

Martin Schleske

GEIGENBAU ALS KLANGDESIGN

Oft kopiert, doch nie erreicht: Dies gilt auch für die Instrumente aus den Meisterateliers alter italienischer Geigenbauer – bzw. galt bis vor ein paar Jahren. Ein neuartiges Verfahren lässt den Traum einer „neuen alten“ Stradivari ein gutes Stück näher rücken.

Die Vorgeschichte

Seit die „goldene Zeit“ des Geigenbaus Anfang des 18. Jahrhunderts die berühmten Werke „altitalienischer Großmeister“ wie Antonio Stradivari, Guarneri del Gesù, Domenico Montagnana, J. B. Guadagnini oder Carlo Bergonzi hervorgebracht hatte, waren nachfolgende Generationen von Geigenbauern bis heute mehr oder weniger erfolgreich bemüht, „Kopien“ dieser großen Vorbilder anzufertigen.

Gemeinhin konzentrierte man sich dabei auf eine möglichst enge optische und konstruktive Übereinstimmung mit dem jeweils vorgegebenen Referenzinstrument, kopierte sklavisch die originalen Stärken der Plattenausarbeitung, fertigte akkurate Wölbungsschablonen an, arbeitete mit exakt kopierten Form-

brettern usw. – stets mit dem Bestreben, die geometrische Formgebung einer Stradivarius, Guarneri etc. bestmöglich zu kopieren. Im Laufe der vergangenen drei Jahrhunderte entstanden so abertausend Kopien. Es ist nicht verwunderlich, dass das klangliche Ergebnis derartiger rein „augenscheinlicher“ Kopien in der Regel überaus enttäuschend war: Da für solche Versuche naturgegeben niemals ein vollständig gleiches Holz verwendet werden konnte, konnte auch der Klang solcher „mechanischen“ Kopien nicht gleich sein. Je unterschiedlicher die akustischen Eigenschaften des verwendeten Holzes und Lacks waren, desto unterschiedlicher fielen (selbst bei perfektem Kopieren) die klanglichen Eigenschaften des Instruments aus.

Der neue Ansatz

Gefördert durch ein Innovationsprogramm des Bayerischen Wirtschaftsministeriums sowie eines darauf aufbauenden Forschungsvorhabens der Europäischen Union wurde während der vergangenen Jahre eine Methode entwickelt, die nichts mehr mit dem genannten alten Ansatz des rein optischen Kopierens gemein hat. Auf einen Nenner gebracht könnte man sagen, die Geige wird nun nicht mehr als eine bloße „Holzskulptur“ begriffen, sondern als eine „Resonanzskulptur“. Es wird nicht mehr nur ihr geometrisch-konstruktives Äußeres analysiert, sondern ihr individueller „akustischer Fingerabdruck“. Dies geschieht unter Zuhilfenahme akustischer „Werkzeuge“ wie der Modal- und Spektralanalyse. Das neuartige Konzept zur Fertigung von „Klangkopien“ altitalienischer Referenzinstrumente, das in der Fachpresse als „revolutionär“¹ oder „bahnbrechend für den Geigenbau insgesamt“² bezeichnet wurde, geht also von einem völlig anderen Prinzip aus. Ohne den Leser zu sehr mit technischen Details zu überfrachten,³ sollen an dieser Stelle zumindest einige Grundlinien dieses Ansatzes verdeutlicht werden.

Der Klang einer Geige ist die Folge einer hoch komplexen Kommunikation zwischen Musiker und Instrument. Der Musiker reagiert (bewusst und unbewusst) unentwegt auf die Resonanzen⁴ seines Instruments. Wenn die vom Musiker erzeugten Frequenzen im Instrument „auf Resonanz stoßen“, erregen sie das Instrument zu starken Eigenschwingungen. An diesen Stellen „kommunizieren“ (physikalisch sagt man: koppeln) die Frequenzen der gestrichenen Töne (jeweils bestehend aus Grundton und zugehörigen Obertönen) mit den Resonanzfrequenzen des Instruments. Diese Resonanzen verstärken nicht nur den hörbaren Klang, sie färben ihn gleichzeitig in einer bestimmte Klangfarbe, sie bestimmen ferner das Einschwingverhalten (und damit die Ansprache des Instruments) und sie bestimmen schließlich aufgrund ihrer spektralen Dichte die Modulierbarkeit und Farbigkeit des Klangs. Das akustische Eigenleben eines Instruments – eben jener individuelle akustische Fingerabdruck – lässt sich durch eine umfassende Analyse der Resonanzen vollständig beschreiben. Sie variieren von Instrument zu Instrument stark in ihren Frequenzen, Dämpfungen und Abstrahlgraden. Eine Stradivari weist, wie wir sehen werden, ein signifikant anderes „Resonanzprofil“ auf als eine Guarneri del Gesù oder als eine einfache Schülergeige. Unterschiede (oder auch Mängel) in der Spielbarkeit oder Klangfarbe verschiedener Geigen lassen sich an den zugehörigen Resonanzprofilen eindrucksvoll aufzeigen.

Eine Analyse des Resonanzprofils stellt somit einerseits ein wertvolles Diagnosewerkzeug bei klanglichen und spieltechnischen Problemen dar. Andererseits kann die akustische Analyse auch als Werkzeug während des Werdegangs eines neu entstehenden Instruments unschätzbare Dienste leisten. Wann wird ein Musiker, der etwa gewohnt ist, auf einer bestimmten Geige von Antonio Stradivari oder Guarneri del Gesù zu spielen, beim



Geigenbaumeister Martin Schleske bei der Messung der Schallabstrahlung einer Geige

Spielen des neu gefertigten Instruments den Eindruck haben: „Das kenne ich! Das ist mein Klang...!“? Die Antwort: Nur, wenn es dem Geigenbauer gelungen ist, im Werdegang des neu entstehenden Instruments ein Resonanzprofil „zu erarbeiten“, das dem des bekannten, vorgegebenen Referenzinstruments ähnelt. Denn nur dann wird auch der Kommunikationsprozess zwischen Musiker und Instrument stark an das erinnern, was er kennt und sucht. Eine „Klangkopie“ ist daher im eigentlichen Sinn eine „Resonanzkopie“. Die klanglichen und spieltechnischen Ähnlichkeiten zwischen dem neuen Instrument und dem zugrunde liegenden Referenzinstrument werden umso größer sein, je ähnlicher die beiden Resonanzprofile beschaffen sind.

Das Resonanzprofil als akustische Charaktereigenschaft einer Geige

Einige Resonanzprofile verschiedener Geigen sollen im Folgenden (freilich nur äußerst knapp) diskutiert werden. Es handelt sich bei den Resonanzprofilen genau gesprochen um den Frequenzgang der Schallabstrahlung (Übertragungsfunktion).⁵ Dieser Frequenzgang wird als eine Diagrammkurve dargestellt, wobei auf der x-Achse die Frequenz (in Hz), auf der y-Achse der

Pegel (in dB) aus dem Verhältnis von Schalldruck zu anregender Kraft aufgetragen ist. Als Spitzen im Resonanzprofil sind die Resonanzen (Eigenschwingungen) erkennbar. An ihrer Höhe lässt sich ablesen, wie stark die Schallabstrahlung in dieser Frequenz ist. In den Resonanzspitzen ist nur eine geringe anregende Kraft erforderlich, um eine starke Schallabstrahlung zu erzielen. Die Messung dieser Übertragungsfunktionen erfolgt mithilfe eines drehbaren Stativs (s. Foto), in dem die Geige am Hals gehalten und durch einen Miniatur-Impulsgeber am Steg ange regert wird.

Abbildung 1 zeigt die Resonanzprofile zweier Geigen von Antonio Stradivari. Beide Instrumente wurden im Zuge von Klangeinstellungen⁶ und -aufnahmen im Meisteratelier für Geigenbau Martin Schleske untersucht. Es wird zunächst erkennbar, dass sich die „Schreiber“-Stradivari anno 1712 (schwarze Kurve) durchaus hinsichtlich ihrer Schallabstrahlung von der späteren Stradivari anno 1727 (graue Kurve) unterscheidet. Sowohl der subjektiv empfundene Klang⁷ als auch die objektiv messbaren akustischen Eigenschaften weichen deutlich voneinander ab. Dies betrifft vor allem den tieffrequenten Bereich, in dem die

1727-Stradivari durch eine sehr stark ausgeprägte T1-Korpusresonanz (s. u.) auffällt. Entsprechend klingt sie in diesem Bereich etwas sonorer und größer als die etwas „gefasster“ und fokussierter klingende „Schreiber“-Stradivari. Dennoch sind als Gemeinsamkeiten unverkennbar die relativ hohen Pegel im spektralen Mittelbereich und der kontinuierliche, gerade Abfall oberhalb 3kHz.

In Abbildung 2 ist ein Vergleich des Resonanzprofils der „Schreiber“-Stradivari (graue Kurve) mit der oben erwähnten Guarneri del Gesù (schwarze Kurve) zu sehen. Auch hier sind typische Gemeinsamkeiten feststellbar, so etwa die Frequenzen der tiefen Einschnitte zwischen den Resonanzgebieten. Auffällig bei der Guarneri sind hier aber die (in ihren Frequenzen) sehr weit auseinander gezogenen Hauptkorpusresonanzen und der herausragend starke Pegel der tieferen Hauptkorpusresonanz. Darin begründet sich der bereits ab der ersten Lage der G-Saite spürbare, sehr sonore, „satte“, volle Klang. Dieser Klang ist darin begründet, dass dieser Bereich – und zwar in seinem 1. Oberton – von der genannten Resonanzspitze voll erfasst wird. Der mittlere Frequenzbereich ist bei der auch klanglich stärker in die Mitte hin orientierten Stradivari stärker ausgeprägt. Im hochfrequenten Brillanzbereich zeigt die Guarneri dann wiederum deutlich stärkere Resonanzen, die verantwortlich für ein typisches „Feuer“ im Ton sind. Hier ist der Abfall der Stradivari weniger abrupt und etwas weicher.

Abbildung 3 zeigt nun die Resonanzprofile von „Schreiber“-Stradivari (graue Kurve) und einer akustisch an dieser Geige orientierten, im Jahr 1999 gefertigten

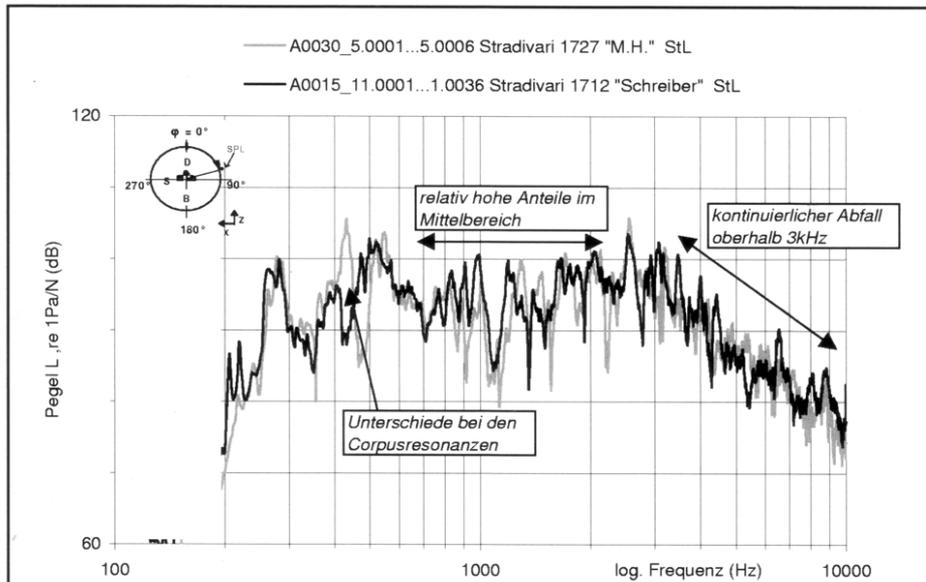


Abb. 1: Resonanzprofil der „Schreiber“-Stradivari (schwarze Kurve) im Vergleich zu einer Stradivari aus dem Jahr 1727 (graue Kurve). Auf der x-Achse ist die Frequenz aufgetragen, auf der y-Achse der Pegel der Schallabstrahlung. Die Stärke der Schallabstrahlung der Eigenschwingungen ist an der Höhe der Resonanzspitzen ablesbar.

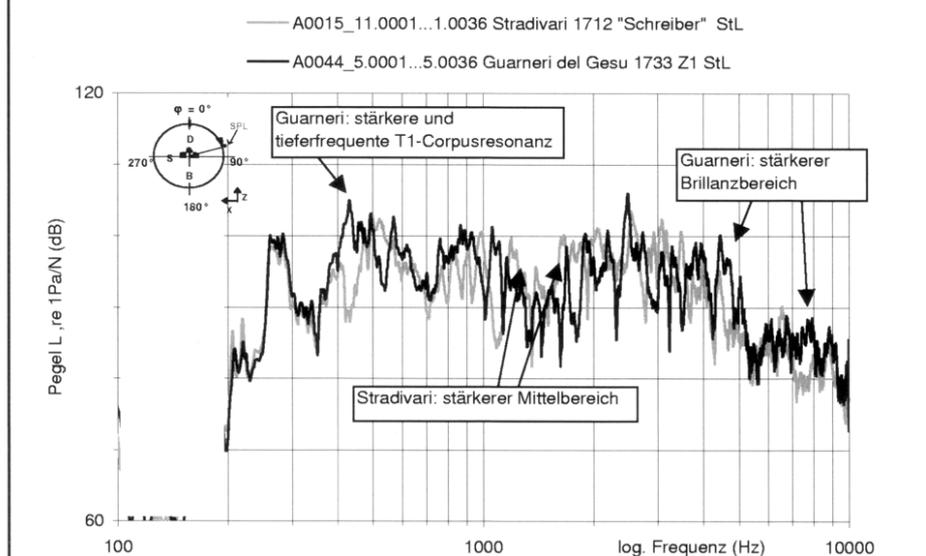


Abb. 2: Resonanzprofil einer Giuseppe Guarneri del Gesù (schwarze Kurve) im Vergleich zur „Schreiber“-Stradivari (graue Kurve). Die Guarneri hat höhere Schallanteile im tieffrequenten und im Brillanzbereich, die Stradivari dagegen im Mittelbereich.

„Klangkopie“ (schwarze Kurve).⁸ Die Gemeinsamkeiten in der Ausprägung sowohl der Pegel als auch der Eigenfrequenzen der wesentlichen Hauptresonanzen sind daraus ersichtlich. Auch der Gesamtverlauf des Resonanzprofils ist recht gut getroffen. Bemerkenswert ist, dass die akustischen Übereinstimmungen von „Klangkopie“ und Original größer sind als die akustischen Übereinstimmungen der beiden Stradivari-Geigen 1712 und 1727. Antonio Stradivari hatte offenbar nicht die Absicht, sich selbst zu kopieren.

In Abbildung 4 ist das akustische Profil der genannten Guarneri del Gesù im Vergleich zu einer akustisch an dieser Geige orientierten neuen Geige aus dem Jahr 2000 dargestellt. Im Gegensatz zur Stradivari-Klangkopie (Abb. 3) weist diese Guarneri-Klangkopie den für Guarneri so typischen tieffrequenten hohen Gipfel der unteren Hauptkorpusresonanz auf. Es ist gelungen, in den Werdegang dieses neuen Instruments die wesentlichen akustischen Charakterzüge der Guarneri del Gesù hineinzuarbeiten: Die Pegel und Frequenzen der Hauptkorpusresonanzen, die Einschnitte zwischen den Resonanzgebieten sowie die höheren Pegel und der darauf folgende abrupte Abfall im Brillanzbereich weisen starke Ähnlichkeiten auf. Ein Vergleich der originalen Stradivari mit der originalen del Gesù lässt exakt die gleichen typologischen Unterschiede erkennbar werden wie die der beiden nach diesen Geigen gefertigten Klangkopien.

Wird der so genannte spektrale Schwerpunkt⁹ der dargestellten Resonanzprofile berechnet – er ist ein wesentliches Maß für die „klangliche Grundfarbe“ eines Instruments – so ergeben sich folgende Werte: 1727-Stradivari: 1230 Hz; 1712-Stradivari: 1241 Hz; Klangkopie nach Stradivari:¹⁰ 1276 Hz; 1733-Guarneri del Gesù: 868 Hz; Klangkopie nach Guarneri:¹¹ 904 Hz. Auch dieser Klangfarbenwert zeigt die deutlichen Unterschiede zwischen Stradivari und Guarneri und die Gemeinsamkeiten mit den jeweiligen Klangkopien.

Es sollte an dieser Stelle erwähnt werden, dass die hier dargestellten, zunächst rein physikalischen Analysen durch eigens entwickelte Algorithmen anschließend sowohl hinsichtlich ihrer musikalischen als auch ihrer psychoakustischen

Relevanz „nachverarbeitet“ werden. Es wird dazu für alle spielbaren Einzeltöne jedes Instruments das harmonische Spektrum dargestellt. In einem weiteren Analyseschritt werden dabei die Erregungsmuster der Basilmembran des Innenohres dargestellt. Hier ist auf farbigen „Landkarten“ erkennbar, welches Instrument in bestimmten Bereichen der auditiven Wahrnehmung für verstärkte neuronale Aktivität sorgt. Gerade dabei zeigen sich beeindruckende typologische Unterschiede zwischen Stradivari und Guarneri.¹² Diese Ergebnisse erweisen sich in der Alltagspraxis des Geigenbauers nicht nur bei der Neuankerti-

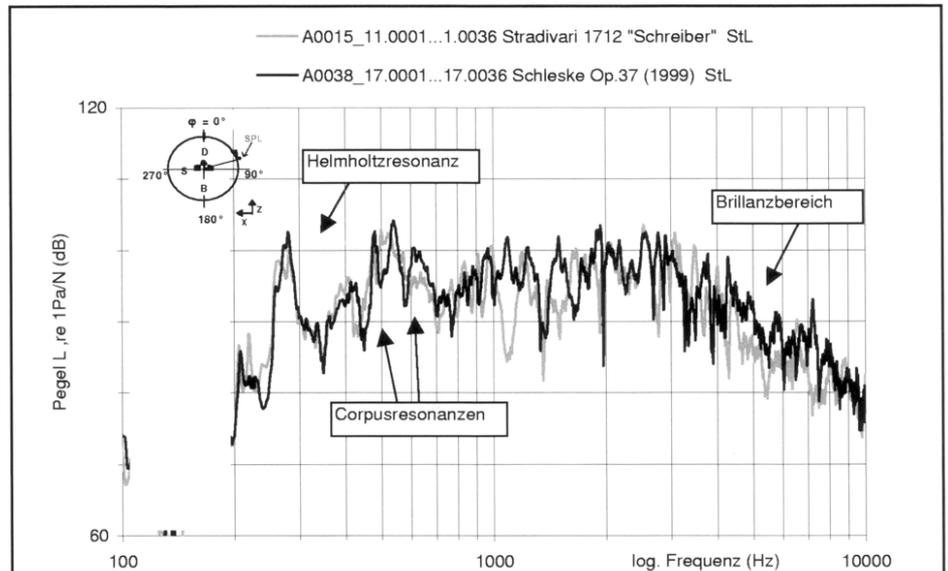


Abb. 3: Die akustische Übereinstimmung der „Klangkopie“ aus dem Jahr 1999 (schwarze Kurve) mit der „Schreiber“-Stradivari (graue Kurve) aus dem Jahr 1712 ist größer als die Übereinstimmung der beiden Stradivari-Geigen 1712 und 1727 (siehe Abb. 1)

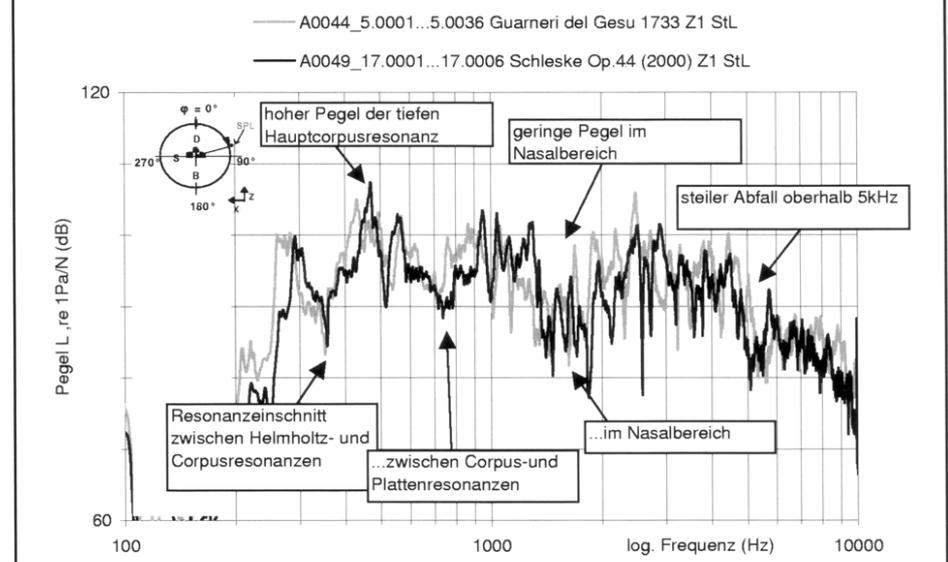
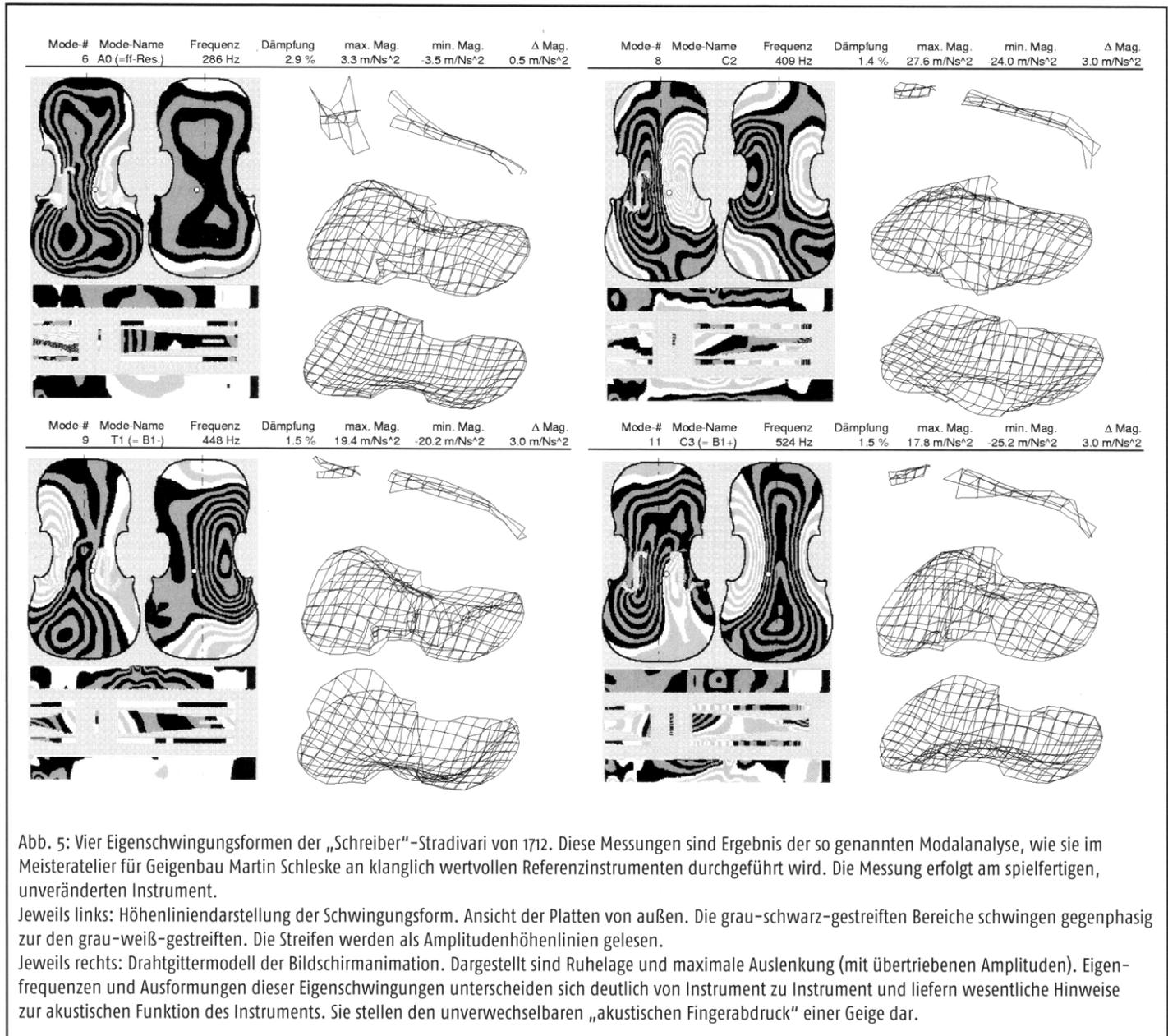


Abb. 4: Resonanzprofil einer Giuseppe Guarneri del Gesù aus dem Jahr 1733 (graue Kurve) im Vergleich mit einer Klangkopie aus dem Jahr 2000 (schwarze Kurve). Auch hier wurden die wesentlichen Resonanzmerkmale in das neue Instrument „hineingearbeitet“. Typisch für Guarneri: Die tieffrequente Korpusresonanz hat den stärksten Pegel, der Nasalbereich hat sehr geringe Pegel. Oberhalb 5 kHz erfolgt ein steiler Abfall.



gung, sondern besonders bei der diffizilen Klangeinstellung von Instrumenten als sehr wirksame Diagnosehilfen.

Die Modalanalyse als Offenbarungsquelle

Abschließend soll zumindest angedeutet werden, wodurch es möglich ist, im Werdegang einer neu entstehenden Geige die oben gezeigten treffsicheren Resonanzprofile zu erarbeiten. Ein wesentliches Werkzeug ist dabei die Modalanalyse. Sie ist eine computergesteuerte Methode, mit deren Hilfe das Schwingungsverhalten einer beliebigen Struktur sichtbar gemacht werden kann. Ursprünglich kommt diese Technik aus der Luft- und Raumfahrt. Erste Anwendungen waren die Schwingungsanalysen von Flugzeugtragflächen oder Satelliten. Während heute bei vielen technischen Anwendungen (z. B. beim Fahrzeugbau) das

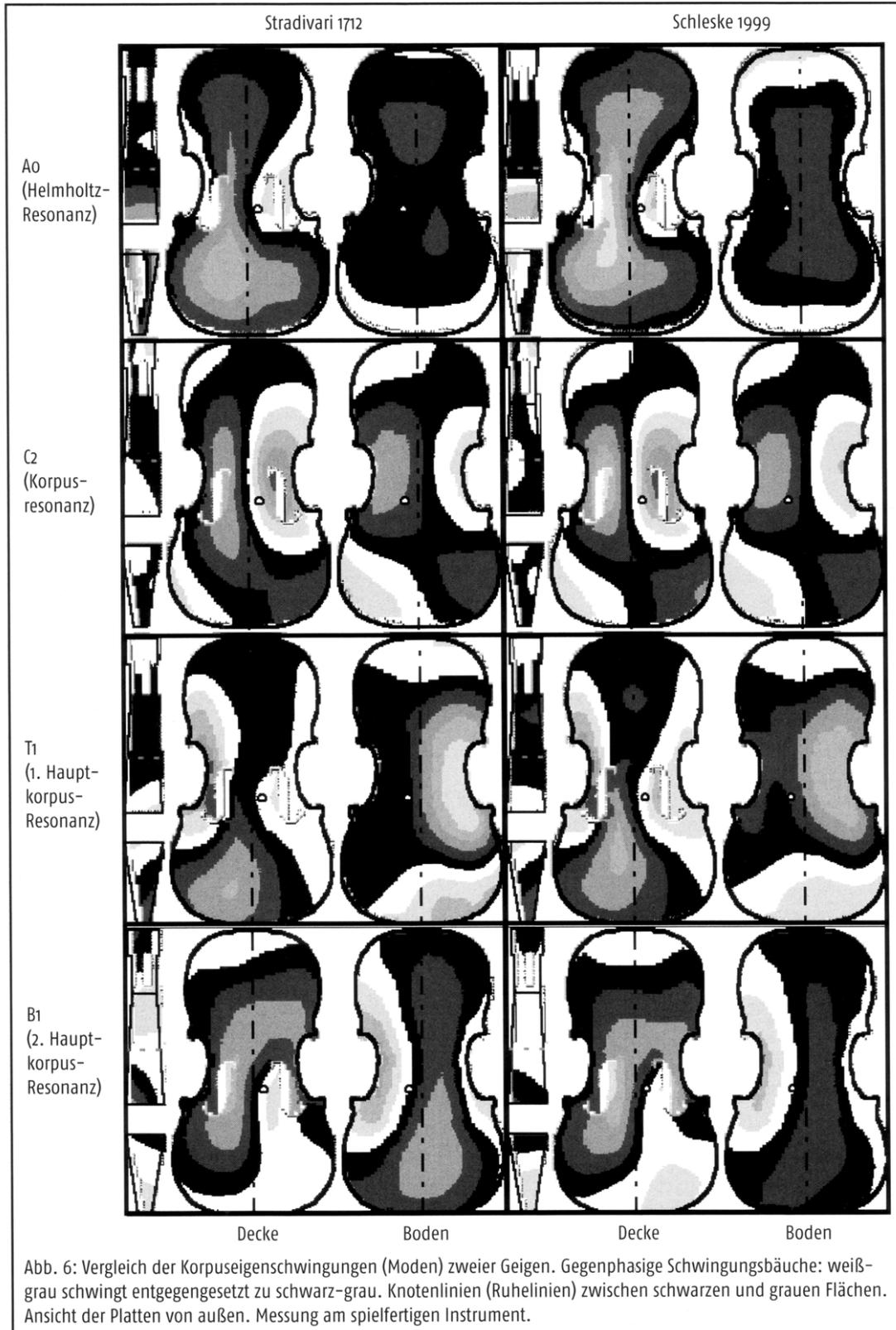
Schwingungsverhalten der Struktur nur eine nachgeordnete Funktion darstellt, ist es bei der Geige völlig anders: Die Eigenschwingungen der Geige stellen ihre eigentliche Primärfunktion dar. Denn sie sind es, die entscheiden, wie das Instrument klingt und wie es sich spielen lässt – wie die Geige also funktioniert.

Als wesentliches Ergebnis liefert die Modalanalyse bewegliche (animierte) Bilder, die sehr genau zeigen, wie (d. h. in welchen Schwingungsformen) die Geige in all ihren Eigenschwingungen eigentlich schwingt. Es werden etwa die atmende Bewegung des Korpus in tiefen Frequenzen (in der so genannten Helmholtzresonanz), die Verwindungen und Verbiegungen des Korpus in seinen Hauptresonanzen oder die Auslenkung einzelner Plattenbereiche (in den so genannten Plattenresonanzen) erkennbar.¹³ Erst die Kenntnis der eigentlichen Schwingungsformen gestattet es, durch gezielte Modifikationen der Platten-

ausarbeitung und -wölbung die Resonanzen des entstehenden Instruments in Richtung des entsprechenden Referenzinstruments zu verändern und somit den Werdegang einer „Klangkopie“ gezielt zu begleiten. Abbildung 5 auf der vorhergehenden Seite zeigt exemplarisch vier wesentliche Schwingungsformen

der „Schreiber“-Stradivari, wie sie durch die Modalanalyse sichtbar gemacht werden können. Rechts dargestellt ist jeweils die Bildschirmanimation des Instruments (im Ruhezustand überlagert mit der maximalen Auslenkung), links dieselbe Schwingungsform als Höhenlinienplot (die grau-schwarzen Be-

reiche schwingen entgegengesetzt zu den grau-weißen Bereichen). Oben links: Helmholtzresonanz mit ihrer atmenden großflächigen Korpusbewegung; daneben Korpusresonanz bei 409 Hz mit starken Verwindungen. Unten links T1-Hauptkorpusresonanz mit starken Bodenamplituden, daneben B1-Hauptkorpusresonanz mit ihrem großflächigen Schwingungsbauch im Bereich des Bassbalkens. Letztere Resonanz ist die Ursache für das – vor allem bei Cellisten leidlich bekannte – „Wolfsproblem“ vieler Instrumente. Diese Schwingungsformen (bei der dargestellten Stradivarius allein 60 verschiedene im Frequenzbereich bis 2500 Hz!) variieren deutlich von Instrument zu Instrument. Indem sie eine vollständige Synthese sämtlicher konstruktiver und materialbedingter Parameter darstellen, offenbaren sie die akustische Individualität des Instruments, zeigen Stärken und Schwächen, jene Eigenheiten, die es bei der Anfertigung einer „Klangkopie“ zu beherrzigen gilt. Abbildung 6 stellt einen Vergleich der wesentlichen Hauptkorpus-schwingungen von Stradivarius und „Klangkopie“ dar (Decke jeweils links, Boden jeweils rechts). Es zeigen sich sehr ähnliche



Schwingungsformen. Diese wurden im Werdegang durch gezielte Modifikationen der Platten (Veränderung der Ausarbeitung) erreicht. Da diese Schwingungsbewegungen des Korpus die Abstrahlung des hörbaren Schalls verursachen, ist eine Ähnlichkeit der Schwingungsformen Voraussetzung für eine ähnliche Schallabstrahlung.

Neben der Kenntnis der Schwingungsformen ist die Kenntnis der klangformenden Parameter der Geige unerlässlich, wenn Geigenbau als ein auf ein bestimmtes Ergebnis abgezieltes Klangdesign verstanden wird. Neben zahlreichen Studien zu akustischen Wirkungen von Ausarbeitung, Wölbung, Bassbalken, Steg und Stimmstock wurden während der vergangenen zwölf Jahre auf Probehölzern die akustische Wirkung von (etwa 270) verschiedenartigen Grundierungen, Lackierungen und Holzbehandlungen analysiert.¹⁴ Angefangen mit den fetten Walnussölen des 12. Jahrhunderts über ätherische Öllacke des 18. Jahrhunderts und später verwendeten Alkohollacken wurden zahlreiche historische Rezepturen nachgekocht und erprobt. Diese Studien sind geeignet, die populäre Fragestellung nach dem „originalen Stradivari-Lack“ dahingehend zu verändern, ob – denn das ist das klanglich entscheidende – eine Lackierung realisiert wird, deren akustischer Effekt der des Stradivari zumindest ebenbürtig ist. Es geht nicht um ein vorlaut postuliertes „originales Stradivari-Rezept“, sondern um eine vergleichbare Wirkung der eigenen Lackierung auf den Klang des Instruments. Für diesen Nachweis und diese Kontrolle ist die Resonanzanalyse ein unerlässliches Werkzeug.

Das Wechselspiel aus Kunst und Wissenschaft

Ich hoffe, dass es gelungen ist, einen kleinen Einblick zu vermitteln, inwieweit empirische, akustische Methoden ein Werkzeug der Spurensicherung sein können. In der Entschlüsselung faszinierender akustischer Geheimnisse guter Referenzinstrumente offenbart sich heute ein überwältigender Erfahrungsschatz. Indem meine akustischen Analysen das Klangkonzept eines Antonio Stradivari oder Guarneri del Gesù sichtbar machen, kommen diese Meister im zeitgenössischen Geigenbau sehr viel unmittelbarer zu Wort, als es mit herkömmlichen Methoden möglich ist. Sie sind damit nicht mehr nur historische Vorbilder, sondern gegenwärtige Lehrer.

Es ist also möglich, im Werdegang neuer Instrumente das Klangkonzept des Lehrers nachzuvollziehen und kontinuierlich im Werdegang der eigenen Instrumente zu überprüfen. So empfinde ich mich sehr unmittelbar als ein Schüler dieser Meister. Und welche Perspektive eröffnet sich? Gerade durch die intensive Beschäftigung mit den großen Meistern entsteht zunehmend der Drang nach einer kreativen „Versöhnung“ einander widerstreitender klanglicher Charakterzüge. So entstehen nach einigen Vorversuchen zurzeit in meinem Atelier Geigen, die den unübertroffenen Farbenreichtum, die Tiefe und Wärme Mon-

tagnanas mit der solistischen Kraft und Leidenschaft Guarneris verbinden sollen.

So greife ich bei meinen Instrumenten die ursprüngliche Tradition im Sinne einer schöpferischen Entwicklung auf. In jenem ursprünglichen Wechselspiel aus Kunst und Wissenschaft liegt meine Leidenschaft als Geigenbauer. Trennungen lassen sich nur überwinden, wenn man beide Sprachen spricht. ■

Anmerkungen

¹ International Symposium on Musical Acoustics ISMA 95, Dourdan bei Paris. Hier präsentierte der Verfasser im Rahmen eines „invited papers“ 1995 erstmalig Vorgehensweise und Ergebnisse dieser neuen Methode. Seitdem folgten zahlreiche Einladungen zu Vorträgen und Workshops durch verschiedenste Geigenbau-Nationalverbände (Washington 1998; Luzern und Wien 1999; Cleveland und Mittenwald 2000).

² „Geigenbau mit Kopf und Bauch“, in: *Süddeutsche Zeitung*, Wissenschaftsteil 4./5. April 1996.

³ Eine wissenschaftlich-technische Vertiefung findet sich unter www.geigenforschung.de. Weitere Einzelheiten zur Methode der Anfertigung von Klangkopien siehe: Martin Schleske: „On making ‚Tonal Copies‘ of a Violin“, in: *Journal Catgut Acoustical Society*, Vol. 3, No. 2, (Series II), November 1996.

⁴ Vielleicht erinnert sich der Leser beim Stichwort Resonanz noch dunkel an den Physikunterricht. Resonanzen sind Eigenschwingungen einer Struktur. Sie sind gekennzeichnet durch Eigenfrequenz, Dämpfung, Schwingungsform und daraus resultierender Schallabstrahlung. Eigenschwingungen sind im Gegensatz zu erzwungenen Schwingungen völlig unabhängig davon, wie die Struktur angeregt wird. Die Eigenschwingungen der Geige sind also eine vom Musiker unabhängige akustische Eigenschaft der Geige. Diese akustischen Eigenschaften sind für den Musiker das eigentliche Gegenüber, mit dem er klanglich während des Spielens unentwegt kommuniziert. Eine Analyse der Gesamtheit der Eigenschwingungen, also eine Analyse des Resonanzprofils, beantwortet die Frage, wie eine bestimmte Geige „akustisch funktioniert“ und worin sie sich von einer anderen Geige akustisch unterscheidet.

⁵ Es wird dabei die Abstrahlung in verschiedene Raumrichtungen energetisch gemittelt. Das Instrument wird dazu mittels Impulsanregung (Hammerpendel) in Schwingungen versetzt. Die Antwort (Schalldruck) wird mittels Schallpegelmessers spektral gemessen. Beide Signale werden von einem digitalen Signalprozessor aufgezeichnet und fouriertransformiert. Das Ergebnis ist dann eine Übertragungsfunktion, die das Verhältnis von abgestrahltem Schall zu anregender Kraft als Funktion der Frequenz darstellt.

⁶ Zahlreiche dieser wertvollen Instrumente werden dem Meisteratelier für Geigenbau Martin Schleske nicht primär für akustische Analysen, sondern für notwendige Klangeinstellungen anvertraut. Tatsächlich zeigt sich, dass gerade akustisch hochwertige Instrumente auch sehr empfindlich auf kleinste Änderungen reagieren und daher eine regelmäßige Einstellung (v. a. durch Stimmstock und Steg) fordern. Diese Gelegenheit eignet sich für eine begleitende umfassende Analyse der akustischen Eigenschaften.

⁷ Unter den Hörbeispielen unserer Internetseiten www.geigenforschung.de können u. a. einige vergleichende Klangaufnahmen dieser beider Geigen abgehört werden.

⁸ angefertigt im Meisteratelier für Geigenbau Martin Schleske.

⁹ Oberhalb und unterhalb der Frequenz des spektralen Schwerpunkts sind die energetisch aufaddierten Pegelanteile des Resonanzprofils gleich groß. Je höher er liegt, desto mehr hochfrequente im Verhältnis zu den tieffrequenten Anteilen strahlt das Instrument ab. Ein hoher spektraler Schwerpunkt weist somit auf einen eher helleren, ein tiefer spektraler Schwerpunkt auf einen dunkleren Klang der Geige hin. Der spektrale Schwerpunkt wird in Hz (Schwingungen pro Sekunde) angegeben.

¹⁰ angefertigt im Meisteratelier für Geigenbau Martin Schleske.

¹¹ angefertigt im Meisteratelier für Geigenbau Martin Schleske.

¹² näheres dazu unter dem Kapitel „Akustikforschung“, Abschnitt „Schallanalyse“ unserer Internetseiten www.schleske.de/06geigenbauer/akustik3schall.shtml.

¹³ zu entsprechenden Bildschirmanimationen siehe die in Anmerkung 12 genannte Internetadresse, dort Abschnitt: „Modalanalyse“.

¹⁴ eine entsprechende Veröffentlichung dazu: Martin Schleske: „On the Acoustical Properties of Violin Varnish“, in: *Journal Catgut Acoustical Society*, Vol. 3, No. 6, (Series II), November 1998.