

Akustische Untersuchungen studentischer Arbeiten – Stahlsaiten-Gitarren

Die ersten drei Resonanzen der Frequenzkurven

Gunter Ziegenhals

veröffentlicht Mai 2023

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

Motivation

Mit dem Beitrag [4] zu Stahlsaiten-Gitarren wurde auf der DAGA 2023 die 2021 begonnene Reihe von Beiträgen zu Untersuchungen an studentischen Arbeiten, [1] bis [3] fortgesetzt. Leider ließ es die Umfangsbeschränkung des DAGA-Papers nicht zu, die Stahlsaiten-Gitarren analog zum Beitrag klassische Gitarren [3] abzuhandeln. Es fehlte die Diskussion zu Korrelationen der Merkmale der ersten drei Resonanzen der Frequenzkurve, wie sie neben [3] auch in [5] geführt wurde. Diese soll nun in Form dieser ergänzenden Veröffentlichung nachgeholt werden.

Zur Erinnerung: Die betrachtete Stichprobe besteht aus 17 Stahlsaiten-Gitarren, vorgelegt von Studierenden im Zeitraum FS 2013 bis HS 2019/2020 (Teilstichprobe Student). Wie schon in den anderen Fällen erfolgte eine Erweiterung der Stichprobe: zum einen um vier Gitarren zweier Hersteller, als Muster bezeichnet, und als wieder willkommene Stichprobenergänzung, durchaus auch im Sinne einer Referenz, die Messungen der 10 Wettbewerbsinstrumente des Deutschen Musikinstrumentenpreises (DMIP) 2019. Die Teilnehmer am Wettbewerb bleiben anonym. Nur der (oder auch die) Preisträger (PT) werden bekannt gegeben. Die Messungen an 11 Gitarren erfolgten dabei zweimal. Insgesamt gingen also 42 Frequenzkurvenmessungen in die Auswertung ein.

Auf die verwendete Methodik der Frequenzkurvenmessung sei hier nicht eingegangen, sondern auf die angegebene Literatur verwiesen.

Extraktion der Merkmale f_n und L_n

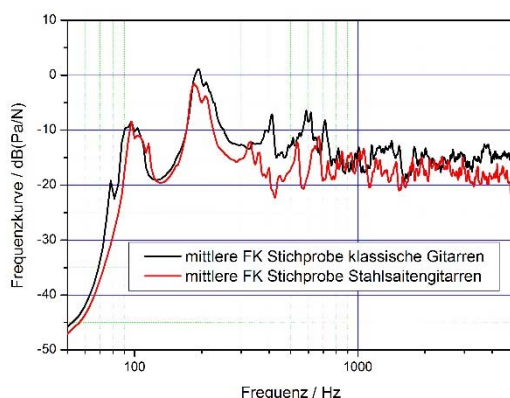


Abbildung 1: Mittlere Frequenzkurven der Stichproben klassische Gitarre DMIP 2016 und Stahlsaiten-Gitarre DMIP 2019

Abbildung 1 zeigt mittlere Frequenzkurven je einer Stichprobe klassische und Stahlsaiten-Gitarren. Man erkennt zwei sehr markante, ausgeprägte Resonanzen im Bereich 100 Hz

und um 200 Hz. Die beiden Resonanzen beruhen bekanntermaßen auf der Hohlraummode sowie der ersten Deckenmode der Gitarre. Im Falle der klassischen Gitarre folgt eine weitere eindeutige Resonanz bei etwa 400 Hz. Sie ist in den meisten Fällen auf die dritte Deckenresonanz zurückzuführen [5]. Bei den Stahlsaiten-Gitarren fällt in der mittleren Frequenzkurve dieser Peak nicht so prägnant aus. Betrachtet man jedoch einzelne Frequenzkurven (Beispiel **Abbildung 2**) so ist er aber eindeutig zu identifizieren, auch wenn er, wie im Beispiel, im Vergleich schwach ausfällt. Die Unschärfe in der mittleren Kurve deutet auf eine deutlich größere Streuung der dritten Resonanz bei den Stahlsaiten-Gitarren hin.

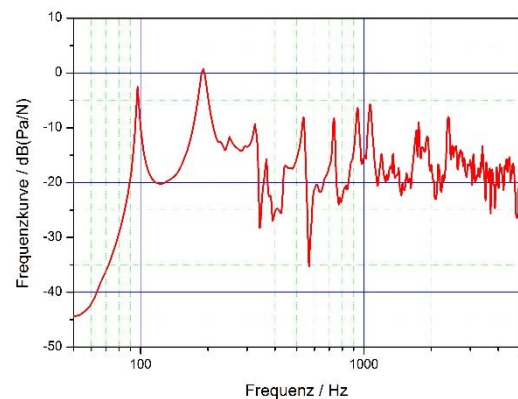


Abbildung 2: Frequenzkurve einer Stahlsaiten-Gitarre der betrachteten Stichprobe

Die ersten drei Resonanzen sollen anhand ihrer Merkmale Frequenz f_n und Pegel L_n ($n = 1, 2, 3$) diskutiert werden. Für eine entsprechende Auswertung wurden drei Suchbereiche definiert, in denen nach diesen ersten drei Maxima gefahndet wird:

- Resonanz 1 – Suchbereich 50 Hz ... 150 Hz
- Resonanz 2 – Suchbereich 150 Hz ... 270 Hz
- Resonanz 3 – Suchbereich 300 Hz ... 500 Hz

Diese Bereiche haben sich bei der Betrachtung klassischer Gitarren bewährt. Auch bei den Stahlsaiten-Gitarren funktionierten sie bislang trotz der beobachteten Unschärfe recht gut. Anders bei der Teilstichprobe Student. Die Experimentierfreude der Studierenden erwies sich als so groß, dass bei jedem zweiten Instrument die Suche manuell verifiziert werden musste.

Korrelationen der Merkmale

Betrachten wir zunächst die Korrelationen der Merkmale. Die Korrelationskoeffizienten für die Merkmale f_1 , f_2 , f_3 und L_1 , L_2 , L_3 stellt **Tabelle 1** dar. Die Werte, die den Grenzwert für

eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % übersteigen, sind fett dargestellt.

Tabelle 1: Korrelationskoeffizienten zwischen den Merkmalen der ersten drei Resonanzen der Frequenzkurven der in diesem Artikel diskutierten Gesamtstichprobe, $r_g, 5\% = 0,304$

Merkm.	f_1	L_1	f_2	L_2	f_3	L_3
f_1	1	-0,137	0,6066	-0,078	0,386	-0,334
L_1	-0,137	1	-0,48	0,4628	0,0931	-0,027
f_2	0,6066	-0,48	1	-0,137	0,3364	-0,316
L_2	-0,078	0,4628	-0,136	1	0,1342	0,1422
f_3	0,386	0,0931	0,3364	0,1342	1	-0,276
L_3	-0,334	-0,027	-0,316	0,1422	-0,276	1

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Untersuchungen an klassischen Gitarren finden wir bei der Stichprobe der Stahlsaiten-Gitarren nicht nur einen Zusammenhang zwischen f_1 und f_2 , sondern alle drei Frequenzen scheinen positiv miteinander zu korrelieren. Wie im Falle der klassischen Gitarren besteht eine gegenläufige Korrelation zwischen f_1 und L_3 sowie ein gleicher Zusammenhang zwischen f_2 und L_3 . Der bei den Klassikgitarren der Studierenden gefundene sichere Zusammenhang $f_1 - L_1$ wiederholt sich bei den Stahlsaitengitarren nicht. Anstelle dessen korreliert f_2 mit L_1 und L_3 bei jeweils negativer Ausrichtung. Darüber hinaus zeigt sich erneut eine Korrelation zwischen L_1 und L_2 .

Zusammenhänge zwischen den f_n

Die Korrelation zwischen f_1 und f_2 war auch bei den Stahlsaitengitarren zu erwarten, da die den Resonanzen zugrunde liegenden Moden auch bei diesen Instrumenten auf Hohlraum- und Deckenschwingung zurückzuführen sind. Der Zusammenhang wurde in [3] und [5] ausführlich diskutiert. Die Verteilung von f_1 und f_2 für die Stichprobe Stahlsaiten-Gitarren stellt **Abbildung 3** dar. Es zeigt sich ein fast idealer, linearer Zusammenhang zwischen f_1 und f_2 , aus dem lediglich fünf Instrumente Student herausfallen. Diese zerstören aber letztlich nicht das Vorhandensein der Korrelation

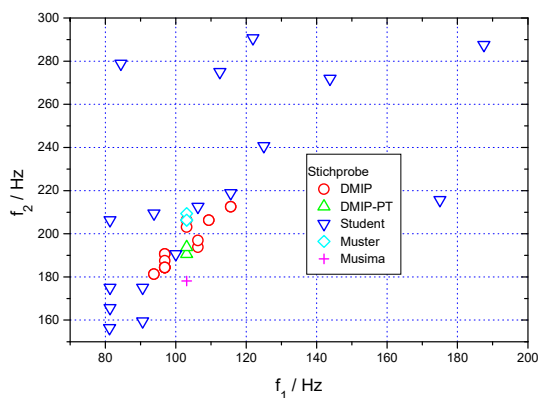


Abbildung 3: Verteilung der Resonanzfrequenzen f_1 und f_2 für die Stichprobe Stahlsaiten-Gitarren

Die anderen beiden Korrelationen $f_1 - f_3$ und $f_2 - f_3$ zeigten sich im klassischen Fall nicht. Nach den Erfahrungen bei den Analysen der klassischen Gitarren lohnt es auf jeden Fall, einmal die Verteilungen in Augenschein zu nehmen. Zu sehen sind sie in **Abbildung 4** und **Abbildung 5**.

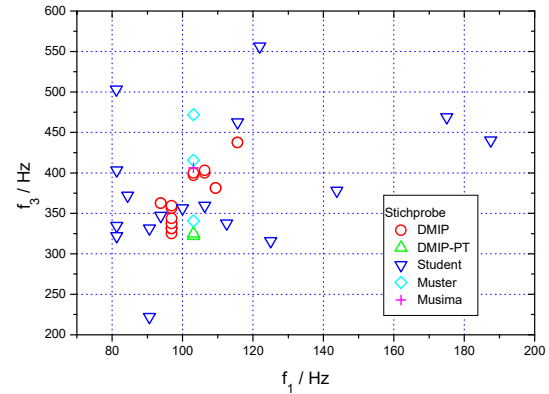


Abbildung 4: Verteilung der Resonanzfrequenzen f_1 und f_3 für die Stichprobe Stahlsaiten-Gitarren

Wie schon in **Abbildung 3** weisen die studentischen Arbeiten gegenüber den Wettbewerbsinstrumenten und Mustergitarren einen deutlich größeren Streubereich auf. Die Studierenden experimentieren also offenbar sehr intensiv mit den Bauformen. Besonders auffällig erscheinen in **Abbildung 4** die beiden Objekte zu den Grafiksymbolen ganz rechts. Es handelt sich um zwei Halbresonanzgitarren (halbakustische Modelle) mit zusätzlich noch verkleinertem Korpus (kleinere Deckenfläche). Die deutlich höhere Helmholtzresonanz resultiert also aus dem geringeren Korpusvolumen. Nimmt man analog zur in Zusammenhang mit den klassischen Gitarren angewandten Arbeitsweise diese beiden für die Stichprobe durchaus untypischen Instrumente aus der Auswertung heraus, so erhält man einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,280$. Die statistisch mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit gesicherte Korrelation ist also verschwunden.

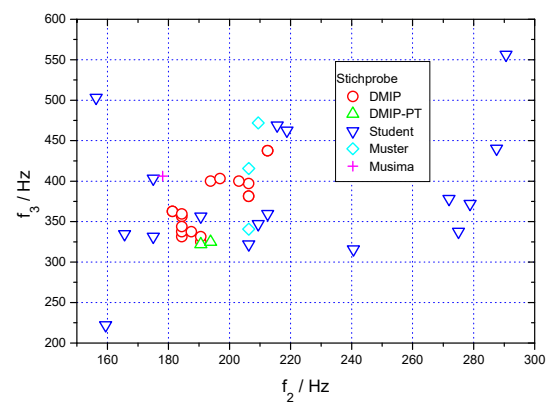


Abbildung 5: Verteilung der Resonanzfrequenzen f_2 und f_3 für die Stichprobe Stahlsaiten-Gitarren

Eine analoge Herangehensweise für den Zusammenhang $f_2 - f_3$ führt in **Abbildung 5** zunächst auf das Element oben rechts im Diagramm. Das Symbol gehört zur einzigen Sopran-Gitarre in der Stahlsaiten-Gruppe. Ohne dieses Element ergibt sich $r = 0,1772$. Anhand der Verteilung in **Abbildung 5** könnte man nun vermuten, dass die Korrelation nach Streichung weiterer Elemente wiederhergestellt wird. Kandidaten wären die weiteren vier Elemente mit $f_2 > 240$ Hz. Diese fallen ja auch in **Abbildung 3** etwas aus der Reihe und wurden in ähnlichem Zusammenhang bereits in [4] erwähnt. Eine entsprechende Berechnung liefert $r = 0,2318$. Das Entfernen des letzten auffälligen Objektes mit $f_2 = 240$ Hz lässt zwar r auf 0,3516 anwachsen, bleibt aber immer noch unter dem Grenzwert $r_{g,5\%}(36) = 0,392$ für die nunmehr geschrumpfte Stichprobe.

Wir können also konstatieren, dass bei Ausblenden extremer Objekte sich bzgl. den Beziehungen der Frequenzen der ersten drei Resonanzen der Frequenzkurve für die Stahlsaiten-Gitarren die gleichen Ergebnisse zeigen wie für die Klassikgitarren.

Zusammenhänge zwischen den f_n und L_n

Hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen Frequenzen und Pegeln der Resonanzen finden sich wie im Falle der klassischen Gitarren gegenläufigen Korrelationen zwischen f_1 bzw. f_2 und L_3 . Wie schon bei der Stichprobe klassische Gitarren ergibt sich bei den hier behandelten Stahlsaiten-Gitarren in beiden Fällen ein eindeutiger Zusammenhang. Schauen wir uns für beide Zusammenhänge erneut die zugehörige Verteilung an.

Die Betrachtung der Verteilung für $f_1 - L_3$, **Abbildung 6**, liefert eindeutig einen schwachen, aber sicheren gegenläufigen Zusammenhang zwischen f_1 und L_3 . Ein Ausblenden unsicherer Kandidaten erhöht bestenfalls r .

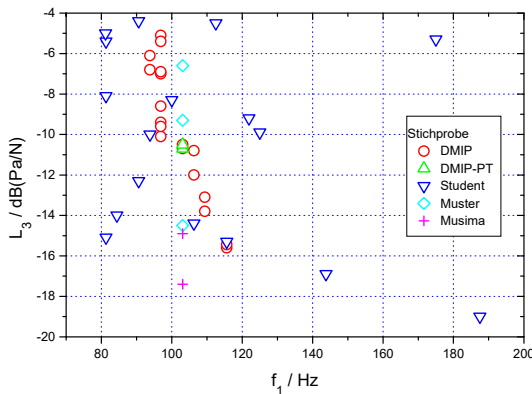


Abbildung 6: Verteilung der Resonanzmerkmale f_1 und L_3 für die Stichprobe Stahlsaiten-Gitarren

Noch deutlicher fällt die Sache für den Zusammenhang f_2 mit L_3 aus (**Abbildung 7**). Auch hier würde das Ausblenden unsicherer Kandidaten die Korrelation nur verbessern.

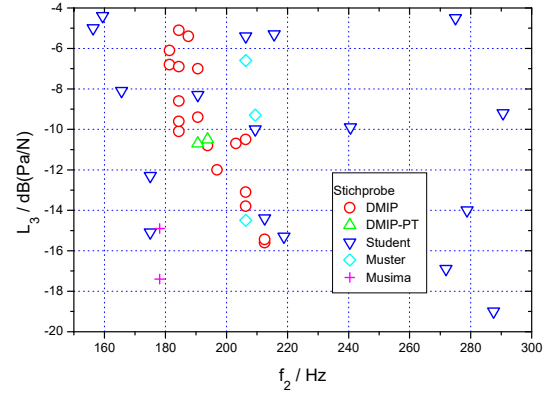


Abbildung 7: Verteilung der Resonanzmerkmale f_2 und L_3 für die Stichprobe Stahlsaiten-Gitarren

Zwei andere Zusammenhänge zwischen Resonanzfrequenzen und Pegeln fallen allerdings zunächst bei den Stahlsaiten-Gitarren anders aus als im Klassikfall. So fehlt im Gegensatz zu den Klassikgitarren die Korrelation zwischen f_1 und L_1 . Die klassischen Gitarren weisen mit wachsendem f_1 einen sehr deutlichen Anstieg von L_1 aus. Betrachtet man die entsprechende Verteilung bei den Stahlsaiteninstrumenten, so ist schon rein optisch (**Abbildung 8**) nicht mit einer Korrelation zu rechnen. Ein Ausblenden der „Ausreißer“ ($L_1 < -10$ dB, und $f_1 > 140$ Hz) liefert $r = 0,1084$, ändert also nichts an der Situation.

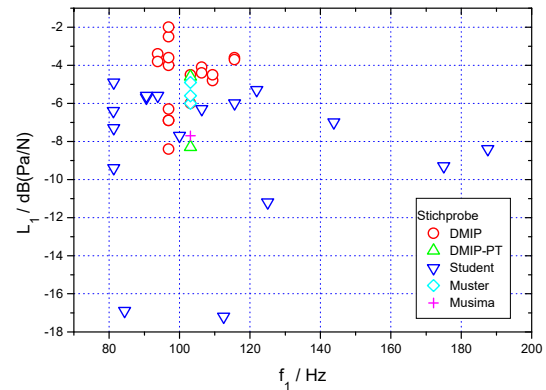


Abbildung 8: Verteilung der Resonanzmerkmale f_1 und L_1 für die Stichprobe Stahlsaiten-Gitarren

Der zweite, im Vergleich zu den Klassikgitarren widersprüchliche Zusammenhang betrifft f_2 und L_1 . Die Stahlsaiten-Gitarren weisen hier eine eindeutige Korrelation auf. Aber bereits ein kurzer Blick auf die entsprechende Merkmalsverteilung in **Abbildung 9** lässt den Verdacht aufkommen, dass diese durch zwei deutlich abweichende Objekte (unten rechts) verursacht wird. Wiederum handelt es sich dabei um zwei der kleineren Instrumente. Nimmt man beide aus der Statistik, so verschwindet die Korrelation.

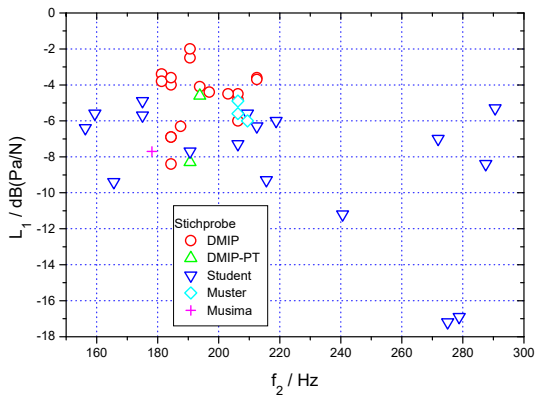


Abbildung 9: Verteilung der Resonanzmerkmale f_2 und L_1 für die Stichprobe Stahlsaiten-Gitarren

Zusammenhänge zwischen den L_n

Hinsichtlich der Resonanzpegel liefern die Stahlsaiten-Gitarren analog zu den Klassischen Gitarren eine positive Korrelation zwischen L_1 und L_2 , die sogar etwas stärker ausgeprägt ist. Die Verteilung (Abbildung 10) bestätigt das eindrucksvoll trotz wieder mal zweier deutlich abweichender Objekte. Es sind übrigens dieselben wie im Falle $f_2 - L_1$.

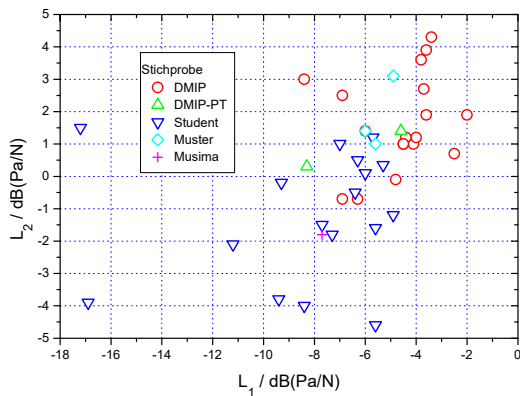


Abbildung 10: Verteilung der Resonanzpegel L_1 und L_2 für die Stichprobe Stahlsaiten-Gitarren

Die bei den Klassikgitarren beobachtete Korrelation $L_1 - L_3$ findet sich in der Stichprobe Stahlsaiten-Gitarren nicht wieder. Auch wenn es auf den ersten Blick in die Verteilung so aussieht, das Ausblenden der beiden offensichtlich untypischen Objekte ganz links (Es sind natürlich wieder die eben bereits diskutierten Instrumente.) verändert die Sachlage nicht (Abbildung 11).

Eine Korrelation $L_2 - L_3$ ließ sich bei den Stahlsaiten-Gitarren wie schon im Klassikfall nicht feststellen (Abbildung 12). Bei den klassischen Gitarren zeigte sich darüber hinaus, dass die Instrumente von Studierenden und Teilnehmern am DMIP, die auch im Klassikfall als Referenz herangezogen wurden, in der Darstellungsfolge $L_1 - L_2$, $L_1 - L_3$, $L_2 - L_3$ zunächst eine Punktwolke bilden, dann zunehmend auseinanderdriften. Bei den Stahlsaiten-Gitarren fallen sie in allen drei

Darstellungen eher auseinander. Kompakte Punktwolken wie im Klassikfall erkennt man nicht.

Auffällig ist, dass die Instrumente der Studierenden bei der Hohlraum- und der ersten Deckenresonanz im Vergleich zu den Wettbewerbsmodellen tendenziell niedrigere Pegel aufweisen, im Falle der dritten Deckenmode (L_3) beide Teilstichproben aber ausgeglichen erscheinen.

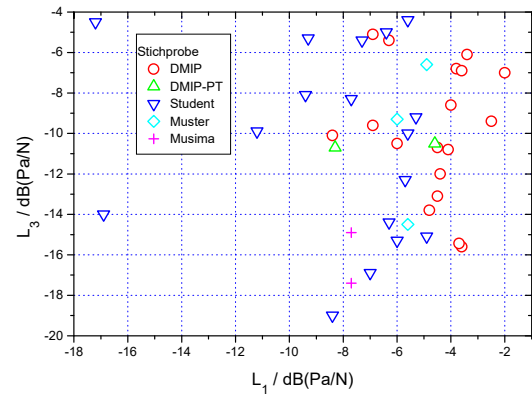


Abbildung 11: Verteilung der Resonanzpegel L_1 und L_3 für die Stichprobe Stahlsaiten-Gitarren

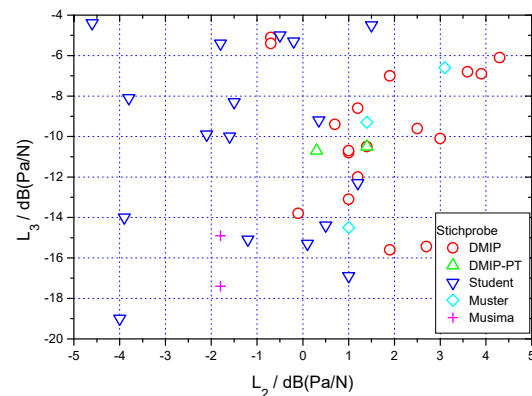


Abbildung 12: Verteilung der Resonanzpegel L_2 und L_3 für die Stichprobe Stahlsaiten-Gitarren

Bei den klassischen Gitarren war eine gewisse Tendenz erkennbar, dass die Wettbewerbsinstrumente stärker zu den vorgefundenen Korrelationen beitragen. Insbesondere zeigte sich das beim Zusammenhang $L_2 - L_3$. Dieser wies erst eine Korrelation auf, wenn man die Instrumente der Studierenden aus der Statistik nahm. Im Falle der Stahlsaiten-Gitarren findet sich ein solcher Trend für alle vorgefundenen Korrelationen in Zusammenhang mit Konstellationen, die mindestens eine Frequenz enthalten. Man kann das schon rein aus den Darstellungen der entsprechenden Verteilungen erkennen. Die Zusammenhänge zwischen den Pegelwerten L_1 , L_2 und L_3 weisen eine solche Tendenz allerdings nicht auf.

Semestereinfluss

Wie schon bei der Analyse der Frequenzkurven mittels der Faktorenanalyse ließen sich für die Zusammenhänge der Merkmale der ersten drei markanten Resonanzen der Frequenzkurven keine Semestereinflüsse feststellen. Das kann einerseits an der im Verhältnis relativ geringen Zahl der Instrumente liegen. Leider beschränkte sich der „Freundeskreis Stahlsaiten-Gitarre“ auf zwei Matrikel. Andererseits zeigt sich, dass die Studierenden von Anfang an jeweils eine bestimmte Konstruktionsvariante über die gesamte Zeit verfolgten. So entstand zwischen ihren Instrumenten einerseits eine breite Streuung aber andererseits über die Zeit eine Konstanz dieser Variationen.

Fazit

Es lässt sich, wie schon bei den klassischen Gitarren, feststellen, dass die Variationsbreite der Instrumente unter den studentischen Herstellern deutlich größer ausfällt als bei den zum Wettbewerb um den Deutschen Musikinstrumentenpreis eingereichten Instrumenten. Offenbar gibt es auch hier einen doch recht klaren Trend für Vorstellungen einer Stahlsaiten-Gitarre. Zumindest gilt dies für die besonders erfolgreichen Mainstream-Produktlinien der etablierten Hersteller, aus denen sie wohl Exemplare für den DMIP auswählten. Es ist andererseits bekannt, dass die bekannten Hersteller durchaus auch exotische Varianten für bestimmte Kunden anfertigen. Als Beispiel sei hier die Gibson acoustic Flying V angeführt, die von Scorpion's-Gitarrist Rudolph Schenker gespielt wird. Das beschriebene Phänomen zeigt sich völlig analog zu den Konzertgitarren auch bei der Analyse der Zusammenhänge von Frequenzen und Pegeln der ersten drei Frequenzkurvenresonanzen. (Fast) alle erwarteten bzw. nicht erwarteten Korrelationszustände lassen sich durch Herausnahme der „studentischen Exoten“ aus der Statistik herstellen. Ausdrücklich sei darauf hingewiesen, dass die Einordnung bestimmter Instrumente als „Exoten“ keine negative Bewertung darstellt, im Gegenteil!

Es wurde am Ende des vorangehenden Abschnittes bereits ausgeführt, dass sich kein Semestereinfluss abzeichnet. Das würde strenggenommen darauf hindeuten, dass auch keine Weiterentwicklung der einzelnen Akteure nachweisbar ist. Hierzu gilt aber die gleiche Argumentation wie zum Semestereinfluss an sich. In der großen Vielfalt der studentischen Konzepte gehen einfach die persönlichen Variationen unter. Um diese herauszuarbeiten, wären Variationen der statistischen Untersuchungen erforderlich, wofür aber die verbleibenden Stichproben schlicht zu klein ausfallen. Es zeigt sich wieder einmal die Stolperfälle, die statistischen Untersuchungen immer innewohnt. Die Ergebnisse hängen deutlich von der gewählten Stichprobe ab. Diese muss also immer möglichst genau der anvisierten Zielstellung entsprechen. Verwendet man allgemein verfügbare Objekte, wie hier die von den Studierenden ohne Bezug auf die beschriebenen Untersuchungen gefertigt wurden, so ist diese Forderung, wenn überhaupt, sicher nur in Teilen erfüllt. Fertigt man Objekte mit Blick auf die vorgesehenen Untersuchungen an,

so steuert man womöglich vorab in eine bestimmte Richtung, was sicher nicht Ziel des Projektes ist.

Hinsichtlich der Ursachen bzw. Zusammenhänge, die bestimmte Korrelationen zwischen den f_n und L_n erwarten lassen oder eben auch nicht sei auf die Diskussionen in [3] und [5] verwiesen.

Die bereits in den vorangehenden Veröffentlichungen zu den studentischen Arbeiten getroffene Aussage, dass es sinnvoll ist, für weiterführende Untersuchungen Informationen zu Konstruktion und Materialeinsatz der studentischen Instrumente in die Betrachtungen einzubeziehen, wird einmal mehr untermauert. Dennoch liefert diese erste Auswertung, die sich bewusst rein auf die Daten der Frequenzkurven konzentriert und nur sehr grobe Aussagen zu den Objekten, wie z. B. sehr kleines Instrument, hinzuzieht, auch für die Stahlsaiten-Gitarren sehr interessante Ergebnisse. Eine entsprechende Fortsetzung der Arbeiten sollte aber natürlich angestrebt werden. Zunächst ist jedoch vorgesehen, in einer Folgearbeit klassische und Stahlsaitengitarren zusammen „in einen statistischen Auswertetopf“ zu werfen. Motivation dafür ist die (scheinbare?) Ähnlichkeit der Frequenzkurven (**Abbildung 1**).

Literatur

- [1] Ziegenhals, G.: Akustische Untersuchungen studentischer Arbeiten – Violinen. Fortschritte der Akustik – DAGA 2021
- [2] Ziegenhals, G.: Akustische Untersuchungen studentischer Arbeiten – Bratschen und Celli. September 2021. <https://www.fh-zwickau.de/aks/musikinstrumentenbau/forschung/veroeffentlichungen/>
- [3] Ziegenhals, G.: Akustische Untersuchungen studentischer Arbeiten – Klassische Gitarren. <https://www.fh-zwickau.de/aks/musikinstrumentenbau/forschung/veroeffentlichungen/>
- [4] Ziegenhals, G.: Akustische Untersuchungen studentischer Arbeiten – Stahlsaiten-Gitarren. Fortschritte der Akustik – DAGA 2023
- [5] Ziegenhals, G.: Referenzgitarren des IfM – Frequenzkurven, Moden, Anhängigkeiten. September 2022 <https://www.fh-zwickau.de/aks/musikinstrumentenbau/forschung/veroeffentlichungen/>