

# Bedienungsanleitung für WinISD Pro

## Inhaltsverzeichnis

1. Express-Anleitung für erfahrene Benutzer
2. Installation
3. Eingabe von Lautsprecherdaten
  - 3.1. Lautsprecher-Datenbank
  - 3.2. Eingabe der Typenbezeichnung
  - 3.3. Eingabe der Parameter
  - 3.4. Abmessungen des Chassis
  - 3.5. Lautsprecherdaten speichern
  - 3.6. Editieren eines vorhandenen Lautsprechers
4. Gehäuseberechnung
  - 4.1. Starten eines neuen Projekts
  - 4.2. Darstellung des Projekts
    - 4.2.1. Das Projektfenster
    - 4.2.2. Das Diagrammfenster
  - 4.3. Änderungen der Abstimmung
    - 4.3.1. Allgemein
    - 4.3.2. Abspeichern
    - 4.3.3. Darstellungsoptionen
    - 4.3.4. Die Eingangsleistung
    - 4.3.5. Abstimmung eines geschlossenen Gehäuses
    - 4.3.6. Abstimmung eines Bassreflex-Gehäuses
    - 4.3.7. Abstimmung eines Bandpass-Gehäuses
  - 4.4. Darstellung der Abstimmung
    - 4.4.1. Allgemein
    - 4.4.2. Der Frequenzgang (Transfer function magnitude)
    - 4.4.3. Der Phasengang (Transfer function phase)
    - 4.4.4. Die Gruppenlaufzeit (Group Delay)
    - 4.4.5. Die maximale Eingangsleistung (Maximum Power)
    - 4.4.6. Der maximale Schalldruck (Maximum SPL)
    - 4.4.7. Die effektive Verstärkerleistung (Amplifier apparent load power (VA))
    - 4.4.8. Der reelle Schalldruck (SPL)
    - 4.4.9. Die Membranauslenkung (Cone excursion)
    - 4.4.10. Die Impedanzkurve (Impedance)
    - 4.4.11. Die elektrische Phase (Impedance phase)
    - 4.4.12. Die Passivmembran (Passive radiator)
    - 4.4.13. Die Luftgeschwindigkeit der Reflexöffnung(en) (Air velocity)
    - 4.4.14. Der Pegel der Reflexöffnung(en) (Gain)
    - 4.4.15. Die Kurven der Filter/Equalizer
5. Zusatzinformationen
  - 5.1. Das EBP (Efficiency Bandwith Product)
  - 5.2. Das Verhältnis von Leistung, Schalldruck und Lautstärke-Wahrnehmung

© 2006 *autohifi*, Motor Presse Stuttgart

Diese Anleitung ist urheberrechtlich geschützt. Kopie, Nachdruck, Vervielfältigung auch auszugsweise nur mit schriftlicher Genehmigung des Verlags. Zuwiderhandlungen werden strafrechtlich verfolgt.

# 1. Express-Anleitung

Mit Klicken auf den < Editor > und der Taste < Load > wird ein Lautsprecher-Chassis geladen. Falls das gewünschte Chassis nicht in der Datenbank vorhanden ist, können die Parameter für das neue Lautsprecher-Chassis eingetragen und anschließend mit < Save > gespeichert werden. Beachten Sie bei der Eingabe der Parameter die Reihenfolge und Hinweise unter Punkt 3.3.

Mit Klicken auf die Schalttaste < New project > wird eine neue Berechnung gestartet. Der Projektassistent fragt alle notwendigen Informationen (Chassis, Chassisanzahl, Gehäusebauform, Alingment) ab und simuliert dieses Gehäuse.

Im kleinen Projektfenster lassen sich anschließend alle Eckparameter der Berechnung verändern, wie Volumen, Abstimmfrequenz, Reflexöffnung, Kurvenbreite und -farbe, Eingangssignal und Filter. Unter < Project > kann dieser Datensatz abgespeichert werden.

Die Simulation im großen Diagrammfenster beginnt mit dem nominellen Frequenzgang und wird bei jeder Datenänderung simultan neu berechnet (interaktiv). Mit einem Klick auf < Transfer function magnitude > öffnet sich das Auswahlfenster für die verschiedenen Darstellungen wie beispielsweise Frequenzgang, Gruppenlaufzeit, Maximalpegel, Luftgeschwindigkeit im Kanal etc.

Mit der rechten Maustaste kann man unter < Options > alle Darstellungsparameter wie untere und obere Grenze sowie die Einheit zu jeder Darstellung ändern.

Es können mehrere Simulationen gleichzeitig dargestellt werden. Zum Hinzufügen weiterer Simulationen starten Sie mit < New Project > eine neue Simulation oder laden Sie mit < Open Project > ein bereits gespeichertes Projekt.

# 2. Installation

Das Programm WinISD Pro steht auf der Homepage von Linearteam zum Download bereit ([www.linearteam.org](http://www.linearteam.org)).

Der direkte Link zum Download:

<http://www.linearteam.dk/default.aspx?download=winisdpro>

Die Software ist geistiges Eigentum von Linearteam. Für Schäden, die durch die Benutzung der Software entstehen, wird von der Motor Presse keine Haftung übernommen.

## 3. Eingabe von Lautsprecherdaten

### 3.1. Lautsprecher-Datenbank

Das Programm besitzt eine Lautsprecher-Datenbank, in der sich bereits eine sehr große Auswahl an Lautsprechern befindet. Es kann also durchaus sein, dass Ihr Chassis dort bereits hinterlegt ist. In dieser Datenbank werden auch die neu eingegebenen Chassis gespeichert.

Das Verzeichnis befindet sich unter C:/Programme/Linearteam/WinISDpro/ Drivers

### 3.2. Eingabe der Typenbezeichnung

Falls sich Ihr Chassis (noch) nicht in der Datenbank befindet, müssen Sie es eingeben. Klicken Sie auf die Schaltfläche < Editor > um das Chassis-Eingabefenster zu öffnen. Unter dem ersten Reiter „General“ des Eingabefensters geben Sie die Marke (Brand) sowie die Typenbezeichnung (Model) ein. Zusätzlich können Sie den Hersteller (Manufacturer) sowie persönliche Notizen (Comment) hinzufügen. Setzen Sie ganz unten im Kästchen neben „Auto calculate unknowns“ den Haken, dadurch werden später fehlende Parameter automatisch ergänzt, wenn sie sich aus den eingegebenen Werten ergeben.

The screenshot shows the 'Driver editor' window with the following details:

- Tab: General
- Manufacturer: ACR
- Brand: Emphaser
- Model: EI 12 S4+
- Data provided by: autohifi
- Date added: 28.08.2006
- Comment: (empty text area)
- Legend:  Entered,  Calculated,  Not available
- Buttons: Save, Load, Clear, Close
- Checkbox:  Auto calculate unknowns

### 3.3. Eingabe der Parameter

Unter dem Reiter „Parameters“ befindet sich die Eingabemaske für die Thiele-Small-Parameter.

**Wichtig:** Achten Sie bei jedem Wert auf die richtige Maßeinheit. Ist beispielsweise das  $C_{ms}$  nicht in  $\text{mm/N}$  sondern in  $\text{m/N}$  gegeben, dann klicken Sie einfach so oft auf die Einheit  $\langle \text{mm/N} \rangle$ , bis  $\langle \text{m/N} \rangle$  erscheint. Bei vielen anderen Parametern ist eine solche Änderung der Maßeinheit ebenfalls möglich. Das Programm rechnet bereits eingegebene Werte sofort in die neue Maßeinheit um. Ändern Sie deshalb erst die Maßeinheit und geben Sie erst dann den Wert ein.

| Parameter  | Value    | Unit                                | Status  |
|------------|----------|-------------------------------------|---------|
| Qes        | 0,000    |                                     | Entered |
| Qms        | 0,000    |                                     | Entered |
| Qts        | 0,000    |                                     | Entered |
| Fs         | 0,00     | Hz                                  | Entered |
| Vas        | 0,00     | l                                   | Entered |
| Mms        | 0,0      | g                                   | Entered |
| Cms        | 0,0000   | mm/N                                | Entered |
| Rms        | 0,00000  | Ns/m                                | Entered |
| Re         | 0,000    | ohm                                 | Entered |
| BL         | 0,00000  | Tm                                  | Entered |
| Dd         | 0,00     | cm                                  | Entered |
| Le         | 0,00     | mH                                  | Entered |
| Sd         | 0,0      | cm <sup>2</sup>                     | Entered |
| fLe        | 0,00000  | kHz                                 | Entered |
| KLe        | 0,000000 | H <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> (Hz) | Entered |
| Xmax       | 0,0      | mm peak                             | Entered |
| Xlim       | 0,0      | mm                                  | Entered |
| Hc         | 0,0      | mm                                  | Entered |
| Hg         | 0,0      | mm                                  | Entered |
| Vd         | 0        | cm <sup>3</sup>                     | Entered |
| Pe         | 0,0      | g                                   | Entered |
| no         | 0,0000   | %                                   | Entered |
| Znom       | 0,000    | ohm                                 | Entered |
| USPL       | 0,00     | dB                                  | Entered |
| SPL        | 0,00     | dB                                  | Entered |
| Voicecoils | 1        |                                     | Entered |
| Connection | Parallel |                                     | Entered |

Die Farbe der Werte zeigt an ob sie manuell eingegeben wurden (grün) oder ob das Programm den Wert errechnet hat (blau). Die berechneten Werte sollten nicht mit den eventuell leicht abweichenden Herstellerangaben ersetzt werden, da sie sonst nicht exakt dem Thiele-Small-Modell entsprechen würden.

Halten Sie sich bei der Eingabe möglichst an folgende Reihenfolge:

- Geben Sie **Mms** und **Cms** ein (Maßeinheit unbedingt beachten!). Daraus ergibt sich automatisch die Resonanzfrequenz **fs**.
- Geben Sie nun **Sd**, **Bl** sowie **Re** ein. Daraus ergeben sich weitere Werte.
- Geben Sie nun **Qms** ein.
- Nun fehlen noch die Dauerbelastbarkeit **Pe**, die Schwingspulen-Wickelhöhe **Hc** sowie die Luftspalthöhe **Hg**.

Aus den beiden letzteren errechnet sich **Xmax**. Sollte eine oder beide Größen fehlen, geben Sie **Xmax** direkt ein. Auch hier die Maßeinheit beachten! Xmax steht bei WinISD für die Auslenkung zu einer Seite. Bei einigen Herstellern steht das Xmax allerdings für die Gesamtauslenkung in beide Richtungen. Ist das der Fall, müssen Sie den halbierten Wert eingeben.

Am Ende der Eingabe können Sie noch die Schwingspuleninduktivität **Le** sowie die Messfrequenz der Schwingspuleninduktivität **fLe** ergänzen. In den meisten Fällen messen die Hersteller das **Le** bei 1 kHz, geben Sie also bei fehlendem Wert einfach 1 kHz bei **fLe** an.

Nun fehlt noch die Anzahl der Schwingspulen (Number of Voicecoil).

Hinweis: Bei Doppelschwingspulen-Chassis kann es sein, dass **Bl** vom Hersteller in Serienschaltung angegeben ist, **Re** aber in Parallelschaltung. Für **Bl** ergeben sich dadurch doppelt so hohe Werte. Zur Überprüfung der Verschaltung können Sie probeweise folgende Parameter eingeben: **Qes**, **fs**, **Mms** oder **Cms**, und **Bl**. **Re** wird abhängig von der angeklickten Verschaltung (Connection Mode) verändert.

Oder: Sie geben bei gewählter Verschaltung **Qes**, **fs**, **Mms** oder **Cms**, und **Re** ein. Daraus wird **Bl** automatisch errechnet.

The screenshot shows the 'Driver editor' window with the following parameters:

| Thiele/Small parameters |          |
|-------------------------|----------|
| Qes                     | 0.450    |
| Qms                     | 3.900    |
| Qts                     | 0.403    |
| Fs                      | 31.00 Hz |
| Vas                     | 66.76 l  |

| Electro-Mechanical parameters |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Mms                           | 155.0 g                         |
| Cms                           | 0.1701 mm/N                     |
| Rms                           | 7.74014 Ns/m                    |
| Re                            | 3.800 ohm                       |
| BL                            | 15.97000 Tm                     |
| Dd                            | 25.88 cm                        |
| Le                            | 1.05 mH                         |
| Sd                            | 526.0 cm <sup>2</sup>           |
| fLe                           | 1.00000 kHz                     |
| KLe                           | 0.083230 Hz <sup>2</sup> g/(Hz) |

| Large-Signal parameters |                     |
|-------------------------|---------------------|
| Xmax                    | 9.5 mm peak         |
| Hc                      | 27.0 mm             |
| Hg                      | 8.0 mm              |
| Vd                      | 500 cm <sup>3</sup> |
| Xlim                    | 0.0 mm              |
| Pe                      | 500.0 W             |

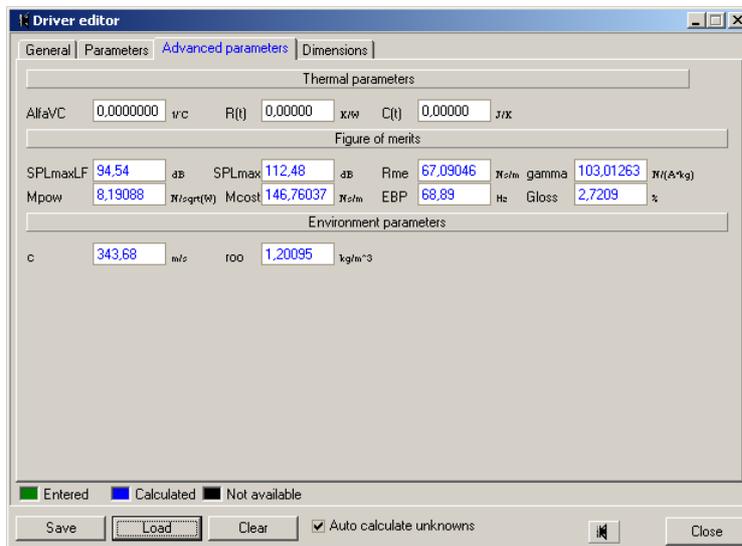
  

| Miscellaneous parameters |           |
|--------------------------|-----------|
| no                       | 0.4287 %  |
| Znom                     | 6.000 ohm |
| USPL                     | 91.71 dB  |
| SPL                      | 88.47 dB  |
| Voicecoils               | 1         |
| Connection               | Parallel  |

Legend: ■ Entered ■ Calculated ■ Not available

Buttons: Save, Load, Clear,  Auto calculate unknowns, Close

Unter dem Reiter < Advanced Parameters > können Sie einige Orientierungswerte ablesen.



Das < EBP > ist ein Indikatorwert, der zur Gehäuseartbestimmung wichtig ist. Die genaue Bedeutung des EBP steht unter Punkt 4.1.

Der Wert < LowSPL > gibt den theoretischen maximalen Schalldruck bei 20 Hz in einem geschlossenen Gehäuse an. Daran kann man die Pegelfähigkeit bei tiefen Frequenzen ablesen und mit anderen Woofern vergleichen.

Der Wert < MaxSPL > ist ein Indikator für die generellen Pegelfähigkeiten des Sub-Chassis.

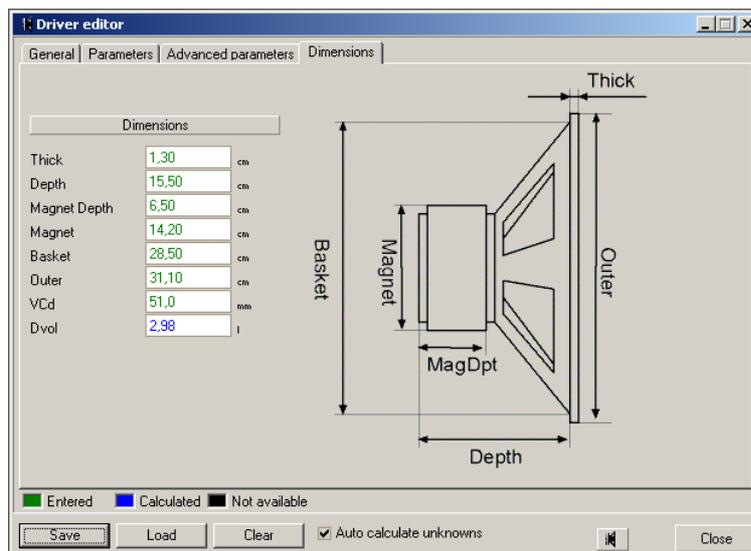
Die Größe < Gloss > gibt an, wie stark die Membran bei horizontalem Einbau einsinken würde. Werte bis 3 % sind vollkommen normal. Um 10 % ist das Chassis nicht mehr für den horizontalen Einbau geeignet.

### 3.4. Abmessungen des Chassis

Unter dem Reiter < dimensions > können die Abmessungen des Chassis eingegeben werden (Maßeinheiten beachten!). Die Bezeichnungen sind in einer Grafik dargestellt.

**VCd** bedeutet Schwingspulendurchmesser. Das Programm errechnet aus den eingegebenen Werten das Volumen **Dvol**, welches vom Chassis verdrängt wird.

Dieses Volumen muss zum angegebenen Volumen addiert werden.



### 3.5. Lautsprecherdaten speichern

Mit der Taste < Save > können Sie nun den Lautsprecher-Datensatz abspeichern.

Das Programm gibt hierfür einen Dateinamen vor, den Sie einfach übernehmen können. Wenn Sie eine 1\_ vor den Dateinamen stellen, erscheint der Woofer in der Liste an erster Stelle, was das spätere Wiederfinden erleichtert. Der Lautsprecher-Datensatz wird vom Programm mit der Dateiendung .wdr im Pfad

C:\Programme\Linearteam\WINISD Pro\Drivers gespeichert.

### 3.6. Editieren eines vorhandenen Lautsprechers

Klicken Sie im „Driver Editor“ unten auf < Load > um ein Chassis aus der Datenbank auszuwählen und zu laden. Nun können alle Daten verändert werden. Mit der Taste < Save > werden die Änderungen gespeichert.

## 4. Gehäuseberechnung

### 4.1. Starten eines neuen Projekts

Jede Gehäusesimulation wird als Projekt bezeichnet. Zum Starten einer neuen Simulation klicken Sie einfach auf die Schaltfläche < New Project >. Der äußerste hilfreiche Projektassistent fragt Sie nun nach dem Lautsprecher-Chassis, das Sie dann einfach aus der Liste auswählen. Der zuvor eingegebene Woofer befindet sich dank vorangestellter 1\_ im Dateinamen an erster Stelle.

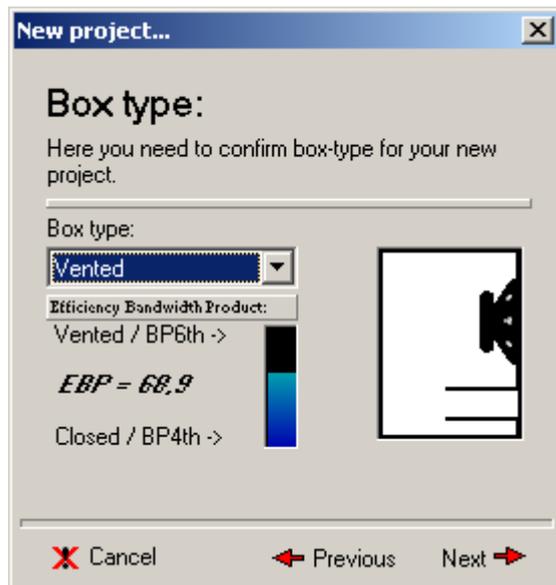


Mit < Next → > geht es weiter zur Eingabe der Chassisanzahl sowie der Montageart bei mehreren Chassis. Die Grundeinstellung ist ein Chassis. Ändern Sie falls gewünscht die Anzahl sowie anschließend die Positionierung. Mit < Next → > geht es weiter.

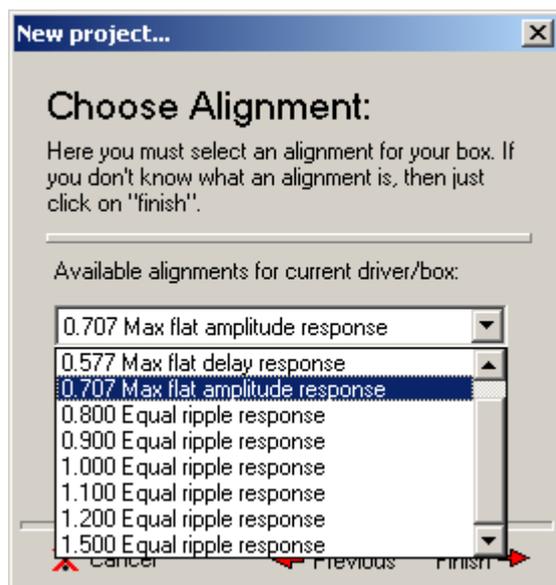


Nun fragt der Assistent nach der Gehäusebauform. Als Orientierung zeigt er uns das EBP des Chassis, einen farbigen Balken sowie einen vorgewählten Prinzipvorschlag:

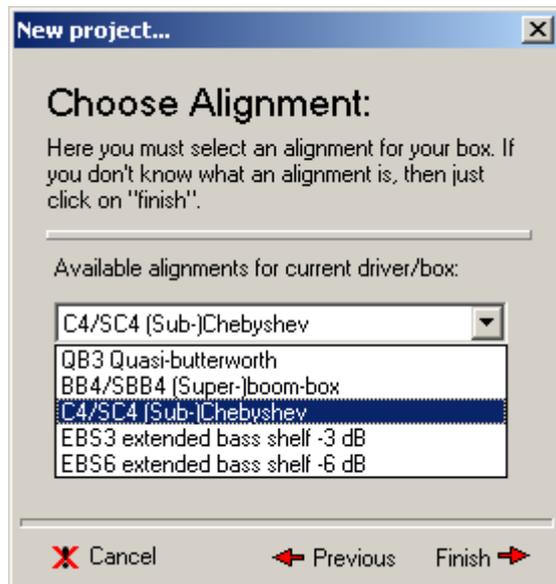
- Sealed.....= geschlossen
- Vented.....= Bassreflex
- 4th order Bandpass.....= Bandpass 4. Ordnung (geschlossen + Bassreflex)
- 6th order Bandpass .....= Bandpass 6. Ordnung (Bassreflex + Bassreflex)
- passive Radiator..... = Passivmembran



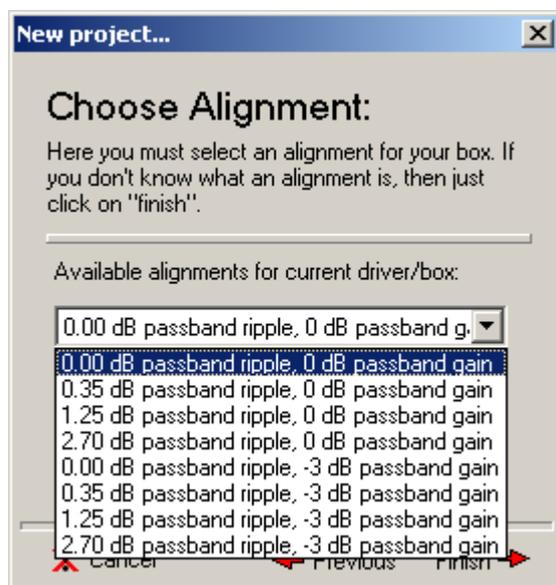
Nach der Auswahl des Prinzips gibt der Assistent eine Auswahl an Abstimmungen aus. Bei geschlossenen Gehäusen wählen wir die Güte aus einer Liste. Es empfiehlt sich, mit der Butterworth-Abstimmung  $Q = 0,707$  zu beginnen.



Bei Bassreflex-Gehäusen stellt der Assistent die realisierbaren Alignment-Typen zur Wahl. Wir empfehlen, als Basis das vorgewählte Alignment zu nehmen. Es liefert vertretbare Gehäusegrößen mit tauglichen Reflexabstimmungen.



Bei Bandpass-Kisten 4. Ordnung ist die Auswahl „0,00 dB passband ripple, 0 dB passband gain“ eine gute Ausgangsposition.



Bei Gehäusen mit Passivmembran benötigt das Programm weitere Angaben, die in einem Fenster abgefragt werden.

Es werden nur die möglichen Alignments zur Auswahl gestellt. Sollte kein Alignment möglich sein, erscheint statt einer Auswahl < None available >. Mit der Taste < Finish → > wird die Eingabe abgeschlossen.

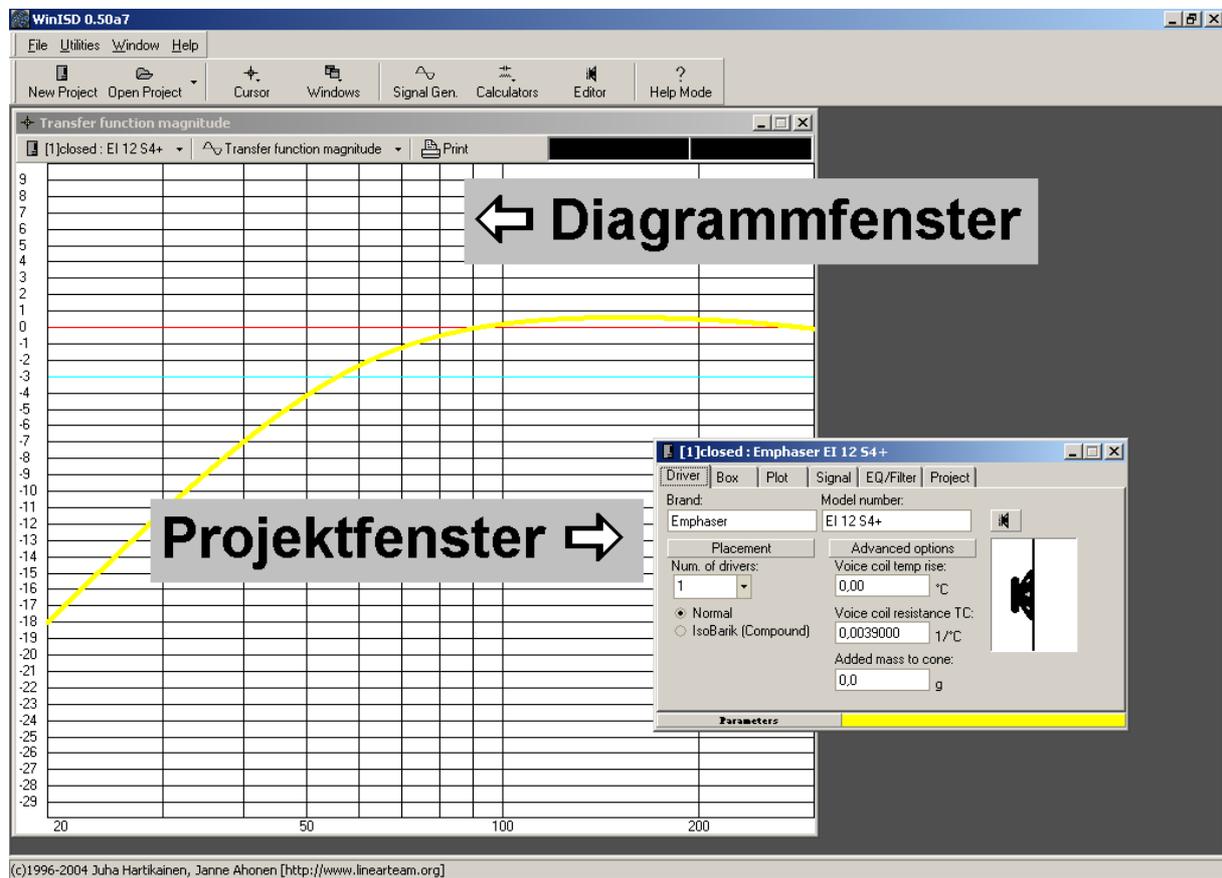
## 4.2. Darstellung des Projekts

### 4.2.1. Das Projektfenster

Nachdem der Projektassistent alle Angaben erhalten hat, simuliert er das Gehäuse. Alle Daten des Projekts sind in einem Projektfenster zusammengefasst. Unter den Reitern stehen die entsprechenden Informationen. Die Bedeutung dieser Daten lesen Sie unter Punkt 4.3. (Änderung der Abstimmung).

### 4.2.2. Das Diagrammfenster

Im Diagrammfenster werden die Kurven aller aktiven Projekte gleichzeitig dargestellt, so dass mehrere Abstimmungen direkt miteinander verglichen werden können. Zur übersichtlicheren Darstellung sollte man mit unterschiedlichen Kurvenfarben arbeiten. Diese lassen sich im Projektfenster unter < Plot > einstellen.



## 4.3. Änderungen der Abstimmung

### 4.3.1. Allgemein

Das Projektfenster enthält alle Informationen und Einstellungen zu Chassis, Gehäuse und – sofern vorhanden – zur Reflexöffnung.

Prinzipiell können wir jeden Parameter nach eigenen Angaben editieren; das Programm berechnet automatisch und simultan sämtliche Veränderungen, die dann im Diagrammfenster angezeigt werden.

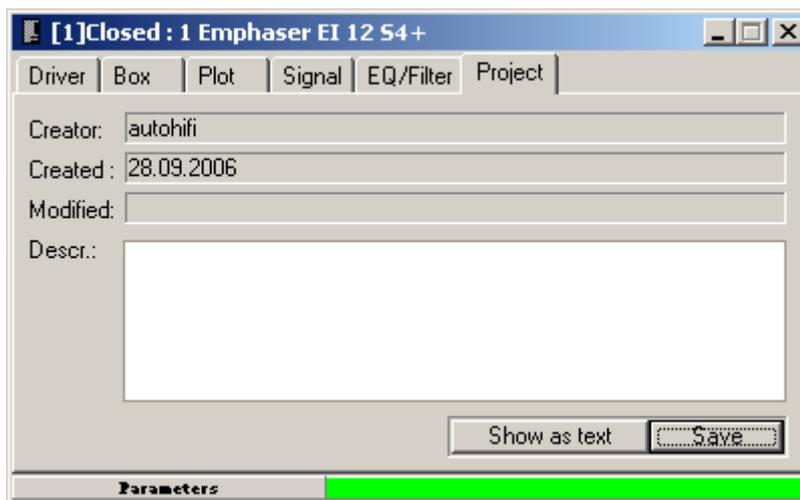
### 4.3.2. Abspeichern

Unter dem Reiter < Project > können wir die aktuelle Version mit der Schaltfläche < Save > abspeichern und somit jederzeit wieder aufrufen.

Das Feld < Descr.: > ist für eigene Kommentare vorgesehen. Der Projekt-Datensatz wird von Programm mit der Dateiendung .wpr im Pfad

C:\Programme\Linearteam\WINISD Pro\Projects gespeichert.

Es empfiehlt sich, einen neuen Unterordner beispielsweise mit dem Namen des Chassis anzulegen.



#### 4.3.3. Darstellungsoptionen

Unter dem Reiter < Plot > geht es um die Farbe (Color) und Dicke (Width) der Kurve im Diagrammfenster. Durch Klicken auf das Farbfeld öffnet sich die Farbpalette.

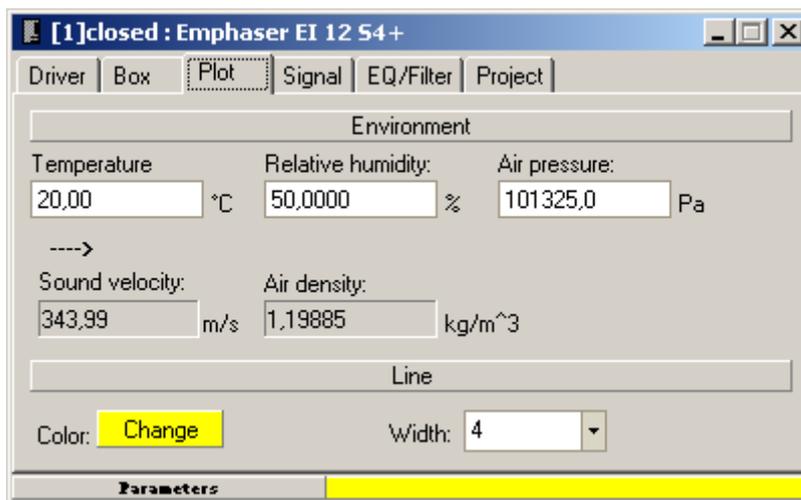
Im Auswahlfenster < Width > sind Werte zwischen 1 und 4 wählbar.

Alle *autohifi*-Simulationen sind 4 Pixel stark und haben im Allgemeinen folgende Farbcodierung:

**Grün** = **G**eschlossen

**Rot** = **R**eflex

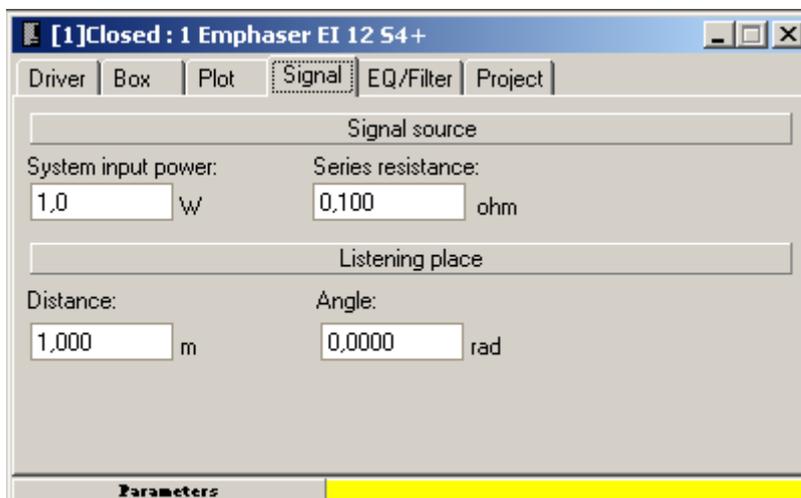
**Blau** = **B**andpass



#### 4.3.4. Die Eingangsleistung

Unter < Signal > kann der Eingangspegel eingestellt werden. Die Ausgangsgröße für die Eingangsleistung (System input power) beträgt 1 Watt. Für einige Darstellungen wie beispielsweise die Membranauslenkung ist auch das Verhalten unter hoher Leistung sehr interessant. Diese Leistung wird hier eingestellt.

Der Serienwiderstand (Series resistance) entspricht dem Widerstand der Lautsprecherleitung und kann ebenso wie der Hörabstand (Distance) sowie der Winkel (Angle) auf den Voreinstellungen verbleiben.

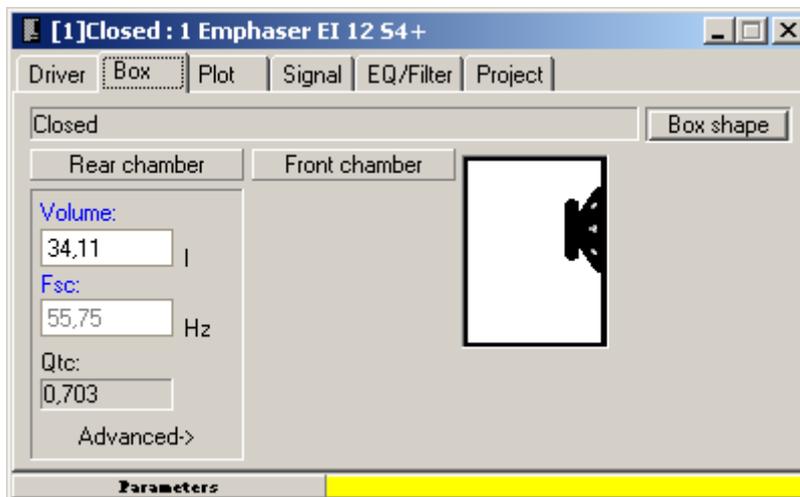


#### 4.3.5. Abstimmung eines geschlossenen Gehäuses

Unter dem Reiter < Box > steht das Volumen (Volume) des Gehäuses, welches wir manuell auf jeden beliebigen Wert setzen können. In der Grundeinstellung wird das Volumen in Litern (l) eingegeben. Andere Einheiten sind durch Klicken auf die Maßeinheit < l > wählbar.

Die aus dem eingegebenen Volumen resultierende Resonanzfrequenz **fc (Fsc)** sowie die entsprechende Gesamtgüte **Qtc** werden in den Zeilen darunter angezeigt.

Unter der Schaltfläche < Advanced → > können zudem die Gehäuseverluste **Ql** und Absorptionsverluste **Qa** eingegeben werden. Die voreingestellten Werte passen schon ganz gut und brauchen nicht verändert zu werden. Nur erfahrene Nutzer sollten diese Werte ändern.

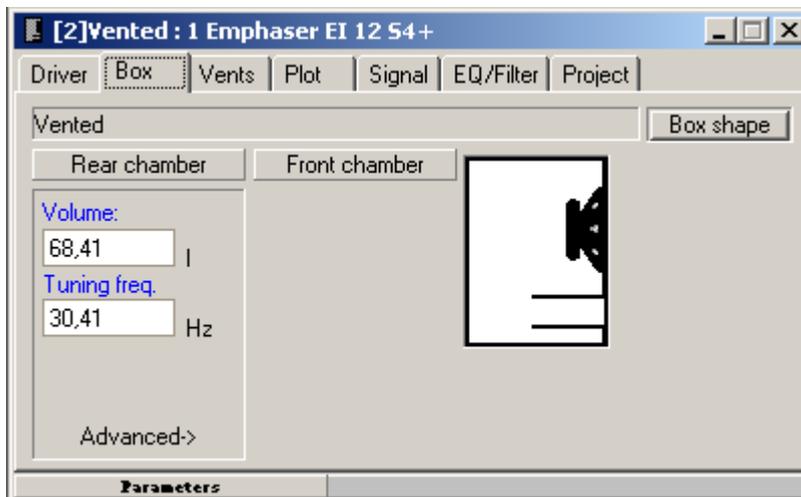


#### 4.3.6. Abstimmung eines Bassreflex-Gehäuses

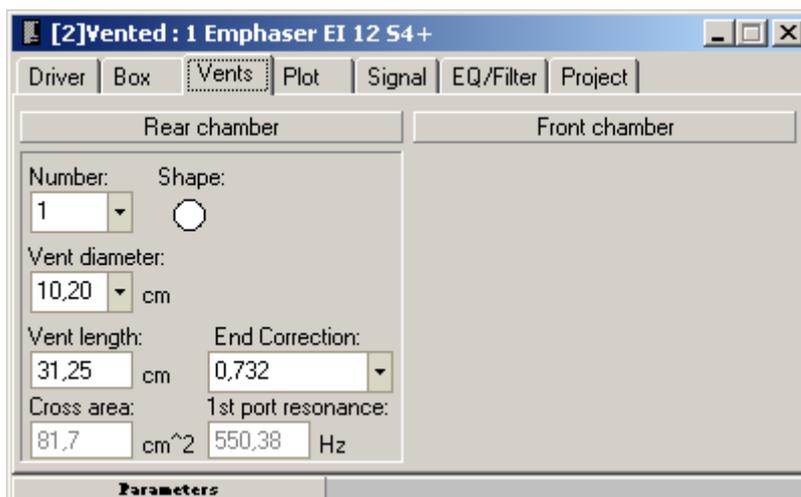
Unter dem Reiter < Box > steht das Volumen (Volume) des Gehäuses, das wir manuell auf jeden beliebigen Wert setzen können. In der Grundeinstellung wird das Volumen in Liter (l) eingegeben. Andere Einheiten sind durch Klicken auf die Maßeinheit < l > wählbar.

Die Abstimmfrequenz der Reflexöffnung **fb** (Tuning freq.) wird in der Zeile darunter angezeigt und kann ebenfalls auf jeden beliebigen Wert eingestellt werden.

Unter der Schaltfläche < Advanced → > können zudem die Gehäuseverluste **Ql**, Absorptionsverluste **Qa** sowie die Verluste der Reflexöffnung **Qp** eingegeben werden. Die voreingestellten Werte passen schon ganz gut und brauchen nicht verändert zu werden. Nur erfahrene Nutzer sollten hier die Verluste editieren.



Der Reiter < Vents > steht für die Reflexöffnung(en).

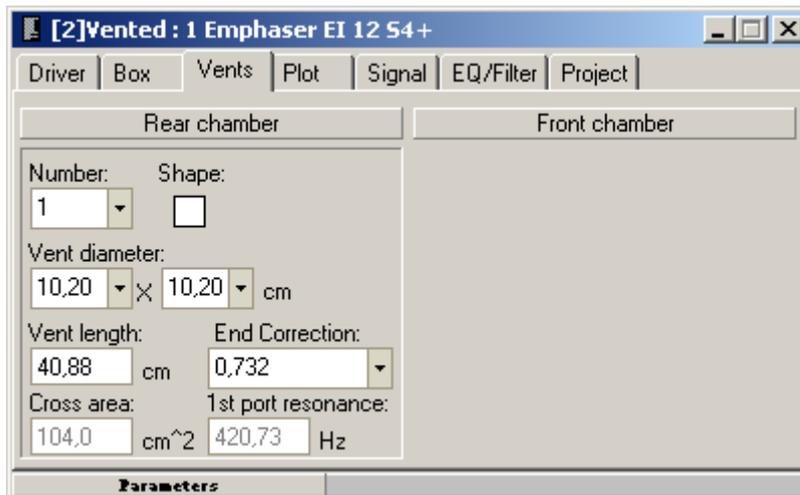


Die Anzahl der Öffnungen (Number) kann bei Bedarf auf den gewünschten Wert erhöht werden, die Maße der Öffnung gelten dann pro Stück.

Mit Klicken auf die Form des Kanals (Shape) kann zwischen einem runden und einem rechteckigen Kanal gewählt werden. Analog dazu sind der Durchmesser (Vent diameter) oder Länge und Breite des Kanals einstellbar. Die vorgegebenen Zahlenwerte der Auswahlfenster lassen sich markieren und durch individuelle Zahlen ersetzen.

Die erforderliche Länge des Kanals wird entsprechend der im Fenster < Box > eingegebenen Abstimmfrequenz berechnet und im Feld < Vent length > angezeigt.

Unter < End Correction > kann zudem die Öffnungsform eingegeben werden, falls eine (one flanged end) oder beide Enden (two flanged ends) eine Trompetenform haben. Die Fläche der Öffnung (Cross area) sowie die Frequenz der ersten Rohr-Resonanz (1st port resonance) werden ebenfalls errechnet und angezeigt (für erfahrene Nutzer).



In der Regel ändert man die Abstimmung über die Tuningfrequenz der Reflexöffnung, indem man unter dem Reiter < Box > den gewünschten Wert eingibt. Daraus errechnet das Programm dann mit dem gegebenen Rohrdurchmesser die Rohr-/Kanallänge.

Umgekehrt könnte man auch einen Kanal mit Fläche und Länge eingeben. Das Programm errechnet dann die Tuningfrequenz, die unter < Box > ausgegeben wird.

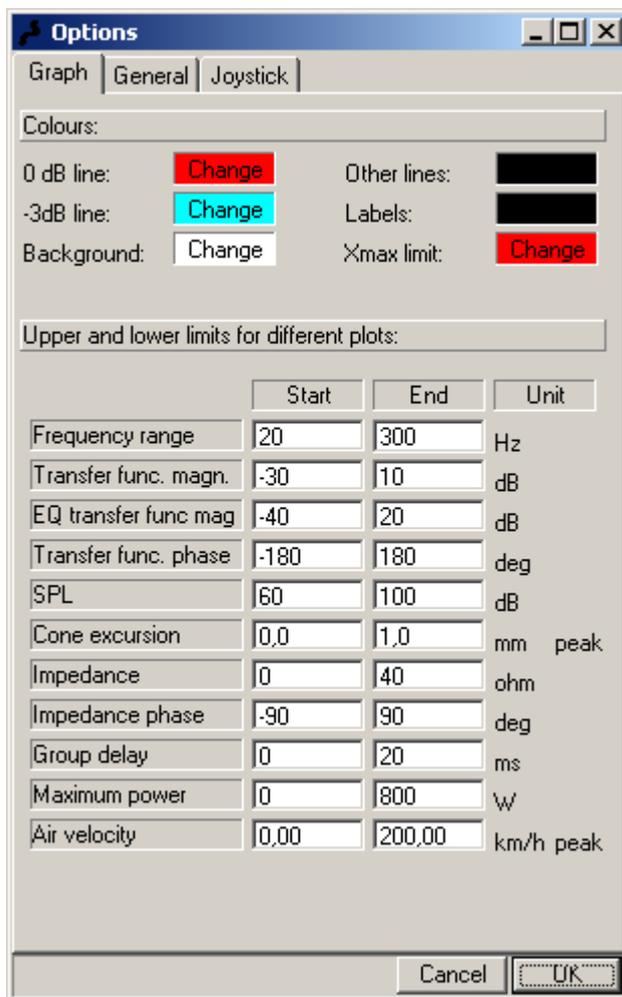
#### 4.3.7. Abstimmung eines Bandpass-Gehäuses

Die Abstimmung eines Bandpass-Gehäuses erfolgt analog zur Abstimmung des Bassreflex-Gehäuses. Das hintere Volumen (Rear Chamber) ist bei einem Bandpass 4. Ordnung das geschlossene Volumen, im vorderen Volumen (Front chamber) sitzt das Reflexrohr.

## 4.4. Darstellung der Abstimmung

### 4.4.1. Allgemein

Die Kurven werden im großen Diagrammfenster ausgegeben. Mit der rechten Maustaste und einem Klick auf < Optionen > erreicht man die Eingabemaske für die Skalierungen, die Einheiten sowie die Farben. Hier kann man beispielsweise die Einheit der Luftgeschwindigkeit in der Reflexöffnung (Air velocity) von Meter pro Sekunde (m/s) auf Kilometer pro Stunde (km/h) umstellen, indem man einfach auf die Einheit < m/s > klickt. Weitere Einheiten lassen sich auf gleiche Weise ändern. Mit < OK > werden die Änderungen übernommen.

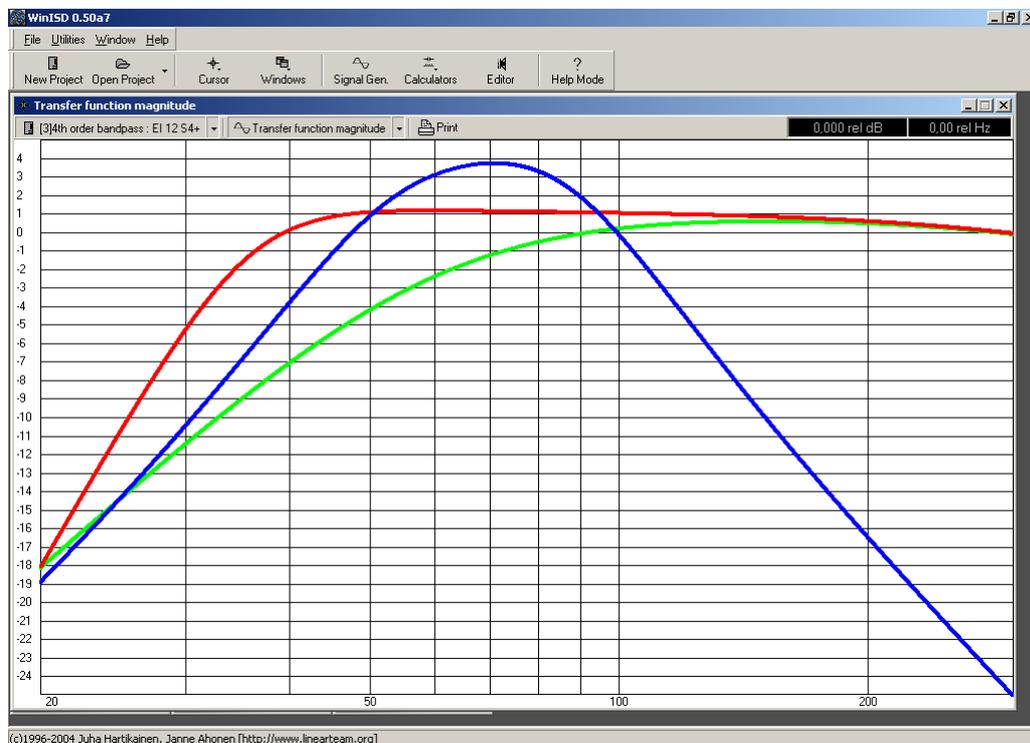


#### 4.4.2 Der Frequenzgang (Transfer function magnitude)

Der nominelle Frequenzgang (Transfer function magnitude) wird vom Programm als erstes Diagramm automatisch angezeigt. Die 0-dB-Achse entspricht dem nominellen Wirkungsgrad. Überhöhungen im (+)-Bereich sowie Abfälle im (-)-Bereich beziehen sich also immer auf den Wirkungsgrad. Eine höhere Eingangsleistung im Projektfenster unter < Signal > hat hier keinen Einfluss.

Im unten stehenden Diagramm bringt das Bandpass-Gehäuse (blau) den höchsten Maximalpegel (+4 dB), ist unterhalb von 50 Hz allerdings leiser als das Bassreflex-Gehäuse (rot). Dessen -3-dB-Punkt liegt bei rund 33 Hz. Das geschlossene Gehäuse (grün) bringt den schlechtesten Wirkungsgrad mit. Die Vorteile dieses Prinzips zeigen sich später bei der Gruppenlaufzeit.

Pegelunterschiede im Frequenzgang zeigen sich immer auf einer senkrechten Achse. So liegen zwischen der blauen und der roten Kurve bei 30 Hz ein Unterschied von 5 dB, das ist recht viel. Mehr zum Thema Pegel lesen Sie unter Punkt 5.2.



Über die Diagrammauswahl direkt oberhalb des Diagramms (dort steht jetzt < Transfer function magnitude > sind auch folgende Darstellungen wählbar:

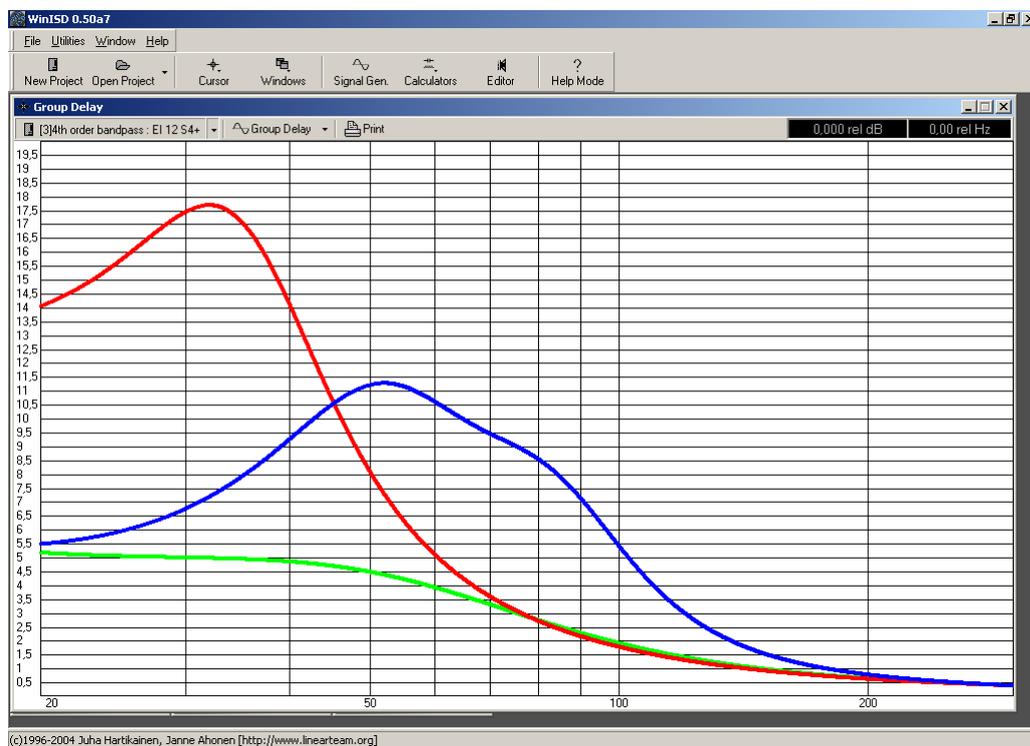
|   |   |
|---|---|
| <b>System overall</b>                   | <b>Gesamtsystem</b>                                 |
| Transfer function magnitude             | Frequenzgang  |
| Transfer function phase                 | Phasengang  |
| Group Delay                             | Gruppenlaufzeit                                     |
| Maximum Power                           | Maximale Eingangsleistung                           |
| Maximum SPL                             | Maximaler Schalldruck                               |
| Amplifier apparent load power (VA)      | Endstufenleistung                                   |
| SPL                                     | Schalldruck   |
| <b>Driver</b>                           | <b>Lautsprecher-Chassis</b>                         |
| Cone excursion                          | Membranauslenkung                                   |
| Impedance                               | Impedanz-Frequenzgang                               |
| Impedance phase                         | Impedanz-Phase (elektrische Phase)                  |
| <b>Passive radiator</b>                 | <b>Passivmembran</b>                                |
| Transfer function magnitude (PR)        | Frequenzgang  |
| Transfer function phase (PR)            | Phasengang  |
| Cone excursion (PR)                     | Membranauslenkung                                   |
| <b>Rear port</b>                        | <b>Reflexöffnung des ersten (linken) Gehäuses</b>   |
| Rear port - Air velocity                | Luftgeschwindigkeit                                 |
| Rear port - Gain                        | Pegel   |
| <b>Front port</b>                       | <b>Reflexöffnung des zweiten (rechten) Gehäuses</b> |
| Front port - Air velocity               | Luftgeschwindigkeit                                 |
| Front port - Gain                       | Pegel   |
| <b>Filter/Equalizer</b>                 | <b>Filter/Equalizer</b>                             |
| Transfer function magnitude (EQ/Filter) | Frequenzgang  |
| Transfer function phase (EQ/Filter)     | Phasengang  |
| Group Delay (EQ/Filter)                 | Gruppenlaufzeit                                     |

#### 4.4.3 Der Phasengang (Transfer function phase)

Die akustische Phase sollte einen möglichst gleichmäßigen Verlauf haben. Für normale Anwender ist sie allerdings nur wenig relevant.

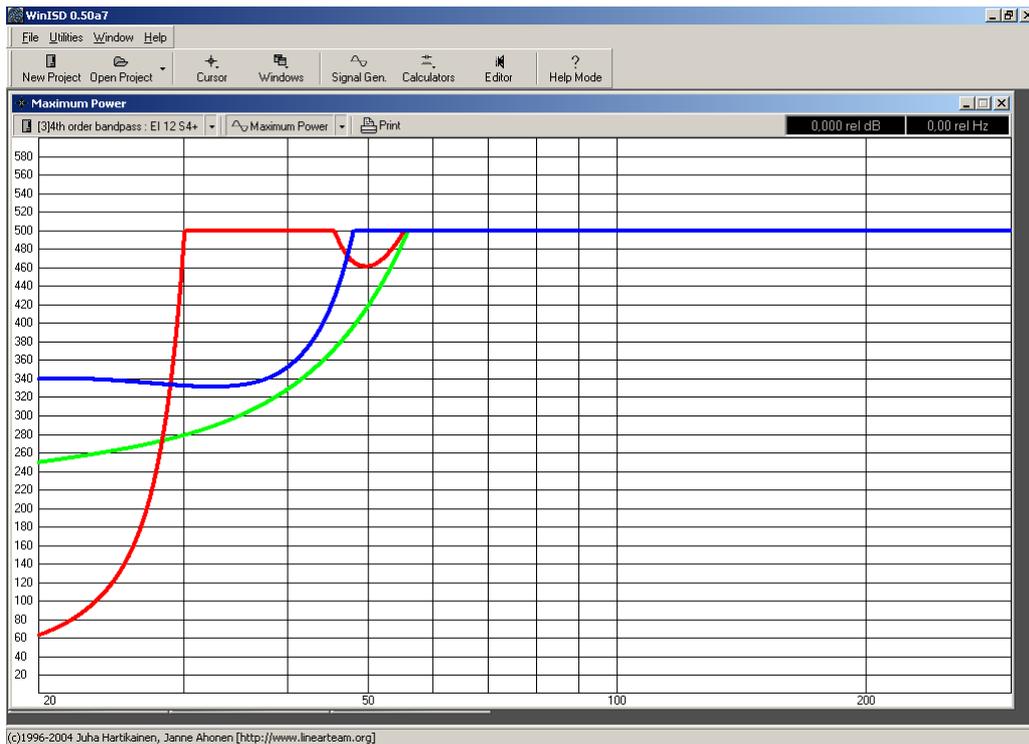
#### 4.4.4 Die Gruppenlaufzeit (Group Delay)

Die Gruppenlaufzeit ist ein Indikator für die Impulsivität des Woofers. Sie sollte einen möglichst flachen Verlauf haben. Verzögerungen von mehreren Millisekunden sind hörbar, daher klingen Bandpass-Gehäuse (blau) oft etwas „zu spät“. Bassreflex-Woofers klingen in oberen Basslagen impulsiv wie ein geschlossenes Gehäuse (grün), zu tiefen Frequenzen hin aber steigt deren Verzögerung deutlich an.



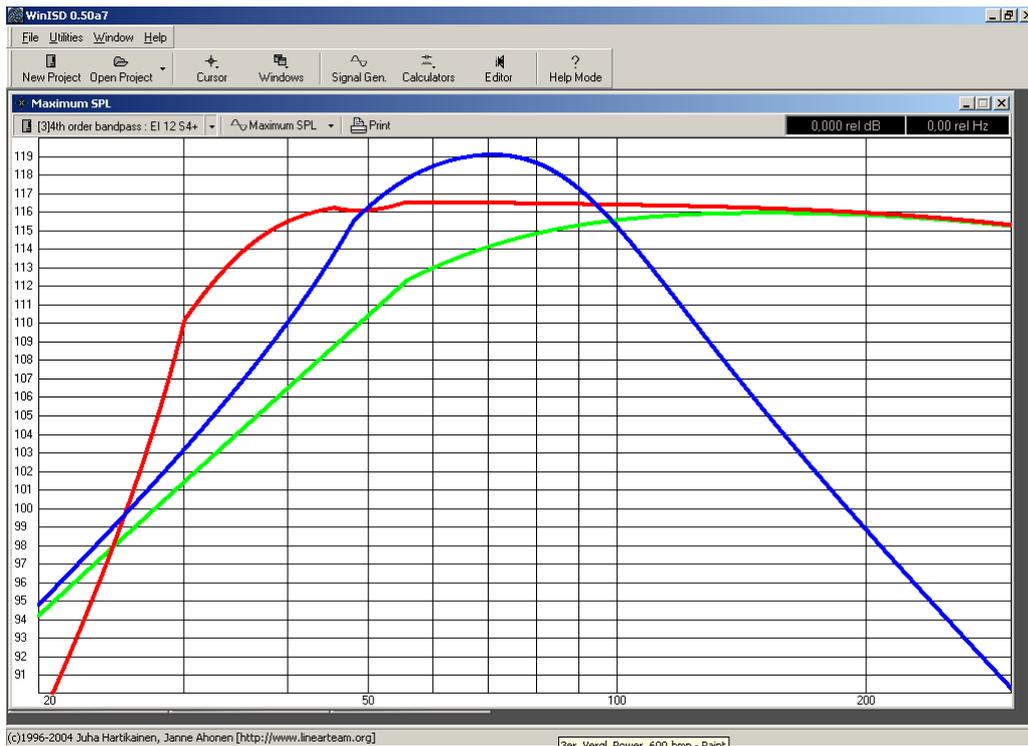
#### 4.4.5. Die maximale Eingangsleistung (Maximum Power)

Die maximale Eingangsleistung zeigt an, mit welcher Verstärkerleistung der Woofer maximal betrieben werden kann, ohne Schaden zu nehmen. Im unten stehenden Diagramm stellt in einem weiten Bereich die elektrische Belastbarkeit bei 500 Watt die Grenze dar. Die Einbrüche um 50 Hz beziehungsweise unter 50 Hz werden von der mechanischen Belastungsgrenze (maximaler Hub =  $X_{max}$ ) des Chassis begrenzt.



#### 4.4.6. Der maximale Schalldruck (Maximum SPL)

Der maximale Schalldruck zeigt im Grunde den Schalldruck bei der maximalen Eingangsleistung an. Sowohl die elektrische als auch die mechanische Belastbarkeit sind hier berücksichtigt. Beim Bassreflex-Woofer (rot) ist ein Knick bei 30 Hz zu sehen, der durch Erreichen der mechanischen Grenze verursacht wird. Diese Grenze ist bei der maximalen Eingangsleistung (4.4.5.) bereits zu erkennen.



#### 4.4.7. Die effektive Verstärkerleistung (Amplifier apparent load power) (VA)

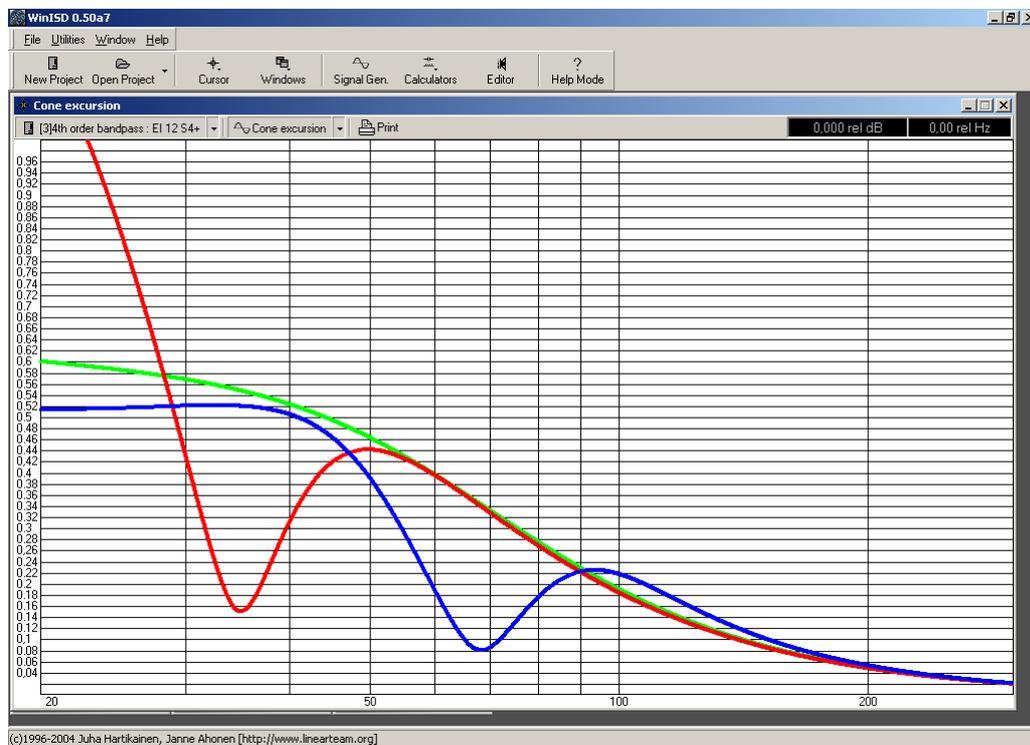
Die effektive Verstärkerleistung ist für die Gehäusesimulation irrelevant. Das Diagramm zeigt die effektiv abgegebene Leistung des Verstärkers in Abhängigkeit von der Impedanz.

#### 4.4.8. Der reelle Schalldruck (SPL)

Der reelle Schalldruck (SPL) wird im Gegensatz zum nominellen Frequenzgang (Transfer function magnitude) in dB angegeben. Der reelle Schalldruck ist abhängig von der Eingangsleistung, wie sie im Projektfenster unter < Signal > eingestellt ist.

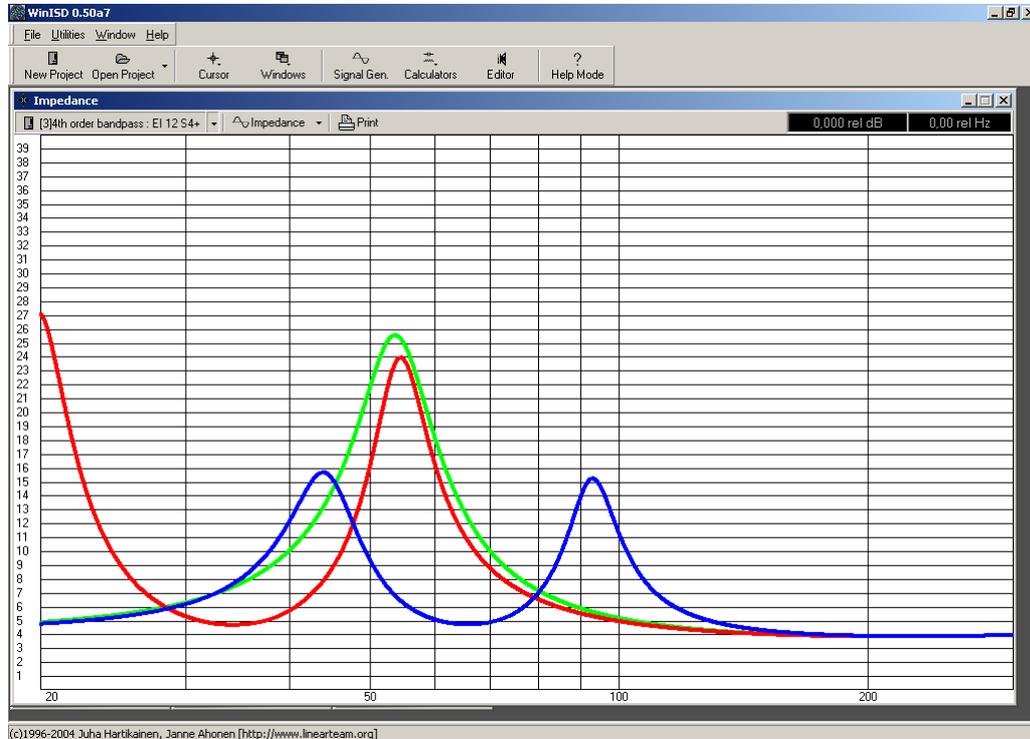
#### 4.4.9. Die Membranauslenkung (Cone excursion)

Die Membranauslenkung beschreibt die Höhe der mechanischen Auslenkung der Membran bei der gegebenen Eingangsleistung, wie sie im Projektfenster unter < Signal > eingestellt ist. Bei Reflex- und Bandpass-Woofern (rot und blau) beschreibt die Senke die Abstimmfrequenz, bei der die Membran entlastet wird und folglich weniger Auslenkung machen muss. Zu tiefen Frequenzen hin zeigen Bassreflex-Woofer (rot) ein kritisches Verhalten, in der Praxis muss ein Subsonicfilter vorgeschaltet werden.



#### 4.4.10. Die Impedanzkurve (Impedance)

Die Impedanzkurve zeigt den Wechselstrom-Widerstand des Lautsprechers. Auch hier beschreiben die Senken die Abstimmfrequenzen der Reflexöffnungen. Beim geschlossenen Gehäuse kann man an der Spitze die Resonanzfrequenz ablesen.



#### 4.4.11. Die elektrische Phase (Impedance phase)

Die elektrische Phase sollte einen möglichst gleichmäßigen Verlauf haben. Für normale Anwender ist sie allerdings nur wenig relevant.

#### 4.4.12. Die Passivmembran (Passive radiator)

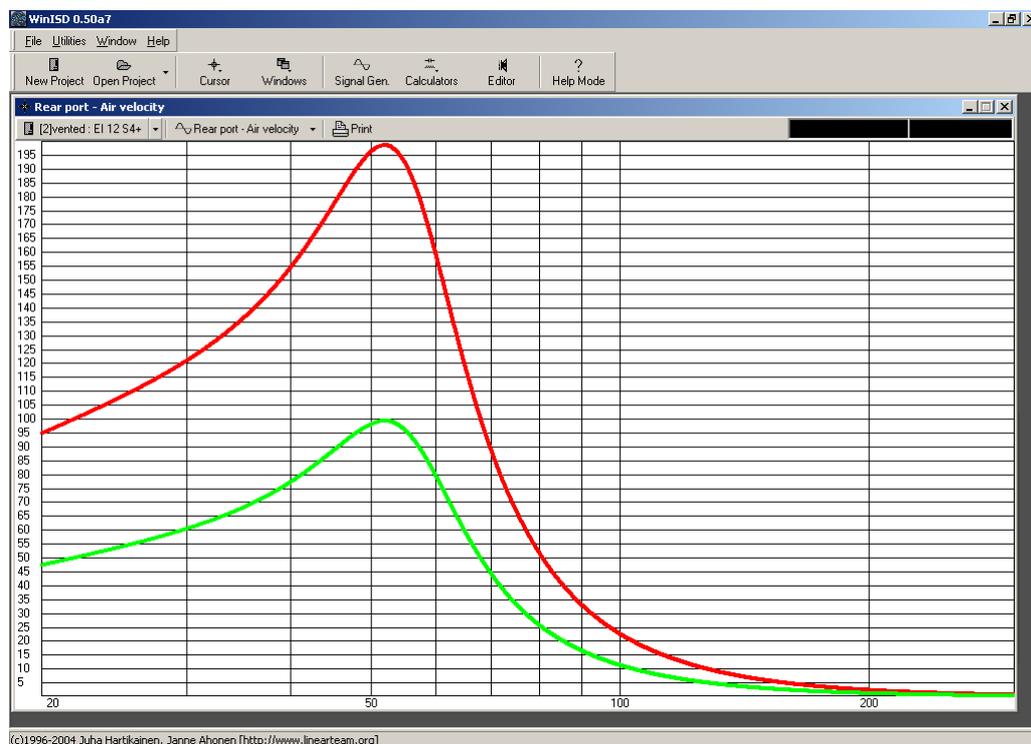
Für die Passivmembran stehen der Frequenzgang (Transfer function magnitude (PR)), der Phasengang (Transfer function phase (PR)) sowie die Membranauslenkung (Cone excursion (PR)) zur Verfügung. Am Frequenzgang kann der Anteil der Membran am Gesamtpegel abgelesen werden. Der Phasengang sollte einen gleichmäßigen Verlauf zeigen, er ist allerdings für normale Anwender nicht sonderlich relevant. Die Membranauslenkung darf genau wie beim Chassis bei hoher Leistungszufuhr die mechanische Grenze nicht überschreiten.

#### 4.4.13. Die Luftgeschwindigkeit der Reflexöffnung(en) (Rear port – Air velocity / Front port – Air velocity)

Die Luftgeschwindigkeit im Rohr sollte man sich zum besseren Verständnis in km/h anzeigen lassen. Dazu klickt man mit der rechten Mauteste auf < Options > und ändert die Einheit (Grundeinstellung ist m/s) bei Air velocity durch mehrfaches Klicken auf km/h. Nun kann die Luftgeschwindigkeit in der Reflexöffnung bei hoher Leistung (einzustellen unter < Signal > im Projektfenster) simuliert werden. Die Geschwindigkeit sollte je nach Kanalform nicht deutlich über der 100 km/h-Marke liegen. Normale Öffnungen neigen früher zu hörbaren Windgeräuschen, abgerundete Kanten beziehungsweise trompetenförmige Rohre produzieren erst bei höheren Geschwindigkeiten Geräusche. Eine genaue Grenze ist daher nicht definierbar. Durch einen größeren Öffnungsquerschnitt (Rohr- beziehungsweise Kanalfäche) reduziert sich die Luftgeschwindigkeit, allerdings wird das Rohr dabei automatisch länger. Eine kleinere Querschnittsfläche lässt das Rohr kürzer werden.

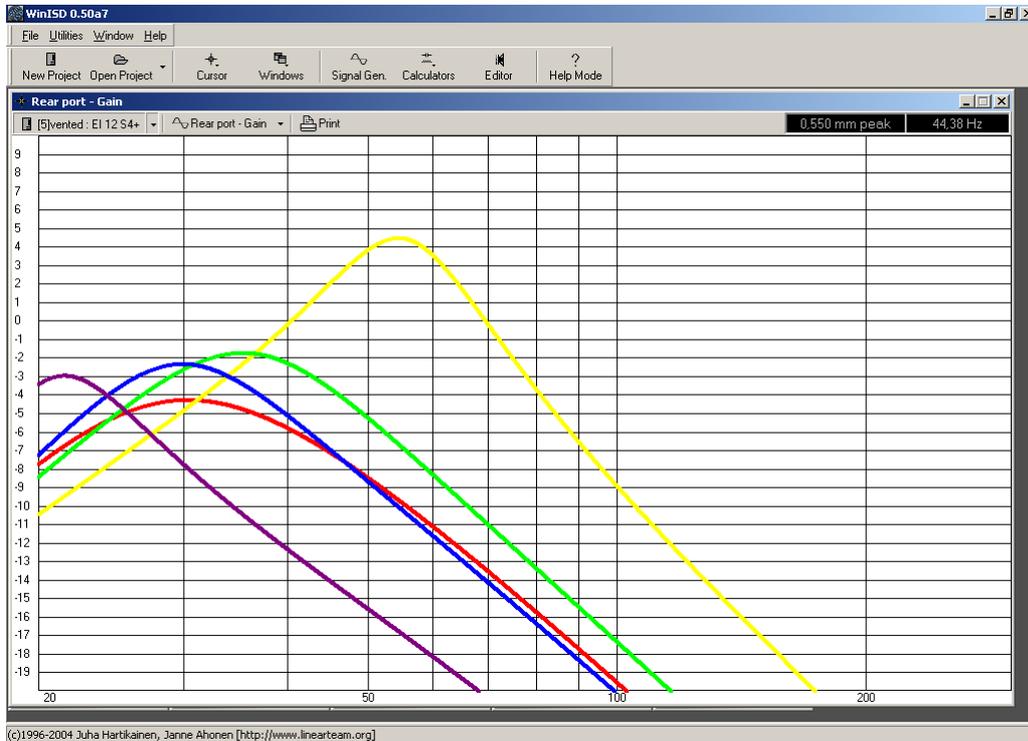
Das unten stehende Diagramm zeigt zwei unterschiedliche Rohrquerschnitte mit identischer (relativ hoher) Abstimmfrequenz bei maximaler Eingangsleistung (hier 500 Watt). Die rote Kurve stammt von einem Rohr mit 10 cm Durchmesser und 8,6 cm Länge. Die grüne Kurve gehört zu zwei Rohren mit je 10 cm Durchmesser und 25 cm Länge.

Aus dem Verlauf lässt sich die Schlussfolgerung ziehen: Eine Verdoppelung der Querschnittsfläche führt zur Halbierung der Luftgeschwindigkeit.



#### 4.4.14. Der Pegel der Reflexöffnung(en) (Rear port – Gain / Front port – Gain)

Die Kurven des Port-Gain beschreiben den Schalldruck an der jeweiligen Reflexöffnung. Daran lässt sich das Verhältnis zum Wirkungsgrad des Chassis ablesen. Das Maximum liegt im Allgemeinen zwischen 0 und -5 dB.



#### 4.4.15. Die Kurven der Filter/Equalizer

Im Projektfenster unter < Filter > können diverse Filter wie Tiefpass oder parametrische Equalizer hinzugefügt werden. Die dazugehörigen Funktionen wie Frequenzgang (Transfer function magnitude (EQ / Filter)), Phasengang (Transfer function phase (EQ / Filter)) sowie Gruppenlaufzeit (Group Delay (EQ / Filter)) lassen sich in den jeweiligen Diagrammen ablesen.

## 5. Zusatzinformationen

### 5.1. Das EBP (Efficiency Bandwith Product)

Anhand des sogenannten Efficiency Bandwith Product (EBP) kann man die möglichen Gehäuseprinzipien bestimmen, für die ein bestimmtes Subwoofer-Chassis geeignet ist. Dabei sind die Grenzen fließend, ein Chassis kann sich durchaus in unterschiedlichen Gehäusearten wohlfühlen.

Das EBP zeigt das Programm im Projektassistent bei der Wahl des Gehäuseprinzips sowie im < Driver Editor > unter dem Reiter < Advanced parameters >.

Je weiter der Wert unter 100 liegt, desto besser eignet sich der Subwoofer für geschlossene Gehäuse. Ein Free-Air-Woofer sollte einen Wert unter 60 und zudem ein Qts von mindestens 0,5 aufweisen. Werte zwischen 50 und 100 deuten auf die Verwendung im Bassreflex-Gehäuse hin – je höher, desto besser. Bei Werten zwischen 60 und 100 sind die Bassmacher zudem bandpasstauglich, während EBPs über 100 nur für Hornkonstruktionen oder mehrfach ventilierte Bandpässe taugen.

### 5.2. Das Verhältnis von Leistung, Schalldruck und Lautstärke-Wahrnehmung

Die Zusammenhänge zwischen Leistung, Schalldruck und der wahrgenommenen Lautstärke sind wie folgt:

Das Verhältnis von Leistung zu Schalldruck:

Bei 1 Watt erzeugt der Subwoofer einen Schalldruck in Höhe des Wirkungsgrades. Jede Leistungsverdoppelung bedeutet 3 dB mehr Schalldruck, eine Verzehnfachung der Leistung führt zu 10 dB mehr. Die hundertfache Leistung bedeutet 20 dB Zuwachs.

Das Verhältnis von Schalldruck zur Lautstärke-Wahrnehmung:

Das normale Ohr kann Lautstärkeunterschiede erst ab 1 dB überhaupt wahrnehmen. Ein Pegelanstieg von 10 dB wird als doppelt so laut wahrgenommen, 20 dB mehr dementsprechend viermal so laut.

Daraus folgt:

Die zehnfache Verstärkerleistung führt zu einer doppelt so hoch wahrgenommenen Lautstärke. Die hundertfache Leistung hört sich viermal so laut an.

Tabelle:

| Leistung | Pegel        | Lautstärke |
|----------|--------------|------------|
| 1 Watt   | Wirkungsgrad |            |
| 2 Watt   | +3 dB        |            |
| 4 Watt   | +6 dB        |            |
| 10 Watt  | +10 dB       | 2-fach     |
| 20 Watt  | +13 dB       |            |

|           |        |        |
|-----------|--------|--------|
| 50 Watt   | +17 dB |        |
| 100 Watt  | +20 dB | 4-fach |
| 160 Watt  | +22 dB |        |
| 200 Watt  | +23 dB |        |
| 250 Watt  | +24 dB |        |
| 400 Watt  | +26 dB |        |
| 500 Watt  | +27 dB |        |
| 630 Watt  | +28 dB |        |
| 800 Watt  | +29 dB |        |
| 1000 Watt | +30 dB | 8-fach |