

# Resonanzholz im Gitarrenbau und die Beurteilung daraus hergestellter Instrumente durch Musiker

M. Baltrusch

Institut für Musikinstrumentenbau, Zwota

## Auswahl des Resonanzholzes

Im traditionellen Musikinstrumentenbau ist die Qualität von Resonanzholz von entscheidender Bedeutung. Sie bestimmt maßgeblich die Qualität der Instrumente. Instrumentenmacher wählen daher die Hölzer sehr sorgfältig aus.

Aus den Erfahrungen der Instrumentenmacher haben sich verschiedene Kriterien für die Auswahl des Holzes etabliert. Sie schwanken natürlich von Instrumentenmacher zu Instrumentenmacher und sind nicht unumstritten. Für gewöhnlich erfolgt die Auswahl zunächst nach optischen Gesichtspunkten. Für die als Gitarrendecken verwendeten Hölzer, um die es in diesen Untersuchungen ging, gelten allgemein Jahrringbreiten von 1 bis 2 mm, bei gleichmäßigem Jahrringbau und einem Spätholzanteil von ca. 25 % als optimal. Es weichen jedoch Gitarrenbauer, auch sehr bekannte, von diesen Werten ab, zum Teil sogar erheblich.

Da diese visuelle Prüfung noch keine absolute Garantie für gutes Resonanzholz darstellt, wird sie teilweise durch einen Biege- und einen Klopfest ergänzt. Die Gitarrendecke wird beim ersten Test in Querrichtung gebogen und damit subjektiv die Biegesteifigkeit in Querrichtung geprüft. Beim Klopfest erhält der Instrumentenmacher aufgrund des Klopfklanges und des Gewichtes ein weiteres subjektives Gütekriterium. Worauf beim Klopfklang genau geachtet wird, ist aber nicht eindeutig klar. Es läßt sich jedoch sagen, daß Eigenfrequenzen in der Tonhöhe des Klopfklanges widerrispielt werden.

## Untersuchungsansatz

In bisherigen Untersuchungen wurden vielfach Qualitätsmerkmale von Resonanzhölzern beschrieben. Zumeist wurden dabei unterschiedliche Hölzer miteinander verglichen. Die Auswahl des Holzes geschah bereits durch Instrumentenmacher. Der Ansatz dieser hier beschriebenen Untersuchung bestand nun darin, direkt nach dem Einfluß des Deckenresonanzholzes auf das fertige Produkt, einer Seriengitarre der Firma Höfner, zu suchen. Die subjektive Beurteilung der Instrumente erfolgte von Musikern, also letztlich von den „Endverbrauchern“. Als Ausgangsmaterial wurde eine große Bandbreite an Holzqualitäten berücksichtigt, die auch Material einschloß, daß gewöhnlich nicht mehr als Deckenresonanzholz verwendet würde. Dafür standen uns insgesamt 5 Stämme aus dem Schwarzwald zur Verfügung, 3 davon Fichten und 2 Tannen, aus denen ca. 1000 Gitarrendeckenhälften für die Untersuchungen gewonnen werden konnten.

## Merkmale der Gitarrendecken

Zunächst wurden Merkmale der Gitarrendeckenhälften definiert, von denen angenommen werden konnte, daß sie als qualitätsbeschreibende Parameter von Interesse sind. Wir orientierten uns dabei am Klopfest der Instrumentenmacher. Die speziellen Biegeeigenschaften einer Rechteckplatte lassen sich meßtechnisch durch einen objektiven Klopfest relativ einfach ermitteln. Mit einem Impulshammer wurden die Gitarrendeckenhälften an einem Ort mit einem Kraftimpuls angeregt. Als Impulsantwort wurde der Schalldruck im Nahfeld der Decke gemessen. In der so ermittelten Übertragungsfunktion, die das Übertragungsverhalten

beschreibt, wurden nun die Moden als Peaks erkennbar. Diese Eigenmoden der Deckenhälften, charakterisiert durch Frequenz, Bandbreite und Übertragungsfaktor bildeten erste Merkmale. Bei Holz handelt es sich bekanntermaßen um ein inhomogenen, orthotropen Werkstoff. Mit der Annahme von einer homogenem isotropen Rechteckplatte lassen sich aus den ersten Eigenmoden die Elastizitätsmoduln längs und quer zur Faserrichtung des Holzes berechnen. Die Frequenzabweichungen höherfrequenter Moden vom berechneten Wert stellten ein weiteres Merkmal des Resonanzholzes dar.

Da der Instrumentenmacher nur den Klang beim subjektiven Klopfest berücksichtigen kann, wurden die entsprechenden Parameter der Eigenmoden auch aus dem Frequenzspektrum des Schalldruckpegels gewonnen.

Weiterhin wurde die Abklingzeit des Klopftones und das Gewicht aller Deckenhälften bestimmt und mit in die Reihe der Merkmale aufgenommen.

## Clusteranalyse

Um den Aufwand bei der Fertigung der Instrumente gering und subjektive Test überschaubar zu halten, sollte Material für den Bau von ca. 30 Gitarren in geeigneter Weise aus der Gesamtmenge herausgesucht werden. Eine Clusteranalyse nach dem Ward-Verfahren erwies sich als das geeignete Mittel, um Deckenhälften mit ähnlichen Eigenschaften in Klassen zusammenzufassen. Berücksichtigt wurden bei der Clusteranalyse die Abklingzeit des Klopfklanges und das Gewicht jeder Gitarrendeckenhälfte. Als Merkmale aus der Übertragungsfunktion wurden nicht die Lage und Parameter der Eigenmoden benutzt, da diese nicht alle eindeutig zuzuordnen und damit nicht vergleichbar waren, sondern es wurde ein Maß für die Ähnlichkeit der Übertragungsfunktionen eingeführt und mit diesem die Clusteranalyse durchgeführt.

Als Ergebnis der Clustering erhielt man 5 Klassen, wobei die Anzahl der Klassen vorgegeben wurde. Innerhalb jeder Klassen wiesen die Deckenhälften ähnliche Eigenschaften auf, zu Decken anderer Klassen unterschieden sie sich voneinander. Jede dieser Klassen enthielt nur Elemente einer Baumart. Die Klassen korrelierten mit den 5 verschiedenen Stämmen erstaunlich gut. Lediglich in zwei Klassen mischten sich Decken aus zwei Stämmen zu etwa gleichen Teilen. Betrachtet man die Häufigkeitsverteilungen der E-Moduln in und quer zur Faserrichtung des Holzes, erkennt man, daß sich beide für die zwei betreffenden Stämme kaum unterscheiden. Insgesamt fallen für die 5 Stämme die Unterschiede bei den Häufigkeitsverteilungen der E-Moduln quer zur Faserrichtung im Gegensatz zu denen in Faserrichtung geringer aus.

Aus jeder dieser Klassen wählte man 6 Deckenpaare aus, die sich nahe am Schwerpunkt im Merkmalraum befanden. Diese Decken wurden subjektiv vom Gitarrenbauer beurteilt und schließlich für Gitarren gleicher Bauart verwendet.

## Zusammenhänge und Ergebnisse

Für diese Instrumente wurden die Übertragungsfunktionen gemessen, die die Gitarren sehr gut charakterisieren. Eingangsgröße ist dabei die auf den Steg wirkende Kraft, Ausgangsgröße ist der Schalldruck in 1 m Entfernung von der Gitarrendecke. Durch eine Vielzahl von Untersuchungen an

unterschiedlichen Gitarren wurden aus Übertragungsfunktionen bereits Merkmale gefunden, die mit subjektiven Beurteilungen gut korrelieren. Es handelt sich dabei um die Frequenz der Hohlraumresonanz, die Güte der ersten reinen Deckenresonanz, den Pegel der 3. Resonanz und verschiedene Bereichsmittelwerte. Der Bereich von 50 Hz bis 5 kHz gibt einen Übertragungsfaktor über den gesamten Meßbereich an. Der Baßbereich reicht von 50 Hz bis 200 Hz, der Bereich von 800 Hz bis 1,2 kHz charakterisiert die Klarheit und der Bereich von 2 kHz bis 5 kHz widerspiegelt ein Maß für die Helligkeit.

In einem subjektiven Test haben Musiker die Gitarren bewertet. Der Test bestand aus einem Hörtest und einem Spieltest. Im Hörtest wurde nur nach einem Gesamtklangeindruck gefragt, wogegen im Spieltest neben den Klangeindruck noch nach weiteren Eigenschaften, wie z.B. Spielbarkeit und optischer Beschauqualität gefragt wurde.

Die Bestimmung der Korrelationskoeffizienten zwischen allen Merkmalen der Deckenhälfte und der Gitarre gibt Auskunft über Merkmale, zwischen denen ein Zusammenhang besteht. Zunächst wollen wir uns kurz der subjektiven Bewertung der Deckenqualität widmen. Die Korrelationskoeffizienten zwischen den subjektiven Beurteilung der Gitarrendecke und der Gitarre schließen monotone Zusammenhänge bei der Klangbeurteilung aus. Dagegen korreliert die Beurteilung der Gitarrendecke mit der Beurteilung des Gesamteindruckes und der Optik des Instrumentes, so daß es naheliegt, daß die subjektive Beurteilung der Decken nur nach optischen Gesichtspunkten geschah.

Bei der Betrachtung der Korrelationskoeffizienten zwischen objektiven Deckenmerkmalen und der subjektiven Beurteilungen sowohl der Instrumente als auch der Decken zeigt sich folgendes Bild. Die subjektive Bewertung des Klanges, sowohl im Spiel- als auch im Hörtest, korreliert nur mit den Elastizitätsmoduln in Faserrichtung des Holzes und mit der Deckenmasse. Eine große Masse und ein hoher E-Modul in Faserrichtung führen zu einer schlechteren

Klangbewertung der Instrumente. Der E-Modul quer zur Faserrichtung beeinflusst dagegen nur die subjektive Beurteilung der Gitarrendecke. Spätholzanteil, Variationsmaß und die Homogenität der Eigenmoden korrelieren ebensowenig mit der subjektiven Bewertung von Decke und Instrument, wie die Abklingzeit des Klopftones und die Güte der Eigenmoden.

Für die Suche nach Zusammenhängen von objektiven Deckenparametern und objektiven Merkmalen der Gitarre wurde sich wieder auf die Korrelationsanalyse gestützt. Aus den Koeffizienten erkennt man, daß Deckenmasse und E-Modul in Faserrichtung die Hohlraumresonanz und die erste Deckenresonanz beeinflussen. Insbesondere die Masse bestimmt auch den Übertragungsfaktor der Hohlraumresonanz und das Übertragungsverhalten im gesamten Baßbereich. Die E-Moduln in Querrichtung beeinflussen die Frequenzen höherer Moden. Größere E-Moduln erhöhen die Modenfrequenz erwartungsgemäß.

Beginnend mit dem E-Modul in Faserrichtung  $E_F$  wollen wir uns einige Merkmale genauer anschauen. Es wurden, wie oben erwähnt, Instrumente besser bewertet, je kleiner der E-Modul  $E_F$  war. Wertet man nur Fichtendecken aus, so liegen die subjektiv besser beurteilten Instrumente im Bereich von  $E_F \approx 10$  bis 14 GPa, was auch der bisherigen Auffassung von gutem Resonanzholz entspricht. Dieser Bereich ließe sich anhand dieser Ergebnisse dahingehend neu fassen, daß  $E_F < 12$  GPa sein sollte. Da die unterer Grenze für  $E_F$  des verwendeten Fichtenholzes bei ca. 9 GPa lag, läßt sich eine Untergrenze aus dieser Stichprobe nicht ermitteln.

Auch die Schallgeschwindigkeit der Longitudinalwelle  $c$ , die nach bisherigen Auffassungen eher hoch liegen sollte, erbrachte für niedrige Werte eine bessere subjektive Klangbeurteilung der Instrumente.

Schließlich betrachten wir noch die Deckenmasse. Auch hier führt eine niedrige Masse zu einem besseren klinglichen Ergebnis. In den Bereich für gutes Fichtenresonanzholz, der mit  $\rho = 0,38 \dots 0,45 \text{ g/cm}^3$  angegeben wird, fallen auch hier die besser bewerteten Instrumente.

Wie kommen nun solche, der bisherigen Auffassung widersprechende Ergebnisse zustande?

Die Mischung von Tannen- und Fichtendecken hat bei der subjektiven Beurteilung der Decken und auch Gitarren wahrscheinlich etwas irritiert.

Betrachtet man nur Fichtendecken der Klasse, die die besten subjektiven Ergebnisse brachte, ist eine Korrelation nicht mehr nachweisbar. Möglicherweise brachte die Vorsortierung des Holzes durch den Instrumentenmacher bei anderen Untersuchungen also ein anderes Bild. Es ist auch nicht auszuschließen, daß sich die hier ermittelten Zusammenhänge nicht allgemein auf Instrumente anderer Bauart übertragen lassen.

*Die Untersuchungen erfolgten im Rahmen eines Projektes, das vom Bundesministerium für Wirtschaft gefördert wurden.*

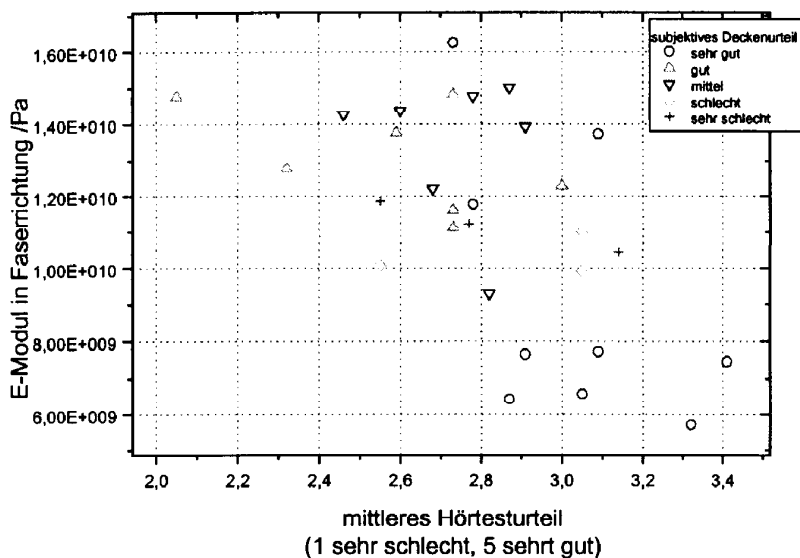


Abbildung 1 E-Modul in Faserrichtung in Abhängigkeit vom mittleren Hörtesturteil