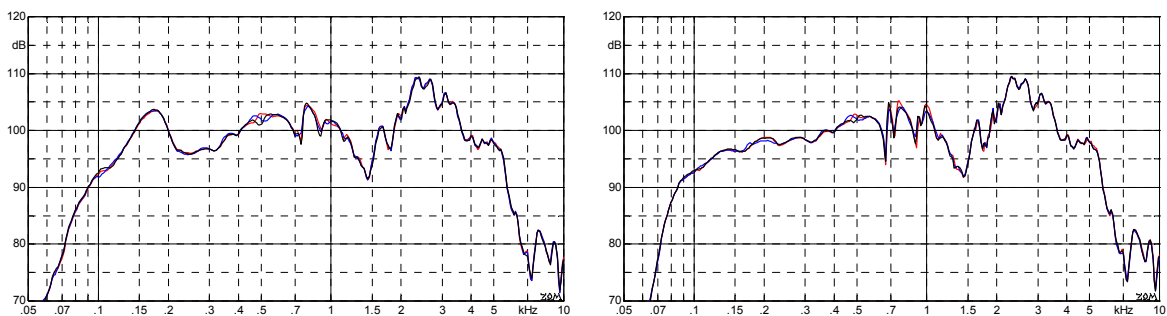


### 11.8.2 Vergleich verschiedener Gehäuse-Materialien

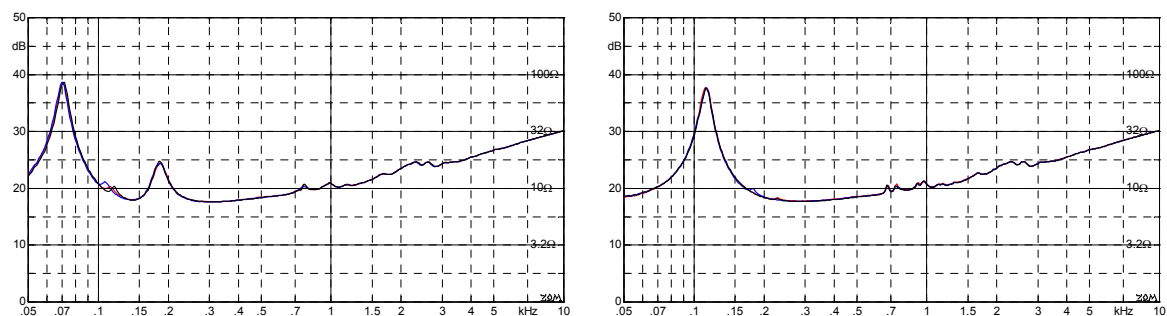
Eine häufig gestellte Frage: Welchen Anteil hat das für das Gehäuse verwendete **Holz** am Klang (an der Übertragungsfunktion) des Lautsprechers? Der Handel verweist auf historische Vorbilder und schreibt dem Holz eine ähnlich große Bedeutung zu wie bei italienischen Meistergeigen, und der Musiker glaubt's und zahlt. Um nicht nur Vermutungen, sondern auch objektive Daten zu bekommen, wurden abmessungsgleiche Gehäuse analysiert, die aus verschiedenen Hölzern aufgebaut waren: Kiefer (18 mm), Pappel (14 mm), und MDF (14 mm). Die Gehäuse waren von Tube-Town (www.Tube-Town.de) mit großer Sorgfalt zusammengebaut worden, sie wurde alle mit demselben Lautsprecher gemessen (Eminence MOD-12). Die Außenabmessungen der Gehäuse betragen: 50 cm x 41 cm x 30 cm. Die *geschlossenen Gehäuse* waren rückseitig mit einer nichtverstärkten Rückwand verschlossen, die *offenen Gehäuse* hatten rückseitig zwei Bretter, dazwischen einen 13 cm breiten horizontalen Schlitz.

Alle Messungen erfolgten im Reflexionsarmen Raum in 3 m Abstand auf Achse, der Lautsprecher wurde mit Spannungseinprägung betrieben (zunächst 2.83 V, später auch mehr). Als Messmikrofon wurde das B&K 4190 verwendet. In **Abb. 11.93** sind Schallpegel-Frequenzgänge dargestellt, umgerechnet auf 1 m Abstand. Man erkennt Unterschiede, aber so gering, dass sie für den üblichen Bühnenbetrieb keine Bedeutung haben. Weil Produktionstoleranzen in ähnlicher Größenordnung liegen können, und weil das Gehör derart kleine Unterschiede bei Musikdarbietungen nicht bemerkt. Die Unterschiede, die durch Rückwandwechsel (offen vs. geschlossen) verursacht werden, sind jedoch von Bedeutung – da ändert sich der Klang.



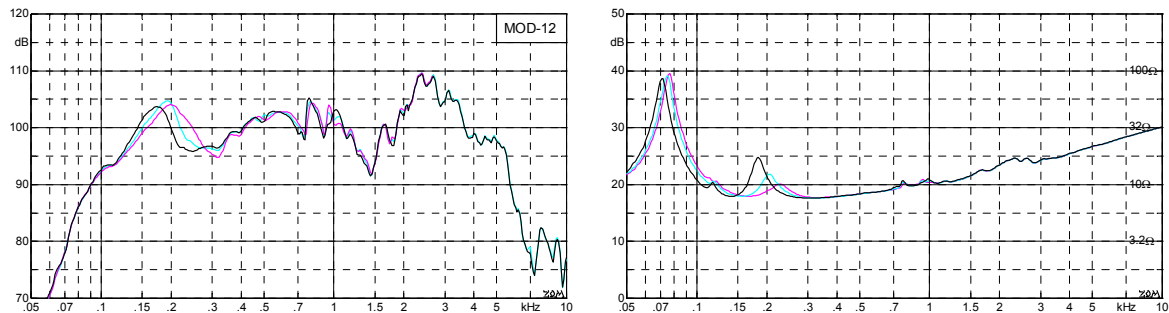
**Abb. 11.93:** SPL (1W/1m), Kiefergehäuse (schwarz), Pappelgehäuse (rot), MDF-Gehäuse (blau). Links mit offener Rückwand (13 cm breiter horizontaler Schlitz), rechts mit geschlossener Rückwand.

**Abb. 11.94** zeigt die zugehörigen Impedanzfrequenzgänge, auch hier keine Besonderheiten. Die große Ähnlichkeit garantiert auch bei Betrieb an hochohmiger Quelle (Röhrenverstärker) ein praktisch gleichartiges Übertragungsverhalten, unabhängig vom Holz. Änderungen an der Rückwand wirken sich am hochohmigen Verstärker jedoch besonders stark aus, weil sich Übertragungsverhalten und Lautsprecherspannung ändern.



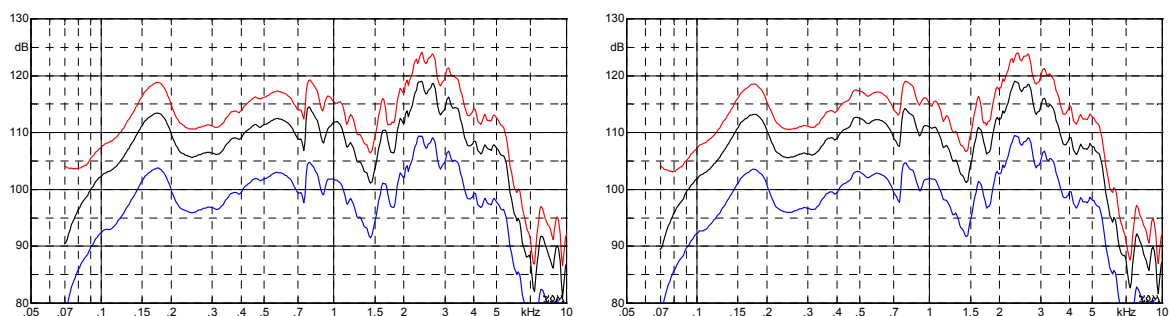
**Abb. 11.94:** Impedanzfrequenzgänge, Lautsprecher/Gehäuse wie bei Abb. 11.93.

Ergänzend sind in **Abb. 11.95** Messungen an Kiefer-Gehäusen dargestellt, bei denen die Rückwand entweder ganz fehlte, oder aus nur einem Brett bestand, oder aus zwei Brettern (= *offenes Gehäuse*). Auch hier keine unerwarteten Besonderheiten.

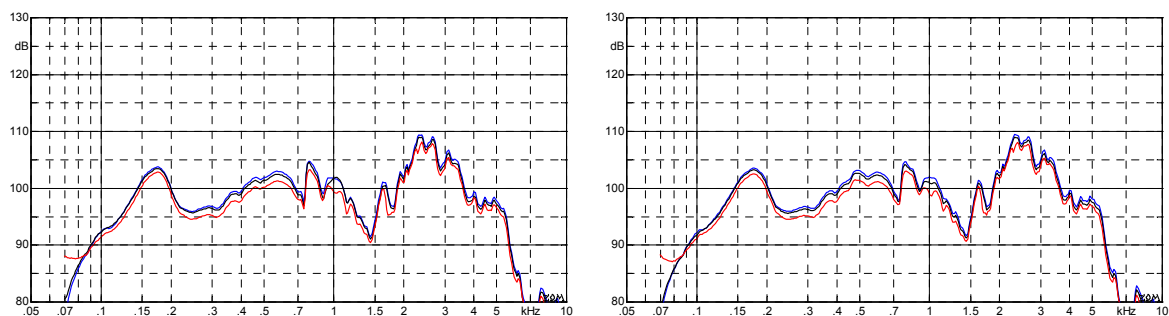


**Abb. 11.95:** SPL und Impedanz; ganz ohne Rückwand (magenta), 1 Brett (zyan), zwei Bretter (schwarz).

Der Betrieb mit 2.83 V (das ergibt 1 W an 8  $\Omega$ ) ist typisch für Lautsprecher-Messungen, er entspricht aber nicht der üblichen Belastung. Solange der Lautsprecher einigermaßen linear arbeitet, kann die Übertragungsfunktion mit jeder beliebigen Spannung ermittelt werden, aber da Lautsprecher durchaus beachtliche Klirrfaktoren produzieren können, erfolgten auch Messungen bei höherer Belastung: Bei 2.83 V, 8.94 V und 17.9 V, das entspricht am 8- $\Omega$ -Nennwiderstand einer **Leistung von 1 W, 10 W und 40 W**. Erhöht man die Leistung von 1 W auf 10 W bzw. 40 W, vergrößert sich der Pegel um 10 dB bzw. um 16 dB. Dies zeigt **Abb. 11.96**, lediglich im Bassbereich ergeben sich bei 40 W wegen sehr starker Verzerrungen Abweichungen. Weil die übereinander liegenden Kurven nicht so leicht miteinander verglichen werden können, zeigt **Abb. 11.97** eine auf 1 W normierte Darstellung: Hierbei wurde die 10-W-Kurve um 10 dB abgesenkt, die 40-W-Kurve um 16 dB. Insbesondere die 40-W-Kurve liegt nun sichtbar zu tief, was aber nicht holzspezifisch ist, sondern einfach auf die Erwärmung der Schwingspule zurückzuführen ist (alle Messungen erfolgten mit *Spannungseinprägung*).

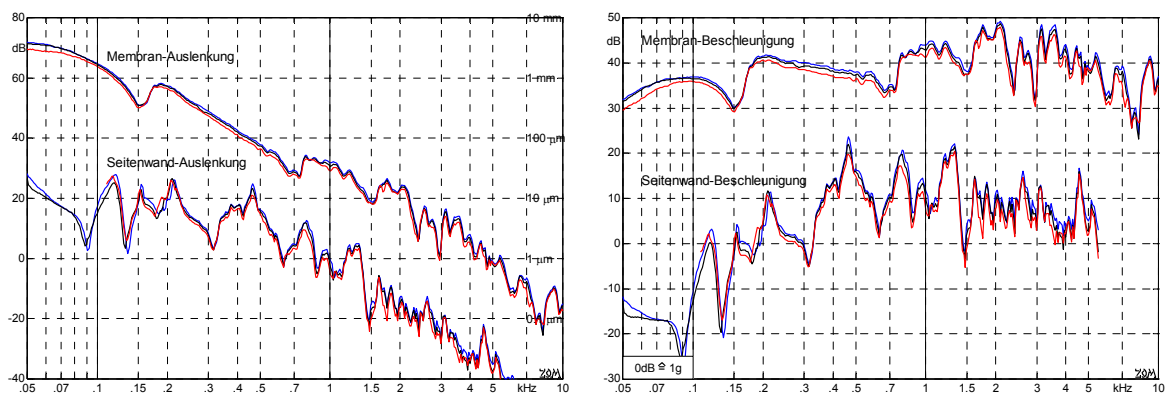


**Abb. 11.96:** SPL bei 1 W (blau), 10 W (schwarz), 40 W (rot). Kiefergehäuse (links), Pappelgehäuse (rechts).



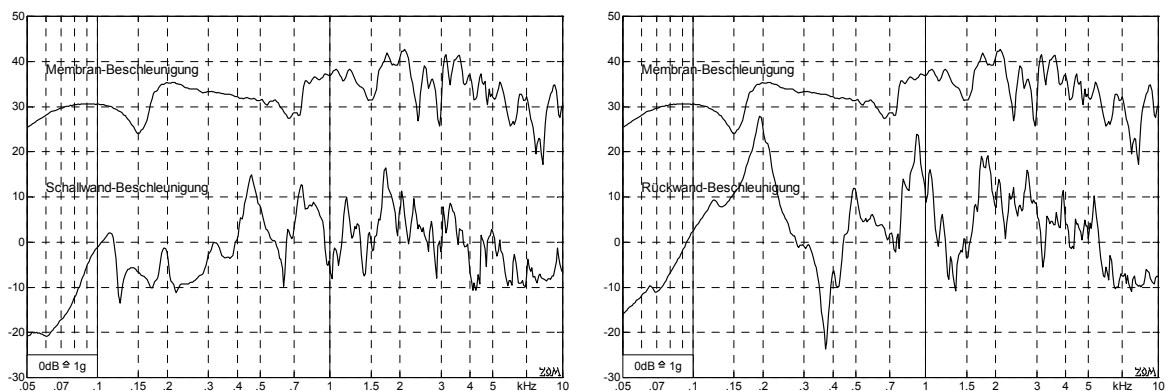
**Abb. 11.97:** Auf 1 W normierte Darstellung, Daten wie bei Abb. 11.96.

Änderungen beim Gehäuseholz könnten auf zwei Arten die Übertragungsfunktion beeinflussen: Durch Veränderungen bei der mechanischen Lagerimpedanz des Lautsprechers, und durch Schallabstrahlung von mitschwingenden Gehäusewänden. Um quantitative Daten über die **Gehäuseschwingungen** zu erhalten, wurden Messungen mit einem **Laser-Vibrometer** (Polytec) durchgeführt. Der Lautsprecher wurde hierzu wieder mit Spannungseinprägung betrieben (2.83 V, 8.94 V und 17.9 V). Das Laser-Vibrometer misst die Schnelle, aus der durch Integration die Auslenkung und durch Differentiation die Beschleunigung ermittelt werden kann. Beim *idealen* Lautsprecher ist bei Stromeinprägung für  $f > f_{Res}$  die Beschleunigung eingepreßt, beim *realen* Lautsprecher sind wegen Membranresonanzen selektive Frequenzabhängigkeiten zu sehen. Dass hierbei Werte vorkommen können, die das hundertfache der Erdbeschleunigung überschreiten, ist zu erwarten: 30 N an 0.03 kg ergibt 102 g ( $1 \text{ g} = 9.81 \text{ m/s}^2$ ). Doch nur die Membran wird derart stark beschleunigt, die Seitenwandschwingungen sind gegenüber der Membranschwingung deutlich schwächer (**Abb. 11.98**).



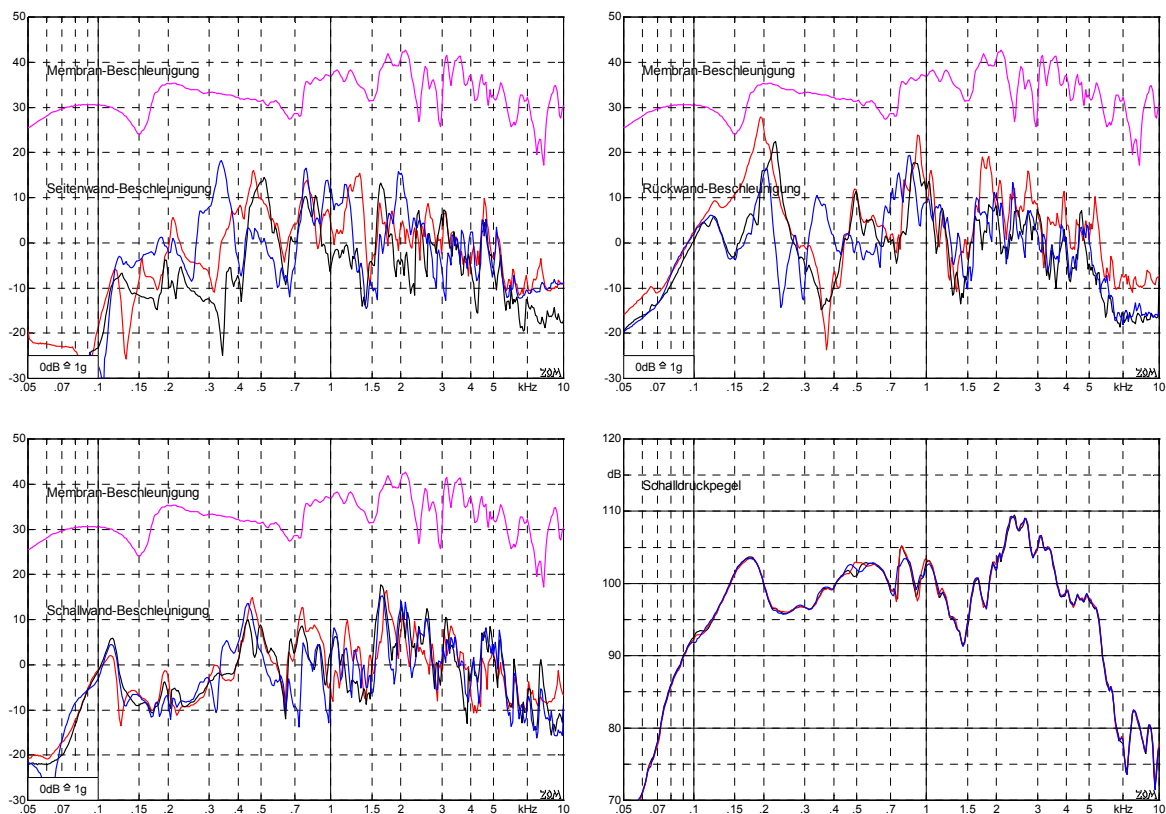
**Abb. 11.98:** Auslenkung (links) und Beschleunigung (rechts) der Seitenwand-Mitte; Pappel, 1 W, 10 W, 40 W. Alle Messkurven wurden auf 17.9 V (40 W) normiert, d.h. die 1-W-Kurve wurde um 16 dB angehoben.

Bekanntermaßen hängt die abgestrahlte Schallleistung vom *Quadrat* der Schnelle, von der Größe der schwingenden Fläche, und von der Strahlungsimpedanz ab [3]. Effektiv schwingende Fläche und  $Z_{Str}$  sind nur mit großem Aufwand bestimmbar, deshalb nur als ungefähre Abschätzung: Wenn die Schnelle der Membran bei 460 Hz ca. 7x so groß ist wie die Schnelle der Seitenwand ( $\Delta L = 17 \text{ dB}$ ), strahlt (vereinfacht) die Membran bei dieser Frequenz gegenüber der Seitenwand die 49-fache Schallleistung ab. Oder andersherum: Die Seitenwand ist an der Schallabstrahlung nur zu ungefähr 2% beteiligt. Und auch wenn's 5% wären, es wäre doch ziemlich unbedeutend. Ähnlich gering ist der Beitrag der Schallwand, nur bei der **Rückwand** entstehen zwei relativ starke Schwingungmaxima (**Abb. 11.99**).



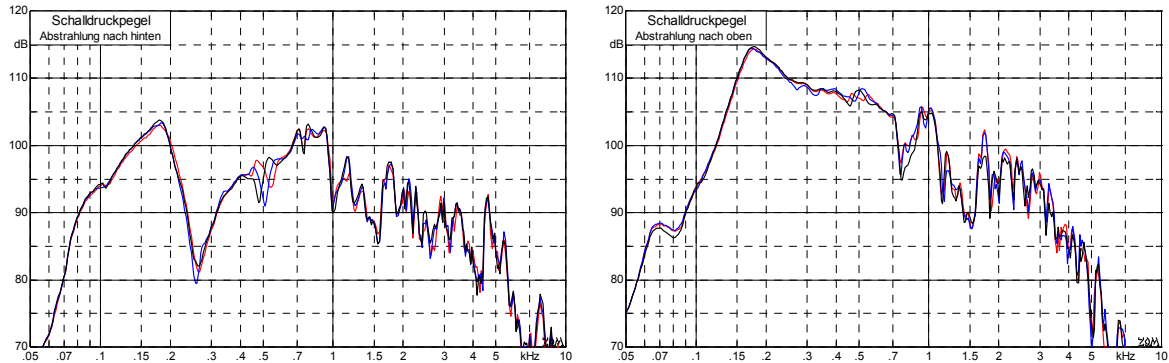
**Abb. 11.99:** Beschleunigung, Pappel-Gehäuse,  $P = 10 \text{ W}$ . Schallwand (links), Rückwand-Kante (rechts).

Jedes der beiden Rückwandbretter ist nur an drei Seiten befestigt, verständlich, dass in ihm größere Schwingungsamplituden möglich sind. Exakte Daten zur Schallabstrahlung liefern die hier vorgestellten Einpunkt-Messungen natürlich nicht – die genaue Abtastung aller Gehäuseflächen war mangels Scanning-Vibrometer nicht möglich, die ausgewählten Messpunkte können deshalb nur einen ersten Eindruck vermitteln. Beim Vergleich zeigen alle drei gemessenen Gehäuse, dass ihre Wände ähnlich stark schwingen (**Abb. 11.100**). Die Maxima der Rückwandschwingung sind beim Pappel-Gehäuse etwas größer als die der anderen beiden Gehäuse. Bei Seiten- und Schallwand zeigen sich zwar deutliche Unterschiede bei den Resonanzfrequenzen, die Maximalpegel sind aber ähnlich. Dass diese Schwingungen so wenig Einfluss auf den Schallpegel haben, hat mehrere Ursachen. Z.B. die Schwingungs-Amplitude: Keine der gemessenen Gehäuseschwingungen ist größer als die **Membranschwingung**. Dann die Fläche: Tieffrequent schwingt die ganze **Membranfläche** mit gleicher Amplitude, was ein am Rand festgeschraubtes Brett in Resonanz nicht kann. Und dann die **Strahlungsimpedanz**: Die Rückwand schwingt (bei 200 Hz) am stärksten an ihrer freien Kante, ähnlich einem **Dipol**. Bei Auswärtsbewegung erzeugt die Rückwand-Außenfläche in Luft Überdruck, die Innenfläche Unterdruck – der sich augenblicklich (um die Rückwandkante herum) mit dem außen erzeugten Überdruck ausgleicht. Eine bezüglich der Schallabstrahlung ineffiziente Bewegung, die als "**Betrieb bei akustischem Kurzschluss**" bezeichnet wird. Bei höheren Frequenzen treten auf allen Gehäusewänden **Knotenlinien** auf, die gegenphasig schwingende Wandbereiche trennen: Schwingt an einer Stelle die Wand nach außen, so schwingt im selben Moment eine benachbarte Stelle nach innen. Da beide Bewegungen zueinander gegenphasig sind, wird nur wenig Schall abgestrahlt. In Abb. 11.100 ist zum Vergleich nochmals die SPL-Messung eingefügt – so unterschiedlich die Gehäuseschwingungen auch sein mögen, auf den Schalldruckpegel haben sie sehr wenig Einfluss.



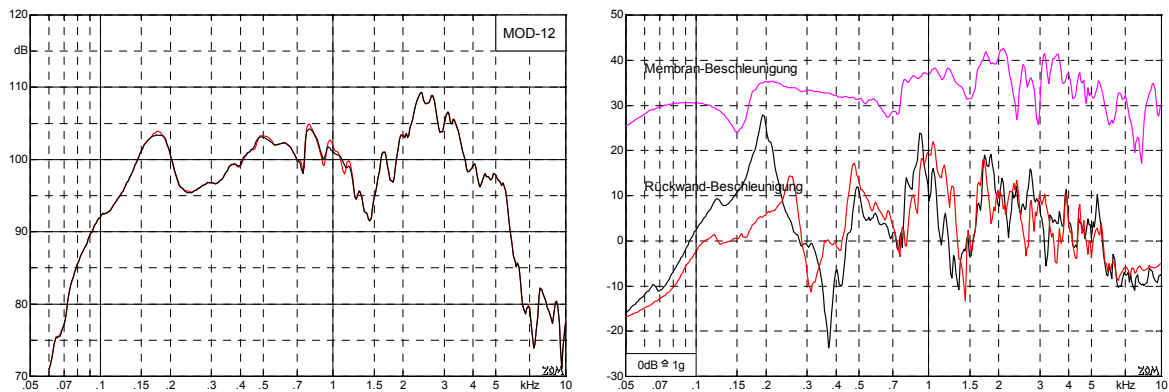
**Abb. 11.100:** Wand-Beschleunigung,  $P = 10 \text{ W}$ ; Pappel (rot), Kiefer (schwarz), MDF (blau).  
SPL-Messung: axial 3 m vor dem Gehäuse,  $P = 1 \text{ W}$ ; gleiche Farbuordnung.

In Abb. 11.100 ist der Frequenzgang des vor der Membran gemessenen Schalldruckpegels dargestellt, der Lautsprecher strahlt aber nach allen Seiten Schall ab. **Abb. 11.101** zeigt für zwei weitere Messpunkte die SPL-Frequenzgänge: 3 m hinter, und ½ m über dem Gehäuse.



**Abb. 11.101:** Linkes Bild: SPL 3 m hinter dem Gehäuse,  $P = 1$  W; Pappel (rot), Kiefer (schwarz), MDF (blau). Rechtes Bild: SPL 0.5 m über der Vorderkante des Gehäuses,  $P = 1$  W; gleiche Farbuordnung.

Alle SPL- und Schwingungsmessungen erfolgten mit demselben Lautsprecher, einem Emience MOD-12. Zu seinem Ein- bzw. Ausbau mussten jeweils die Rückwandbretter ab- bzw. anmontiert werden. Die dabei auch durchgeführten **Repromessungen** zeigten beim SPL Abweichungen, die auf die Rückwandbefestigung zurückzuführen sind (**Abb. 11.102**). Messungen der Rückwand-Beschleunigung ergaben eine sehr starke Abhängigkeit vom Anzugdrehmoment der Befestigungsschrauben. Beim Ummontieren des Lautsprechers war dieses Drehmoment nicht kontrolliert worden\*, es ist deshalb davon auszugehen, dass die im SPL gefundenen gehäusespezifischen Unterschiede zu einem Teil auch auf unterschiedliche Rückwandbefestigungen zurückzuführen sind. **Womit die rein holzspezifischen Unterschiede noch geringer ausfallen.**

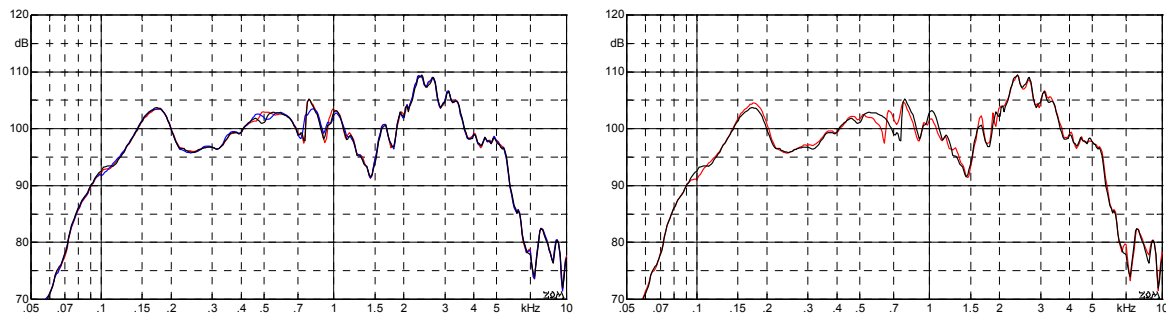


**Abb. 11.102:** Rückwandschrauben unterschiedlich stark angezogen. SPL (li.), Rückwand-Beschleunigung (re.).

Mit Kenntnis dieser Messergebnisse stellt sich nun die Frage, warum der Handel bei Gehäusen für Instrumentallautsprecher so großen Wert auf das verbaute Holz legt, warum die Gitarrenbox unbedingt aus "baltischer Birke" oder "massiver Pinie" (also Kiefer) sein muss. Einfache Antwort: Weil das schon immer so war – mit Schwingungstechnik hat das nichts zu tun. Einen "Fender-Woody" kann man nicht aus Pressspanplatten bauen, da möchte man eine

\* Die Rückwandschrauben wurden jeweils von Hand "fest" angezogen.

überwältigend schöne Holzmaserung sehen. Einen Tweed-Deluxe könnte man – solange man nicht ins Innere schaut. Lässt man das Aussehen einmal beiseite, bleiben Klang, Gewicht und Lebensdauer. Der präzisen Fingerverzahnung glauben wir ohne Nachweis die höhere Widerstandsfähigkeit gegen rauen Roadbetrieb, die Frage nach dem Maximalgewicht delegieren wir an die tätowierten Langzöpfe, die bereitwillig jedes Mal das ganze Zeug hin- und herschleppen. Bleibt der Klang. Soll das Holz nun schwingen, oder soll es nicht? Erfreulicherweise kümmert sich das so Umsorgte herzlich wenig um diese Frage, es schwingt, sobald die Membran dazu einlädt, sei es nun Kiefer ("Pinie"), Pappel, Birke, Pressspan oder MDF. Nicht in identischer Weise, doch so wenig, dass der Einfluss auf den von der Membran abgestrahlten Schall gering bleibt. Dabei dürfte das Holz (im Gegensatz zum HiFi-Lautsprecher) durchaus Resonanzen beisteuern, die E-Gitarre hat diesbezüglich ja nicht viel zu bieten. Doch müssten diese dann produktspezifisch sein, und das würde einen unverhältnismäßig hohen Aufwand erfordern. Nicht nur bei den Schrauben-Anzugdrehmomenten, auch bei den Maßen: Liegt die Rückwand auf einer leicht konvex gekrümmten Leiste auf, schwingt sie anders als bei Auflage auf einer konkaven Leiste. Und da geht's um winzige Toleranzen – ein Grund, warum Akustikgitarren nicht aus Brettern zusammengeschraubt werden. Boxen schon, da scheinen doch Unterschiede zu bestehen.



**Abb. 11.103:** Links: SPL (1W/1m), Kiefergehäuse (schwarz), Pappelgehäuse (rot), MDF-Gehäuse (blau). Rechts: SPL (1W/1m), Kiefergehäuse, 60x40x29 (rot), 50x41x30 (schwarz).

In **Abb. 11.103** sind die vom Holz verursachten SPL-Unterschiede denen gegenübergestellt, die sich ergeben, wenn man die Gehäuse-Abmessungen ändert. Nur einige Zentimeter, aber genug, um mehr zu bewirken als beim Wechsel von Pappel zu Kiefer.