

Akustische Untersuchungen an klassischen und Stahlsaiten-Gitarren

Gunter Ziegenhals

veröffentlicht Mai 2023

Westfälische Hochschule Zwickau – Studiengang Musikinstrumentenbau, musikinstrumentenbau@fh-zwickau.de

Einleitung

Die letzten drei Veröffentlichungen zu akustischen Untersuchungen an Arbeiten der Studierenden des Studienganges Musikinstrumentenbau der Westfälischen Hochschule Zwickau befassen sich mit klassischen und Stahlsaiten-Gitarren, [1] bis [3]. Diese Untersuchungen basieren, wie schon vorangehende gleichartige Betrachtungen an Streichinstrumenten, auf der statistischen Auswertung der Frequenzkurven der Instrumente. Hinzugezogen wurden nur wenige grobe Informationen zu den einzelnen Instrumenten, wie z. B. die verbale Beschreibung der Bauform: Wiener Modell, Halb-resonanzgitarre, Archtop-Gitarre u. Ä. Die Ergebnisse zeigen u. a., dass sich die mittleren Frequenzkurven von klassischen und Stahlsaiten-Gitarren sehr ähneln. Es bot sich an, dieser Ähnlichkeit auf den Grund zu gehen und beide Stichproben, klassische und Stahlsaiten-Gitarren, einmal gemeinsam zu betrachten. Motivation waren auch interessante Ergebnisse einer vergleichbaren, gemeinsamen Analyse der Frequenzkurvendaten von Geigen, Bratschen und Celli, [4]. Die Betrachtungen sollen, wie schon in [2] und [3] mit den beiden mittleren Frequenzkurven zweier Stichproben, klassische und Stahlsaiten-Gitarren, beginnen (**Abbildung 1**). Allerdings wird für die einleitenden Bemerkungen noch die mittlere Frequenzkurve einer Stichprobe Celli hinzugefügt. Bei den Stichproben handelt es sich jeweils um die Daten der Wettbewerbsinstrumente Deutscher Musikinstrumentenpreis (DMIP) der Jahre 2012 (12 Celli), 2016 (14 klassische Gitarren) und 2019 (10 Stahlsaiten-Gitarren).

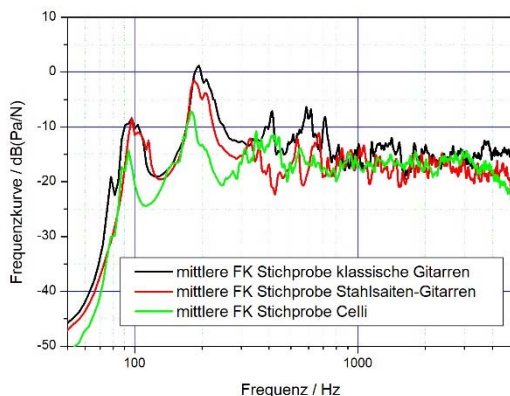


Abbildung 1: Mittlere Frequenzkurven dreier Stichproben: klassische Gitarre, Stahlsaitengitarre und Cello

Die schon in [2] thematisierte, deutliche Ähnlichkeit der mittleren Frequenzkurven (FK) von klassischen und Stahlsaiten-Gitarren fällt sofort ins Auge. Es sei in diesem Zusammenhang auf den sehr unterschiedlichen Saitenzug hingewiesen, ca. 450 N bei klassischen Gitarren, um 930 N bei den Stahlsaiteninstrumenten. Aber auch die mittlere FK der Celli springt nicht wirklich aus dem Rahmen. Ohne die Information Celli könnte man die grüne Kurve glatt einer Stichprobe etwas

tiefer abgestimmter Gitarren mit mäßiger Übertragung im unteren Frequenzbereich zuschreiben. Interessant ist in diesem Zusammenhang die tiefere Abstimmung der Celli. Sie macht etwa einen (knappen) Halbton aus, wohingegen die tiefen Cellotöne ja eine Terz unterhalb denen der Gitarre liegen. Die größten Unterschiede der mittleren FK liegen offensichtlich im Frequenzbereich 300 Hz bis 800 Hz.

Um mehr über die Ähnlichkeit des Übertragungsverhaltens aussagen zu können, stellt **Abbildung 2** drei FK konkreter Instrumente im Vergleich dar.

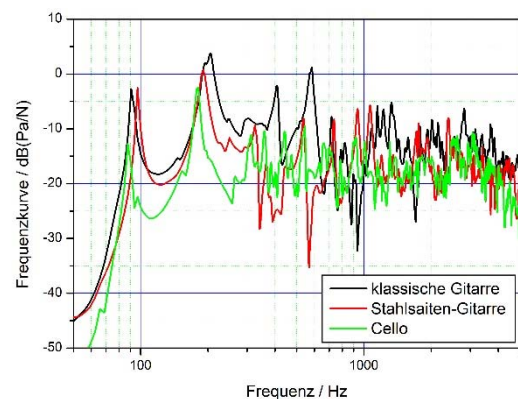


Abbildung 2: Frequenzkurven je einer klassischen Gitarre, einer Stahlsaiten-Gitarre und eines Cellos im Vergleich

Die FK der konkreten Instrumente zeigen im Gegensatz zu den mittleren FK ausgeprägte Resonanzen. Dies war zu erwarten, da sie sich in den mittleren Kurven bereits bei relativ geringer Verschiebung gegeneinander „wegmitteln“. Die Ausprägung der Resonanzen ist beim klassischen Gitarrenmodell am stärksten. Die größten Unterschiede in den Frequenzkurven werden auch bei den Einzelobjekten im Bereich 300 Hz bis 800 Hz sichtbar, aber auch im darüber liegenden Bereich bis etwa 2 kHz zeichnen sich nunmehr deutliche Differenzen zwischen den Instrumenten ab.

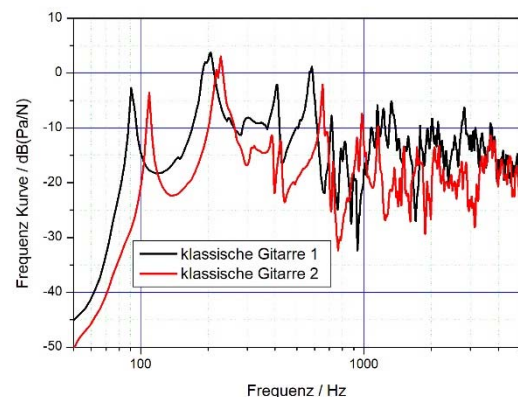


Abbildung 3: Frequenzkurven zweier klassischer Gitarren

Um die vorgefundenen Abweichungen der FK der drei Einzelinstrumente klassische Gitarre, Stahlsaiten-Gitarre und Cello besser einschätzen zu können, sind in **Abbildung 3** bis **Abbildung 5** die FK von jeweils zwei Instrumenten jeden Typs dargestellt. Es handelt sich jeweils um Objekte aus den drei für die mittleren FK herangezogenen Stichproben.

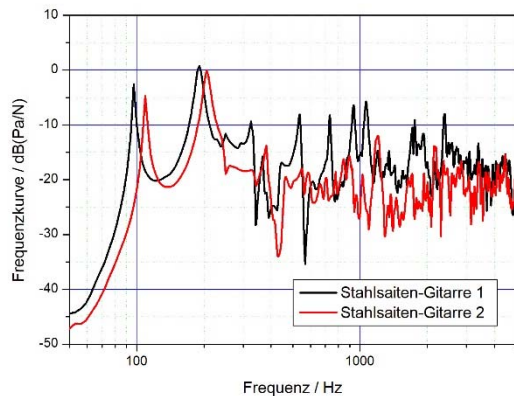


Abbildung 4: Frequenzkurven zweier Stahlsaiten-Gitarren

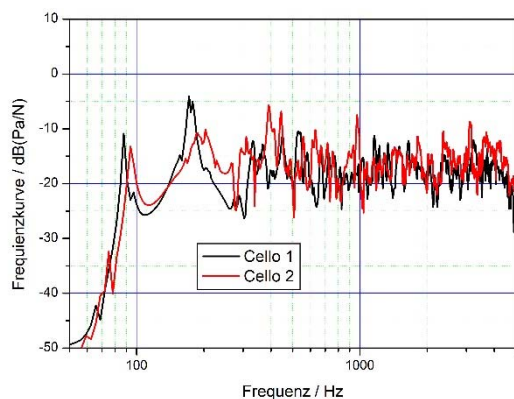


Abbildung 5: Frequenzkurven zweier Celli

Die Beispiele in den drei Abbildungen wurden nicht zufällig ausgewählt. Sie repräsentieren jeweils zwei typische Vertreter der Stichprobe. Man erkennt, dass es in allen drei Fällen Exemplare mit stark ausgeprägten Resonanzen der Frequenzkurve und andere mit deutlich weniger Ausprägung der Resonanzen gibt. Die Unterschiede zwischen den jeweiligen Vertretern liegen dabei durchaus im Bereich der Differenzen zwischen den verschiedenen Typen. Allerdings bleiben die Celli immer die schwächsten Übertrager.

Man bemerkt sehr deutlich, wie schwierig die Deutung der Frequenzkurven ausfällt. Wenn sich typische Merkmale herausarbeiten lassen, erleichtert das das Vorgehen maßgeblich. Hierfür hat sich die Faktorenanalyse bislang durchaus bewährt. Eine entsprechende gemeinsame Auswertung von klassischen und Stahlsaiten-Gitarren lässt neue Erkenntnisse erwarten. Die Celli werden allerdings nunmehr nicht weiter einbezogen.

Die prinzipielle Vorgehensweise hinsichtlich Aufnahme der FK sowie die Faktorenanalyse sollen hier nicht erneut beschrieben werden. Es sei dafür auf die vorangehenden Veröffentlichungen zu den Messungen an studentischen Arbeiten verwiesen. Darin wird auch die Reproduzierbarkeit der FK diskutiert. Sicherergestellt war, dass über die gesamte Aufnahmezeit der Frequenzkurven, unter gleichen Messbedingungen und kalibriert vorgegangen wurde. Dies betrifft auch die einbezogenen Stichproben, die außerhalb der Messzeit der Studentarbeiten, FS 2013 bis HS 2019/2020, untersucht wurden. Generell sei zum besseren Verständnis die Kenntnis der zitierten Arbeiten empfohlen.

Stichprobe und Faktorenanalyse

Für die nunmehr gemeinsamen Betrachtungen von klassischen und Stahlsaiten-Gitarren stehen Daten von 82 Gitarren klassischer Bauart, hergestellt von Studierenden zur Verfügung

- 76 spanische Modelle
- 2 Flamenco-Gitarren
- 2 Weißgerber Modelle
- 1 Wiener Gitarre
- 1 Baritongitarre

Weiterhin gehen die 14 zum DMIP 2016 eingereichten Instrumente, für die jeweils zwei Messungen im Abstand von sechs Wochen vorliegen, als Referenzobjekte in die Auswertungen ein. In der Summe sind dies Daten von 111 Frequenzkurvenmessungen.

Seitens der Stahlsaiten-Gitarren sind es 17 Instrumente aus den Studentenwerkstätten, 10 Wettbewerbsinstrumente des DMIP 2019 für die wiederum jeweils zwei Messungen vorliegen sowie vier Muster zweier weiterer Hersteller. Für eines der Muster liegen ebenfalls zwei Messungen vor. Die Stahlsaiten-Gitarren werden also über 42 Messungen repräsentiert. Die Gesamtstichprobe besteht somit aus 152 FK-Datensätzen.

Alle im Weiteren dargestellten Ergebnisse entstanden jeweils durch Analyse der gesamten Stichprobe, auch wenn teilweise nur Ergebnisse für einen Teil der Instrumente dargestellt sind!

Die rein visuelle Auswertung der Frequenzkurvenvergleiche lässt schon eine Vielzahl kleinerer Unterscheidungsmerkmale vermuten. Entsprechend liefert die Faktorenanalyse bei einer Begrenzung des Eigenwertes auf ≥ 1 20 Faktoren, die insgesamt 82 % der Varianz beschreiben. Es gibt einen dominierenden Faktor mit 57 %. Die restlichen 19 Faktoren bewegen sich zwischen 3,3 % und 0,7 %. Da die weitere Auswertung mit 20 Faktoren recht unhandlich wird, erfolgte eine Begrenzung des Eigenwertes auf $\geq 2,5$. Die Analyse bleibt dabei auf sechs Faktoren beschränkt, die zusammen 68 % der Varianz beschreiben. Es verbleibt also durchaus noch eine nicht unbedeutende Grauzone, jedoch sollten die wesentlichen Merkmalsunterschiede zwischen klassischen und Stahlsaiten-Gitarren beschreibbar sein.

Korreliert man die Faktorladungen, wie schon in den vorangehenden Untersuchungen angewandt, für die einzelnen

Instrumente mit den Charakteristiken der Frequenzkurven, so ergeben sich folgende generelle Aussagen:

Faktor 1

Kennzeichnet 57 % der Unterschiede in den Frequenzkurven. Korreliert positiv mit Merkmalen, die für eine allgemein kräftige Abstimmung des Instrumentes, bei jedoch schwach ausgeprägten Mitten stehen. Als Mitten werden hier die Terzen 630 Hz, 800 Hz und 1 kHz bezeichnet.

Faktor 2

Kennzeichnet 3,3 % der Unterschiede in den Frequenzkurven. Faktor 2 beschreibt kurz gesagt genau den entgegengesetzten Trend zu Faktor 1, also eine insgesamt schwache Übertragung mit Ausnahme der Mitten im Bereich 1 kHz.

Faktor 3

Kennzeichnet 2,2 % der Unterschiede in den Frequenzkurven. Die Beschreibung ist nicht ganz einfach. Der Volumenbereich ist gut ausgeprägt, allerdings mit einer Lücke um 160 Hz. Dies ist auf eine nach oben verschobene, sehr prägnante zweite Resonanz zurückzuführen. Die Höhen fallen eher schwach aus aber eine gewisse Schärfe ist vorhanden.

Faktor 4

Kennzeichnet 2 % der Unterschiede in den Frequenzkurven. Korreliert mit Merkmalen, die für eine im Bass eher schwach ausgeprägte, helle, aber nicht scharfe Abstimmung des Instrumentes sprechen.

Faktor 5

Kennzeichnet 1,8 % der Unterschiede in den Frequenzkurven. Weist auf eine im Bass ausgeprägte, volumenarme, Mitten betonte Abstimmung mit verminderten Höhen, aber einer gewissen Schärfe hin.

Faktor 6

Kennzeichnet 1,7 % der Unterschiede in den Frequenzkurven. Korreliert mit Merkmalen, die für eine kräftige, Höhen betonte Abstimmung des Instrumentes sprechen.

In der Beschreibung der Faktoren wird der Begriff Abstimmung verwendet, der Begriff Klang aber vermieden. Abstimmung steht hier im Sinne einer „eingebauten“ Übertragungscharakteristik, die im Vergleich Nylon-Stahl-Saite nicht zwingend auch den Klang beschreibt. Dieser wird ja hier maßgeblich vom Erregungsspektrum der Saiten bestimmt. Diese gehen aber nur über den von ihnen erzeugten Saitenzug in die Messung ein, nicht über ihre Anregung.

Die für die Faktoren als charakteristisch beschriebenen Tendenzen gelten nur im direkten Sinne. Wenn also bei einem Faktor hohe Faktorladungen mit einer tiefen Abstimmung korrelieren, heißt das nicht, dass niedrige Faktorladungen auf eine hohe Abstimmung hindeuten. Es sind lediglich die tiefen Bereiche der Frequenzkurve nicht stark ausgeprägt.

Kräftigere oder schwächere Übertragung

Stellt man die Faktorladungen in der Streudarstellung gegenüber, so zeigt sich allein in der Variante Faktor 1-Faktor 2 eine mehr oder weniger deutliche Abgrenzung von klassischen und Stahlsaiten-Gitarren. Dies entspricht einer Betrachtung

von kräftiger Übertragung mit wenig Mitten gegenüber einer geringeren Übertragung mit Betonung der Mitten. Die Verteilung der Objekte zeigt zunächst **Abbildung 6**, grob unterteilt in klassische und Stahlsaiten-Gitarren. Wie bereits bei vorangehenden Veröffentlichungen steht in den Achsbeschriftungen der Begriff Faktor anstelle Faktorladung. Aufgrund der hier etwas sperrig ausfallenden Beschreibungen der Faktoren wird auf zusätzliche Hinweise über die von den Faktor-Achsen repräsentierten Eigenschaften verzichtet. Jeder Punkt entspricht einem Instrument der Gesamtstichprobe.

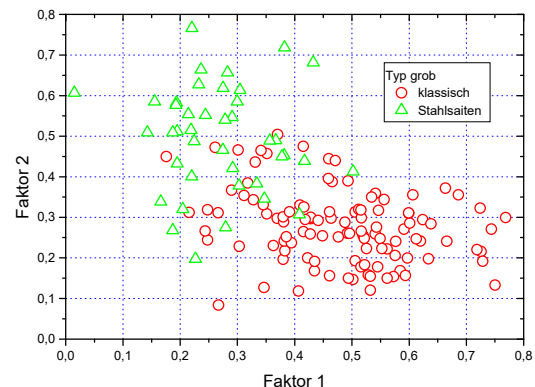


Abbildung 6: Verteilung der Faktorladungen 1 und 2 nach Typ klassische und Stahlsaiten-Gitarren

Man erkennt sehr schön die Trennung in die beiden Grundtypen, wobei es allerdings einen gewissen Überlappungsraum gibt. Die klassischen Gitarren weisen typisch eine bessere Übertragung auf, wobei die Mitten etwas unterrepräsentiert sind, die Stahlsaitengitarren zeigen eher die gegenteiligen Eigenschaften. Dies korrespondiert sehr gut mit den über Faktor 1 in der Untersuchung der rein klassischen Stichprobe gefundenen Aussagen [1]. Dass die klassischen Gitarren die besseren Übertragungseigenschaften aufweisen, konnte man schon aus den mittleren Frequenzkurven ableiten (**Abbildung 1**). Die Unterschiede bzgl. der Mitten sind aber hier nicht so offensichtlich.

Um den Bereich der Überlappung näher zu beleuchten, bietet es sich an, auch einmal die etwas untypischen Vertreter der beiden Haupttypen zu kennzeichnen. In **Abbildung 7** ist dies entsprechend dargestellt.

Die Legende in **Abbildung 7** muss noch ergänzend erläutert werden. Alle Benennungen ohne ein „S“ kennzeichnen Formen der klassischen Gitarre, mit Ausnahme von „Halbresonanz“. Hierbei handelt es sich um eine Stahlsaiten-Gitarre mit 58 mm Zargenhöhe. Kl. St.-S.-G = kleine Stahlsaiten-Gitarren beschreibt Instrumente in Richtung Martin Size 0, ggf. auch mit etwas kleinerer Zargenhöhe. Das Instrument Sopran ist die kleinste Stahlsaiten-Gitarre der Stichprobe und wurde vom Hersteller als Sopran-Gitarre entworfen und gebaut. **Abbildung 7** lässt erkennen, dass die „Sonderformen“ der Stahlsaiten-Gitarren keineswegs den Kern des Überlappungsbereiches bilden, sondern eher an dessen Rand liegen. Bei den klassischen Gitarren fällt nur das Wiener Modell aus der typischen Klassik-Wolke heraus.

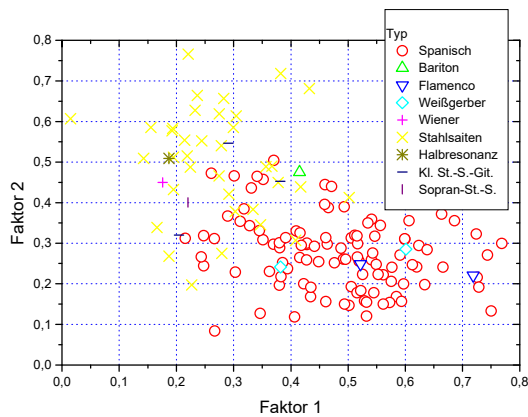


Abbildung 7: Verteilung der Faktorladungen 1 und 2 nach verfeinerter Typaufteilung klassischer und Stahlsaiten-Gitarren

Die letzte Betrachtung zu der Verteilung der Faktoren 1 und 2 soll die Hersteller (Teilstichproben) ins Auge fassen. In *Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.* findet man die entsprechende Darstellung. Auch hier ist eine kleine Erläuterung zur Legende erforderlich. Mit DMIP sind die zum Wettbewerb eingereichten Instrumente bezeichnet, der Zusatz PT markiert die Preisträger, „S“ spezifiziert die Stahlsaiten-Instrumente. Bei Muster und Musima handelt es sich ebenfalls um Stahlsaiten-Gitarren.

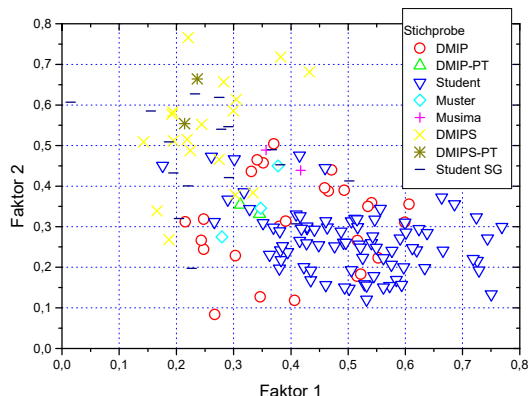


Abbildung 8: Verteilung der Faktorladungen 1 und 2 nach Typen und Herstellern (Teilstichproben)

Es zeigt sich in **Abbildung 8** eine interessante Tendenz. Nicht, wie schon zu **Abbildung 7** diskutiert, die Sonderbauformen und auch nicht die von experimentierfreudigen Studierenden gebauten Instrumente bilden den Hauptbeitrag der Überlappungszone, sondern die zum DMIP eingereichten Instrumente. Denen wurde aber in den entsprechenden Einzelauswertungen ([1] und [3]) eine gewissen Homogenität im Sinne einer Orientierung auf einen Standard zugeschrieben, im Gegensatz zu den studentischen Arbeiten. Hier zeigt sich nun, dass eher die Instrumente der Studierenden einen deutlichen Unterschied zwischen klassischen und Stahlsaiten-

Gitarren aufweisen. Bei den Wettbewerbsinstrumenten tendieren einige Exemplare der klassischen Gitarren doch recht stark in Richtung der Übertragungseigenschaften der Stahlsaiten-Instrumente. Es kommt bei den Betrachtungen offenbar auf den jeweiligen Blickwinkel an.

Gleichzeitige Berücksichtigung mehrerer Faktoren

Eingangs des vorangehenden Kapitels wurde festgestellt, dass eine Trennung zwischen den beiden Gitarrentypen in der Streudarstellung nur für die Kombination Faktor 1 – Faktor 2 deutlich sichtbar wird. Zur beispielhaften Erhärtung dieser Aussage enthält **Abbildung 9** die Darstellung für die Faktorladungen 3 und 4. Es zeigt sich, wie eigentlich zu erwarten, auch hier eine Verschiebung zwischen den beiden Haupttypen, aber die Überlappung bzw. Durchmischung ist deutlich größer als im Falle der Faktoren 1 und 2.

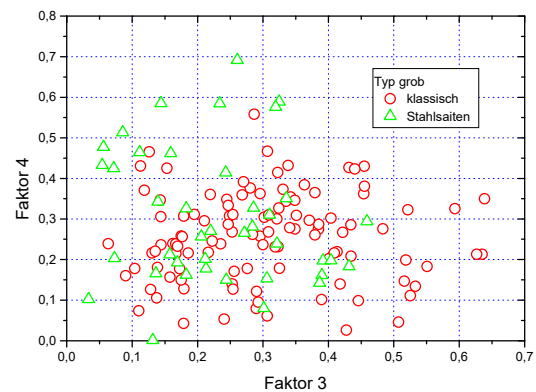


Abbildung 9: Verteilung der Faktorladungen 3 und 4 nach Typ klassischer und Stahlsaiten-Gitarren

Bei den Stahlsaiten-Gitarren im linken oberen Quadranten von **Abbildung 9** handelt es sich in vier Fällen um kleine Exemplare der studentischen Arbeiten aber auch um drei Objekte der Wettbewerbsinstrumente und eines der Muster. Da die in **Abbildung 9** erkennbare, leichte Verschiebung der Typen gegeneinander bei gleichzeitiger noch guter Vermischung der Objekte auch bei anderen Kombinationen der Faktorladungen 3 bis 6 auszumachen ist, wurde die bereits mehrfach angewandte Betrachtung des Abstandes der Objekte im Merkmalsraum der Faktorladungen (hier sechsdimensional) für sinnvoll erachtet. Während im Falle der Violinen hierfür drei Referenzinstrumente zur Verfügung standen, wurde im Falle der klassischen Gitarre der Abstand zu zwei fiktiven Instrumenten, repräsentiert jeweils durch die mittleren Frequenzkurven der Teilstichproben Student und DMIP-Instrumente, berechnet und dargestellt [1]. Im vorliegenden Fall liegen als fiktive Referenzen die mittleren Frequenzkurven von klassischen und Stahlsaiten-Gitarren nahe. Für die Berechnung der mittleren Frequenzkurven wurden jeweils nur die Erstmessungen der Wettbewerbsinstrumente herangezogen, um diese hier nicht überzogen zu repräsentieren. Die Berechnung der Abstände erfolgte auf Basis einer erneuten

Faktorenanalyse unter Einbeziehung der beiden mittleren Frequenzkurven. Auch diese Faktorenanalyse liefert bei Beschränkung der Eigenwerte auf $\geq 2,5$ sechs Faktoren. Ihr Anteil an der Beschreibung der Unterschiede liegt zwischen 57 % und 1,6 %. Weiter soll hier nicht auf die neuen Faktoren eingegangen werden. Bestimmt man die Abstandswerte anhand der jeweiligen Faktorladungen zu den beiden mittleren Frequenzkurven, so ergibt sich eine Situation, wie in **Abbildung 10** dargestellt. Die Abstandsachsen beginnen jeweils erst bei Wert 0,2. Kleinere Abstände weisen lediglich die beiden fiktiven Referenzobjekte auf. Zu sich selbst haben sie natürlich jeweils den Abstand 0.

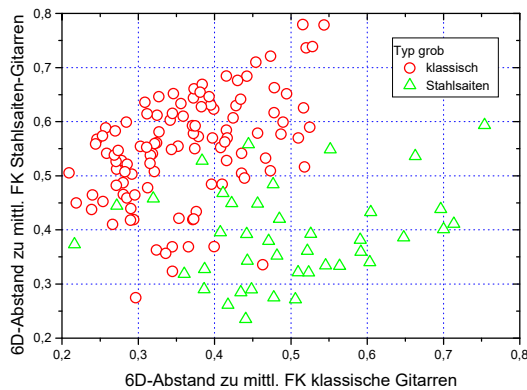


Abbildung 10: Abstände der Instrumente zu den beiden mittleren Frequenzkurven klassischer und Stahlsaiten-Gitarren im sechsdimensionalen Raum der Faktorladungen

Auch bei Berücksichtigung aller sechs betrachteten Faktoren zeigt sich das schon vom Streudiagramm Faktor 1 – Faktor 2 her bekannte Bild. Klassische und Stahlsaitengitarren werden mit einem gewissen Überlappungsraum getrennt. Beim genaueren Hinschauen erkennt man jedoch, dass bei Berücksichtigung aller sechs Faktoren der Überlappungsbereich von weniger Objekten getragen wird.

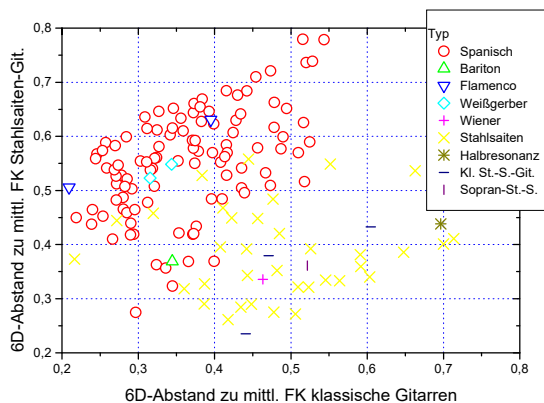


Abbildung 11: Abstände im sechsdimensionalen Raum der Faktorladungen nach verfeinerter Typaufteilung klassischer und Stahlsaiten-Gitarren

Auch die nach Typen verfeinerte Darstellung (**Abbildung 11**) bestätigt dies. Nur wenige Stahlsaiten-Gitarren dringen ins klassische Feld vor und im Gegenzug zeigt sich der gleiche Trend. Die besonderen Instrumente beider Haupttypen sind nicht für die Überlappung verantwortlich und heben sich bis auf das Wiener Modell nicht deutlich vom Haupttyp (klassisch oder Stahlsaite) ab.

Als letzte Variante der 6D-Betrachtung wird nach Typen und Herstellern unterschieden. Die entsprechende Streudarstellung zeigt **Abbildung 12**. Interessant ist hier, dass man nur eine der Wettbewerbs-Stahlsaiten-Gitarren (Beide Messungen sind dargestellt!), aber vier studentische Arbeiten im Überlappungsraum findet. Andererseits platziert sich die Mehrheit der klassischen Wettbewerbsinstrumente, inklusive des Preisträgers, eher nahe dem Stahlsaitenfeld.

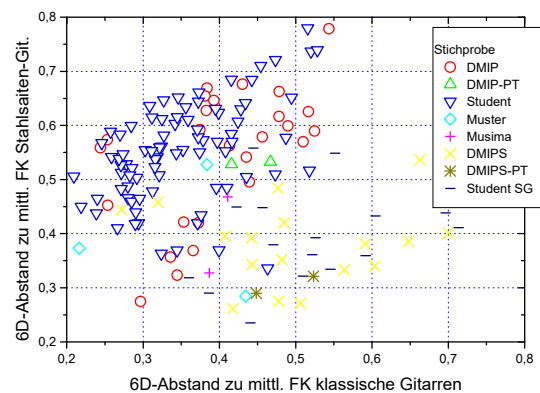


Abbildung 12: Abstände im sechsdimensionalen Raum der Faktorladungen nach Typen und Herstellern (Teilstichproben)

Die ersten drei Resonanzen der Frequenzkurve

Wie schon in Zusammenhang mit den Einzelbetrachtungen der klassischen und Stahlsaiten-Gitarren sollen auch in der gemeinsamen Auswertung die Frequenzen und Pegel der ersten drei Resonanzen der Frequenzkurven f_n und L_n ($n = 1 \dots 3$) in die Betrachtungen einbezogen werden. Beginnen wir dabei erneut mit den Korrelationen der Größen. Die entsprechenden Daten sind in **Tabelle 1** zusammengestellt.

Tabelle 1: Korrelationskoeffizienten zwischen den ersten drei Resonanzfrequenzen der Frequenzkurven der in diesem Artikel diskutierten Gesamtstichprobe, $r_{g, 5\%} = 0,159$

Merkm.	f_1	L_1	f_2	L_2	f_3	L_3
f_1	1	0,049	0,6340	-0,126	0,0893	-0,421
L_1	0,049	1	-0,186	0,4806	0,1989	0,2951
f_2	0,6340	-0,186	1	-0,087	0,1216	-0,312
L_2	-0,126	0,4806	-0,087	1	0,1995	0,3596
f_3	0,0893	0,1989	0,1216	0,1995	1	0,1565
L_3	-0,421	0,2951	-0,312	0,3596	0,1565	1

Besonders interessant sind hier weniger die Korrelationen an sich, sondern eher der Vergleich mit den beiden Einzelkategorien klassische und Stahlsaiten-Gitarren. Dieser Vergleich

wird in **Tabelle 2** veranschaulicht. Keine gesicherte Korrelation wird durch 0 symbolisiert, eine vorhandene durch das Vorzeichen des Zusammenhanges (siehe in [1] und [2]).

Tabelle 2: Korrelationen im Vergleich A|K|S - A-alle, K-klassische, S-Stahlsaiten-Gitarren

Merkm.	f_1	L_1	f_2	L_2	f_3	L_3
f_1	A K S	0 + 0	+ + +	0 + 0	0 0 +	- - -
L_1	0 + 0	A K S	- 0 -	+ + +	+ 0 0	+ + 0
f_2	+ + +	- 0 -	A K S	0 0 0	0 0 +	- - -
L_2	0 + 0	+ + +	0 0 0	A K S	+ - 0	+ 0 0
f_3	0 0 +	+ 0 0	0 0 +	+ - 0	A K S	0 0 0
L_3	- - -	+ + 0	- - -	+ 0 0	0 0 0	A K S

Es ergeben sich klare Trends, aber durchaus auch nicht sofort erklärbare Konstellationen:

- Weisen klassische und Stahlsaiten-Gitarren gleichartige, sichere Korrelationen auf, so überträgt sich der Trend natürlich auf die zusammengefasste Stichprobe. Dies findet man bei vier der 15 betrachteten Kombinationen vor: $f_1 - f_2$, $f_1 - L_3$, $L_1 - L_2$, und $f_2 - L_3$.
- Zeigen beide Teilstichproben keine Korrelationen zwischen den Merkmalen (vier Fälle), so kommt zweimal vor, dass auch die Gesamtstichprobe diesen Trend aufweist: $f_2 - L_2$ und $f_3 - L_3$. Es gibt aber auch zwei Fälle, in denen die gemischte Stichprobe eine Korrelation ergibt. Interessanterweise in beiden Fällen eine positive, $L_1 - f_3$ und $L_2 - L_3$. Besonders verwirrend dabei ist, dass beide Zusammenhänge für die Einzelstichproben Korrelationskoeffizienten sehr nahe 0 zeigen.
- Der Fall, dass sich für klassische und Stahlsaiten-Gitarren eindeutige Korrelationen mit verschiedenen Vorzeichen ergeben, existiert glücklicherweise nicht, wohl aber sieben Fälle, bei denen nur ein Grundtyp eine Korrelation zeigt. Hierbei entsteht in vier Zusammenhängen ein so eigentlich nicht erwartetes Ergebnis. Dreimal richtet sich das Ergebnis für die Gesamtstichprobe nach der eigentlich kleineren Teilstichprobe der Stahlsaiten-Gitarren, $f_1 - L_1$, $f_1 - L_2$ und $L_1 - f_2$. Dem vierten Zusammenhang dieser Gruppe, $L_2 - f_3$, muss man, zumindest zunächst, ein widersprüchliches Ergebnis zuordnen. Aus einer negativen Korrelation der größeren Teilstichprobe, den klassischen Gitarren, und einer nicht nachweisbaren Korrelation bei den Stahlsaiten-Instrumenten ergibt sich eine positive Korrelation bei der Gesamtstichprobe. Für die verbliebenen drei Kombinationen, $f_1 - f_3$, $L_1 - L_3$ und $f_2 - f_3$ richtete sich die Korrelation der Gesamtstichprobe, wie zu erwarten, nach den Klassikgitarren.

Die Phänomene befriedigend über die Werte der Korrelationskoeffizienten zu beschreiben, gelingt nur in Fällen, in denen einer der beiden beteiligten Koeffizienten sehr nahe 0 liegt. Dies ist insofern nicht verwunderlich, als dass der Korrelationskoeffizient zwar den Grad des linearen Zusammenhanges zweier Größen beschreibt, selbst aber keine lineare Funktion darstellt. Vielmehr erscheint die bereits in [1]

und [3] bewährte Betrachtung der Streudarstellungen der jeweils beteiligten Merkmale eine geeignete Verfahrensweise. Für die erste Vierergruppe von Paarungen, die sich in allen Varianten von der Tendenz her gleichen, liefert das, wie zu erwarten, zusammenhängende Punktwolken mit wenigen Ausreißern, die aber die Korrelation weder stören noch bei ihrer Herausnahme verschwinden lassen. Beide Gitarrentypen laufen dabei ineinander oder schließen aneinander an. Als Beispiel sei die Paarung $f_1 - L_3$ dargestellt, die für den zweiten aufgeführten Verlauf steht.

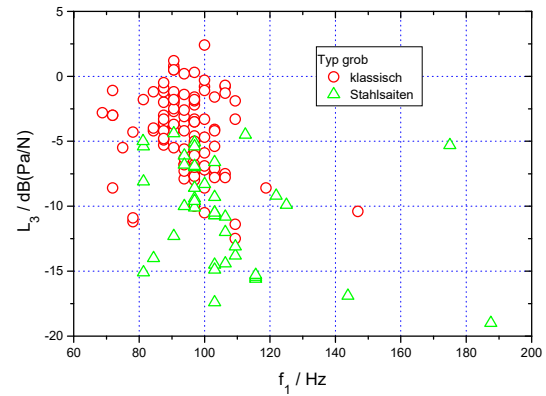


Abbildung 13: Verteilung der Resonanzmerkmale f_1 und L_3 nach Typ grob

Die zweite Gruppe der Zusammenhänge, bei der zwischen den Merkmalen der Teilstichproben keine Korrelation besteht, zeigt in der Streudarstellung für die zwei Fälle ohne Korrelation der Gesamtstichprobe für $f_2 - L_2$ ein ähnlich eindeutiges Bild. Der Zusammenhang $f_3 - L_3$ tendiert aber bei Herausnahme der in [3] diskutierten kleineren Instrumente mit besonders hoher Frequenz f_3 zumindest zu der Aussage, dass klassische Gitarren sowohl eine höhere Frequenz f_3 als auch einen höheren Pegel L_3 aufweisen (**Abbildung 14**).

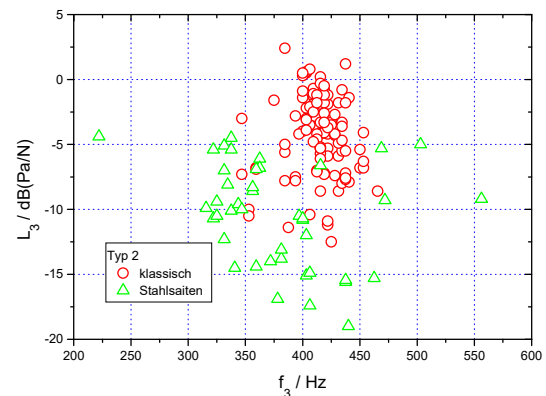


Abbildung 14: Verteilung der Resonanzmerkmale f_3 und L_3 nach Typ 2

Die Streudarstellungen der beiden Kombinationen $L_1 - f_3$ und $L_2 - L_3$ der zweiten Gruppe ergeben sehr anschaulich, wie aus

zwei nicht korrelierenden Teilstichproben eine Gesamtstichprobe mit korrelierenden Merkmalen entsteht. Überaus deutlich zeigt sich das für $L_2 - L_3$ (Abbildung 15). Besondere Bauformen spielen hier keine Rolle.

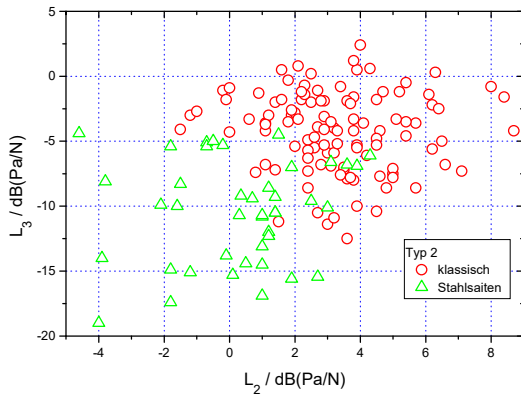


Abbildung 15: Verteilung der Resonanzmerkmale L_2 und L_3 nach Typ klassische und Stahlsaiten-Gitarren

Schauen wir uns für die dritte Gruppe der Zusammenhänge, bei denen jeweils nur ein Grundtyp eine Korrelation aufweist, zunächst die drei Fälle an, bei denen das Ergebnis für die Gesamtstichprobe dem der kleineren Teilstichprobe, den Stahlsaiten-Gitarren entspricht. Die Streudarstellungen weisen hier eindeutig auf eine Ursache hin. Sie liegt in innerhalb der Stahlsaiten-Stichprobe sich deutlich abhebenden Werten der kleineren Instrumente (siehe hierzu [3]). **Abbildung 16** stellt dies beispielhaft für die Verteilung, $f_1 - L$ dar. Man erkennt sehr deutlich, dass sich die eindeutig ansteigende Tendenz der klassischen Punktwolke in der Gesamtstichprobe nicht fortsetzt. Ursache sind die „sich absondernden Punkte“, zuzuordnen den kleineren Instrumenten. Hierbei leistet auch eine Klassikgitarre ($f_1 > 140$ Hz), das Wiener Modell, seinen Beitrag.

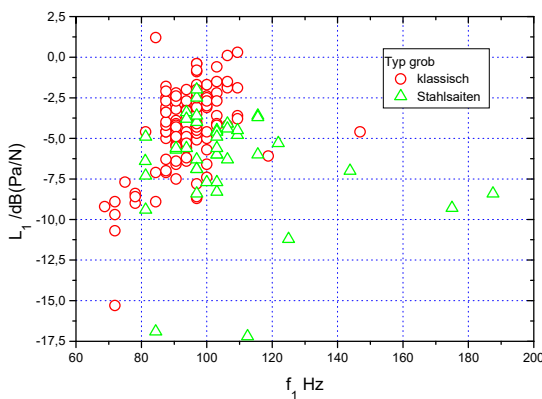


Abbildung 16: Verteilung der Resonanzmerkmale L_1 und f_1 nach Typ klassische und Stahlsaiten-Gitarren

Die vierte betrachtete Paarung der dritten Gruppe, $L_2 - f_3$, fand während der Untersuchungen zunächst das größte Interesse.

Die Stahlsaiten-Gitarren zeigen keine Korrelation, die klassischen Gitarren eine schwach negative. Bei der Gesamtstichprobe findet sich ein positiver Zusammenhang. Eine scheinbar spannende Konstellation. Aber bereits ein kurzer Blick auf die Verteilung (Abbildung 17) löst das Rätsel.

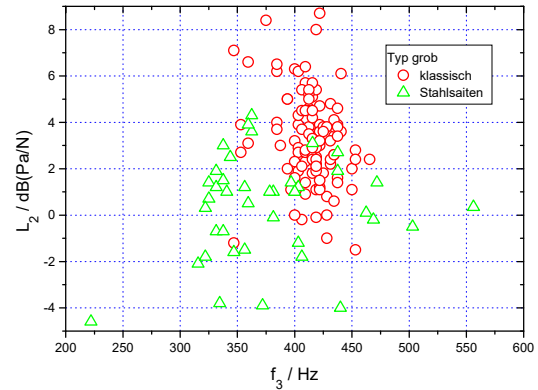


Abbildung 17: Verteilung der Resonanzmerkmale f_3 und L_2 nach Typ klassische und Stahlsaiten-Gitarren

Es zeigt sich sehr anschaulich, dass die klassischen Gitarren mit $-0,199$ (Grenzwert $0,19$, siehe [1]) eine sehr schwache Korrelation aufweisen. Bei den Stahlsaiteninstrumenten ist sie nicht nachweisbar. Ausschlaggebend dafür sind wieder die kleinen Instrumente. Allerdings bedingen diese nicht die positive Korrelation der Gesamtstichprobe. Hierfür sorgt vielmehr, wie schon im in **Abbildung 15** dargestellten Fall, der „Versatz“ zwischen Klassik und Stahlsaiten.

Bleiben die letzten drei Paarungen der dritten Gruppe: $f_1 - f_3$, $L_1 - L_3$ und $f_2 - f_3$. Bei den Frequenzpaaren weisen klassische Gitarren und Gesamtstichprobe keine Korrelation auf, die Stahlsaiteninstrumente eine positive. Im Falle der Pegelpaarung sind die Stahlsaiteninstrumente ohne einen nachweisbaren Zusammenhang, die beiden anderen in der Korrelation positiv. Der Fall scheint klar, die größere Stichprobe bestimmt den Trend. Betrachte wir dazu zwei der Verteilungen.

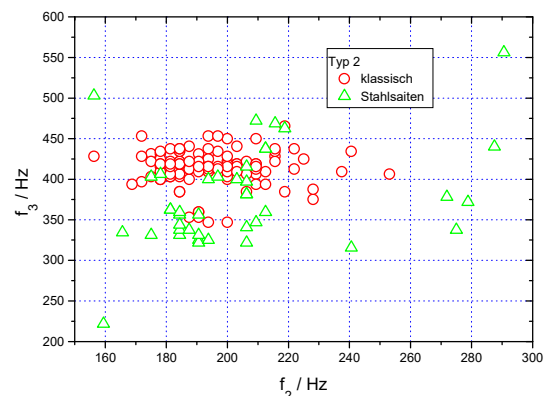


Abbildung 18: Verteilung der Resonanzmerkmale f_2 und f_3 nach Typ klassische und Stahlsaiten-Gitarren

Zunächst illustriert **Abbildung 18** die Verteilung $f_2 - f_3$. Ein ganz ähnliches Bild bietet sich für $f_1 - f_3$. Die fehlende Korrelation bei den klassischen Gitarren springt auch ohne Berechnung der Korrelationskoeffizienten sofort ins Auge. Aber noch eines wird klar. Die Korrelation bei den Stahlsaiten-Gitarren geht auf die größere Streuung der Werte zurück. Es sind wieder einmal die kleineren Instrumente, die diese größere Aufsplittung der Werte maßgeblich verursachen, aber eben nicht nur.

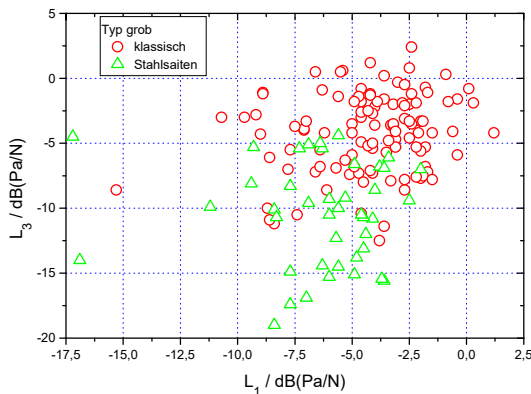


Abbildung 19: Verteilung der Resonanzmerkmale L_1 und L_3 nach Typ klassische und Stahlsaiten-Gitarren

Die Verteilung $L_1 - L_3$ findet man in **Abbildung 19**. Man sieht, dass die Korrelation der Gesamtstichprobe weniger auf den Trend der klassischen Gitarren als vielmehr erneut auf den „Versatz“ der beiden Teilstichproben beruht.

Die anfängliche Vermutung, dass sich die Korrelationen zwischen den Resonanzmerkmalen nach der zahlenmäßig größeren Teilstichprobe richten werden, stimmt also offenbar nicht. Entscheidend für deren Verhalten ist vielmehr zum einen ein (nicht in allen Fällen vorhandener) genereller Versatz zwischen den Werten klassischer und Stahlsaiten-Gitarren sowie die Art und Weise, wie die größere Streuung der Werte bei den Stahlsaiten-Instrumenten ausfällt.

Generelle Trends der Resonanzmerkmale

Insgesamt zeigen die Verteilungen der drei Pegel, dass die klassischen Gitarren generell zu einer höheren Übertragung tendieren. Man könnte das zunächst darauf zurückführen, dass die Stahlsaiten-Gitarren steifer gebaut sind und deshalb weniger schwingfreudig ausfallen. Die geringere Übertragung der Stahlsaiten-Gitarren ist dabei nicht per se als Negativkriterium zu werten. Es ist zu beachten, dass die Stahlsaiten eine höhere Erregerkraft liefern. Andererseits führt die vermutete größere Steifigkeit nicht zu erhöhten Resonanzfrequenzen. Im Gegenteil, **Abbildung 18** zeigt eher für f_3 eine Tendenz höherer Frequenzen bei den Klassikmodellen. Die deutlich höheren Werte f_2 bei Stahlsaiten-Gitarren gehen wieder auf die kleineren Modelle zurück.

Interessanter wird es, wenn man in der Verteilung $L_2 - L_3$ in **Abbildung 15** etwas feiner nach Stichproben auflöst. Dies erfolgt in **Abbildung 20**, wobei „Student“ und „DMIP“ die

klassischen Gitarren symbolisieren, die anderen Kürzel für die Stahlsaiten-Gitarren stehen. Man erkennt, dass der Abfall der Pegel für die Stahlsaiten-Gitarren im Falle der von den Studierenden gebauten Instrumenten am deutlichsten ausfällt. Bei den niedrigen Werten im Bild ganz links handelt es sich dabei nicht um die schon mehrfach aufgefallenen kleinen Instrumente. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Studierenden die Stahlsaiten-Gitarren in Hinblick auf den höheren Saitenzug doch etwas steifer bauen als erforderlich.

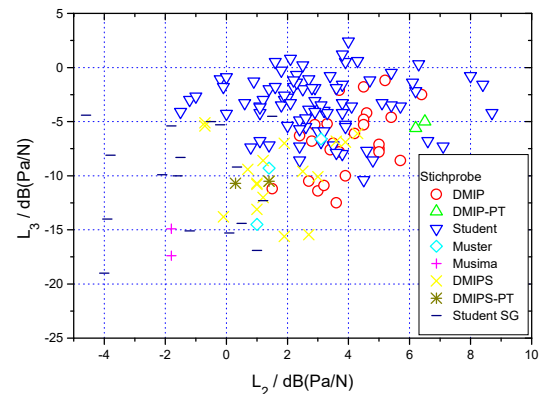


Abbildung 20: Verteilung der Resonanzmerkmale L_2 und L_3 nach Teilstichproben

Fazit

Der Vergleich klassische und Stahlsaiten-Gitarren anhand der Frequenzkurven bringt eine Reihe von Gemeinsamkeiten aber auch Unterschiede zu Tage. Diese fallen aber geringer aus, als hinlänglich erwartet. Für zukünftige Vergleiche sollte aber unbedingt die unterschiedliche Erregerkraft der Saitentypen einfließen. Die Frequenzkurvenmessung normiert ja quasi auf die Kraft. Die Erweiterung der Betrachtung auf konkrete Maße und Materialien der Instrumente, wie schon mehrfach erwähnt, ist auch hier anzustreben.

Literatur

- [1] Ziegenhals, G.: Akustische Untersuchungen studentischer Arbeiten – Klassische Gitarren. <https://www.fh-zwickau.de/aks/musikinstrumentenbau/forschung/veroeffentlichungen/>
- [2] Ziegenhals, G.: Akustische Untersuchungen studentischer Arbeiten – Stahlsaiten-Gitarren. Fortschritte der Akustik – DAGA 2023
- [3] Ziegenhals, G.: Akustische Untersuchungen studentischer Arbeiten – Stahlsaiten-Gitarren. Die ersten drei Resonanzen der Frequenzkurven. <https://www.fh-zwickau.de/aks/musikinstrumentenbau/forschung/veroeffentlichungen/>
- [4] Ziegenhals, G.: Akustische Untersuchungen studentischer Arbeiten – Bratschen und Celli. <https://www.fh-zwickau.de/aks/musikinstrumentenbau/forschung/veroeffentlichungen/>