

Modalanalyse im Geigenbau. Teil II: Zur grundsätzlichen Funktion der Geige. Wie schwingt der Geigenkorpus?

Grundlage dieses dreiteiligen Artikels von Martin Schleske war ein Vortrag, den er 1991 im Rahmen der Jahreshauptversammlung des Verbandes Deutscher Geigenbauer gehalten hat. Der erste Teil ist in Heft 2-3/1992 (S. 98-106) unserer Fachzeitschrift publiziert worden.

1. Zusammenfassung

Im ersten Teil dieser Serie (Heft 2/3 92) wurden Ziel und Zweck von physikalischer Forschung für den Geigenbau, sowie die technische Seite der Modalanalyse behandelt. Als ein erstes Ergebnis aus der Modalanalyse soll im folgenden die Funktion der Geige mit ihren verschiedenen Resonanzmechanismen beschrieben werden. Aus dem grundsätzlichen Verständnis über Zusammenhänge von Eigenschwingungsformen und Schallabstrahlung der Geige, ergibt sich ein Gütekriterium, das zwischen klanglich gut und schlecht bewerteten Instrumenten beobachtet werden konnte. In Teil III sollen dann daraus Konsequenzen für Konstruktion und Bauweise neuer Instrumente diskutiert werden. Das zum Schluß ausführlich beschriebene Schwingungsverhalten einer klanglich als hervorragend eingestuft Geige von Domenico Montagnana aus dem Jahre 1740, bestätigt die theoretisch gewonnenen Beurteilungskriterien aus der Modalanalyse und liefert gewissermaßen eine äußerst anspruchsvolle Referenz dafür, was an Schwingungsformen und damit an Klangfülle möglich ist.

2. Schallabstrahlung

Die Geige soll Schall abstrahlen. Physikalisch ausgedrückt heißt dies, sie soll

die Luft zu periodischen Schwankungen der Luftdichte und damit des Luftdrucks anregen. Die Saite alleine strahlt aufgrund ihrer viel zu geringen Fläche nur sehr schlecht Schall ab. Das liegt daran, daß die Fläche der Saite sehr klein ist, verglichen mit den Wellenlängen der erzeugten Frequenzen. Dies können wir vergleichen mit einem Ruderboot, das nur mit dünnen Stöcken als Ruder angetrieben werden soll. Die Wirkung ist nur sehr gering, da der Stock, anstatt das Wasser zu verdrängen, vom Wasser mühelos umflossen werden kann. Im Fall der Geige müssen wir dafür sorgen, daß die Schwingungsbewegung der Saite von der Luft nicht einfach „umflossen“ wird. Eine wirksame Abhilfe wird dadurch geschaffen, daß die Schwingungsbewegung auf größere Flächen oder Körper übertragen wird, im Fall der Geige über den Steg auf den Korpus. Die Saitenschwingungen werden also in Platten- und Korpuschwingungen transformiert. Diese sorgen je nachdem wie sie verteilt und ausgeprägt sind für eine mehr oder weniger wirksame Schallabstrahlung. Die Luft hat es nun mit einer größeren schwingenden Fläche zu tun. Je nach Schwingungsbewegung der Fläche kann die Luft nun periodisch komprimiert und expandiert werden. Sie kann die Fläche nicht mehr einfach umfließen.

Anschaulicher wird dies, wenn wir uns sämtliche Luftteilchen als elastische Gummibälle vorstellen, die in gerader Linie aneinandergereiht sind (s. Veit 1988). Ein plötzlicher Stoß gegen das erste Teilchen der Reihe, bzw. den ersten Ball, wird sich zunächst auf die benachbarten und dann auf die nächsten und übernächsten Luftteilchen, bzw. Bälle übertragen. Es tritt dabei anfänglich eine Verdichtung der Masseiteilchen auf, die dann wellenartig weiterläuft. Auf jede Verdichtungswelle folgt eine Verdünnungswelle. Es wiederholen sich dabei im Abstand von jeweils einer Wellenlänge in wechselnder Folge Verdichtungen und Verdünnungen innerhalb der Luft, d. h. Überdruck und Unterdruck. Wir werden also fragen, wie wirksam die Platten- und Korpuschwingungen der Geige solche periodischen Luftdruckschwankungen bewirken und wovon dies abhängt. Zunächst wenden wir uns daher den Resonanzmechanismen der Geige zu.

3. Die Resonanzen der Geige

Die in der Saitenschwingung enthaltenen Töne (Grundton und harmonische Obertöne) werden über den Steg auf den Korpus übertragen. Wenn die Schwingungen im Korpus „auf Resonanz stoßen“, d. h. wenn ihre Frequenz einer Resonanzfrequenz im Korpus entspricht, so hat dies eine große Wirkung: Im Resonanzfall ist nur eine kleine Kraft erforderlich, um große Auslenkungen (Korpusbewegungen) zu erzeugen. Der Korpus wird angeregt, in seinen Resonanzen zu schwingen. Grundsätzlich lassen sich drei verschiedene Resonanzmechanismen ausmachen: 1) Helmholtzresonanz, 2) Korpusresonanzen, 3) Plattenresonanzen. (Stegresonanzen und die unmittelbare Abstrahlung der Saite bei sehr hohen Frequenzen seien hier nicht berücksichtigt.)

a) Helmholtzresonanz:

Wenden wir uns zunächst der tiefsten Hauptresonanz zu, der sog. Helmholtzresonanz. Sie wird in der Literatur auch F-Loch-Resonanz, Hohlraumresonanz, oder AO-Resonance (A für Air und O, da keine Knoten) genannt. Hier finden wir die Erklärung für eine erstaunliche Tatsache: Wie ist es möglich, daß ein so kleines Gebilde wie die Geige, deren maximale Größe aus spieltechnischen Gründen begrenzt ist, derart tiefe Töne erstaunlich wirksam abustrahlen in der Lage ist? Eine Gegenüberstellung: Die Korpuslänge beträgt ca. 0,35 m, die Wellenlänge¹⁶ des tiefsten Tones, der g-Saite mit 196 Hz, liegt bei über 1,7 m! Der Grund für die wirksame Abstrahlung bei diesen Frequenzen ist, daß die Geige durch ihre Konstruktion

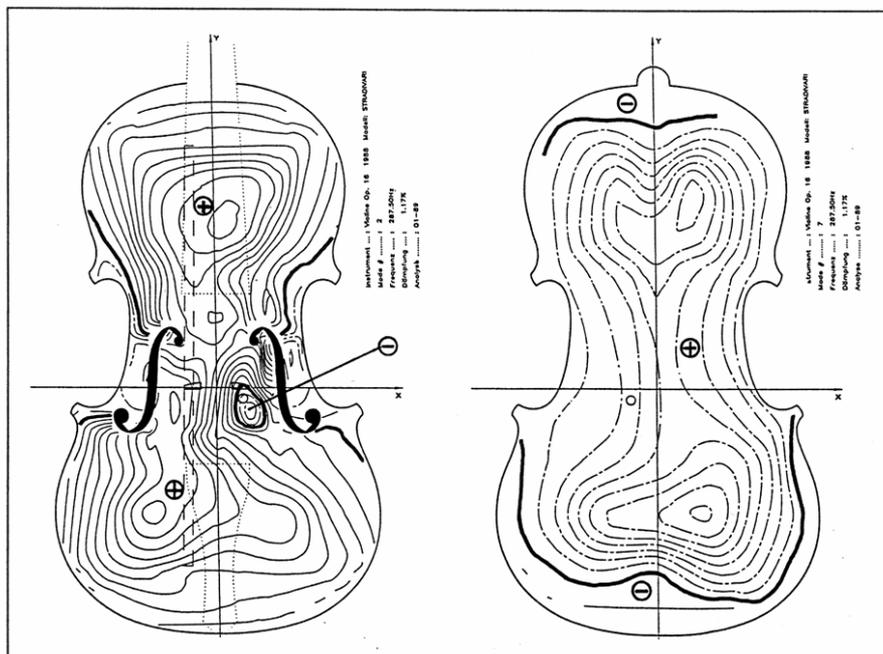


Abb. 1: Amplitudenlinien der Helmholtzresonanz bei 287 Hz. (Der Abstand zwischen zwei Linien beträgt 2 Amplituden-Einheiten.)

(Hohlraum, F-Löcher, Baßbalken, Stimme) bei tiefen Frequenzen einen Mechanismus ausnützt, der zu einer sehr wirkungsvollen Abstrahlung führt: die sog. Volumenquelle. Man versteht darunter ein System, das periodisch Luft ausstößt bzw. ansaugt. Die Wechselkraft auf den Steg bewirkt im Zusammenwirken mit dem Baßbalken und dem Stimmstock eine Pumpbewegung. Durch diese Pumpbewegung wird die Hohlraumresonanz angestoßen. Als Feder dient die im Korpus eingeschlossene Luft, als Masse die in den F-Löchern befindliche Luft. Bereits ein kleiner Anstoß führt zu einer großen Amplitude, d.h. zu einer starken Luftbewegung in den F-Löchern. Im Resonanzfall ist die Plattenbewegung nahezu gleichphasig zu der in den F-Löchern strömenden Luft. Die in der Modalanalyse erkennbare Bewegungsform zeigt, daß die Geige bei tiefen Frequenzen also durchaus als „Blasinstrument“ zu bezeichnen wäre. Deutlich ist die „atmende“ Bewegung des gesamten Instrumentes zu erkennen. Physikalisch gesprochen handelt es sich um den abstrahlungsmäßig bestmöglichen Fall einer sog. Monopolresonanz (Strahler nullter Ordnung). Dies ist ein

Beleg für das überaus erstaunliche Prinzip der Geige, das durch „bloße“ Probiermethode und schonungsloses Experimentieren vor hunderten von Jahren entwickelt wurde.

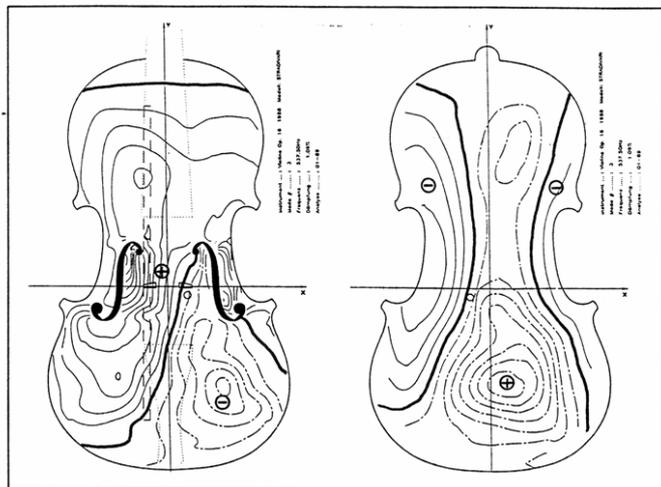
Einschub:

Traditionalismus oder Entwicklung?

Erst in unserer Zeit, Epochen später, kann eine Erklärung für das optimale Prinzip der Geige quasi nachgeliefert werden. Der Erfolg jener „Trial and Error-Methode“ (Versuch und Irrtum) ist in Anbetracht der Resonanzmechanismen der Geige offensichtlich. Diese Probiermethode ist weder auf einen etwa legitimierenden theoretischen Überbau angewiesen, noch bleibt sie traditionalistisch und starr dem immer schon so Gewesenen verhaftet, vielmehr ist sie angespornt von neugierigem Experimentieren. Verschlechterungen werden verworfen, Verbesserungen werden bewahrt, eine Entwicklung zeichnet sich ab. Nur der dem langweiligen Traditionalismus Verfallene kann annehmen, jene Entwicklung sei bereits abgeschlossen. Da ließe sich der letzte enge Spielraum eigener geigenbaulicher Kreativität nur noch auf immer perfekteres Kopieren reduzieren. Und der Geigenbau bekommt et-

was Komödiantisches: ein Kopieren, das an Perfektion dem Original längst überlegen, das Original doch niemals erreicht. Gerade die lange Tradition, welche die Geige bis hin zu ihrer Blütezeit brachte, heißt Entwicklung. Ihrer Tradition treu zu bleiben hieße, sich ihrer Entwicklung zu verpflichten... und den Blüten könnten Früchte folgen. Zurück aber zu den faszinierend entwickelten Resonanzmechanismen der Geige, nochmals zunächst zur Helmholtzresonanz:

Die Frequenz der Helmholtzresonanz ist abhängig von der Korpusgröße (Volumen), der Flächengröße der F-Löcher, der F-Loch-Kantenstärke, sowie von der Nachgiebigkeit der Platten: Größeres Korpusvolumen, kleinere F-Loch-Fläche, dickere F-Loch-Kanten und weichere Platten verschieben die Frequenz der Helmholtzresonanz zu tieferen Frequenzen, gegenteiliges zu höheren Frequenzen. Je nach Modell liegt ihre Frequenz zwischen 260 Hz, dem eingestrichenen c (3. Finger, 1. Lage auf der G-Saite) und 290 Hz, dem eingestrichenen d (leere D-Saite). Durch schräges Blasen über die F-Löcher läßt sich die Helmholtzresonanz leicht hörbar machen. Das Ampli-



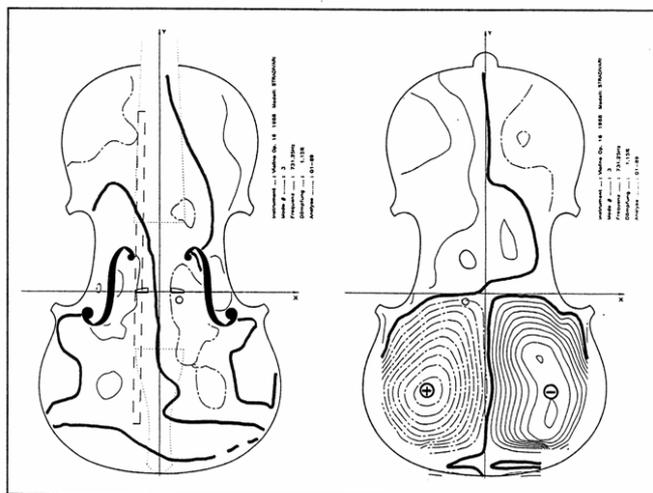
tudenlinienbild Abb. 1 zeigt die typische Plattenbewegung dieser Resonanz. Decke und Boden schwingen mit Ausnahme einer kleinen Insel um den Stimmstock großflächig gegeneinander. Die Modalanalyse ergab hinsichtlich der Ausprägung der Helmholtzresonanz im Vergleich zwischen gut und schlecht klingenden Geigen folgende Tendenzen:

- Bezüglich der Frequenz liegt keine Korrelation vor. (Auch einen Schuhkarton kann man mühelos auf dieselbe Helmholtzfrequenz abstimmen, wie eine gute Meistergeige.)
- Die Resonanzbreite ist bei allgemein als gut klingend klassifizierten Geigen gewöhnlich wesentlich größer, d. h. die Resonanz ist nicht so scharf, sondern deckt ein breiteres Frequenzband ab. Dadurch kommt mehreren Grundtönen dieser Resonanzmechanismus zugute. Das Instrument vermittelt im Bereich der G-Saite den Eindruck größeren „Volumens“, stärkerer Sonorität.
- Der Pegel der Helmholtzresonanz liegt bei als gut klingend bewerteten Instrumenten deutlich über dem von schlechten. (Wobei ein Instrument, das zwar durch eine stark ausgeprägte Helmholtzresonanz gekennzeichnet ist, bei höheren Resonanzen aber deutlich schwächere Pegel aufweist, unausgeglichene, topfig und dumpf klingt und damit in aller Regel ebenso als schlecht bewertet wird.)
- Bei klanglich als gut bewerteten Instrumenten ist bei diesem Resonanzmechanismus oft nur eine geringe Plattenbewegung zu beobachten, die Abstrahlung geschieht fast ausschließlich durch die durch die F-Löcher saugende Luft.

Die Pumpschwingung der Helmholtzresonanz funktioniert allerdings nur wirksam in der Nähe der Resonanz. Je höher die Frequenz wird, um so weniger kann die Luft in den F-Löchern der Bewegung folgen. Alle typischen Geigenfrequenzgänge zeigen einen deutlichen Einbruch zwischen der Helmholtzresonanz und dem nächsthöher gelegenen Resonanzgebiet:

Abb. 2: Schwingungsformen gestatten Rückschlüsse auf die Klangabstrahlung. Hier: Typische Hauptkorpusresonanz bei 537 Hz. (Abstand zwischen zwei Linien: 5 Amplitudeneinheiten.) Beurteilung und Schwächen der Schwingungsverteilung siehe Text.

läßt den Umriß stumpfwinklig oder sogar senkrecht. Dies macht deutlich, daß die Zargen bei dieser Schwingungsbewegung der Hauptkorpusresonanz stark mitverbogen werden. Boden und Decke schwingen also nicht einzeln oder unabhängig voneinander. Vielmehr schwingt im Fall der Korpusresonanz der ganze Korpus, einschließlich Zargenkranz, in einer einzigen komplexen Biegebewegung. Der Korpus ist ein als Ganzes schwingendes Gebilde. Die verbreitete Vorstellung von Decke und Boden als einzeln schwingende „Membranen“ ist also falsch. Membranschwingungen wären dann gege-



Rechts: Abb. 3: Plattenresonanz bei 731 Hz. (Abstand zwischen zwei Linien: 5 Amplitudeneinheiten.) Grafiken: Martin Schleske

b) Korpusresonanzen:

Um zu erreichen, daß das Instrument auch bei höheren Frequenzen einwandfrei abstrahlt, muß als ein weiterer Resonanzmechanismus die Korpusresonanz wirksam werden. Abb. 2 zeigt die Schwingungsform der typischen „Hauptkorpusresonanz“. In der Literatur wird sie auch B1-Mode genannt. Charakteristisch dabei ist die grundsätzlich von der rechten oberen F-Kugel schräg nach unten verlaufende Knotenlinie. Die unteren Deckenbäcke schwingen also gegeneinander. Die Höhenlinien-Darstellung von Boden und Decke müssen wir uns von außen betrachtet, also „aufgeklappt“, vorstellen. Verfolgt man über die Zargen hinaus den Verlauf der Knotenlinie, so wird erkennbar, daß es sich strenggenommen hierbei nur um eine einzige geschlossene Knotenlinie¹⁷ handelt: Wo die Knotenlinie von der rechten unteren F-Loch-Kugel die Decke verläßt, tritt sie über die Zarge an der linken unteren Bodenbäcke in den Boden ein, verläßt den Boden oben links um quer über das Deckenoberteil zu verlaufen, tritt erneut oben aus der Decke aus, um rechts oben in den Boden einzutreten, läuft nun längs zum linken Bodenrand, verläßt den Boden, tritt an der linken unteren Bäcke in die Decke ein und endet an der rechten oberen F-Loch-Kugel, wobei das gesamte rechte F-Loch als „unsichtbare“ Knotenlinie dient. Die Knotenlinie ver-

ben, wenn die Knotenlinien parallel zum Umrißrand verlaufen, die Randbereiche also in Ruhe blieben. Es läßt sich von einer „typischen“ Hauptkorpusresonanz sprechen, da die beschriebene Schwingungsform für alle Streichinstrumente typisch ist. Wieder ange-regt durch die Kippbewegung des Steges werden große Flächenteile der Decke und des Bodens gleichzeitig nach außen („+“) geführt, bzw. nach innen („-“) gezogen. Die Masse des Bodenmittelteils und weite Teile der Decke schwingen gegen die Federung der eingeschlossenen Luft und den quasi in Ruhe bleibenden Stimmstock. Im Gegensatz zur Helmholtzresonanz erfolgt hierbei die Abstrahlung jedoch nicht durch die Luft, die durch die F-Löcher ein- und ausströmt, sondern durch die Luft, die durch die Korpus-schwingung verdrängt wird. Die Frequenz der Hauptkorpusresonanz liegt je nach Geige in der Regel zwischen 460 Hz, was etwa dem eingestrichenen b entspricht (1. Finger, halbe Lage auf der A-Saite) und 550 Hz, dem zweigestrichenen cis (2. Finger, 1. Lage auf der A-Saite). Durch Anklopfen des Korpus läßt sich die Hauptkorpusresonanz meist hörbar machen.

c) Plattenresonanzen:

Bei höheren Frequenzen schwingt der Korpus nicht mehr als weitgehend geschlossenes Ganzes. Durch zunehmende Knotenlinienbildung entstehen unterschiedliche voneinander getrennte

„Inseln“. Die Platten teilen sich also in einzelne gegeneinander schwingende Teilbereiche auf. Man spricht dabei von sog. Plattenresonanzen. Sie existieren in unterschiedlichsten Formen und Anzahl. Zwei Exemplare zeigen Abb. 3 mit 731 Hz und Abb. 4 mit 806 Hz.

4. Abstrahlung und Tragfähigkeit

An dieser Stelle soll unter dem Überbegriff „Abstrahlung“ ein entscheidendes Gütekriterium herausgearbeitet werden, das zwischen klanglich subjektiv gut und schlecht bewerteten Instrumenten festgestellt werden konnte. Es geht dabei um die Schwingungsmuster der Korpus- und Plattenresonanzen des Instrumentes und die Frage, ob sich diese Schwingungsmuster hinsichtlich der Abstrahlung des Instrumentes günstig oder ungünstig auswirken. Von Bedeutung ist dabei das Verhältnis von jeweils abgestrahlter Tonhöhe zur Verteilung der gleich- und gegenphasig schwingenden Plattenbereiche. Präziser: Wie ist das Verhältnis von Biege wellenlänge der Platte zu Luftwellenlänge der abgestrahlten Frequenz?

Die Bedeutung dieser Frage wollen wir an den Amplitudenlinienbildern erklären: Vergegenwärtigen wir uns, daß die mit „+“ bezeichneten Bereiche nach außen schwingen, während gleichzeitig alle mit „-“ bezeichneten Bereiche

nach innen schwingen (und anschließend umgekehrt). Die Korpus- und Plattenresonanzen sind also durch mehr oder weniger starke und große Gegenbewegungen charakterisiert. Denken wir an den Vergleich der Luftteilchen mit Gummibällchen, dann drücken die nach außen schwingenden Plattenbereiche gegen die darüberliegende Schicht von Gummibällen, diese werden zusammengedrückt und drücken gleichzeitig gegen die nächste Schicht. Diese wird dadurch ebenso zusammengedrückt und drückt ihrerseits gegen die nächste Schicht usw. Es breitet sich eine Verdichtungswelle und damit eine Überdruckwelle aus. Haben die Plattenbereiche ihre maximale Auslenkung nach außen erreicht, so bewegen sie sich zurück. Dadurch können sich die zusammengedrückten Bälle entspannen und wieder einen größeren Raum einnehmen. Dasselbe geschieht mit der darüberliegenden Schicht. Es breitet sich eine Verdünnungswelle und damit eine Unterdruckwelle aus. Genau dies aber bedeutet, daß Schall abgestrahlt wird: eine periodische Luftdruckschwankung, die sich wellenförmig ausbreitet. Der beschriebene Vorgang dauert genau eine Schwingungsdauer. Die „-“-Bereiche, die gegenphasig zu den „+“-Bereichen schwingen, bewirken genau denselben Vor-

gang, allerdings zeitlich genau um eine halbe Schwingungsdauer versetzt. D. h. wenn die „+“-Bereiche gerade den größten Überdruck erzeugt haben, haben die „-“-Bereiche gerade ihren größten Unterdruck erzeugt und umgekehrt. Wenn nun die „+“-Bereiche und die „-“-Bereiche nahe beieinanderliegen und gleichzeitig die abgestrahlte Frequenz der entsprechenden Schwingungsform tief ist, d. h. die Plattenbewegung langsam ist, dann „denkt“ die Luft gar nicht daran, sich unter Druck setzen zu lassen, statt dessen strömt sie einfach zwischen „+“ und „-“ hin und her. Bei geringen Abständen zwischen „+“ und „-“ und gleichzeitig tieffrequenter Schwingungsformen, wird die Luft „wattlos“ hin- und hergeschoben, ohne dabei komprimiert zu werden. Die ungünstigen Bedingungen lauten also: kleine Biege wellenlänge der Platte und große Luftwellenlänge der Frequenzen. Unter- und Überdruck haben bei diesen ungünstigen Bedingungen genug Zeit, sich auszugleichen, anstatt sich wellenförmig als hörbarer Schall fortzupflanzen. Man spricht dann von einem sog. hydrodynamischen Kurzschluß. Die Folge davon ist eine – wie Musiker sagen – geringe Tragfähigkeit des Instrumentes! Der Spieler, dessen Ohren sich in der Nähe der hin- und hergeschobenen Luft befinden, kann

sein Instrument durchaus laut, kräftig und voll empfinden, während die Zuhörer, die sich im Fernfeld befinden, dies bestreiten und zu recht urteilen: „Dein Instrument trägt nicht.“ Aufgrund des beschriebenen Druckausgleiches kommen bei den Zuhörern nur sehr schwache Luftdruckschwankungen an. Dabei erscheinen die tiefen, stärker „benachteiligten“ Frequenzanteile stärker ausgelöscht als die hohen.

5. Beurteilung der Moden. Schwingungsformen gestatten Rückschlüsse auf die Klangabstrahlung

Dieser Zusammenhang stellt somit ein geeignetes Beurteilungskriterium für die modalanalytisch sichtbar gemachten Schwingungsformen dar: Die Schallabstrahlung, d.h. die erzeugte Luftdruckschwankung, ist um so besser, je größer die einzelnen schwingenden Bereiche sind und je unvollkommener der Druckausgleich ist. Ein Ausgleich des Wechseldrucks zwischen gegenphasig schwingenden Bereichen ist nicht möglich, wenn diese im Verhältnis zur abgestrahlten Wellenlänge weit genug auseinanderliegen, da dann die Zeit zum Überströmen nicht ausreicht. Der Grad der Auslenkung, bzw. die Intensität der Plattenbewegungen alleine sagt also noch nichts über die Schallabstrahlung, den klanglichen Wirkungsgrad des Instrumentes, aus. Ein ungünstig gebautes Instrument kann – wie wir damit begründet finden – trotz großer Erregung im forte-Spiel wenig tragfähig sein; ein gut gebautes Instrument kann auch bei geringer Erregung im piano-Spiel sehr weit tragen. Betrachten wir diesbezüglich nochmals in Abb. 3 die Plattenresonanz mit 731 Hz, welche ein Negativbeispiel darstellt. Wir erkennen im Bereich der unteren Bodenbacken zwei gegenphasige Maxima jeweils starker Amplituden, gleichzeitig aber Symmetrie zwischen diesen gegeneinander schwingenden Plattenbereichen. Sowohl in ihrer Form, als auch in ihrem Betrag sind die positiven und negativen Werte annähernd gleich. Da die Luftdruckwelle eine endliche Geschwindigkeit hat¹⁸, benötigt sie für die Strecke zwischen dem positiven und dem negativen Schwingungsmaximum der Platte eine gewisse Zeit. Während dieser Zeit hat die schwingende Platte mit einer Modenfrequenz von 731 ganzen Schwingungen pro Sekunde ihre maximale Auslenkung aus der Ruhelage, also $\frac{1}{4}$ -Schwingung, noch nicht erreicht. Folglich ist ein voller Druckausgleich möglich, d.h. trotz starker Plattenschwingung findet praktisch keine Schallabstrahlung in diesem klangästhetisch wichtigen Frequenzbereich statt. Bei der Geige von D. Montagna fanden wir ebenfalls eine Mode, bei der vorwiegend die unteren Bodenbacken starke Amplituden aufweisen, hier aber beide gleichphasig, d.h. eine einzige große schwingende Fläche mit ih-

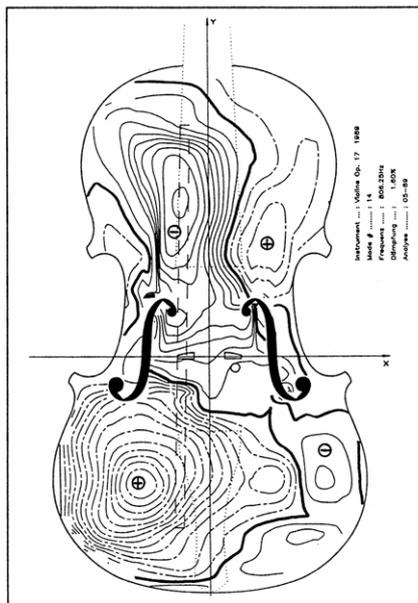


Abb. 4: Plattenresonanz bei 806 Hz. (Abstand zwischen zwei Linien: 5 Amplituden-einheiten.)

Alle Grafiken dieses Beitrags: Martin Schleske, München.

rem Maximum in der Mitte. Symmetrische gegenphasige Modenkonfigurationen wurden nicht festgestellt. Physikalisch ist es nicht möglich, gegenphasige Bereiche grundsätzlich zu vermeiden. Bei klanglich für gut befundenen Instrumenten konnten aber folgende Tendenzen beobachtet werden:

- Gegenphasige Bereiche sind oftmals „weggeschoben“, d.h. die Knotenlinien verlaufen nicht symmetrisch. Siehe die Mode mit 806 Hz, Abb. 4.
- Gegenphasige Bereiche haben oft schwächere Amplituden. Dies bewirkt, daß sie weniger stören, wenn sie schon nichts zur Austrahlung beitragen.

Der dargestellte Zusammenhang zwischen Modenkonfiguration und Abstrahlung gestattet eine Beurteilung der Moden und liefert eine Erklärung für Schwächen und „Einbrüche“ im abgestrahlten Frequenzspektrum des Instrumentes. Dabei sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß die Analyse einer Schwingungsform lediglich eine Aussage darüber ermöglicht, ob bei der entsprechenden Frequenz eine gute oder eine schlechte Schallabstrahlung bewirkt wird. Die Modalanalyse trifft aber keine Aussage darüber, ob eine gute oder schlechte Schallabstrahlung in diesem Frequenzbereich klanglich als angenehm oder unangenehm zu bewerten ist. Klangfarbe ist u.a. das Ergebnis unterschiedlicher Schallabstrahlung über den Frequenzbereich des Instrumentes. Eine Bewertung der Klangfarbe entzieht sich der Modalanalyse und ist eine Frage des subjektiven Geschmacks. Die Modalanalyse gestattet zwar eine Erklärung für das Vorhandensein von Einbrüchen oder Spitzen im Klangspektrum, die angenehm oder unangenehm empfunden werden.

Sie ersetzt aber niemals eine persönliche und subjektive Klangfarbenempfindung. Im Gegenteil: Eine sinnvolle Anwendung der Modalanalyse setzt ein musikalisches Klangempfinden und subjektive Klangbewertung geradezu voraus.

Die Hauptkorpusresonanz liegt in einem Frequenzbereich, der klangästhetisch als tragend empfunden wird. Bei der Geige deckt er den Grundtonbereich der unteren Lagen der a-Saite ab. Betrachten wir die Modenkonfiguration der Hauptkorpusresonanz des durchschnittlichen Weißbauinstrumentes (Abb. 2), so läßt sich damit der schwache und eher „dünn“ empfundene Klang des Instrumentes erklären: Der gegenphasige Deckenbereich der unteren rechten Backe ist in Größe und Amplitude relativ ausgeprägt, während der flächenmäßig größere gleichphasige Bereich zu wenig ausgenutzt wird: Das gesamte Oberteil schwingt zu wenig, die obere rechte Backe ist fast völlig wirkungslos. Dasselbe ist beim Boden zu beobachten: Die Knotenlinien sind weit nach innen gezogen, dadurch vergrößert sich auch hier der auslöschende Anteil von gleich- und gegenphasigen Bereichen. Das Bodenmittelteil ist mit seiner gegen die linke größere Deckenfläche pumpenden Schwingung abstrahlungsmäßig zwar günstig. Durch die weit nach innen gezogenen Knoten ist es aber stark eingeschränkt und geradezu eingeschnürt. Außerdem werden auch hier durch schwache Amplituden im Mittel- und Oberteil wertvolle Flächenbereiche „verschenkt“. Welche praktischen bauweisebedingten Maßnahmen zu günstigeren Schwingungsformen des Instrumentes führen können, soll in Teil III dieser Serie untersucht werden. □

Anmerkungen

¹⁶ Breitet sich eine Welle aus, so wiederholen sich in ganz bestimmten Abständen entlang der Ausbreitungsrichtung solch einer Welle gleiche Erregungszustände (also etwa der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Druckmaxima). Bei gleichbleibender Anregungsfrequenz sind diese Abstände alle gleich groß. Man nennt sie die Wellenlänge der Schwingung. Als Quotient aus Schallgeschwindigkeit und Frequenz ergibt sich die zugehörige Wellenlänge. In unserem Beispiel also: Schallgeschwindigkeit 340 m/s geteilt durch Frequenz 196 Hz ergibt Wellenlänge 1,73 m.

¹⁷ Wie bereits besprochen, handelt es sich bei einer Knotenlinie um die Ruhezone der Schwingungsbewegung. Entlang der Knotenlinie finden keine Auslenkungen statt. Links und rechts einer Knotenlinie erfolgen gegenphasige, also gegeneinander gerichtete Schwingungsbewegungen.

¹⁸ Bei Normalbedingungen breitet sich der Schall in Luft mit einer Geschwindigkeit von $c = 343$ m/s aus.