

## **Erweiterte Gehäuseberechnung:**

Hier können Lautsprechergehäuse mit bis zu 3 Kammern und maximal 6 Ports (Bassreflexkanäle) konstruiert werden. Sind Thiele Small Parameter bekannt, so können:

- Schalldruckfrequenzgang
- Sprungantwort
- Gruppenlaufzeit
- Geschwindigkeiten
- Auslenkung
- Impedanz

dieses Lautsprechers berechnet werden.

Beispiele verdeutlichen die Vorgehensweise:

- 1. Bassreflexgehäuse**
- 2. Bandpassgehäuse**

# 1. Bassreflexgehäuse

Das einfachste Bassreflexgehäuse benötigt nur eine Kammer und ein Bassreflexkanal (oder Bassreflexrohr).

D.h. im Onlinerechner wird nur die Kammer  $V_{R1}$  und z.B. Port 1 benötigt.

Die anderen Kammern  $V_{R2}$  und  $V_{F1}$  müssen also deaktiviert werden indem die entsprechenden Volumen sehr hoch gesetzt werden (z.B.:  $1e9$  Liter).

Da nur Port 1 verwendet wird, müssen alle anderen Ports (Port 2 bis Port 6) deaktiviert werden.

Dies erfolgt indem man alle Widerstände  $R_{AP}$  sehr hoch wählt (z.B.:  $1e30$  Ohm).

## Gehäusevariante:

Um die Berechnung des Schalldruckes, der Sprungantwort usw. zu ermöglichen, muss angegeben werden welche Kammern verwendet werden.

Der Schalldruck eines „Bassreflexlautsprechers“ berechnet sich aus den Schalldruckanteilen des Lautsprecherchassis, der Ports und der durch dem Gehäuse (Kammer) entweichenden Schalldruckes.

Für ein Bassreflexgehäuse muss also  $V_{R1}$ :

**Gehäusevariante:**

berechneter Schalldruck usw. ausserhalb von:

- $V_{R1}$  (membran + Port1 + Port2 + Port3 + Port4 + Gehäuseverluste ( $V_{R1}$ ))
- $V_{R1} + V_{R2}$  (membran + Port1 + Port3 + Port4 + Port5 + Gehäuseverluste ( $V_{R1} + V_{R2}$ ))
- $V_{R1} + V_{R2} + V_{F1}$  (Port3 + Port4 + Port5 + Port6 + Gehäuseverluste ( $V_{R1} + V_{R2} + V_{F1}$ ))
- $V_{R1} + V_{F1}$  (Port2 + Port3 + Port4 + Port6 + Gehäuseverluste ( $V_{R1} + V_{F1}$ ))

ausgewählt werden.

**Thiele Small Parameter**

Anmerkung: Die Thiele/Small-Parameter können nur dann von Hand eingegeben werden, wenn bei der Lautsprecherauswahl "Parametereingabe" gewählt wurde. Um Diagramme anzeigen zu können müssen die entsprechenden Eingabefelder grösser D sein!

**Lautsprecher: Parametereingabe**

Resonanzfrequenz  $f_0$  (Hz): 27.093

Äquivalentvolumen  $V_{AS}$  (Liter): 34.7

Güte  $Q_{TS}$ : 0.35

mechanische Güte  $Q_{MS}$ : 1.55  $\Rightarrow Q_{ES}=0.45$

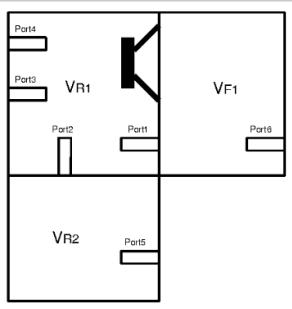
Schwingspulenwiderstand  $R_g$  (Ohm): 5.8

Schwingspuleninduktivität  $L_g$  (mH):

effektive Membranfläche  $S_D$  (cm<sup>2</sup>): 136.1  $\Rightarrow (d_p=13.16 \text{ cm})$

Verstärkerleistung  $P_e$  (W):

$R_g$  (Ohm): 1  $\Rightarrow Q_{ES}=0.45 \Rightarrow Q_T=0.35$



**Gehäuseparameter:**

Anmerkung: Wird  $R_{AP} = 0$  gewählt, so berechnet sich  $R_{AP}$  für Luft im Port (siehe Beispiel für Port1 im Diagramm für acoustic resistance)

Phasenverlauf Schalldruck-Frequenzgang

Gehäusevolumen  $V_{R1}$  (Liter): 18.8

RAP: 224000

Gehäusevolumen  $V_{R2}$  (Liter): 1000000000

RAP: 1000000000

Gehäusevolumen  $V_{F1}$  (Liter): 1000000000

RAP: 1000000000

Port1: Rohrdurchmesser (cm): 5  $\Rightarrow (19.63 \text{ cm}^2)$

Kanallänge (cm): 19.2

RAP:  $\Rightarrow (0.00 \text{ cm}^2)$

Port2: Rohrdurchmesser (cm):

Kanallänge (cm):

RAP:  $1.0E+30 \Rightarrow (0.00 \text{ cm}^2)$

Port3: Rohrdurchmesser (cm):

Kanallänge (cm):

RAP:  $1.0E+30 \Rightarrow (0.00 \text{ cm}^2)$

Port4: Rohrdurchmesser (cm):

Kanallänge (cm):

RAP:  $1.0E+30 \Rightarrow (0.00 \text{ cm}^2)$

Port5: Rohrdurchmesser (cm):

Kanallänge (cm):

RAP:  $1.0E+30 \Rightarrow (0.00 \text{ cm}^2)$

Port6: Rohrdurchmesser (cm):

Kanallänge (cm):

RAP:  $1.0E+30 \Rightarrow (0.00 \text{ cm}^2)$

Lufttemperatur (°C): 20  $\Rightarrow c_{Luft} (343.5 \text{ m/s})$

**Gehäusevariante:**

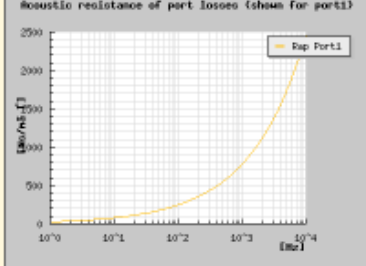
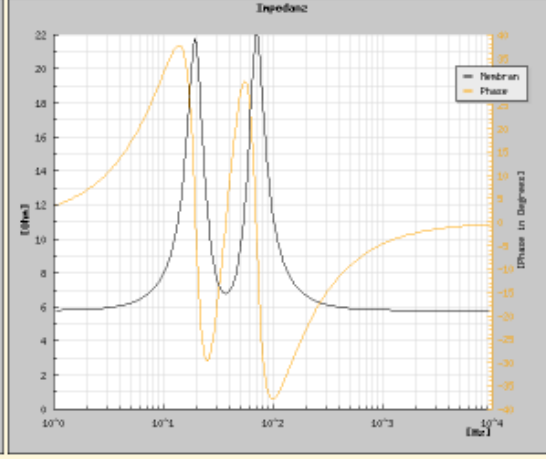
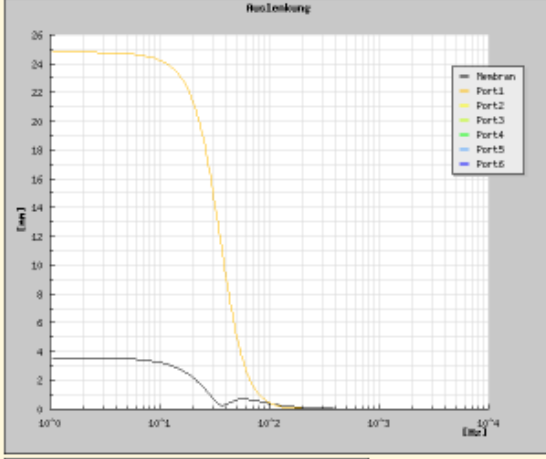
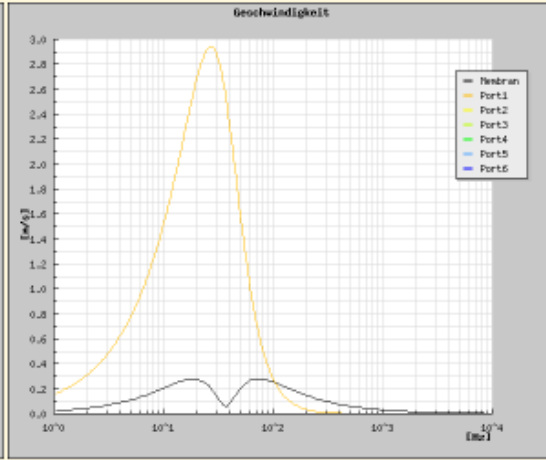
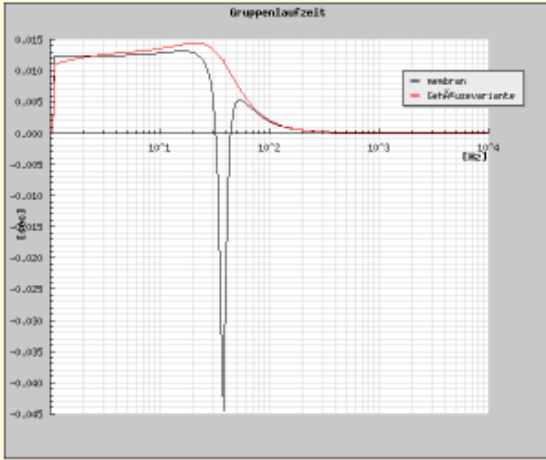
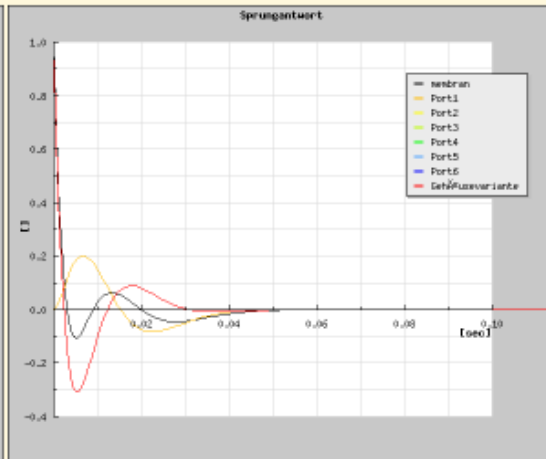
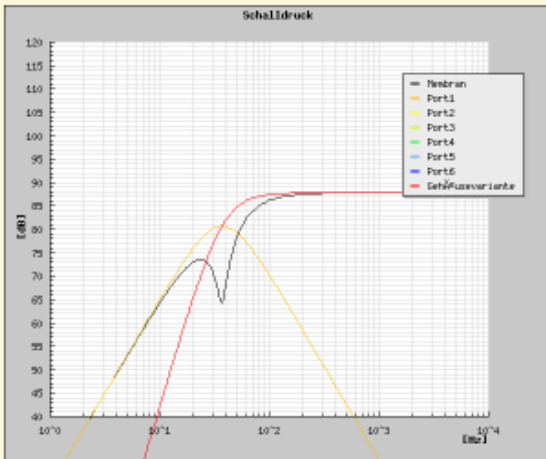
berechneter Schalldruck usw. ausserhalb von:

- $V_{R1}$  (membran + Port1 + Port2 + Port3 + Port4 + Gehäuseverluste ( $V_{R1}$ ))
- $V_{R1} + V_{R2}$  (membran + Port1 + Port3 + Port4 + Port5 + Gehäuseverluste ( $V_{R1} + V_{R2}$ ))
- $V_{R1} + V_{R2} + V_{F1}$  (Port3 + Port4 + Port5 + Port6 + Gehäuseverluste ( $V_{R1} + V_{R2} + V_{F1}$ ))
- $V_{R1} + V_{F1}$  (Port2 + Port3 + Port4 + Port6 + Gehäuseverluste ( $V_{R1} + V_{F1}$ ))

berechnen

Als Ergebnis erhält man z.B.: folgende Diagramme:

( $\nu r1=18.8$ ,  $\nu r2=1000000000$ ,  $\nu r3=1000000000$ )  
 $Pc\_max=Xm\ a\ x=$   
 $cas=2.48e-7\ m^2/m$     $mas=7.42e+1\ kg/m^4$     $ras=1.11e+4\ Ns/m^3$     $Bl=6.40e+0\ N/A$     $rat=4.93e+4\ Ns/m^3$   
 $cms=1.35e-3\ m/N$     $ms=1.32e-2\ Kg$     $rms=2.06e+0\ Ns/m$



## 2. Bandpassgehäuse

Für ein einfaches Bandpassgehäuse müssen die Kammern  $V_{R1}$  und  $V_{F1}$  aktiviert werden.

Die Kammer  $V_{R2}$  wird hier für ein einfaches Bandpassgehäuse nicht benötigt d.h.: das Volumen für  $V_{R2}$  muss sehr hoch gewählt werden ( z.B.:  $1e9$  Liter).

Für das einfache Bandpassgehäuse wird hier nur Port6 verwendet (Für komplexere Varianten können auch die Ports 1,2,3,4 eingebaut werden).

Die Gehäusevariante ist hier (Kammer  $V_{R1}$  und  $V_{F1}$ ):

**Gehäusevariante:**

berechneter Schalldruck usw. ausserhalb von:

- $V_{R1}$  (membran + Port1 + Port2 + Port3 + Port4 + Gehäuseverluste ( $V_{R1}$ ))
- $V_{R1} + V_{R2}$  (membran + Port1 + Port3 + Port4 + Port5 + Gehäuseverluste ( $V_{R1} + V_{R2}$ ))
- $V_{R1} + V_{R2} + V_{F1}$  (Port3 + Port4 + Port5 + Port6 + Gehäuseverluste ( $V_{R1} + V_{R2} + V_{F1}$ ))
- $V_{R1} + V_{F1}$  (Port2 + Port3 + Port4 + Port6 + Gehäuseverluste ( $V_{R1} + V_{F1}$ ))

Das Eingabefeld sieht dann z.B.: folgendermaßen aus:

**Thiele Small Parameter**

Anmerkung: Die Thiele/Small-Parameter können nur dann von Hand eingegeben werden, wenn bei der Lautsprecherauswahl "Parameter eingabe" gewählt wurde. Um Diagramme anzeigen zu können müssen die entsprechenden Eingabefelder grösser 0 sein!

**Lautsprecher:** Parameter eingabe

Resonanzfrequenz  $f_g$  (Hz):

Äquivalentvolumen  $V_{eq}$  (Liter):

Güte  $Q_{ts}$ :

mechanische Güte  $Q_{ms}$ :  =>  $Q_{ts}=0.45$

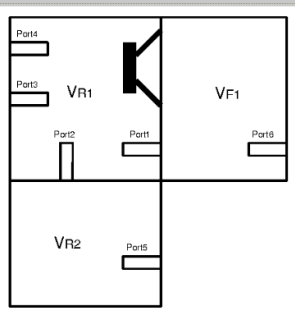
Schwingspulenwiderstand  $R_g$  (Ohm):

Schwingspuleninduktivität  $L_g$  (mH):

effektive Membranfläche  $S_D$  (cm<sup>2</sup>):  => ( $d_D=13.16$  cm)

Verstärkerleistung  $P_e$  (W):

$R_g$  (Ohm):  =>  $Q_{ts}=0.45$  =>  $Q_T=0.35$



**Gehäuseparameter:**

Anmerkung: Wird  $R_{ap} = 0$  gewählt, so berechnet sich  $R_{ap}$  für Luft im Port (siehe Beispiel für Port1 im Diagramm für acoustic resistance)

Phasenverlauf Schalldruck-Frequenzgang

Gehäusevolumen  $V_{R1}$  (Liter):

RAL:

RAL:

Gehäusevolumen  $V_{R2}$  (Liter):

RAL:

RAL:

Gehäusevolumen  $V_{F1}$  (Liter):

RAL:

RAL:

Port1: Rohrdurchmesser (cm):  => (19.63 cm<sup>2</sup>)

Kanallänge (cm):

RAP:

Port2: Rohrdurchmesser (cm):  => (0.00 cm<sup>2</sup>)

Kanallänge (cm):

RAP:

Port3: Rohrdurchmesser (cm):  => (0.00 cm<sup>2</sup>)

Kanallänge (cm):

RAP:

Port4: Rohrdurchmesser (cm):  => (0.00 cm<sup>2</sup>)

Kanallänge (cm):

RAP:

Port5: Rohrdurchmesser (cm):  => (0.00 cm<sup>2</sup>)

Kanallänge (cm):

RAP:

Port6: Rohrdurchmesser (cm):  => (19.63 cm<sup>2</sup>)

Kanallänge (cm):

RAP:

Lufttemperatur (°C):  =>  $c_{Luft}$  (343.5 m/s)

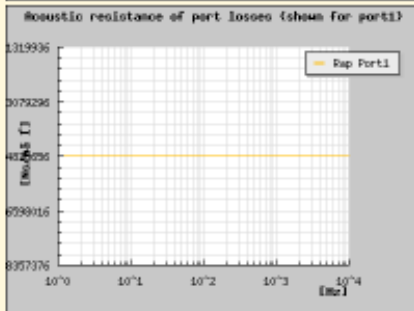
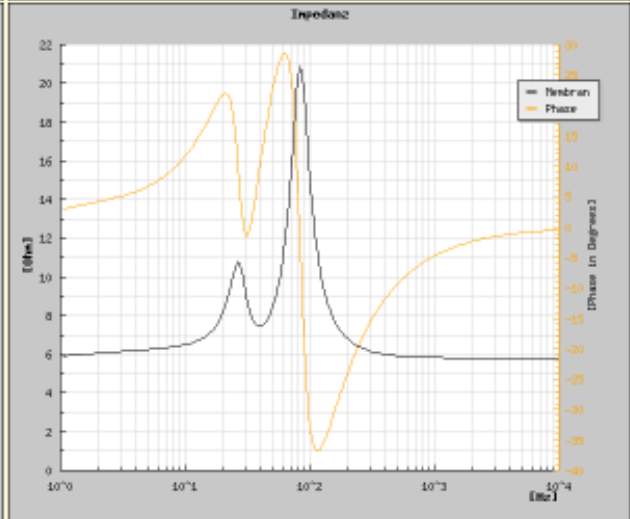
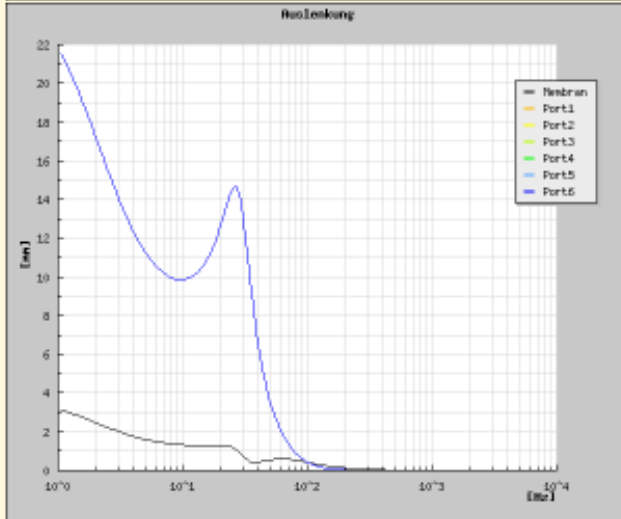
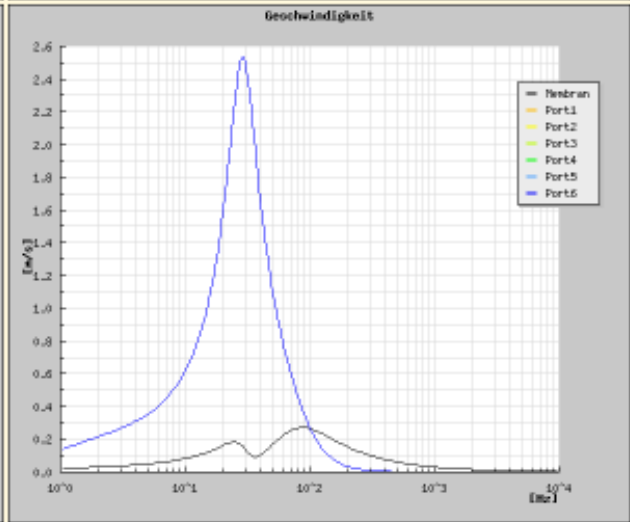
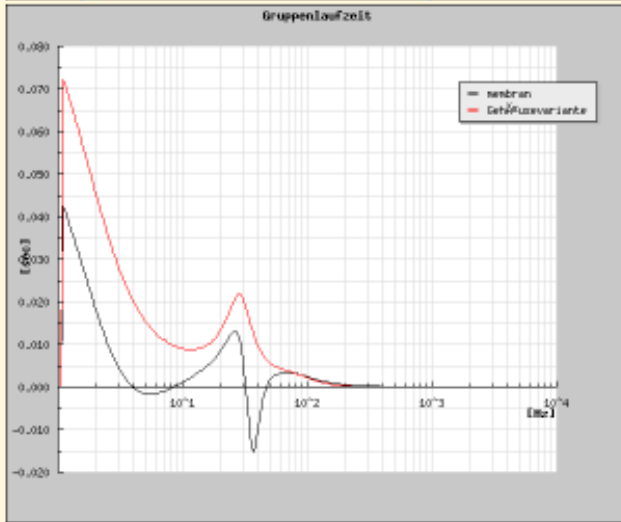
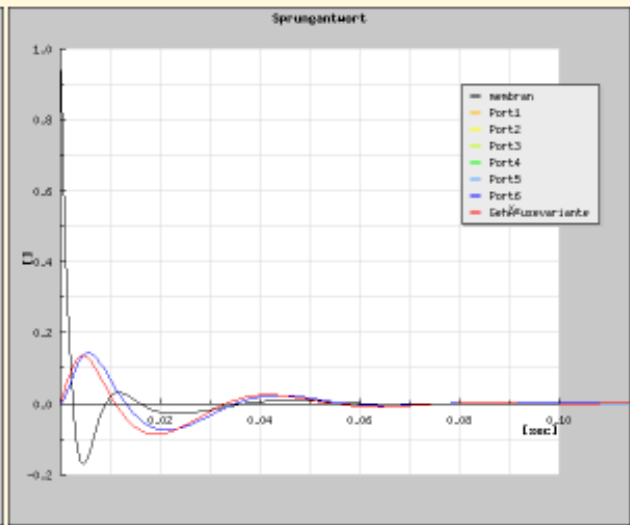
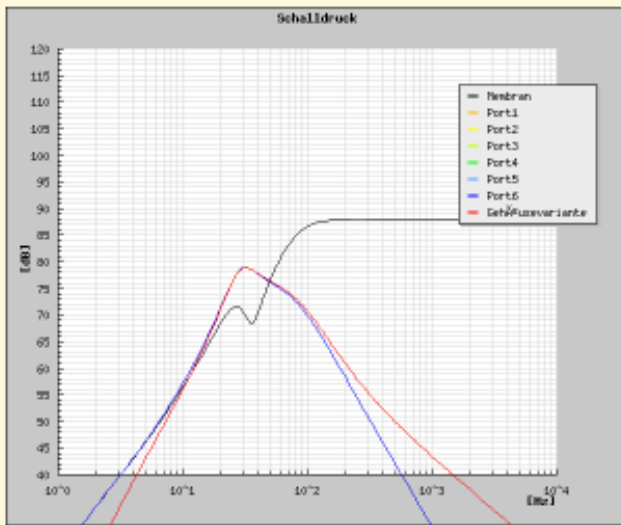
**Gehäusevariante:**

berechneter Schalldruck usw. ausserhalb von:

- $V_{R1}$  (membran + Port1 + Port2 + Port3 + Port4 + Gehäuseverluste ( $V_{R1}$ ))
- $V_{R1} + V_{R2}$  (membran + Port1 + Port3 + Port4 + Port5 + Gehäuseverluste ( $V_{R1} + V_{R2}$ ))
- $V_{R1} + V_{R2} + V_{F1}$  (Port3 + Port4 + Port5 + Port6 + Gehäuseverluste ( $V_{R1} + V_{R2} + V_{F1}$ ))
- $V_{R1} + V_{F1}$  (Port2 + Port3 + Port4 + Port6 + Gehäuseverluste ( $V_{R1} + V_{F1}$ ))

Als Ergebnis erhält man dann folgende Diagramme:

$\nu r1=18.8$ ,  $\nu r2=1000000000$ ,  $\nu f1=20$   
 $P_e \text{ max} = X \text{ m ax} =$   
 $\text{cas} = 2.49\text{e-}7 \text{ m}^2/\text{N}$      $\text{mas} = 7.42\text{e+}1 \text{ kg/m}^4$      $\text{ras} = 1.11\text{e+}4 \text{ N s/m}^2$      $\text{Bl} = 6.40\text{e+}0 \text{ N/A}$      $\text{rat} = 4.93\text{e+}4 \text{ N s/m}^2$   
 $\text{cms} = 1.35\text{e-}3 \text{ m/N}$      $\text{mms} = 1.32\text{e-}2 \text{ kg}$      $\text{rms} = 2.06\text{e+}0 \text{ N s/m}$



Im Diagramm für den Schalldruck sieht man, dass der zu erwartende Schalldruck nicht identisch ist mit dem vom Port6. Das liegt daran, weil Schalldruckanteile durch Gehäuseverluste berücksichtigt werden.

Folgende Verluste werden berücksichtigt:

- Verluste durch Gehäuselecks, Undichtigkeiten am Chassis werden durch den Widerstand  $R_{AL}$  repräsentiert. Die entsprechende Gehäusegüte berechnet sich zu:

$$Q_L = 2\pi f_B R_{AL} \frac{V_X}{\rho_0 c^2}$$

( $\rho_0 = 1,18 \text{ Kg/m}^3$ ,  $c = 345 \text{ m/s}$ )

$Q_L$  von 3 bis 15 sind üblich.  $R_{AL}$  kann entsprechend einer Abstimmfrequenz von z.B.:  $f_B = 30 \text{ Hz}$  und einem Gehäusenettovolumen  $V_X = 50 \text{ Liter}$  ( $V_X$  eines der Volumina  $V_{R1}, V_{R2}, V_{F1}$ ) Werte zwischen 45000 bis 220000 (akustische Ohms) einnehmen.

- Absorptionsverluste (Dämmmaterial) werden durch den Widerstand  $R_{AB}$  berücksichtigt.

Die entsprechende Güte berechnet sich zu:

$$Q_A = \frac{\rho_0 c^2}{2\pi f_B V_X R_{AB}}$$

Für nicht gedämmte Gehäuse kann  $Q_A$  Werte über 100 annehmen ( $R_{AB} < 150$ ).

Üblicherweise haben gedämmte Gehäuse Güten zwischen 30 und 80 ( $R_{AB}$  zwischen 500 und 190)

- Verluste in den Ports werden durch  $R_{AP}$  berücksichtigt.

Wird  $R_{AP} = 0$  gewählt, so berechnet sich  $R_{AP}$  (frequenzabhängig) automatisch für Luft im Port.

Für alle anderen Werte ( $R_{AP} > 0$ ) berechnet sich die Güte des Ports zu:

$$Q_P = \frac{\rho_0 c^2}{2\pi f_B V_X R_{AP}}$$

Viel Spaß!

Jürgen Micka [juergen@micka.de](mailto:juergen@micka.de)

© 2009

[www.micka.org](http://www.micka.org) bzw. [www.micka.de/org](http://www.micka.de/org)