte ein User anhand der geposteten Messung einen bekannten online-Rechner (Lautsprechershop.de) für Bauteilwerte eines Sperrkreises bemüht. Diesen habe ich aufgebaut und nachgemessen:



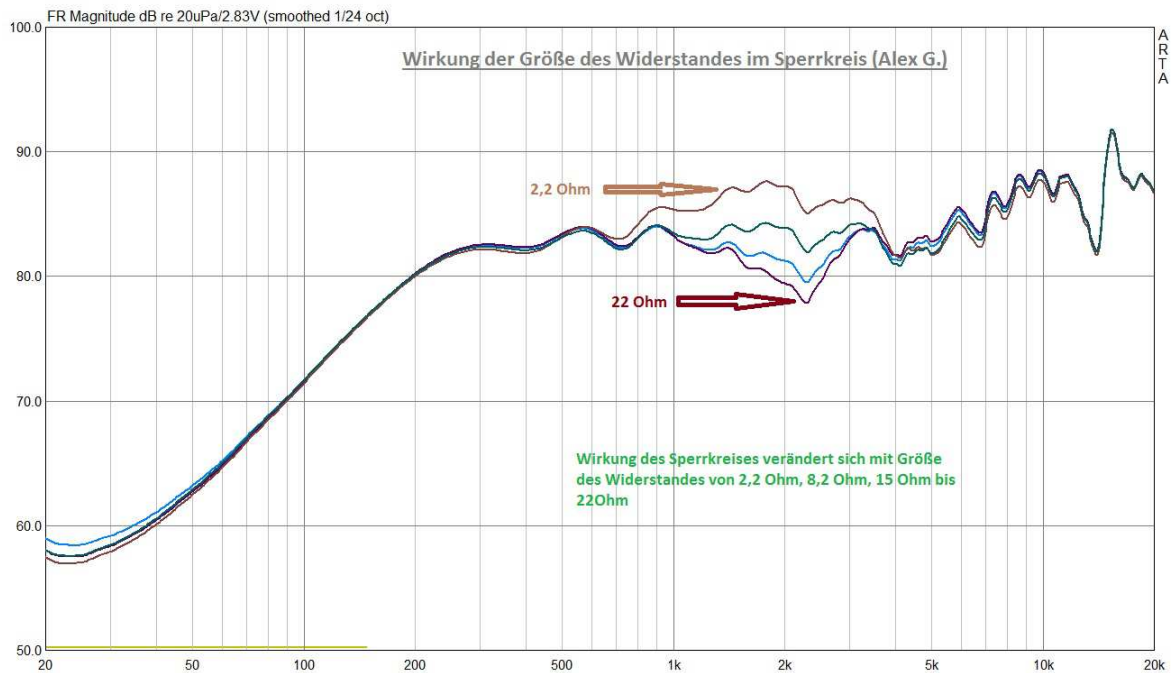
Noch nicht ganz perfekt, aber eine erhebliche Verbesserung!!! Der empfindliche Mitteltonbereich wird linearisiert und das Hören damit deutlich entspannter. Mit den richtigen Messdaten 'bewaffnet' kann also bereits ein Online-Tool die Situation verbessern. (Vorsicht: Diese Aussage gilt für das einfache Entzerren von Breitbandlautsprechern. Online-Tools führen bei der Berechnung von Weichen für Mehrwege-LS wegen der nicht vorhandenen Phasen- und Impedanz-Daten unausweichlich zum Scheitern!)

Wenn man dann noch etwas probiert (Bauteile vorausgesetzt) kann man das Szenario weiter optimieren (User hatten Vorschläge gemacht, die ich dann aufgebaut hatte):

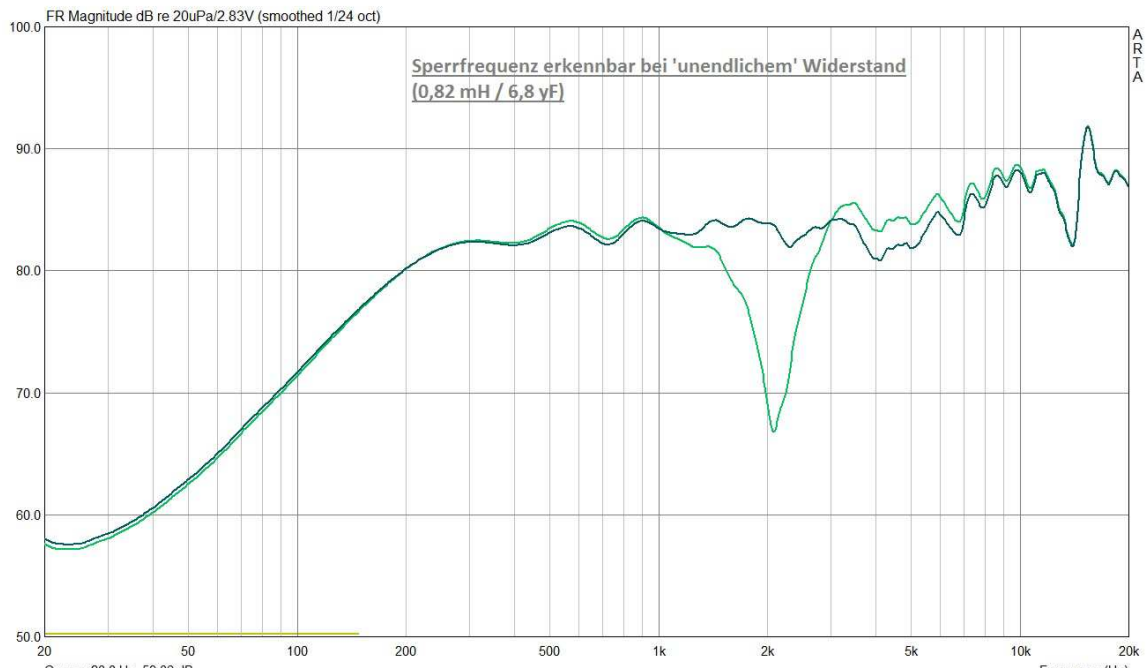


6.1 Breitbandige und schmalbandige Sperrkreise

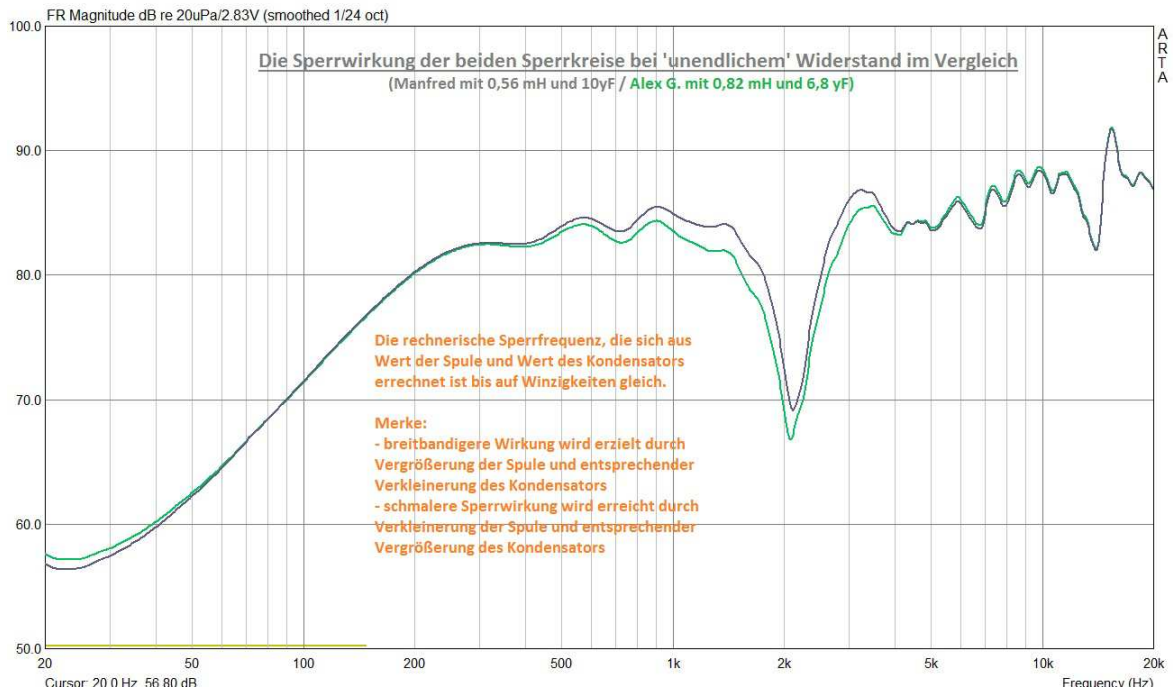
Ich habe dann mal den Sperrkreis von Alex aufgebaut und dabei mit den Wert des Widerstandes variiert. Das wirkt sich so aus:



Man kann den Wert des Widerstandes auch mal unendlich groß gestalten, indem man den Widerstand komplett entfernt. Das macht klanglich natürlich überhaupt keinen Sinn, man erkennt aber sehr gut die Sperrfrequenz (errechnet durch Wert der Spule und Wert des Kondensators), auf die der Sperrkreis wirkt:



Das gleiche habe ich mal mit Manfred's Sperrkreis gemacht und die Kurven übereinandergelegt:

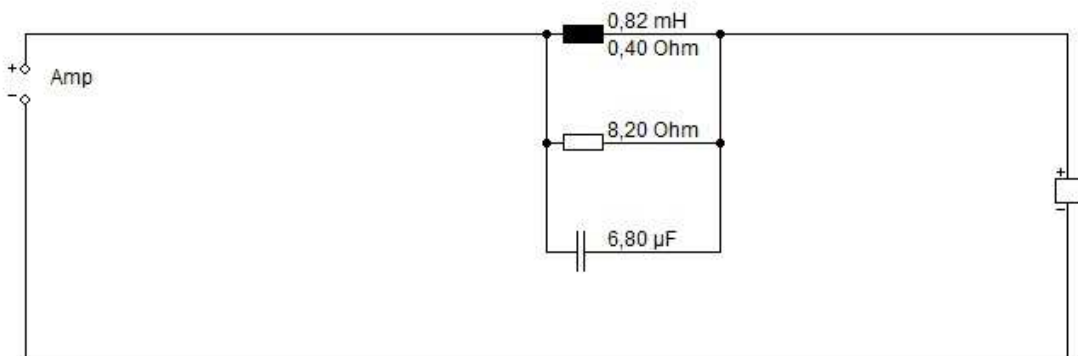


Obwohl beide Schaltungen auf dieselbe Frequenz wirken / sperren, wird klar, dass Manfreds Sperrkreis etwas schmalbandiger wirkt und Alex' Sperrkreis durch die Vergrößerung von Spule und Absenkung des Kondensator etwas breitbandiger sperrt.

Einen guten Rechner für die Sperrfrequenz findet man übrigens auf Hifi-Selbstbau.de im ersten Artikel zu Frequenzweichen!

6.2 Die Schaltung der Bauteile

Für erfahrene Selbstbauer ist es zwar eine Selbstverständlichkeit, aber zum besseren Verständnis für den Einsteiger hier mal die schematische Schaltung der drei Bauteile:



Der Strom zum Lautsprecher durchfließt also in Summe alle drei Bauteile. Dabei passieren die tiefen Frequenzen ungehindert je nach Größe der Spule, die hohen Frequenzen ungehindert je nach Größe des Kondensators und die Frequenzen dazwischen werden durch den Widerstand in der Lautstärke gesenkt.

Wenn man dann sicher ist, die richtigen Bauteile gemessen und gehört zu haben, bietet sich folgende Anordnung der Bauteile für den fertigen Lautsprecher an:



Bauteile mit Heißkleber auf die Spule geklebt und miteinander verlötet. Diesen Sperrkreis dann einfach in die Zuleitung zum Breitbänder gelötet und fertig ist das erste eigene Projekt mit Frequenzweiche 😊.

7. Arbeiten mit Simulationsprogrammen

In den vorherigen Kapiteln sind die Bauteilwerte näherungsweise über Berechnungen ermittelt und anschließend am 'lebenden Objekt' optimiert worden. Das ist insbesondere dann problemlos möglich, wenn der Entwickler eine gut gefüllte Bauteilkiste hat.

Insbesondere der Anfänger hat diese aber nicht; außerdem ist mit Blick auf kompliziertere Schaltungen bei anderen Entwicklungen (2-Wege-Box) der Einsatz eines Programms zur Weichensimulation anzuraten. Diese Programme jetzt zu beschreiben oder auch nur an einem Beispiel zu zeigen, wie das funktioniert, würde den Rahmen dieser kleinen Richtschnur sprengen. Die gängigen Programme wie Xover, Boxsim, etc. sind auch so gut dokumentiert, dass eine Redundanz hier nicht nötig ist.

Einige Anmerkungen seien aber zum generellen Verständnis der Vorgehensweise gestattet. Alle gängigen Messprogramme bieten die Möglichkeit, die gemessenen Frequenzgänge als Text-Datei zu speichern. Diese Datei wird dann in das jeweilige Simulationsprogramm eingelesen. Bei der Entzerrung von Breitband-Chassis reicht in der Regel der einfache Frequenzgang. Phaseninformationen sind nicht nötig, weil das Chassis allein spielt und nicht auf ein weiteres Chassis abgestimmt werden muss. Impedanzdaten sind in Boxsim z.B. nicht nötig, weil das Programm aus den TSP des Chassis und den anderen Daten (Gehäusegröße, BR-Abstimmung) einen Impedanzgang errechnet, der meist hinreichend genau ist.

Wenn es dann an die Dimensionierung der Bauteile im Simulationsprogramm geht, empfiehlt es sich für den Anfänger wieder, zu überlegen, bei welcher Frequenz die Sperrwirkung liegen soll und mit

welcher Kombination aus Spule und Kondensator diese erreicht wird. Die Schmal- oder Breitbandigkeit lässt sich dann nach Trial und Error im Simulationsprogramm errechnen. Selbiges gilt für den Widerstand. Bei längerer Beschäftigung mit der Materie wird sich dann rasch ein Gefühl dafür einstellen, welche Bauteile aus der virtuellen Bauteilkiste welche jeweilige Wirkung erzielen.

8. Resümee und Ausblick

Der Anfänger, der sich nun durch das doch länger als gedacht geratene Traktat gekämpft hat, hat für sich hoffentlich mitgenommen:

- Breitbandlautsprecher spielen nur auf dem Herstellerdatenblatt linear
- bei Einbau in ein Gehäuse entstehen durch die unterschiedliche Reflektion der verschiedenen Frequenzen an der Schallwand in der Regel hauptsächlich Verzerrungen im Mittelton, die dem Musikgenuss massiv im Wege stehen
- Bauteile im Signalweg sind nicht generell zu verteufeln, sondern begründen den Frequenzgang des Gesamtlautsprechers (Membranschall und Reflektionen der Schallwand), der sich meist erheblich vom Herstellerdatenblatt unterscheidet.
- Messungen funktionieren generell so, dass ein bekanntes lineares Signal aufgenommen wird und die Veränderung des Signals der nicht linearen Spielweise des Lautsprechers angelastet wird.
- Mit sehr einfachen und günstigen Mitteln lassen sich diese Verzerrungen messen. Auch günstigstes Equipment liefert für diesen Zweck (Linearisierung zwischen ca. 0.5 und 5 kHz) hinreichend genaue Daten
- Sinn und Einfluss der Mikroposition sind verstanden worden
- Funktion und Zusammenspiel der Bauteile im Sperrkreis sind verständlicher geworden
- Das generelle Vorgehen zur Ermittlung von Bauteilwerten sowie die Schaltung / Lötung der Bauteile ist transparent geworden.

Vermutlich sind auch einige Fragen offen geblieben. Diese werden in der Regel folgende Themen betreffen:

- Wie genau installiere und bediene ich mein jeweiliges Messprogramm?
- Wie speichere ich Daten ab?
- Wie pflege ich die Daten in mein gewähltes Simulationsprogramm ein?
- Welches Equipment kann ich alternativ verwenden?
- Es tun sich Probleme zu einzelner Hard- oder Software auf.
- Etc.

Die Probleme lassen sich schlecht generalisieren und sind (abhängig von eingesetzter Hard- oder Software) oft userspezifisch. Diese Aspekte lassen sich daher im Rahmen dieser kurzen Abhandlung nicht lösen bzw. umfassend erfassen. Ich verweise daher auf die Dokumentationen der jeweiligen Programme und z.B. Websites wie hifi-selbstbau.de, die sich diesen Problemen widmen. Für manche sprachliche Ungeschliffenheit und den einen oder anderen Wechsel in der Ansprache in dieser Einführung bitte ich um Entschuldigung. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass die Ausführungen dem genannten Thread entnommen sind, weil eine komplette Neuarbeitung des Themas meinen zeitlichen Rahmen gesprengt hätte.

LG Gazza