

SCHWINGUNGSMUSTER EINER GEIGENDECKE



INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	2
2. Informationen zur Geige	2
2.1 Die Vorgeschichte	2
2.2 Die Kunst des Geigenbaus	4
2.3 Physikalisches an der fertigen Geige	6
3. Versuche zu Frequenzmustern an der bearbeiteten beziehungsweise unbearbeiteten Geigendecke	7
3.1 Versuchsanordnung, Vorgehen	7
Versuchsanordnung	7
Vorgehen	8
3.2 Resultate	9
3.2a der unbearbeiteten Decke	9
3.2b Decke nach der Bearbeitung	13
4. Diskussion	16
Erklärung für die Entstehung der Muster	16
Geigenbauer-Richtlinien	17
5. Schluss	20
6. Literaturverzeichnis	20

ABSTRACT

Ich gebe einen kurzen Abriss zur Geschichte des Geigenbaus und zur Bestimmung von Klangfiguren bei verschiedenen Frequenzen (Chladnifiguren) auf Geigenplatten. Dann beschreibe ich den Geigenbau, insbesondere das Platten-Tuning und erwähne physikalische Regeln zur Klangentwicklung an der fertigen Geige. Eigene Versuche zu Frequenzmustern einer Geigendecke vor und nach der Bearbeitung werden dargestellt. Es folgen eine Diskussion der Resultate und der Vergleich mit einigen Angaben aus der Literatur. (Resonanz)

1. EINLEITUNG

In meiner freien Zeit samstags arbeite ich als Hilfskraft bei Martin Keller, dem Geigenbauer in Wetzikon. Dabei schaue ich ihm oft über die Schulter, wie er angekaufte Geigen auseinander nimmt, um den Klang zu verbessern. Dazu bestimmt er von der Geigendecke sogenannte Frequenzmuster, die anzeigen, wie die Decke schwingt. Anhand dieser Frequenzmuster kann man die Schwingungseigenschaften der Decke optimieren. Da dieses Vorgehen hörbar gute Ergebnisse liefert, interessierte ich mich nur noch mehr dafür. Diese Muster näher zu ergründen und Experimente durchzuführen bot sich geradezu an.

Ich fragte mich, ob es mir gelingen würde, im Rahmen einer Maturarbeit mit einfachen Mitteln die Muster sichtbar zu machen. Zudem die Unterschiede an einer Geige in Bezug auf die Muster an einer unbearbeiteten und einer bearbeiteten Decke festzustellen. Ich danke Martin Keller für all das Material, das er mir in Form von Büchern und Geigendecken zur Verfügung gestellt hat, und für seine kompetente Hilfe. Ebenso bedanke ich mich bei Herrn Grentz für die angenehme Betreuung meiner Arbeit.

2. INFORMATIONEN ZUR GEIGE

2.1

DIE VORGESCHICHTE

Die Entstehung der Violinenfamilie ist dunkel. Nur durch Vermutungen, Analogien und Folgerungen können wir vorankommen, den Weg des Instrumentes zu verfolgen. Es ist schwierig, den Überblick über all die zahlreichen und zum Teil widersprüchlichen Studien zu behalten. Die Vorgeschichte der Geige setzte im engeren Sinne mit der Erfindung des Streichbogens ein. Die Datierung dieses Ereignisses war lange Zeit umstritten, aus heutiger Sicht recht naiv mutet uns die Aussage Leopold Mozarts (1756) an: "Die Violine ist von Orpheus, dem Sohn Apollos, erfunden worden; und die Dichterin Sappho erdachte den mit Pferdehaaren bespannten Bogen und war die erste, die nach heutiger Art geigte.". In diesem Satz sind gleich zwei Unwahrheiten versteckt. Zum einen ist es heute klar widerlegt, dass die Violine in jener Zeit entstand. Zum anderen ist es ein Irrglaube, dieses doch recht komplizierte Instrument sei von einem einzigen Genie erschaffen worden. Vielmehr kamen im 16. Jahrhundert verschiedene Instrumentenbauer unabhängig voneinander auf die heutige Form, indem sie bestehende Instrumente durch innovative Versuche verbesserten.



Bilder zum Teil aus [6] Abb. 1

Ein erster Vorfahre der Geige war wohl die Crwth aus dem 7. Jahrhundert. Deren sechs Saiten wurden erst gezupft. In welcher Zeit der Bogen hinzu kam, ist unbekannt. Der mit Rosshaaren bespannte Bogen selber wurde zwei Jahrhunderte später in Zentralasien entwickelt. Ebenfalls dort entstanden und später, im 11. Jahrhundert, mit dem Bogen nach Spanien exportiert wurde die Rabab. Die Spanier kreierten aus ihr die Fidel, der wohl direkteste Vorfahre der Geige. Mit bis zu sechs Saiten bestückt, spielte man sie auf den Oberschenkeln oder vor dem Körper, oft als Begleitung zum eigenen Gesang. Das erste Instrument, das wie die heutige Violine auf der Schulter getragen wurde, ist die Rebec, deren drei Saiten in Quinten gestimmt waren. Sie gleicht sehr stark der Laute, da auch sie ohne Zargen (Seitenwände) auskommt. Aus dem Bedürfnis heraus, den Tonraum nach unten zu erweitern, entwarf man die Viola da braccio. Deren achterförmige Körper entstand nicht nur aus ästhetischen Beweggründen, sondern auch weil die Saiten über einen gewölbten Steg liefen und der Bogen damit mehr Bewegungsfreiheit benötigte. Zugunsten der Stabilität gestaltete man die C-förmigen Löcher zu einem f um. Somit war die Viola da braccio beinahe identisch mit der heute gebräuchlichen Violine. 30 bis 50 oder noch mehr zusätzliche Jahre zu veranschlagen für den Entwicklungsprozess, der zur Violine geführt hat, wird nicht übertrieben sein. Mit dem Schaffen des Antonius Stradivarius und des kongenialen Josephus Guarnerius del Gesù wurde nach 1700 ein Höhepunkt im Geigenbau erreicht, als Ergebnis von zwei Jahrhunderten von Bauerfahrungen, die im Meister/Schüler-Verhältnis von einer Generation an die andere weitergegeben wurden.

Nochmals hundert Jahre später (1802) publizierte Ernst Florenz Friedrich Chladni ein "Lehrbuch über Akustik", in dem er unter anderem über Klangfiguren berichtete, die auf freien Geigenplatten bei bestimmten Frequenzen entstehen. Diese Klangbilder wurden dann auch nach ihm benannt, und die Ergründung ihrer Bedeutung für den Klang einer fertigen Geige ist noch heute Gegenstand intensiver Forschung.

Aus [4],[5],[6]

2.2

DIE KUNST DES GEIGENBAUS

Die erste Aufgabe auf dem Weg zur fertigen Geige tönt einfacher, als sie ist: Nämlich das Holz für Boden und Decke zu finden. Für die Decke braucht man Fichte. Ein Geigenbauer achtet bei der Auswahl des "richtigen Stücks" nicht nur auf die Grösse, sondern auch auf eine ganze Liste anderer Eigenschaften. Beispielsweise sollten die längs, radial, keilförmig aus dem Baum geschnittenen Platten eine möglichst regelmässige Maserung der Jahrringe haben. Da sich totes Holz mit zunehmendem Alter verändert, sprich durch Wasserverlust leichter, das Holz selber aber dichter und härter wird und sich verzieht, bevorzugt man während langer Zeit getrocknete Stücke. Holz mit Astlöchern, Rissen und sonstigen "Fehlern" scheidet schon vor der Einlagerung aus. Sowohl den Boden als auch die Zargen, also den "Rand" des Geigenkörpers, fertigt man aus Ahorn. Das diesmal quer, also horizontal im Baum gewachsene Holzstück sollte ebenfalls leicht und von regelmässiger Beschaffenheit sein.

Dieses Ahornholz nimmt man denn auch zur Hand, schneidet daraus 1.5 mm dicke Streifen, 450 mm lang und etwa 33 mm breit. Sie sollen der Kontur der Geige folgen, um so als Verbindung von Boden und Decke die Zarge zu bilden. Mit viel Fingerspitzengefühl und Hitze wird das Holz in die richtige Form gepresst und verleimt. Zur höheren Stabilität bringt man oben und unten kleine Kantleistchen an.

Jetzt folgen Boden und Decke, welche ich in ihrer Entstehung genauer beschreibe, da sie sowohl für den Klang einer Geige als auch für meine Arbeit eine grosse Relevanz besitzen. Obwohl beide Teile einige Gemeinsamkeiten haben, sind viele kleine Unterschiede festzustellen, die ihre Fertigung und ihre Funktion betreffen. Die Decke ist sozusagen der "Maschinenraum", welcher den Ton der Saite verstärkt. Auch wenn der Boden akustisch bedeutungslos wäre, hat er eine wichtige Funktion, vor allem in höheren Tonlagen, auf die später eingegangen wird. Decke und Boden sind immer als ein korrespondierendes Paar anzusehen und werden häufig parallel bearbeitet.

Diese beiden Platten setzen sich aus zwei längs geleimten Hälften zusammen. Die erste Herausforderung besteht nun darin, zwei Fichtenkeile (bei der Decke) an den dicken Enden senkrecht aufeinander zu leimen. So ist die Symmetrie des Holzes in Bezug auf die Jahrringe gewährleistet und zudem der Holzverbrauch minimiert. Die Aussenlinie der Decke ist gegeben, wenn man der Form der Zargen nachfährt und 2.5 mm dazurechnet. Fein säuberlich der Linie nachgesägt und geschliffen, wird das Holz auf seine plane Fläche gelegt und der Rand zwischen 7 und 9 mm stark gemacht. Um mechanischer Einwirkung besser zu begegnen, sind die Ecken der mittleren seitlichen Aussparungen etwas dicker.



Die Einlagen werden eingesetzt.

[3] s.121

Einlagen nennt man die zwei parallelen schwarzen Linien, die einen Rahmen um die Geige zeichnen. Ein Instrument ohne diese Einlagen wirkt unvollendet. Auch als Stossdämpfer kommt ihr keine unwichtige Rolle zu. In einen Kanal rund ums Instrument leimt man einen Streifen aus schwarz gefärbtem, durch eine helle Schicht getrenntem Birnenholz ein (Abb. 2).

Die Randregion so eigentlich fertiggestellt, kann man sich daran wagen, in mehreren Arbeitsschritten die äussere Wölbung zu erarbeiten. Ist diese schön ausgearbeitet, entfernt man auf der anderen Seite Holz, bis alles auf eine Dicke von rund 4 mm reduziert ist. Obwohl es für die f-Löcher viele Empfehlungen gibt, wie sie akustisch und optisch vorteilhaft erscheinen, behält der Künstler Freiheiten, die es ihm ermöglichen, einen eigenen Stil zu etablieren. Eingebürgert hat sich der Bassbalken. Diesen von aussen nur schwer sichtbaren Balken montiert man links der Mitte auf die Innenseite der Decke. Seine elementare Funktion wird später beschrieben. Die millimetergenaue Positionierung des Bassbalkens ist fundamental.

Weniger simpel, dafür von hohem Interesse für diese Arbeit ist das folgende Kapitel: Das "Platten-Tuning" ist noch heute Gegenstand zahlreicher Forschungsprojekte und bei weitem noch nicht mathematisch exakt beschrieben. Viele Geigenbauer verlassen sich heute noch komplett auf ihr Gefühl. Das heisst, dass sie solange Holz von der Unterseite der Decke entfernen, bis sie genug "flexibel" ist. Dabei gehen sie so vor wie Geigenbauer seit Urzeiten:

Experimentell haben die Pioniere des Geigenbaus festgestellt, dass bei Decke und Boden drei "Beugungs-Achsen" und ein sogenannter "Klopftton" massgeblich sind. Sowohl längs als auch quer zur "Leimnaht" muss sich die Platte beugen lassen. Man nimmt sie so in die Hände, dass die Daumen in die Mitte zeigen und die anderen Finger den Rand halten. So drückt man nun mit den Daumen das Holz und prüft den Widerstand. Für die dritte Probe dreht man die obere gegen die untere Hälfte. Wenn man dies so liest, fragt man sich, was denn "flexibel" konkret bedeutet. Diese Frage ist nicht einfach zu beantworten, da mehrere Faktoren eine Rolle spielen. Da ist erst einmal das Problem der Stabilität. Die Decke muss der gesamten Saitenspannung, die über den Steg auf sie einwirkt, entgegenwirken. Einen Teil von ihr gibt sie über den Stimmstock, einen Stab unter dem Steg, der die Decke mit dem Boden verbindet, an diesen weiter. Ist das Holz des Bodens zu dünn, kann es dem Druck nicht mehr standhalten. Ein zweiter und nicht eben unwichtiger Faktor zur Flexibilität ist die Tatsache, dass dieses spezielle Stück Holz später gut tönen sollte! Während man dem ersten Problem mit statischen Berechnungen beikommen kann, muss man das zweite im Gefühl haben. Der "Klopftton" ist dabei eine grosse Hilfe. Man nimmt die Geigendecke zwischen Daumen und Zeigefinger der einen Hand an der Leimnaht, 5 cm unter dem oberen Rand. Mit der anderen Hand klopft man in der Mitte auf die Platte. Der erklingende Ton sollte möglichst klar und deutlich sein und von der Frequenz her um die 350 Hertz.

In den folgenden Schritten kommt vor allem die bildhauerische Schnitzkunst des Geigenbauers zum Tragen. Das Ausarbeiten des Halses samt Schnecke nimmt einige Zeit in Anspruch. Das schwarze Griffbrett ist aus Ebenholz gefertigt und muss vor allem den Fingern eine harte Unterlage bieten. Die Festigkeit wird weiter erhöht durch Klötze oben, unten und in den vier Ecken des Geigenkörpers. Um das fertige Instrument vor Schmutz, Feuchtigkeit und mechanischer Deformation zu schützen, behandelt man es mit einer Grundierung. Zum Schluss fügt man einen elastischen und bindenden Lack an. Die Trocknungszeit beträgt etwa zwei bis drei Wochen.

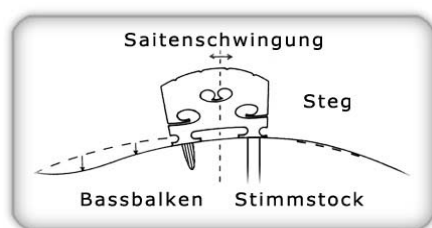
Bis zu diesem letzten Schritt stecken bis zu zweihundert Arbeitsstunden im Instrument, das zu recht die Königin der Streichinstrumente genannt wird.

2.3

PHYSIKALISCHES AN DER FERTIGEN GEIGE

Dem charakteristischen Geigenton liegt ein so komplexes System zu Grunde, dass es sich nicht mit mathematisch exakten Formeln beschreiben lässt.

Der Bogen, mit dem man mit Druck über die Saiten streicht, ist bespannt mit Ross-Schwanz-Haaren. Diese besitzen kleine Widerhäkchen, welche dank einem Harz, dem Kolophonium, klebrig sind. Die Saite wird nun solange vom Bogen mitgezogen, bis ihre Spannung grösser ist als die Haftreibung zwischen ihr und dem Bogen. Blitzartig schnellt die Saite in ihre Ausgangslage zurück, wo sie sich wiederum dem Bogen anhaftet. So gerät sie in eine sägezahnförmige Schwingung. Nach einer kurzen Einschwingzeit (.1 s) schwingt sie mit einer Frequenz, die von ihrer Masse, Spannung und der durch den Fingergriff des Geigers festgelegten Länge abhängt. Dieser Ton, der in Wirklichkeit aus der Überlagerung vieler verschiedener Schwingungen besteht, ist für das menschliche Ohr nur schwach hörbar.



frei nach [1] (S. 146) **Abb. 3**

Die Aufgabe des Steges ist es, die Schwingungen der Saite auf den Korpus zu übertragen (Abb. 3). Zum einen muss er dazu die Schwingungsrichtung der Saite in die zu ihr senkrechte Schwingungsrichtung der Decke umsetzen. Zum anderen sollte er die sehr hohen Teilschwingungen der Saite, die zu hässlichen Nebengeräuschen führen, absorbieren.

Es kann keinen Zweifel darüber geben, dass der Geigenton steht und fällt mit der Qualität der Decke. Von der Theorie ist hier nichts zu erhoffen. Die Geigendecke mit ihrer komplizierten Form, f-Löchern, Bassbalken, Stimmstock und Wölbung ist jeder Berechnung unzugänglich. Auf was es letztlich alles ankommt, wissen wir bis heute nicht genau zudem ist der "optimale Klang" physikalisch noch nicht definiert, und von Gehör zu Gehör verschieden.

Die Funktion der f-Löcher ist schon leichter einzusehen. Es geht nicht etwa, darum den Ton aus dem Instrument "herauszulassen", sondern die Stegregion, auf die die Saitenschwingung übertragen wird, beweglicher zu machen. Es gibt eine Frequenz, die anders ist als die übrigen: die Hohlraum- oder Helmholtzresonanz. Es handelt sich bei ihr um die Resonanzfrequenz der Luft im Innenraum der Geige, bei der die f-Löcher, oder vielmehr die Luft um sie und in ihnen eine entscheidende Rolle als schwingende Masse spielen.

Unterhalb des Steges befinden sich zwei Hilfsgeräte, die der Decke helfen, dem Druck der Saitenspannung, die über den Steg auf sie einwirkt, entgegenzuwirken: Stimmstock und Bassbalken. Der Klang jedes Instruments hängt wesentlich von ersterem ab, und zwar von seiner Position unter dem rechten Stegfuss. Dort nämlich dämpft er den rechten Fuss des Steges, der auf diese Weise asymmetrisch schwingt (Abb. 3). Ohne ihn würden beide Füße genau gegeneinander schwingen, sodass sich die Schallwellen in der Mitte neutralisieren würden! Eine Violine ohne Stimmstock würde recht kläglich klingen. Die Funktion des Bassbalkens ist im wesentlichen statischer Art. Er trägt die Last des linken

Stegfusses mit, weil die Decke allein wegen ihrer Schwächung durch die f-Löcher dazu nicht in der Lage wäre.

Schnecke, Hals, Griffbrett und Saitenhalter sind weitgehend Statisten im Spiel um den Geigenklang und haben abgesehen von ästhetischen nur technische Funktionen.

Aus [1],[3]

3.

VERSUCHE ZU FREQUENZMUSTERN AN DER UNBEARBEITETEN BEZIEHUNGSWEISE BEARBEITETEN GEIGENDECKE

3.1

VERSUCHSANORDNUNG, VORGEHEN



Die Versuchsanordnung

Versuchsanordnung: Das Ziel ist, die Schwingungen einer freien Geigendecke sichtbar zu machen. Aus einem Lautsprecher erzeugte Schallwellen regen die sich über ihm befindliche Decke an. Der Lautsprecher ist angeschlossen an einen Frequenzgenerator, der beliebige Töne erzeugen kann. Ich verwende nur reine Töne, das heißt Töne, die sich durch eine einzige Sinusfunktion beschreiben lassen. Die Anordnung stellt das Problem, dass sich die Decke zwar über dem Lautsprecher befinden,

aber nicht in ihrer Schwingung beeinflusst oder behindert werden soll. Konkret heißt das, dass man sie nirgends einspannen darf, auch wenn man argumentieren könnte, dass eine rundum eingeklemmte Geigendecke die Situation einer richtigen Violine realistischer simuliert. Dem muss man entgegenhalten, dass so die Schwingungen viel massiver gedämpft und somit schwieriger zu messen wären. In der Violine schwingen die Zargen zudem mit. Die Geigendecke am Schwerpunkt auf möglichst kleiner Fläche aufzulegen bringt auch noch nicht die erwünschte Freiheit. Die lockere Aufhängung an den Ecken der Decke mit Hilfe langer Gummibänder erweist sich als Favorit. Dabei sollte die Platte möglichst nah über dem Lautsprecher "schweben", damit in der Energieübertragung ein möglichst hoher Wirkungsfaktor erlangt wird.



Nun habe ich eine bei beliebigen Frequenzen "frei" schwingende Geigenplatte, doch ich sehe nichts! Wenn man Sand auf die Decke verteilt, werden die einzelnen Körner von der schwingenden Platte in die Luft gespickt. Eine Ausnahme hierbei bilden die sogenannten "Knotenlinien" (Abb. 5). Dies sind Achsen, um die die Decke schwingt, und somit die ruhenden Stellen, an denen sich der Sand anlagert. Der Sand besitzt jedoch die Tendenz, die Wölbung der Platte hinunterzukullern und sich am tiefsten Punkt zu sammeln. Wenn man stattdessen geraffelten Kork verwendet, minimiert man dieses Phänomen. Ich habe die so entstandenen "Figuren" zusammen mit den dazugehörigen Frequenzanzeigen fotografisch festgehalten.

Ich führte diese Versuche zweimal an derselben Geigendecke durch. Der Bassbalken wurde entfernt, nicht nur weil er die Schwingung dämpft und deshalb die Figuren weniger deutlich erscheinen lässt, sondern auch weil sich der Kork an ihm aufstauen würde. Die Geigendecke wurde vor der zweiten Versuchsreihe von Herrn Martin Keller, Geigenbauer in Wetzikon, bearbeitet. Er ging nach einem System vor, das er auf der Basis der Chladnifiguren selber entwickelt hat und weiter unten erklärt wird. Bis zu 1.5 mm dünner wurde die Decke dadurch. Nach der Bearbeitung verringerte sich das Gewicht um 4g auf 72g.

Vorgehen: Mein Vorgehen zur Entstehung der Frequenzmuster lässt sich in drei Arbeitsschritte einteilen. Zuerst verteilt man über die ganze Decke gleichmässig Kork und beschallt die eine Hälfte. Langsam variiert man die Tonhöhe und beobachtet die andere Hälfte genau. Dabei muss man sich vor Augen halten, dass die Körner zwar immer aufspringen, richtig hochgeschleudert werden sie jedoch nur dort, wo ein Frequenzmuster im Entstehen begriffen ist. Denn dort schwingt die Decke in einer "einheitlichen", optimalen Art und Weise. Der Grund, weshalb man die eine Seite anregt und auf der anderen nach Mustern Ausschau hält, liegt darin, dass auf der angeregten Hälfte die Muster durch aufgezwungene Schwingungen zerstört werden.

Zur Phase zwei kann man übergehen, sobald man ein "verdächtiges" Frequenzmuster lokalisiert hat. Um die oben genannte Zerstörung zu verhindern, versucht man nun zuerst, das Muster zu errahnen, um dann den Lautsprecher unter die am stärksten schwingende Stelle zu positionieren. Damit wird nur dort angeregt, wo die Platte bei dieser Frequenz auch wirklich schwingt. Diese Stellen kann man entweder am "hüpfenden" Kork erkennen, mit der Fingerspitze die stärkste Schwingung suchen, oder man kann die Boxe verschieben. Beim Verschieben merkt man schnell, ob das Muster klarer wird oder nicht. Der Kork wird nochmals fein verteilt und die Lautstärke auf ein Minimum reduziert. Ganz langsam geht man nun den vorher ermittelten Frequenzraum genauer durch, mit dem Ziel, diejenige Tonhöhe zu finden, bei der das Muster mit minimalster Anregung (Lautstärke) erscheint. Dabei muss man beachten, dass man das Muster nicht einem falschen Ton zuschreibt, wenn es sich bei weiteren Frequenzänderungen aufgrund der wieder abnehmenden Amplitude nicht mehr verändert. Am besten nähert man sich mal von "oben" und mal von "unten" dem gesuchten Ton und nimmt nachher den Mittelwert. Die Muster treten selten bei einer genau definierten Frequenz auf, sondern meist in einem gewissen Frequenzraum.

Die so erhaltenen Muster sollen natürlich rekonstruierbar sein. Dies zu prüfen ist die dritte und letzte Aufgabe meines Experimentes. Der neu verteilte Kork sollte sich bei der vorher ermittelten Frequenz sofort an den Knotenpunkten ablagern und das Muster bilden. Dabei muss man ihn mit einem Pinsel wegnehmen, wo sich zuviel angelagert hat und er am tiefsten Punkt hin und her gespickt wird. Wenn sich die für eine Frequenz charakteristischen Zeichnungen optimal eingefunden haben, fotografiert man sie. Und geht wieder zum ersten Punkt über.

3.2 RESULTATE

3.2a

UNBEARBEITETE DECKE

An der unbearbeiteten Decke habe ich 7 Frequenzen ausgemacht, die zu einem Muster führen. Obwohl nicht alle Muster gleich ausgeprägt sind, sind sie reproduzierbar. Ich habe sie in den Abbildungen 6-12 dargestellt:







Ich habe die Muster nach aufsteigender Frequenz nummeriert. Es handelt sich dabei um die gleiche Nummerierung, wie sie ihr Entdecker Chladni vorgenommen hat und in der Literatur gebräuchlich ist. Referenzmuster sind jeweils in den kleinen Kästchen in der unteren linken Ecke der Abbildung angebracht. Sie stammen aus [2] (Seite 444, die zugehörigen Frequenzen sowie das Muster 6 auf Seite 416).

Das Muster Nummer 1 liegt ziemlich genau bei 94 Hz (Abb. 6). Seine scheinbare Einseitigkeit in der unteren Hälfte liegt an der Positionierung des Lautsprechers im rechten unteren Viertel.

Auch das nächste Muster (Abb. 7) war leicht zu finden.

Im dritten Bild sehen wir eine Erscheinung, die weder mit dem in den Büchern beschriebenen dritten noch vierten Modus kongruent ist (Abb. 8). Mein Modus ist auch nicht sehr ausgeprägt und lässt sich wegen seiner geringen Amplitude nur widerwillig mit Kork abbilden. Liegt hier ein Mangel in der Deckenbearbeitung oder im Holz zugrunde? Auch findet man die beiden Schwingungsarten selten in der Literatur, da sie als unwichtig für die Klangqualität der Geige gelten. Mehr dazu im nächsten Kapitel. Das Foto wirkt verzerrt, weil es ursprünglich aus einem flacheren Winkel aufgenommen und später am Computer in die richtige Form gezogen wurde. Dabei konnte die Wölbung mit den f-Löchern nicht mehr komplett reproduziert werden.

Äusserst charakteristisch ist das fünfte Schwingungsbild ab (Abb. 9). Sowohl seine Frequenz als auch seine Form sind ganz klar umrissen. Auffällig ist die Unregelmässigkeit des unteren Bogens. Sein tiefster Punkt liegt nicht etwa in der Mitte, sondern am unteren Ende des entfernten Bassbalkens. Weder seine Breite noch seine Krümmung sind einheitlich. Ganz im Gegensatz dazu ist die obere Knotenlinie von auffälliger Regelmässigkeit.

Trotz seiner Undeutlichkeit kann man das nächste Muster (Abb. 10) klar dem Modus 6 zuordnen.

Bei 536 Hz bildet sich nochmals ein deutliches Kork-Bild (Abb. 11). Ich fand keine Quelle, in der ein solches mit einer ähnlich hohen Frequenz dokumentiert ist, die meisten beschränken sich auf die Moden 1 bis 5, selten noch nehmen sie den sechsten hinzu.

Das Muster bei 594 Hertz wurde mit schwarzem Sand sichtbar gemacht, da der Kork auf diese minime Amplitude gar nicht mehr reagiert (Abb. 12).

Bei 793 Hz wäre der nächste Modus. Dessen Knotenlinien sind aber so fein, dass der Sand ständig über das Ziel hinausschiesst und sich in der Senke sammelt.

3.2b

DECKE NACH DER BEARBEITUNG

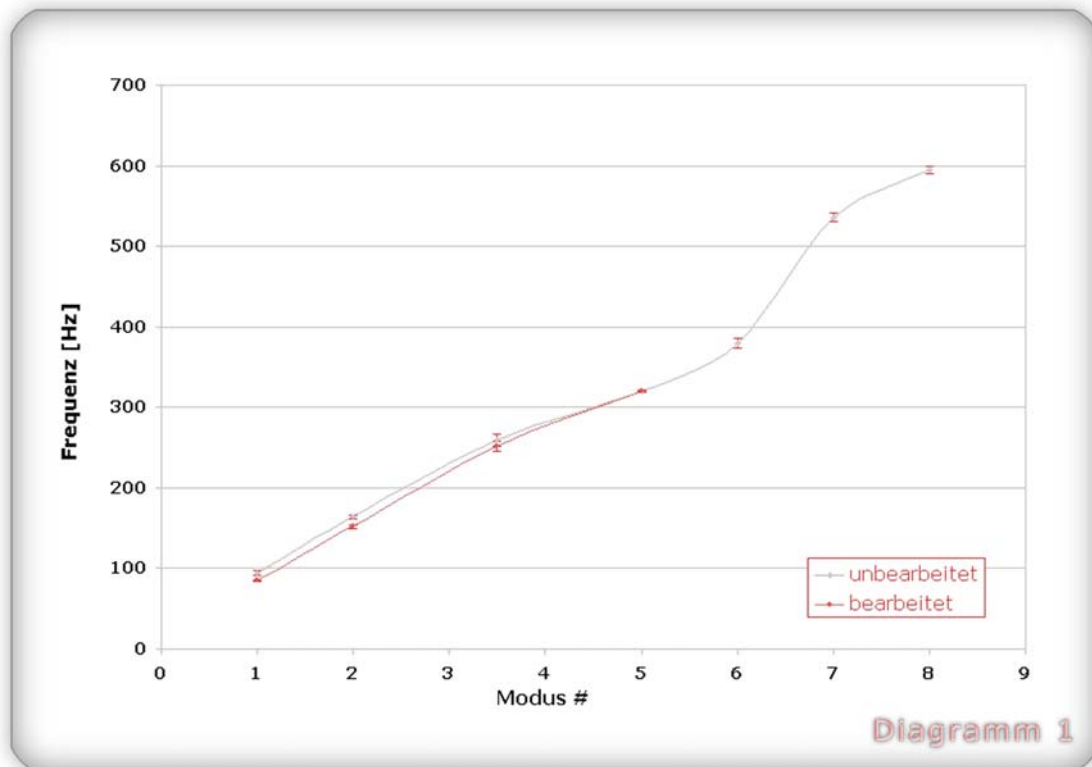


Schon beim ersten Muster bei 85 Hz (Abb. 13) an der bearbeiteten Decke bemerkt man die gesteigerte Ansprache: Dank der höheren Amplitude der Deckenschwingung sammelt sich der Sand erheblich schneller. Auch wird das Bild präziser. Der Frequenzraum ist enger geworden, was eine genauere Frequenzzuordnung erlaubt. Dass die Boxe im rechten unteren Viertel gestanden hat, sieht man am leicht einseitigen Muster.

Nochmals ausgeprägter wurde das Muster bei 152 Hz (Abb. 14). Die Korkkörnchen, die lose verteilt zwischen den beiden gut sichtbaren Linien im tiefsten Punkt der Geigendecke liegen, sollte man ignorieren, da sie dort nicht einen Knotenpunkt bilden, sondern gefangen in der Senke umherhüpfen. Vor dem Fotografieren hätte ich sie wegnehmen müssen.

Auch nach der Bearbeitung taucht unser spezieller Modus bei 251 Hz auf (Abb. 15). Er liegt jetzt zwar 8 Hz tiefer und ist wesentlich präziser, dennoch entspricht er keinem "üblichen" Modus. Obwohl er jetzt deutlicher in der Form ist, erscheint er über ein breites Spektrum von Frequenzen innerhalb von etwa 10 Hertz.

Der fünfte Modus (Abb. 16) ist der stärkste. Seine Amplitude ist deutlich grösser als der aller anderen. Sein Frequenzraum umfasst nur etwa 3 Hz, das heisst bei 317 Hz tritt er schon nicht oder kaum mehr auf. Seine Asymmetrie ist geblieben, der untere Bogen ist jetzt aber regelmässiger und schmaler. Besonders der rechte Teil der oberen Linie fällt auf, sie beschreibt eine viel stärkere Beugung. Ansatzweise ist das auch schon in der ersten Versuchsreihe zu erkennen. Es handelt sich dabei um den idealen Verlauf, auch die andere Seite sollte in dieser Weise verlaufen. Dass die Korklinien länger ausgezogen sind, hat nicht nur mit der besseren Durchführung des Experiments zu tun, sondern ist ein Zeichen für die ausgeglicheneren Schwingungen der Platte.

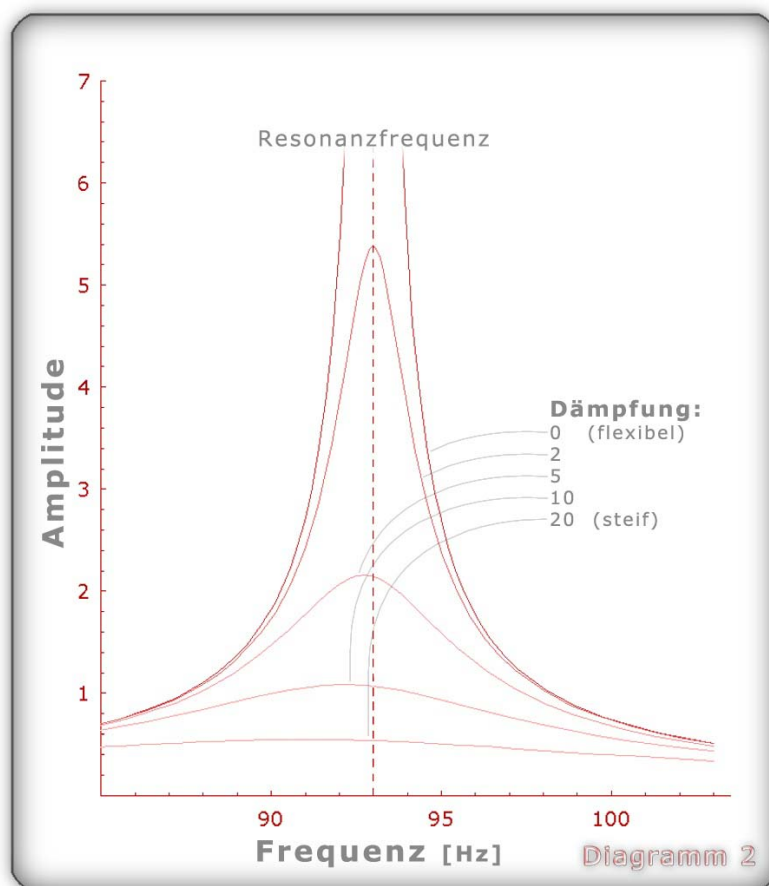


Im Diagramm 1 ist sowohl für die unbearbeitete als auch für die bearbeitete Geigendecke die Frequenz über dem Modus aufgetragen. Zur besseren Übersichtlichkeit habe ich die Punkte miteinander verbunden. Den speziellen Modus bei 251 Hz respektive 259 Hz habe ich zwischen den dritten und den vierten gesetzt. Schön sieht man auf dem Diagramm, wie alle Moden der bearbeiteten Geigendecke etwa 10 Hz tiefer liegen als die unbearbeiteten. Eine Ausnahme bildet der fünfte, der konstant geblieben ist. In der Musik entspricht der Unterschied einem knappen ganzen Ton beim tiefsten bis einem Viertelton beim 3.5ten Modus. Die Frequenzräume sind mit horizontalen Strichen nach unten und oben abgegrenzt. Man sieht, dass jene der unteren Kurve deutlich kleiner sind.

4. DISKUSSION

Erklärung für die Entstehung der Muster: Die Frequenzfiguren sind ein Zeichen dafür, dass die Geigenplatten in stehenden Wellen schwingen und weniger in vom Steg aus fließenden.

Eigenfrequenz nennt man die Frequenz (=Schwingungsgeschwindigkeit), mit welcher eine Platte schwingt, wenn man sie anstößt. Wenn man nun beim Geigenspiel mit der Saite die Platte genau mit der Frequenz anregt, die der Eigenfrequenz entspricht, entsteht das Phänomen der Resonanz. Das heisst dass die Amplitude (grösste Auslenkung einer Schwingung) dort maximal ist, also der Ton am lautesten erklingt, was natürlich bis zu einem bestimmten Grad wünschenswert ist. Die Schwierigkeit liegt darin, diese Eigenfrequenz möglichst in eine Tonhöhe zu bringen, in der die Geige auch gespielt wird. Da solch eine Platte ein komplexes 3-dimensionales Gebilde ist, besitzt sie nicht eine einzige Resonanzfrequenz, sondern eine Vielzahl von ihnen. Dies lässt sich damit erklären, dass die Platte auf viele verschiedene "Arten" schwingen kann und jede "Art" ihr eigenes Frequenzoptimum besitzt. Genau auf diese Frequenzoptima achtete ich bei meinen Versuchen, dort wird der Sand am heftigsten herumgeschleudert.



Die Frage ist jetzt, von was diese Eigenfrequenzen abhängen. Im Diagramm 2 ist die Amplitude der Deckenschwingung über ihrer Frequenz bei verschiedenen Dämpfungen aufgetragen, wobei der x-Wert 93 der Resonanzfrequenz entspricht. Die höchste Kurve

ist bezeichnet mit 0, was für eine Dämpfung von 0 steht. Dämpfung kann man in diesem Zusammenhang mit innerer Reibung des Holzstücks gleichsetzen. Man sieht hier exemplarisch, was geschieht, wenn eben diese Reibung erhöht wird. Die Kurve flacht ab, verbreitert sich, die maximale Amplitude minimiert sich.

Wir können mit Sicherheit sagen, dass die bearbeitete Decke elastischer und weniger gedämpft ist. Der Frequenzraum verschmälerte sich, was mit einer steileren Kurve gleichzusetzen ist (vgl. Diagramm 1). Zudem stieg die Amplitude sprunghaft an. Bemerkenswert dabei ist, dass dies alles auch für das Frequenzmuster 5 zutrifft, das seine Frequenz mit der Bearbeitung nicht wie sonst üblich gesenkt hat.

Das zweite, was man im Diagramm 2 erkennen kann, ist die Veränderung der Resonanzfrequenz. Die Maxima der Kurven verschieben sich mit abnehmender Dämpfung nicht nur nach oben, sondern auch nach rechts, also in den Bereich höherer Töne.

$$\text{Resonanzfrequenz} = \sqrt{\frac{\text{Steifigkeit}}{\text{Masse}} - \frac{(\text{Dämpfung})^2}{2 * (\text{Masse})^2}} \quad (\text{Formel 1})$$

Die Formel 1 legt dar, wie die Resonanzfrequenz mit der Steifigkeit, der Dämpfung und der Masse zusammenhängt. Dämpfung und Steifigkeit ändern sich bei der Geige stets im gleichen Masse, bei grossen Frequenzen hat erstere jedoch einen grösseren Einfluss, was die Rechtsverschiebung der Resonanzfrequenz mit abnehmender Dämpfung im Diagramm 2 erklärt. Man sieht, dass eine zu grosse Dämpfung die Schwingung verhindern kann.

Geigenbauer-Richtlinien: Aus der Sicht eines Geigenbauers, der immer bemüht ist, alles aus seinen Geigen herauszuholen, könnte man sich Folgendes überlegen: "Machen wir alle Geigendecken so dünn wie es nur geht, so dass wir die Resonanzfrequenz in eine tiefere Tonlage drücken und durch die Verringerung der Dämpfung eine massiv grössere Amplitude, also mehr Power bei der Resonanzfrequenz gewinnen." Auf dem Oszillographen (technisches Gerät, das Schwingungen misst) ist das Resultat deutlich sichtbar. Das menschliche Ohr empfindet den Ton aber nicht lauter, sondern hört ihn dumpf. Wie das Ohr Töne hört und verarbeitet, wissen wir bis heute nicht genau, sodass wir die Geometrie des idealen Geigentons nicht auf diesem Weg ermitteln können. Die zu dick geratene Geige tönt fürs Ohr nälend, ähnlich wie ein "normales" Instrument mit aufgesetztem Dämpfer (Gewicht, das am Steg festgeklemmt wird) [1].

Den goldigen Mittelweg zwischen "dumpf" und "nälend" zu finden, ist die Kunst des Geigenbaus. Beim Vergleich mit den klassischen Methoden, die wir im Kapitel 2.2 kennengelernt haben, fällt einem einiges auf: Die Flexibilität der Platte wird durch Biegen entlang bestimmter Linien getestet. Es handelt sich um dieselben Linien, wie sie auch in den Moden eins und zwei vorkommen! Ein Zusammenhang des früher angewendeten Klopftones mit "unseren" Frequenzmustern ist zunächst weniger naheliegend. Wenn man aber beachtet, dass man die Platte genau auf der Knotenlinie des fünften Modus festhält und am Ort seiner grössten Amplitude anregt, wird klar, dass man damit der Geigendecke eben diesen Modus aufzwingt. Wenn der Ton nun laut und klar ist, ist die Flexibilität in dieser Schwingungs-Richtung ausreichend. Weitere Zusammenhänge hat die Geigenbauerin und Wissenschaftlerin Dr. Charleen Hutchins mit ihren Versuchen belegt ([2] S. 413). Sie hat siebenhundert Geigen herstellen lassen und von allen die

Resonanzfrequenzen bestimmt. Dabei hat sich herausgestellt, dass die klanglich hochwertigsten Instrumente ein gewisses Verhältnis der Resonanzfrequenzen zueinander gemeinsam haben. Mit dieser Erkenntnis legt sie den Geigenbauern ein wichtiges Werkzeug in die Hand, das es ermöglicht, Geigen nicht nur nach "Gefühl" zu machen: Der Geigenbauer muss also darauf achten, dass jeder Modus auf eine Frequenz zu liegen kommt, die er im Voraus hat berechnen können.



Herr Keller beim Ausmessen eines Bodens

Martin Keller hat eine Methode entwickelt, die es ihm erlaubt, mit einfachen Mitteln (ohne Frequenzgenerator, Lautsprecher usw.) Gebrauch von diesem Wissen zu machen (Abb. 17). Zuerst nimmt er einen möglichst exakten Plan der Stärkenverteilung einer bestehenden Geigenplatte auf, um allfällige Unregelmäßigkeiten zu erkennen und den Anfangszustand zu dokumentieren. Gesucht sind die Frequenzen der Modi eins, zwei und fünf. Dabei gibt er nicht die Frequenzen vor und sucht die Muster, sondern umgekehrt zwingt er der Decke das Muster auf und misst die Frequenz. Vergleichbar mit dem Prinzip des Klopftons, hält er die Decke an den Knotenpunkten des gewünschten Musters. Das Problem der Anregung löst er auf eine sehr elegante Weise: Am Punkt der grössten Amplitude des verwendeten Musters setzt er eine Glaskapillare auf. Mit den leicht

angefeuchteten Zeigefinger und Daumen gleitet er das Glasstäbchen hinunter. So werden Schwingungen von der Kapillare auf die Decke übertragen. Dabei bestimmt die Platte die Frequenz, und die Energie dazu wird vom Stäbchen nachgeliefert. Mit einem handelsüblichen Stimmgerät lässt sich die resultierende Frequenz messen. Mit diesen

einfachen Mitteln hat er Ergebnisse erhalten, die sich kaum 3% von den meinen unterscheiden, sowohl vor der Bearbeitung als auch nach ihr (Tabelle 1).

Vergleich der erhaltenen Resonanz-Frequenzen				
Modus	vor der Bearbeitung		nach der Bearbeitung	
	Keller	ich	Keller	ich
I	92 Hz	94 Hz	87 Hz	85 Hz
II	165 Hz	164 Hz	152 Hz	147 Hz
V	311 Hz	320 Hz	320 Hz	311 Hz

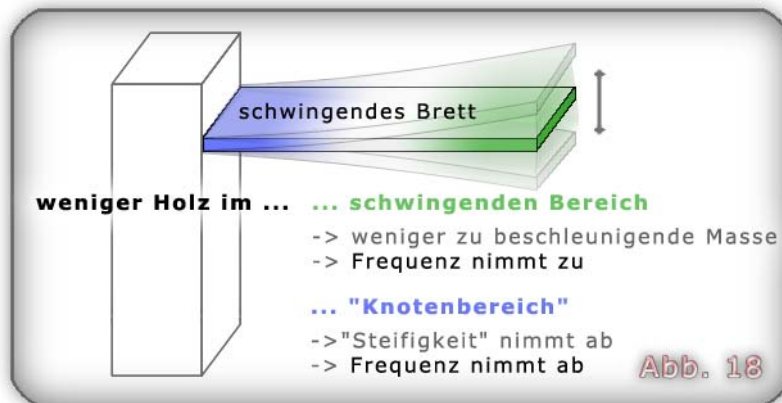
Tabelle 1

Viel komplexer als die Ermittlung der Resonanzfrequenzen ist deren Verwendung zur Verbesserung des Geigenklangs. Auch wenn die Resultate der Forscherin Hutchins von einigen wenigen angefochten werden, bestätigt die geigenbauerische Praxis ihre Richtigkeit. Nicht nur spielt das Verhältnis der Resonanzfrequenzen der Decke untereinander eine Rolle, sondern auch deren Abstimmung mit denjenigen des Bodens.

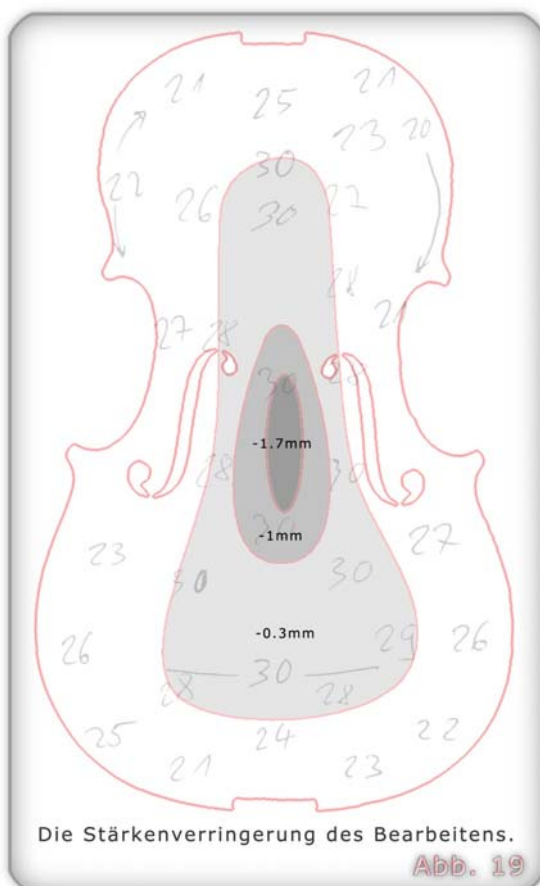
Eine richtige Knacknuss ist die Frage, wo Holz weggehobelt werden muss, um einen bestimmten Modus zu verbessern. Es wurde auch schon versucht, dem Problem mit Computer-Simulationen beizukommen ([2] S.471). Das Resultat stimmt nur mässig mit der Realität überein. Der beste Ratgeber ist die eigene Erfahrung. Am meisten Gewicht

auf die absolute Lage der Resonanzfrequenzen haben die Masse der Decke und ihre Steifigkeit. Beide Grössen hängen von der Dicke der Decke ab.

Vereinfacht kann man sich ein Brett vorstellen, das an einem Ende festgeklemmt ist (Abb. 18). Im schwingenden Bereich bestimmt die Trägheit der Masse die Höhe der Resonanzfrequenz. Die Steifigkeit hat an jenen Stellen am meisten Bedeutung, um die die Platte schwingt, also im Knotenbereich. Dort überwiegt ihr Einfluss den der Masse.



Konkret heisst das, dass man die Frequenz eines Modus erhöht, wenn man an seinen Schwingungsbäuchen Holz entfernt, also die zu beschleunigende Masse (siehe Formel 1) verringert. Umgekehrt senkt man die Frequenz durch Verjüngung der Knoten- und schwach schwingenden Regionen. Masse und Steifigkeit variieren von Modus zu Modus. Mit zunehmender Frequenz spielt auch die Dämpfung, welche proportional zur Steifigkeit geht, eine immer wichtigere Rolle.



Am konkreten Beispiel „unserer“ Geige habe ich anhand der Daten des Bearbeitungs-Protokolls eine Karte der Stärkenverringerung erstellt (mit gedruckten Zahlen beschriftete graue Flächen in der Abb. 19). Die absoluten Stärken nach der Bearbeitung sind in Zehntelmillimetern handschriftlich in grauer Farbe angegeben. Der schmale Streifen der Mitte, der auch die Stelle der grössten Veränderung beinhaltet, ist verantwortlich für die Senkung des Modus 2. Die Verbreiterung des unteren Teiles hatte den Modus 1 beeinflusst. Möglicherweise heben sich die oben genannten Einflüsse bei der Bearbeitung "unserer" Decke im Frequenzmuster 5 auf.

Aus [1],[2]

5. SCHLUSS

Der Traum jedes Geigenspielers ist es, eine alte Meistergeige aus Italien zu besitzen. Die Geigenbauer in der Blütezeit nach 1700 erzielten mit intuitiven Methoden einen Geigenklang, der bis heute unübertroffen geblieben ist. Sie verfügten nicht nur über eine erstklassige Qualität der Materialien, sondern gingen wahrscheinlich nach physikalischen Gesetzmässigkeiten vor, die man erst in jüngerer Zeit wissenschaftlich zu entdecken begonnen hat (Dr. Charleen Hutchins). Es ist erstaunlich, dass diese aktuellen Forschungsarbeiten nur bestätigen können, was Meister des Geigenbaus schon vor Jahrhunderten durch Ausprobieren herausgefunden haben.

Mit einfachen Mitteln reproduzierte ich Versuche mit Frequenzmustern und ihren Veränderungen durch die Bearbeitung einer Geigendecke. Ich wendete nach Möglichkeit physikalische Theorien über Akustik und Schwingungen an.

Bei der zusammengefügte Geige erweisen sich die Verhältnisse als komplizierter: Bassbalken, Stimmstock und Zargen beeinflussen die Modi zusätzlich. Hier helfen Hologramme der fertigen Geige weiter. Das sind mit Laser gefertigte "Schwingungskarten", die im Gegensatz zum Sand auch quantitative Resultate liefern. In weiterführenden Versuchen kann man die Anregung durch Direktübertragung in der Stegregion noch realitätsnaher gestalten.

Gesamthaft lässt sich sagen, dass gewisse physikalische Regeln gelten, die mit weiteren Forschungsergebnissen die Arbeit des Geigenbauers in Zukunft sicher zunehmend unterstützen, von der Auswahl des Klangholzes über die Definition von Schwingungsmoden bis hin zur chemischen Zusammensetzung des Lackes. Der Geigenbauer wird aber immer ein gewisses Mass an Freiheit und Subjektivität behalten und sich von seiner eigenen Erfahrung leiten lassen.

6. LITERATUR VERZEICHNIS

- [1] Güth W.: "Einführung in die Akustik der Streichinstrumente"; Stuttgart Verlag; Leipzig: Hirzel 1995
- [2] Hutchins Charleen: "Research Papers in Violin Acoustics 1975-1993"; Acoustical Society of America; Woodbury NY 1997
- [3] Johnson Chris and Courtnall Roy: "The Art of Violin Making"; Robert Hale Verlag; London 1999
- [4] Kolneder Walter: "Das Buch der Violine"; Atlantis Musikbuch; Zürich 1984
- [5] "Musikinstrumente in Einzeldarstellungen Band 1: Streichinstrumente", dtv / Bärenreiter; Nördlingen 1981
- [6] Jaeger Emmanuel, Laurent Frédéric, Molkhou Jean-Michel: "The Violin (The Multimedia Encyclopedia)" (CD-Rom); Accord Parfait 1997