

11.8 Lautsprechergehäuse

11.8.1 Grundlagen

In vielen Fällen sind Gitarren-Verstärker und -Lautsprecher im selben Holzgehäuse (Combo) untergebracht, alternativ gibt es aber auch die zweiteilige Stack-Variante. Aus der Vielzahl der am Markt erhältlichen Größen zeigt **Abb. 11.82** eine kleine Auswahl: Vor allem findet man 10"- und 12"-Lautsprecher, gelegentlich auch 15" (1" = 2.54 cm). Die kleinen Combos haben fast immer eine große Öffnung in der Rückwand, die größeren Gehäuse sind entweder geschlossen, oder als Bassreflexbox ausgeführt. Im weitesten Sinn stellen auch die rückseitig offenen Gehäuse eine Art Bassreflexsystem dar, aber ein sehr spezielles.

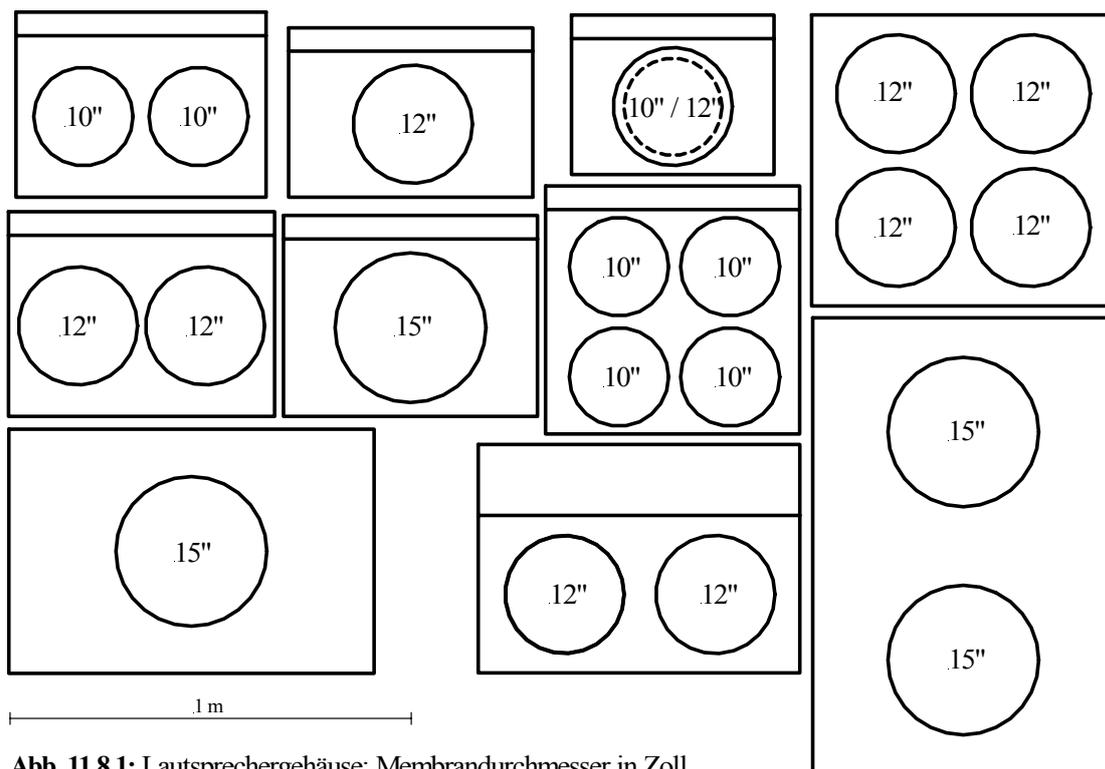


Abb. 11.8.1: Lautsprechergehäuse; Membrandurchmesser in Zoll.

Das Gehäuse hat einen wesentlichen Anteil an der Schallerzeugung. Ist es dicht, wirkt es vor allem als Luftfederung für die Membran, wodurch die Resonanzfrequenz erhöht wird. Da diese Luftsteifigkeit reziprok zum Volumen ist, würde ein kleines Gehäuse die Resonanz stark erhöhen – vermutlich aus diesem Grund sind kleine Gehäuse meistens offen. Für adiabate Zustandsänderungen ergibt sich die **Luftsteifigkeit** zu $s_L = 1.4 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot S^2 / V$. Hierbei ist S die effektive Membranfläche, und V das Nettovolumen des Gehäuses. Für einen 12"-Lautsprecher in einem 50-ltr-Gehäuse erhält man 9179 N/m, das entspricht ungefähr der Membransteifigkeit. Als Beispiel: Beim "Celestion blue" würde durch diesen Einbau die Resonanzfrequenz um 50% zunehmen. Aber nur tieffrequent wirkt das Gehäuse als Luftfeder, ab etwa 300 Hz bilden sich im Innern **stehende Wellen**, die für die Membranrückseite eine komplexe, frequenzabhängige Last darstellen. Die Auswirkungen dieser Hohlraumresonanzen könnte man mit einem locker ins Gehäuse gepackten porösen Absorber abschwächen – dies wird bei Instrumentalboxen in der Regel aber nicht gemacht. Zum einen, weil diese Resonanzen, so sie die richtigen sind, den Klang beleben können, zum anderen, weil jegliche Absorption Schallenergie vernichtet (in Wärme umwandelt). Und da ein Gitarren-Lautsprecher nun einmal laut sein muss, wird auf Absorber üblicherweise verzichtet.

Ganz grundsätzlich lassen sich Lautsprechergehäuse in *offene* und *geschlossene* unterteilen. **Das geschlossene Gehäuse** wirkt für die Membranrückseite (tieffrequent) als Luftfeder: Bewegt sich die Membran nach innen, erhöht sich im Innern der Druck. Unter der Zugrundelegung adiabatischer Zustandsänderungen gilt $p \cdot V^{1.4} = \text{const.}$ Als **Zahlenbeispiel**: Wenn sich in einem 38-ltr-Gehäuse eine 12"-Membran um 2.5 mm nach innen bewegt, verkleinert sich dadurch das Volumen um 0.5%, wodurch ein Überdruck von 670 N/m^2 entsteht. Auf eine 0.18 m^2 große Rückwand (38cm x 48cm) wirkt dabei eine Kraft von 121 N. Umgangssprachlich heißt das: Auf die Rückwand drücken gut 12 kg. Das entspricht dem Gewicht (bzw. der Masse) von drei (!) Celestion "blue". Dass so eine Rückwand gut befestigt sein muss und nicht zu dünn sein darf, ist offensichtlich. Wenn aber – wie bei diesen kleinen Gehäusen üblich – die Rückwand eine Öffnung hat (bzw. aus zwei Teilen besteht, die nicht aneinander grenzen), kann "der Überdruck entweichen", und die Kräfte auf die Gehäusewände sind wesentlich niedriger (höchstens ein zehntel so groß). Das offene Gehäuse wird durch den Schalldruck kaum belastet, und deshalb ist es egal, aus welchem Holz es besteht.

Natürlich, Leo Fenders Kiefernkisten*, und ihr einzigartiger Sound. *Though this be madness, yet there is method in it*, wusste schon Shakespeare. Die Legenden werden wohl nie verstummen, dass ein Gitarren-Combo aus fingerverzahntem **Kiefernholz** mit aufgeklebtem "Tweed" gefertigt sein muss. Muss er nicht. Natürlich gibt es Schallquellen, deren Klangqualität vom verwendeten Holz abhängt – die Akustikgitarre ist so ein Beispiel. Aber aus Kiefernholz? Niemals. Die HD-28 aus Kiefer, oder die große Guild? Definitely not! Die Stradivari? Also bitte! Ahorn ist ein Klangholz, Fichte ebenso, Zeder auch. Kiefer nicht. Kiefer war vor Ort, war billig, war gut zu verarbeiten – und Leo Fender war ja kein Gitarrenbauer, er war Buchhalter. Bei der Akustikgitarre muss der Korpus schwingen können, um Schall abzustrahlen. Könnte ein Grund sein, dass er nicht mit Tweed oder Tolex bepflanzt wurde. Und zentimeterdick sind die Wandungen der Akustikgitarre ja auch nicht – da scheinen doch prinzipielle Unterschiede zu bestehen. Beim Gitarrencombo schwingt die Lautsprechermembran – sie erzeugt den Schall. Das Gehäuse wirkt definitiv als akustisches Filter, aber aufgrund seiner Abmessungen, nicht aufgrund seiner Materialeigenschaften. Zwar wird das Gehäuse durch den vom Lautsprecher erzeugten Schalldruck zu Schwingungen angeregt, ihre Auswirkungen sind gegenüber der Membranschwingung aber zumeist vernachlässigbar.

Um einmal die wichtigsten Wirkungen des Gehäuses aufzuzählen: Es wirkt als Schallführung, es sorgt für die Ausbildung von Hohlraumresonanzen, und es trägt den Lautsprecher. Dieser letzten Eigenschaft kann eine **mechanische Impedanz** zugeordnet werden, gegen die sich der Lautsprecher abstützt. Ist diese Impedanz unendlich (riesige Masse), kann der daran befestigte Lautsprecherkorb keine Schwingungen ausführen. Aber natürlich hat kein Gehäuse eine unendliche Masse, und deshalb entsteht an der Schnittstelle Korb/Schallwand eine kleine Bewegung. *Actio = Reactio* lehrt die Mechanik: Die auf die Membran wirkende Kraft ist genau so groß wie die auf den Korb wirkende Gegenkraft. Doch überlegen wir einmal: Die Membran wiegt vielleicht 30 g, der Lautsprecher 3 kg. Oder bis zu 10 kg bei den US-Boliden. Wackelt da nicht der Schwanz mit dem Hund? Selbst wenn der Lautsprecher *gar nicht* befestigt wird, verhindert allein seine Masse eine nennenswerte Eigenbewegung. Nun gut, die Resonanzen, da könnte sich eine kleine Ursache zu einer großen Wirkung aufschaukeln. Klarheit bringt hierbei, wie so oft, die Messung: Mit dem Laser-Vibrometer kann man bequem einen Punkt des Lautsprecher-Chassis oder des Gehäuses anvisieren und die dort herrschende Schwinggeschwindigkeit (die sog. Schnelle) messen. Referenz für diese Messungen ist die Membran-Schnelle; findet man bei ihr 1 m/s, und bei der Gehäusewandung 0.01 m/s, hat sich zwar bestätigt, dass das Gehäuse schwingt – relevant wäre diese Schwingung aber nicht.

* Pinewood übersetzt man am besten mit Kiefernholz; die mediterrane Pinie ist eine von ca. 111 Kiefernarten.

Abb. 11.83 zeigt Gehäuseschwingungen (----) im Vergleich zu Membranschwingungen. Die Seitenwand des Tweed Deluxe (Lautsprecher = P12-R) schwingt wesentlich schwächer als die Membran, lediglich bei 440 Hz zeigt sich ein nennenswertes Maximum – aber auch hier ist die Wandschwingung kleiner als ein zehntel der Membranschwingung, und somit vernachlässigbar. Die Schallwand (rechtes Bild) schwingt stärker als die Seitenwand, was angesichts ihrer Dicke (nur 9 mm) und ihrer spartanischen Befestigung nicht überrascht. Einen großen Effekt darf man aber auch hiervon nicht erwarten: Die abgestrahlte Schallleistung hängt vom *Quadrat* der Schnelle ab. Ein Schnellepegel-Unterschied von 20 dB gibt (gleiche Fläche angenommen) einen Leistungsunterschied von 1:100 zugunsten der Membran.

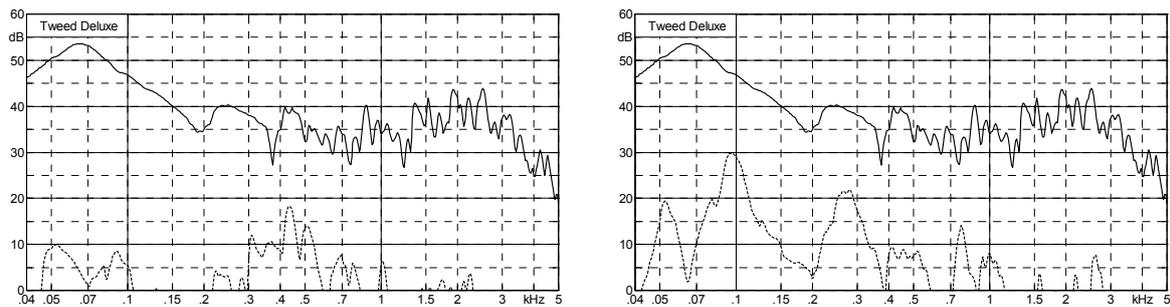


Abb. 11.83: Membranschnelle im Vergleich zur Schnelle der Gehäuse-Seitenwand (li.) bzw. Schallwand (re.).

Ergänzend sind in **Abb. 11.84** die Schnellepegel für Membran und Lautsprecherkorb dargestellt; Messpunkt war am Befestigungsflansch zwischen zwei Schrauben. Der Korb schwingt, keine Frage, und diese Schwingung lässt sich beeinflussen, wenn man den Combo seiner FüÙe beraubt. Für das linke Bild stand der Combo ohne GummifüÙe auf einem Steintisch, für das rechte Bild auf seinen serienmäßigen FüÙen. Die Unterschiede bei den Korbschwingungen sind deutlich, die Auswirkungen auf die Membranschwingung gerade eben erkennbar. Wenn man derart kleinen Effekten Bedeutung beimisst, muss man auch die mechanische Punktimpedanz des Combo-Fundaments spezifizieren. Im Musikeralltag spielt es allerdings keine große Rolle, ob der Combo auf einen Bierträger oder einen Hocker gestellt wird. Und wenn, müsste man zuallererst die Höhe justieren: Ob 45 oder 50 cm über dem Boden, das macht bei den entstehenden Kammfiltern einen Riesen-Unterschied. Rein theoretisch. Die meisten Gitarristen kümmert's aber rein gar nicht – Hauptsache, das Ding kippt nicht um. Doch trotzdem, fast wär's untergegangen: Ist dein Combo made of pine, spielt er gleich von ganz allein.

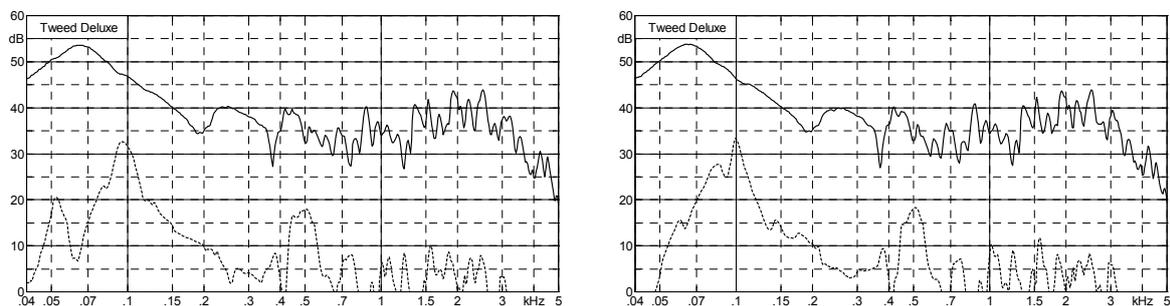


Abb. 11.84: Membranschnelle im Vergleich zur Korb-Schnelle für zwei verschiedene Gehäusefundamente.

Fazit: Lediglich den superdünnen Schallwänden früher Tweed-Verstärker könnte man einen marginalen Einfluss auf den Sound zugestehen, bei Gehäusen üblicher Wanddicke (2 cm) sind hingegen nur die Abmessungen und die dadurch definierten Hohlraumresonanzen von Bedeutung; welches Holz verwendet wird, ist unerheblich – die Gehäuseschwingungen sind gegenüber der Membranschwingung von untergeordneter Bedeutung.

Nun zu den **geschlossenen Gehäusen**, deren prominentester Vertreter vermutlich Marshalls 4x12"-Box ist. Es wurde schon dargelegt, wie groß die Schalldrücke im Innern einer geschlossenen Box werden können, und welche Kräfte auf die Gehäusewände einwirken. Es ist gute Praxis, derartige Gehäuse sehr formsteif zu bauen, die Rückwand mit vielen Schrauben zu befestigen, und einen (oder sogar mehrere) Versteifungsbalken einzusetzen. Eine dünne, stark schwingende Rückwand entzieht dem Lautsprecher Schwingungsenergie. Die sie nur zum Teil abstrahlt, zum (zumeist größeren Teil) aber in Wärme umwandelt. Eine Rückwand ist ja keine in nachgiebiger Sicke gelagerte Membran. Die Rückwand muss sich verbiegen, um schwingen zu können, und dabei entsteht viel innere Reibung, ergo unnütze Wärme. Nicht, dass die Box nun abbrennen würde, so groß ist diese Wärmeenergie nicht. Aber sie ist verlorene Energie, die nicht als Schallenergie zur Verfügung steht. Natürlich sind Spezialgehäuse vorstellbar, deren schwingende Rückwände genau die Schallenergien dissipieren, die fürchterlich klingen würden – damit verlässt man aber den Trampelpfad der heiligen Kühe ...

Ein kleines Detail, das bei geschlossenen Gehäusen immer wieder in die Diskussion kommt, ist die **Undichtigkeit**. Wie dicht ist denn das dichte Gehäuse? Da gibt es die volle Bandbreite von "alles mit Silikon abdichten" bis zu "überall 1 mm Luft, sonst klemmt's". Im einfachen Modell ist eine Undichtigkeit (ein Spalt) ein akustisches Filter: Die Luft im Spalt bildet zusammen mit der Strahlungsimpedanz eine Masse, die Luft im Gehäuse wirkt als Feder. Fertig ist ein akustischer **Tiefpass zweiter Ordnung**: Feder und Masse erzeugen zusammen eine Resonanz; für Anregungen unterhalb der Resonanzfrequenz ist der Spalt offen, überresonant ist er verschlossen, weil nun die Luftträgheit große Bewegungen verhindert. Dieses Prinzip nutzt auch das **Bassreflexgehäuse**, das ja auch zu den "undichten" Gehäusen gehört [3]. Als Beispiel: Schließt man an den Lautsprecher eine 1.5-V-Batterie an, ändert sich im Innern des (fast) dichten Gehäuses schlagartig der Luftdruck. Je nach Polarität beginnt aber sofort Luft durch den Spalt in das oder aus dem Gehäuse zu strömen, und der Druck gleicht sich allmählich aus. Regt man die Membran aber höherfrequent (z.B. mit 1 kHz) an, kann sich der Druck wegen der Massenträgheit nicht mehr schnell genug ausgleichen – das Gehäuse wirkt, als wäre gar kein Spalt vorhanden. Wenn ein Gehäuse kleine Undichtigkeiten hat, werden sich diese also nur im tieffrequenten Bereich auswirken. Je kleiner die Spaltfläche, desto niedriger ist der betroffene Frequenzbereich. Und da Gitarrenboxen nicht bis 20 Hz übertragen müssen, sind die Anforderungen an ihre Dichtigkeit nicht besonders hoch. **Abb. 11.85** bietet hierzu Orientierungswerte. Nicht berücksichtigt ist in diesem Diagramm, dass auch die Steifigkeit der Membranaufhängung und der Gehäusewände einen Einfluss auf die Resonanz ausüben, und dass – insbesondere bei schmalen Spalten – ein ganz erheblicher Strömungswiderstand wirkt. Zur ungefähren Abschätzung ist das Diagramm gleichwohl brauchbar, in der Praxis liefert dann eine einfache Impedanzmessung Daten zur tatsächlichen Resonanz. **Abb. 11.86** zeigt hierzu ein Beispiel: Bei 33 Hz entsteht eine schwache Leakage-Resonanz.

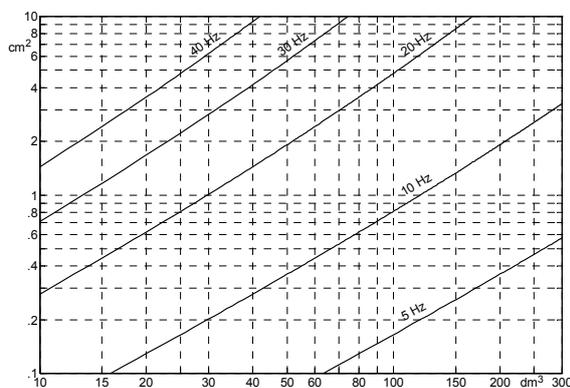


Abb. 11.85: Zusammenhang zwischen Gehäusevolumen (Abszisse, $\text{dm}^3 = \text{ltr}$), Spaltfläche (cm^2) und daraus resultierender Resonanzfrequenz. Beispiel: Hat ein 100-ltr-Gehäuse Spalten mit einer Gesamtfläche von 5 cm^2 , ergibt sich eine Leakage-Resonanzfrequenz von ca. 20 Hz.

In **Abb. 11.86** ist deutlich die von der Luftsteifigkeit verursachte Resonanzverschiebung zu sehen. Und noch etwas offenbart die Impedanz: Die erste Hohlraumresonanz (260 Hz), die sich als $\lambda/2$ -Längsschwingung im (innen) 70 cm langen Gehäuse ausbildet. Ab dieser Frequenz wirkt das Gehäusevolumen nicht mehr als konzentrierte Steifigkeit, sondern als Kontinuum. Vereinfachend kann man für diese tiefste Hohlraumresonanz die schwingende Luftsäule durch eine Masse (ca. 12 g) und zwei ungefähr gleich steife Federn nachbilden. Die auf die elektrische Seite transformierte Impedanz dieser Analogie zeigt gute Übereinstimmungen mit der Messung. Die Unterschiede, die über 300 Hz auftreten, sind überwiegend auf Membranresonanzen (Partialschwingungen) zurückzuführen.

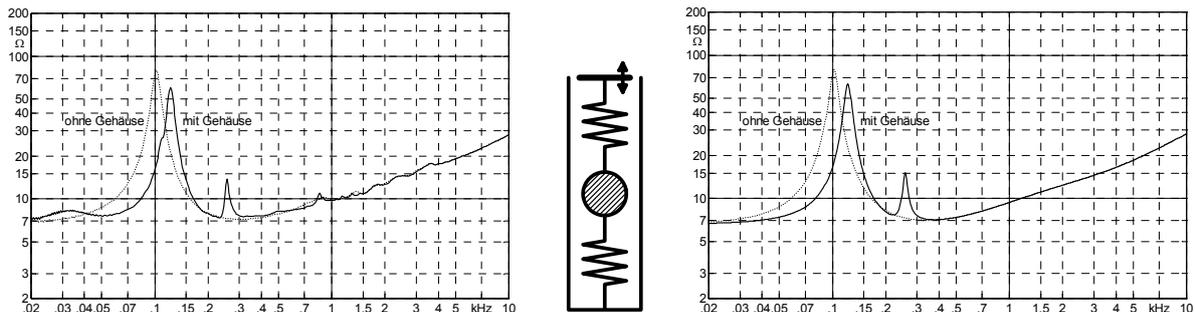


Abb. 11.86: Impedanz-Frequenzgang des G12-M (siehe auch Abb. 11.17); Messung (links), Modell (rechts). In der Mitte ist das vereinfachte Längsschwingungs-Modell der $\lambda/2$ -Resonanz dargestellt.

Im Übertragungsfrequenzgang macht sich die Hohlraumresonanz durch eine S-Kurve bemerkbar (**Abb. 11.87**). Knapp unter dieser Hohlraumresonanz wird der Wirkungsgrad verschlechtert, überresonant verbessert. Dass die Belastung der Membranrückseite auch Auswirkungen auf die Abstrahlung von der Vorderseite hat, erklärt sich leicht aus dem Verhältnis von Quell- zu Lastimpedanz. Bei Spannungseinprägung ist die elektrische Quellimpedanz des FI-Wandlers [3] der ohmsche Schwingspulenwiderstand (die Induktivität darf unter 1 kHz vernachlässigt werden). Die Quellimpedanz der mechanischen Seite des Wandlers ist folglich ein rein reeller Widerstand. Diese resistive Quelle wird durch mehrere mechanische Komponenten belastet: Die Membran, die (innere) Hohlraumimpedanz, und die (äußere) Strahlungsimpedanz. Alle drei Impedanzen sind zur Gesamtimpedanz aufzusummieren, und deshalb beeinflusst jede der drei die Anpassung. Sehr plakativ: Auch wenn man die Membran von *innen* festhält, kann sie nach *außen* keinen Schall mehr abstrahlen. Frequenzselektive Anpassungsänderung ist die Kernfunktion jedes Reaktanzfilters – insofern ist die S-Kurve nicht überraschend. Dass die Auswirkungen auf den elektrischen Impedanz-Frequenzgang zum Teil recht gering sind, ist auf den relativ geringen Wirkungsgrad zurückzuführen: Der ohmsche Schwingspulenwiderstand dominiert (ggf. mit der Spuleninduktivität) die elektrische Impedanz. Natürlich sind derart stark ausgeprägte Resonanzen hörbar; ob sie gut oder schlecht klingen, ist – wie immer – eine Frage des persönlichen Geschmacks.

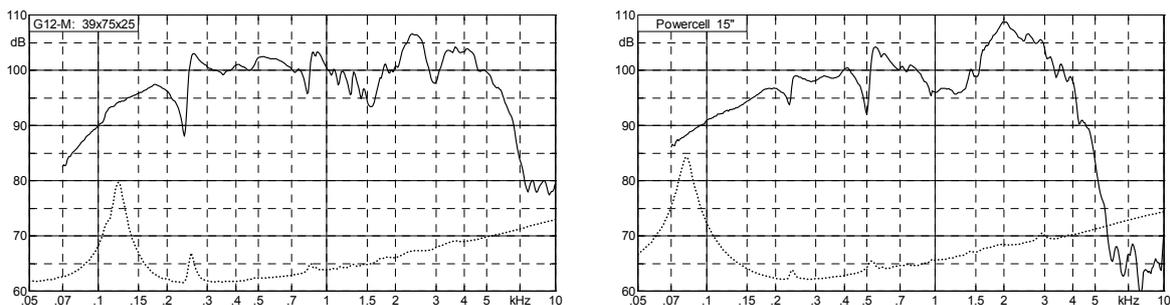


Abb. 11.87: Übertragungsfrequenzgang: Gehäuse mit Hohlraumresonanzen. 39x75x25 (li.) bzw. 40x74x39 (re.).

Lautsprecher und Gehäuse wirken – das haben die vorhergehenden Kapitel gezeigt – als zwei dem Verstärker nachgeschaltete Filter. Einem Line-Ausgang, dessen Signal vom Eingang der Endstufe abgezweigt wird, fehlt genau diese Filterung. Und deshalb findet man auf Bühnen und im Studio Mikrofone vor den Lautsprechern, um instrumentenspezifisch aufnehmen bzw. abmischen zu können. Im **Nahfeld** einer relativ großflächigen Schallquelle können sich aber Übertragungsfunktionen ergeben, die von der Fernfeldcharakteristik wesentlich abweichen. Streng genommen bemisst sich die Nahfeld/Fernfeldgrenze nach der Größe des Lautsprecher-Gehäuses, vereinfachend kann man aber durchaus zuerst nur die Membrangröße als Kriterium nehmen: Ist der Mikrofon/Lautsprecher-Abstand ungefähr so groß wie (oder sogar kleiner als) der Membrandurchmesser, befindet sich das Mikrofon im Nahfeld. Steckt mehr als ein Lautsprecher in der Box, muss aber der Durchmesser einer äquivalenten Membran angesetzt werden, beim typischen 4x12"-Gehäuse also nicht 28 cm, sondern fast schon 1 m. Üblicherweise sind Aufnahmemikrofone jedoch näher an der Box platziert, also: im Nahfeld.

Schallabstrahlende Flächen (z.B. Membranen) zerlegt man modellmäßig nach dem Huyghenschen Prinzip in kleine, kugelwellenabstrahlende Teilflächen. **Abb. 11.88** verdeutlicht dies am Beispiel einer ebenen Membran (links im Bild). Für den unendlich fernen Punkt sind die abgehenden Schallstrahlen parallel, die einzelnen Schallwege gleich lang. Je näher der Messpunkt an die Membran heranrückt, desto ungleicher werden die Schallwege, woraus ungleiche Laufzeiten zwischen den Schallstrahlen resultieren. Tieffrequent hat dies keine große Bedeutung, da hier die Wellenlänge groß ist, bei höheren Frequenzen kann der Wegunterschied aber gerade einer halben Wellenlänge entsprechen – dann entstehen Interferenzauslöschungen.

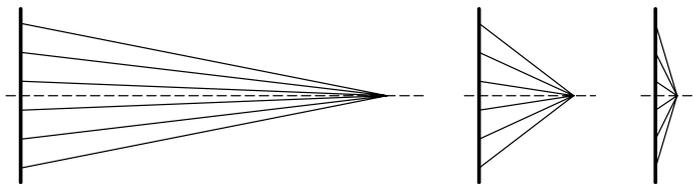


Abb. 11.88: Je näher das Mikrofon an die Membran rückt, desto mehr unterscheiden sich die Längen der einzelnen Schallwege.

In **Abb. 11.89** sind die Auswirkungen derartiger Interferenzen dargestellt, gemessen im RAR an einem Tweed Deluxe. Nähert man das Mikrofon axial aus größerer Entfernung an das Zentrum des Lautsprechers an, nimmt der Schallpegel zu. Aber nicht für alle Frequenzen in gleichem Maße! Da die absoluten Schallpegel nicht so relevant sind, wurde bei den Diagrammen eine Konstante so abgezogen, dass um 0 dB pendelnde Werte entstehen. Bei Annäherung an den Lautsprecher werden also vor allem die Tiefen angehoben, zusätzlich ergeben sich aber auch noch frequenzselektive Filterungen. Für die Messungen wurde ein Kondensatormikrofon mit Kugelcharakteristik verwendet; bei Richtmikrofonen ist zusätzlich der Nahbesprechungseffekt zu berücksichtigen [3]. Steht der Lautsprecher nicht im RAR, sondern auf reflektierendem Boden, kommen noch umgebungsabhängige Kammfilterungen hinzu.

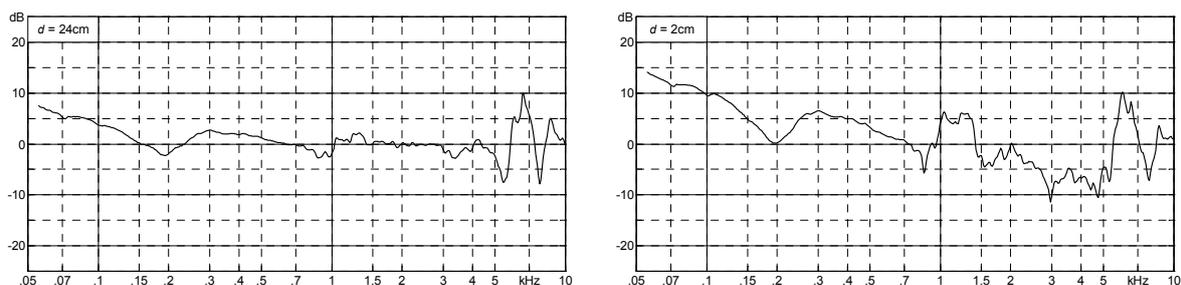


Abb. 11.89: Tweed Deluxe, axiale Nahfeldmessungen. Normierte Pegeländerungen gegenüber $d = 1\text{ m}$.

Auch wenn man den Abstand zwischen Mikrofon und Schallwand konstant hält, und das Mikrofon "nur" vor dem Lautsprecher verschiebt, ändert sich der Übertragungsfrequenzgang, wie **Abb. 11.90** eindrucksvoll beweist. Das linke Diagramm wurde an einem Tweed Deluxe aufgenommen, das rechte an einer 2x12"-Box. Es versteht sich von selbst, dass derart erhebliche Änderungen gewaltige Auswirkungen auf den Klang haben. Der Auswahl der Mikrofonposition kommt deshalb u.U. eine größere Bedeutung zu als der Lautsprecher-Auswahl! Auch die Mikrofon-Richtcharakteristik hat Einfluss auf den Sound: Steht das Mikrofon direkt am Bespannstoff, kommen Schallwellen von verschiedenen Membranbereichen aus verschiedenen Richtungen am Mikrofon an. Steht das Mikrofon (im Aufnahmestudio) in größerer Entfernung vor dem Lautsprecher, nimmt es außer Direktschall auch Raumschall mit auf.

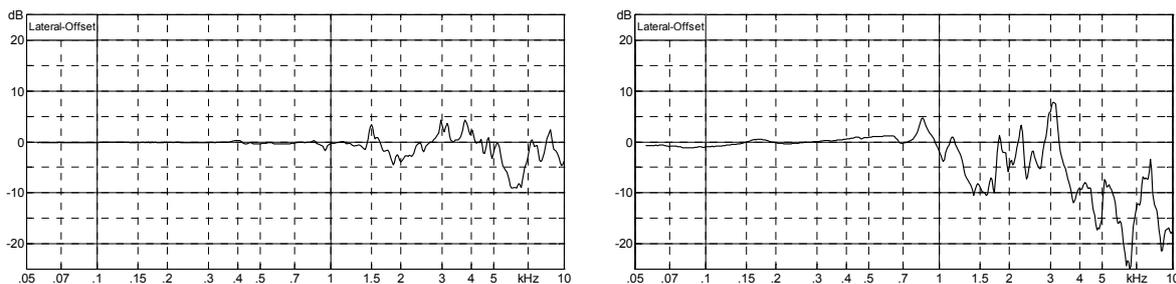


Abb. 11.90: Pegeländerung bei Veränderung der Mikrofonposition; konstanter Abstand zur Schallwand.

Vor dem Hintergrund dieser Messungen wird es verständlich, wenn Musiker und Studio-Experten der Auswahl des Mikrofons und seiner Positionierung große Aufmerksamkeit widmen. Oft kommen sogar zur Abnahme eines Gitarren-Lautsprechers zwei oder drei Mikrofone zum Einsatz, wobei kleine Markierungen am Bespannstoff ein leichteres Wiederfinden der magischen Positionen garantieren sollen. Allgemeine Regeln, wie "Mikrofonabstand = Membrandurchmesser", "Mikrofonabstand = 3 x Membrandurchmesser", "Mikrofon nicht auf die Lautsprecher-Mitte richten, sondern auf halbe Strecke zwischen Kalotte und Rand" sind gut gemeint, dürfen aber keinesfalls verallgemeinert werden. Was bei einer Box gut klingt, kann bei einer anderen sehr unbefriedigend sein, da ist individuelles "Tuning" gefordert.

Um dem doch nicht unerheblichen Aufwand zu entgehen, neben der Gitarre die komplette Verstärkeranlage mitzubringen, aufzubauen und dann auch noch mühsam die richtigen Mikrofonpositionen herauszufinden, entschließen sich viele Musiker (bzw. Produzenten ☺) oft zu einem radikal einfachen Weg: Die Gitarre wird in einen "**Modeling-Amp**" eingestöpselt, der alle erforderlichen linearen und nichtlinearen Filterungen bewerkstelligt. Es hat sich inzwischen herumgesprochen, dass hierzu auch die vom Lautsprecher verursachten Filterungen gehören. Die alltägliche Studiopraxis zeigt, dass man hiermit schauerlich künstliche Gitarrensounds hervorbringen kann. Sie zeigt aber auch beeindruckend gute Resultate, denen man nach getaner Tat die Camouflage des technischen Overkills umhängen muss ("*sogar im Badezimmer war ein 1964-er NOS-Tubes-Blackface, mit drei Kondis abgemiked*"), um in der Welt des Vintage-Wahns bestehen zu können. Dass ein derartiger Modeling-Amp, sei er gut oder schlecht, nicht die Richtcharakteristik seines Vorbildes emulieren kann, wurde schon in Kap. 11.4 erwähnt. Und falls eine Anlage mit hoher Verstärkung ("High-Gain-Sound") emuliert werden soll: Die Rückwirkung auf die Gitarre, die Saitenschwingungen unterstützen und sogar erzeugen kann, fehlt, wenn der Gitarrist zur Selbstkontrolle nur mehr einen Kopfhörer bekommt. Aus der Vielfalt der Modeling-Amps (mit oder ohne Leistungsverstärker) wurde der **POD 2.0** von Line-6 ausgewählt. Dies stellt keine Wertung im Sinne von *besonders gut* oder *besonders schlecht* dar – er stand einfach problemlos zur Verfügung.

Abb. 11.91 zeigt die Übertragungsmaße der Lautsprecher-Emulation des Modeling-Amps (Line-6 POD 2.0). Leider offenbart das Manual keine Details zu den Mikrofonpositionen.

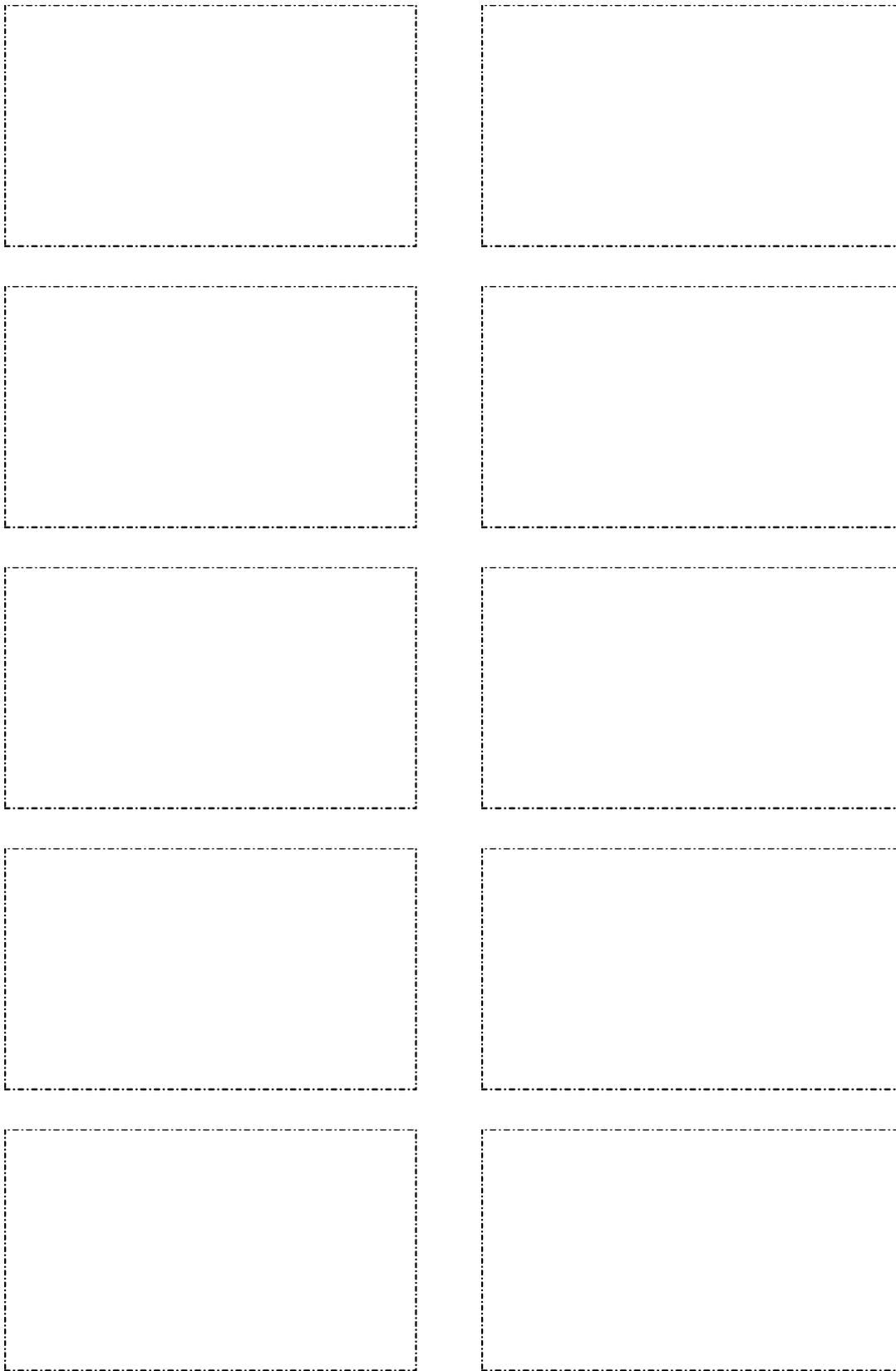


Abb. 11.91: Lautsprecher-Emulation beim Line-6 "POD". Absolute Ordinaten-Skalierung willkürlich.

Welche Auswirkungen kleine Gehäuse-Details auf den Klang haben können, soll anhand des **VOX AC-30** untersucht werden: Bei diesem Combo befindet sich der Verstärker im selben Gehäuse wie die beiden 12"-Lautsprecher, abgetrennt durch ein Querbrett (**Abb. 11.92**). Bei einer speziellen Variante, dem "AC-30 Super-Twin", wird jedoch dem Verstärker ein eigenes Gehäuse spendiert (sog. "piggy-back"), und deshalb entfällt das Querbrett im Lautsprecher-Gehäuse, dessen Abmessungen ansonsten aber unverändert bleiben. Auf den ersten Blick gibt es folglich zwei verschiedene Gehäuse: Mit bzw. ohne Verstärker. Nun weist aber das Querbrett eine ziemlich große Öffnung auf, um in einer Art Kamineffekt dem darüber liegenden Verstärker Kühlluft zukommen zu lassen, die an der Gehäuseoberseite wieder entweichen kann. Zusammen mit Schall, natürlich, denn wo Luft durchgeht, geht auch Schall hindurch. Bei den Kühlschlitzen (Vent Grill) haben sich die Abmessungen im Lauf der Zeit definitiv geändert – ob die Öffnung im Querbrett auch "zeitvariant" ist, wurde nicht untersucht.

Für das Übertragungsverhalten bedeutet dies: Nicht nur der Lautsprecherbestückung ist Aufmerksamkeit zu widmen, sondern auch der Gehäusebauweise. Die elektrische Lautsprecher-Impedanz ändert sich, wenn das Querbrett entfernt wird, bzw. die Lüftungsschlitze verändert werden. **Abb. 11.92** zeigt, dass sich im Bereich 100 – 300 Hz die Impedanz um mehr als den Faktor 2 ändern kann. Und da die nicht-gegekoppelte Röhren-Endstufe des AC-30 einen hohen Innenwiderstand aufweist, schlägt diese Impedanzänderung in praktisch gleicher Größe auf den Übertragungs-Frequenzgang durch: Das Impedanz-Maximum bei z.B. 170 Hz wirkt, als hätte man diesen Bereich mit einem Equalizer schmalbandig um 6 dB angehoben. Hierzu findet sich bei Akustik-Gitarren eine interessante Parallele: Messungen, die von Fletcher und Rossing [1] an einer Martin D-28 durchgeführt wurden, zeigen im Schallspektrum eine stark ausgeprägte Resonanz um 200 Hz. Es scheint, als würde die selektive Betonung dieses Frequenzbereiches den Klang der Akustik- und der Elektrogitarre positiv beeinflussen.

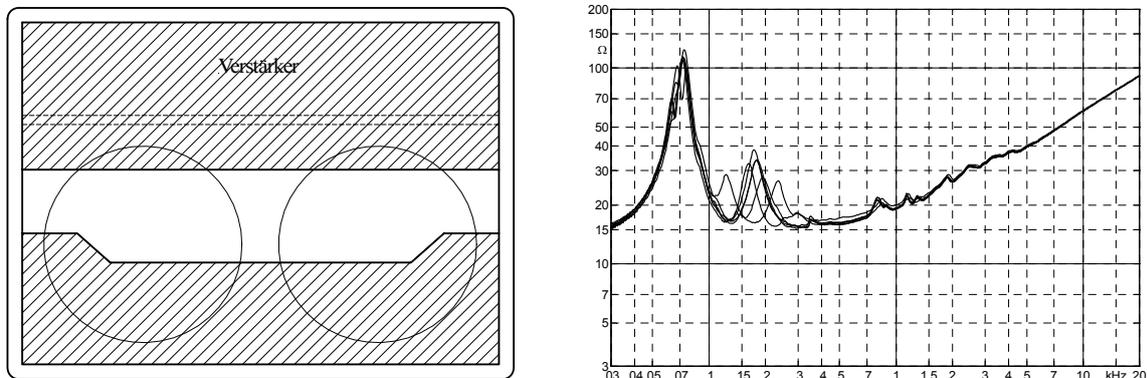


Abb. 11.92: Unterteilte Rückwand des VOX AC-30, Impedanzfrequenzgänge (2 Lautsprecher in Reihe). Die verschiedenen Impedanzkurven wurden durch Modifikation bei Trennwand und Lüftungsschlitzen erzielt.