

Sind Lauten akustisch gesehen Gitarren?

Gunter Ziegenhals

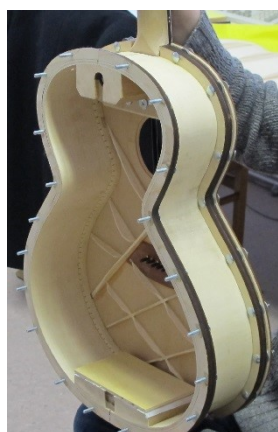
IfM - Institut für Musikinstrumentenbau e.V. an der TU Dresden, 08267 Klingenthal OT Zwota, post@ifm-zwota.de

Einleitung

Bereits auf der DAGA 2018 wurde über Untersuchungen an Lauten in Zusammenhang mit dem Dämpfungsverhalten bzw. der daraus resultierenden Ansprache von Zupfinstrumenten referiert [1]. Im vorliegenden Beitrag sollen nun weitere Ergebnisse der Untersuchungen an den Lauten (2012) im Vergleich zu analogen Messungen an klassischen Gitarren (2016) diskutiert werden. Es handelt sich in beiden Fällen um weiterführende Auswertungen von Messungen im Rahmen des Wettbewerbs um den Deutschen Musikinstrumentenpreis, in dessen Rahmen die Instrumente auch jeweils von fünf namhaften Musikern beurteilt werden. Die Instrumente bilden die folgenden beiden Stichproben

- 12 Renaissance-Lauten, 8-chörig in G
- 14 klassische Konzertgitarren

Fünf der Lauten sind auf eine Stimmung von 415 Hz ausgelegt, die restlichen auf 440 Hz. Zwischen den beiden Gruppen erwartet man Unterschiede im akustischen Verhalten. Bei den vorangehenden Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass hinsichtlich der Modendämpfung Lauten höhere Werte als Gitarren aufweisen, also offenbar eindeutige Unterschiede bestehen. Damit wäre die eingangs gestellte Frage bereits vergangenes Jahr beantwortet worden. Auch sieht man bereits bei der rein visuellen Analyse, dass die Laute einen völlig anderen Korpus aufweist mit einer Muschel anstelle Zarge und Boden. Andererseits wurden nach 1800 viele Lauten zu Gitarren umgebaut [2] und auch die bekannte Ovation-Gitarre (1964) weist eher eine Muschel als einen klassischen Gitarrenkorpus auf. Ein weiteres motivierendes Ergebnis lieferte SPOHN [3]. Er untersuchte den Einfluss verschiedener Bodenmaterialien auf den Klang der Gitarre. Angeregt wurde er dazu von den Einschränkungen zum Einsatz typischer Bodenmaterialien durch Listungen im



Anhang des Washingtoner Artenschutzabkommens. Für seine Untersuchungen entwarf er ein Instrument, bei dem der Boden nur am Instrument angeklemt wird und damit auswechselbar ist.

Abbildung 1: Korpus Spohn-Instrument

Im Rahmen der Untersuchungen wurden unter anderem die Frequenzkurven des Instrumentes (siehe folgenden Abschnitt) unter Verwendung verschiedener Böden aufgenommen. Eine Messung erfolgte ohne Boden. **Abbildung 2** zeigt das Ergebnis. Vergleichend dargestellt werden die Frequenzkurven zweier Messungen mit Ahornboden und ohne Boden. Zwischen den beiden Ahornmessungen erfolgten Messungen mit

verschiedenen anderen Böden. Zur großen Verblüffung aller Beteiligten endet der in den Frequenzkurven deutlich sichtbare Einfluss des Bodens bei ca. 400 Hz. Nun ist das SPOHN-Modell sicher nicht der Prototyp der spanischen Gitarre, aber dass sich der Bodeneinfluss offenbar im Wesentlichen auf die reine Hohlraumwirkung beschränkt, war schon sehr verwunderlich und eine weitere Motivation für die Vergleiche Laute – Gitarre.

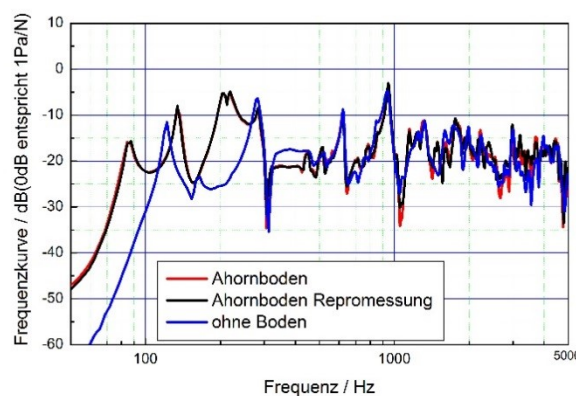


Abbildung 2: Frequenzkurven Spohn-Gitarre mit verschiedenen Bodenvarianten

Frequenzkurvenmessung an Lauten

Frequenzkurvenmessungen an Zupfinstrumenten erfolgen mit Ausnahme der Zither in situ, also in Spielhaltung. Angeregt wird mittels Impulshammer durch Schläge senkrecht zur Decke in der Mitte des Stegeinschubs. Nun wird zum Zweck der Kompensation der Einflüsse des Saitenniederdrückens der Stegeinschub häufig unterteilt. Versuche zeigten, dass auch in diesen Fällen der eine Anschlagort in der Mitte, also zwischen d- und g-Saite ausreichend ist. Zusätzliche Anschlagorte an anderen Stegorten ergaben keinen Informationszuwachs. Die untersuchten Renaissance-Lauten weisen 8 Chöre auf, von denen sieben doppelchörig ausgeführt sind. Platz für Anschläge mit dem Impulshammer steht nur zwischen den Chören zur Verfügung. Die beiden Doppelchorsaiten liegen zu dicht beieinander. Infolge der im Vergleich zur Gitarre kleinen Zwischenräume zwischen den Chören entstand ein Problem hinsichtlich der Größe der Schlag-Tips des verwendeten Impulshammers PCB 086B01. Wir verwenden für die Anregung von Zupfinstrumenten stets den Steel-Tip. Dieser erwies sich als zu breit. Es zeigte sich weiterhin, dass sowohl der Steel-Tip als auch der Vinyl-Tip zu hart sind für die teilweise verbauten Stege aus Birnbaum. Es bilden sich Schlagmale, die auf den Wettbewerbsinstrumenten in jedem Falle vermieden werden mussten. Es wurde deshalb ein spezieller, schlanker Tip angefertigt, dessen Schlagfläche aus PUR (genauer einem PUR für Schuhsohlen) besteht. **Abbildung 3** zeigt die originalen Steel- und Vinyl-Tips im Vergleich zum Eigenbau.



Abbildung 3: Steel-Tip (links) und Vinyl-Tip ohne Kappe (Mitte), Eigenbau-Tip (rechts)

Es kam die bereits oben erwähnte in-situ-Messung zum Einsatz. **Abbildung 4** veranschaulicht die Messsituation.



Abbildung 4: in situ-Messsituation Laute

Die Messungen erfolgten wie gewohnt im reflexionsarmen Raum des IfM. Der im Ergebnis der Anregung abgestrahlte Schall wird mit drei im Raum verteilten Mikrofonen aufgenommen und aus Hammer- und Mikrofonsignalen der Frequenzgang berechnet. Näheres zur Mikrofonanordnung siehe [4] und [5]. Entsprechende Versuchsreihen ergaben, dass im Falle der Laute nur ein Anschlagort nicht ausreichend ist, um das Übertragungsverhalten des Instrumentes hinreichend zu charakterisieren. Andererseits ist es nicht notwendig, jeden Chorzweischenraum einzubeziehen. **Abbildung 5** zeigt die ausgewählten Anregeorte.

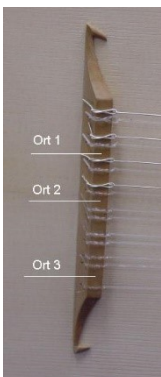


Abbildung 5: Anregeorte auf dem Lautensteg

Die Messungen erfolgen jeweils als Mittelung über 10 Anschläge. Für drei Anschlagorte und drei Mikrofonpositionen ergeben sich im Ergebnis der Messung 9 Frequenzkurven (Frequenzgänge). In die weitere Auswertung geht eine über die Betragsverläufe gemittelte Frequenzkurve ein.

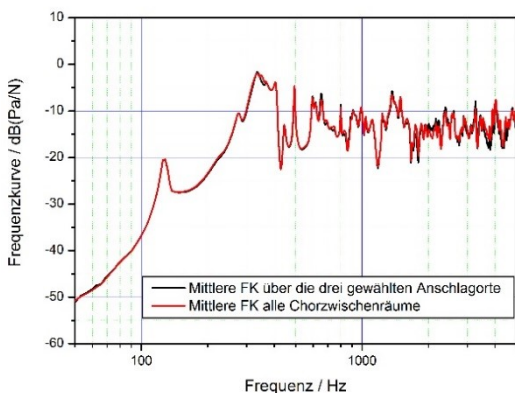


Abbildung 6: Vergleich Frequenzkurve für verschiedene Anschlagorte

Abbildung 6 zeigt im Vergleich das Ergebnis für eine Messung mit den ausgewählten Anschlagorten und den Fall, dass alle Chorzweischenräume genutzt werden. Man erkennt geringfügige Unterschiede. Diese liegen aber im Bereich der normalen Fehlerquote.

Diskussion der Frequenzkurven

Es hat sich bewährt, bei der Diskussion von Stichproben gleicher Instrumententypen zunächst einmal die mittlere Frequenzkurve zu diskutieren. Im vorliegenden Fall soll dies im Vergleich der beiden Stichproben erfolgen.

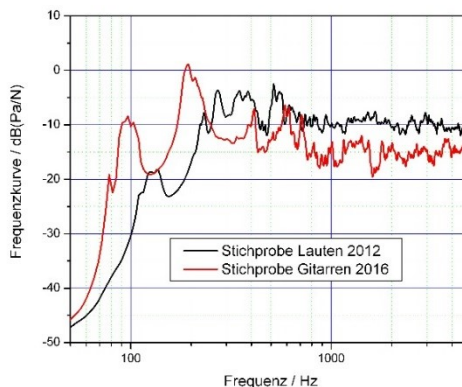


Abbildung 7: Mittlere Frequenzkurven der beiden betrachteten Stichproben im Vergleich

Die mittlere Frequenzkurve der Gitarrenstichprobe zeigt die bekannte Struktur. Man erkennt zwei sehr ausgeprägte Resonanzen im Bereich um 100 Hz und im Bereich um 200 Hz. Es folgen drei kleinere Resonanzen bei 400 Hz, 600 Hz und 700 Hz. Die mittlere Frequenzkurve der Lautenstichproben erweckt zunächst den Eindruck, dass Lauten keine so markanten Resonanzen aufweisen wie die Gitarre. Eine erste, schwache Resonanz findet man im Bereich um 130 Hz. Im weiteren Verlauf deuten sich Resonanzen bei 230 Hz, 270 Hz, 360 Hz und 530 Hz. Schaut man sich aber die Kurven einzelner Instrumente an, so kommt man zu einem anderen Ergebnis (**Abbildung 8**).

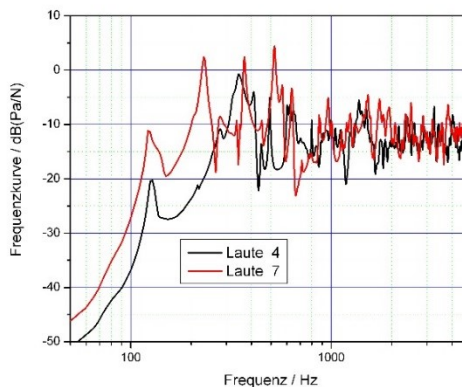


Abbildung 8: Frequenzkurven zweier Lauten

Im Gegensatz zu den Frequenzkurven spanischer Gitarren verschiedener Hersteller fallen die Kurven der Renaissance-Lauten der Stichprobe sehr unterschiedlich aus, obwohl sie, wie auch die spanischen Gitarren, äußerlich sehr ähnlich erscheinen. Wir finden zwei typische Formen von Resonanzen vor, sehr schlanke (schlanker als im Falle der Gitarre) und sehr breite. Letztere gehen offenbar auf mehrere Moden zurück.

Die Frequenzen der Resonanzen variieren sehr stark. So fällt die erste Resonanz in den Bereich 110 Hz bis 140 Hz mit einem Mittelwert von 129 Hz. Fünf der Lauten weisen Kurvenverläufe auf, die eher der von Laute 4 ähneln, sieben tendieren eher zu Laute 7, besitzen also mehr deutlich ausgeprägte (schlankere) Resonanzen. Die einzelnen Lauten liefern ähnlich ausgeprägte Frequenzkurven wie die Gitarren. Einen beispielhaften Vergleich zeigt Abbildung 9.

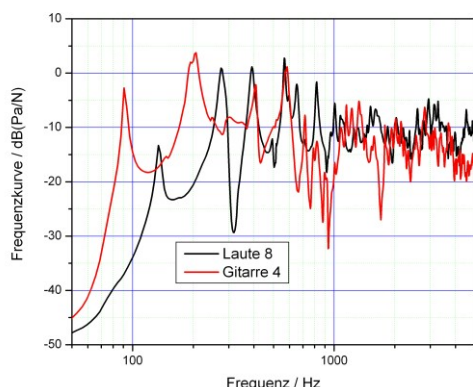


Abbildung 9: Frequenzkurve einer Gitarre und einer Laute

Tabelle 1 stellt die Resonanzfrequenzen der Lautenmessungen und ihre Frequenzverhältnisse dar. Die mit * gekennzeichneten Instrumente sind auf eine Stimmung von 415 Hz ausgelegt, die anderen auf 440 Hz. Die Farben sagen aus: **Resonanz** ist eindeutig aber schwach, **Resonanz** durch benachbarte Resonanz nicht eindeutig zuordenbar.

Tabelle 1: Resonanzen der Lautenfrequenzkurven

Laute	f_1	f_2	f_3	f_4	f_2/f_1	f_3/f_1	f_4/f_1
1*	128,1	262,5	309,4	350	2,05	2,42	2,73
2	118,8	221,9	268,8	328,1	1,87	2,26	2,76
3*	109,4	221,9	271,9	356,2	2,03	2,49	3,26
4	128,1	278,1	343,7	409,4	2,17	2,68	3,20
5	137,5	275	315,6	425	2,00	2,30	3,09
6	128,1	250	343,8	446,9	1,95	2,68	3,49
7*	121,9	231,2	278,1	368,8	1,90	2,28	3,03
8	134,4	275	390,6	493,8	2,05	2,91	3,67
9	134,4	268,8	303,1	403,1	2,00	2,26	3,00
10	134,4	262,5	378,1	431,2	1,95	2,81	3,21
11*	140,6	290,6	384,4	465,6	2,07	2,73	3,31
12*	137,5	306,2	412,5	528,1	2,23	3,00	3,84

Frequenzkurvenresonanzen und Moden

Um die Resonanzen der Frequenzkurve im Vergleich diskutieren zu können, müssen sie nach Möglichkeit jeweils den gleichen Moden des gemessenen Instrumentes zugeordnet werden können. Im Falle der Gitarre ist dies für die ersten drei typischen Resonanzen eindeutig möglich. Sie beruhen auf der Hohlraummode (liegt typisch um 100 Hz) sowie der ersten (um 200 Hz) und dritten Deckenmode (Bereich um 400 Hz). Die zweite Deckenmode, sie liegt im Bereich um 270 Hz, ist für Gitarren auch wohl bekannt. Da sie aber eine antimetrische Schwingungsform aufweist strahlt sie schlecht ab und bildet sich deshalb in der Frequenzkurve nicht als Resonanz ab. Für die höheren Resonanzen kann eine Zuord-

nung erst nach einer entsprechenden Modalanalyse erfolgen. Im Allgemeinen sind die verursachenden Moden bei den einzelnen Instrumenten nicht mehr vom gleichen Typ. Dies macht vergleichende Diskussionen schwierig. Obwohl nicht bei allen Lauten der Stichprobe Modalanalysen vorgenommen werden konnten und auch kaum Informationen aus der Literatur vorliegen, konnten jeweils die ersten vier Resonanzen recht eindeutig zugeordnet werden. Die erste Resonanz beruht eindeutig auf der Hohlraummode. Die Modenform entspricht der bei Gitarren, also einer Bewegung der Decke als Ganzes. Die Knotenlinie verläuft am Rand der Decke. Auch die Gegenbewegung (Pumpen) des Bodens, oder korrekter der Muschel ist zu beobachten. Bei allen beobachteten höheren Moden (analysiert wurde bis 800 Hz) ergaben die Modalanalysen keine Bewegung der Muschel. Es handelt sich also um reine Deckenmoden. Die drei auf die Hohlraummode folgenden Moden sind Längsschwingungen der Decke. Sie weisen ein, zwei bzw. drei quer verlaufende Knotenlinien auf, stellen also jeweils den gleichen Typ dar. Höhere Moden sind Kombinationen aus Längs- und Querschwingungen und nicht mehr von Instrument zu Instrument einander zuordenbar.

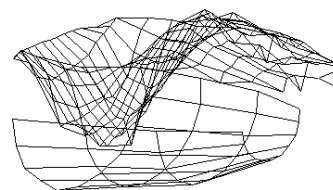


Abbildung 10: Typische 1. Deckenmode der untersuchten Laute, hier bei 210 Hz

Betrachtet man die Frequenzen der ersten vier Moden und ihre Frequenzverhältnisse (Tabelle 1) im Vergleich mit den typischen Modenfrequenzen der Gitarre, so fallen mehrere Dinge auf: Im Bereich der ersten beiden Moden ist die Laute eindeutig höher abgestimmt als die Gitarre. Die dritte und vierte Mode liegen hingegen enger zusammen. Dies ist verwunderlich, da die Renaissance-Laute mit ihrem Tonbereich D (73,4 Hz) bis g^2 (784 Hz) tiefer liegt als die Gitarre, E (82,4 Hz) bis c^3 (1046,5 Hz). Hinzu kommt, dass fünf der Instrumente auf 415 Hz ausgelegt sind, also noch mal einen halben Ton tiefer stehen. Eine Berücksichtigung dieser tieferen Lage lässt sich bestenfalls bei Laute 3 in der Modenabstimmung erkennen. Dieser Widerspruch konnte in der Diskussion mit den Testmusikern (scheinbar?) geklärt werden. Es herrschte die Meinung vor, dass Lauten eher wenig Bass haben sollten, „sonst klingen sie wie Gitarren“. Obwohl die Frequenzverhältnisse der Moden den Eindruck erwecken, dass die Lautenmacher offenbar bestrebt waren, die erste Deckenmode auf die Oktave zur Hohlraummode, die zweite Deckenmode auf die große Terz über der Oktave und die dritte Deckenmode auf die Duodezime abzustimmen, zeigen sich zwischen der Hohlraumfrequenz und den Deckenmodenfrequenzen keine gesicherten Korrelationen, zwischen den Frequenzen der Deckenmoden allerdings. Die Deckenmoden liegen im Mittel zur ersten Deckenmode im Abstand Terz bzw. kleine Sexte. Sie sind also im Terzabstand übereinander geschichtet. Das legt den Schluss nahe, dass Hohlraummode und Deckenmoden nicht mit einheitlichem Trend abgestimmt werden.

Aussagen der Musiker - Diskussion

Die Urteile der Musiker bzgl. der 12 Lauten fallen sowohl im Mittel über alle Musiker als auch für die einzelnen Testpersonen eher wenig differenziert aus. Die Urteile zu abgefragten Hauptmerkmalen Klang, Volumen, Ansprache und Spielbarkeit korrelieren sehr stark miteinander. D. h. entweder das Instrument gefällt oder eben nicht. Wie schon in vielen anderen Tests beobachtet, kommen gut klingende Instrumente, die sich aber schlecht spielen lassen, praktisch nicht vor. Die fünf Musiker sind sich in der Bewertung der 12 Instrumente recht uneinig. Die Urteile zweier Musiker korrelieren mit einem dritten jedoch nicht untereinander. Die restlichen beiden Musiker urteilen gänzlich anders. Lediglich in Sachen Ansprache ist man sich einigermaßen einig. Korreliert man die mittleren Musikerurteile mit Merkmalen der Frequenzkurven, so lassen sich folgende Aussagen ableiten:

- Positiv gewertet wird eine insgesamt hohe Übertragung insbesondere in den Frequenzbereichen. 100 Hz .. 400 Hz, 800 Hz .. 1,2 kHz, 2 kHz .. 5 kHz
- Die Meinungen tendieren zu einer eher tiefer abgestimmten Hohlraummode.
- Wie bereits erwähnt, wird eine Ausgeglichenheit zu höheren Frequenzen hin verschoben, also weniger Volumen als positiv bewertet.

Die zweite und dritte Aussage scheinen sich auf den ersten Blick zu widersprechen. Aber eine tiefer abgestimmte Hohlraumresonanz sorgt lediglich für eine ausreichende Übertragung der Grundtöne der Bässe, ohne das Volumen zu sehr zu betonen. Bei klassischen Gitarren (Neubauten) sind solche klaren Tendenzen kaum noch zu beobachten. Bei älteren Gitarrenstichproben, die bewusst aus sehr verschiedenen Qualitäten zusammengestellt waren, fanden sich noch entsprechende Tendenzen [3]:

- Auch im Falle der Gitarre sollte die Hohlraumresonanz eher tief abgestimmt sein.
- Ein möglichst hoher Pegel der dritten Deckenresonanz wurde in der Beurteilung honoriert.
- Insgesamt hohe Übertragungspegel und insbesondere in den Bereichen 50 Hz .. 200 Hz und 800 Hz .. 1,2 kHz fanden eindeutig bevorzugende Bewertungen.

In den Bewertungen der Wettbewerbsstichproben des Deutschen Musikinstrumentenpreises findet man derartige Zusammenhänge nicht mehr. Offenbar hat die klassische Gitarre einen Entwicklungsstand erreicht, der einzig die individuellen Vorlieben der einzelnen Musiker zum Entscheidungskriterium macht.

Faktorenanalyse der Frequenzkurven

Eine Faktorenanalyse, die nur zwei Faktoren berücksichtigt, von denen einer 61 % und der zweite 10 % der Varianz beschreiben, liefert das in Abbildung 11 dargestellte Ergebnis. Lauten und Gitarren werden deutlich getrennt. Die unterschiedlichen Stimmungen der Lauten heben sich nicht ab. Heraus sticht Laute Nr. 7. Sie scheint eine in Richtung Gitarre tendierende Laute darzustellen. In der Modenabstimmung zeichnet sich dies allerdings nicht ab. In der Gunst der Musikerbewertung nahm sie einen mittleren Platz ein.

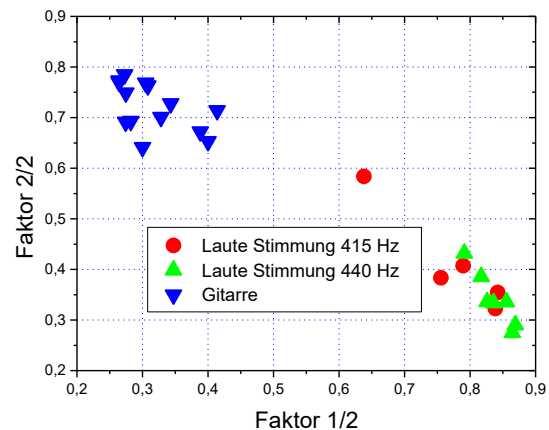


Abbildung 11: Ergebnis einer Faktorenanalyse der Frequenzkurven der Stichproben Laute und Gitarre

Führt man die Faktorenanalyse nur mit den Frequenzkurven der Lauten und wiederum nur mit zwei Faktoren (79 % und 4 %) durch, so verliert sich die Sonderstellung von Laute 7. Es bilden sich zwei Gruppen der Lauten, die sich aber nicht entsprechend der Stimmung teilen. Eine Gruppe besteht aus den Instrumenten 1, 2, 3, 4, 6 und 7, die andere aus den restlichen Instrumenten. Mit Ausnahme von Instrument 2 stehen die Instrumente der ersten Gruppe in der Musikerurteil höher. Sie bedienen vorrangig die im vorangehenden Abschnitt beschriebenen Gut-Tendenzen der Musiker. Eine Ausnahme in dieser Gruppe bildet Laute 2. Obwohl sie prinzipiell Merkmalswerte im Bereich der Gut-Tendenzen aufweist, bewerten sie die Musiker sehr schlecht. Das Musikerurteil verbessert sich dabei etwas, wenn man nur akustisch motivierte Teile der Musikerurteile (z.B. Ansprache) berücksichtigt.

Lauten sind also akustische nicht mit Gitarren zu verwechseln. Andererseits bilden sich erwartete Unterschiede innerhalb der Lautengruppe, hier die Auslegung auf verschiedene Stimmungen und damit zweifellos unterschiedlichen Saitenzug, akustisch nicht ab.

Literatur

- [1] Ziegenhals, G.: Untersuchungen zur Ansprache von Zupfinstrumenten. Fortschritte der Akustik DAGA 2018
- [2] Michel, A.: Gitarren in Sachsen und Thüringen bis 1850. Quellen · Dokumentationen · Kommentare, Leipzig 2018
- [3] Spohn, M.: Vergleich von Bodenhölzern. Projektarbeit WHZ, Studiengang Musikinstrumentenbau 2018
- [4] Ziegenhals, G.: Subjektive und objektive Beurteilung von Musikinstrumenten. Eine Untersuchung anhand von Fallstudien. Dissertation TU Dresden 2010. Studententexte zur Sprachkom. Band 51 TUDpress 2010
- [5] Ziegenhals, G.: Klimatische Einflüsse auf die Ergebnisse von Frequenzkurvenmessungen. Fortschritte der Akustik – DAGA 2016