

Akustische Untersuchungen studentischer Arbeiten – Violinen

Gunter Ziegenhals

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

Einleitung

Im Rahmen des achtsemestrigen Studienganges Musikinstrumentenbau mit den Studienrichtungen Streich- und Zupfinstrumentenbau der Westfälischen Hochschule Zwickau (WHZ) müssen die Studenten pro Semester (mit Ausnahme des Praktikumssemesters) ein selbst gefertigtes Instrument vorlegen. Während für das erste Semester ein Modell vorgegeben wird (Stradivarimodell bzw. klassische spanische Gitarre), herrscht in den Folgesemestern im Wesentlichen freie Modellwahl. Hinzu kommen weitere Instrumente, die im Rahmen von zwei Projektarbeiten (fünftes und siebentes Semester) entstehen. Diese Veröffentlichung befasst sich mit den Ergebnissen von Messungen, in diesem Zusammenhang im Zeitraum FS 2013 bis HS 2019/2020, eingereicherter Violinen. Es handelt sich um 62 Instrumente. Die Stichprobe der 62 Studentengeigen wurde für Vergleichszwecke um drei als hervorragend geltende Referenzinstrumente erweitert.

Untersuchungszeitraum und Fehlerquellen

Im Rahmen der Untersuchungen wurden von den 65 Instrumenten die sogenannten **Frequenzkurven (FK)** aufgenommen und anschließend einer vorrangig statistischen Auswertung unterzogen. Die Messungen fanden im Institut für Musikinstrumentenbau in Zwota statt. Die angewandte Messmethodik ist in [1] ausführlich beschrieben. Wenn man Messungen, die über einen Zeitraum von sieben Jahren erfolgten, gemeinsam auswertet, stellt sich natürlich die Frage der Vergleichbarkeit bzw. der Reproduzierbarkeit der Messungen. Für den Fall der Gitarre diskutierte der Autor die Problematik in [2]. Trotz klimatisierter Lagerung zeigten sich in den Messungen die Einflüsse des jahreszeitlich bedingten Klimas. Für Violine fanden entsprechende Untersuchungen mit zwei klimatisiert gelagerten Instrumenten zwischen September 2011 und Dezember 2013 statt. In diesem Zeitraum wurde von beiden Instrumenten jeweils 16 Mal die Frequenzkurve aufgenommen. Die Ergebnisse der ersten und letzten Messung im Vergleich zeigt **Abbildung 1**. Die Übereinstimmung der beiden Messungen ist in Anbetracht der großen zeitlichen Differenz durchaus zu-friedenstellend, obwohl natürlich deutlich Unterschiede in einzelnen Bereichen sichtbar sind. Eine genauere Analyse der aus den Frequenzkurven gewonnenen Merkmale (siehe hierzu [1]) ergab, dass sich einerseits, analog zum Gitarrenfall, Einflüsse des Klimas abzeichnen, andererseits die bei verschiedenen Messungen maximal auftretenden Differenzen zwischen Merkmalen tendenziell im Verlaufe des Experimentes zunahm. Man muss also zusätzlich von Alterungserscheinungen der Instrumente ausgehen. Die Alterung kann beim Vergleich der studentischen Arbeiten vernachlässigt werden, da es sich durchweg um zeitnah zu den Messungen erstellte Neubauten handelt. Es verbleiben allerdings die Einflüsse der Messtermine im Januar und Juni. Diese Einflüsse fallen

jedoch im Verhältnis typischer Unterschiede zwischen Instrumenten gering aus. Vergleiche hierzu auch [3].

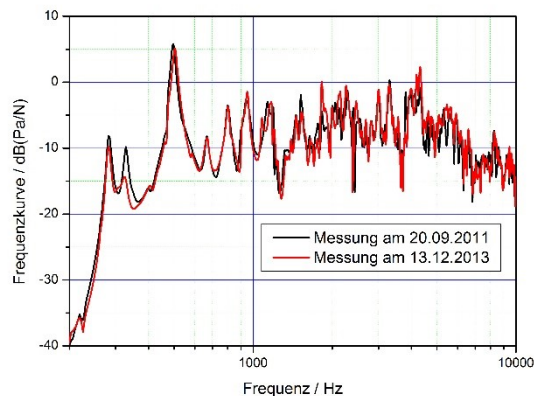


Abbildung 1: Zwei Frequenzkurvenmessungen Referenzvioline 16

Akustische Bewertung der Frequenzkurven

Die Frequenzkurven wurden im Frequenzbereich 0 bis 10 kHz aufgenommen und ab 200 Hz ausgewertet. Die klassische Form der Bewertung besteht in der Extraktion von Merkmalen und deren Vergleich für die betrachteten Objekte. Häufig verwendete Merkmale sind

- Frequenzen f_n und Pegel L_n der markanten Resonanzen
- Pegelsummen $L_S(f_a \dots f_b)$ bzw. Pegelmittelwerte $L_m(f_a \dots f_b)$ innerhalb von Frequenzbereichen und ihre Verhältnisse zueinander

Ein typischer, auf diesem Prinzip aufgebauter Merkmalsatz ist (siehe auch [1]) – Frequenzangaben in kHz:

- Frequenz der Helmholtzresonanz f_H
- Frequenz der 1. Deckenresonanz f_1
- rel. Pegel der Helmholtzresonanz L_H
- $|L_m(0,2..0,6) - L_m(2..4)| = \Delta L_{Ausg.}$
Maß für die Ausgeglichenheit,
- $L_m(2..4) - L_m(>4) = \Delta L_S$
Maß für eine niedrige Schärfe
- $L_m(0,2..0,6;2..4) - L_m(1,2..2) = \Delta L_n$
ein Maß für „näseln“
- $L_m(0,8..1,2) - L_m(0,19..5) = \Delta L_A$
Maß für die Klarheit
- $L_S(0,19..5) = L_{ges}$
Gesamtübertragungspegel

Statistische Bewertung – Faktorenanalyse

Im vorliegenden Fall erfolgte vorwiegend jedoch eine statistische Bewertung unter Verwendung der Faktorenanalyse. Dabei werden die einzelnen Frequenzkurven als die Variablen angesehen und deren einzelnen Frequenzstützstellen als deren Realisierungen. Im Ergebnis der

Analyse erhält man Faktoren, die jeweils einen bestimmten Prozentsatz der Unterschiede zwischen dem Verlauf der Variablen darstellen sowie für jede Variable pro Faktor eine sogenannte Faktorladung, die quasi die Ausprägtheit des Faktors in Bezug auf die Variable beschreibt. Die Faktorenanalyse bewährt sich insbesondere beim Finden globaler Einflüsse, im vorliegenden Fall z. B. Bauart, ggf. beteiligte Musiker bzw. Experimentatoren, aber auch klimatische Bedingungen. Beispielhaft sei auf [4] verwiesen. Die Faktoren stellen statistische Größen dar, deren physikalische Bedeutung man zunächst nicht kennt. Es lassen sich aber Zusammenhänge herstellen, indem man die Korrelation der Faktorladungen mit den physikalischen Frequenzkurvenmerkmalen betrachtet. Entsprechende Analysen unter Einbeziehung auch der Terz-Summenpegel der Frequenzkurven liefern für die untersuchte Geigenstichprobe folgende Zusammenhänge

Faktor 1

Kennzeichnet 90 % der Unterschiede in den FK. Korreliert positiv mit Merkmalen, die für eine hohe, aber nicht scharfe Abstimmung des Instrumentes sprechen.

Faktor 2

Kennzeichnet 1 % der Unterschiede in den FK. Korreliert positiv mit Merkmalen, die für eine tiefe Abstimmung des Instrumentes sprechen.

Faktor 3

Kennzeichnet 0,7 % der Unterschiede in den FK. Korreliert mit Merkmalen, die für eine Ausgeglichenheit des Instrumentes sprechen.

Faktor 4

Kennzeichnet 0,6 % der Unterschiede in den FK. Korreliert mit Merkmalen, die für eine eher größere Schärfe des Instrumentes sprechen.

Faktor 5

Kennzeichnet 0,5 % der Unterschiede in den FK. Korreliert mit Merkmalen, die für ein näselndes Instrument sprechen.

Die Analyse liefert eine Reihe weiterer Faktoren, die jedoch die Unterschiede in zunehmend geringerem Maße beschrieben. **Abbildung 2** zeigt die Verteilung der Ladungen der Faktoren 1 und 2 für die Instrumente der Stichprobe.

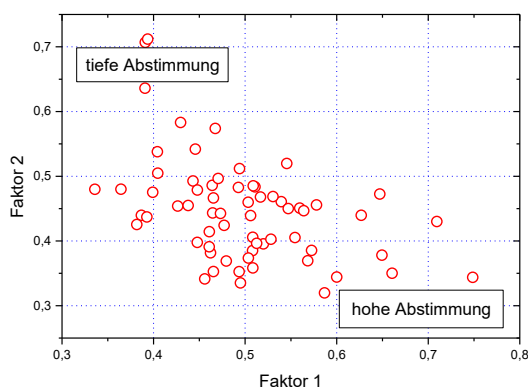


Abbildung 2: Verteilung der Faktorladungen 1 und 2 für die Instrumente der Stichprobe

Bemerkung: In den Diagrammen wird stets anstelle des Begriffes Faktorladung nur das Wort Faktor verwendet.

Man erkennt in **Abbildung 2**, dass die meisten Instrumente eine eher ausgewogene Abstimmung aufweisen und nur wenige Exemplare zu einer deutlich hohen oder tiefen Abstimmung neigen. Als nächstes sei anhand der Verteilung der Faktorladungen die Wirkung der Jahreszeit überprüft, da die Arbeiten der Wintersemester typisch im Januar, der Frühjahrssemester im Juni fertiggestellt und vermessen werden. **Abbildung 3** zeigt eine typische Verteilung, wie sie sich für alle Faktorenkombinationen ergibt. Im Sommersemester deutet sich ein geringer Trend zu einer stärkeren Streuung der Eigenschaften an. Da dieser aber keine eindeutige Richtung nimmt, kann man einen systematischen Klimaeinfluss ausschließen. Im Sommersemester steht andererseits aufgrund des Studienplanes mehr Zeit für Experimente beim Bau der Semesterarbeiten zur Verfügung und ins Sommersemester fallen die Abschlussarbeiten, die stets etwas Besonderes darstellen.

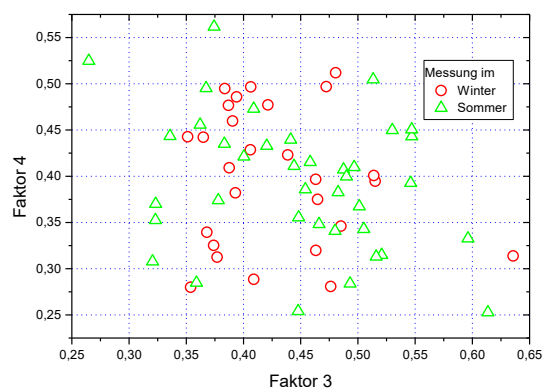


Abbildung 3: Verteilung der Faktorladungen 3 und 4 für die Instrumente der Stichprobe mit Verweis auf den Messjahreszeit

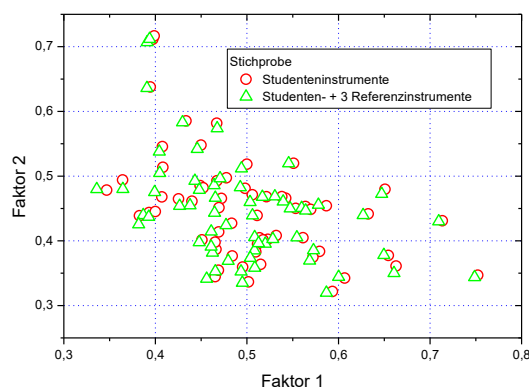


Abbildung 4: Einfluss der Referenzinstrumente auf die Faktoren 1 und 2 bzw. ihre Ladungen

Die Erfahrung zeigt, dass die Ergebnisse der Faktorenanalyse von der Zusammensetzung der betrachteten Stichprobe abhängen. Es lag also nahe, den Einfluss der drei Referenzgeigen zu betrachten. Dazu erfolgte die Faktorenanalyse einmal mit und einmal ohne diese drei Instrumente. Die Ergebnisse veranschaulicht **Abbildung 4**

im Vergleich. Der Einfluss der drei zusätzlichen Elemente ist gering aber eindeutig. Insbesondere die Ladung von Faktor 1 wird für die meisten Objekte geringer. Hinweis: Alle anderen gezeigten Ergebnisse beruhen stets auf Analysen der Gesamtstichprobe der 65 Geigen!

Interessant ist nun zu schauen, ob sich in der Entwicklung von Semester zu Semester bestimmte Tendenzen zeigen. Eine entsprechende Darstellung der Verteilung, wiederum für die Faktoren 1 und 2 zeigt **Abbildung 5**. Eine gleichartige Darstellung für die Faktoren 3 und 4 enthält **Abbildung 6**.

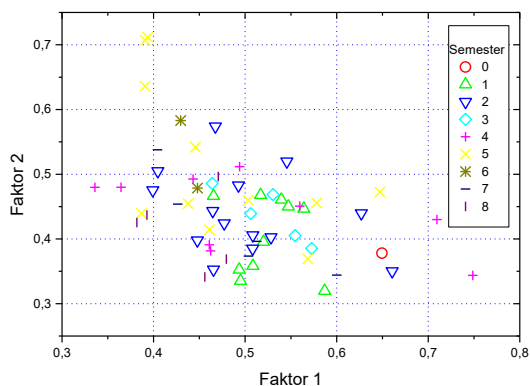


Abbildung 5: Verteilung der Faktorladungen 1 und 2 nach Semestern

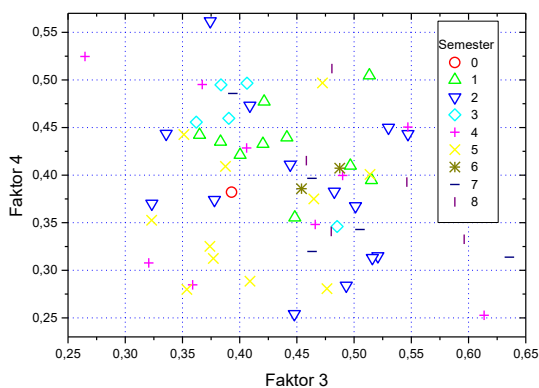


Abbildung 6: Verteilung der Faktorladungen 3 und 4 nach Semestern

Das mit Semester 0 gekennzeichnete Instrument ist eine Arbeit, die ein Student bereits vor Beginn des Studiums erstellt. Man erkennt in der Verteilung der Faktoren 1 und 2, dass die im ersten Semester gebauten Instrumente relativ eng zusammenfallen. Dies verwundert insofern wenig, da erstens eine Modellvorgabe besteht und eine enge Zusammenarbeit mit den Dozenten stattfindet. Allerdings zeigt sich in der Verteilung der weniger in Bezug auf die Frequenzkurvenunterschiede relevanten Faktoren 3 und 4 diese Bindung der Erstsemesterinstrumente nicht mehr. Der Aussage „weniger relevant“ bezieht nun aber rein auf die Frequenzkurvenverläufe. Eine gleichlautende Aussage in Bezug auf klangliche Unterschiede ergibt sich daraus nicht zwingend.

Eine weitere Betrachtung widmet sich verschiedenen Grundbauarten der Geige. Es werden moderne Geigen, Barockgeigen, die Bauform der Chanot-Geige und eine Carbonvariante verglichen. **François Chanot (1788-1825)**, *Marine-Ingenieur, trat 1816 in die Geigenbaufirma seines Vaters ein und nutzte sein Wissen, um Veränderungen an der Violine vorzunehmen. Z. B. vereinfachte er die Kontur der Violine, sodass sie eher einer Gitarre glich.* Die Barockgeigen ergeben interessanterweise nur für Faktor 4 ein einigermaßen einheitliches Bild, welches auf eine nicht scharfe Abstimmung hindeutet. In diesen Bereich fallen allerdings auch einige moderne Violinen sowie die beiden Chanot-Geigen, die zudem auch eine tiefe Abstimmung zeigen (**Abbildung 7**). Dies deutet darauf hin, dass die bekannten klanglichen Unterschiede der Barock-Geigen zu den modernen Geigen ganz offensichtlich im Wesentlichen auf die Darmsaiten und die veränderte Saitenführung zurückzuführen sind und nicht vorzugsweise auf die Eigenschaften des Korpus. Die Carbon-Variante liegt leider nur als Einzelstück vor. Die Faktorenanalyse weist hier eher auf ein flaches, wenig gelungenes Übertragungsverhalten hin. Die beiden Chanot-Geigen bilden zwar eine etwas abgesetzte Einheit, separieren sich aber von der, sagen wir indifferenten Gruppe Barock plus einige moderne Geigen, nicht wirklich.

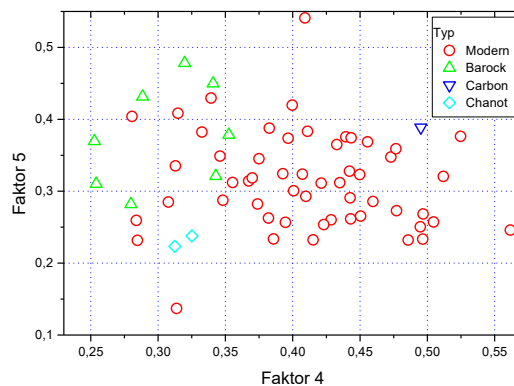


Abbildung 7: Verteilung der Faktorladungen 4 und 5 nach Grundtypen

Wie ordnen sich nun die Referenzinstrumente in die Stichprobe ein? Dabei handelt es sich um jeweils eine Violine von Schleske, Lupot und Stradivari. **Martin Schleske (*1965)**, *erfolgreicher und innovativer Geigenbaumeister mit Werkstatt in Landsberg am Lech. Neben der Geigenbauausbildung absolvierte er auch ein Physikstudium.* **Nicolas Lupot (1758-1824)** *war neben Jean-Baptiste Vuillaume der einflussreichste französische Geigenbauer des 19. Jahrhunderts.* Die zugehörige Verteilung der Faktoren 1 u. 2 stellt **Abbildung 8** dar. Als erstes fällt auf, dass die Referenzinstrumente Lupot und Stradivari praktisch zusammenfallen. Auch die Schleske-Geige ist nicht weit entfernt. Aber auch etliche Studentenarbeiten liegen in diesen Bereich einer ausgewogenen Abstimmung. Ein Vergleich mit der Darstellung in **Abbildung 5** zeigt, dass die Studenteninstrumente in der Nähe der Vorbilder vorrangig

aus dem ersten und zweiten Semester stammen. In dieser Phase des Studiums wirken erstens die Vorgabe zum klassischen Modell und zudem ein stärkerer Einfluss der Dozenten. Das Bild wandelt sich, wenn man die anderen Faktoren heranzieht. Lupot und Stradivari fallen hier nicht mehr zusammen und die Einordnung der Studenteninstrumente in Bezug auf die Referenzviolin fällt zunehmend schwerer.

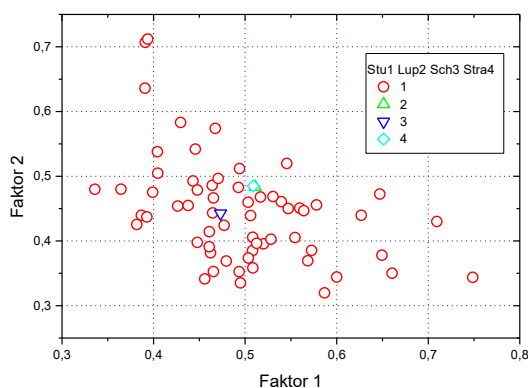


Abbildung 8: Verteilung der Faktorladungen 1 und 2 mit Referenzinstrumenten

Die bisherigen Betrachtungen gingen jeweils auf zwei der fünf ausgewählten Faktoren ein. Man schaut praktisch auf eine zweidimensionale Projektion eines fünfdimensionalen Merkmalsraumes. Da die Faktorladungen auf den Wertebereich -1 bis 1 normiert sind, kann man sehr einfach den Abstand im fünfdimensionalen Raum berechnen. Es stellt sich aber natürlich die Frage, inwieweit der Abstand tatsächlich eine Aussage zur akustischen Ähnlichkeit liefert. Die einzelnen Faktoren tragen ja sehr unterschiedlich zur Beschreibung der Variation der gemessenen Frequenzkurven und damit des Übertragungsverhaltens bei. Andererseits gibt es keine sehr genaue Aussage darüber, welche Unterschiede die größten Differenzierungen in der Wahrnehmung und/oder subjektiven Bewertung hervorrufen. Deshalb erscheint eine nicht gewichtete Entfernungsbestimmung im fünfdimensionalen Raum der betrachteten Faktorladungen zunächst als brauchbarer Kompromiss.

Die Ergebnisse lassen sich anhand **Abbildung 9** diskutieren. Das Diagramm enthält die Streudarstellungen der Abstände der einzelnen Instrumente zu den beiden Referenzinstrumenten Lupot und Stradivari. Der Abstand zwischen diesen beiden Instrumenten beträgt $\approx 0,2$ (Nicht aus dem Diagramm erkennbar!). Man kann also sicherlich alle Instrumente im Abstandsbereich bis $0,2$ als referenznah und zugleich traditionell einschätzen. Das trifft vor allen auf Instrumente aus dem ersten und zweiten Semester zu. Die eingangs getroffene Beobachtung bestätigt sich also. Verfolgt man die Semesterentwicklung für konkrete Studenten, so besteht die Tendenz, sich im vierten und fünften, seltener schon im dritten Semester von der Referenz Lupot/Stradivari zu entfernen. Instrumente, die sich vom Orientierungspunkt $(0,2;0,2)$ aus gesehen im oberen rechten Quadranten wiederfinden, wären dann wohl innovative Experimente. Die Studenten kehren mit ihren Arbeiten

später offenbar wieder zu ursprünglichen Auffassungen zurück, wobei die Mehrheit dieser im oberen linken Quadranten zu finden ist, also eher Lupot ähnlich ausfällt. Einen Trend zu Stradivari-Eigenschaften“ findet man in höheren Semestern interessanterweise seltener.

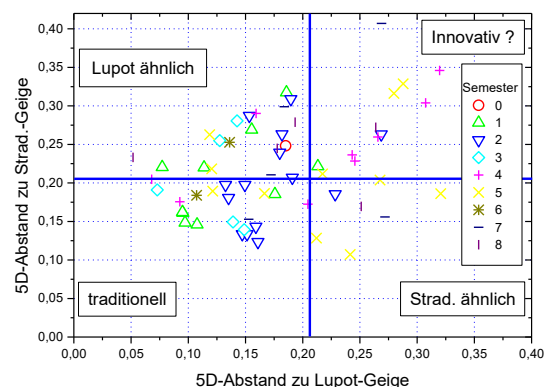


Abbildung 9: Abstand der Instrumente im fünfdimensionalen Raum der Faktorladungen

Fazit und Ausblick

Die Technik der Faktorenanalyse erlaubt es, sich im Gegensatz zur Analyse anhand klassischer, akustischer Merkmale relativ schnell ein Bild in Bezug auf globale Einflüsse zu verschaffen. Allerdings muss in der Folge das Ergebnis auf die technischen Merkmale zurückgeführt werden, wenn man bautechnische Einflüsse auf die Abstimmung der Instrumente ableiten will. Man findet alle diskutierten Ergebnisse letztlich auch allein anhand der technischen Merkmale, sucht allerdings wesentlich länger.

Ähnliche Untersuchungen fanden auch an Bratschen und Celli statt. Da deren Einbeziehung die vorliegende Veröffentlichung sprengen würde, sei auf [5] verwiesen.

Literatur

- [1] Ziegenhals, G.: Subjektive und objektive Beurteilung von Musikinstrumenten. Eine Untersuchung anhand von Fallstudien. Dissertation TU Dresden 2010. Studententexte zur Sprachkom. Band 51 TUDpress 2010
- [2] Ziegenhals, G.: Klimatische Einflüsse auf die Ergebnisse von Frequenzkurvenmessungen. Fortschritte der Akustik – DAGA 2016
- [3] Ziegenhals, G.: Deckenmontage und akustische Eigenschaften von Geigen. Fortschritte der Akustik – DAGA 2014
- [4] Ziegenhals, G.: Relevante Einflüsse der Holzqualität der Böden von Gitarren und Celli auf die akustischen Eigenschaften der Instrumente. Fortschritte der Akustik – DAGA 2015
- [5] Ziegenhals, G.: Akustische Untersuchungen studentischer Arbeiten – Bratschen und Celli, <https://www.fh-zwickau.de/aks/musikinstrumentenbau/forschung/veroeffentlichungen/>