

Brèves communications - Kurze Mitteilungen Brevi comunicazioni - Brief Reports

Les auteurs sont seuls responsables des opinions exprimées dans ces communications. - Für die kurzen Mitteilungen ist ausschließlich der Autor verantwortlich. - Per le brevi comunicazioni è responsabile solo l'autore. - The editors do not hold themselves responsible for the opinions expressed by their correspondents.

Notiz über die unterschiedliche Wirkung der Schallabsorption auf den Klang von neuen und alten Geigen

Viele wertvolle Arbeiten befaßten sich mit den Problemen der Geige; trotzdem ergab sich noch keine eindeutige und unumstrittene Formulierung der Forderungen, die an eine Neukonstruktion zu stellen wären, um mit Sicherheit bestimmte Klangideale zu erreichen. Der ganze Problemkreis wird durch die vielen Gesichtspunkte, die zu berücksichtigen sind, sehr verwickelt. Selbst bei einer vollständigen Beherrschung der physikalischen Vorgänge in Geigen blieben immer noch Schwierigkeiten psychologischer und künstlerischer Natur, und es wird vielleicht nie möglich sein, zu einer allseitig befriedigenden Lösung zu gelangen. Im Rahmen einer kurzen Notiz ist es nicht möglich, auf alle die verschiedenen Standpunkte einzugehen, auch können nicht sämtliche Einflüsse auf den Klang untersucht werden. Es sei hier nur eine Einzelfrage herausgegriffen und vom physikalischen Standpunkt aus besprochen.

Der Geigenkörper (Decke, Boden und Zargen) schließt ein Luftvolumen ein, das durch die FF-Schalllöcher mit dem Außenraum in Verbindung steht. Dieser Resonator hat einmal die Aufgabe, durch Resonanzen des Luftvolumens und der Wände die abgestrahlte Schalleistung zu erhöhen. Zum anderen soll er auch dem Ton den gewünschten «Glanz» verleihen, indem er gleichzeitig die Grundfrequenzen und die Teiltöne verstärkt. Diese Eigenschaft ist fast ausschließlich den Eigenfrequenzen des Systems Decke-Baßbalken zuzuschreiben, bei denen noch die Eigenfrequenzen des Hohlraumvolumens (50–60 Hz und 125–135 Hz) und die verstärkende Wirkung des Stimmstocks hinzukommen¹. Die Anwesenheit des Stimmstocks bewirkt eine Einschränkung der Freiheitsgrade für die Schwingungen der Decke, wodurch sich deren Eigenschwingungen gegen höhere Frequenzen verschieben. Nun beruht die Klangfarbe eines Musikinstrumentes teilweise auf der Anzahl, Art und Intensität von Partialtönen (unter denen die harmonischen als Spezialfälle zu betrachten sind). Es ist daher klar, daß die Eigenfrequenzen des Resonanzkörpers die Qualität einer Geige weitgehend entscheiden. Es handelt sich hier um eine physikalische Forderung, für die sich aber keine einheitliche Lösung finden läßt, weil die großen Unterschiede zwischen den Klanghölzern (selbst wenn diese aus einem einzigen Baumstamm gefertigt sind) berücksichtigt werden müssen². Wenn es ein Geheimnis der alten Geigenbauer gibt, so besteht es darin, wie es möglich war, in einer Zeit, in der nur Intuition und handwerkliche Sensibilität den Instrumentenbauern Wege weisen konnten, jene Formen zu finden, welche sich mit

den hochempfindlichen modernen elektroakustischen Untersuchungsmethoden als optimal herausstellen^{1,2}.

Der Reichtum an höheren Teiltönen verleiht dem Klang Farbe, Glanz und Leben. Andererseits wird durch einen großen Anteil an höheren Komponenten der Klang metallisch und schrill. Ein idealer Geigenkörper müßte demnach viele und eng benachbarte Resonanzfrequenzen im Gebiete bis zu etwa 6000 Hz aufweisen und oberhalb dieser Grenze keine nennenswert verstärkende Wirkung mehr ausüben. Es wird sich hier kaum ein genauer Grenzwert vorschreiben lassen, aber tatsächlich beobachtet man einen hohen Gehalt an niederen Teiltönen bei guten alten Geigen, die dafür hohe Partialtöne eher zurücktreten lassen. (Der Amplitudengang verläuft etwa nach dem Gesetz $1/n^2$.) Im Gegensatz dazu beobachtet man in neuen Instrumenten (wir schließen selbstverständlich Geigen zweifelhafter oder schlechter Qualität von unseren Betrachtungen aus) oft einen klaren und intensiven Klang, der in einer Bevorzugung höherer Teiltöne seine Ursache hat, während die tieferfrequenten Komponenten gegenüber alten Instrumenten kleinere Amplituden aufweisen³.

Wenden wir uns nach dieser Einleitung dem eigentlichen Gegenstand dieser Mitteilung zu, nämlich der Klärung folgender Frage aus der Aufführungspraxis: Zwei Geigen, eine alte und eine neue, die in einem Raum mittlerer Nachhallzeit ungefähr gleich gut klingen, unterscheiden sich bei größerer Dämpfung des Raumes (z.B. Theater, Konzertsaal usw.). Dieser Unterschied wächst mit zunehmender Absorption (durch Wände, Tapeten, Vorhänge, Polster, Kleider usw.). Während der Klang der alten Geige ziemlich unverändert bleibt, wird der Ton des neuen Instrumentes:

- a) weniger schreiend und weniger metallisch,
- b) grundtonärmer.

Punkt a ist leicht erklärlich, wenn man sich vergegenwärtigt, daß die Absorption in einem Konzertsaal für hohe Frequenzen ausgeprägter ist als für die niedrigen. Außerdem bewirken die anwesenden Hörer Beugungs- und Diffusionseffekte für mittlere Frequenzen, wodurch die Empfindung solcher Frequenzen steigt, und die der hohen Frequenzen zurücktritt. Schwächend für hohe Frequenzen wirkt auch die Schallabsorption durch die Luft. Das Mitschwingen von Podium, Boden und Wänden hingegen unterstützt die tiefen Frequenzen. Aus diesen verschiedenen Gründen werden hohe Klangkomponenten eher geschwächt, wodurch sich der Ton abrundet, gleichzeitig aber auch die totale Schalleistung sinkt. Dagegen sind in den Klangspektren alter Geigen vor allem die niederfrequenten Komponenten mit hohen

¹ G. PASQUALINI, *L'elettroacustica applicata alla liuteria*, Ann. R. Accad. S. Cecilia, Roma 1938–39.

¹ G. PASQUALINI, *Nuovi risultati conseguiti nello studio della cassa armonica dei violini con metodi elettroacustici*, Ric. sci. 14, 111 (1943).

² I. BARDUCCI e G. PASQUALINI, *Misura dell'attrito interno e delle costanti elastiche del legno*, Nuovo Cimento 5, 416 (1948).

² G. PASQUALINI, *Relazione sulle prove eseguite presso l'INEA per addivenire ad una valutazione obiettiva delle qualità acustiche di alcuni violini*, Ric. sci. 11, 622 (1940).

³ G. PASQUALINI, *L'elettroacustica applicata alla liuteria*, Ann. R. Accad. S. Cecilia, Roma, 1938–39.

Amplituden vertreten, während den hohen Komponenten nur eine kleine Bedeutung zukommt (im Gegensatz zu modernen Instrumenten mit ihrem Reichtum an hochfrequenten Teiltönen). Es ist daher leicht zu verstehen, daß die Absorption hoher Frequenzen die Gestalt des Klangspektrums eines neuen Instrumentes und damit die Klangfarbe und die Tonfülle stark verändern kann, hingegen Klangfarbe und Fülle einer alten Geige weniger berührt.

Punkt b scheint ein Widerspruch zu sein: denn gerade auf die tiefer gelegenen Grundtöne sollte der Einfluß der Raumabsorption geringer sein als auf die höheren harmonischen Komponenten. Eine Erklärung läßt sich in der physiologischen Residuentheorie finden, die hier vorerst zusammenfassend angedeutet werden soll.

Residuentheorie. Diese Theorie von J. F. SCHOUTEN¹ entstand in dem Bestreben, verschiedene Beobachtungen aus der physiologischen Akustik zu erklären. Sie kommt zu folgenden Schlüssen: Der klassische Standpunkt, daß das Ohr von den empfangenen Klängen eine harmonische Analyse (Fourier-Analyse) durchführe, also durch Zerlegung in Teiltöne Klangfarben empfinde, ist nur teilweise richtig. Bei mittleren Frequenzen genügt das Auflösungsvermögen des Ohres nicht, um diese Zerlegung weiter als bis etwa zum achten Partialton zu treiben. Die Anzahl getrennt empfundener Partialtöne hängt ab einerseits von der Höhe des Grundtones, andererseits aber auch sehr stark von individuellen Veranlagungen und von der Übung. Auf jeden Fall bleibt oberhalb der Grenze der Auflösungsmöglichkeit noch eine Gruppe Teiltöne hoher Frequenz (im Falle der gestrichenen Saite sind diese harmonisch), die als ein Ganzes gehört werden und den Eindruck des Grundtones verleihen. Wenn in einem an höheren harmonischen Komponenten reichen Klang der Grundton objektiv unterdrückt wird (durch Kompensation mit einem gegenphasigen Sinuston), bleibt trotzdem die Grundtonempfindung erhalten. Letztere verschwindet erst dann, wenn weiterhin die hohen Teiltöne des Klangspektrums abgeschnitten werden. Wie SCHOUTEN beweist, beruht dieses Phänomen nicht darauf, daß durch die nichtlinearen Verzerrungen des Übertragungsmechanismus vom Trommelfell auf das Innenohr Differenztöne gebildet werden. Die Gruppe hochfrequenter nicht separierbarer Teiltöne wird von SCHOUTEN das «Residuum» genannt. Wir verweisen für Einzelheiten und Beweise dieser Theorie auf die Originalmitteilung¹.

Kehren wir nun zum Gegenstand unserer Notiz zurück. Es ergab sich, daß neue Geigen eine deutlichere Abschwächung der Grundtöne durch die Schallabsorption erfahren als antike Instrumente. Dies kann man an Hand der Residuentheorie folgendermaßen erklären. Da die Absorption sich vor allem auf die hohen Frequenzen auswirkt, wird sie das Residuum eines Tones, welches ja hohe Frequenzen umfaßt, stark schwächen oder sogar gänzlich unterdrücken. Dadurch wird der auf dem Residuum beruhende Anteil der Grundtonempfindung wegfallen. Der eigentliche Grundton besitzt im Klangspektrum neuer Geigen eine relativ schwache Amplitude, er bedarf also der Verstärkung durch das Residuum. Bei alten Geigen hingegen sind die Grundtöne selber schon stärker als die Partialtöne, die Unterstützung durch das Residuum ist dort weniger wichtig. Der Klang alter Geigen wird deswegen durch die Schallabsorption weniger beeinflusst, da das betroffene Residuum bei ihnen weniger ausgeprägt ist, umfaßt das Residuum doch gerade die Teiltöne desjenigen Frequenzbereiches, der

durch sein viel schwächeres Auftreten alte Geigen vor den neuen klanglich auszeichnet.

Die geschilderten einfachen Zusammenhänge können durch die in einem geschlossenen Raum sich bildenden stehenden Wellen etwas verwischt werden. Je nach Sitzplatz kann sich eine verschiedene Klangfarbe ergeben, denn Stellen maximaler Amplitude für die einen Komponenten können mit denjenigen minimaler Intensität für andere Komponenten zusammenfallen. Nach einer Formel von Lord RAYLEIGH läßt sich die Anzahl stehender Wellen für den Bereich unterhalb bestimmter Frequenzen ausrechnen. Es ergeben sich für einen mittelgroßen Konzertsaal von 10000 m³ in der Oktave zwischen 3300 und 6600 Hz zehnmal mehr Eigenfrequenzen als im gesamten Bereich unterhalb 3300 Hz. Die Formel gilt allerdings für völlig reflektierende Wände. Bei Absorption werden die Resonanzen weniger zahlreich, aber sie liegen trotzdem bei hohen Frequenzen so dicht, daß sie nicht selektiv auf die einzelnen Teiltöne wirken. Außerdem nehmen die Amplituden der stehenden Wellen bei steigender Frequenz rapid ab. Dies bedeutet, daß die Residuen durch die Bildung stehender Wellen in ihrer spektralen Zusammensetzung wenig beeinflusst werden, ein Umstand, der die Verstärkung einzelner Töne in tiefer Lage durch die Raumresonanzen etwas ausgleicht.

Abschließend muß noch gesagt werden, daß die verschiedenen Effekte, welche in einem Saale guter Akustik für die tiefen und mittleren Frequenzen (Grundtöne!) wirkungsvoll sind (Eigenfrequenzen des Raumes, Mitschwingen des Podiums, des Bodens und der Wände, Diffusion durch die Hörer und die Bestuhlung), nur effektiv vorhandene und nicht die durch das Residuum subjektiv empfundenen Grundtöne verstärken können.

Die Gründe für die Bevorzugung alter Meistergeigen sind sehr zahlreich. In diesem Fragenkomplex wollen die vorliegenden physikalischen Betrachtungen über die Bedeutung des Residuums für die Bildung der Klangfarbe und die Tonfülle nichts weiteres sein als ein bescheidener Hinweis.

Herrn G. PASQUALINI vom Consiglio Nazionale delle Ricerche und von der Accademia di Santa Cecilia in Rom danke ich für die anregenden Diskussionen, aus denen diese Notiz hervorging.

H. BRINER

Physikalisches Institut der Universität Freiburg (Schweiz), den 3. Mai 1950.

Summary

The "Theory of Residue" explains how the absorption of high frequency harmonics *changes the tone quality and loudness of old violins less than that of modern ones*. Indeed, following this theory, the high frequency harmonic components directly contribute to the sensation of fundamental sound. Therefore in new violins, rich in high partial components, the room absorption makes itself felt not only in these, but also in the fundamental component sensation.

Polarographic Behavior of Vitamin B₁₂ in Potassium Cyanide Supporting Electrolyte

That vitamin B₁₂ undergoes a two-electron reduction with half-wave potential at -1.12 V toward the saturated calomel electrode has already been reported¹. That

¹ J. F. SCHOUTEN, Philips' techn. Rdsch. 5, 204 (1940).

¹ H. DIEHL, R. R. SEALOCK, and JOHN I. MORRISON, Iowa State College J. Sci., 24 433 (1950).