

## Der Bausatz TML SB16, ein Transmission-Line-Lautsprecher

Der englische Hersteller PMC folgt seit Jahrzehnten unbeirrt der Entwicklung von Transmission-Line-Lautsprechern (TML) und hat auf der Insel ein breites Publikum. Die Entwicklung der PMC Serie begann bereits 1990. Einer der Grundsätze lautet: *Bessere Produkte werden nicht dadurch hergestellt, dass man der Masse folgt.*

Da haben die PMC Entwickler mit Sicherheit Recht.

Da sich die Winterzeit ganz hervorragend für den Selbstbau eignet, können wir die Zeit nutzen etwas Besonderes herzustellen. Die professionellen Hersteller zeigen wenig Begeisterung für die Produktion einer TML, umso mehr ist die TML für den Selbstbau interessant. Die Gestaltung der Line erfordert nämlich ein großes Maß an manueller handwerklicher Arbeit, ein DIY Entwickler kann sich die erforderliche Zeit nehmen und ganz individuell seinen eigenen Lautsprecher gestalten.

Belohnt wird er mit einem besonderen außergewöhnlichen Klangerlebnis.

Bei unserem Bausatz liegt der Aufwand weniger in den Chassis und der Frequenzweiche als vielmehr im recht komplexen Holzaufbau.

Klanglich ist die TML mit einer Bassreflexbox vergleichbar. Allerdings gibt es zusätzlich noch einige Besonderheiten. Es handelt sich im Wesentlichen um resonanzfreie Gehäuse, die eine tiefe, gut kontrollierte Basswiedergabe erzeugen. Im Vergleich mit einer Bassreflexbox behandelt die TML die auf die Membran zurückgeworfenen Wellen eleganter. Die Line absorbiert die gesamte unerwünschte Mittel- und Hochtonenergie, die von der Rückseite des Treibers abgestrahlt wird. Deshalb gibt es keine Rohrresonanzen im Mitteltonbereich, die vielfach über Raum-Wand-Reflexionen in den Hörbereich zurückgeworfen werden.

Die Membran schwingt freier und kontrollierter infolge eines konstanten Luftdrucks im Gehäuse. Verzerrungen der tiefen Frequenzen werden deutlich reduziert.

Es ist auch bekannt, dass ein Bassreflexrohr erst ab einem bestimmten Signalpegel effektiv arbeitet, also mit der Abstimmfrequenz schwingt. Große Rohrquerschnitte in Verbindung mit geringem Schalldruck führen nicht zum Schwingen, sondern öffnen das Gehäuse. Erst bei ausreichender Energiemenge im Rohr arbeitet das System bedingungsgerecht. Bei leisen Tönen verliert der BR Lautsprecher an Basswiedergabe. Diesen Nachteil besitzt eine TML nicht. Der volle Frequenzgang liegt bei allen Pegeln an.

### Grundsätze

Eine nicht zu vergessende Besonderheit der TML Lautsprecher liegt in der Komplexität der Details. Das beginnt mit der Wahl des Tieftonchassis, es bieten sich Qts Güten zwischen 0,4...0,6 an. Die Line Länge errechnet sich aus Lambda-Viertel. Die hierzu grundlegende Frequenz sollte 5...10 Hz über  $F_s$  liegen.

Weitere Parameter sind die Gestaltung der Dämpfung, die Konizität der Line und die Stelle der Anbringung des Chassis. Diese Einflussfaktoren stehen im Zusammenhang und müssen deshalb gemeinsam betrachtet und optimiert werden.

Mir ist bewusst, dass ohne ein gutes Simulationsprogramm, wie z.B. AJ Horn oder Martin Kings Arbeitsblätter die Gestaltung beinahe unmöglich ist.

Beginnen wir also mit der Auswahl des Chassis.

SB16PFC25-04-R

$F_s = 35$  Hz,

$Q_{ts} = 0,34$ ,

$S_d = 124$  cm<sup>2</sup>,

$V_{as} = 32,7$  Liter,

lineare Auslenkung = 9 mm,

Impedanz = 4 Ohm.

Der Wert  $Q_{ts}$  liegt mit 0,34 recht niedrig. Neue Erkenntnisse auf diesem Gebiet belegen jedoch auch eine gute Funktion unter  $Q_{ts} = 0,4$ . Die bisherigen Vorgaben werden als „klassisch“ und nicht mehr aktuell angesehen



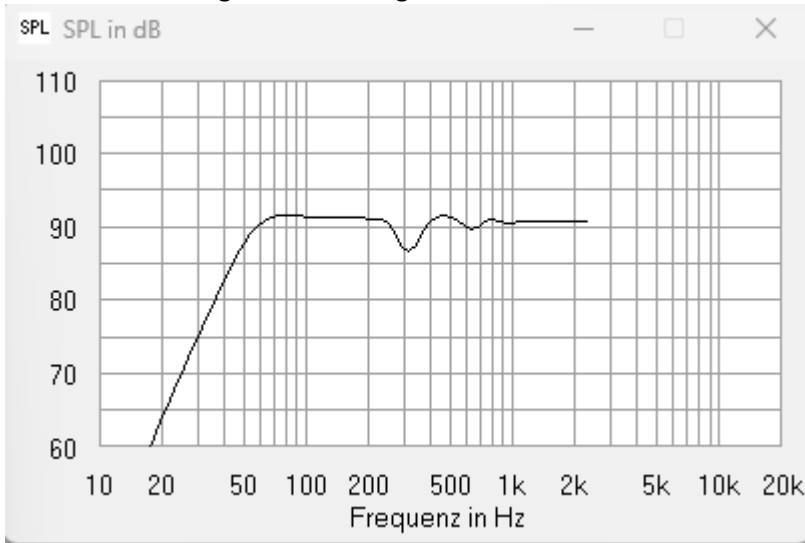
(<https://www.facebook.com/groups/196578981099262>).

Die Abstimmfrequenz der Line sollte bei 47 Hz liegen, also etwas über 10 Hz über  $F_s$ . Dies erscheint notwendig, damit  $F_s$  nicht mit der Abstimmfrequenz übereinstimmt.

Wir haben eine Verjüngung von 2,5 vorgesehen, ein Wert mit dem im Simulationsprogramm begonnen werden kann. Hier sind durchaus noch Optimierungen möglich.

Der Halsdurchmesser sollte zwischen 1,2 und 1,5 x  $S_d$  liegen. Wir haben  $180 \text{ cm}^2$  gewählt.

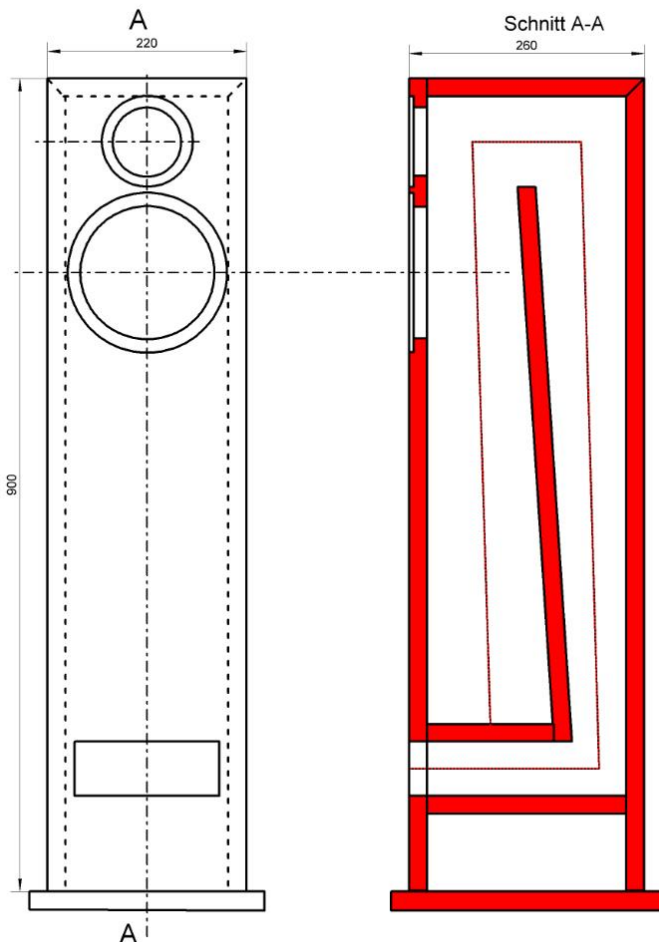
Die Simulation zeigt ein erstes Ergebnis:



Um 300 Hz befindet sich das sogenannte „TML Loch“ eine systembedingte Senke. Bei der Wiedergabe sind die Senken nicht hörbar, ganz anders verhält es sich bei Überhöhungen.

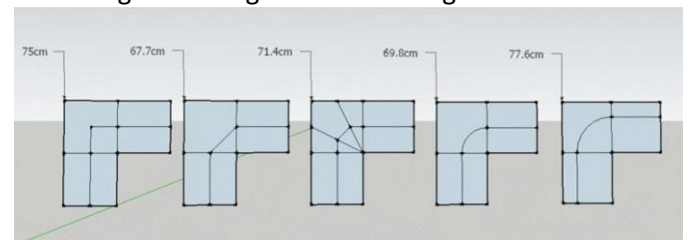
## Aufbau des Gehäuses

Jeder, der eine TML konstruiert, sollte sich vorher eine Skizze anfertigen, um die erforderlichen Angaben für die Line-Länge zu erhalten. Das Chassis wurde bei  $1/3$  Line-Länge platziert. Damit verschiebt sich das TML-Loch in höhere Frequenzen und kann somit besser bedämpft werden.



Die Modellierung der Line Länge an den Ecken ist hier etwas primitiv ausgefallen.

Wer es ganz genau machen möchte, der hält sich an den Designvorschlag von Martin King.



Siehe:

<https://www.facebook.com/groups/196578981099262>

Die einfache Eckengestaltung führt zu Differenzen zwischen der Simulation und der realen Messung in der Größenordnung von einigen Hz.

## Bedämpfung

Die Bedämpfung ist der eigentlich kritische Punkt einer TML. Es gibt sehr viele Variationsmöglichkeiten, die einen klanglichen Einfluss haben. Betrachtet man die TML aus der Sicht Bassreflexbox oder aus der Sicht geschlossene Box, dann überwiegen durch die Bedämpfung tendenziell die Eigenschaften des einen oder anderen Systems. Ziel ist es die Vorteile beider Bauarten zu vereinen.

Optimale Ergebnisse sind folgendermaßen zu erreichen:

Am geschlossenen Ende der Line ist die stärkste Bedämpfung vorzunehmen, weiter geht es mit einer mittleren Bedämpfung bis diese am Mund der Line völlig weggelassen wird.



In diesem Fall wurde mit Polyesterwatte bedämpft. Bei größeren Boxen eignet sich Noppenschaum und bei kleineren Gehäusen ist die Verwendung von Damping 10 sinnvoll.

Eine Änderung ist bei verklebten Gehäusen nicht einfach, aber nicht unmöglich. Hier bietet ein Zugriff über das TMT Chassis an.

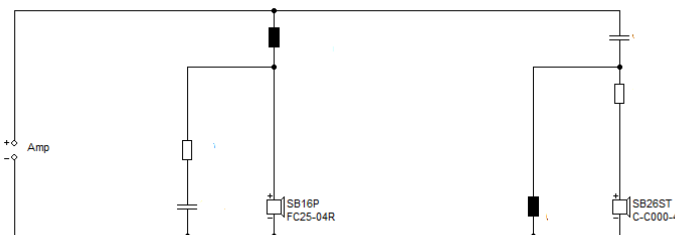
## Oberflächenbehandlung

Der Korpus aus MDF wurde mit SaRaiFo (Save the RainForest) Furnier beklebt. Der Hersteller Designholz bietet dies in einer Vielzahl von Varianten an. Es handelt sich um ein Holz furnier, welches kein Tropenholz zur Herstellung erfordert. Es ist ein Furnier aus heimischen Holzarten, welches in einem speziellen Verfahren optisch dem Tropenholz angeglichen wird. Da es sich um ein Messerfurnier handelt ist die Oberfläche nicht spiegelglatt und muss folglich weiter behandelt werden.

Nach dem Leimen und Pressen (bzw. Bügelmethode) wird die Oberfläche geschliffen, zuerst mit 220 und danach mit 400'er Körnung. Um die Maserung zur Geltung zu bringen wird geölt, gewachst mit Osmo Hartwachsöl. Nur dünn auftragen und ca. einen Tag trocknen lassen, danach wieder schleifen und wieder Ölen, bis der gewünschte Glanzgrad erreicht ist.

Mit der Front aus stabverleimtem Stammholz wird ebenso verfahren.

## Frequenzweiche



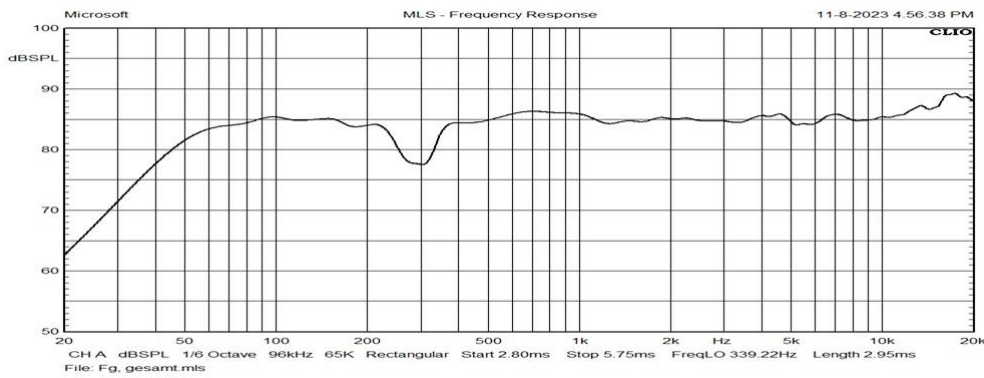
Der Aufbau der Frequenzweiche ist einfach gehalten, es handelt sich um eine 12 dB/Okt. Weichenschaltung. Da der Tiefmitteltöner keinen Impedanzkontrollring hat, ist eine Impedanzkorrektur der Schwingspuleninduktivität erforderlich. Allgemein ist das ein RC-Glied. Wir haben einfach den Parallelkondensator des Tieftonzweiges über einen Widerstand geschaltet und damit das gleiche Ergebnis erzielt.

Aus Kostengründen verwendeten wir Intertechnik Audyn Bauteile.

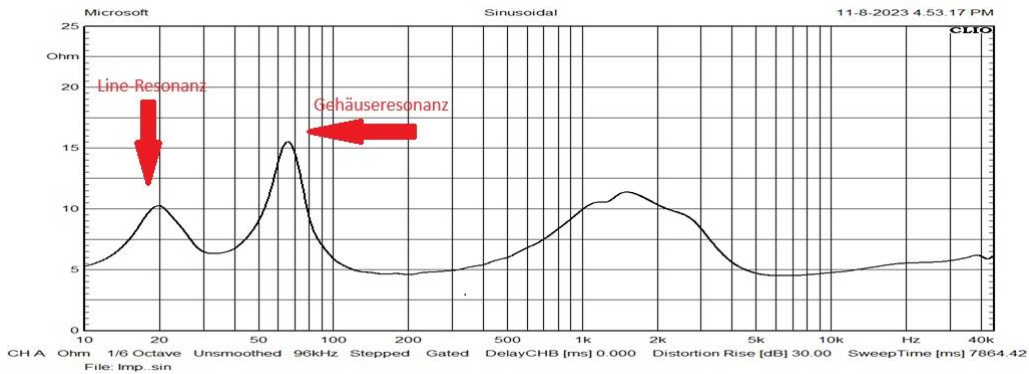
## Technische Daten

Nennimpedanz:	4 Ohm
Belastbarkeit :	40 W
Prinzip:	2 Wege, TML
Übertragungsbereich (f8):	40...20000Hz
Schalldruck 2,83V, 1m:	85 dB
Trennfrequenz:	3500 Hz
Frequenzweiche:	12/12 dB
Max. Schalldruck:	100 dB (200 Hz...8000 Hz)
Abmessungen:	220 x 900 x 260 mm (BxHxT)

## Messungen



## Frequenzgang, TML Loch bei 300 Hz



Impedanz, man sieht deutlich die Ähnlichkeit mit einer Bassreflexbox. Der obere Impedanzhügel zeigt die Gehäuseresonanz an, während der untere Impedanzhügel für die Line-Resonanz steht. Die Abstimmfrequenz liegt analog zum Reflexsystem bei 35 Hz mittig zwischen den Resonanzen.

Am Resonanzgang erkennt man die Wirkung der Bedämpfung.

- Geringere Bedämpfung – Line Resonanz steigt an,
- Höhere Bedämpfung – Line Resonanz fällt,
- Line geschlossen – der Impedanzgang entspricht einer geschlossenen Box.

## Klang

Die Box wurde ein wenig nach hinten angekippt, damit das Gehör in einer axialen Verlängerung des Hochttonchassis liegt.

Auffällig war die Tieftonwiedergabe, die subjektiv einen stärkeren Tiefgang vermittelte, als es die Messungen darlegten. Da konnte auch ein Lautsprecher mit Passivmembran nicht mithalten. Vielleicht lag die Ursache in der Bodenreflexion des Schallaustritts der Line.

Beim Hochtton konnte der Lautsprecher mit einem AMT nicht mithalten. Hier liegen jedoch auch große Preisunterschiede zu Grunde. Der AMT Hochtton war einfach wärmer und damit auch langzeitstabil.

Alles in allem eine gelungene Transmissionsline, die mit einem guten Preis-Leistungs-Verhältnis aufwarten kann und sich vor Vergleichen mit anderen Lautsprechern nicht scheuen muss.

Zum Test verwendeten wir eine CD von Falco:

