



Lautsprechermessungen lernen in 90 Minuten

Haan, 13.08.2011

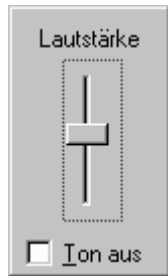
Ziele

- Der heutige Workshop richtet sich an Leute, die noch keine oder nur **geringe Messerfahrung haben!**
- Es sollen die wichtigsten Fragen geklärt werden
 - Der doofe WINDOWS-Mixer (wer den nicht blickt kommt nicht weiter)
 - Impedanzmessungen ganz einfach (Eingangskontrolle, Weichencheck/Fehlersuche)
 - Meine erste Schalldruckmessung, Fragen über Fragen: misst das Mikro richtig?, Grundgeräusch, Richtwirkung, Peak oder Einbruch etc.
 - Nahfeld, Hörplatz, Raum ausblenden - was ist besser?
 - Stehende Wellen und Nachhallzeit - das Grauen der Raumakustik
 - Wie sollte der Frequenzgang am Hörplatz aussehen?
 - Messung bzw. Simulation versus subjektive Beurteilung
- Es wird die Demoversion von ARTA/LIMP/STEPS verwendet wird, dies ist jedoch **keine Software-Schulung !**

Der Mixer, das unbekannte Wesen (1)

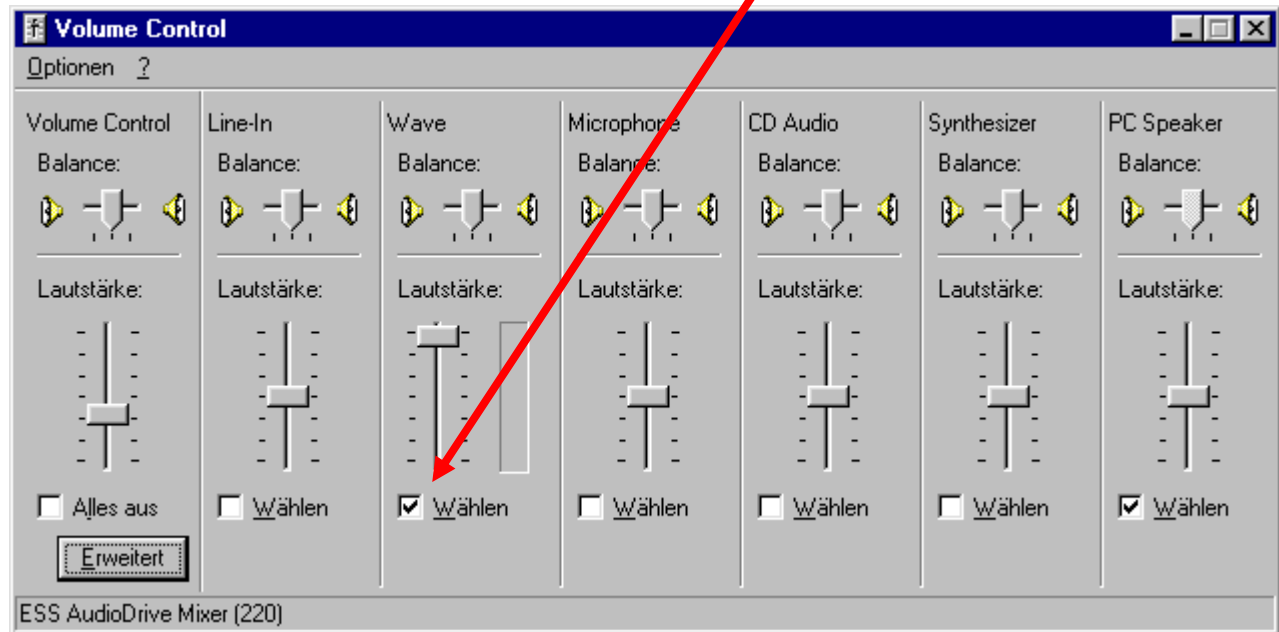
Der Mixer (= Mischer) organisiert, wie verschiedene Quellen (Line In, Mic, CD, Midi etc.) aufgenommen und wiedergegeben (zus. Wave, PC-Lautsprecher, Kopfhörer etc.) werden. Die meisten Leute kennen nur den Wiedergabeteil, der sich durch Anklicken des  bzw.  Symbols in der Taskleiste aufrufen lässt:

1x Klicken



2x Klicken

Hier wird eine WAV-Datei wiedergegeben

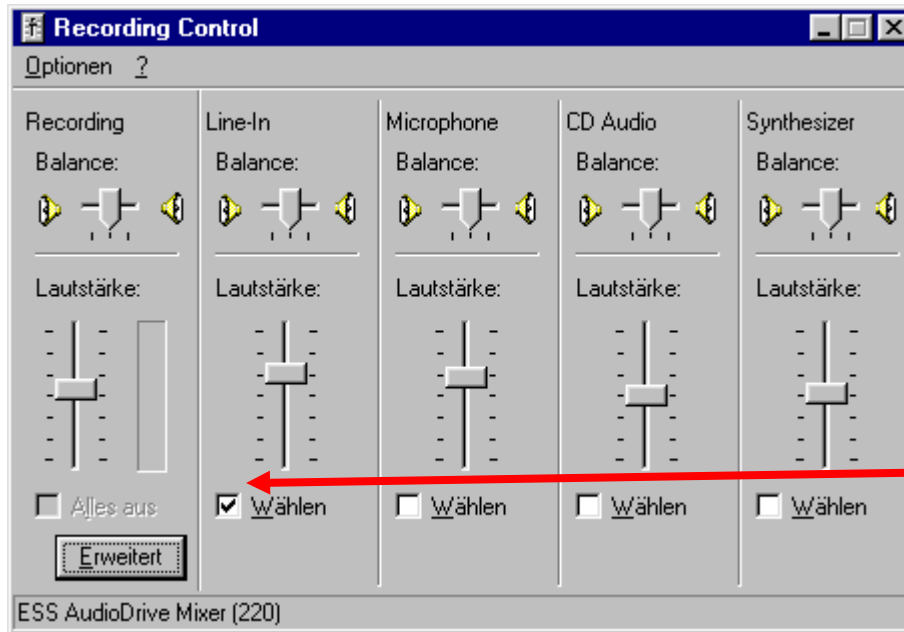
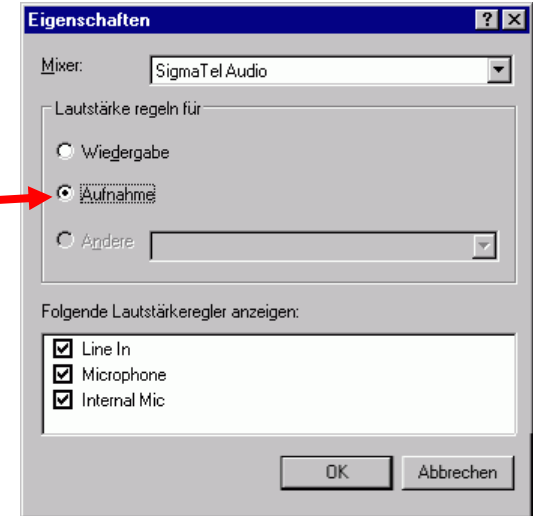


Gesamt

Gesamt / Einzellautstärke

Der Mixer, das unbekannte Wesen (2)

Den Aufnahmeteil erreicht man, wenn man auf Optionen / Eigenschaften klickt und dann „Lautstärke regeln für Aufnahme“



Man sollte immer nur eine Quelle aufnehmen, hier z.B. **LineIn**

ACHTUNG: wenn das Aufnahmesignal (z.B. Line In) gleichzeitig wiedergegeben wird kann es zu **Rückkopplungen** etc. kommen !!

ACHTUNG: Die Möglichkeiten des Mixers sind für jede Soundkarte anders !!!

- Die **Empfindlichkeit** des **Mikrofoneingangs** lässt sich oft um 20 dB (= Faktor 10) erhöhen; dann wird bei 10 - 50 mV Vollaussteuerung erreicht
- Der **Mikrofoneingang** hat häufig eine **Bassabsenkung** zur Reduzierung von Pop-Geräuschen
- Der **Mikrofoneingang ist immer Mono (L = R) !!!**
→ so ist keine 2-kanalige Messung mit Referenzkanal möglich!

Die **Empfindlichkeit des Line-Eingangs** beträgt ca. 0.2 - 1 V für Vollaussteuerung

- Der **Line-Eingang** hat fast immer einen **sehr linearen Frequenzgang**

Meine Erfahrung:

oft sind ungünstige/falsche Einstellungen im Mixer schuld daran, dass die Messergebnisse „komisch“ aussehen.

Zum Teil wird das Ausgangssignal wieder mit aufgenommen obwohl gar kein Kabel von außen angeschlossen ist. Dann wurde intern ein „logisches Kabel“ angeschlossen.

Meine unbedingte Empfehlung:

möglichst viel mit dem Mixer „rumspielen“ nach dem Motto:

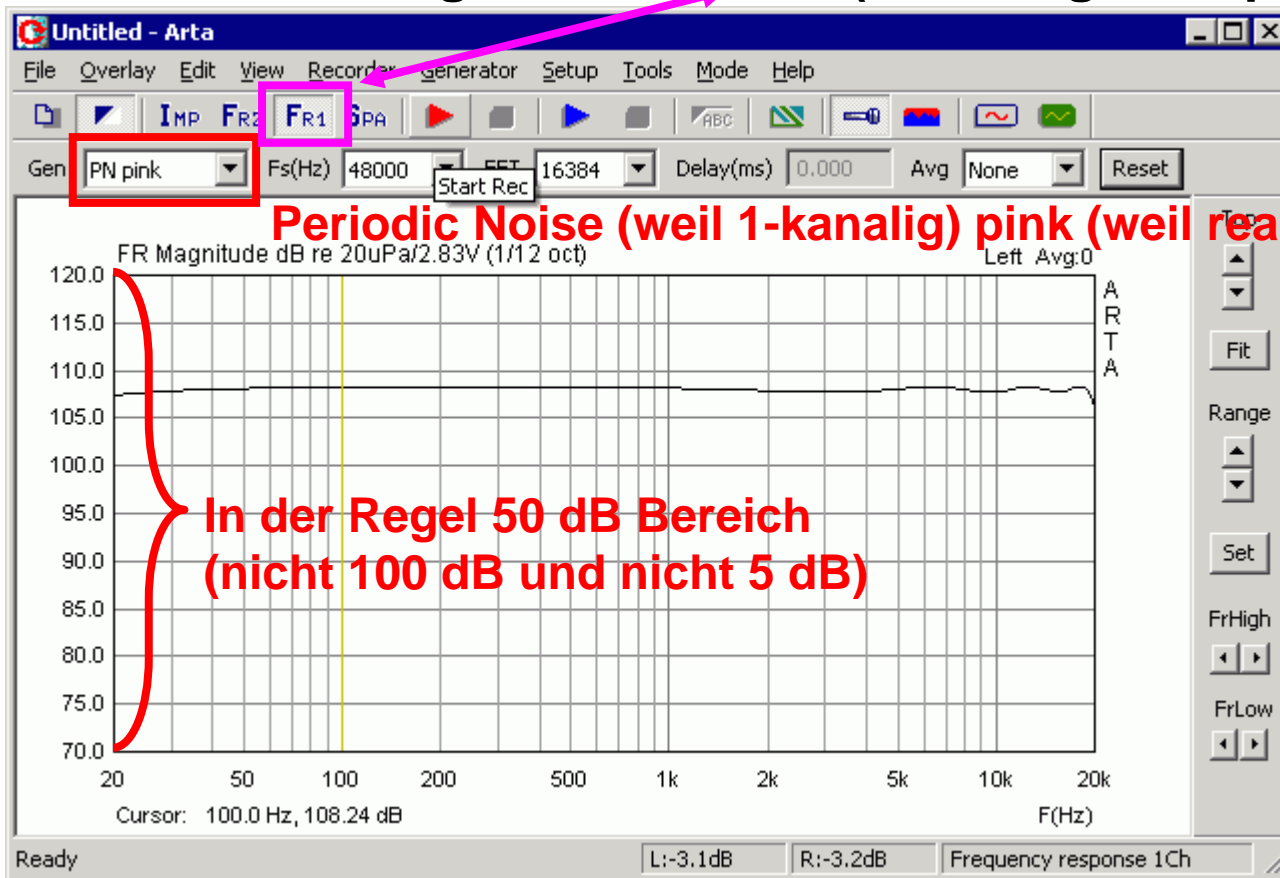
- erst überlegen was passieren müsste (z.B. Lautstärke verstellen, Eingang deaktivieren, externes Kabel entfernen etc.
- dann gucken ob es auch wirklich passiert

Dazu z.B. LineOut mit LineIn verbinden und messen !!

Dabei sollte ein gerader Frequenzgang herauskommen !!

Messen mit ARTA (1)

Am einfachsten geht es mit **FR1** (1-kanalige Frequency Response)



Periodic Noise (weil 1-kanalig) pink (weil realistischer)

In der Regel 50 dB Bereich
(nicht 100 dB und nicht 5 dB)

Auf Start Rec ► drücken und mit dem Mixer rumspielen !!!

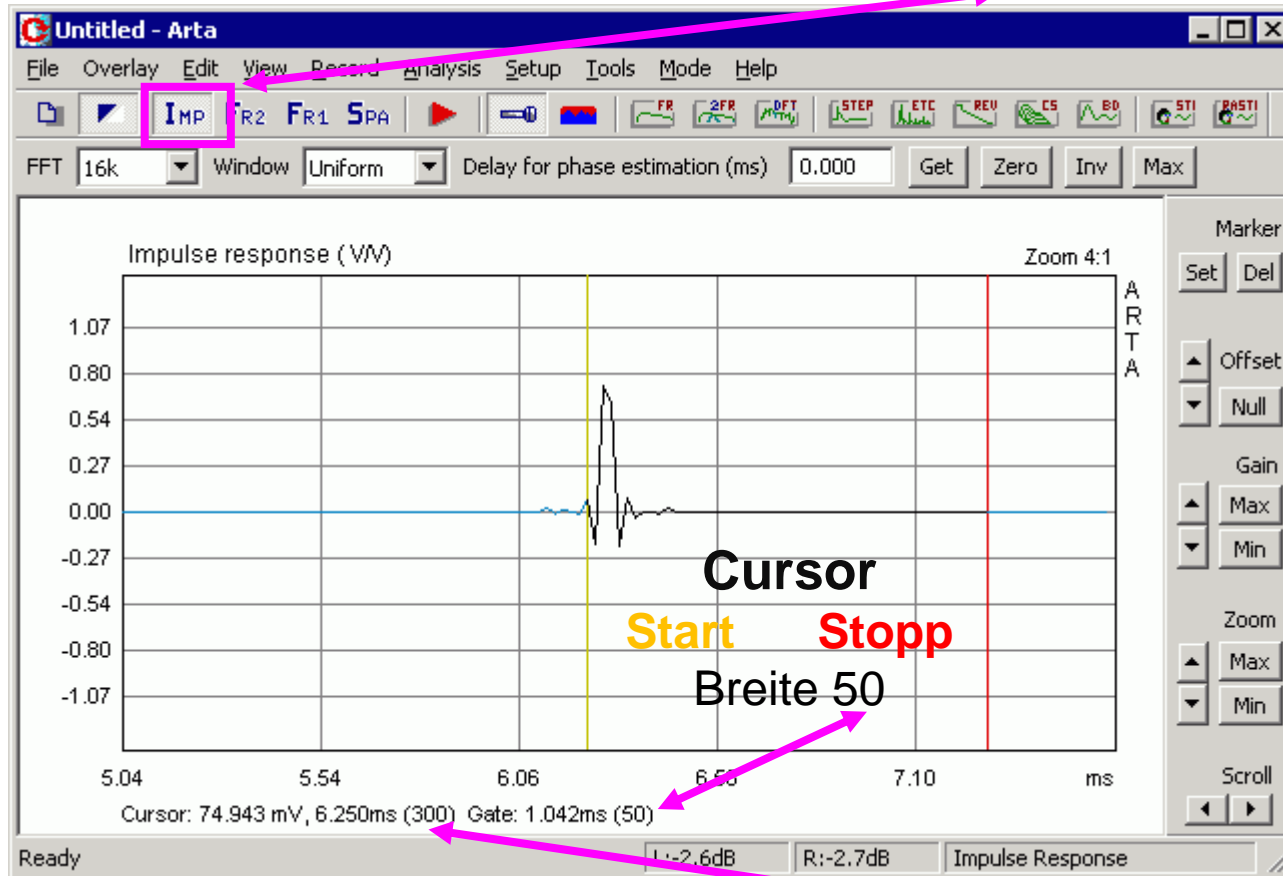
Messen mit ARTA (2)

Empfohlene Grundeinstellungen (alle Modi)

- **View / Frequency axis... / Octave Smoothing**
- **View / Resolution... / 1/12 octave**
- **View / Sound pressure units / dB re 20 uPa / 2.83V**
- **Fs = 48000 Hz (Abtastfrequenz)**
- **FFT = 16384 (Blockgröße) \Rightarrow Frequenzauflösung 48000/16384 Hz**
- **Anregung mit Periodic Noise pink**

Messen mit ARTA (3)

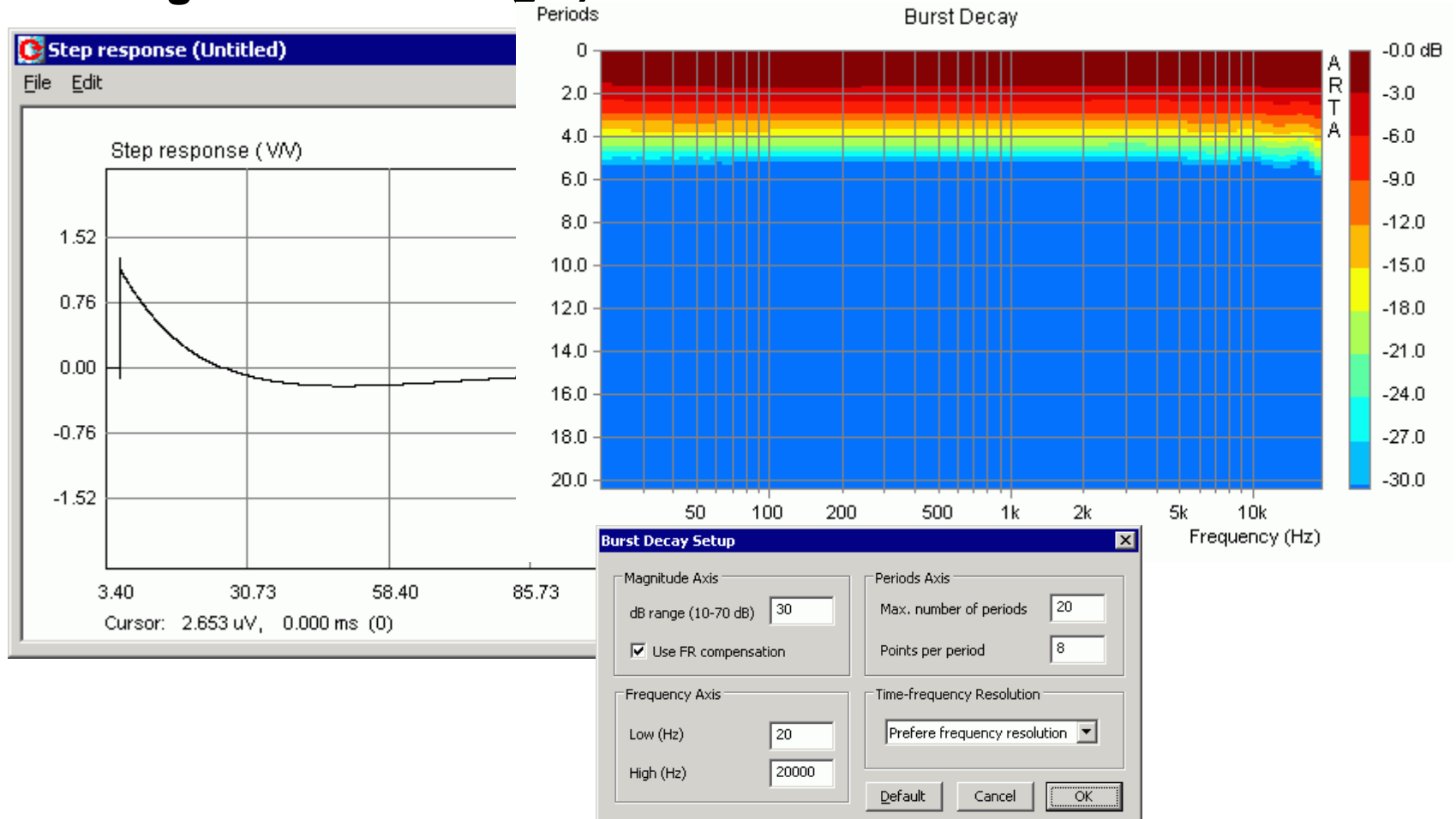
So sieht dieselbe Messung im Modul **IMP**ulse Response aus:



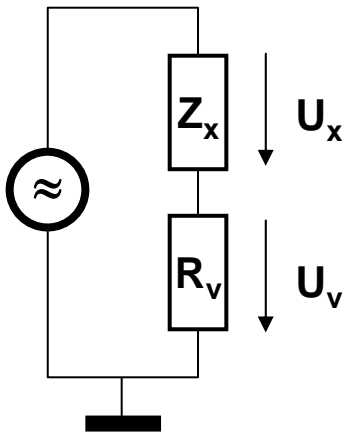
(bei der 1-kanaligen Messungen ist der 1. Peak immer auf dem 300. Abtastwert)

Messen mit ARTA (4)

Dieselben Daten als Step Response, oder Burst Decay (hier ist die Stellung des Cursors egal):



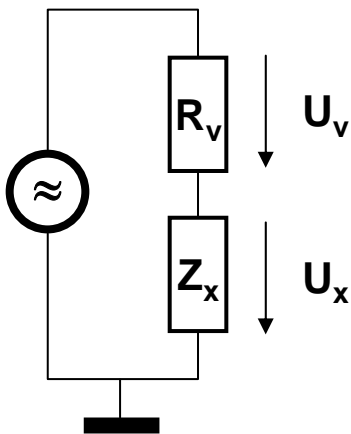
Impedanzmessung: Wie (1)



Im Prinzip baut man einen **Spannungsteiler** auf und misst die Spannung über dem **bekanntem Vorwiderstand R_v** und der **unbekannten Impedanz Z_x** . Da durch beide derselbe Strom fließt gilt:

$$Z_x / R_v = U_x / U_v \Rightarrow Z_x = R_v \cdot (U_x / U_v)$$

Mit einem **batteriebetriebenen Multimeter** kann man das in 2 Teilmessungen für jede Anregungsfrequenz erledigen. Bei Anregung mit einem Rauschsignal und Messung per Soundkarte gibt es ein **Problem**:



Sowohl der Verstärker als auch die Soundkarte hat einen **Masseanschluss** !

Daher muss die zu messende Impedanz immer an Masse liegen und man muss zwischen den Teilmessungen R_v und Z_x **vertauschen** !

Alternative: 2-kanalige Messung (komplexer)

Impedanzmessung: Wie viel (1)

Aber: wie **dimensioniert** man der Vorwiderstand R_V und **wie laut** sollte man das Ganze anregen? Darüber streiten sich die Gelehrten. Tatsache ist:

⇒ *Das Ergebnis hängt vom Anregungspegel ab!*

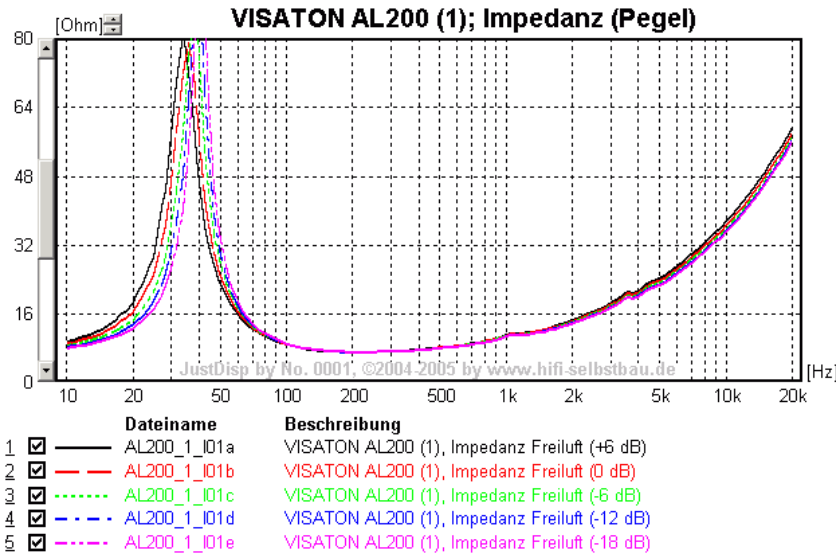
Daher sollte man **möglichst realistisch anregen**, also $R_V = 0.1 \Omega$, Anregung mit rosa Rauschen und normale Lautstärke. Das gibt aber Probleme mit der genauen Bestimmung und Messung von U_V .

Besser wäre es für **nicht ideale Messgeräte**, wenn beide Spannungen U_V und U_x ungefähr gleich wären. Da die Impedanz über der Frequenz schwankt ergibt sich näherungsweise:

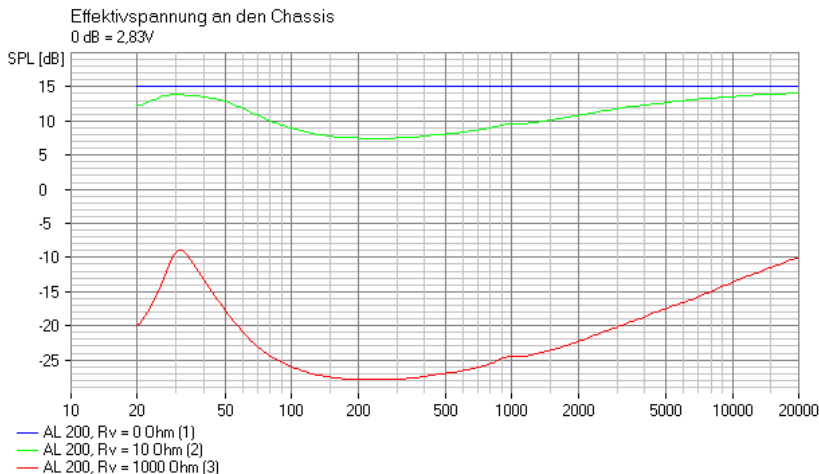
⇒ $R_V \approx 1.2 \dots 1.5 \cdot R_{DC}$

Die **Konstantstrommethode** verwendet einen sehr hohen Vorwiderstand (z.B. 1000Ω), so dass die Impedanz Z_x weitgehend proportional zu U_x ist. Dies führt jedoch zu einer Anregung, die **abhängig von der Güte** ist – die man gerade unter definierten Bedingungen messen will . . .

Impedanzmessung: Wie viel (2)



⇒ **Das Ergebnis hängt vom Anregungspegel ab!**



⇒ **Das Ergebnis hängt von der Anregungsmethode ab**

⇒ **Konstantstromanregung ist besonders kritisch!**

Impedanzmessung: Warum (1)

Mit einer Impedanzmessung kann man:

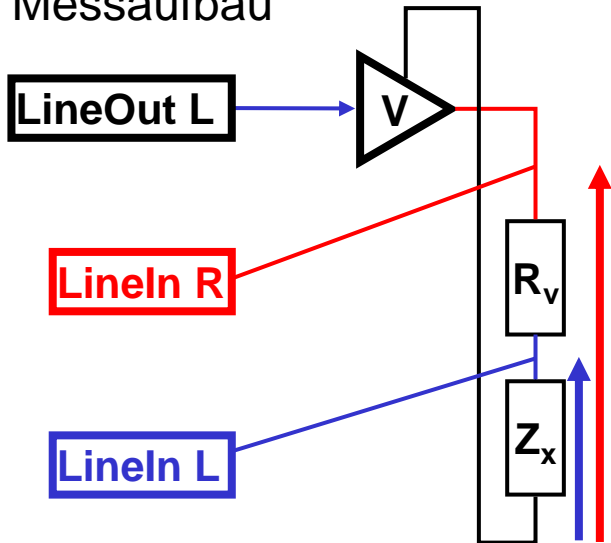
- **Paargleichheit** von Chassis checken (z.B. Hochtöner)
- **Fehler** an Frequenzweichen finden (kalte Lötstelle, Teil kaputt, falscher Wert etc.)
Anmerkung: bei **kompletten Boxen** ist dies ein verlässlicher Test auf grobe Paargleichheit OHNE dass man einen schalltoten Messraum oder ein Mikrofon benötigt!
- **Membranresonanzen** erkennen, die sich zu 90% in Fehlern im Frequenzgang und im Ausschwingverhalten (Zerfallspektrum) äußern
- **TS-Parameter** bestimmen
- **Nichtlinearitäten** erkennen (Messung bei verschiedenen Anregungspegeln)
- Etc.

⇒ **Impedanzmessungen können viel mehr als nur die Impedanz messen !**

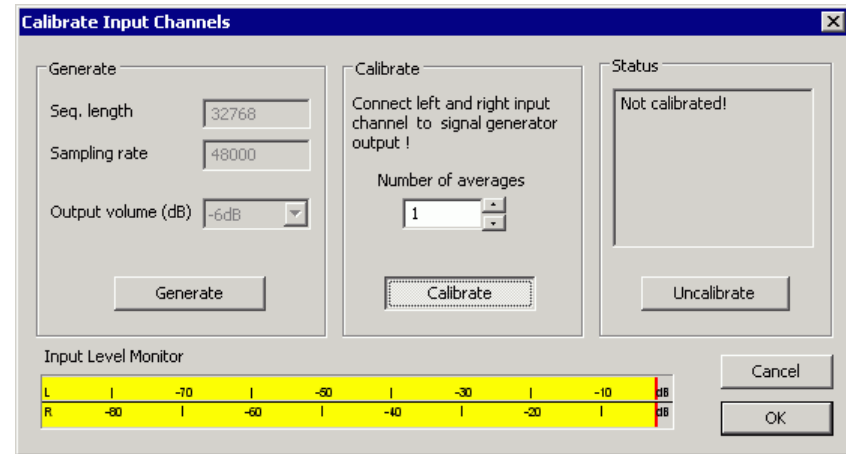
Impedanzmessung (1)

Messung mit LIMP:

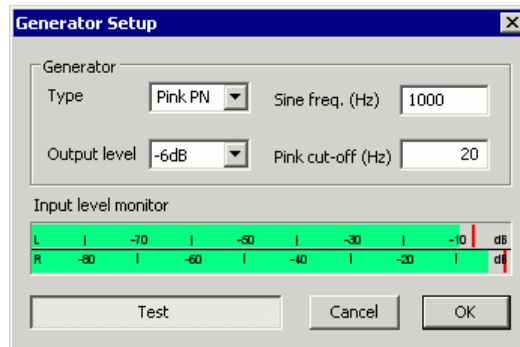
Messaufbau



Kalibrierung mit „offenen Klemmen“
LineIn R = LineIn L



Test Anregung
Output level



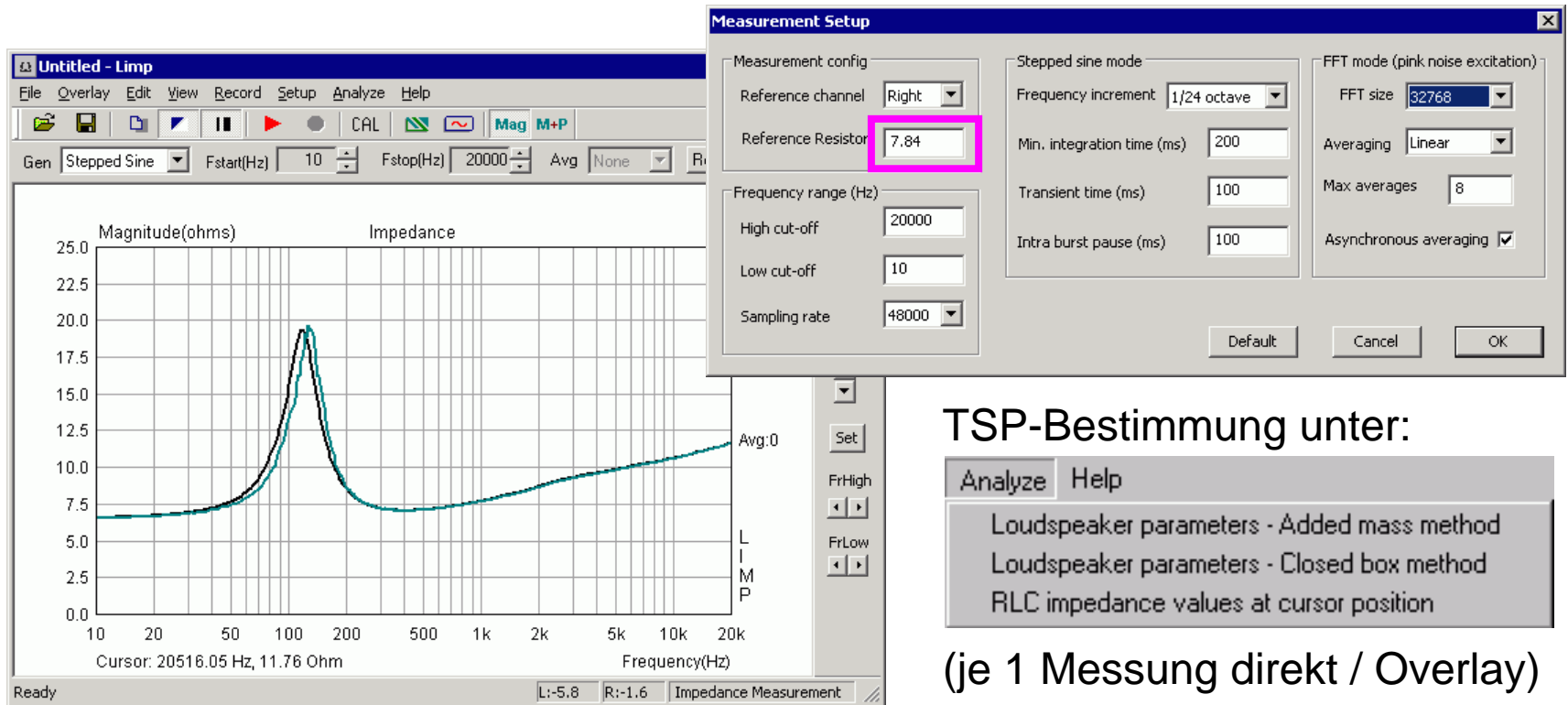
Impedanzmessung (2)

Messung mit LIMP:

Sinusanregung = hohe Anregung/Hz, lange Messdauer $\rightarrow F_{res} \downarrow$

Rauschanregung = geringe Anregung / Hz, kurze Messdauer $\rightarrow F_{res} \uparrow$

Tip: besseres Ergebnis mit aktiviertem „Asynchronous averaging“



TSP-Bestimmung unter:

Analyze Help

- Loudspeaker parameters - Added mass method
- Loudspeaker parameters - Closed box method
- RLC impedance values at cursor position

(je 1 Messung direkt / Overlay)

Impedanzmessung (3)

Messaufbau überprüfen durch Messen eines bekannten Widerstandes

Zwei Widerstände hat man immer dabei:

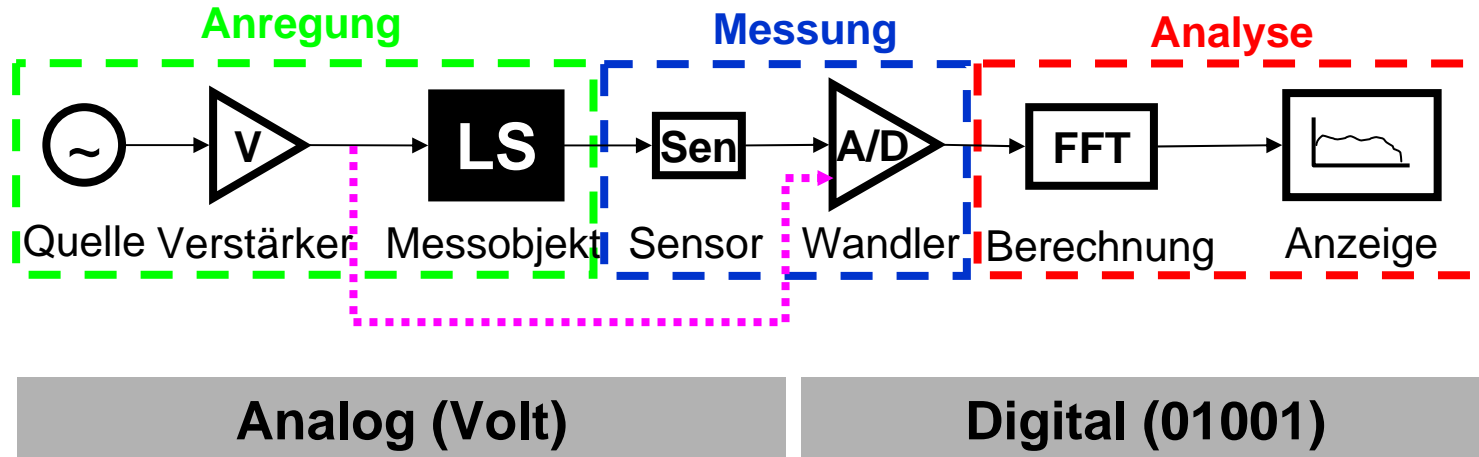
1. Kurzschluss (U_{Zx} ist sehr klein) → hier sollte ca. 0.1 Ohm rauskommen (nur Kabel- und Übergangswiderstände)
2. Unendlich Ohm (Klemmen offen, U_{Zx} sehr groß) → hier sollte ein möglichst hoher Wert rauskommen, z.B. 10000 Ohm

Kleine Kanalabweichungen wirken sich hier sehr empfindlich aus!!!

⇒ ggf. Soundkarte kalibrieren

DIESE BEIDEN WIDERSTÄNDE SOLLTEN VOR JEDER IMPEDANZ-MESSUNG ÜBERPRÜFT WERDEN !!!

Messaufbau 1-/2-kanalig



- Bei einer **1-kanaligen** Messung **MUSS** das Anregungssignal bekannt sein (am besten vorher messen → Referenzmessung) und **IMMER KONSTANT** bleiben !!!
- Bei einer **2-kanaligen** Messung wird das Anregungssignal **JEDES MAL** mitgemessen → es kann z.B. auch mit **Musik** angeregt werden

Mikrofonmessung: Richtwirkung

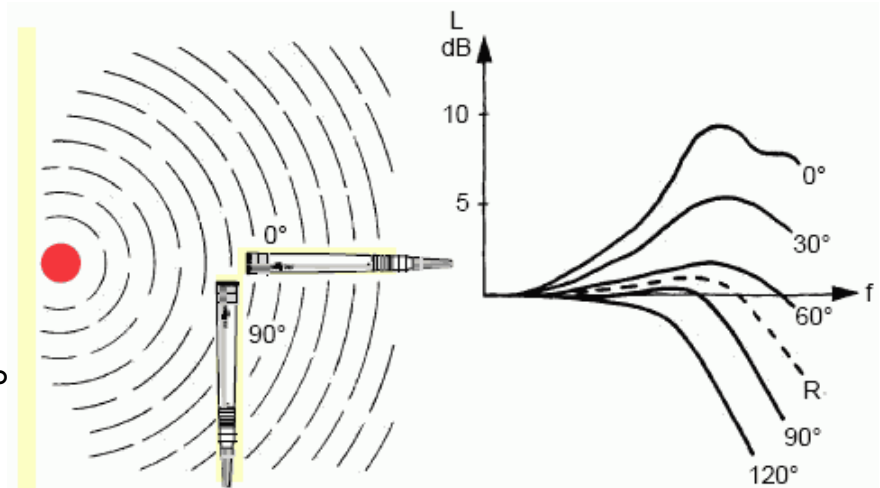
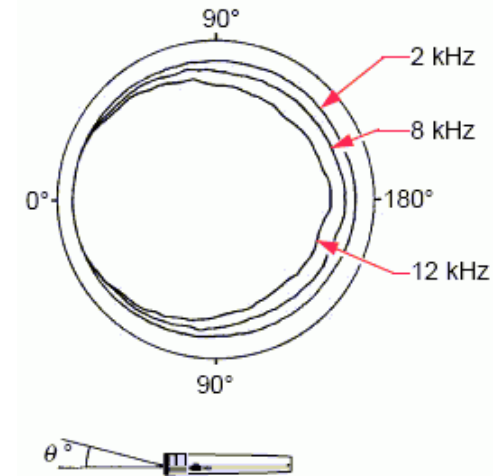
Ähnlich wie ein Hochtöner hat ein Mikrofon eine **winkelabhängige Empfindlichkeit**, d.h. von der Seite beschallt ist es unempfindlicher.

Dies setzt bei einer bestimmten Frequenz ein, die vom Membrandurchmesser abhängig ist. Es gilt:

$$F_{-3dB} [\text{Hz}] \approx 50.000 / \text{Mikrofondurchmesser} [\text{mm}]$$

Bei Beschallung „von vorne“ kommt es zu einem **Druckstau** vor der Membran. Bei **Freifeldmikrofonen** wird dies so kompensiert, dass der Frequenzgang „von vorne“ **trotzdem** linear ist.

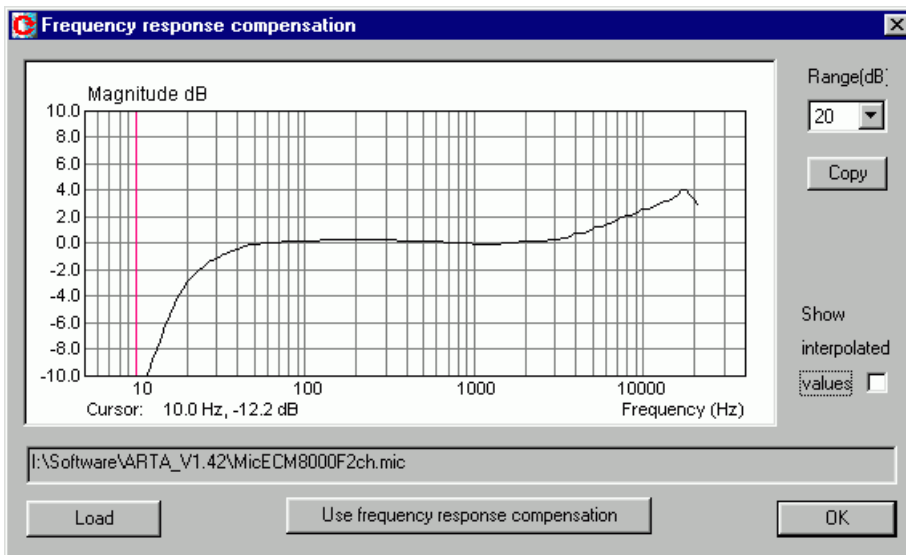
Diffusfeldmikrofone messen unter 90° etwa „richtig“.



Mikrofonkompensation in ARTA

Der Frequenzgang des Mikrofons kann kompensiert werden (Menü: „Setup / FR compensation“ oder )

Die üblichen preiswerten Messmikros (BEHRINGER ECM8000, MONACOR ECM40, SUPERLUX ECM999 etc.) weisen bei Beschallung direkt von vorn ALLE eine Überhöhung von bis zu 10 dB auf !!!

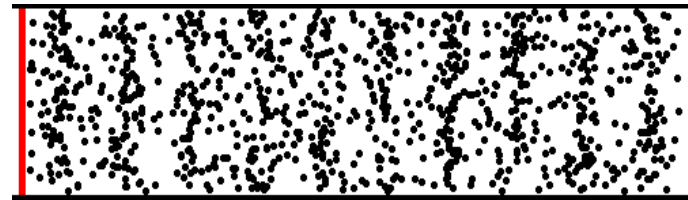


**Die Phase der
Kompensationsdatei wird
NICHT berücksichtigt !!!**

Mikrofonmessung: Entfernung

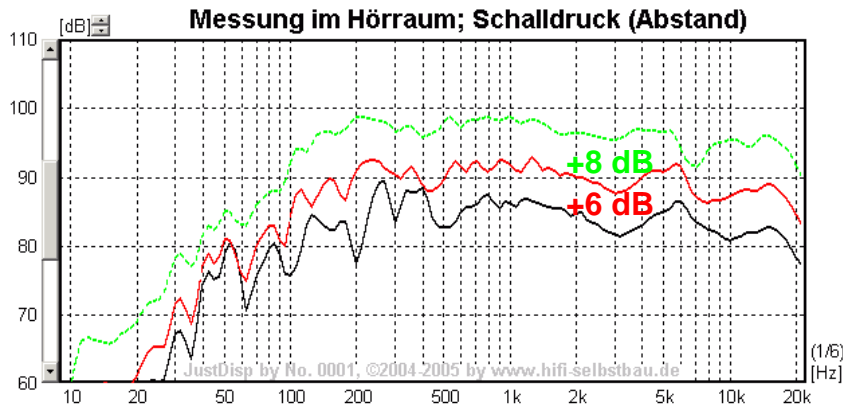
- Schallgeschwindigkeit $c = 343 \text{ m/s}$ (bei 20°C)
⇒ nach 1 sec. hat der Schall 343 m zurückgelegt
- Wellenlänge $\lambda = \text{Schallgeschwindigkeit } c \text{ [m/s]} / \text{Frequenz } F \text{ [Hz]}$
⇒ bei einer Frequenz von 1000 Hz kommt alle 34.3 cm ein Druckmaximum (bei freier Ausbreitung)

[Animated GIF laden](#)

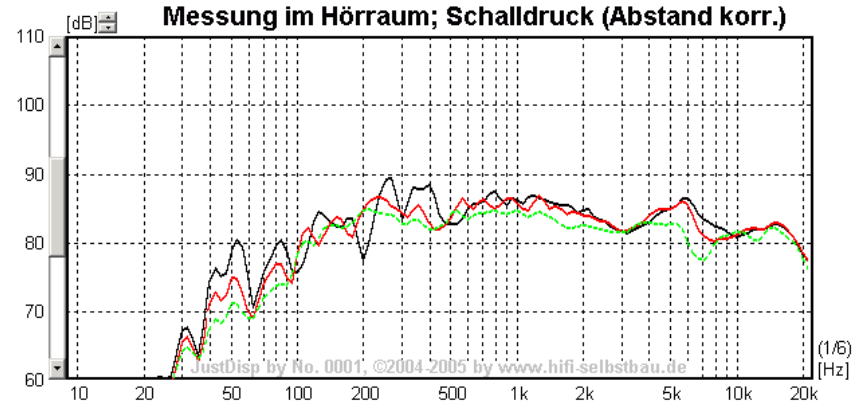


- Bei einer „kleinen“ Schallquelle (klein immer relativ zur Wellenlänge) nimmt der Schalldruck p mit der Entfernung x von der Quelle ab mit $\Rightarrow p \approx 1 / x$
Bei einer **Entfernungsverdopplung** halbiert sich also der Schalldruck
⇒ **der Schalldruckpegel ändert sich um $20 \cdot \text{Log}_{10} (1/2) = -6 \text{ dB}$**
- Wenn der Abstand eines Mikrofons zur Quelle einmal 10 cm, das andere Mal nur 9 cm beträgt ändert sich dadurch der Pegel um $20 \cdot \text{Log}_{10} (10/9) = 0.9 \text{ dB}$
⇒ **Abstandsänderung besonders kritisch bei geringen Abständen**

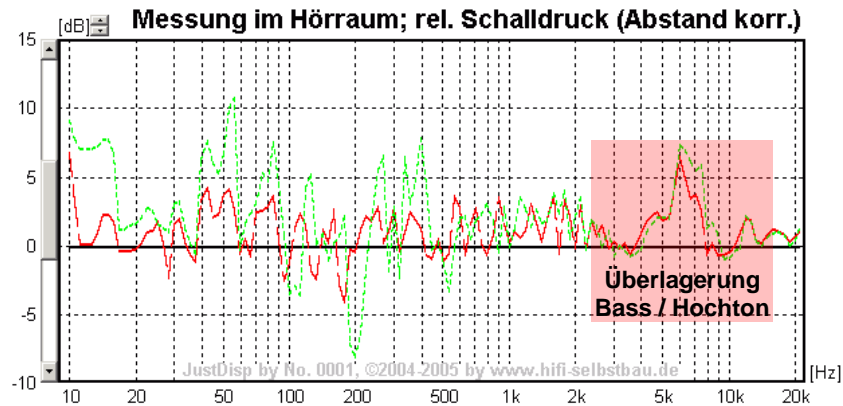
Mikrofonmessung: Raumeinfluss (1)



	Dateiname	Beschreibung
1 <input checked="" type="checkbox"/>	XTZ80R_HP_100	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=100cm, h=90cm
2 <input checked="" type="checkbox"/>	XTZ80R_HP_050c	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=50cm, h=90cm
3 <input checked="" type="checkbox"/>	XTZ80R_HP_020c	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=20cm, h=90cm



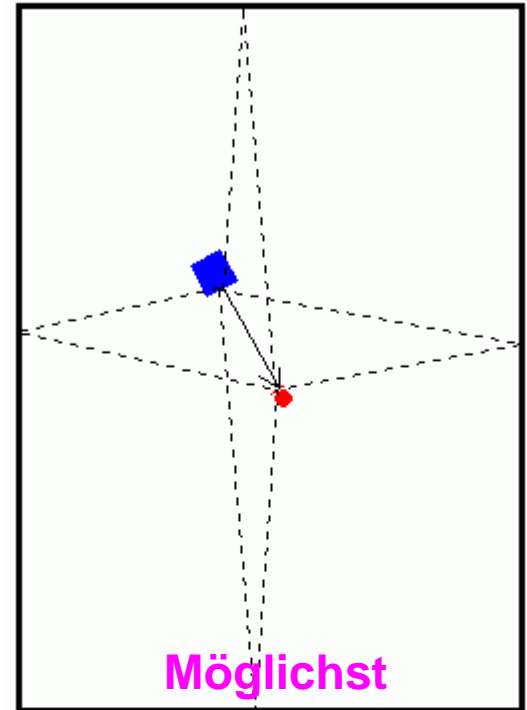
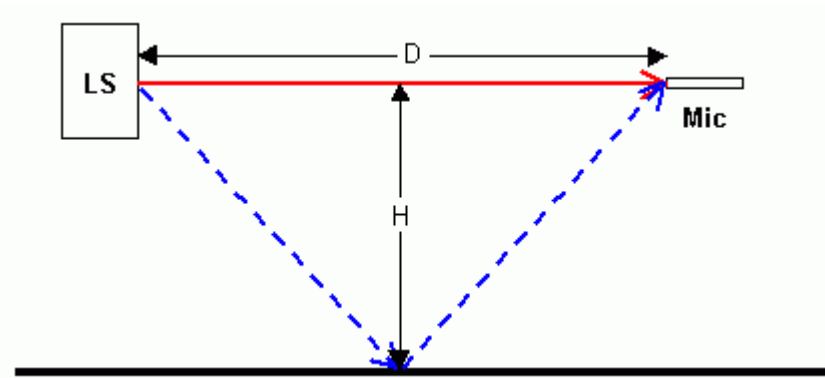
	Dateiname	Beschreibung
1 <input checked="" type="checkbox"/>	XTZ80R_HP_100	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=100cm, h=90cm
2 <input checked="" type="checkbox"/>	XTZ80R_HP_050	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=50cm, h=90cm
3 <input checked="" type="checkbox"/>	XTZ80R_HP_020	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=20cm, h=90cm



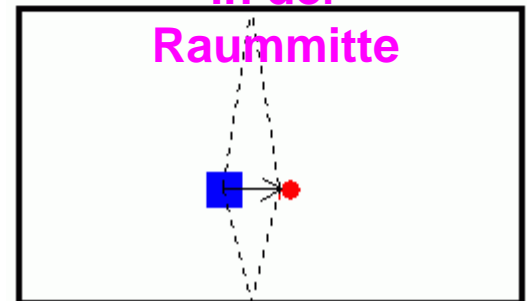
	Dateiname	Beschreibung
1 <input checked="" type="checkbox"/>	XTZ80R_HP_020	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=20cm, h=90cm
2 <input checked="" type="checkbox"/>	XTZ80R_HP_050	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=50cm, h=90cm
3 <input checked="" type="checkbox"/>	XTZ80R_HP_100	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=100cm, h=90cm

- ⇒ < 500 Hz hilft ein geringer Abstand den Raumeinfluss zu unterdrücken
- ⇒ > 2 kHz ergeben sich im Nahfeld Überlagerungsfehler zwischen MT/HT

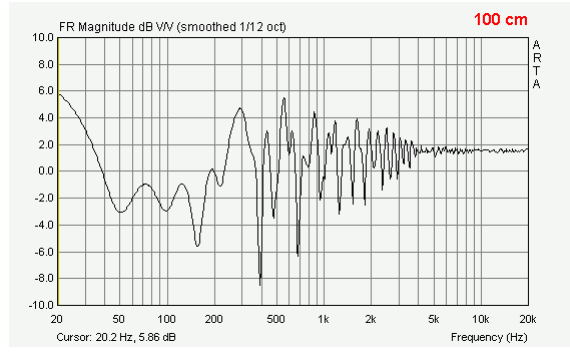
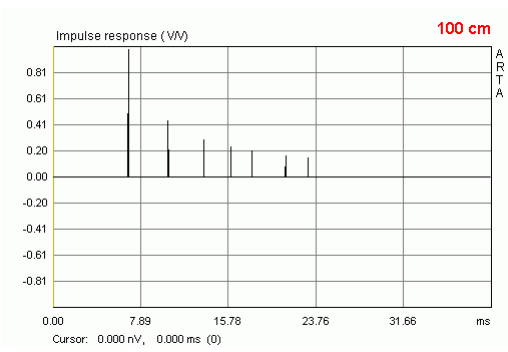
Mikrofonmessung: Raumeinfluss (2)



Möglichst
in der



Raummitte



[Animated GIF laden](#)

[Animated GIF laden](#)

(startet den Browser, benötigt Internet-Zugang)

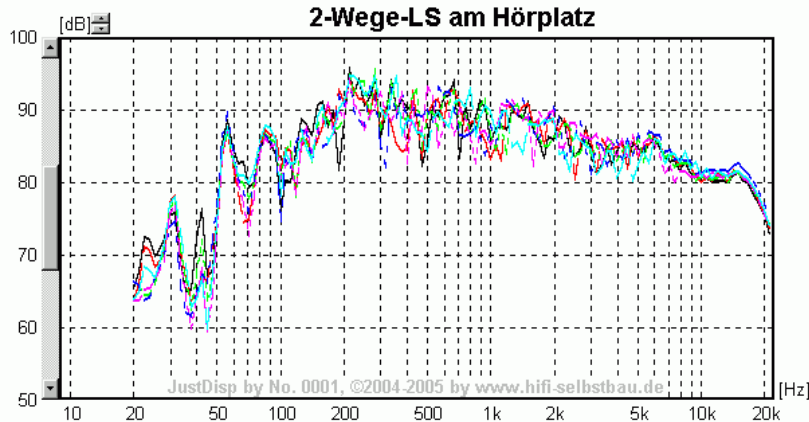
Mikrofonmessung: Raumeinfluss (3)

Wenn man die **Start- und Stoppwerte für die Analyse** so setzt, dass die **erste Reflexion schon nicht mehr berücksichtigt** wird könnte man im Prinzip die **Raumreflexionen ausblenden**.

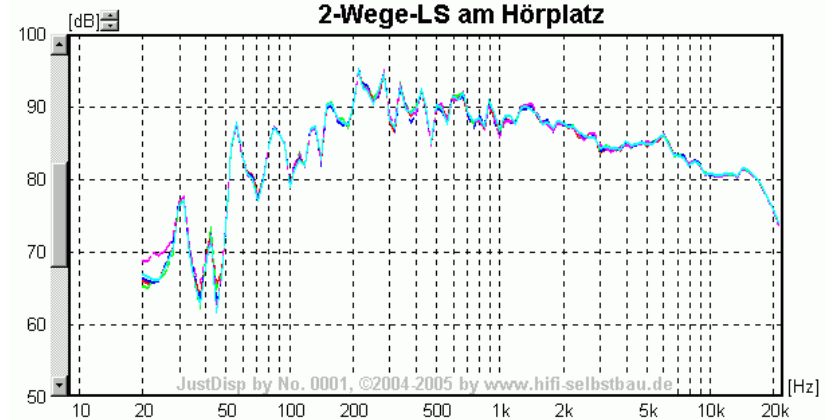
Leider kommen die Reflexionen aber zum einen sehr früh. Bei einem Messabstand von 1 m und einer Messhöhe von 1m Höhe beträgt der **Umweg** der Bodenreflexion nur 1.24 m. Dafür benötigt der Schall 3.6 ms. Wenn man aber nur einen Zeitschnipsel von 3.6 ms analysiert (das entspricht 159 Abtastwerten bei 44100 Hz) ergibt sich eine Frequenzauflösung von $1/0.0036 \text{ s} = 278 \text{ Hz}$. D.h. man hat nur eine Information für den Bereich $278 \pm 139 \text{ Hz}$, $556 \pm 139 \text{ Hz}$, $834 \pm 139 \text{ Hz}$

Bis dahin muss zum einen das Chassis selber völlig abgeklungen sein (sonst schneidet man das Abklingen „irgendwo“ ab), inkl. der Kantenreflexionen an der Schallwand. Das ist nur schwer zu erfüllen, **daher ist das Ergebnis davon abhängig wo genau man die Stoppwerte setzt** 😞

Mikrofonmessung: Raumeinfluss (4)



	Dateiname	Beschreibung
1	<input checked="" type="checkbox"/> XTZ80R_HP_01L	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=250cm, h=90cm, 20cm LHS
2	<input checked="" type="checkbox"/> XTZ80R_HP_01R	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=250cm, h=90cm, 20cm RHS
3	<input checked="" type="checkbox"/> XTZ80R_HP_01H	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=250cm, h=90cm, 20cm hinten
4	<input checked="" type="checkbox"/> XTZ80R_HP_01V	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=250cm, h=90cm, 20cm vorn
5	<input checked="" type="checkbox"/> XTZ80R_HP_01O	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=250cm, h=110cm
6	<input checked="" type="checkbox"/> XTZ80R_HP_01U	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=250cm, h=70cm



	Dateiname	Beschreibung
1	<input type="checkbox"/> XTZ80R_HP_01x7	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=250cm, h=90cm, 7 Pos. energ. gem
2	<input checked="" type="checkbox"/> XTZ80R_HP_01b	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=250cm, h=90cm, +/-20cm gewedelt
3	<input checked="" type="checkbox"/> XTZ80R_HP_01c	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=250cm, h=90cm, +/-20cm gewedelt
4	<input checked="" type="checkbox"/> XTZ80R_HP_01d	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=250cm, h=90cm, +/-20cm gewedelt
5	<input checked="" type="checkbox"/> XTZ80R_HP_01e	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=250cm, h=90cm, +/-20cm gewedelt
6	<input checked="" type="checkbox"/> XTZ80R_HP_01f	XTZ80 (RHS) im HS-Hörraum, d=250cm, h=90cm, +/-20cm gewedelt

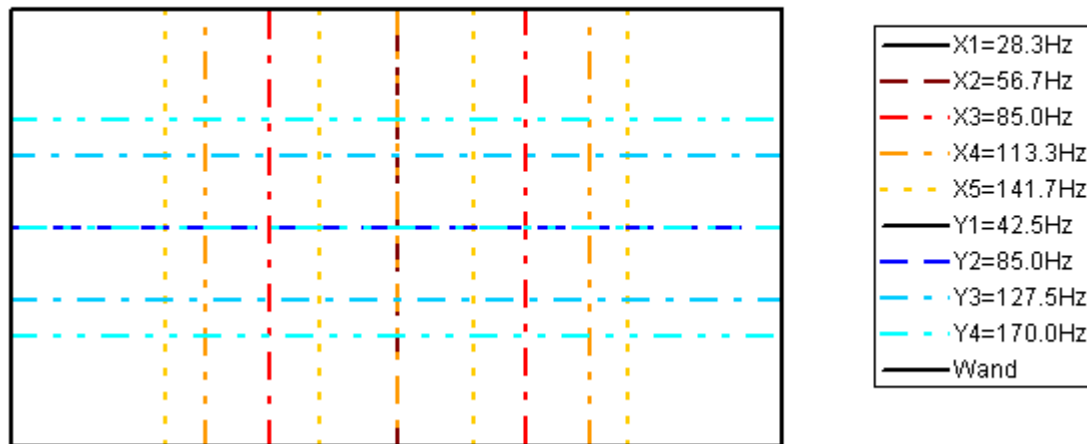
„Wedeln“ ist gut reproduzierbar und entspricht einer Mehrpunktmittelung
 ⇒ eine Messung ohne Anregung (= Grundgeräusch) ist im Bass hilfreich

Raumakustik (1)

Tieffrequent stören vor allem die Raummoden. Diese treten auf, wenn $1/2$ Wellenlänge (oder deren Vielfache) zwischen 2 (parallele) Wände passt. An den Wänden wird der Schalldruck maximal. Zwischen den Wänden gibt es ebenfalls Schalldruckmaxima und Abstand von $1/2$ Wellenlänge (und Vielfachen) von den Wänden. Jeweils dazwischen liegen Stellen mit minimalem Schalldruck.

Eine Raummode kann von einem Monopol besonders gut an den Stellen mit Schalldruckmaximum angeregt werden, genau dazwischen gelingt die Anregung überhaupt nicht. **Beim Dipol ist es genau anderes herum !!!**

"Laute" Orte (X = 6.0 m, Y = 4.0 m)



Nachhallzeit (1)

Mittel- und hochfrequent ist die Nachhallzeit T_{60} ein wichtiges Maß für die Qualität eines Hörraumes. Sie beschreibt, wie lange es dauert bis eine Anregung nach Abschalten um 60 dB abgesunken ist (mittelfrequent gerade noch hörbar). Es gilt:

$$T_{60} [\text{s}] = 0.163 \cdot \text{Raumvolumen } V [\text{m}^3] / \text{Äquivalente Absorptionsfläche } A [\text{m}^2]$$

wobei $A [\text{m}^2] = \text{Materialfläche } S [\text{m}^2] \cdot \text{Absorptionsgrad } \alpha [\%]$

Die frequenzabhängigen Werte für α kann man vom **Hersteller** erfragen oder Tabellen entnehmen (z.B. <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-RT60Koeff.htm>).

Von 200 bis 5000 Hz sollte T_{60} weitgehend linear sein und ca. 0.3 s betragen. Darunter darf es mehr werden, darüber ist es meist weniger.

Wenn man nun eine „zu hohe“ Nachhallzeit misst lautet die Frage: Was tun, also wie viel von welchem Material wo hin?

Wenn man die Nachhallzeit T_{60_ist} hat und die Nachhallzeit T_{60_soll} erreichen will, muss man die äquivalente Absorptionsfläche erhöhen um

$$A_{add} [\text{m}^2] = 0.163 \cdot V [\text{m}^3] \cdot (1/T_{60_soll} [\text{s}] - 1/T_{60_ist} [\text{s}])$$

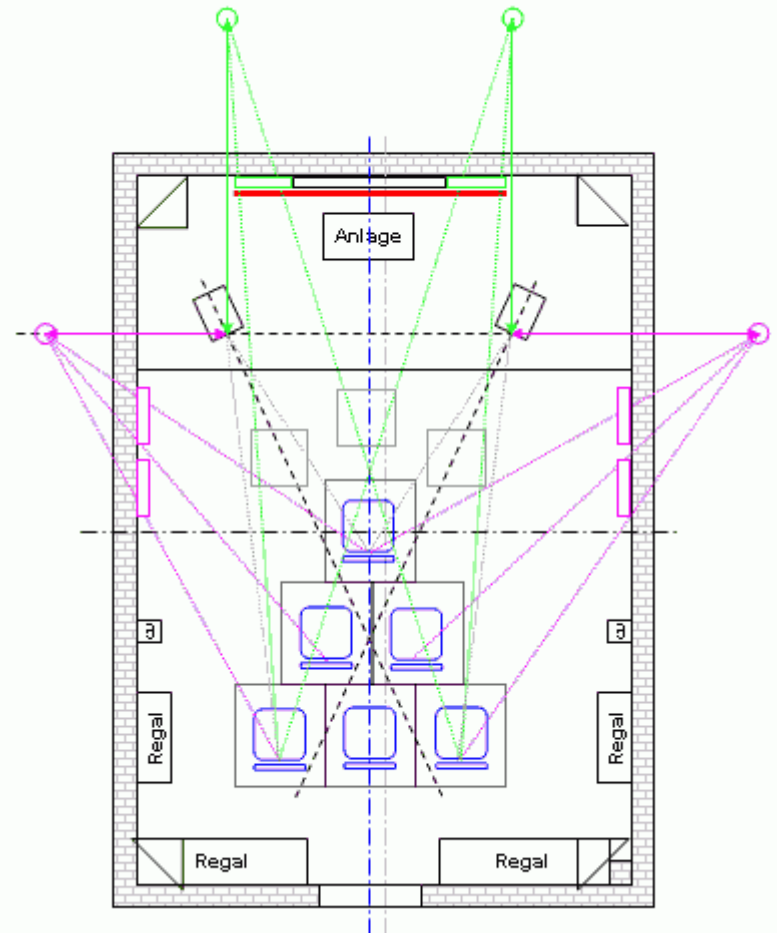
Nachhallzeit (2)

Im Bassbereich sind poröse Absorber wie Schaumstoff oder Glaswolle nicht mehr praktikabel, da helfen nur großflächige Plattenresonatoren (z.B. Vorsatzschalen aus Gipskartonplatten) oder Helmholtzresonatoren in Quellennähe.

Im mittel- und hochfrequenten Bereich sollten die Absorber zunächst so platziert werden, dass die energiereichsten Reflexionen an den Seitenwänden (Vorhang), dem Boden (Teppich) und der Decke behandelt werden, dann Reflexionen an den Front- bzw. Rückwand.

Durch den Vergleich der Nachhallzeiten T_{60_vorher} und $T_{60_nachher}$ kann die äquivalente Absorptionsfläche A_{diff} der Maßnahme berechnet werden:

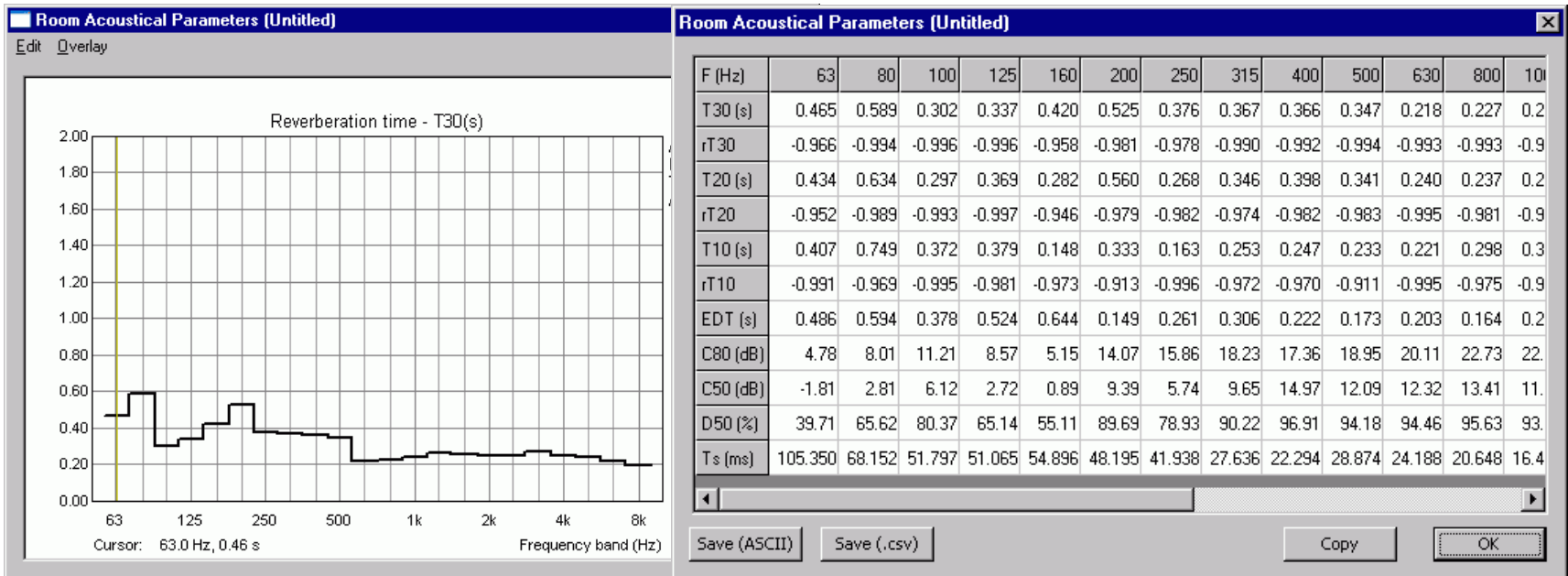
$$A_{diff} [m^2] = 0.163 \cdot V [m^3] \cdot (1/T_{60_nachher} [s] - 1/T_{60_vorher} [s])$$



Messen der Nachhallzeit (1)

Es sollten die vorhandenen Lautsprecher an ihrer normalen Position zur Anregung benutzt (einzeln + gemeinsam) und am Hörplatz gemessen werden.

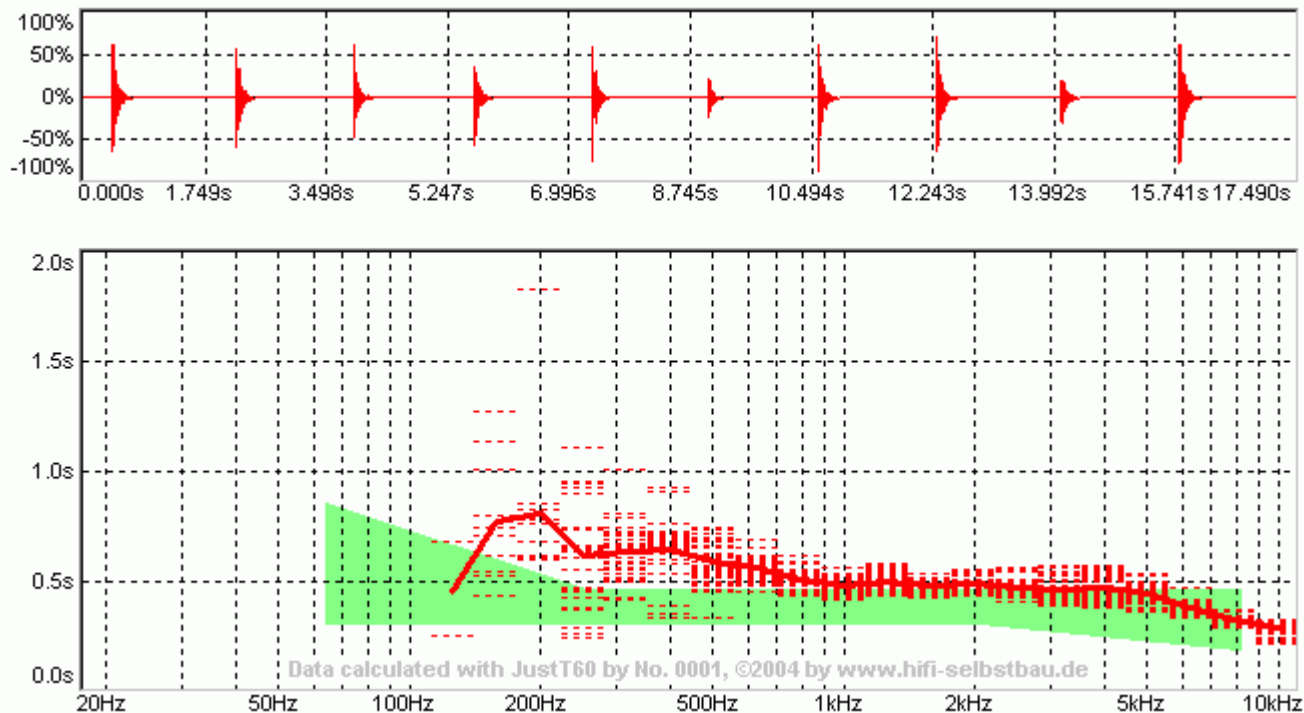
Mit ARTA wird zunächst eine „normale“ Impulsantwort gemessen, dann im Menü „Analysis / ISO3382 - acoustical parameters / Graphical presentation for 1/3 octave bands“ aufgerufen (ab ARTA V1.5).



Wenn man auf „Table“ drückt wird eine Liste angezeigt, die man speichern kann

Messen der Nachhallzeit (2)

Ein anderes Tool zur Messung der Nachhallzeit ist JustT60 (nur für Abonnenten des ONLINE-Magazins HiFi-Selbstbau). Hier wird das Anregungssignal zunächst nur als WAV-Datei aufgenommen und später analysiert. Als Anregung reicht > 200 Hz sogar ein mehrfaches Händeklatschen, während man z.B. im Raum herumläuft:



Unterschied messen / hören

As menschliche Gehirn ist in der Lage, den Direktschall und die Reflexionen zu unterscheiden und unterschiedlich zu gewichten. **Das kann ein Messmikro NICHT !!!**

Bei einer **konstruktiven Überlagerung** (= Addition) misst das Mikro eine Überhöhung (= Peak) und das Gehirn interpretiert die Reflexionen als Lautstärkeerhöhung (nicht ganz so stark wie das Mikrofon). Bei perfektem Direktschall (1. Wellenfront) ist die Überlagerung mit den Reflexionen (Diffusschall) zu laut. Entzerrt man auf einen linearen Diffusschall ist der Direktschall zu leise ⇒ **man kann halt nicht alles haben !!**

Bei einer **destruktiven Überlagerung** (= Subtraktion) misst das Mikro einen Einbruch (= Dip) und das Gehirn interpretiert die Reflexionen nicht als Lautstärkeerhöhung, der Direktschall erscheint aber korrekt. Bei perfektem Direktschall (1. Wellenfront) ist die Überlagerung mit den Reflexionen (Diffusschall) zu leise. Eine Entzerrung auf einen linearen Diffusschall ist nicht zielführend, da sich Direktschall und Reflexion nach wie vor auslöschen

⇒ **Peaks weitgehend (nicht perfekt) entzerren, Dips so lassen**

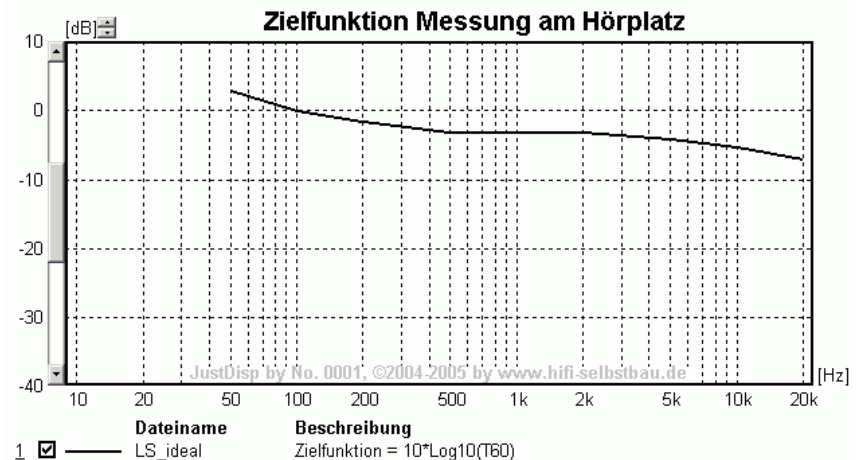
Zielfrequenzgang am Hörplatz

Bei einem perfekt rundum strahlenden Lautsprecher und einem Hörraum mit konstanter Nachhallzeit müsste den Frequenzgang am Hörplatz linear sein.

Da aber ein realer Lautsprecher zu hohen Frequenzen hin in der Regel zunehmend bündelt UND die Nachhallzeit zu tiefen Frequenzen ansteigt und zu hohen Frequenzen abfällt ist eine leicht abfallende Frequenzgangkurve am Hörplatz anzustreben. Der Frequenzgang am Hörplatz sollte mit einem Diffusfeld entzerrten Mikrofon gemessen werden (90° Kalibrierung).

Frequenz F [Hz]	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	20000
Nachhallzeit [s]	2.00	1.00	0.70	0.50	0.50	0.50	0.40	0.30	0.20
Zielkurve = $10 \times \log_{10}(T60)$ [dB]	3.01	0.00	-1.55	-3.01	-3.01	-3.01	-3.98	-5.23	-6.99

Die Zielkurve ist vom Hörraum abhängig und nicht allgemeingültig !!



Eine Messung (oder Simulation) ersetzt NICHT die subjektive Beurteilung. Im Idealfall unterstützen sich beide Vorgehensweisen!!!

Bei jeder Musikkassette ist die Frage: wie sollte sie „richtig“ klingen? Daher ist eine Musikkassette nicht ideal zur subjektiven Beurteilung.

Lösung 1:

Man stellt sich eine **persönliche Test-CD** mit gut aufgenommenen Stücken zusammen, deren ungefähre Soll-Wiedergabe man aus Vergleich mit anderen guten Lautsprechern kennt. Weitere Zusatzinformationen (z.B. spektrale Analyse) sind hilfreich.

Lösung 2:

Man nimmt ein synthetisches, exakt definiertes Signal (z.B. **rosa Rauschen**). Hier kann man kleinste Klangverfärbungen mit etwas Training **sehr schnell und sehr sicher** heraushören. Großer Vorteil: man muss nicht auf eine bestimmte Stelle bei der Musik warten. Erst wenn dort keine Auffälligkeiten mehr heraus hörbar sind sollte man anfangen Musik zu hören.