

Untersuchungen an Saiten von Gitarren und Geigen

Gunter Ziegenhals; Michael Baltrusch

Institut für Musikinstrumentenbau an der TU Dresden, post@ifm-zwota.de (veröffentlicht September 2011)

Einleitung

Die diesem Artikel zu Grunde liegenden Arbeiten erfolgten in einem Projekt, das im Zeitraum 1997 bis 2000 vorbereitet und realisiert wurde. Die Vorbereitung des Projektes erfolgte durch den Autor, die Bearbeitung im Wesentlichen durch BALTRUSCH. Infolge eines Versehens erschien ein zur DAGA 2001 als Poster gestalteter Beitrag, der sich mit den Ergebnissen des Projektes beschäftigte, nicht im Tagungsband (BALTRUSCH 2001). Eine Anfrage aus jüngster Zeit, die sich insbesondere auf die in Zusammenhang mit den Untersuchungen verwendete Messmethodik und Messtechnik bezog, bewog uns, eine neue Veröffentlichung zu verfassen, die nicht zuletzt auch weiterführende Versuche und Überlegungen einbezieht. Im Rahmen des Projektes entstand eine Diplomarbeit (BLOBNER 2000), in der eine Reihe von Ergebnissen ebenfalls dokumentiert sind.

Problemstellung

Untersuchungen Mitte der 1990er Jahre von KLUCK und HOLZ (1996) zeigten, dass der Einfluss der Qualität des Deckenmaterials auf die klanglichen Eigenschaften von Gitarren deutlich geringer ist als bis dahin angenommen. Selbst erhebliche Abweichungen von der traditionellen Vorgehensweise bei Auswahl und Zuschnitt ergaben bei Fertiginstrumenten sowohl in den messtechnisch erfassten akustischen Merkmalen als auch in der subjektiven Beurteilung (Blindtest) keine nachweisbare Verschlechterung der Werte. Ganz ähnliche Ergebnisse erzielte EICHERT (1996) bei Untersuchungen an Gitarrenstegen. Er verglich den Einfluss verschiedener Materialien für den Stegsattel auf den Klang des Instrumentes. Zum Einsatz kamen Palisander, Knochen, Elfenbein, Aluminium, Glas sowie Stahl. Traditionell werden Elfenbein die besten Eigenschaften zugeschrieben. EICHERT konnte zeigen, dass verschiedene Stegsattelmateriale keinen eindeutigen Einfluss auf die gemessenen akustischen Eigenschaften sowie auf die subjektive Beurteilung ausüben, solange mit hinreichend harten Materialien gearbeitet wird. Die konstruktiven Einflüsse (Beleistung, Stegform, Zargenhöhe, Schallloch) werden von MEYER (1985) umfassend beleuchtet. Es zeigt sich, dass die Grundkonstruktion der Gitarre einen in Messungen und subjektiven Tests eindeutig nachweisbaren Einfluss auf die Klangqualität ausübt. Damit ist ein wichtiger Ansatzpunkt für einen vom Kunden deutlich wahrnehmbaren Qualitätsunterschied gegeben. Werden aber nur kleinere Änderungen vorgenommen (z.B. nur eine Leiste wird versetzt), so sind die Ergebnisse keineswegs immer eindeutig (ZIEGENHALS 1995).

Wesentlich umfangreicher ist das Angebot von Arbeiten zu Streichinstrumenten. Grundlegende Aussagen zur Funktion der Instrumente sowie dem Einfluß einzelner Teile geben vor allem die Arbeiten von CREMER (1981), DÜNNWALD (1984) und MEYER (1978). In früheren Jahren bildete die objektive Bewertung der Instrumente den Schwerpunkt der Arbeiten. Seit Mitte der 80er Jahre befasst man sich zunehmend mit der Wirkung konkreter Teile auf den Klang der Instrumente und die Beeinflussbarkeit durch den Instrumentenmacher. Es gibt hier eine Vielzahl von Veröffentlichungen. Eine Auswahl von Beiträgen aus dem Jahre 1996 ist angegeben

/9/.../21/. Die Ergebnisse dieser Arbeiten weisen immer nur sehr kleine Effekte der einzelnen Merkmale sicher nach. Dies bestätigen auch eigene Untersuchungen des IfM zum Stegeinfluss VOIGTSBERGER (1997).

Bei akustischen Untersuchungen werden nun fast immer die Saiten ausgeschaltet. Die typische akustische Beurteilung der Streich- und Zupfinstrumente erfolgt anhand der Frequenzkurve. Hierzu wird das Instrument am Steg künstlich erregt, und der im Ergebnis dieser Erregung abgestrahlte Schall aufgenommen. Die Instrumente sind für diese Messungen zwar besaitet und gestimmt, jedoch dient dies nur der spielgerechten Vorspannung des Instrumentes. Die Saiten selbst werden bedämpft. Lediglich in sehr wenigen Arbeiten aus den 50er und 60er Jahren werden Untersuchungen an Gitarren unter Verwendung von Anzupfvorrichtungen und Streichinstrumentenmessungen unter Anregung mit einem Endlosband (Bogen) beschrieben. Aber auch hier sind die Instrumente und nicht die Saiten der Untersuchungsgegenstand. Die Anregung der Saiten war eher ein Notbehelf, da noch keine geeigneten Anregevorrichtungen (Shaker, Impulshammer) zu Verfügung standen. Erst seit einigen Jahren werden Instrumente wieder über die Saiten angeregt. Die eigentliche Erregung geschieht mittels eines sogenannten "Digitalen Bogens" MÜLLER (1994 und 1996). Nachteilig ist es dabei, dass die Saiten leitend sein müssen. Diese Untersuchungen dienen jedoch ebenfalls der Beobachtung der Instrumente selbst.

Traditionell werden Zupf- und Streichinstrumente mit billigen Saiten ausgeliefert. Dies trifft insbesondere für Streichinstrumente zu. Für längere Transporte müssen die Saiten entspannt und der Steg umgelegt werden. Da der Druck auf die Decke fehlt, kann sich die Stimme verschieben oder gar umfallen. Es ist deshalb erforderlich, die Instrumente beim Kunden (Händler) von einem erfahrenen Instrumentenmacher spielfertig machen zu lassen. Beim Fertigmachen werden dann gleich die Saiten nach Kundenwunsch (jetzt der Musiker) aufgezogen. Hier entsteht nun das Problem, dass der Instrumentenmacher keinen Einfluss auf das letztlich endgültige Ergebnis seiner Produktion hat. Korpus und Saiten bilden eine untrennbare Einheit und sollten aufeinander abgestimmt sein. Das Argument, dass der Musiker schon weiß, welche Saiten er zu verwenden hat, trifft nur bedingt zu. Erstens geht die Mehrzahl der Instrumente in den nichtprofessionellen und Schülerbereich und zweitens ist ein neu gekauftes Instrument im Allgemeinen keine akustische Kopie des bisher gespielten Instrumentes. Selbstverständlich war bekannt, dass viele erfahrene Profimusiker sich Saitensätze aus unter Umständen verschiedenen Typen z.T. unterschiedlicher Hersteller selbst zusammenstellen. Dieser Fall sollte jedoch im Projekt ausgeklammert werden.

Der Schwerpunkt der Projektarbeiten wurde auf Saiten für Violine und Cello gesetzt. Im Falle Gitarre stand nur eine ganz spezielle Fragestellung zum Einsatz von Carbonsaiten.

Stand der Forschung zum Zeitpunkt der Projektvorbereitung 1996

Die Problemstellung und damit die Betrachtung des vorhandenen Erkenntnisstandes umfasst zwei wesentliche Seiten: Die Beurteilung der Saitenqualität unabhängig vom Instrument und die

Beurteilung der Kombination Instrument-Saite. Betrachten wir zunächst die Saitenqualität. Den Ausgangspunkt bildeten Arbeiten von MEINEL und MÜLLER im IfM in den 1970er Jahren (MEINEL 1977 und 1979) zu Messmethoden an Saiten. Diese wurden zunächst für Konzertgitarrensaiten entwickelt und später auch auf andere Saiten angewandt. Musikerbefragungen ergaben aus subjektiver Sicht fünf wesentliche Qualitätsmerkmale der Saite:

- Stimmung/Stimmhaltung
- Klangfarbe
- Klangdauer
- Lautstärke
- Ansprache
- Haltbarkeit.

Es gab jedoch sehr unterschiedliche Meinungen darüber, ob die Ansprache für Saiten allein betrachtet werden sollte. MEINEL verwendet das Merkmal Ansprache nur für Streichinstrumentensaiten; das Merkmal Lautstärke nur für Gitarrensaiten

Die Eigenschaften Klangdauer und Klangfarbe wurden auf einer speziellen Apparatur gemessen. Auf ein Monochord wurde zusätzlich eine Sperrholzplatte (412 x 118 x 4 mm) die nur an den beiden kurzen Enden gestützt ist, aufgesetzt. Auf der Platte befand sich ein gekürzter Konzertgitarrensteg. Die Schwingungsabnahme erfolgte mit einem Beschleunigungsaufnehmer auf der Unterseite der Sperrholzplatte unterhalb des Steges. Erregt wurde die Saite (stets Leersaite) mittels eines Pendelfingers.



Abbildung 1: In den 1970er Jahren im IfM verwendetes Monochord

Zur Beurteilung der Klangdauer zeichnete MEINEL das Ausgangssignal des Beschleunigungsaufnehmers mit einem Pegelschreiber auf und gewann aus den Schrieben folgende Merkmale:

- T_{60} – Zeit, in der das Beschleunigungssignal um 60 dB abgefallen ist
- t – Verweilzeit des Signals oberhalb eines festgelegten relativen Pegels
- η – Pegelabfall des Signals innerhalb der ersten Sekunde nach Erreichen des Maximums (Dämpfung in dB/s).

Als Merkmal für die Lautstärke der Saite diente der maximale, impulsbewertete Schalldruckpegel $L(I)_{\max}$, der beim Anzupfen der auf ein Referenzinstrument aufgezogenen Saiten in einem Abstand von 80 cm zum Instrument entsteht. Das Anzupfen geschah von Hand, der Merkmalswert stellt einen Mittelwert über mehrere Handanschläge dar. Für Streichinstrumentensaiten wird das Merk-

mal Lautstärke nicht für die Beurteilung herangezogen. Offensichtlich gab es Probleme mit einer vergleichbaren, reproduzierbaren Anregung. Die Klangbewertung erfolgte anhand der Größen t , η und L_{\max} für einzelnen Teiltöne (für höhere Teiltöne Gruppen von Teiltönen). Dazu wurden die Signale der Teiltöne mittels entsprechend der Teiltonverteilung eingestellter Bandpassfilter aus dem Gesamtsignal extrahiert.

Für die Beurteilung der Stimmungsreinheit wurden die Saiten auf ein Referenzinstrument aufgespannt. Als Merkmalswert dient die Differenz Δf zwischen der Frequenz der Grundschwingung der am 12. Bund gedrückten Saite und der Frequenz des 1. Obertones der Leersaite (= Flageoletton am 12. Bund).

Bei Streichinstrumentensaiten erfolgten die Messungen auf dem Monochord. Gemessen wurde die Stimmungsabweichung bei gedrückter Quinte. Als Qualitätsmerkmal verwendet MEINEL die Abweichung $MW(\Delta f)$ von Saite zu Saite innerhalb eines Satzes.

Infolge von nicht elastischen "Nachlängprozessen" kommt es nach dem Stimmen zu einem Absinken der Spannung und damit der Stimmung. MEINEL bewertet zunächst diesen Prozess, indem er die Stimmung der Saite 1 h und 5 h nach dem Stimmen misst und daraus zwei Werte für den "Stimmungsnachlass" in cent gewinnt. Später nutzt er als Merkmal die Verstimmung innerhalb von 10 min nach dem Stimmen.

Mit diesem akustischen Messverfahren führte MEINEL in den Jahren 1974 bis 1976 eine Reihe von Untersuchungen durch, aus denen er folgende positive Tendenzen für die akustischen Qualitätsmerkmale der Saiten ableitete:

- Δf bzw. $MW(\Delta f)$ soll nahe 0 liegen,
- der Stimmungsnachlass soll möglichst gering sein,
- hohe Werte für $L(I)_{\max}$ bei guter Ausgeglichenheit,
- hohe Werte für t bei guter Ausgeglichenheit,
- eine möglichst geringe Dämpfung η in höheren Frequenzbereichen.

Die Forderung nach Ausgeglichenheit konnte MEINEL jedoch in seinen Messungen im Vergleich zu Musikers Aussagen nicht belegen. Ganz ähnliche Ergebnisse zeigten die Untersuchungen des Autors 1995. Als gut bewertete Instrumente (Konzertgitarre) zeichneten sich in keiner Weise durch Gleichmäßigkeit in Lautstärke und Klangdauer aus.

Weiterhin fordert MEINEL eine geringe innere Dämpfung der Saiten. Dies erscheint im Hinblick auf unerwünschte Energieverluste durchaus legitim, jedoch konnte kein schlüssiger experimenteller Nachweis erbracht werden.

Die Ansprache bewertet MEINEL nur für Streichinstrumentensaiten. In Ermangelung verfügbarer, geeigneter Messmethoden schätzt er die Ansprache auf indirektem Wege ein. Er geht davon aus, dass die Ansprache desto besser ist, je weniger Masse die Saite aufweist. Der Messwert zur Bewertung der Ansprache ist die Massebelegung der Saite. Sie sollte möglichst gering sein.

Neben diesen akustischen Merkmalen setzt MEINEL noch eine Reihe von elastischen Kenngrößen zur Qualitätsbewertung von Saiten ein.

- Saitenzugkraft P – nach dem Stimmen der Saite wird die auf die Monochordhalterung ausgeübte Kraft gemessen.
- Saitenspannung ζ – wird aus gemessenem P und den geometrischen Daten der Saite berechnet.

- Zerreißspannung ζ_{ZP} – wird mit einer Festigkeitsprfmaschine bestimmt.

Das Verhältnis ζ/ζ_{ZP} sollte für einen guten Klang möglichst hoch liegen, ohne jedoch zu sehr an die Zerreigrenze zu gehen. Die Forderungen für P sind nicht einheitlich. Geringe P-Werte führen zwar zu kleinen Saitenniederdruckkrften, bergen aber die Gefahr des Saitenaufschlagens.

Obwohl natürlich eine Überarbeitung der Methodik von MEINEL notwendig erschien, insbesondere im Hinblick auf den Einsatz moderner Sensoren und die Möglichkeit einer absoluten Kalibrierung der Messverfahren, war mit diesem Kenntnisstand die Voraussetzung gegeben, Saiten objektiv nach ihrer Qualität zu unterscheiden. Eine ähnliche konkrete und umfassende Arbeit war zum Zeitpunkt der Projektvorbereitung nicht bekannt. CHAIGE (1986) arbeitet zwar mit einer wesentlich größeren Stichprobe (57 Musiker testeten 354 Sätze Gitarrensaiten) jedoch wird "nur" der statistische Zusammenhang zwischen Musikerurteilen und mechanischen bzw. elastischen Merkmalen der Saiten hergestellt. Der Bezug zu Merkmalen wie Klangdauer, die als "physikalische Eingangsgröße" für das Instrument dienen können, fehlt. CHIANG (1982) verwendet als alleiniges objektives Merkmal die Teiltonverstimmung.

Abschließend soll ein erster Vergleich hinsichtlich Saiten- und Instrumenteneinfluss vorgenommen werden. Dieser erfolgt anhand bereits zum Zeitpunkt der Projektvorbereitung verfügbarer Daten. Anhand im IfM archivierter Daten von MEINEL ergaben sich über alle untersuchten Saiten folgende maximale Unterschiede für Klangdauer und Lautstärke, die auf den Saiteneinfluss zurückzuführen sind:

- $\Delta L(I)_{\max}$ E-Saite: 3 dB
e¹-Saite: 3 dB
- Δt E-Saite: 2 s
e¹-Saite: 0,2 s.

Im Rahmen von Untersuchungen an klassischen Gitarren im Zeitraum 1993 bis 1995 ermittelte ZIEGENHALS an einer Stichprobe von insgesamt 83 Instrumenten bei Verwendung einheitlichen Saitenmaterials (d'Addario normal tension) folgende Streuungen:

- $\Delta L(A,F)_{\max}$ E-Saite: 5 dB
e¹-Saite: 6 dB
- Δt E-Saite: 2 s
e¹-Saite: 0,8 s.

Diese Ergebnisse zeigen, dass der Saiteneinfluss offensichtlich vorhanden ist und einen gewissen Stellenwert besitzt, der Instrumenteneinfluss aber überwiegt. Die Werte für $L(A,F)_{\max}$ wurde durch mechanisches Anzupfen der Instrumente gewonnen.

Entwurf und Bau einer Saitenmessvorrichtung

Aufbauend auf den Arbeiten von MEINEL wurde eine neue Messapparatur entworfen und gebaut. Als gravierendste Neuerung ist die Erfassung der auf den Steg ausgeübten Wechselkraft anstelle der bisher verwendeten Beschleunigung anzusehen. An die zu entwickelnde Apparatur wurden folgende Forderungen gestellt:

- Aufspannmglichkeit für Einzelsaiten bei Mensurlngen von 300 mm bis 1150 mm,

- Vorrichtung zum definierten Verkürzen der frei schwingenden Länge der Saiten im Sinne des Drückens,
- Integration der Messung der statischen Saitenzugkraft im Bereich 30 ... 500 N mit einer Auflösung von 0,1 N,
- Messung der in den Steg eingespeisten Wechselkraft in drei Raumrichtungen,
- Definierte Simulation der Anregungsarten Streichen und Zupfen,
- Konstruktion der Apparatur derart, dass die in die Apparatur abwandernde Energie gegen Null geht.
- Es sollte die Möglichkeit bestehen, reale Belastungen der Saiten (tägliches oder gelegentliches Spiel) in wesentlich verkürzten Zeiträumen zu simulieren.

Konstruktion und Bau der Apparatur erfolgte im Wesentlichen durch DIX in Zusammenarbeit mit SCHETLICH und SCHLOTT (Mitarbeiter des IfM). Alle Forderungen konnten erfüllt werden. Lediglich wurde für die Simulation der Dauerbelastung eine separate „Daueranspielvorrichtung“ geschaffen. Abbildung 2 zeigt eine Detailansicht der neuen Messvorrichtung für Saiten. Realisiert ist eine Violinenmensur mit Streicherregung.

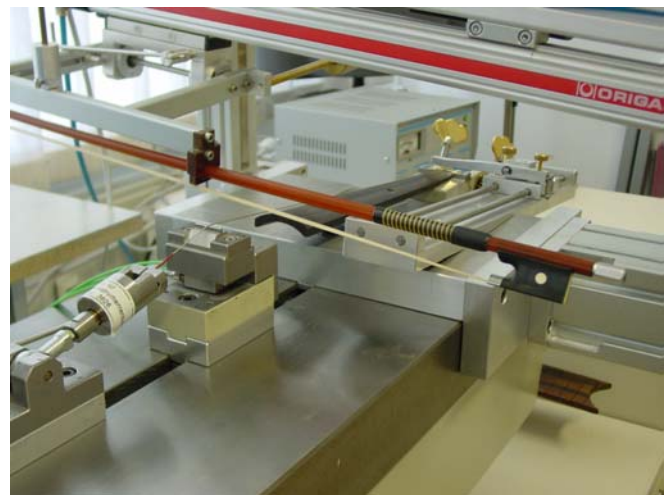


Abbildung 2: Detailansicht der neuen Messvorrichtung für Saiten

Das Anstreichen wird über einen pneumatisch bewegten Bogen realisiert. Für das Anzupfen verwenden wir einen justierbaren, manuell zu spannenden Zupffinger (Abbildung 3).

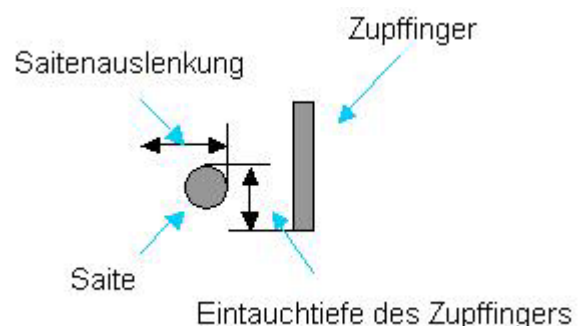


Abbildung 3: Parameter des Zupffingers

Der verwendete Zupffinger weist einen Durchmesser von 3 mm auf. Er tauchte typisch 1 mm unter die Saitenoberkante, jedoch stets bis an die Unterkante der Saite (bei dickeren Saiten). Die seitliche Auslenkung der Saite betrug 3 mm. Nach dem manuellen Auslenken der Saite wird der Zupffinger mittels einer Feder nach

oben gezogen und gibt so die Saite frei. Der Anregeort wurde im Rahmen der Untersuchungen variiert.

Herzstück der Vorrichtung ist der unter dem Steg angebrachte Triaxial-Kraftaufnehmer. Die Beobachtungsrichtungen der von den Saiten in den Steg eingeleiteten Kraft wurden wie folgt festgelegt:

- **X-Richtung:** In Saitenrichtung,
- **Y-Richtung:** Quer zur Saitenrichtung, parallel zur (gedachten) Decke
- **Z-Richtung:** Quer zur Saitenrichtung, senkrecht zur (gedachten) Decke.

Die Gesamtanordnung ist sehr massiv gebaut. Dadurch kann deutlich weniger Energie von der Saite über den Steg in die Apparatur abwandern als das im realen Instrument erfolgt und dort gewünscht ist. Ein Maß für diese Übertragung ist die Admittanz am Steg. Abbildung 4 zeigte den Admittanzverlauf am Steg der Apparatur im Vergleich mit einem Steg auf einem Cello und zwar senkrecht zur Deckenrichtung (Z) und parallel zur Decke, senkrecht zu den Saiten (Y).

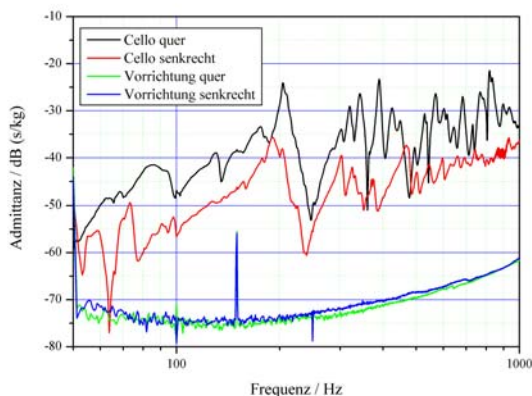


Abbildung 4: Admittanzverlauf am Steg der Apparatur und an einem Cellosteg im Vergleich

Die Admittanz der Apparatur zeigt im Gegensatz zum realen Instrument einen wie erwartet glatten Verlauf ohne Resonanzen. Damit kann das von den Saiten gelieferte Kraftspektrum ohne Verwerfungen aufgenommen werden. Die sehr schmalen Peaks im Admittanzverlauf der Apparatur sind Störeinstreuungen während der Messung.

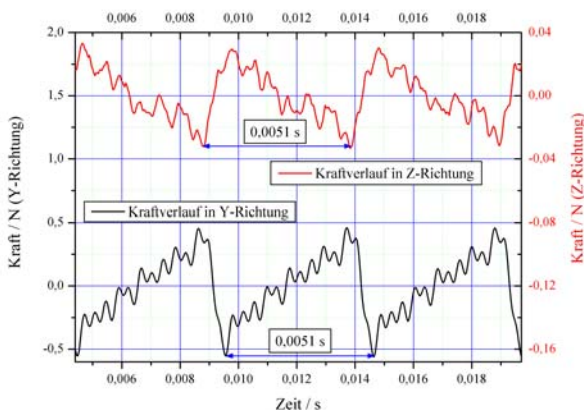


Abbildung 5: Zeitverlauf der Kraft am Steg in Y- und Z-Richtung bei Streicherregung, 2 g Bogendruck, g-Violinensaiten leer

Abbildung 5 stellt die Zeitfunktion der Kraft am Steg für Y- und Z-Richtung bei angestrichener Saite dar. Der Bogendruck ist auf 2 g eingestellt. Gespielt wird eine g-Violinensaiten leer. Man erkennt sehr schön den bekannten Sägezahnverlauf der Saitenkraft auf den Steg. Damit dies gut erkennbar ist, wird nur ein sehr kurzes Zeitfenster von drei Perioden gezeigt. Die Periodenlänge des Sägezahns ist 0,0051 s und entspricht somit der Frequenz des gespielten Tones g (196 Hz). Der Sägezahn ist mit höherfrequenten Schwingungen überlagert, sein Verlauf ist „gekräuselt“. Die Kräuselung nimmt mit wachsendem Bogendruck zu (Abbildung 6). Bereits HELMHOLTZ (1913) beobachtete derartige „Kräuselungen“. Er konnte eine Abhängigkeit der Stärke der Kräuselung von der Entfernung der Anstrichstelle vom Steg feststellen.

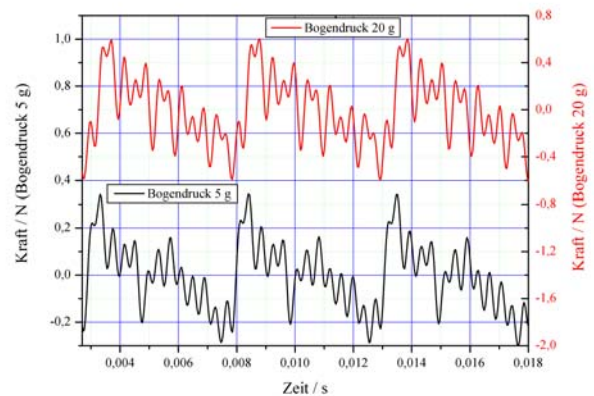


Abbildung 6: Zeitverlauf der Kraft am Steg in Y-Richtung bei Streicherregung, 5 g und 20 g Bogendruck, g-Violinensaiten leer

Der Kraftverlauf in Y- und Z-Richtung ist in Abbildung 5 gerade entgegengesetzt, obwohl beide Kurven in einem Streichvorgang gewonnen wurden. Ursache ist die Orientierung des Kraftaufnehmers. Weiterhin zeigt sich die Kraft in Z-Richtung als deutlich geringer im Vergleich zur Y-Richtung. Man kann dieses Kraftverhältnis über den Neigungswinkel des Bogens deutlich beeinflussen. In X-Richtung liefert die Messung einen gänzlich anderen Kraftverlauf (Abbildung 7). Obwohl ebenfalls die Periode von 0,0051 s zu beobachten ist, ergibt sich ein gänzlich anderer Signalverlauf. Hörbar gemacht, ergibt sich ein Sound, der deutlich vom typischen Streichklang abweicht. Bei Streichinstrumenten findet allerdings in X-Richtung auch nur in sehr geringem Umfang ein Kräfteintrag über den Steg in den Korpus statt.

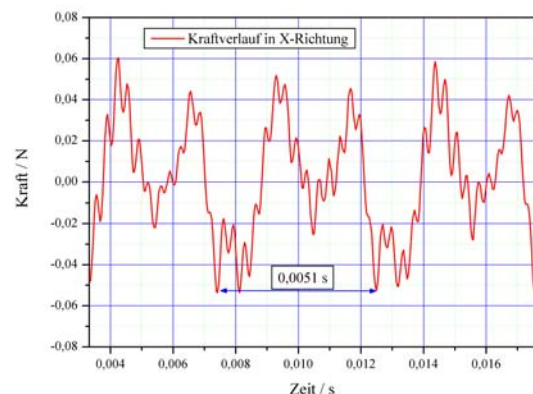


Abbildung 7: Zeitverlauf der Kraft am Steg in X-Richtung bei Streicherregung, 2 g Bogendruck, g-Violinensaiten leer

Eine große Serie von Testmessungen zeigte allerdings, dass die Reproduzierbarkeit der Anregung beim hier mechanischen Anstreichen sehr schlecht ist. Als eine Ursache wurde der deutliche Einfluss des Auftragens des Kolophoniums erkannt. Weiterhin führten die Untersuchungen zu der Vermutung, dass eine einfache Anregung mit zwar wählbaren aber im konkreten Versuch konstanten Parametern, wie sie die verwendete Apparatur realisiert, nicht zum Erfolg führt. Vielmehr ist mit variabler Bogendruckkraft und veränderlicher Geschwindigkeit zu arbeiten. Beide Größen müssen in Abhängigkeit zum aktuellen „Streicherergebnis“ geregelt werden. Eine entsprechende neue Lösung konnte im Rahmen des Projektes jedoch nicht erarbeitet werden. Die Streichvorrichtung wird deshalb vorläufig nur zu Demonstrationszwecken eingesetzt. Die Untersuchungen an den Saiten erfolgten also ausschließlich bei Erregung mittels des mechanischen Zupffingers (Abbildung 8).



Abbildung 8: Messvorrichtung mit abgenommenem Bogen und eingesetzter Zupfvorrichtung

Mittels Zupferregung können alle eingangs aufgeführten Merkmale ohne Einschränkung ermittelt werden. Allerdings sind keine Beobachtungen zur Wechselwirkung Bogen – Saite möglich. So lassen sich die Eigenschaften der Saiten hinsichtlich des Streichvorganges (z. B. Haft- und Gleitreibung zwischen Saite und Bogen) nicht beurteilen.

Musikerbefragung zur Saitenproblematik

Vor den eigentlichen Saitenmessungen erschien es notwendig, sich einen Überblick über die von Musikern verwendeten Saiten zu verschaffen. Außerdem sollten praktische Probleme mit Saiten und Gründe für Saitenwechsel erkannt werden. Daher wurden Fragebögen, die in erster Linie ein Bild über bevorzugt verwendete Saitentypen liefern sollte, an eine Vielzahl von Musikern und Orchestern gesendet. In diesen Fragebögen wurde auch nach weiteren praktischen Belangen hinsichtlich Auswahlkriterien für Saiten oder Saitennutzungsdauer etc. gefragt. Die Ergebnisse sollten die Auswahl der zur Untersuchung heranzuziehenden Saiten einengen, mögliche Referenzsaiten zeigen und das Verständnis der Problematik aus der Sicht der Musiker vergrößern. Von den ca. 1000 versendeten Fragebögen erhielten wir ca. 20 % beantwortet zurück. Im Falle der Violine wurden ca. 70 Fragebögen beantwortet und in die Auswertung einbezogen. Der überwiegende Teil der antwortenden Musiker (88 %) waren Berufsmusiker. Daraus resultiert die relativ hohe tägliche Nutzungszeit des Instrumentes nach deren Angaben von etwa 5 Stunden. Hinsichtlich der genutzten Saiten ergab sich folgende Verteilung: Die bei Geigen am meisten

verwendeten Saiten stammen von der Firma Pirastro (55,4 %), mit etwas Abstand gefolgt von Thomastik-Infeld (23 %). Die Hersteller Correlli, D'Addario werden von 10,8 % bzw. 7,7 % der Befragten genannt.

Bei Geigensaiten nutzen, der Umfrage zufolge, etwa die Hälfte der Musiker Komplettsätze (49 %), wogegen sich die andere Hälfte der befragten Musiker Ihre Saiten individuell zusammenstellt. Über die Hälfte der Musiker (60 %) gaben an, dass die Klangeigenschaft ein wichtiges Auswahlkriterium für ihre Saiten ist. Für etwa 20 % der Musiker ist die Haltbarkeit ein entscheidendes Kriterium. Weitere wichtige Auswahlkriterien sind die Stimmung bzw. Stimmungshaltung (15 %), der Preis, die Ansprache und die Dauer, die zum Einspielen der Saiten notwendig ist (mit je 10 %).

Saiten werden im Durchschnitt nur etwa 17 Wochen gespielt. Der Hauptgrund zum Saitenwechsel ist dabei eine klangliche Verschlechterung. Als weitere Gründe werden sichtbare Defekte, Verschmutzung und Korrosion angegeben. Etwa 20 % der Musiker wechselt die Saite nach einem bestimmten Zeitraum der Nutzung auch wenn noch keine Defekte oder Beeinträchtigungen feststellbar sind. Die Länge des Zeitraums wird nach Erfahrungen individuell festgelegt.

Messtechnische Untersuchungen an Saiten

Im Ergebnis der Musikerbefragungen wurden 32 Satz Gitarrensaiten und 24 Satz Geigensaiten für die Projektarbeit beschafft und in die Messungen einbezogen. Aufgrund der Probleme mit der Streicherregung konzentrierten sich die Auswertungen jedoch letztlich auf die Gitarrensaiten und hier vorrangig auf g- und E-Saiten.

Die im Ergebnis des Anzupfens der einzelnen Saiten im Kraftsensor generierten Signale wurden zunächst auf Festplatte aufgezeichnet und später off line analysiert. Unter Berücksichtigung der damals verfügbaren Speicherkapazitäten wählten wir dabei eine Samplingrate von 32 kHz. Die Kontrolle der Aufnahmen erfolgte über Abhören des Y-Signale und Beobachtung aller drei Signale am Oszilloskop.

Aus den aufgezeichneten Messsignalen wurden jeweils 51 Merkmale extrahiert. Abbildung 9 zeigt beispielhaft das Abklingen einzelner Teiltöne einer angezupften Gitarrensaite.

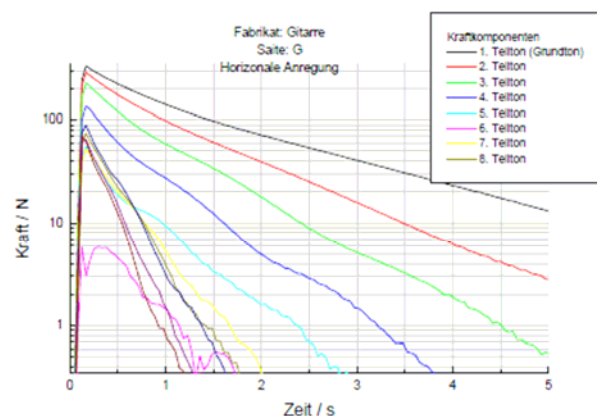


Abbildung 9: Abklingen der einzelnen Teiltöne einer Gitarrensaiten-Saite (Kraft hier nicht kalibriert)

Die typische Ermittlung der Abklingzeit T_{60} setzt einen linearen Pegelabfall über die Zeit voraus. Man erkennt in Abbildung 9, dass dies insbesondere für höhere Teiltöne nur bedingt gegeben ist. Hierin liegt eine wesentliche Fehlerquelle.

Folgende Merkmale erwiesen sich als relevant:

- Partialtonverstimmung der ersten 14 Teiltöne (Die Verstimmung bezieht sich jeweils auf die reale Frequenz des ersten Teiltones.)
- Maximalpegel der ersten 14 Teiltöne
- Abklingzeit T_{60} der ersten 14 Teiltöne
- Mittlerer Maxpegel in den Frequenzbereichen (220..450), (2,8k..4k), (4k..5k) und Gesamtbereich
- Abklingzeit T_{60} in den Frequenzbereichen (220..450), (2,8k..4k), (4k..5k) und Gesamtbereich

Neben den Parametern aus den Anzupfvorgängen wurde auch die Zugfestigkeit untersucht. Eine Besonderheit von Kunststoffsaiten ist ihre Neigung zum Fließen, die in der Materialstruktur begründet ist. Die Saiten wurden dafür periodisch be- und entlastet, um so den Hystereseeffekt, wie er in Abbildung 10 dargestellt ist, zu beurteilen. Als ein Merkmal wurde die Fläche pro Hystereseschleife benutzt. Sie spiegelt den Teil der Energie wider, der für die Materialdämpfung verantwortlich ist. Die Fläche der Schleife wird in Nmm angegeben. Für einen brillanten Klang sollte die Fläche der Hystereseschleife möglichst klein ausfallen.

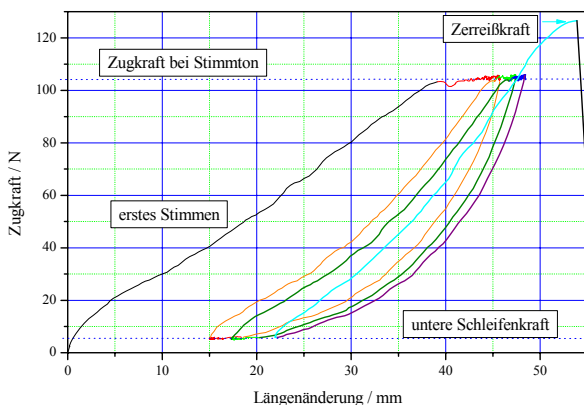


Abbildung 10: Beispiel für Hysteresekurven

Die folgende Tabelle 1 gibt die Stimmgewichte (Saitenzugkraft bei typischer Mensurlänge und Erreichen der Sollfrequenz des Leertones) der untersuchten Gitarrensaiten wieder.

Saite	$F_{Z,mittel}$ / N	$F_{Z,minl}$ / N	$F_{Z,maxl}$ / N
E	62,4	55,6	70,1
A	66,2	52,9	74,1
d	68,3	58,6	76,3
g	54,6	48,4	63,4
h	55,1	49,5	68,5
e ¹	72,4	64,6	87,6

Tabelle 1: Stimmgewichte der untersuchten Gitarrensaiten

Insgesamt muss man feststellen, dass die akustischen Untersuchungen nur wenige klare Tendenzen hinsichtlich vorteilhafter Saitenmaterialien bzw. Materialkombinationen ergaben. Bei g-Saiten weisen die monofilamenten PA-Varianten hinsichtlich der Inharmonizität die besten Eigenschaften auf. Für E-Saiten zeigten die mit Stahlseilkern unerwartet schlechte Werte. Hinsichtlich der Partialtöne scheint dem siebenten Teilton eine besondere Bedeutung zuzukommen. Er liegt, obwohl harmonisch in der Teiltonreihe, nicht auf einem musikalischen Intervall. Die Verstimmung zum

nächstgelegenen Ton beträgt etwa 30 cent. Er sollte deshalb im Toneinsatz nicht zu stark ausgeprägt sein und möglichst rasch abklingen. Filtert man ihn jedoch ganz heraus, wird der Ton als „leiblos“ eingeschätzt.

An Gitarren-g-Saiten wurden Abklingzeiten T_{60} zwischen 11 s und 20 s gemessen. Die dünneren, umsponnenen Saiten bzw. die PVDF-Saiten (hohe Dichte) erweisen sich als vorteilhaft. Die E-Saiten weisen im Verhältnis geringere Unterschiede auf. T_{60} bewegt sich zwischen 65 s und 75 s. Die hohen Klanganteile sind nach sehr kurzer Zeit nicht mehr sicher nachweisbar. Im Bereich 4 kHz bis 5 kHz beträgt T_{60} in allen Fällen lediglich 0,3 s bis 1 s. Für das Frequenzband 220 Hz bis 450 Hz liegen die Werte für g-Saiten zwischen 9 s und 18 s, bei E-Saiten zwischen 42 s und 52 s.

Hinsichtlich der Hystereseschleifen ermittelten wir für Gitarren-g-Saiten Flächenwerte der Hystereseschleifen zwischen 380 Nmm und 545 Nmm. Die kleinsten Flächen weisen die umsponnenen Saiten auf. Sie sind gering gedämpft und sollten daher brillant klingen. Bei E-Saiten lagen die Werte im Bereich 300 Nmm bis 600 Nmm, wobei gute Saiten Werte bis 450 Nmm liefern.

Hör- und Spieltest

Alle in die messtechnischen Untersuchungen einbezogenen Saitenvarianten auch im Hörtest einzusetzen überstieg den möglichen Umfang der vorgesehenen Arbeiten. So beschränkten wir uns auf acht Saitensätze, die den gesamten betrachteten Qualitätsumfang gut widerspiegeln. Für die Hörtestaufnahmen wurden professionelle Musiker herangezogen, die die Instrumente mit der jeweiligen Besaitung im reflexionsfreien Raum einspielten. Auf den reflexionsfreien Raum fiel die Wahl, weil er

- objektive und reproduzierbare Bedingungen für die Hörtesteinspielung bietet, und
- Unterschiede zwischen den Instrumenten, wie in einem Hörtest bestätigt wurde, deutlicher hervortreten lässt als in gewöhnlichen Räumen.

Als Aufnahmemikrofon verwendeten wir einen Kunstkopf der Fa. Headacoustics. In Verbindung mit einem Kopfhörer-Wiedergabesystem der gleichen Firma ermöglichte dieses Verfahren eine authentische Klangwiedergabe. In einem Hörtest wurden 11 bzw. 13 Probanden, sowohl professionelle als auch Hobby Musiker, nach ihrem subjektiven Klangempfinden befragt. Dargeboten wurden zunächst unterschiedliche Saiten auf einem Instrument. Dem Probanden wurde die Möglichkeit eingeräumt alle Anspiele beliebig oft und in beliebiger Reihenfolge zu hören. Insgesamt sollten folgende Parameter bewertet werden:

- Gesamtklangeindruck
- Helligkeit
- Brillanz
- Nasalität
- Ausgewogenheit.

Es ergaben sich u. a. die in Abbildung 11 und Abbildung 12 dargestellten Ergebnisse. Es fällt sofort auf, dass die Bewertung der Gitarrenanspiele differenzierter erfolgte. Die Streubreite bei der Bewertung der Geigenanspiele war größer als die bei Gitarre. Da die Probanden recht sicher urteilten, wie Tests zur Reproduzierbarkeit zeigten, wurde durch die Lautheitsberechnung der Anspiele

nachgewiesen, dass die hörbaren Unterschiede verschiedener Gitarrensaiten größer sind als die der Geige.

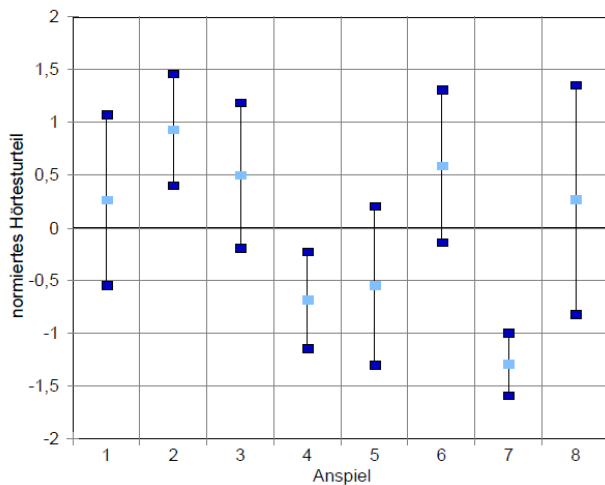


Abbildung 11: Mittelwert und Streubreite des normierten Hörtesturteils für den Gesamtklang der Gitarrenanspiele

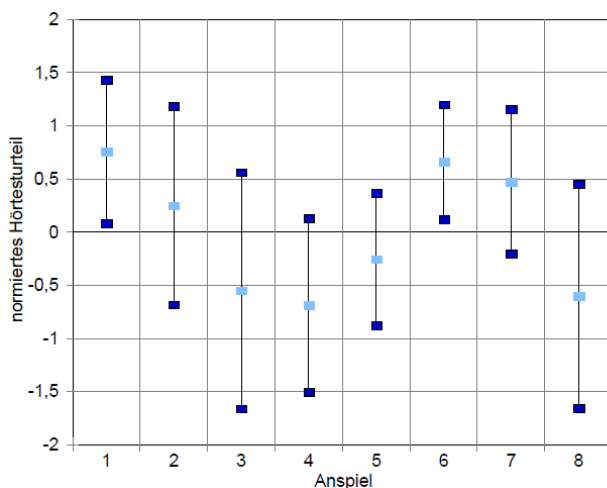


Abbildung 12: Mittelwert und Streuung des normierten Hörtesturteils für den Gesamtklang der Geigenanspiele

Betrachtet man die Urteilssicherheit der Spieler, drängt sich die Hypothese auf, dass der Geigenspieler nicht das Klangempfinden bewertet, sondern vielmehr benotet, wie leicht er seine Klangvorstellung auf den Saiten spieltechnisch umsetzen kann.

Den Probanden wurde dann die Möglichkeit gegeben, die Anspiele mit denselben Saiten auf weiteren Instrumenten zu hören. Zunächst sollten die Probanden den Klangunterschied bewerten, der zwischen den einzelnen Saiten hörbar war und zwar für verschiedene Instrumente. Dabei interessierte uns die Frage, ob Differenzen zwischen Saiten auch auf unterschiedlichen Instrumenten zum Tragen kommen. Es zeigte sich, dass im Mittel die Unterschiede der Saiten nachweislich hörbar blieben. Auch hier gilt wieder, dass die Beurteilung der Gitarrensaiten deutlichere Differenzen aufwies. Im dritten Teil des Hörtests wurde nach klanglichen Unterschieden zwischen Instrumenten gefragt. So sollte es möglich sein, den Einfluss von Saiten vom Einfluss des Instrumentes zu trennen. Obwohl die Anzahl der Kombinationen recht begrenzt war, ließen die Hörtestergebnisse erkennen, dass die klanglichen Unterschiede der Instrumente die Ergebnisse dominieren.

Es lässt sich somit schlussfolgern, dass gute Saiten den Klang des Instrumentes aufwerten, aber nicht bestimmen. Die Klangunterschiede, die durch die Saiten bewirkt werden, sind prinzipiell bei

Gitarren größer als bei Geigen. Für die Geige drängt sich die Vermutung auf, dass die Bewertung der Saiten beim Geigenspiel nicht so sehr über den Klangeindruck, sondern vielmehr über das Spielgefühl erfolgt. Diese Ergebnis sollte Anlass sein, den Begriff der „Ansprache“ neu zu betrachten. Diesmal aber nicht nur aus akustischer Sicht, sondern aus einem physikalischen und psychologischen Blickwinkel heraus.

Zusammenfassung

Ziel der Forschung war es, die Frage zu klären, in welchem konkreten Maße die Saitenqualität im Vergleich zu Konstruktion und Materialeinsatz die Qualität der Instrumente bestimmt. Unmittelbar daraus kann gefolgert werden, inwieweit die Saitenqualität ein wesentliches Mittel zur Sortimentsgestaltung darstellt. Dabei sollen für den Kunden merkbare Qualitätsunterschiede in den Sortimenten entstehen, wobei vorrangig eine generelle Qualitätssteigerung und damit verbunden höhere Preise und Umsätze angestrebt werden.

Das Projekt ging ursprünglich von der Hypothese aus, daß die Saitenqualität möglicherweise das Gesamtsystem Instrument – Saite dominiert. Die Untersuchungen zeigen, daß dies nicht an dem ist. Ebenso konnte keine optimale Abstimmung zwischen Instrument und Saite gefunden werden. Vielmehr ist die angestrebte Anwendung (Genre) für die Auswahl Instrument und Saite entscheidend. Andererseits können die Saiten eindeutig in Gruppen klassifiziert werden. Damit ist die angestrebte verbesserte Erstausrüstung der Instrumente mit Saiten möglich.

Einen wesentlichen Teil der Arbeiten nahmen Entwicklung, Bau und Erprobung der neuen Saitenmessvorrichtung ein. Die Funktion bei Zupfanregung entspricht den vorgesehenen Zielgrößen, die erzielbaren Reproduzierbarkeiten sind gut. Die Auswertung in drei Anregungsrichtungen erbrachte den erhofften Zuwachs an Informationen. Andererseits ergaben die Arbeiten mit Streichanregung, dass eine einfache Anregung mit konstanten Parametern, wie sie die verwendete Apparatur realisiert, offensichtlich nicht zum Erfolg führt. Vielmehr ist mit variabler Bogendruckkraft und veränderlicher Geschwindigkeit zu arbeiten. Beide Größen müssen in Abhängigkeit zum aktuellen „Streichergebnis“ geregelt werden. Diese Erkenntnis ergab sich erst im Verlaufe. Eine entsprechende Überarbeitung der Vorrichtung war im Rahmen des Projektes jedoch nicht möglich.

Literatur

- Atwood:** Plattenränder: Die nächste Grenze, CASJ Vol. 3 (1996) 2 Nov. S. 36 - 39
- Baltrusch, M.; Blobner, U.:** Zum Einfluss der Saiten auf den Klang von Gitarren und Geigen, Fortschritte der Akustik - DAGA 2001 (nicht verfügbar)
- Blobner, U.:** Mechanische und akustische Vergleichsuntersuchungen an Saiten, Diplomarbeit Fachhochschule Aalen 2000
- Cax:** Eine Anmerkung zur Tonholzauswahl, CASJ Vol. 3 (1996) 2 Nov. S. 45 - 46
- Chaige, A.:** Subjektive Beurteilung der Klangqualität von Gitarrensaiten, Acustica 62 (1986) 1, S. 16
- Chiang; Houtsma:** A Coparison between Expensive and Inexpensive Violin Strings, CAS NL '38, November, 1982
- Cremer, L.:** Physik der Geige – S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1981
- Dünnwald, H.:** Akustische Messungen an zahlreichen Violinen und Ableitung objektiver Kriterien für deren klangliche Eigenschaften – Dissertation TH Aachen 1984

- Eichert, T.; Meinel, E.:** Neue Erkenntnisse über den Gitarrensteg – Das Musikinstrument 45 (1996) 11, S. 52 – 59
- Guetter; Askenfelt:** Über die Dauer des Kontaktes Bogen-Saite, Nordic acoustical meeting, Helsinki Juni 1996
- Helmholtz, H. von:** Die Lehre von den Tonempfindungen, 6. Ausgabe Verlag Friedrich Vieweg&Sohn, Braunschweig, 1913
- Jansson, E. V.; u.a.:** Körperresonanz C 3 und Tonqualität von Violinen, Nordic acoustical meeting 12. - 14. Juni 1996 Helsinki
- Jansson, E. V.; u.a.:** Über die C 3 Körperresonanz und ihre Beziehung zur Steifigkeit von Decke und Boden, TMH - QPSR 1/1996 S. 23 - 29
- Jansson, E. V.:** Über die Funktion der Violine-Schwingung, Erregung und Schallabstrahlung, TMH - QPSR 4/1996 S. 9 - 13
- Jansson, E. V.; u.a.:** On the body resonance C 3 and its relation to top and back plate stiffness, TMH - QPSR 1/1996 S. 23 - 29
- Jansson, E. V.; u.a.:** Messung akustischer Eigenschaften von Geigen, Acustica 62 (1986) 1, S. 2 - 15
- Kluck, D.; Holz, D.:** Einfluß einer Faserwinkelabweichung bei Resonanzholzzuschnitten Fichte und Ahorn auf akustisch wichtige Eigenschaften – Fortschritte der Akustik DAGA '96, S. 312
- Meinel, E.:** Zu einigen Aspekten bei der Qualitätsbeurteilung von Saiten, Symposium Markneukirchen 1979 S. 23 - 24
- Meinel, E.:** Einflussfaktoren auf die Qualität von Konzertgitarrensaiten, 24. offenes akustisches Seminar Gdansk-Wladyslawowo 1977, Vol. 3, S. 171 – 180
- Meyer, J.:** Akustik der Gitarre in Einzeldarstellungen, Verlag E. Bochinsky 1985
- Meyer, J.:** Physikalische Aspekte des Geigenspiels, Verlag der Zeitschrift Instrumentenbau, Siegburg 1978
- Miles:** Abstimmung der A 1 Mode ohne Änderung der Korpusgröße eines Instrumentes, CASJ Vol. 3 (1996) 2 Nov. S. 29 - 35
- Müller, G.:** Untersuchungen von Saitenschwingungen mit digitalem Bogen und Laser-Vibrometer, Fortschritte der Akustik DAGA '94
- Müller, G.:** Die gestrichene Saite als ein nichtlineares dynamisches System, Acustica acta acustica 82(1996) S. 657-664
- Purich, P.:** Eine neue Betrachtungsweise zu Viola-Design und Klang, CASJ Vol. 3 (1996) 2 Nov. S. 47 - 50
- Saldner; Molin; Jansson:** Schwingungsmoden der Violine erregt über den Steg und Stimmstock, J.A.S.A. 100(1996) 2 August S. 1168 – 1177
- Schleske; M.:** Über die Herstellung von Klangkopien von Violinen, CASJ Vol. 3 (1996) 2 Nov. S. 18 - 28
- Schleske, M.:** Untersuchungen der Eigenschwingungen im Werdegang einer Geige, Teil 1: Eigenfrequenzen, Das Musikinstrument 2/3 (1996) S. 156 – 165; Teil 2: Eigenschwingungen, Das Musikinstrument 5(1996) S. 60
- Schuhmacher; Garoff:** Streichen mit einem Glasbogen, CASJ Vol. 3 (1996) 2 Nov. S. 9 - 17
- Ziegenhals, G.:** Optimierung von Gitarren mittels Modalanalyse, 4. Seminar des FAMA in der DEGA, 20.10.-21.10.1995 Klingenthal/Zwota
- Voigtsberger, K.; Ziegenhals, G.:** Untersuchungen zum Übertragungsverhalten von Violinen- und Geigenstegen, Fortschritte der Akustik - DAGA 1997, S. 307 – 308

Das dieser Veröffentlichung zugrunde liegende Forschungsprojekt wurde aus Haushaltsmitteln des Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. gefördert.