

Angewandte Kunst Schneeberg

Fakultät der Westsächsischen Hochschule Zwickau
Studiengang Musikinstrumentenbau Markneukirchen

Dokumentation der Studienarbeit

Sommersemester 2020

Literaturanalyse zu akustischen Einflüssen von Steg, Stimme und Bassbalken am Beispiel der Violine

Modul AKS01450

Luca Jost
Matrikelnummer: 38743

Inhalt

Inhalt.....	2
Einführung von Begriffen, Bezeichnungen und Abkürzungen.....	3
1. Einleitung	5
2. Herangehensweise und Methodik	7
2.1 Überblick über bereits bestehende Arbeiten mit ähnlichen Zielstellungen	7
2.2 Auswahl und Beschaffung von Literatur	8
2.3 Katalogisierung der betrachteten Quellen	8
2.4 Schrittweise Eingrenzung der Informationen	9
2.5 Numerischer Überblick	10
3. Literatur zum Steg der Violine	11
3.1 Chronologischer Überblick in Ausschnitten	11
3.2 Übertragungskurve und Modenstruktur des Stegs	15
3.3 Der Steg auf der Decke - der „Bridge Hill“	24
3.4 Zusammenfassung praktisch anwendbarer Hinweise	27
4. Literatur zum Stimmstock der Violine	29
4.1 Chronologischer Überblick in Ausschnitten	29
4.2 Der Einfluss des Stimmstocks auf die Modenstruktur der Violine	34
4.3 Zusammenfassung praktisch anwendbarer Hinweise	35
5. Literatur zum Bassbalken der Violine	36
5.1 Chronologischer Überblick in Ausschnitten	36
5.2 Der Einfluss des Bassbalkens auf die Modenstruktur der Violine	39
5.3 Zusammenfassung praktisch anwendbarer Hinweise	40
6. Fazit und Ausblick	40
LITERATURVERZEICHNIS.....	41

Einführung von Begriffen, Bezeichnungen und Abkürzungen

Besonders in wissenschaftlichen Arbeiten zu Modenstrukturen werden zahlreiche Abkürzungen und Fachwörter verwendet, die nicht jedem Leser von vornherein verständlich sein werden. Um die eigentlichen Texte dieser Veröffentlichung möglichst konzise zu halten werden Erklärungen dieser einzelnen Begrifflichkeiten in diesem Abschnitt aufgeführt und im Folgenden ohne weitere Klärifikation verwendet.

Bezeichnungen für einzelne Moden der Violine und ihrer Bauteile:

Zu dieser Thematik finden sich unglücklicherweise sehr unterschiedliche Verwendungen eines grundsätzlich funktional geplanten Systems zur Bezeichnung beobachteter Moden, das sich aus einem Buchstaben zur Feststellung der Art und einer Zahl zur Bezeichnung ihrer Position auf der Frequenzskala im Verhältnis zu anderen Moden zusammensetzt. In dieser Arbeit werden grundsätzlich die folgenden Buchstaben verwendet, wobei hierzu teilweise die Wiedergabe einzelner Quellen modifiziert und in dieses System eingepasst wurde.

A: Luftmoden, des im Korpus eingeschlossenen Luftvolumens (von Englisch „Air“)

B: Moden des Geigenkörpers inklusive Hals und Griffbrett (von Englisch „Body“)

C: Moden des Korpus für sich, also ohne Hals und Griffbrett (von Englisch „Corpus“)

Einzelne Moden, die von besonderer Relevanz für den Klang der Violine erscheinen sollen hier mit kurzen Beschreibungen versehen werden.

A0: Die tiefste Luftmode der Violine - i.d.R. bei ca. 280 Hz. Sie stellt eine unechte Helmholtzresonanz dar, bei der das Luftvolumen und der Korpus eine Atembewegung durchführen.

A1: Die nächsthöhere Luftmode der Violine i.d.R. bei ca. 500 Hz. Sie stellt eine Längsschwingung der Luft innerhalb des Korpus dar, mit einer Knotenlinie im Bereich der F-Löcher. Durch die unterschiedlichen Dimensionen von Ober- und Unterbug ist sie als Kombination von zwei Resonanzen zu sehen, die zwei an den Hälsen verbundenen Helmholtzresonatoren ähneln.

B0: Die B0 ist die tiefste Mode des Geigenkorpus und liegt im Bereich der A0. Sie stellt eine Biegemode des Instruments mit Knotenlinien bei der breitesten Stelle des Unterbugs, dem Halseinsatz und am oberen Ende des Halses dar.

B1: Die Hauptmode des Korpus teilt sich in zwei einzelne Moden, die B1- und die B1+ auf, die um ca. 100 Hz auseinander liegen.

Freie Plattenmoden:

Die relevanten Plattenmoden der freien Decke und des Bodens der Violine werden i.d.R. als **erste, zweite und fünfte Mode** bezeichnet. Dabei stellt die erste eine Torsionsmode in der Decke bei ca. 80-90 Hz und im Boden knapp über 100 Hz da, die Frequenzlagen unterscheiden sich hier typischerweise auf Grund der starken Materialabhängigkeit dieser Mode. Die zweite bildet eine Querbiegemode bei ca. 160-180 Hz und die fünfte die sogenannte Ringmode bei ca. 360 Hz in Decke und Boden. Die letztgenannte entsteht dabei durch eine Kombination von zwei Biegemoden der freien Platte in Längs- und in Querrichtung. Diese drei Moden werden hauptsächlich zur Betrachtung herangezogen, da sie jeweils von einer bestimmten Materialeigenschaft besonders stark

beeinflusst werden und dafür ein guter Indikator dieser, beziehungsweise der Steifigkeiten der Platte in der entsprechenden Richtung sind. Die erste Mode hängt dabei besonders stark vom Schubmodul, die zweite von der Quersteifigkeit und die fünfte von der Längssteifigkeit ab. Keiner dieser drei Parameter kann allein über eine Mode entscheiden, aber da für diese drei Moden der Einfluss eines einzelnen Parameters die anderen dominiert, kann über ihre Aufzeichnung auf einfache Weise auf die Eigenschaften der Platte rückgeschlossen werden.

***f*_{crit} (Critical Frequency):**

Eine Eigenschaft des Instruments, die die Frequenz angibt, bis zu der hin die Abstrahlung ansteigt, wo sie ihr Maximum findet und von wo aus sie schließlich beginnt abzufallen.

„in plane“- und „out of plane“ Moden:

In den vorliegenden meist englischsprachigen Veröffentlichungen werden so Moden unterschieden, die entweder ausschließlich Bewegungen innerhalb einer Ebene z.B. der des Steges („in plane“) oder auch solche außerhalb der betrachteten Ebene („out of plane“) besitzen. Diese Nomenklatur ist sehr weit verbreitet und üblicherweise genutzt, weswegen sie auch auf Grund ihrer im Vergleich zur deutschen Variante handlichen Form im folgenden Text Anwendung findet.

Wolfon:

Als Wolfon wird ein meist bei Celli oder Kontrabässen beobachtetes Phänomen bezeichnet, bei dem ein bestimmter Ton (bei Celli häufig im Bereich F oder F#) nicht auf die gewohnte Weise anspricht, sondern eine niederfrequente Schwebung bzw. ein „Flackern“ hervorruft. Dies wird darauf zurückgeführt, dass die Energie der Saite zu schnell abfließt und kein beständiger Energiefluss zustande kommt. Gründe hierfür werden meist in Resonanzen des Korpus oder Einstellung des Stegs gesehen.

Bridge Hill:

Als Bridge Hill wird im Allgemeinen eine Anhebung der Abstrahlung einiger Instrumente im Bereich 2.000 – 3.000 Hz bezeichnet. Dieses Feature wurde zunächst von JANSSON entdeckt und mit der ersten Eigenmode des Stegs in Verbindung gebracht. Spätere Forschung des genannten und weiterer Autoren hat aber gezeigt, dass es sich um einen kombinierten Effekt vom Steg und den Deckeneigenschaften im Stegbereich handelt. Dieses Feature wird unter 3.3 gesondert behandelt.

1. Einleitung

Gegenstand dieser Arbeit bildet die Analyse von vorhandener Literatur zu den akustischen Einflüssen relevanter Bauteile der Violine. Dabei wurde eine Beschränkung auf Steg, Stimme und Bassbalken getroffen, um den physischen Rahmen der Arbeit einzuhalten, sowie trotz der zeitlichen Limitationen Details der betrachteten Materie qualitativ hochwertig aufarbeiten zu können. Im Zuge dessen soll auch ein kurzer Überblick über ähnliche bereits erarbeitete Zusammenfassungen von durchgeführter Forschung gegeben werden. Dieser ist unter 2.1 zu finden.

Besonders in artistischen Feldern wie dem Geigenbau ist der Wert von Erfahrungen und persönlichen Bezügen zur Materie unschätzbar wertvoll. Dennoch sollte nach Ansicht des Autors trotz der gebildeten und meist von eindeutig scheinenden Beobachtungen gestützten persönlichen Verständnisse stets eine gewisse Ehrfurcht vor wissenschaftlich belegbaren Fakten gewahrt werden. Ein Gesamtverständnis des akustischen Verhaltens von Streichinstrumenten wird auch in Gesprächen mit renommierten Wissenschaftlern und Geigenbauern meist als unerreichbar eingestuft und bildet nicht das Ziel des in dieser Arbeit vertretenen Strebens. Vielmehr sollen die bereits bestehenden Erfahrungswerte mit Begründungen und Verknüpfungen zu anderen Phänomenen versehen werden. Kompetenz in einem Feld liegt nach dieser Betrachtung nicht nur in dem Wissen, wie man einen gewünschten Zustand erreichen kann, sondern ebenfalls in dem Verständnis dessen, warum die getroffenen Maßnahmen funktionieren und in welchem Zusammenhang sie mit anderen Parametern des betrachteten Objekts stehen.

Die Motivation zu dieser Arbeit besteht dabei zu gleichen Teilen im persönlichen Erkenntnisgewinn des Autors, sowie darin, diesen mit anderen Studenten und Handwerkern zu teilen und somit zum kontinuierlichen Fortschritt des wissenschaftlichen Arbeitens über Generationen hinweg beizutragen. Es sollen dem geneigten Leser hierzu Motivation und Inspiration, sowie direkte Informationen und Materialien in einer möglichst kompakten Form an die Hand gegeben werden. Wie bereits im obigen Abschnitt angedeutet wird dabei maßgeblich darauf abgezielt, Kompetenzen und fundiertes Wissen für den Alltag und vor Allem den Kundenumgang bereitzustellen.

Die relative Offenheit eher artistisch orientierter Felder wie dem Instrumentenbau gegenüber Scheinwahrheiten oder Phänomenen wie den „Marketing Buzzwords“ des 21. Jahrhunderts wird dabei als deutliche Gefahr für die Kundenfreundlichkeit des Marktes gesehen. Die freie Marktwirtschaft fußt nach dieser Ansicht maßgeblich auf informierten und rationalen Kaufentscheidungen der Kunden, wobei diese für die Stellung solch hoher Ansprüche aufgrund der Komplexität der Materie nicht hinreichend mit Wissen gerüstet sein können. Es wird daher als Aufgabe des Instrumentenbauers gesehen, seine Kunden zu informieren und mit belegbaren Gründen für ihre Kaufentscheidungen auszurüsten.

Als Analogie sei an dieser Stelle auf eine ähnliche Situation im Bereich Informationstechnik hingewiesen. Beinahe jeder Leser dieser Arbeit wird ein Gerät mit einer integrierten „Central Processing Unit“ oder CPU verwenden, die die Fortschritte in der Informationstechnik auf ihrem Rücken getragen hat. Beinahe jeder Leser dieser Arbeit wird nicht in Ansätzen die komplexen Herstellungsprozesse geschweige denn die Funktionsweise dieser technischen Errungenschaft begreifen oder erklären können. Trotzdem wird von jedem Kunden der freien Marktwirtschaft, der ein Gerät mit solch einem Prozessor erwerben möchte – annähernd 100% der Kundschaft – erwartet, dass er eine fundierte und informierte Kaufentscheidung trifft. Diese Kluft zwischen Information und Kaufentscheidung ist an diesem Beispiel als Extrem zu sehen und findet sich selbstverständlich nicht im selben Ausmaß in Bereichen wie Immobilien oder Möbelkäufen, es gibt jedoch zahlreiche Marktsegmente, in denen sie groß genug ist, um eine Form von Mediator zu bedingen. Am genannten Beispiel der Informationstechnologie handelt es sich hierbei um

unabhängige Tester, die die am Markt angebotenen Produkte nach festgelegten Standards in ihrer Leistung bewerten und dem Kunden anhand von Zahlen aufzeigen können, in welchen Fällen welche Kaufentscheidung getroffen werden sollte.

Dass eine so konkrete Empfehlung in einem Marktsegment, das aus Unikaten besteht, nicht gegeben werden kann sollte auf der Hand liegen, weswegen es als unabdingbar gesehen wird, den Kunden mit Informationen zur grundlegenden Funktion und Unterscheidungskriterien zwischen Instrumenten auszustatten. Da sich in diesem vergleichsweise winzigen Marktsegment allerdings kein Platz für unabhängige Tester wie oben beschrieben zu ergeben scheint, fällt diese Verantwortung nach Ansicht des Autors dem Instrumentenbauer selbst zu. Dabei ist es seine oberste Aufgabe, dem Kunden eine sachlich informierte Kaufentscheidung zu ermöglichen, indem er die Informationskluft, die besteht, soweit es ihm möglich ist wissenschaftlich fundiert überbrückt. Zu solch einem Zwecke ist selbstverständlich ein sehr tiefgreifendes Verständnis durch den Instrumentenbauer nötig, denn nur was sehr gut verstanden wird kann gut genug vermittelt werden.

Primäres Ziel der Arbeit ist es, den Autor über den größtmöglichen Teil der bisher durchgeführten Arbeiten auf den genannten Gebieten zu informieren und diese Informationen in einer effektiven und umfassenden Weise im Rahmen einiger Textzeilen mit dem Leser zu teilen. Dabei soll das verfasste Dokument als Nachschlagewerk und Anregung für weitere Arbeiten dienen können, indem es ergebnisorientiert die vorhandene Fülle an Studien präsentiert, auf Lücken oder bisher nicht betrachtete Aspekte hinweist und so viele Quellen wie möglich direkt zur Verfügung stellt. Im Zuge dieses letzten Punkts wird ebenfalls angestrebt, eine kollaborative Quellensammlung in digitaler Form am Studiengang zu begründen. Hierzu wurden die verwendeten und auch weitere nicht direkt relevante Quellen in digitaler Form gesammelt und für die Leser dieser Arbeit in einer strukturierten und arbeitsorientierten Weise aufbereitet und zur Verfügung gestellt.

Als sekundäres Ziel wird angestrebt, direkte praktisch anwendbare Hinweise für die Werkstatt aus den betrachteten Arbeiten zu synthetisieren, um auch Lesern, deren primäres Anliegen nicht im wissenschaftlichen sondern in handwerklichen Arbeiten – dem Bauen von Geigen – liegt, einen möglichst großen Gewinn für ihr Lesen zu ermöglichen. Auf dieses Ziel werden gesonderte Abschnitte der Arbeit verwendet, um eine ausschließlich ergebnisorientierte, schnelle Aufnahme der Synthese vieler Seiten zu ermöglichen.

Die betrachteten Arbeiten sollen in digitaler Form zur Verfügung gestellt werden und damit den Grundstein für eine organisierte Literaturarbeit am Studiengang legen. Zu dieser können in weiteren Arbeiten zusätzliche Quellen hinzugefügt, und die bestehenden z.B. durch Sortierung nach Stichwörtern effektiver zugänglich gemacht werden. Näher werden diese Überlegungen unter 2.2 „Katalogisierung der betrachteten Quellen“ beschrieben.

2. Herangehensweise und Methodik

2.1 Überblick über bereits bestehende Arbeiten mit ähnlichen Zielstellungen

Die erste dem Autor bekannte Arbeit im Sinne einer Zusammenfassung bereits durchgeführter Studien bildet die von HUTCHINS 1983 veröffentlichte „A history of violin research“. Sie beginnt dabei mit einem chronologischen Überblick und geht dann auf einzelne Bauteile und Phänomene wie den Wolfon ein. Es werden einzelne Studien und kurze Abrisse derer Ergebnisse genannt, wobei deutlich klar wird, dass die jeweiligen Arbeiten gelesen werden sollten, um ihren Wissensgewinn erlangen zu können. (Hutchins, 1983a)

Einen etwas anderen Ansatz verfolgte HUTCHINS im Jahr 2000 in „Focus on stringed instrument research and development“, indem sie zu den einzelnen Forschungsgebieten wie Psychoakustik und Materialforschung jeweils die rezenten Ergebnisse der Forschung angibt und nächste Schritte die eingeleitet werden sollten oder könnten darlegt. (Hutchins, Creel, & Rogers, 2000)

2008 gab STOCK einen guten Überblick über die bis dorthin verfügbare Materie speziell zum Thema Bassbalken. Er geht dabei zielgerichtet vor und verwendet die Ergebnisse der angesprochenen Arbeiten maßgeblich zur Förderung seiner praktischen Anwendung am Bassbalken selbst, auf die er in derselben Arbeit ebenfalls eingeht. (Stock, 2008)

Zum Thema des Bridge Hill schrieb MOVASSAGH 2009 eine Zusammenfassung der bis dorthin geführten Diskussion und Forschungsergebnissen nach JANSSON, BISSINGER, WOODHOUSE und DÜNNWALD, die ebenfalls einiges an Perspektive einbringt und Zusammenhänge zwischen den einzelnen teilweise widersprüchlichen Ergebnissen der Forscher darlegt. (Movassagh, 2009)

Speziell zum Thema Steg gab RECHENBERG 2011 einen ausführlichen Überblick über verfügbare Forschung. Er führt dabei eine ergebnisorientierte Diskussion nach einzelnen Themengebieten wie Stegabstimmung und belegt dabei unterschiedliche Ansichten und Vorgehensweisen mit Ergebnissen einschlägiger Forschungsbemühungen. (Rechenberg, 2011)

2014 schrieb WOODHOUSE einen umfassenden Überblick über die Akustik der Geige und ging dabei ähnlich zu HUTCHINS über 30 Jahre zuvor nach Themengebieten vor. Es wird dabei auf Details wie das Kolophonium der Bogenhaare aber auch übergreifendere Themen wie Schallabstrahlung und Psychoakustik eingegangen, wobei spezifische Ergebnisse einzelner Studien genannt und in der weiterführenden Diskussion verwendet werden. (Woodhouse, 2014)

Einen in der Struktur ähnlichen, im Umfang aber deutlich leichter verdaubaren Überblick gab GOUGH 2016 in „Acoustics Today“, wobei er auf neun Seiten nach Themengebieten wie Abstrahlung und Modellierung von Moden unterteilt kurze Abrisse zum aktuellen Stand der Forschung gibt. Es handelt sich hierbei um eine in einer Mittagspause erarbeitbare Veröffentlichung mit einer hohen Informationsdichte und zahlreichen Quellenverweisen zur weiteren Erforschung angestoßener Denkvorgänge. (Gough C. , 2016)

In Anbetracht dieser beträchtlichen bereits durchgeführten Arbeit zur Zusammenfassung des gewonnenen Wissens wurde entschieden, die vorliegende Veröffentlichung maßgeblich durch die praktische Anwendung und Erweiterung auf Arbeiten aktuellsten Datums zu differenzieren. Dabei soll auf die drei bereits genannten Themengebiete Steg, Stimme und Bassbalken eingegangen werden und praktisch anwendbare Hinweise für die Werkstatt aus den gewonnenen Kenntnissen synthetisiert und konkretisiert werden. Ein eigener Abschnitt soll dem Phänomen des Bridge Hill gewidmet werden, wie es auch MOVASSAGH mit der Arbeit von 2009 getan hat. Dieses Phänomen

scheint nach bisherigem Forschungsstand ein komplexes zu sein und wird hier maßgeblich der Form halber unter dem Abschnitt des Stegs geführt werden, da es deutlich erscheint, dass es sich nicht um ein eigentliches Feature des Stegs handelt, sondern um ein Phänomen der Funktionsgruppe aus Korpus und Steg.

2.2 Auswahl und Beschaffung von Literatur

Zu Beginn wurde von dem Autor bereits bekannten Arbeiten ausgegangen, die sich in einschlägigen Werken wie den von HUTCHINS zusammengestellten Bänden der Catgut Acoustical Society fanden. Hinzu kamen Arbeiten von bekannten Instrumentenbauern wie Martin Schleske sowie die am Studiengang verfassten Schriftstücke zu den drei gewählten Themengebieten. All diese Arbeiten wurden zunächst auf ihre Referenzen hin untersucht und so eine erste weiterführende Liste an Literatur erstellt. Nach Beschaffung dieser zweiten Serie konnten diese wiederum auf ihre Literaturverweise hin untersucht werden. Diese Vorgehensweise wurde einige Male wiederholt, bis ersichtlich war, dass keine weiteren relevanten Quellen auf diese Art gefunden werden konnten.

Diese Herangehensweise birgt selbstverständlich das Risiko der unabsichtlichen Beschränkung auf eine bestimmte geschlossene Gruppe von Wissenschaftlern. Aus diesem Grunde wurde parallel hierzu eine allgemeinere Suche über Suchportale wie google.scholar durchgeführt und bei dem Autor bekannten wissenschaftlich interessierten Handwerkern nach weiterführenden Hinweisen inquiriert. Auf diese zweite Art und Weise gefundene Quellen wurden besonders stringent auf ihre eigenen jeweiligen Literaturverweise hin untersucht, um in bisher möglicherweise unerschlossene Kreise der wissenschaftlichen Gemeinschaft vorzudringen.

Es wurde für jede Arbeit ein Versuch gemacht, diese auch in digitaler Form zu erhalten und sie subsequent mit der Veröffentlichung zur Verfügung stellen zu können. In einem überwiegenden Teil der Fälle konnte dies durch die Bereitstellung einflussreicher Journale wie z.B. dem Newsletter der Catgut Acoustical Society von diesen Gesellschaften selbst über das Internet realisiert werden. Hier konnten ganze Sammlungen frei zugänglich heruntergeladen werden, aus denen anschließend die jeweils relevanten Quellen extrahiert und sortiert wurden. Andere Arbeiten fanden sich auf einschlägigen Portalen wie ingentaconnect und konnten in vielen Fällen durch Unterstützung der Hochschule kostenfrei heruntergeladen werden.

Die Auswahl der Quellen ist dabei keinesfalls als objektiv zu sehen, sondern ist deutlich von der Person des Autors beeinflusst. So wurde z.B. in späteren Phasen der Literaturakquise gezielt nach Quellen neueren Datums gesucht, was zum einen aus objektiven Gründen der Quellenrelevanz, aber eindeutig auch subjektiven Gründen von Frustrationen des Autors resultierte. Bei der Betrachtung der hier ausgewählten Quellen sollte der Leser diese Einflüsse also im Hinterkopf behalten und in jedem Fall seine eigene Recherche durchführen und Ergebnisse dieser gerne der mit dieser Veröffentlichung erstellten Literatursammlung hinzufügen.

2.3 Katalogisierung der betrachteten Quellen

Die jeweiligen Artikel wurden zunächst heruntergeladen oder aus den bereits bestehenden Sammlungen als einzelne Dateien extrahiert. Dabei wurde ausschließlich das PDF Format verwendet. Die Dateien wurden nach dem Schema *Autor*, *Jahr*, *Titel* benannt und zunächst einem Sammelordner für Neuzugänge hinzugefügt. Von dort wurden sie als erstes in der in Word erstellten Masterliste eingetragen und entsprechend in einen Ordner umsortiert. Anschließend wurde jede Quelle unter Angabe genauerer Parameter wie Seitenzahl und Relevanz für unterschiedliche Themengebiete in eine Tabelle eingetragen und entsprechend des neuen Bearbeitungszustandes in einen höher liegenden Sammelordner verschoben.

Diese Tabelle wird als maßgebliches Werkzeug zur Organisation und Suche von Literatur zusammen mit allen Quellen in den Formaten .xlsx und .ods zur Verfügung gestellt. Die Arbeiten können nach Autor und Jahr sortiert und über eine Stichwortsuche durchsucht werden. Des Weiteren wurden für fünf gewählte Parameter boolean Werte zur Bestimmung der Relevanz einer Arbeit für ein bestimmtes Themengebiet hinzugefügt. Auf diese Weise können durch eine schnelle Sortierung des Dokuments innerhalb von Sekunden alle enthaltenen relevanten Arbeiten z.B. zum Thema Luftresonanzen gefunden werden. Zukünftige Studenten können diese Tabelle als Anhaltspunkt zum Beginn einer Literatursuche verwenden und ihr weitere Quellen hinzufügen, sowie Kriterien zur Sortierung und Auswertung hinzufügen.

2.4 Schrittweise Eingrenzung der Informationen

Jede Studie wurde zunächst durchgearbeitet und eine zugehörige Textdatei mit stichpunktartigen Notizen erstellt. Dabei wurde grundsätzlich ergebnisorientiert und beschränkt auf die drei in dieser Arbeit betrachteten Kriterien gearbeitet. Die verwendete Methode oder Messmittel sind also in den meisten Fällen in den Notizdateien nicht näher beschrieben. Auch werden hier häufig Details von allgemeinem Interesse unterschlagen, da sie keinen direkten Bezug zum Thema dieser Veröffentlichung besitzen. Die Notizdateien können also im Kontext dieser Arbeit durchaus als Mittel zur schnellen Einschätzung und als kurzer Überblick verwendet werden, sollten aber nicht als hinreichende Zusammenfassung aller Arbeiten und Ersatz für deren Studium gesehen werden. Die erstellten Textdateien wurden zunächst im .txt Format abgespeichert, werden des Weiteren aber noch im .docx und .odt Format zur Verwendung in Textverarbeitungsprogrammen zur Verfügung gestellt. Um die Dateien im späteren Vorgehen dieser Analyse möglichst effizient verwenden zu können, wurde darauf geachtet, die Stichwörter „Steg“, „Stimme“ und „Bassbalken“ immer dann einzubringen, wenn eine Relevanz für das jeweilige Themengebiet bestand. Auf diese Weise konnten die Arbeiten im Anschluss durch eine einfache Stichwortsuche in die einzelnen Relevanzbereiche unterteilt werden. Es ist dabei bei modernen Betriebssystemen auf einfache Weise möglich im Dateiverwaltungsprogramm viele Dokumente auf einmal nach einzelnen Stichwörtern wie beispielsweise „B1“ und „Bassbalken“ zu durchsuchen und relevante Arbeiten, die eine Verknüpfung zwischen diesen herstellen, zu finden.

Die vorliegenden Notizen können anderen Studierenden durchaus von Nutzen sein, sollten dabei allerdings mit gewissen Hintergedanken gelesen werden. Sie stellen so z.B. keine neutrale oder objektive Perspektive dar, sondern sind von der Person des Autors deutlich geprägt. Dieser Umstand wird durch die zeitlichen, sowie chronologischen Verhältnisse noch erschwert. Die Arbeiten wurden zu sehr unterschiedlichen Tageszeiten und über Wochen hinweg durchgearbeitet, wobei keine vorgegebene Reihenfolge eingehalten wurde. Dadurch sind die getroffenen Entscheidungen hinsichtlich Wortwahl sowie Inklusion oder Omittierung einzelner Inhalte deutlich geprägt. Auch entwickelten sich über den Verlauf dieser Wochen einige Meinungen des Notierenden durch in dieser Arbeit gewonnenes Wissen oder gebildeter Ansichten.

Nachdem alle Arbeiten zu einem Themengebiet ausgewählt und durchgearbeitet waren, wurden sie anhand der Notizen noch einmal in chronologischer Reihenfolge weiter zusammengefasst. Dabei wurden verwendete Methoden nun zugunsten eines konzentrierten Ergebnisüberblicks meist gänzlich vernachlässigt, sodass einzelne Arbeiten auf eine einzelne Zeile heruntergebrochen werden konnten. Diese Vorgehensweise vereinfacht natürlich viele Aspekte der wissenschaftlichen Quellen, und es wird vom Leser eindeutig erwartet, dass er vor weiterer Verwendung der gegebenen Informationen zu wissenschaftlichen Zwecken die zu Grunde liegenden Artikel studiert und eine fundierte Hintergrundrecherche betreibt. Für einen Überblick und praktische Anhaltspunkte für Handwerker wird diese Methode der Komprimierung aber als effektiv und präzise empfunden,

weswegen sie in dieser Veröffentlichung verwendet wird.

Der so entstandene chronologische Überblick über alle Quellen wurde zunächst in einen der Abschnitte des jeweiligen Themengebiets als Fließtext umgearbeitet und konnte des Weiteren dazu verwendet werden, um zu einzelnen Thematiken wie zum Beispiel dem „Bridge Hill“ schnell Informationen und relevante Quellen zu finden. Die so entstandenen Textdokumente werden ebenfalls zur Verfügung gestellt in den Formaten .txt, .docx und .odt.

2.5 Numerischer Überblick

In Vorbereitung für diese Veröffentlichung wurden insgesamt 149 Arbeiten gefunden, beschafft, gelesen und zusammengefasst. Die Gesamtseitenzahl dieser beläuft sich dabei auf ca. 1400 Seiten. Der älteste Artikel ist aus dem Jahre 1909 und der neueste von 2020, es wurden also Quellen aus einem Zeitraum von 111 Jahren zur Betrachtung herangezogen. Zusätzlich werden auch weitere Quellen zur Verfügung gestellt, die im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr direkt in Betracht gezogen wurden.

Die Darstellung der Anzahl betrachteter Arbeiten pro Zeitraum zeigt, dass die allermeisten aus den Jahren 1981-1993 stammen. (Siehe Abbildung 1) Am Beispiel der für den Steg als relevant erachteten Artikel zeigt sich allerdings eine deutliche Verschiebung zu solchen neueren Datums. Dies wird mit einem Auswahlbias begründet. Modernere Arbeiten waren zum einen durchschnittlich länger, was die Wahrscheinlichkeit, dass eins der drei verwendeten Stichwörter fällt steigert, zum anderen wurde teilweise bewusst nach Arbeiten neueren Datums gesucht, da davon ausgegangen wird, dass diese tendenziell qualitativ hochwertigere Informationen enthalten.

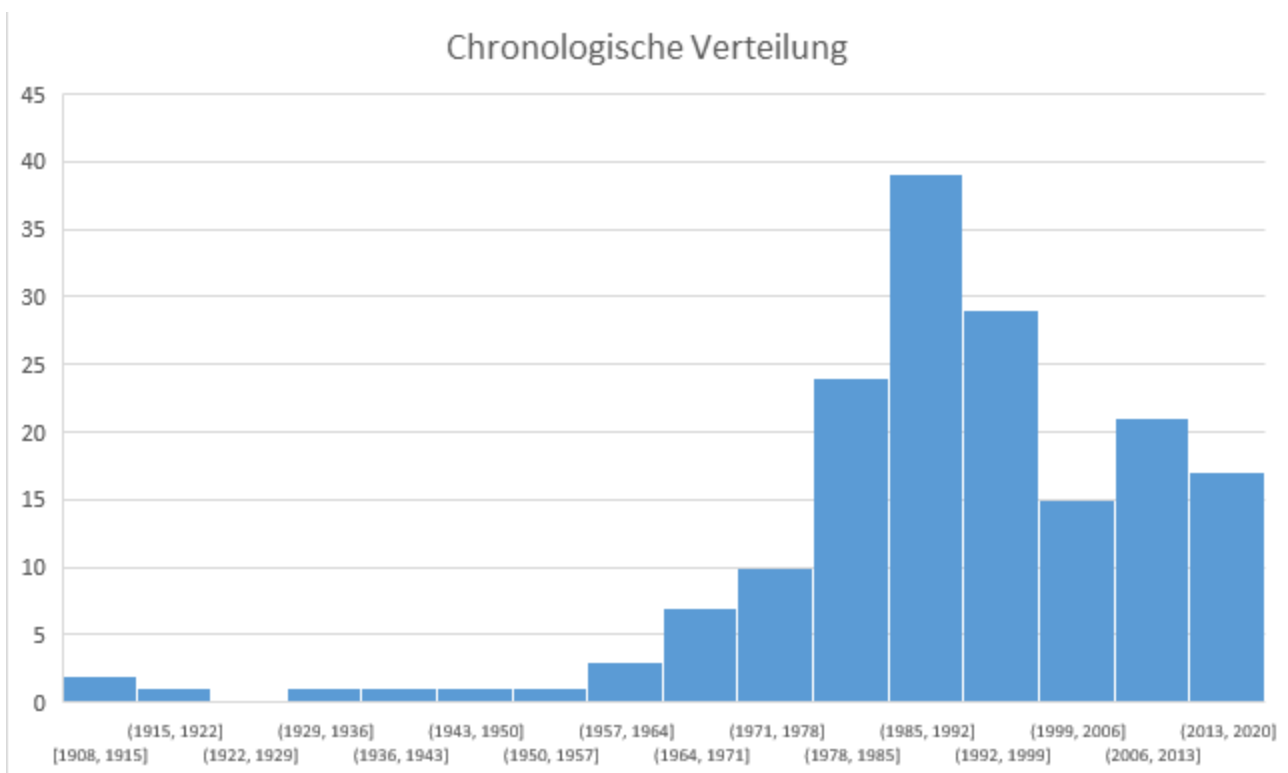


Abbildung 1: Chronologische Verteilung aller betrachteter Arbeiten

Zu den Bereichen Steg, Stimme und Bassbalken wurden jeweils 54, 28 und 31 Arbeiten respektive betrachtet. Am Beispiel des Themas Steg wurden Notizen von 143.778 Zeichen auf gekürzte Notizen von 31.498 Zeichen auf eine stichpunktartige Orientierung für den Fließtext von 15.683 Zeichen und einen Fließtext von 32.080 Zeichen komprimiert. Es wurden 10 Arbeiten von Studenten der WHZ in Betracht gezogen.

3. Literatur zum Steg der Violine

3.1 Chronologischer Überblick in Ausschnitten

Fachwörter zur Beschreibung des Stegs

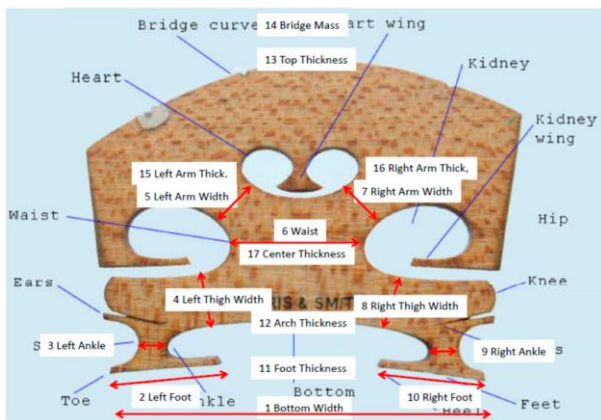


Abbildung 2: Legende der Fachsprache zum Steg aus CARLSON 2019

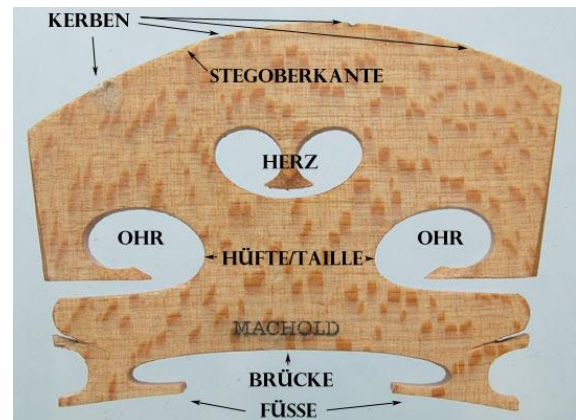


Abbildung 3: Legende der in dieser Arbeit verwendeten Begrifflichkeiten

Die linke Abbildung ist einer Arbeit von CARLSON aus dem Jahr 2019 entnommen, und zeigt, wie komplex die Nomenklatur um den Steg vor Allem auch im englischsprachigen Raum werden kann. Die in dieser Arbeit verwendete Sprache kommt mit den in der rechten Abbildung eingetragenen Worten aus, wobei diese nicht mit allen anderen Veröffentlichungen übereinstimmend und in vielen Fällen keine direkte Übersetzung der im englischen gebräuchlichen Fachworte sind.

Die ersten in dieser Veröffentlichung betrachteten Arbeiten zum Steg wurden von HAAS und EBBLEWHITE in den Jahren 1909 und 1910 respektive durchgeführt. Das Verständnis vom Verhalten des Steges und der Klangerzeugung bei Streichinstrumenten im Allgemeinen war bis zu diesem Punkt noch relativ rudimentär und Vertreter wie HELMHOLTZ gingen häufig davon aus, dass sich der diskantseitige Stegfuß auf Grund der Stimme nicht bewegen könne.

Dies konnte zunächst von HAAS widerlegt werden, der die Gewichte an verschiedenen Punkten des Steges anbrachte und deren Einflüsse auf den Klang beobachtete. Sollte sich der Stimmstock nur um den diskantseitigen Stegfuß „drehen“ können, müssten Masseanbringungen größere Einflüsse besitzen, desto weiter sie von diesem entfernt vorgenommen werden. Es wurde allerdings beobachtet, dass der Einfluss der Masse größer war, desto weiter oben am Steg die Modifikation vorgenommen wurde. Daraus wurde geschlossen, dass Bewegungen des Stegs orthogonal zu dessen Ebene bedeutender seien als diese innerhalb. Es wird allerdings auch sofort auf eine Problematik mit dieser Annahme hingewiesen: Auf Grund der Anregung von Schwingungen in dieser Richtung durch Verkürzung der Saite im Strich mit dem Bogen würde ein angeregter Ton immer eine Oktave höher erklingen. Hierzu wurden Untersuchungen angestellt, die kein solches Verhalten feststellen konnten. (Haas & Giltay, 1909)

EBBLEWHITE beobachtete die Bewegungen von Steg und Saite im Jahre 1910 anhand von Fotografien und baute auf den Ergebnissen von HAAS auf. Es wurden tatsächlich einzelne Bewegungen des Steges in der von HAAS als wichtig gesehenen Richtung bei bestimmten Frequenzen beobachtet. (Ebblewhite & Barton, 1910)

Einen großen Schritt nach vorn machte MINNAERT 1937, indem er kleine Spiegel an dem Steg einer Violine anbrachte und das von diesen reflektierte Licht durch ein Teleskop als Punkt an der Wand sichtbar machte. So konnten kleinste Bewegungen von beliebigen Punkten des Steges, an denen Spiegel angebracht wurden, beobachtet und dokumentiert und zum ersten Mal in Moden des Steges innerhalb und außerhalb seiner Ebene unterschieden werden. Es konnten elastische Verformungen des Steges nachgewiesen werden, mit denen es möglich war, die Ergebnisse von HAAS und EBBLEWHITE mit einer alternativen Erklärung zu belegen, die nicht die Probleme der von diesen aufgestellten Theorie besitzt. MINNAERT identifizierte als Hauptaufgabe der Stegausschnitte die Ermöglichung und Einstellung der elastischen Moden des Stegs. Das Bild des Stegs und seiner Aufgabe in der Klangerzeugung der Streichinstrumente wurde durch die Ergebnisse dieser Arbeit deutlich klarer, das Feld als solches aber auch eindeutig komplexer. (Minnaert & Vlam, 1937)

In den folgenden Jahren wurde die Rolle des Steges von SCHELLENG diskutiert, der über den Bassbalken die Verbindung von Ober- und Unterbug mit dem bassseitigen Stegfuß als wichtig erachtete (Schelleng, 1971), sowie von JANSSON, der eine Anregung der A1 Luftmode über den Steg für ein Versuchsinstrument beobachten konnte. (Jansson E. , 1973)

REINICKE bildete 1973 zum ersten Mal die genauen Formen und Frequenzlagen der wichtigsten Stegmoden im starr aufgesetzten Fall ab und konnte außerdem eine Diskussion des Stegverhaltens auf dem Korpus mit aufgezogenen Saiten liefern. Demzufolge verhält sich der Steg bei niedrigeren Frequenzen wie ein zweiarmliger Hebel und die Kraftübertragungsverhältnisse sind konstant. Die Übertragung des Steges steigt mit steigender Frequenz bis zu einem Maximum bei der ersten „in plane“ Mode des Stegs an, von wo aus sie tendenziell abzunehmen beginnt, wobei sich bei 6.000 Hz eine weitere Resonanz ausbildet. Die Frequenzlage dieses Maximums wird mit dem Begriff *crit* beschrieben. Diese Untersuchungen werden hier auch zum ersten Mal auf den Cellosteg ausgeweitet. (Reinicke, 1973)

MÜLLER führte 1979 seine eigenen Untersuchungen an einer Violine durch, die maßgeblich die Feststellungen von REINICKE bestätigten (Müller, 1979) und HUTCHINS beschrieb 1984 zum ersten Mal ihre in der Werkstatt verwendete Vorgehensweise zur Abstimmung von Stegen, bei der sie pro Instrument jeweils zwei Stege aufschneidet, von der einer als akustische Referenz zur Einschätzung von bewirkten Veränderungen dient. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die Einstellung der Stegmasse und der ersten „in plane“ Mode auf ca. 3.000 Hz gelegt. Dies hat Hutchins Messungen zufolge hauptsächlich einen Einfluss auf das Klangverhalten im Bereich 3.000 Hz. (Hutchins, 1984)

1985 führte MARSHALL eine umfassende Modalanalyse der gesamten Violine durch und betrachtete dabei auch das Verhalten des Stegs. Er konnte an dem verwendeten Testinstrument analog zu JANSSON zwölf Jahre zuvor eine Anregung der A1 Luftmode durch den Steg feststellen. Dies wird hier auf die Position der Knotenlinie der A1 relativ zur Stegposition zurückgeführt. Liegen diese genau aufeinander, kann keine Anregung der A1 durch den Steg stattfinden. Bei den von JANSSON und MARSHALL verwendeten Testinstrumenten war dies zufällig nicht der Fall, was aber nicht auf alle denkbaren Instrumente verallgemeinert werden kann. Unterhalb von 650 Hz bewegte sich der Steg immer in einer Schaukelbewegung, deren Mittelpunkt leicht links vom diskantseitigen Stegfuß lag. Oberhalb von 650 Hz bewegte sich der Steg oft auch in vertikaler Richtung und könnte in diesem Bereich auf Grund der beobachteten Phasenverhältnisse zu einer

Entkopplung des Stimmstocks beitragen, durch die höhere Amplituden möglich wären. (Marshall, 1984)

TROTT wies 1986 darauf hin, dass die Übertragung durch den Steg von Anregungsposition- sowie richtung abhängig ist und stellte an dem von ihm vermessenen Steg eine Biegemode bei 1500 Hz fest, die die Übertragung in diesem Bereich hemmte. (Trott, 1986)

In experimentellen Versuchen stimmte JANSSON 1990 die erste „in plane“ Mode des Steges auf unterschiedliche Frequenzen ab und stellte für mehrere Instrumente ein klangliches Optimum bei 2900 Hz fest. Dabei beschreibt er eine in der Werkstatt anwendbare Methode zur Findung der Stegresonanz, wozu nur die E-Saite in der A-Kerbe des Stegs aufgezogen und ein Wolfston gefunden wird. Die Resonanzfrequenz des Steges sollte dabei ein ganzzahliges Vielfaches der gefundenen Wolfstonfrequenz betragen. JANSSON macht in dieser Arbeit sehr praxisnahe Angaben zu Einflüssen verschiedener Stegmodifikationen auf dessen Resonanzfrequenzen. Verringerung der Masse des oberen Stegteils z.B. durch Herstellen der Stegrundung steigerte dabei im Allgemeinen die Resonanzfrequenz, wobei sie mit steigender Flexibilität der Taille sank. Der Steg wurde mit Wachs auf einem Instrument fixiert und beobachtet, dass die Resonanzfrequenz in diesem Fall von 2600 auf 2300 bis 2400 Hz abfiel. Als anschließend die Saiten aufgezogen wurden, wurde der ausgebildete Peak des Bridge Hill durch diese in die Breite gezogen. Höhere Stegresonanzfrequenzen führten tendenziell zu einem stärkeren bis schärferen Klang. (Jansson, Fryden, & Mattson, 1990)

Später im selben Jahr fand JANSSON bei Versuchen mit dem Steg und der Saite, dass die Stegadmittanz um einen Faktor von 100 geringer als die der Saite ist. Messungen an Rohlingen zeigten einen Q Faktor der Stegresonanz von 50, wodurch die Admittanz der Saite bei der Resonanzfrequenz des Steges nicht mehr deutlich höher als die des Steges läge. Die Gefahr eines Wolfstons bei der Stegresonanz wäre damit begründet. (Jansson E. , 1990)

KISHI fand 1991 bei Simulationen des Cellostegs über die Finite Elemente Methode, dass die Anisotropie des Stegmaterials keinen besonderen Einfluss auf seine Modenstruktur besaß. Des Weiteren war den Simulationen zufolge die Resonanzfrequenz maßgeblich von der Stegform beeinflusst, wobei diese Abhängigkeit für den eingespannten Fall geringer als für den freien war. Diese Ergebnisse scheinen in ihrer grundsätzlichen allgemeinen Form ohne allzu große Bedenken auf den Steg der Violine übertragbar, sollten allerdings immer im Kontext ihrer Herkunft verwendet werden. (Kishi & Osanai, 1991)

FANG schrieb 1992, dass sich der Steg bei der B1 Resonanz des Korpus in einer Schaukelbewegung mit Zentrum im Bereich des diskantseitigen Stegfußes bewegt. (Fang & Rodgers, 1992)

1995 verglich BISSINGER Stege, die zwei unterschiedlichen chemischen Behandlungen unterzogen worden waren, mit unbehandelten. (Bissinger, 1995b) Die in der Arbeit aufgezeichneten Ergebnisse der Vermessung wurden für diese Veröffentlichung noch einmal tabellarisch erfasst und in einer Tabelle dargestellt, wobei eine leicht veränderte Schlussfolgerung zu BISSINGERS Aussagen getroffen wird.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2	Mode		UN		FA	ad	%d	RE	ad	%d	
3	In plane										
4	A	Frequenz	6300		6261	-39	-0,61905	6416	116	1,84127	
5		Dämpfung	0,87		0,86	-0,01	-1,14943	0,858	-0,012	-1,37931	
6											
7	C	Frequenz	10659		10519	-140	-1,31344	10808	149	1,39788	
8		Dämpfung	0,798		0,838	0,04	5,012531	0,869	0,071	8,897243	
9	Out of plane										
10	A	Frequenz	2648		2636	-12	-0,45317	2640	-8	-0,30211	
11		Dämpfung	0,599		0,537	-0,062	-10,3506	0,556	-0,043	-7,17863	
12											
13	B	Frequenz	2967		3008	41	1,381867	3023	56	1,887428	
14		Dämpfung	0,472		0,349	-0,123	-26,0593	0,48	0,008	1,694915	
15											
16	D	Frequenz	4730		4722	-8	-0,16913	4714	-16	-0,33827	
17		Dämpfung	0,583		0,456	-0,127	-21,7839	0,514	-0,069	-11,8353	
18											
19	F	Frequenz	5674		5670	-4	-0,0705	5655	-19	-0,33486	
20		Dämpfung	0,688		0,676	-0,012	-1,74419	0,755	0,067	9,738372	
21											
22	I	Frequenz	7724		7790	66	0,85448	7736	12	0,15536	
23		Dämpfung	0,828		0,798	-0,03	-3,62319	0,849	0,021	2,536232	
24											
25	J/K	Frequenz	9116		9115	-1	-0,01097	9106	-10	-0,1097	
26		Dämpfung	0,848		0,854	0,006	0,707547	0,977	0,129	15,21226	
27											

Abbildung 4: Darstellung der Messergebnisse BISSINGERS

Durchschnittlich zeigt sich eine leichte Verringerung der Dämpfung und Stagnation der Resonanzfrequenzen mit der Formalisierungsbehandlung, wobei die Resorcin/Formaldehyd Behandlung eine erhöhte Dämpfung mit nur sehr leicht gesteigerten Resonanzfrequenzen verursachte. Aus Sicht des Autors wäre daher eher die erstgenannte Methode von akustischem Interesse.

SALDNER konnte 1996 eine zuvor von SCHELLENG vorgeschlagene Kopplung einzelner Moden durch den Stimmstock feststellen. Dabei handelt es sich um zwei Moden, von denen eine gut durch den Steg angeregt wird, vom Korpus aber nicht gut abgestrahlt werden kann. Die andere wird als guter Abstrahler charakterisiert, der durch den Steg aber kaum angeregt werden kann. Diese Beobachtung zeigte eine Verknüpfung von Steg und Stimme in der Modenstruktur der Violine auf. (Saldner, Molin, & Jansson, 1996)

1999 wurde durch eine Arbeit von JANSSON ausgelöst eine Diskussion um den Bridge Hill begonnen, die sich um die gesonderten Einflüsse von Decke – mit Stimmstock und Bassbalken – und Steg auf die Ausbildung eines Bridge Hill Features konzentrierte. (Jansson & Niewczyk, 1999) Da diese Thematik eine gewisse Tiefe besitzt und zahlreiche Verknüpfungen mit anderen Bauteilen des Instruments aufweist, wird zur Darstellung der relevanten Literatur zu diesem Thema ein gesonderter Abschnitt unter 3.3 verwendet.

Auf Grund dieser Thematik finden sich zwei maßgebliche getrennte Einflüsse des Stegs auf die Qualitätsfaktoren eines Instruments. Seine Übertragungskurve bestimmt die Filterfunktion, von der die Ausbildung vieler Hauptresonanzen des Instruments abhängt. Seine Eigenschaften scheinen einen Einfluss auf einen möglicherweise wichtigen Qualitätsparameter vieler altitalienischer

Instrumente, den Bridge Hill zu besitzen.

BISSINGER fand 2008 eine maßgebliche Abhängigkeit der bereits von REINICKE beobachteten *f*_{crit} Frequenz von den Eigenschaften des Korpus (Bissinger, 2008) und RECHENBERG erprobte 2011 einen extrem flexiblen Steg und stellte fest, dass kein Spiel in einer Lautstärke über mezzoforte möglich war, ohne einen starken Wolf auszubilden. Er stellte Stege aus extrem unterschiedlichen Verbundmaterialien her und fand, dass die Klangqualität des verwendeten Testinstruments deutlich stärker von der ersten Resonanzfrequenz als dem Material des Steges abhing. (Rechenberg, 2011)

2012 stellte BISSINGER in Versuchen fest, dass die A0 Mode maßgeblich durch die A1 angeregt wurde, was eine mögliche Anregung der A1 durch den Steg akustisch hochrelevant machen würde. (Bissinger, 2012)

In einer Arbeit von ZHANG aus dem Jahre 2016 wurde die Bewegung des Cellostegs hauptsächlich auf die Position des Zentrums seiner Rotation hin untersucht. Dabei wurde, wie von REINICKE für den Violinsteg festgestellt, beobachtet, dass in tiefen Frequenzbereichen (hier 65-205 Hz) hauptsächlich eine Rotation um den Diskantfuß stattfindet. Im Bereich 205-466 Hz wanderte dieser Punkt Richtung Bassbalken, sammelte sich im Bereich 466-1.200 Hz in der Mitte und ging schließlich wieder etwas zurück Richtung Stimmstock bis 2.000 Hz. Im Bereich 1.000-1.500 Hz bewegte er sich in vertikaler Richtung zunächst nach unten und dann schnell nach oben, wonach er in der Nähe der Brücke verblieb. Die relative Position der Kerben zu diesem Zentrum der Rotation führt damit frequenzabhängig zu unterschiedlichen Admittanzen für jede Saite, was eine Erklärung dafür sein kann, warum dieselbe Frequenz über verschiedene Saiten angeregt einen veränderten Klang erzeugt. (Zhang, Wodhouse, & Stoppani, 2016) Die Ergebnisse dieser Arbeit gelten so natürlich nur für den Cellosteg, es ist aber davon auszugehen, dass der Violinsteg ein qualitativ ähnliches Verhalten zeigen könnte, wobei dieses durch die kürzeren Beine voraussichtlich weniger stark ausgeprägt wäre.

CARLSON lieferte 2019 einen statistischen Überblick über ausgewählte Eigenschaften zahlreicher Stege aus der Sammlung „violinbridges.co.uk“, in dem für zahlreiche Maße Durchschnittswerte angegeben werden und Rückschlüsse auf Arbeitsweisen und -philosophien gezogen werden. So wurde z.B. nur eine sehr geringe Variation der Taillenweite gefunden und geschlossen, dass dieser Bereich von Geigenbauern nur relativ vorsichtig bearbeitet wird. Außerdem wird überzeugend dargelegt, dass die Einstellung der Stegmasse in der Regel relativ uniform über alle verfügbaren Bearbeitungsmethoden erreicht wird und leichte Stege maßgeblich durch Ausschneiden und weniger durch Ausdünnen hergestellt werden. (Carlson & Kilbride, 2019)

ZINKHAHN zeigte 2020 die charakteristischen Unterschiede zwischen französischen und belgischen Cellostegmodellen auf. Die Beobachtungen lassen die Vermutung zu, dass sich Stege bei statistischer Betrachtung in Gruppen nach ihrer Form einteilen lassen. (Zinkhahn, 2020)

3.2 Übertragungskurve und Modenstruktur des Stegs

Zuerst wurden die Auswirkungen verschiedener Modenformen bei MINNAERT beobachtet, der über das Anbringen von Spiegeln die Bewegung eines einzelnen Punktes auf dem Steg darstellen konnte. Auf diese Weise wurden auch Phasenbeziehungen und Auswirkungen verschiedener Stricharten beobachtet. (Minnaert & Vlam, 1937)

Die Struktur der Bewegung des Stegs als Ganzes konnte zuerst REINICKE 1973 sichtbar machen, indem er das Verfahren der Hologramm-Interferometrie anwandte. (Reinicke, 1973) Dabei

entstanden Streifen in den Bereichen des Stegs, die sich besonders stark bewegten. CREMER diskutierte diese Anwendung 1981 im Detail. (Cremer, 1990) REINICKE zeigte auf diese Art und Weise maßgeblich zwei Bewegungsformen des Violinstegs. Bei der tiefer liegenden - später häufig als erste „in plane“ Mode des Stegs beschrieben - schwingt das Oberteil des Steges von Seite zu Seite in einer Rotation um den mittleren Bereich zwischen den Ohren. Dieser wird dabei elastisch verformt, weswegen seine Steifigkeitseigenschaften die Frequenzlage dieser Mode maßgeblich beeinflussen. Bei der höher gelegenen Mode bewegt sich der Steg in seiner Ebene auf und ab, wobei seine Beine elastisch verformt werden. Deswegen sind ihre Steifigkeitseigenschaften entscheidend für die Frequenzlage dieser Mode. CREMER wies 1981 darauf hin, dass diese beiden Moden interessanterweise bei Cello- sowie Violinsteg im gleichen Frequenzverhältnis stehen, trotz der deutlich unterschiedlichen Geometrien dieser Stege. (Cremer, 1990)

RODGERS 1990 stellt zusätzlich zu diesen beiden Moden noch eine „in plane“ Mode bei 8310 Hz und drei „out of plane“ Moden bei 3579, 4723 und 7462 Hz dar. (Siehe Abbildung 5 und Abbildung 6) Die dritte „in plane“ Mode weist dabei starke Bewegungen der Saitenpositionen auf, was darauf schließen lässt, dass diese Mode gut durch die Saiten angeregt werden kann. Sie wird allerdings auch in weiterer Literatur nicht groß beachtet, was möglicherweise an ihrer hohen Frequenzlage liegen könnte, die sie in den äußeren Bereich des relevanten Frequenzspektrums legt. RODGERS findet bei 15.000 und 18.000 Hz respektive die Moden der Ärmchen und des Herzzipfels, die aber wahrscheinlich nicht von großer Bedeutung sind. Die gefundenen "out of plane" Moden werden durch die Verformung des oberen Stegteils in sich charakterisiert. In der ersten Mode bewegt sich das Zentrum des Stegs aus der Ebene, in der zweiten rotiert der mittlere Bereich relativ zu den äußeren Enden und in der dritten bildet das Zentrum eine Schüssel, wobei sich die Außenteile in die eine und die Innenteile in die andere Richtung bewegen. (Rodgers & Masino, 1990)

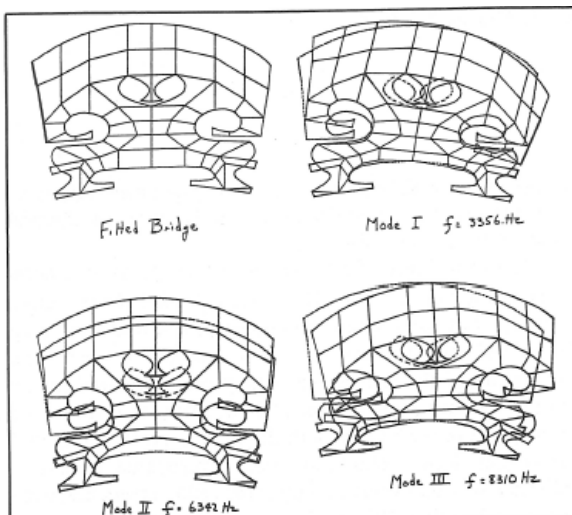


Figure 1. Violin bridge in-plane vibrating modes patterns before tuning.

Abbildung 5: Von RODGERS gezeigte „in plane“ Moden des Steges

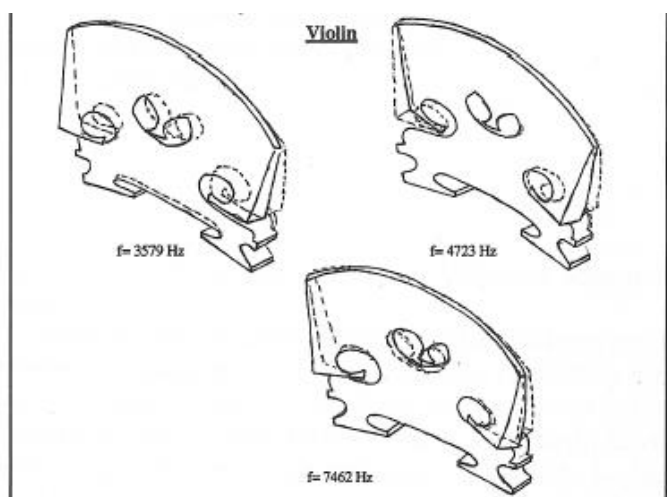


Figure 8. Out-of-plane vibrating mode patterns for all bridges.

Abbildung 6: Von RODGERS gezeigte „out of plane“ Moden des Steges

BISSINGER 1995a stellt drei „in plane“ und 7 „out of plane“ Moden des Violinstegs dar. (Siehe Abbildung 7 und Abbildung 8) Dabei sind die meisten dieser Moden nicht von größerem allgemeinem Interesse für die Akustik der Streichinstrumente, sondern wurden in dieser Arbeit dazu verwendet, die Einflüsse von chemischen Behandlungen auf die Eigenschaften des Stegs über die Verschiebung möglichst vieler seiner Moden zu charakterisieren. (Bissinger, 1995b)

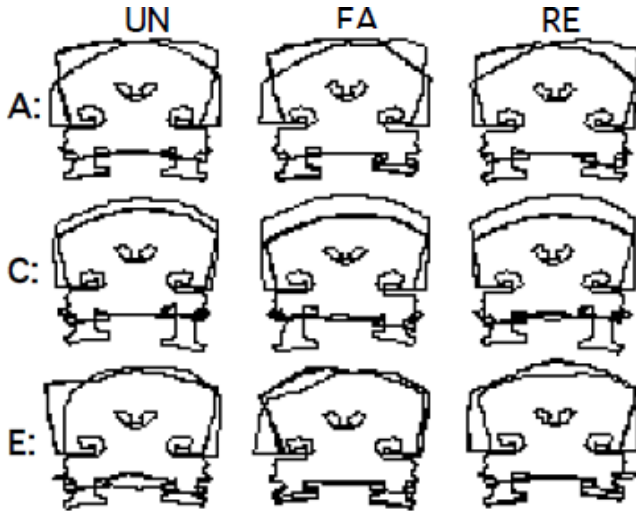


Figure 5 - In-plane mode shapes for UN, FA and RE bridges.

Abbildung 7: „In plane“ Moden des Stegs nach BISSINGER 1995

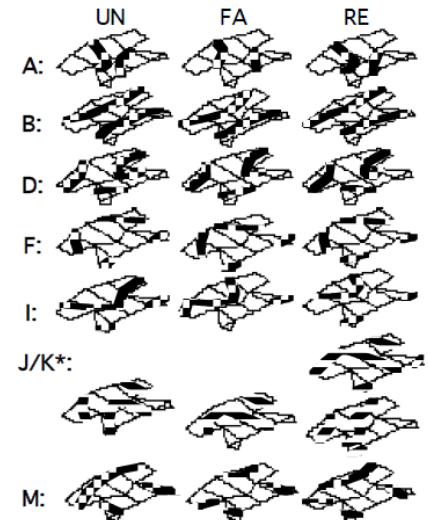


Figure 6 - Out-of-plane mode shapes for UN, FA and RE bridges. (* on J/K denotes complex mode - see text.)

Abbildung 8: „Out of plane“ Moden des Stegs nach BISSINGER 1995

2006 teilte BISSINGER die Moden des Stegs in komplexe - und steife Körper - Moden ein und stellte jeweils vier dar. (Siehe Abbildung 9) Dabei wurden direkte Beziehungen zu Moden des Instruments als Ganzes hergestellt z.B. zur A0 und B1+ Mode. (Bissinger, 2006)

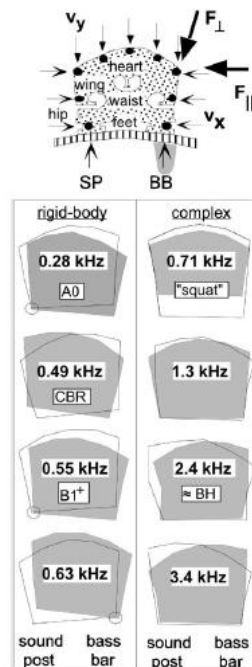


FIG. 2. (Top) bridge shape, force-response positions and directions (sound-post SP and bassbar BB from corpus); (bottom) motion extremes up to 4 kHz (A0, CBR, B1+, "squat," $f \approx f_{BH}$ labeled; ○ — rigid body SP or BB pivot.

Abbildung 9: Stegmoden nach BISSINGER 2006

Eine modernere und grafisch aufwändigere Darstellung der ersten zwei „in plane“ Stegmoden findet sich bei GOUGH 2017, wobei diese im Kontext zweier Moden des mittleren Deckenbereichs gebracht und mit der Ausbildung des Bridge Hills korreliert werden. (Siehe Abbildung 10) (Gough C. , 2017)

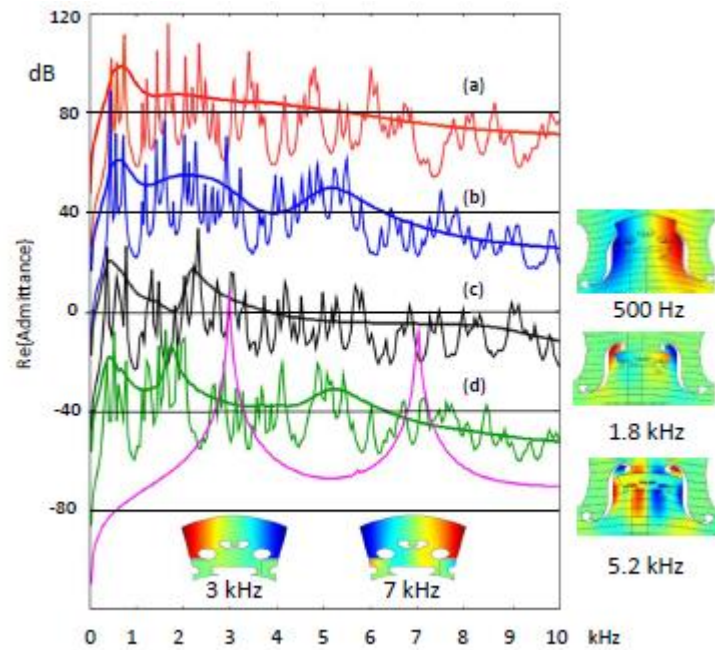


Abbildung 10: Steg- und Deckenmoden nach GOUGH 2017

Ebenfalls eine moderne Darstellung der ersten, dritten und neunten Stegmoden findet sich in ACHTERHOLD 2019, wo ein aus einem CT-Scan gewonnenes 3D Modell des Steges zur akkuraten Simulation der Stegmoden verwendet wurde. Hierbei handelt es sich um die Ergebnisse dreier Simulationen, die jeweils auf Grundlage unterschiedlicher Modelle durchgeführt wurden. (Siehe Abbildung 11) (Achterhold, Marschke, Pfeiffer, Ring, & Wunderlich, 2019)

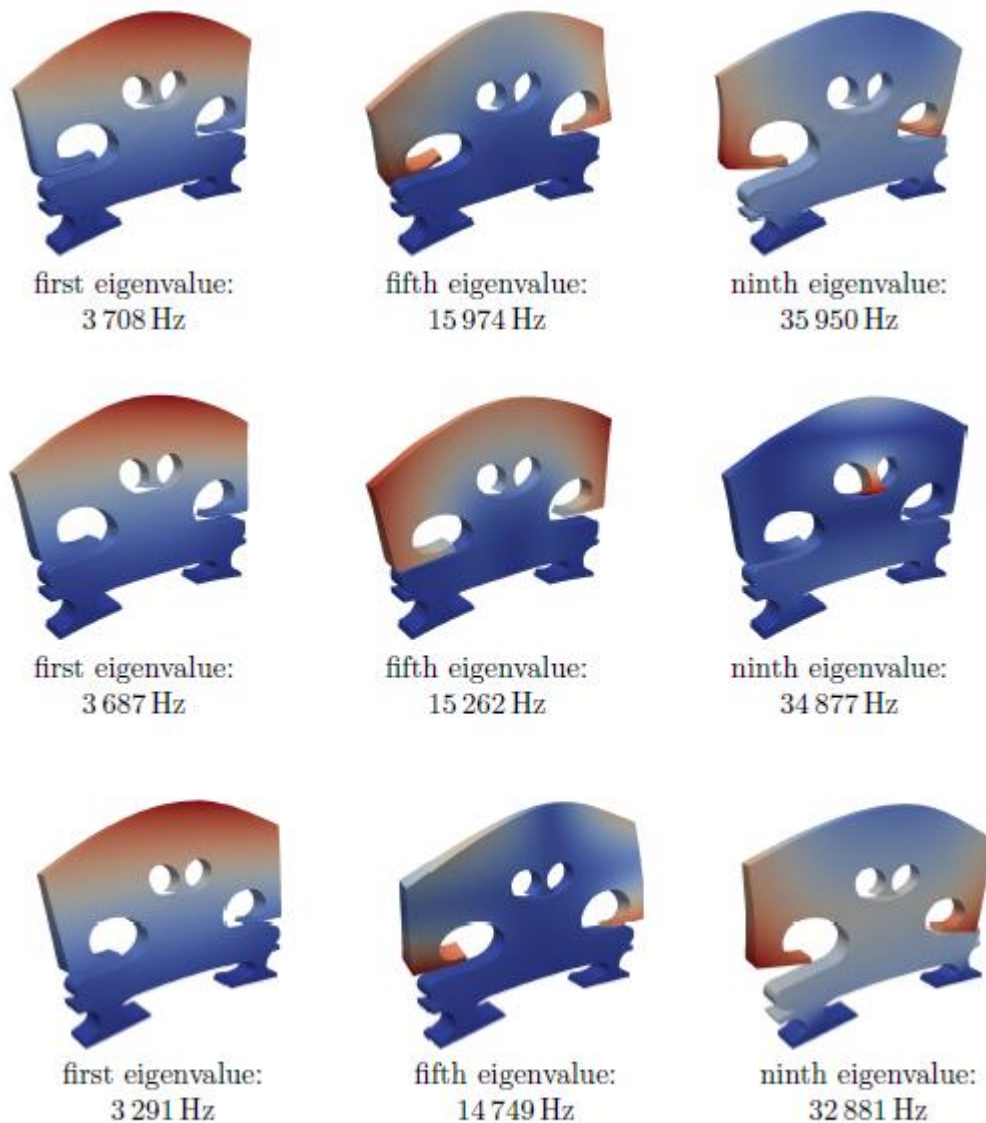


Figure 13: Visualisation of the three eigenmodes with the associated eigenvalue. Top row: three-dimensional spline fit; Middle row: fitted outline with a linear thickness; Bottom row: reference geometry. All geometries share the same size.

Abbildung 11: Stegmoden nach ACHTERHOLD

JANSSON stellte 1986 die Übertragungskurve des Stegs auf einem Aluminiumblock, dessen Eigenresonanzen außerhalb des betrachteten Bereichs lagen dar. (Siehe Abbildung 12) (Jansson, Bork, & Meyer, 1986) 1990 zeigte er ähnliche Abbildungen für den Steg auf einer steifen und einer echten Violine mit verschiedenen Saitenkonfigurationen. (Siehe Abbildung 13, Abbildung 14 und Abbildung 15) (Jansson E. , 1990)

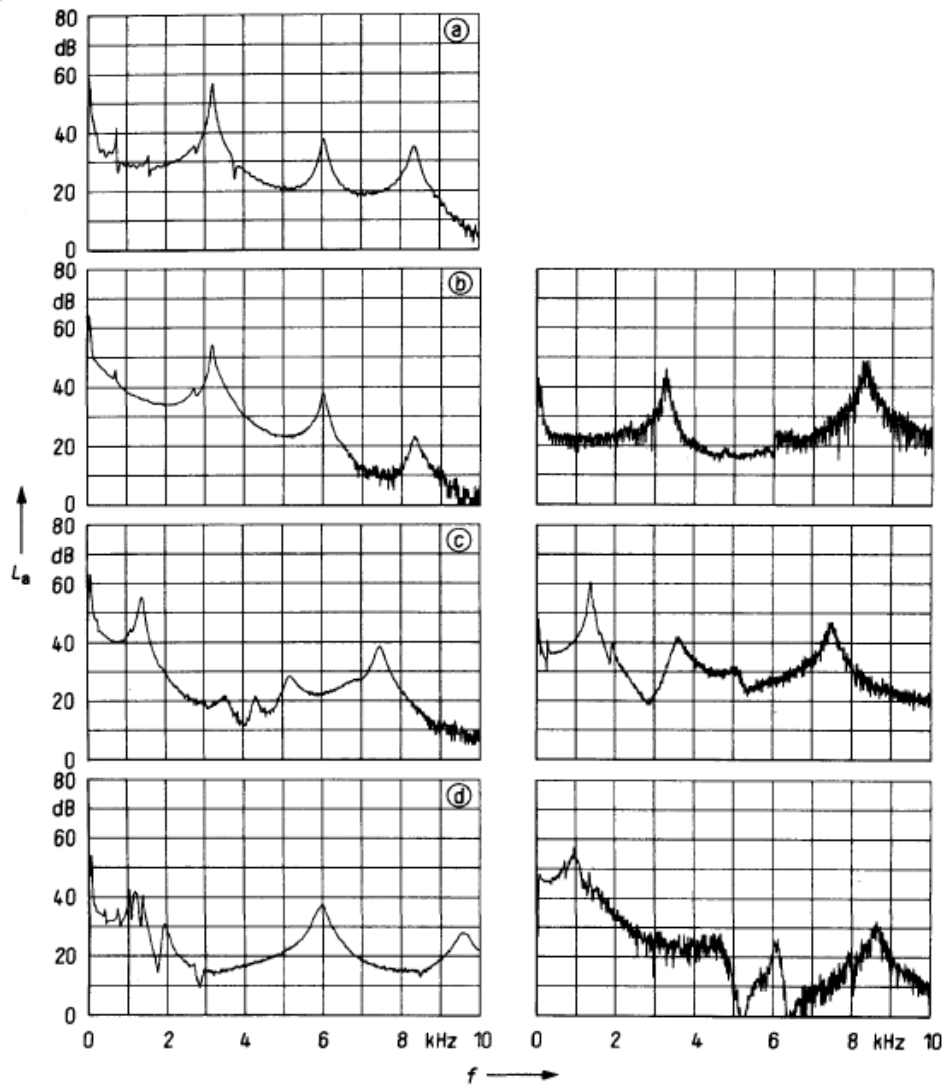


Fig. 8. Loads and driving effects on the isolated violin bridge by different systems, frequency response of the violin bridge glued onto an aluminium block; left row: excitation by plucking, right row: noise excitation via the system tested; a) unloaded, b) Dünwald system, c) KTH system, d) PTB system.

Abbildung 12: Übertragungskurve des Stegs nach JANSSON 1986

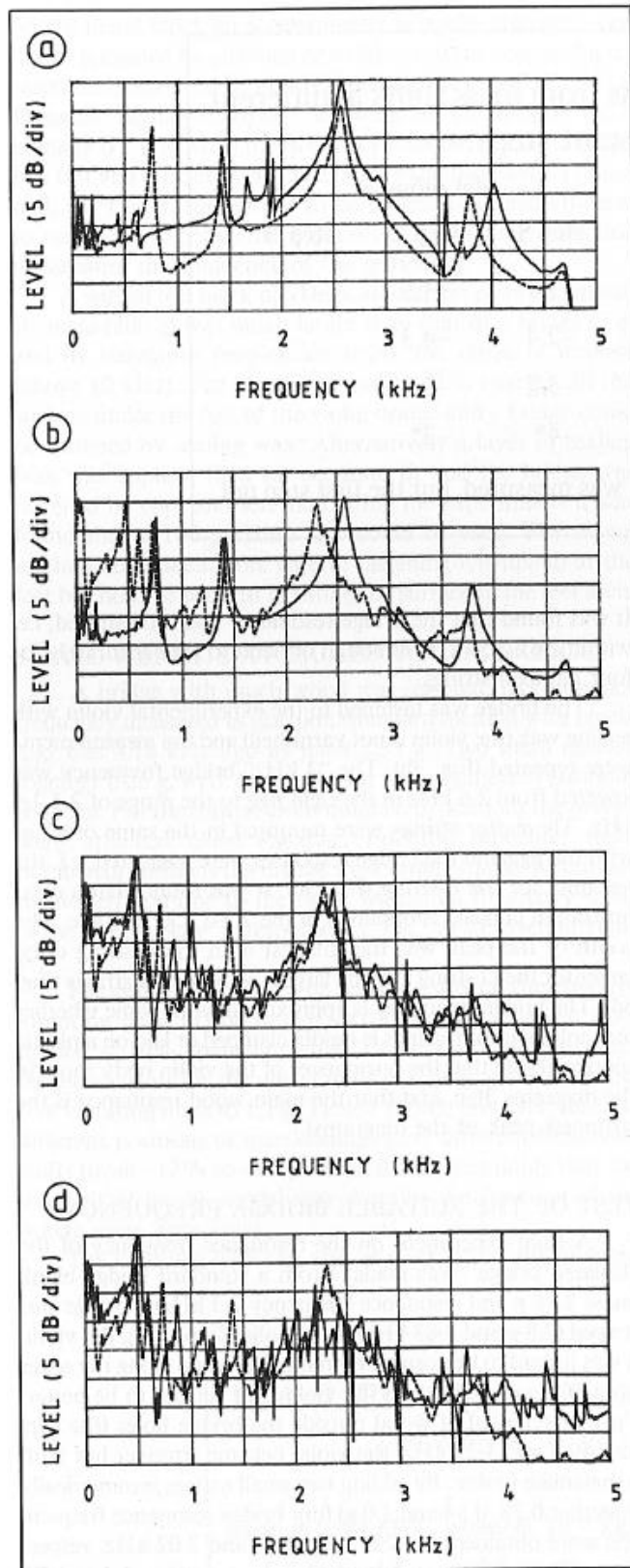


Figure 3. Frequency responses of bridge a) in jig without (dashed line) and with E-string (solid line), b) without strings and glued on violin (dashed line) and in jig (solid line), c) glued on violin without (dashed line) and with E-string, and d) glued

Abbildung 13: Übertragungskurve des Stegs im eingespannten und aufgeklebten Zustand nach JANSSON 1990

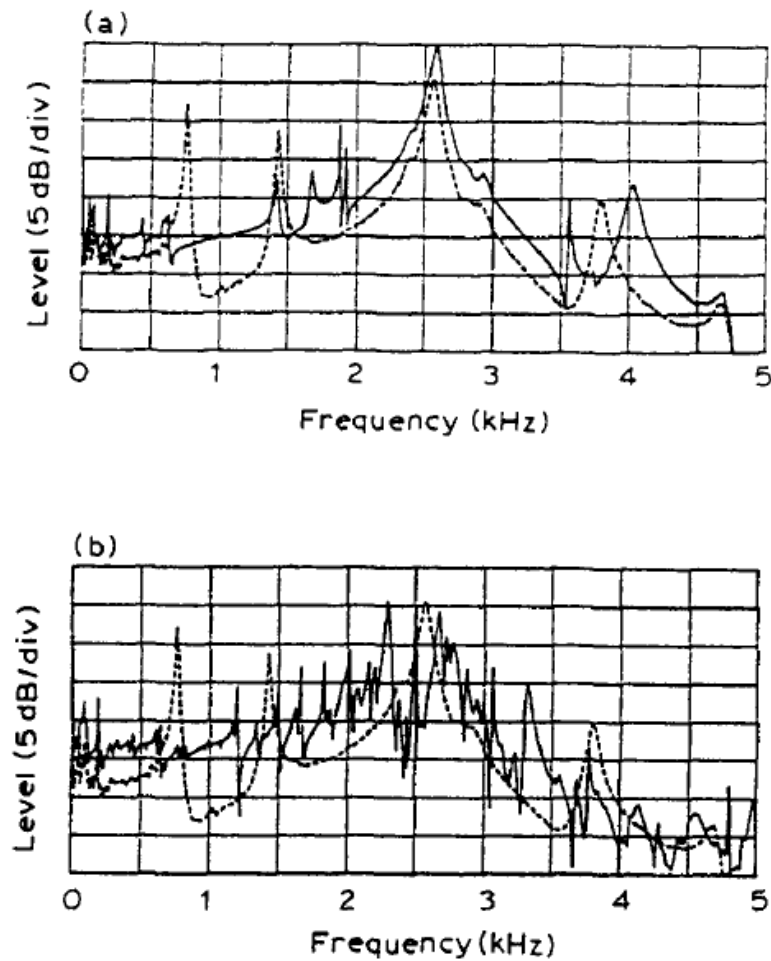


Fig. 5. Frequency responses of a bridge on a 'rigid violin', (a) without (----) and with E-string (—); and (b) without (----) and with four strings (—).

Abbildung 14: Übertragungskurve des Stegs mit verschiedenen Saitenkonfigurationen nach JANSSEN 1990

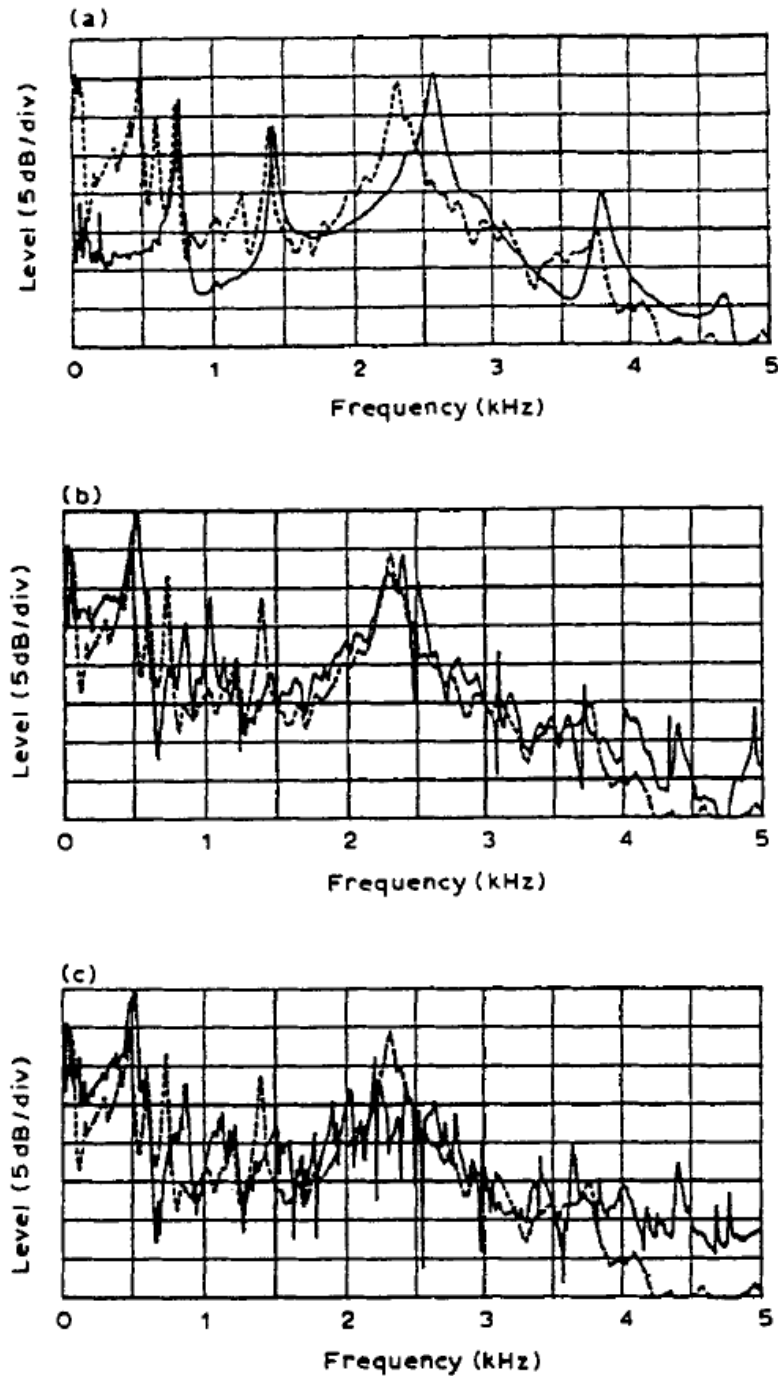


Fig. 6. Frequency responses of a bridge (a) without strings on a real violin (----) and on a 'rigid violin' (—); (b) on a real violin without (----) and with E-string (—); and (c) on a real violin without (----) and with (—) four strings.

Abbildung 15: Übertragungskurve des Stegs mit verschiedenen Saitenkonfigurationen und auf realer Violine nach JANSSON 1990

3.3 Der Steg auf der Decke - der „Bridge Hill“

Der Begriff Bridge Hill wurde zuerst von JANSSON verwendet, der die Erhebung der Abstrahlung einiger Violinen im Bereich 2.000 - 3.000 Hz mit der ersten Stegmode bei ca. 3.000 Hz in Verbindung brachte. 1999 zeigte er allerdings, dass sich ein Bridge Hill maßgeblich auf Grund der Eigenschaften des mittleren Deckenbereichs ausbildet. Er zeigte subsequent, dass die erste Resonanzfrequenz des Steges an den von ihm untersuchten Instrumenten nur dann einen Einfluss auf die Bridge Hill Frequenz besaß, wenn sie unterhalb derselben lag. Veränderungen der Masse- und Steifigkeitseigenschaften der Decke wiesen einen deutlichen Einfluss auf die Eigenschaften des ausgebildeten Bridge Hills auf, wobei nicht eindeutig geklärt werden konnte, ob dieser den Einfluss des Steges überwog. (Jansson & Niewczyk, 1999)

BELDIE zeigte 2003 ebenfalls, dass die Eigenschaften des ausgebildeten Bridge Hills hauptsächlich von den Masse- und Steifigkeitseigenschaften des mittleren Deckenbereichs bestimmt wurden. Damit ist in diesem Kontext stets der Bereich zwischen den F-Löchern auf ihre Länge begrenzt gemeint. BELDIE stellte fest, dass die Eigenschaften der Decke eine maximale Frequenz für den Bridge Hill festlegten, die auch durch weitere Erhöhung der Stegresonanzfrequenz nicht überschritten werden konnte. Dabei stieg die Bridge Hill Frequenz mit der Stegresonanzfrequenz bis zu diesem Maximum, von wo aus sie mit steigender Stegresonanzfrequenz wieder abfiel. BELDIE schloss daraus auch auf einen Einfluss der Stimme und des Bassbalkens auf den Bridge Hill mittels der veränderten Deckeneigenschaften im Mittelbereich. (Beldie, 2003)

JANSSON zeigte 2004, dass der Bridge Hill ein Resultat von zwei entgegengesetzt wirkenden Kräften an den Stegfüßen ist, weswegen der Abstand der Stegfüße voneinander einen deutlichen Einfluss auf den Bridge Hill ausübt. JANSSON legt glaubhaft dar, dass Frequenzlage sowie Amplitude des Bridge Hill direkt über die gewählte Stegfußweite eingestellt werden können, wobei natürlich Limitationen des Instrumentes eine Rolle spielen und breitere Stege tendenziell eine größere Masse und damit verbunden eine tiefere Resonanzfrequenz und erhöhte Dämpfung besitzen. JANSSON macht für die Frequenz- sowie Amplitudenverschiebung pro 4 mm Stegfußabstandserhöhung quantitative Angaben: Die Frequenz steigt um ca. 10 %, wohingegen die Amplitude um 2 dB fällt. Es wird außerdem darauf hingewiesen, dass nach experimentellen Veränderungen an einem Versuchsinstrument kein Bridge Hill mehr auftrat und das Instrument weniger gut klang. Dies weist darauf hin, dass Instrumente auf eine gewisse Art und Weise gebaut sein müssen, um das Auftreten eines Bridge Hill Features überhaupt erst zu ermöglichen. (Jansson E., 2004)

2005 argumentierte WOODHOUSE, dass der Bridge Hill trotz eindeutigen Einflüssen der Decke maßgeblich von den Eigenschaften des Stegs bestimmt wird. Er zeigte in einem Modell, dass durch Einstellung von Masse und Steifigkeit des Steges die Bridge Hill Frequenz auf einen beliebigen Wert eingestellt werden kann und keine vom Korpus vorgegebene Maximalfrequenz wie von BELDIE vorgeschlagen existiert. Dünnere Plattenstärken verschoben dabei die Bridge Hill Frequenz nach unten und erhöhten seine Bandbreite, wobei die Decke einen größeren Einfluss als der Boden aufwies. Selbst große Verschiebungen des Stimmstocks um bis zu 30 mm zeigten keine Veränderung des Bridge Hills auf. Diese theoretisch ermittelten Beobachtungen werden von experimentellen Ergebnissen DÜNNWALDs unterstützt, der in einigen Versuchen den Bridge Hill durch Einstellung der Stegresonanzfrequenz scheinbar beliebig zu verschieben vermochte. Die gegenläufigen Beobachtungen von JANSSON führt WOODHOUSE auf einen Einzelfall an dem verwendeten Testinstrument zurück, wobei er keine Aussage über die Ergebnisse von BELDIE trifft. WOODHOUSE weist allerdings auch darauf hin, dass von DURUP und JANSSON bereits nachgewiesen wurde, dass ohne die F-Löcher kein Bridge Hill zustande kommt, was auf eine

elementare Rolle der Decke in der Ausbildung dieses Features hinweist. (Woodhouse, 2005)

BISSINGER zeigte in einer statistischen Analyse auf der Suche nach eindeutigen Qualitätsparametern für Violinen, dass in seiner Testgruppe schlechtere Instrumente tendenziell höhere Amplituden des Bridge Hills aufwiesen. Die Interpretation dieser Beobachtung ist dabei komplex. Es könnte vermutet werden, dass die Amplitude des Bridge Hills weniger bedeutend als seine Frequenzlage oder Bandbreite ist oder dass das Bridge Hill Feature kein positiv konnotierter Qualitätsparameter ist. Des Weiteren wären Korrelationen mit anderen wichtigen Parametern wie der A0 Abstrahlung denkbar. BISSINGER zeigte außerdem an drei Versuchsinstrumenten einen relativ geringen Einfluss der Stegresonanzfrequenz auf die Frequenzlage des Bridge Hills, wobei der Einfluss von Instrument zu Instrument deutlich unterschiedlich war. In BISSINGER 2008a werden als dominierende Parameter für das Abstrahlprofil von Violinen die A0, B1-, B1+, der Bridge Hill und Steg Filter Peaks genannt. Die Rolle des Bridge Hills als Qualitätsparameter wird hier also trotz der Beobachtungen von 2006 weiterhin als wichtig gesehen. (Bissinger, 2006) (Bissinger, 2008)

BOUTIN konstruierte 2008 ein Gerät, über das es möglich war, die Eigenschaften des Stegs während des Spiels zu verändern und so Lage und Amplitude des Bridge Hills zu steuern. Weiterführende Ergebnisse oder Klangversuche liegen leider nicht vor. (Boutin & Besnainou, 2008)

JANSSON zeigte 2009 in einem subjektiven Hörversuch, dass der Frequenzbereich von 2.000 – 3.000 Hz, in dem das Bridge Hill Feature in der Regel beobachtet wird, einen besonders großen Einfluss auf das Klangerlebnis hatte. Die korrekte Einstellung des Bridge Hills in Frequenzlage und Amplitude wäre demnach entscheidend für die klanglichen Eigenschaften von Violinen. 2016 stellte JANSSON die Vermutung auf, dass das Auftreten eines Bridge Hill Features mit der Längswölbung der Instrumente zusammenhängen könnte. Diese Vermutung fußte auf der Beobachtung, dass alte italienische Instrumente häufiger einen Bridge Hill ausbilden als alte französische, wobei die Italiener ihre Längswölbungen im Mittelbereich meist flacher beließen als die Franzosen. JANSSON zeigte im Folgenden simulativ, dass eine längsgewölbte Platte eine niedrigere Amplitude selbst als eine flache Platte und deutlich geringer als eine quergewölbte Platte aufweist. Die aufgestellte Vermutung wäre damit zwar leicht unterstützt, definitive Nachweise liegen allerdings bis heute noch nicht vor. (Jansson E. , 2009) (Jansson, Barczewski, & Kabala, 2016)

Von GOUGH liegen zwei sehr aufschlussreiche Arbeiten aus den Jahren 2017 und 2018 vor, in denen die Decke als zentrales Glied in der Ausbildung des Bridge Hill Features untersucht wurde. Er führte Simulationen mit steifen und flexiblen Stegen und Decken sowie mit und ohne F-Löcher durch. Mit einem steifen Steg (Resonanzfrequenzen weit außerhalb des betrachteten Bereichs) und vor Schneiden der F-Löcher ergab sich eine relativ flache Kurve. (Siehe Abbildung 16) (Gough C. , 2017) (Gough C. , 2018)

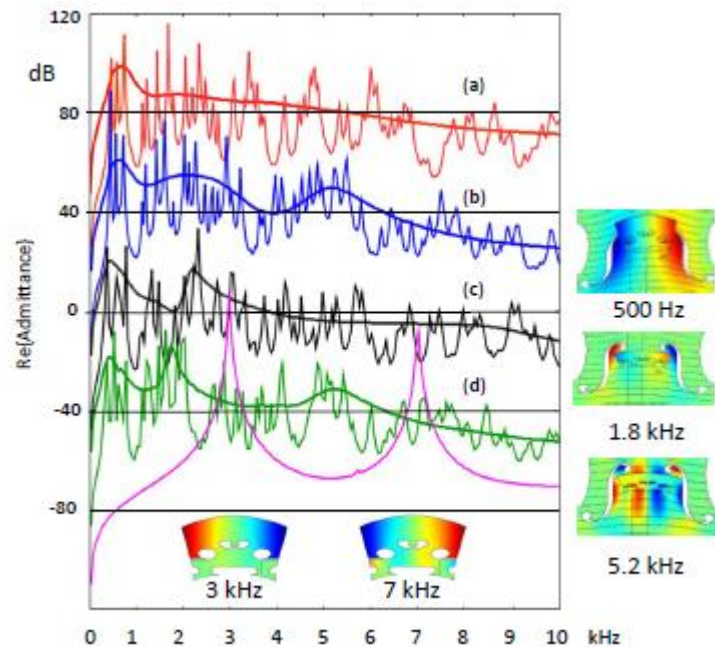


Abbildung 16: Funktion von Stegmoden und Deckenmoden zum Bridge Hill Feature nach GOUGH 2017

Wurde der steife Steg durch einen normalen (Resonanzfrequenzen bei 3.000 und 7.000 Hz) ausgetauscht, ergaben sich zwei breite Peaks weit unterhalb der Resonanzen des Steges selbst. (ca. bei 2.000 und 5.000 Hz respektive) Wurden die F-Löcher hinzugefügt und der steife Steg verwendet fanden sich zwei breite und starke Resonanzen bei 500 und 1.800 Hz. Die untere der beiden Moden stellt dabei eine transverse Welle innerhalb des Bereichs der F-Löcher und beschränkt auf ihre ungefähre Länge dar, die obere ist äquivalent zu der von JANSSEN beobachteten Mode der oberen F-Klappen. Die erste der beiden Moden würde mit vielen antisymmetrischen Moden koppeln, sowohl bei hohen und auch tiefen Frequenzen. Es findet sich keine starke Resonanz bei oder in der Nähe der Stegresonanz, da sie durch Dämpfung und Kopplung mit Plattenmoden über einen weiten Bereich verteilt wird. GOUGH diskutiert hier den Fall eines flexiblen Stegs (Resonanzfrequenzen bei 3.000 und 7.000 Hz) mit F-Löchern nicht. Aus der Illustration ist aber abzulesen, dass sich im Vergleich zum steifen Steg mit F-Löchern ein zusätzlicher Peak bei ca. 5.000 Hz - der aus der 7.000 Hz Mode des Stegs resultieren könnte - ausbildet. Die Admittanz des Steges wurde über Variation von Masse und Dichte verändert, wobei die Resonanzfrequenz bei 3.000 Hz gehalten wurde. Es wurde gezeigt, dass die Admittanz an der Oberkante für einen extrem leichten und flexiblen Steg allein von der Admittanz des Steges selbst bestimmt wird. Es bildet sich ein deutlicher Peak knapp oberhalb der Stegresonanzfrequenz. Wird die Admittanz des Steges der des Bereichs zwischen den F-Löchern angenähert, koppeln ihre Moden stark und die Resonanzen werden verschoben und gespalten, wobei die Eigenmoden bedämpft werden. Über einen Simulationsdurchgang mit unveränderter Stegmasse aber um einen Faktor von 100 erhöhten Stegresonanzfrequenz werden die isolierten Resonanzen des mittleren Deckenbereichs gezeigt. Dabei wird für alle Variationen des Steges eine Torsionsmode der Decke bei ca. 400 Hz beobachtet, die mit flexibleren Stegen zu der oben beschriebenen Transversalwelle bei 500 Hz verändert wird. Analog dazu wird eine Mode knapp unter 2.000 Hz beobachtet, die mit erhöhter Stegflexibilität nach unten wandert und schließlich die Form der zuerst von JANSSEN beobachteten Schwingung der F-Klappen bei ca. 1.800 Hz annimmt. Schlussendlich wurden Bassbalken und Stimme in die Simulation mit einbezogen, indem diese zunächst einzeln und dann zusammen ins Instrument eingebracht wurden. Dabei wurde beobachtet, dass beide einen ähnlichen aber entgegengesetzten Einfluss auf die

Übertragungskurve besitzen, und dass nur mit beiden Bauteilen die Ausbildung eines Bridge Hills möglich ist. (Siehe Abbildung 17) Auf diese Weise werden Einflüsse der Stimme und des Bassbalkens auf das Bridge Hill Feature und seine Ausbildung wie bereits von BELDIE vorgeschlagen plausibel dargelegt.

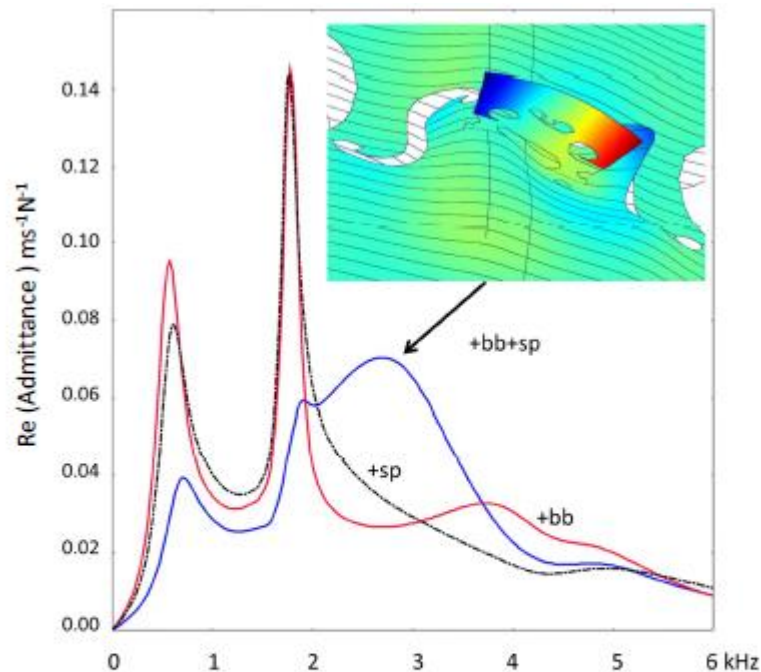


Figure 4. Influence of the bass bar and offset sound post on the *BI* admittance input filter (+bb+sp), the sound post alone (+sp) with bass bar removed and bass bar alone (+sb) with soundpost removed.

Abbildung 17: Einflüsse von Stimme und Bassbalken auf die Ausbildung eines Bridge Hill Features nach GOUGH 2017

3.4 Zusammenfassung praktisch anwendbarer Hinweise

Eine geringe Stegmasse korrelierte in allen betrachteten Studien, die auf diesen Parameter hin geprüft haben, mit verbesserter Abstrahlung. Dabei könnte z.B. auch die Abstrahlung der A0 Luftmode, die von BISSINGER als das mit Abstand wichtigste Qualitätskriterium eingestuft wurde, von der Stegmasse beeinflusst sein. (Bissinger & Greforian, 2003) Es wäre denkbar, dass dieser Umstand in Instrumenten, bei denen die A1 Luftmode durch den Steg angeregt werden kann, über Kopplung der A1 mit der A0 noch verstärkt würde. (Bissinger, 1998) Um eine Anregung der A1 durch den Steg zu begünstigen, darf dieser nicht auf einer Knotenlinie der Luftmode stehen. Dies wird also durch die dezentrale Lage des Stegs im Instrument schon begünstigt, es können aber auch Entscheidungen im Entwurf des Instruments getroffen werden, die die Lage der A1 Knotenlinie relativ zur Stegposition beeinflussen, wie z.B. geeignete Einstellung der Luftvolumina in Ober- und Unterbug relativ zueinander durch Umriss und Zargenkranzgefälle. Verschiebungen der Knotenlinie der A1 aus dem F-Loch-Bereich hinaus wurde bereits in einigen anderen Arbeiten diskutiert und würde zusätzlich die direkte Abstrahlung von Schall durch diese Mode begünstigen. (Miles J. , 1996)

Grundsätzlich scheint es eindeutig, dass für jedes Instrument ein Optimum der Stegresonanz besteht, das von den Eigenschaften des Korpus abhängig ist. Dieser Faktor ist voraussichtlich für Instrumente mit ausgebildetem Bridge Hill deutlich entscheidender als für solche ohne. Dieses Feature könnte auf diese Weise also auch als erstrebenswert gesehen werden, da es einen zusätzlichen Parameter hinzufügt, über den der Klang des Instruments effektiv eingestellt werden kann. Andersherum betrachtet könnte für Stege ohne ausgebildeten Bridge Hill auch ein Steg mit relativ tief abgestimmter Resonanzfrequenz und dafür verringerter Masse erprobt werden. Da dieses hypothetische Instrument keinen Bridge Hill besitzt wäre es relativ insensitive zu der verringerten Stegresonanzfrequenz, würde aber durch die verringerte Stegmasse aller Voraussicht nach eine erhöhte Abstrahlung erzielen. Die Möglichkeit zur Ausbildung eines Bridge Hills scheint dabei gänzlich von den Eigenschaften des Mittelbereichs der Decke abzuhängen, wobei die Fähigkeit eines Korpus dazu einen Bridge Hill zu bilden durch die Eigenschaften des aufgeschnittenen Stegs verdeckt werden könnte. Es erscheint demnach ratsam, fertige Instrumente immer mit unterschiedlichen Stegen zu vermessen und auf die Fähigkeit einer Bridge Hill Bildung hin zu prüfen. Ebenfalls über verschiedene Versuchsstege könnte anschließend die optimale Resonanzfrequenz für jedes Instrument gefunden werden. An dieser Stelle könnten Stege mit beweglichen Füßen eine gute Möglichkeit bieten einen Vorrat an auf verschiedene Resonanzfrequenzen abgestimmten Stegen zu haben, die man schnell und einfach auf neuen Instrumenten erproben könnte. Auch sollten Stege mit verschiedenen Stegfußweiten ausprobiert werden. (Jansson E. , 2004) Grenzen der Abstimmung des Bridge Hill Features über den Steg sind umstritten. JANSSON, BISSINGER und GOUGH legen eindeutige Hinweise dazu vor, dass eine vom Korpus vorgegebene Grenzfrequenz des Bridge Hill Features besteht, wohingegen WOODHOUSE mit Unterstützungen von Beispielen DÜNNWALDS die Ansicht vertritt, dass der Bridge Hill in seiner Frequenzlage durch den Steg frei eingestellt werden kann. Nach Ansicht des Autors erscheinen beide Fälle möglich und als entscheidend für den Geigenbauer wird die Messung und Beobachtung von möglichen Grenzen oder Fehlen dieser in der Abstimmung gesehen.

Die zwei maßgeblichen Faktoren bei der Einstellung eines speziellen Steges sind demnach seine Masse und die Resonanzfrequenz seiner ersten „in plane“ Mode, wobei die erstere so gering wie möglich und die letztere auf einen vorher determinierten Optimalwert eingestellt werden sollte. All dies geht selbstverständlich davon aus, dass ein möglichst kräftiger, solistischer Klang erreicht werden soll. Für abweichende Zielstellungen sind diese Empfehlungen entsprechend zu modifizieren.

Die Abstimmung der ersten Stegresonanz wird dabei gut von CURTIN beschrieben. (Curtin, 2005) Grundsätzlich wird eine einfache Methode zur Messung der Resonanz und das Wissen darum, welche Bereiche des Steges ihre Frequenzlage wie verschieben benötigt. Zur Messung der Resonanzfrequenz sollte der Steg an den Füßen in einen schweren Schraubstock mit Resonanzfrequenzen außerhalb des betrachteten Bereichs an den Füßen eingespannt werden. Die bis hierher angegebenen Resonanzfrequenzen wurden stets in dieser Konfiguration gemessen. Misst man z.B. mit der Fallprobe auf einem Aluminiumblock und einem Mikrofon werden sich generell tiefere Resonanzfrequenzen ergeben, da die Masse der Füße frei an der Schwingung beteiligt ist. Dies ist auf dem Instrument nicht der Fall. Zur Messung im eingespannten Zustand können Mikrofone, Kraftaufnehmer, Piezofolien oder Plattenspielnadeln verwendet werden. Entscheidend ist hierbei, dass der Steg nach Möglichkeit nicht mit Masse belegt wird, da die schwingende Masse in diesem Versuch sehr gering und damit sensitiv für Verfälschungen ist. Der Steg kann angeschlagen, gezupft oder im Fall der Messung mit einer Plattenspielnadel über ein elektrisches Feld in Schwingung versetzt werden. Dabei wird der Magnet - der extrem leicht sein sollte - an der Stegaußenkante angebracht und in das Feld einer kleinen Spule gebracht, an die eine Wechselspannung angelegt wird. Wird die Frequenz der Wechselspannung der Resonanzfrequenz des Steges angenähert, wird eine deutlich erhöhte Amplitude der Schwingung der Plattenspielnadel, die in einer Stegkerbe positioniert wird, abgelesen. Generell werden die

deutlichsten Peaks erzeugt, indem an einer der Stegaußenkanten angeregt und an der anderen gemessen wird. Abgestimmt werden kann die Resonanzfrequenz des Steges am besten über Einstellung der Steifigkeit des Bereichs zwischen den Ohren und der Masse des Stegoberteils. Im Allgemeinen wird die Resonanzfrequenz dabei durch Senkung des ersten Parameters verringert und durch Senkung des zweitgenannten erhöht. Genauere Hinweise sowie quantitative Angaben zur zu erwartenden Verschiebung pro Größe der vorgenommenen Veränderung sind Jansson, Fryden, & Mattson, 1990 zu entnehmen. Praktische Erfahrungen und ein beispielhafter Versuchsaufbau sind auch bei Jost, 2020 zu finden. Eine Vorsortierung der Stegrohlinge nach Dichte und Resonanzfrequenz empfiehlt sich hier, da es für einige Rohlinge nicht trivial sein kann Resonanzfrequenzen im Bereich 3.000 Hz zu erreichen. In solchen Fällen könnte z.B. der Bereich unterhalb des Herzens von vornherein etwas stärker belassen werden, um die Resonanzfrequenz nach oben zu verschieben. Möglicherweise sinnvoll, jedoch nicht weiter belegt ist die Einstellung der Stegresonanz bei 1.500 Hz zu sehen. Sie besitzt eine starke Filterwirkung und könnte unter Umständen dazu verwendet werden, eine Nasalität von Instrumenten zu behandeln, indem sie in einen solchen Bereich des Frequenzgangs gelegt wird. Dies ist allerdings an diesem Punkt als reine Spekulation zu sehen und muss in jedem Fall mit Erfahrungswerten ausgelotet werden.

Ein wenig diskutierter Aspekt des Stegs bildet die zweite, zuerst von REINICKE beobachtete „in plane“ Mode bei ca. 7.000 Hz. Diese kann über Bearbeitung des Stegs relativ unabhängig von der ersten Mode eingestellt werden und wäre damit zur gezielten Klangmodifikation überaus geeignet. Aus den Arbeiten von GOUGH geht ebenfalls ein Einfluss auf den Bridge Hill hervor. Es finden sich allerdings keine weiterführenden Hinweise auf mögliche Erfolge durch die Abstimmung dieser Mode. Es wird vermutet, dass ihre Frequenzlage am oberen Ende des für Violinen interessanten Frequenzbereichs - einem Bereich in dem die Abstrahlung des Instruments bereits tendenziell abnimmt - für eine vergleichsweise geringe Relevanz dieser Mode Sorge trägt. Da allerdings noch keine tiefgründigere Forschung zu dieser Thematik vorliegt, kann eine etwas entscheidendere Rolle dieser Mode nicht letztendlich ausgeschlossen werden und eine Messung und Beobachtung wird tendenziell empfohlen. Insgesamt wird also empfohlen, drei Resonanzfrequenzen des Steges bei 1.500, 3.000 und 6.000-7.000 Hz aufzuzeichnen und an Hand kontinuierlicher Arbeit eigene Rückschlüsse auf ihre jeweiligen Einflüsse zu ziehen.

Zum Thema chemischer Behandlungen des Stegholzes sei auf die Arbeit von BISSINGER (Bissinger, 1995b) und die zugehörige Tabelle verwiesen. (Siehe Abbildung 4) Anhand dieser Ergebnisse kann sich jeder Handwerker im Kontext der oben beschriebenen Tendenzen eine Meinung über die Sinnhaftigkeit solcher Behandlungen bilden und natürlich mit eigenen weiterführenden Messungen und Beobachtungen untermauern.

4. Literatur zum Stimmstock der Violine

4.1 Chronologischer Überblick in Ausschnitten

HAAS arbeitete im Jahre 1909 noch mit der Annahme von HELMHOLTZ, der Steg sei durch den Stimmstock auf der Diskantseite steif gelagert und könne sich nur auf der Bassbalkenseite bewegen. Über Anbringung von Massen an verschiedenen Punkten des Steges konnte er allerdings nachweisen, dass durch Anregung von der Saite auch der diskantseitige Stegfuß in Schwingung versetzt wird. (Haas & Giltay, 1909)

MINNAERT schloss 1937 aus einigen Beobachtungen seiner Experimente mittels kleiner am Steg angebrachter Spiegel, dass die Stimme mit einer geringen Amplitude in ihrer eigenen Richtung schwingen kann. (Minnaert & Vlam, 1937) CONDAX stellte 1964 eine experimentelle Stimme her, deren Ziel es war die Stabilität als vertikale Stütze zwar nicht zu verringern, Bewegungen senkrecht

zur Stimmachse aber zu ermöglichen. Er brachte zu diesem Zwecke zwei seitliche Ausschnitte an der Stimme an, die dem Stimmstock eine leichte Federfunktion und die Fähigkeit, kleine Veränderungen des Korpus z.B. durch Umwelteinflüsse auszugleichen, verlieh. (Siehe Abbildung 18) (Condax, 1964)

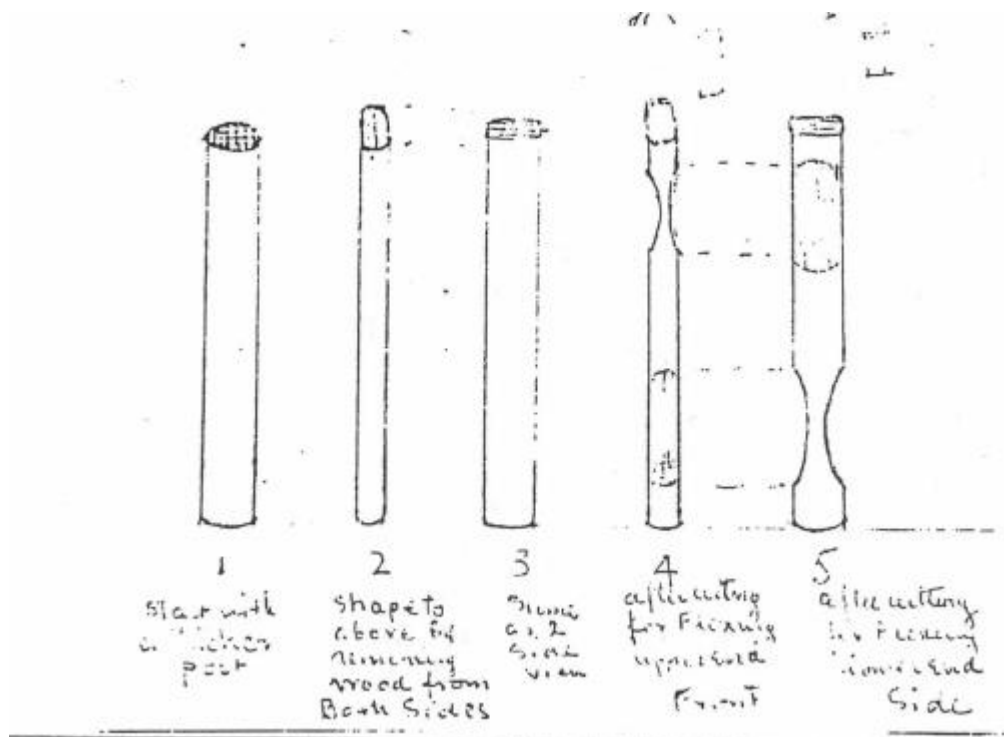


Abbildung 18: Darstellung eines experimentellen Stimmstocks nach CONDAX 1964

SCHELLENG stellte 1971 fest, dass der Stimmstock zusammen mit dem Bassbalken Asymmetrien erzeugt und somit einem akustischen Kurzschluss vorbeugt. Ohne Stimmstock werden dabei einige Moden beobachtet, die vom Steg gut angeregt, aber kaum abgestrahlt werden und solche für die der Gegenfall gilt. Durch Einbringen des Stimmstocks vermutete SCHELLENG eine Kopplung dieser Moden, die in gut anregbaren und stark abstrahlenden Moden resultieren würde. Die Verschiebung des Stimmstocks verändert zum einen seine Position innerhalb der Modenstruktur und zum anderen relativ zum Steg. Welcher dieser Effekte eine größere klangliche Auswirkung besitzt, kann nicht eingeschätzt werden. (Schelleng, 1971)

1974 erwähnt HUTCHINS, dass das Einsetzen des Stimmstocks die A0 Mode um bis zu vier Halbtöne in ihrer Frequenz nach oben verschieben kann. (Hutchins, 1974) MORAL untersuchte 1982 Unterschiede der ausgebildeten Amplituden auf Diskant- und Bassseite eines Korpus als möglichen Qualitätsparameter. Dabei wurde gefunden, dass leichte Zusammenhänge mit einzelnen Resonanzen bestehen und kleine Differenzen zwischen den beiden Seiten vorteilhaft für die C4 Mode sein könnten. Im Bereich oberhalb von 1.400 Hz erschienen möglichst geringe Unterschiede zwischen den beiden Seiten von Vorteil zu sein. (Moral & Jansson, 1982)

Aus MARSHALL 1985 geht hervor, dass sich der Steg unterhalb von ca. 650 Hz immer in einer Schaukelbewegung mit Mittelpunkt leicht links vom diskantseitigen Stegfuß bewegt. Der Steg, der Stimmstock und Decken- sowie Bodenbereiche um den Stimmstock bewegen sich dabei in Phase und mit gleicher Amplitude. Oberhalb von 650 Hz bewegt sich der Steg oft auch in vertikaler Richtung und die Plattenbewegungen im Bereich des Stimmstocks sind manchmal gegenphasig. Durch die gelegentliche Gegenphasigkeit ergibt sich die Möglichkeit, dass der Stimmstock während

der Bewegung leicht entkoppelt wird und damit größere Amplituden zulässt. (Marshall, 1984) Die Möglichkeit eines solchen Verhaltens wird von CREMER weiterführend diskutiert und wurde in einem Experiment von GEISLER und SCHLESKE bereits untersucht. Es wurde dabei gefunden, dass der Stimmstock zu steif für die dünne Decke war, um eine Atembewegung zuzulassen. Desto größer die Steifigkeitsreaktanz des Stimmstocks ist und desto weiter sie über den Impedanzen des Korpus liegt, desto mehr verhält sich der Stimmstock wie ein steifer Körper. (Cremer, 1981)

FANG untersuchte denselben Sachverhalt im Jahre 1992, wobei er feststellte, dass die niedrigste natürliche Resonanz des Stimmstocks in Längsrichtung erst bei einer Frequenz im Bereich von 50.000 Hz auftritt, also weit außerhalb des interessanten Bereichs liegt. Selbst wenn an den Enden des Stimmstocks Massen angebracht werden, die die Decken- und Bodenbereiche in seiner Umgebung simulieren, liegt die niedrigste Resonanzfrequenz bei ca. 10.000 Hz. FANG stellte Messungen mit zwei Kraftaufnehmern an Decke und Boden eines Versuchsinstruments bei den jeweiligen Stimmstockenden an und konnte auf diese Weise Amplituden- und Phasenverhältnisse an diesen Punkten ermitteln. Angenommen der Stimmstock stelle im relevanten Frequenzbereich stets ein steifes Element dar, so müssten diese Verhältnisse bei jeder Frequenz 1 betragen. Im Ergebnis der Vermessungen von FANG war dies bis 1.000 Hz generell der Fall. Von hier an unterschieden sich die Amplituden und leichte Phasenverschiebungen traten auf. Ein deutlicher Ausriss war auch unterhalb von 1.000 Hz zu beobachten. Bis 8.000 Hz blieb die Phasenverschiebung nahe bei null. Ab dort erhöhte sie sich aber graduell bis auf 180 Grad bei 15.000 Hz. Dieses Ergebnis legt die Existenz einer Längsmode des Stimmstocks bei ca. 8.000 Hz nahe. Sie läge damit am äußeren Ende des für Violinen interessanten Bereichs. Für Celli könnte dies auf Grund der veränderten Proportionsverhältnisse anders sein, es liegen allerdings keine entsprechenden Messungen vor. Messungen mit einer Stimme des Durchmessers 4 mm zeigten überraschend geringe Unterschiede auf. (Fang & Rodgers, 1992)

HUTCHINS untersuchte den Einfluss der Stimme 1992 im Zusammenhang mit dem A1-B1 delta, das als wichtiges Qualitätskriterium gesehen wurde. Ein experimenteller Stimmstock nach CONDAX (Condax, 1964) senkte die B1 Mode dabei um 8 Hz und veränderte die Lage der A1 nicht. Modifikationen des Stimmstocks könnten demzufolge also zur Einstellung des A1-B1 deltas beitragen. (Hutchins & Rodgers, 1992)

BISSINGER stellte 1995 Simulationen an, in denen der Einfluss des Stimmstocks betrachtet wurde. Durch Entfernen des Stimmstocks wurden dabei Moden unterhalb von 1.000 Hz um einige Prozent in ihrer Frequenz nach unten und solche darüber nach oben verschoben. Die durchschnittliche Anregung am Steg stieg um 14 %, während die Abstrahlungseffizienz, vor allem im Bereich 500-800 Hz um durchschnittlich 17 % fiel. Besonders eine Stimmstock-Korpus Mode bei 550 Hz fiel in ihrer Abstrahlungseffizienz von 0,105 auf 0,022. Sie wurde in ihrer Frequenz um 1,1 % gesenkt, die Dämpfung fiel von 0,84% auf 0,65 % und die Amplitude stieg um 35 %. Die Abstrahlungsformen der beobachteten Moden veränderten sich deutlich und es traten im Spektrum mit Stimmstock 48 gegenüber 49 Moden ohne Stimmstock auf. Die durch Entfernen des Stimmstocks bewirkten flexibleren Randbedingungen verschoben die A0 in Frequenz und Amplitude nach unten hin. Ohne den Stimmstock wird die Anregung durch den Steg also tendenziell verbessert, die Abstrahlungseigenschaften aber verschlechtert. Eine Ausnahme bildet dabei die B1- Mode, die durch Entfernen des Stimmstocks im Grunde verschwindet, wobei ihre Abstrahlungseffizienz aber nur von 0,073 auf 0,056 verringert wird. Ebenfalls übt das Einsetzen des Stimmstocks einen Einfluss auf die Richtungseigenschaften der Abstrahlung des Instruments aus. So strahlt z.B. die B1+ Mode mit Stimmstock deutlich von der Decke weg ab, ohne Stimmstock ist dies aber nicht mehr der Fall. Es besteht auf Grund der Ergebnisse eine leicht größere Tendenz zur Symmetrie für stimmstocklose Moden, was die 1971 von SCHELLENG aufgestellte Hypothese stützt. Seine Vermutung, Moden verschiedener Anregungs- und Abstrahlungseigenschaften würden durch den Stimmstock gekoppelt, konnten von BISSINGER allerdings nicht mit Beobachtungen belegt

werden. MEINEL beobachtete zuvor, dass gute Instrumente tendenziell einen besseren Output im tiefen als im hohen Frequenzbereich besitzen. Dies wird durch die von BISSINGER erbrachten Ergebnisse tendenziell unterstützt. (Bissinger, 1995c)

SALDNER war 1996 dazu in der Lage, die von SCHELLENG vermutete Kombination von zwei Moden durch den Stimmstock experimentell zu beobachten. Der Stimmstock wurde dabei um 10 mm zur Fuge hin verschoben und beobachtet, dass eine Mode bei 500 Hz deutlich höhere Amplituden und eine um 25 Hz nach oben verschobene Frequenz aufwies. Eine andere Mode bei ca. 550 Hz war hingegen kaum beeinflusst. Wie von SCHELLENG prognostiziert wurden in Versuchen mit einem Lautsprecher einige Moden gefunden, die ohne Stimmstock zwar gut abstrahlen, aber nicht vom Steg angeregt werden konnten. Durch Einsetzen des Stimmstocks wurden diese Moden gekoppelt. SALDNER verwendete hierzu eine reziproke Methode, bei der das Instrument durch einen Lautsprecher also über die Luft angeregt und die Bewegungen am Steg gemessen wurden. Das Einsetzen des Stimmstocks koppelte dabei die T1 (Besitz die Form der B1-) und T2 Moden und vereinte sie so zu einer akustisch effektiven Mode. Die T1 stellt dabei einen guten Abstrahler dar, wohingegen die T2 gut über den Steg angeregt werden kann. Zusammen bilden sie am fertigen Instrument die B1- Mode. Im Unterschied zu BISSINGER 1995 wurde hier eine allgemeine Verschiebung aller Resonanzen zu höheren Frequenzen hin durch Einsetzen des Stimmstocks festgestellt. Verschiebung des Stimmstocks zur Fuge hin veränderte die Moden des Bodens deutlich stärker als die der Decke. Viele Moden des Instruments wurden durch Einsetzen des Stimmstocks erst asymmetrisch. Positionierung des Stimmstocks auf einer Knotenlinie der B1 begünstigt ihre Ausbildung. Die Knotenlinie liegt dabei im Boden in der Nähe der standardmäßig verwendeten Stimmstockposition. Die Anregungseffizienz sollte durch Verschiebung zur Fuge hin verbessert werden. (Saldner, Molin, & Jansson, 1996)

RODGERS konnte 1997 durch geeignete Verschiebung des Stimmstocks an einem Testinstrument eine neu entstandene Mode bei 930 Hz beobachten. Dem Autor erscheint es dabei wahrscheinlicher, dass diese Mode durch die getroffenen Modifikationen erst vom verwendeten Messsystem aufgezeichnet werden konnten, als dass eine komplett neue Modenstruktur erschaffen wurde. Frequenzlagen der A0, A1 und B1 Moden konnte RODGERS durch Verschiebung des Stimmstocks nicht maßgeblich ändern, wobei die gemachten Veränderungen hier im Bereich 1,0 bis 1,6 mm liegen. RODGERS stellt die Vermutung auf, dass die Mode bei 930 Hz durch die Verschiebung des Stimmstocks in ihrer generellen Struktur verändert und so messbar geworden sein könnte. Im beobachteten Zustand schwang sie mit einem Dreiviertel ihrer Fläche in einer und mit dem Viertel im diskantseitigen Unterbug in der Gegenphase. Es liegt also die Vermutung nahe, dass sie ohne Modifikation des Stimmstocks symmetrisch schwang und daher nicht aufgezeichnet werden konnte. (Rodgers O. , 1997b)

Ähnliche Beobachtungen stellte RODGERS im Jahr 1999 an, bei denen eine Mode des Bassbalkens untersucht wurde, bei der die Bassbalkenenden eine entgegengesetzte Bewegung entlang einer Achse parallel zum Steg ausführten. In Experimenten konnte gezeigt werden, dass diese Mode durch Positionierung des Stimmstocks so eingestellt werden kann, dass der Deckenbereich im Unterbug auf der Bassbalkenseite gegenphasig zum Rest der Decke schwingt. Ihre Abstrahlung wurde auf diese Weise deutlich verbessert. Der direkte Einfluss des Stimmstocks auf die Konfiguration der Mode wird damit begründet, dass er an seiner Position ein Knotenlinie der Moden forciert. (Rodgers O. , 1999)

2003 untersuchte BELDIE den Zusammenhang des Stimmstocks mit dem Bridge Hill Feature. Auf Grund der von BELDIE aufgezeigten Abhängigkeit des Bridge Hills von den Masse- und Steifigkeitseigenschaften des mittleren Deckenbereichs könnte das Feature durch Verschiebung des Stimmstocks beeinflusst werden. Eine Verschiebung weg vom Steg würde dabei die maximale Bridge Hill Frequenz, wie sie von BELDIE und auch JANSSON gesehen wird, senken. (Beldie, 2003)

WOODHOUSE zeigte in Simulationen von 2005 allerdings keinen signifikanten Einfluss von Verschiebungen des Stimmstocks um bis zu 30 mm auf den Bridge Hill. (Woodhouse, 2005)

JANSSON stellte 2006 Versuche mit einem Instrument an, dessen D-Saite (293 Hz) über ein Rad konstant angeregt werden konnte. Dabei schwingen Bassbalken- und Stimmstockseite des Stegs gleichphasig mit geringer vertikaler Amplitude auf der Stimmstockseite. JANSSON wies in diesem Zusammenhang darauf hin, dass die A0 Mode eine Knotenlinie besitzt, die längs durch das Instrument und den Stimmstock verläuft und dass eine wichtige Rolle des Stimmstocks darin besteht, Schwingungen von der Decke auf den Boden zu übertragen. (Jansson, Gren, Tatar, Granström, & Molin, 2006)

2008 berichtete BISSINGER, dass MEINEL einen Verlust von zwei Dritteln der Abstrahlung der A0 beobachtete, wenn der Stimmstock entfernt wurde. Andere Experimente zur Entfernung des Stimmstocks zeigen unterstützende Tendenzen für eine Abhängigkeit der Abstrahlung der A0 vom A0-B1 delta. (Bissinger, 2008) Eigene Experimente stellte BISSINGER 2012 an, bei denen das Entfernen des Stimmstocks die Frequenz der A0 um 30 Hz und ihre Abstrahlung deutlich senkte. (Um einen Faktor von 7) Außerdem fiel eine B1- ähnliche Mode weg und eine B1+ ähnliche wurde um 50 Hz in ihrer Frequenz nach unten verschoben. (Bissinger, 2012)

Die Untersuchungen von GOUGH aus den Jahren 2015, 2017 und 2018 geben weiteren Aufschluss über die Rolle des Stimmstocks. Demnach fügt der Stimmstock eine lokalisierte Randbedingung im Stegbereich hinzu und übt bei niedrigen Frequenzen einen deutlichen Einfluss auf die Moden in diesem Bereich sowie im Ober- und Unterbug aus. Im höheren Frequenzbereich ist sein Einfluss lokalisierter und bestimmt Moden in Ober- und Unterbug nicht maßgeblich mit. Der Stimmstock wirkt dabei wie eine Sperre. Wird er im Zentrum des Instruments eingesetzt, wird z.B. die C0 Atemmode der Decke vom gesamten Bereich auf den Unterbug beschränkt. Wird er nun von der Fuge weg versetzt, wirkt die Mode wieder über die ganze Länge des Instruments aber deutlicher auf der Bassbalkenseite. (Gough C. , 2015) (Siehe Abbildung 19) 2017 untersuchte GOUGH den Einfluss des Stimmstocks auf den Bridge Hill und stellte fest, dass Simulationen ohne Stimmstock und Bassbalken keinen Bridge Hill aufwiesen, durch Hinzufügen beider Elemente aber einer beobachtet werden konnte. Wurde nur eins der beiden eingefügt, ergaben sich gleiche aber entgegengesetzt wirkende Effekte und kein Bridge Hill Feature wurde ausgebildet. Es wurde also ein deutlicher Einfluss der Stimme auf den Bridge Hill und seine Notwendigkeit zu seinem Auftreten demonstriert. (Gough C. , 2018) (Siehe Abbildung 17) 2018 führte GOUGH seine Arbeit fort und stellte fest, dass Bassbalken und Stimmstock die Symmetrie des mittleren Deckenbereichs brechen. Der Stimmstock bringt dabei im Gegensatz zum Bassbalken eine eindeutig lokalisierte Randbedingung an seinen Auflagenpunkten an Decke und Boden ein. Durch Stimme und Bassbalken zusammen wird die Admittanz für parallele Anregung deutlich größer als für senkrechte, wobei sie ab ca. 4.000 Hz wieder ähnlich werden. (Gough C. , 2018)

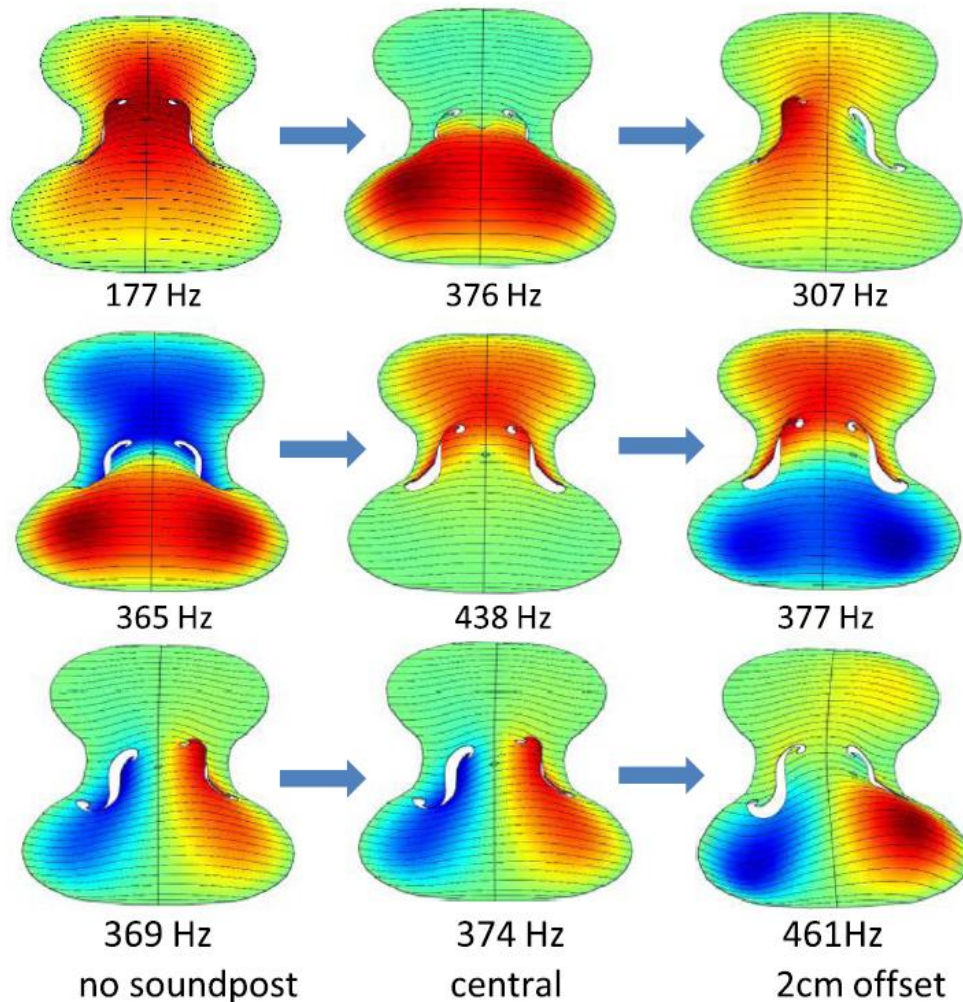


FIG. 10. (Color online) The influence of the soundpost and its position on the shapes and frequencies of the lowest three *corpus* modes of an isotropic $E = 2$ GPa, 2.5 mm thick, 15 mm arched top plate pinned to the rib-plane around its edges. The plates are tipped backward to highlight the three-dimensional nature of the vibrations.

Abbildung 19: Auswirkung von Verschiebung des Stimmstocks auf die Modenstrukturen der Decke nach GOUGH 2015

JANSSON stellte im Gegensatz hierzu im Jahr 2018 keinen nennenswerten Einfluss des Stimmstocks auf den Bridge Hill fest.

4.2 Der Einfluss des Stimmstocks auf die Modenstruktur der Violine

Der Stimmstock besitzt direkte Zusammenhänge mit Frequenz, Amplitude und Abstrahlung der A0 und B1 Moden. Da diese Hauptmoden mit zahlreichen Nebenmoden des Korpus gekoppelt sind, ist sein Einfluss im Instrument in jedem Fall mannigfaltig. Auch ein Zusammenhang mit dem Bridge Hill Feature auf Grund der Modifikation von Deckeneigenschaften im Stegbereich erscheint dem Autor nach aller vorliegender Literatur nicht wenig plausibel, auch wenn eindeutig widersprüchliche Ergebnisse vorliegen.

Auch wenn es nicht seine Hauptfunktion ist überträgt der Stimmstock Energie auf den Boden, was in Simulationen BISSINGERS gezeigt wurde, in denen der Stimmstock auf den Boden den größten Einfluss ausübte. Dabei erhöht er allerdings eher die Dominanz der Decke gegenüber dem Boden im akustischen Gefüge wie es bereits von SCHELLENG vermutet worden war. (Bissinger, 1995c) Ebenfalls scheint er eine Eigenmode bei ca. 8.000 Hz zu besitzen, die damit allerdings am Rande des interessanten Bereichs liegt und damit voraussichtlich nicht von großer Relevanz ist. (Fang & Rodgers, 1992)

Die Einbringung des Stimmstocks trägt maßgeblich zur Asymmetrie der Moden sowie ihren Abstrahlungseigenschaften bei. So senkte er in Versuchen Bissingers tendenziell die Anregung über den Steg und steigerte dafür die Abstrahlungseffizienz der ausgebildeten Moden. (Bissinger, 1995c) Es konnte auch stellenweise beobachtet werden, dass er Moden miteinander verknüpfte und so für stark abstrahlende und gut anregbare Konfigurationen sorgte. (Saldner, Molin, & Jansson, 1996) Seine Massebelegung, die er an den Platten einbringt, wird kaum diskutiert, was wahrscheinlich auf die geringe relative Masse und einen damit verbunden gering zu erwartenden Einfluss zurückzuführen ist.

Er forciert an seinen Enden Knotenlinien in den Moden, wodurch seine Position in den Strukturen der einzelnen Moden bedeutend und seine Fähigkeit, diese maßgeblich zu beeinflussen, erklärt wird. So konnten stellenweise Moden durch geeignete Positionierung des Stimmstocks in ihrer Struktur maßgeblich verändert werden. (Rodgers O. , 1997b) (Rodgers O. , 1999)

4.3 Zusammenfassung praktisch anwendbarer Hinweise

Die richtige Position des Stimmstocks innerhalb einer Mode kann zu einer besseren Ausbildung derer mit höheren Amplituden und weniger Dämpfung führen, wobei die wichtigsten Zusammenhänge wahrscheinlich mit der A0 und der B1 bestehen. Des Weiteren kann in einigen Fällen die ausgebildete Struktur der Mode so verändert werden, dass sie maßgeblich in ihrer Schallabstrahlung verbessert wird. Die richtige Position und weitere Einflüsse einer gewählten Modifikation auf alle relevanten Moden einzuschätzen wird dabei natürlich zu einem weitaus zu komplexen Problem, weswegen die Methode des Ausprobierens und Hörens für die Werkstatt weiterhin als einzig sinnvolles Mittel in diesem Zusammenhang gesehen wird. Der Abstand zum Stegfuß scheint nach praktischer Meinung im Allgemeinen ebenfalls eine deutliche Rolle zu spielen, wird allerdings in der vorliegenden Literatur nicht direkt untersucht, wobei vermutet werden kann, dass ein Einfluss auf solche Schwingungen besteht, bei denen der Steg eine nennenswerte Bewegung am diskantseitigen Stegfuß ausführt. Die erlangten Erkenntnisse erklären allerdings stellenweise sehr deutlich, warum und auf welche Art die Bewegung eines ca. 2g schweren Fichtenstabs in einem ca. 450 g schweren Instrument einen so bedeutenden Einfluss auf seine klanglichen Eigenschaften ausüben kann.

Eine interessante Anwendung dieses Wissens wird darin gesehen, den Stimmstock nach Möglichkeit auf der Knotenlinie der B1 zu positionieren. Dies könnte durch ein Gerät zur Auffindung dieser Linien ermöglicht werden, wie es z.B. von RODGERS beschrieben wird. (Rodgers O. , 1998)

Die häufig diskutierte Spannung des Stimmstocks könnte sich versteifend auf die Platten auswirken und somit die A0 sowie B1 in Frequenz und Amplitude nach oben verschieben. Erneut treten dabei selbstverständlich gekoppelte Effekte mit anderen Moden auf und der Einfluss einer bestimmten Modifikation wird extrem komplex. Grundsätzlich kann aber gesagt werden, dass eine Spannungserhöhung die B1 Mode in ihrer Frequenz deutlich stärker als die A0 Mode verschieben und somit zur Einstellung des A0-B1 bzw. auch A1-B1 deltas nützlich werden sollte.

Ein Einfluss des Stimmstocks auf den Bridge Hill ist in der Literatur umstritten, erscheint im Kontext aller verfügbaren Arbeiten aber durchaus plausibel. Diese Möglichkeit sollte bei Messungen und Experimenten also immer im Hinterkopf behalten werden. Nach Auffassung des Autors wäre es auch sehr interessant zu vergleichen, ob Instrumente mit ausgebildetem Bridge Hill Feature empfindlicher auf Einstellungen der Stimme reagieren, als es solche ohne tun. Ein solcher Umstand könnte als direkter Einfluss des Stimmstocks auf den Bridge Hill ohne weitere Messungen gedeutet werden. Ein straff sitzender Stimmstock würde dabei voraussichtlich die von JANSSON und BELDIE vermutete maximal mögliche Bridge Hill Frequenz erhöhen und ebenso die Amplitude steigern.

5. Literatur zum Bassbalken der Violine

5.1 Chronologischer Überblick in Ausschnitten

Bis HAAS seine Arbeiten im Jahre 1909 präsentierte wurde weitgehend – z.B. von HELMHOLTZ – angenommen, dass sich nur die Bassbalkenseite des Stegs bewegen könne. HAAS konnte dies allerdings durch geeignete Anbringung von Masse am Steg und geschickte Analyse der beobachteten Klangveränderungen widerlegen. (Haas & Giltay, 1909)

HUTCHINS schrieb 1966, dass eine der Hauptfunktionen des Bassbalkens darin besteht, Ober- und Unterbug zu differenzieren. In der Plattenabstimmung nach HUTCHINS spielt die Einstellung des Bassbalkens eine große Rolle. Die korrekte Einstellung des Bassbalkens ermöglicht dabei höhere Amplituden der betrachteten freien Plattenmoden als sie ohne Balken zustande kommen. Bei der schrittweisen Abstimmung tritt zunächst ein Anstieg der Amplituden und anschließend ein Plateau auf. Wird nach diesem Punkt noch weiter ausgearbeitet, beginnt ein schneller Abfall der Amplituden einzusetzen. (Hutchins, 1966b) (Hutchins, 1966a)

SCHELLENG nannte 1971 als Hauptfunktion des Bassbalkens die Erzeugung von Asymmetrien in Zusammenarbeit mit der Stimme. Dadurch sollen akustische Kurzschlüsse vermieden werden. (Schelleng, 1971) In ähnlicher Weise beschrieb HUTCHINS 1973, dass Einleimen des Bassbalkens die fünfte Mode der freien Platte zunächst in Symmetrie und Amplitude absenkt. Durch geeignete Ausarbeitung des Bassbalkens kann demzufolge die Symmetrie zum großen Teil wiederhergestellt und sogar erhöhte Amplituden erreicht werden. (Hutchins, 1973)

1976 und 1978 erläuterte HUTCHINS die Ausarbeitung von Bassbalken in zwei aufeinander folgenden Artikeln an konkreten Beispielen. Dabei wurden verschieden hoch gewölbte Decken verwendet und festgestellt, dass flachere Wölbungen im Durchschnitt höhere Bassbalken benötigten. Bassbalkenhöhen an den oberen und unteren Enden schwankten hingegen nur sehr leicht um durchschnittlich ca. 0,2 mm. (Hutchins & Bissinger, 1976) (Hutchins & Bissinger, 1978)

1981 dokumentierte BERNSTEIN die Abstimmung einer Bassdecke, bei der durch geeignete Ausarbeitung des Bassbalkens eine störende sechste Mode relativ unabhängig von den anderen Plattenmoden in ihrer Amplitude geschwächt werden konnte. Der Klang des Instruments konnte auf diese Weise maßgeblich verbessert werden. (Bernstein, 1981)

JANSSON stellte 1986 fest, dass der Steg sich unterhalb von ca. 650 Hz auf der Bassbalkenseite deutlich stärker bewegte und dabei um einen Drehpunkt beim Stimmstock schwang. Auf der Bassbalkenseite wurde dabei die Anregung in ihre vertikale und horizontale Komponente zerlegt. (Jansson, Bork, & Meyer, 1986)

HUTCHINS identifizierte 1989 das A1-B1 delta als wichtiges Qualitätskriterium, wobei die Lage der B1 durch den Bassbalken beeinflusst wird. Sie stellte subsequent Untersuchungen an und konnte über Modifikation des Bassbalkens in Kombination mit weiteren Schritten eine Einstellung des A1-B1 deltas bewerkstelligen. So fand sie, dass eine gezielte Stärkenveränderung der Decke in den Bereichen an den Enden des Bassbalkens sowie direkt über dem bassseitigen F-Loch und Ausdünnen des Bassbalkens selbst in den oberen und unteren Mittelbereichen die B1 Mode um 10 Hz und die A1 Mode um 2 Hz senkte. Das Einsetzen eines neuen Bassbalkens in ein zu schwaches Instrument konnte die fünfte freie Mode um 20 Hz und die B1 Mode um 10 Hz steigern. Das A1-B1 delta wuchs damit von 30 auf 40 Hz und das Instrument wurde als lauter und mit besseren Projektionseigenschaften versehen bewertet. (Hutchins, 1989) (Hutchins & Rodgers, 1992)

1991 schrieb RODGERS, dass die erste und zweite Mode der freien Platte von den Platteneigenschaften und die fünfte Mode vom Bassbalken dominiert wird. Einsetzen des Bassbalkens veränderte dabei die grundsätzliche Lage der sensitiven Plattenregionen für Abstimmung der ersten und zweiten Mode nicht. Es wurde gezeigt, dass Bearbeiten des Bassbalkens im oberen Bereich nur die fünfte Mode deutlich veränderte, während Bearbeitung im unteren Bereich ebenfalls die zweite Mode beeinflusste. (Rodgers O. , 1991a)

In Simulationen von RODGERS wurde 1993 gezeigt, dass ein Einkürzen der Bassbalkenenden um 10 mm die fünfte freie Plattenmode nicht deutlich veränderte. Die zweite Mode wurde dadurch hingegen in jedem Fall beeinflusst, wobei der untere Bereich des Balkens den überwiegenden Teil des Effekts ausmachte. Die erste freie Plattenmode wurde durch Einkürzen des oberen Endes angehoben und durch das untere gesenkt. Die B1 Mode konnte in einer Simulation durch Kürzen des oberen Endes des Bassbalkens deutlich in ihrer Frequenz erhöht werden, was auf einen entschiedenen Masseinfluss des Bereichs für diese Mode hinweist. Zusätzlich stellte RODGERS in einer weiteren Arbeit des Jahres 1993 fest, dass Einkürzen des Bassbalkens das Verhältnis der Resonanzfrequenzen der ersten und zweiten Mode erhöhen konnte. (Rodgers O. , 1993a) (Rodgers O. , 1993c)

BRETOS stellte 1993 eine Untersuchung zum Bassbalken mit folgenden Ergebnissen an: Einsetzen des Bassbalkens zerstört zunächst die fünfte Mode komplett, Ausarbeiten des Balkens stellt diese aber in leicht veränderter Form wieder her. Das Vibrationsmaximum wird dabei von der Mitte der Steglinie hin zum Stimmstock verschoben. Die erste und zweite Mode werden bei weitem nicht so dramatisch beeinflusst, erfahren aber eine Frequenzverschiebung weg, vom Oktavverhältnis. Bei Deckenholz mit geringer Anisotropie musste für die Erreichung des Oktavverhältnisses weniger Masse entfernt werden. BRETOS schlussfolgerte, dass Hölzer mit einer geringeren Anisotropie einen stärkeren Bassbalken benötigten um das Oktavverhältnis zu erreichen. Als Messgröße führte Bretos das Verhältnis von Resonanzfrequenz zu Masse der Platte ein und erhielt für Platten ohne Bassbalken einen Wert von ca. 4,5 Hz/g und für dieselbe Platte mit Bassbalken von 4,9 Hz/g. (Bretos, Santamaria, & Alonso Moral, 1998)

RODGERS betrachtete den Bassbalken im Jahr 2000 als allgemeinen Balken und schrieb, dass der leichteste Balken mit gegebener Stabilität der sei, dessen höchster Punkt direkt unter der Last läge und dessen Höhe von dort aus abfalle. Als maßgebliche dynamische Funktion des Bassbalkens wird dabei das Einbringen von Asymmetrie genannt. RODGERS notierte, dass sich der Bassbalken bei niedrigen Frequenzen wie eine steife Masse verhält und die tiefste Resonanzfrequenz des Korpus bei der der Bassbalken eine Rolle spielt, die B1 bei ca. 450 Hz ist. Dabei bewegt sich der Bassbalken als Ganzes und die Decke bewegt sich im Bereich des Bassbalkens am stärksten. Die nächsthöhere Mode, in der er eine Rolle spielt liegt zwischen 720 und 900 Hz, wobei das Zentrum des Balkens steif ist und der Balken sowie der an ihm angehängte Teil der Decke um eine Achse parallel zum Steg schaukelt. Es bewegt sich dabei also das obere Ende des Bassbalkens entgegengesetzt zum unteren. Experimente zeigten, dass sich diese Mode besser ausbildete, wenn

durch Positionsänderung des Stimmstocks eine Gegenphasigkeit der Deckenbereiche im Unterbug auf der Bassbalkenseite und der restlichen Decke eingestellt wurde. Im Bereich ab 1.000 Hz trägt der Bassbalken maßgeblich zur Asymmetrie bei. So ist z.B. die Resonanzfrequenz der bassbalkenseitigen F-Loch Klappe leicht höher als die der gegenüberliegenden. Resonanzen im Deckenbereich um den Bassbalken müssen ihre prinzipielle Achse entlang dem Bassbalken haben, während Resonanzen der gegenüberliegenden Hälfte nur im Stimmstockbereich eingeschränkt sind. Ab 2.000 Hz wird der Einfluss des Bassbalkens als gering eingeschätzt. Er verhält sich als eins der schwingenden flexiblen Elemente. (Rodgers O., 1999)

BELDIE setzte den Bassbalken 2003 mit dem Bridge Hill Feature in Verbindung und schrieb, dass ein dünnerer Bassbalken durch seinen Einfluss auf die Eigenschaften des mittleren Deckenbereichs die maximal erreichbare Bridge Hill Frequenz eines Korpus, von der BELDIE und JANSSON ausgingen, senken könnte. (Beldie, 2003)

2006 untersuchte JANSSON die Schwingungen des Steges bei gleichmäßiger Anregung über die D-Saite (293 Hz) durch ein Rad. Die horizontale Komponente der Bewegung war dabei ca. 10-mal größer als die vertikale auf der Bassbalkenseite. Die Bass- und Diskantseite des Steges schwingen gegenphasig und die vertikale Amplitude auf der Diskantseite war geringer. (Jansson, Gren, Tatar, Granström, & Molin, 2006)

HOFFMANN untersuchte 2008 die Einflüsse des Bassbalkens, indem er einen Cellobalken nach BEARE durch Karbonstreifen verstärkte und die Masse durch Bohrungen orthogonal zur Balkenebene verringerte. Nach mehreren Versuchen wurde ein 25 g schwerer Balken mit zwei GFK-Karbonstreifen hergestellt, der damit um ca. 30 % leichter als vergleichbare herkömmliche Bassbalken war. Hierdurch stieg die fünfte Mode der freien Platte um 23 Hz. Durch zusätzliche Massebelegung des Balkens mittels Magneten konnte allerdings selbst im Extremfall von 24 g Massezugabe keine Verschiebung der zweiten und fünften Moden erzeugt werden. Dies wurde mit der hohen Steifigkeit des Bassbalkens begründet, deren Einfluss den der Masse überwogen haben könnte. Eine Tendenz zu erhöhter Dämpfung mit größerer Masse wird im Ergebnis als bestätigt gesehen. (Hoffmann, 2008)

STOCK charakterisierte die Hauptfunktion des Bassbalkens 2008 zweifaltig: Die statische Funktion, die Decke gegen den Stegdruck zu stützen und Risse zu vermeiden, sowie die dynamische Funktion der Herstellung einer Asymmetrie und dadurch verbesserter Abstrahlungseigenschaften oberhalb von 500 Hz. Als entscheidende Parameter des Bassbalkens nannte er Biegesteifigkeit, Masse und das Verhältnis von Biegesteifigkeit zu Massebelegung. HUTCHINS sowie RODGERS belegen eine Abhängigkeit der ersten Deckenresonanz vom Bassbalken, die durch einen starken Balken um 10 Hz angehoben und durch Materialabtrag um 8 Hz gesenkt werden konnte. Nach BROWN und CAMPBELL beeinflusst die Ausrichtung des Bassbalkens die Ausbildung der A0 Mode. Demzufolge bildet sich bei stärkerer Schrägstellung ein breiterer Peak mit niedrigerer Amplitude aus. (Stock, 2008)

ZINK baute 2014 in ein Instrument unterschiedlich gebogene Bassbalken ein und verglich deren klangliche Ergebnisse mit einem geraden Balken. In den Messungen zeigte er, dass nach innen gebogene Balken eine bessere Bassabstrahlung hatten, aber leiser waren, gerade Bassbalken waren am lautesten und nach außen gebogen besaßen die beste Höhenabstrahlung. Alle vorliegenden Messungen waren dabei allerdings mit deutlichen Messfehlern belegt und sollten daher nur als Tendenzen gesehen werden. (Zink, 2014)

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass selbstverständlich allen Arbeiten ein gewisser Fehler innewohnt. Inwiefern dieser auch diskutiert wird ist von Fall zu Fall unterschiedlich. Bei der zuletzt genannten Arbeiten wurde völlig zurecht auf die beobachteten Unzulänglichkeiten hingewiesen,

wovon nicht bei allen Veröffentlichungen ausgegangen werden kann.

2017 diskutierte GOUGH erneut den Einfluss des Bassbalkens auf den Bridge Hill. Ohne Stimme und Bassbalken konnte sich in seinen Simulationen kein Bridge Hill ausbilden, wohingegen er sich mit beiden Bauteilen wie gewohnt darstellte. Wurde nur eins der beiden Elemente eingefügt, wurden sehr ähnliche entgegengesetzt wirkende Effekte beobachtet und kein Bridge Hill kam zustande. Der Bassbalken scheint demzufolge also eine wichtige Rolle in der Ausbildung eines Bridge Hill Features zu besitzen, was mit seinem Einfluss auf die Eigenschaften des mittleren Deckenbereichs begründet wird. (Gough C. , 2017)

2018 beschäftigte sich GOUGH noch einmal auf allgemeinere Art und Weise mit dem Bassbalken. Bassbalken und Stimmstock brechen die Symmetrie des mittleren Deckenbereichs, wobei der Bassbalken Ober- und Unterbug mit diesem verbindet und so die Energieübertragung zwischen allen drei Bereichen verbessert. Gleichzeitig verhindert er für andere Moden, dass ihre Knotenlinien ihn kreuzen. Für einige Moden im mittleren bis tiefen Frequenzbereich hat der Bassbalken einen geringen Einfluss auf die Frequenzlage, aber einen deutlichen auf ihre Modenstruktur und damit ihre Abstrahlungseigenschaften. Durch Einbringen des Bassbalkens wird eine neue Mode bei 3.500 Hz gebildet, die nur ohne Stimmstock beobachtet werden konnte. Die Admittanz wird durch den Bassbalken in tiefen Frequenzbereichen für parallele Anregung deutlich höher als für senkrechte, wobei sie bei 4.000 Hz wieder bei ähnlichen Werten liegen.

5.2 Der Einfluss des Bassbalkens auf die Modenstruktur der Violine

Der Bassbalken besitzt einen deutlichen Einfluss auf die drei meist betrachteten freien Plattenmoden vor allem die fünfte oder Ring-Mode. Dies ist mit seiner maßgeblichen Versteifung der Platte in Längsrichtung und der starken Abhängigkeit der fünften Mode von der Langsteifigkeit zu begründen. Aufgrund dessen kann er als Hauptmittel zur Abstimmung der fünften Mode in relativer Unabhängigkeit von den anderen Plattenmoden verwendet werden. Die erste und zweite Mode ist allerdings selbstverständlich nicht gänzlich unabhängig von seinen Eigenschaften.

Vermutlich folgend aus den Moden der freien Platte hängt auch die B1 Mode des fertigen Instruments von den Eigenschaften des Bassbalkens ab. So kann sie durch einen schwächer ausgearbeiteten Balken generell in Frequenz und Amplitude gesenkt werden, wobei das obere Ende des Bassbalkens hauptsächlich als Masse wirkt, weswegen z.B. ein Einkürzen in diesem Bereich die Frequenz und Amplitude der B1 Mode erhöhen kann. (Rodgers O. , 1993a)

Die Bedeutung der B1 Mode ist dabei für den Klang des Instruments relativ groß und es zeigen sich in der Literatur zahlreiche Hinweise auf starke Verknüpfungen mit weiteren Moden des Instruments. So wird z.B. vermutet, dass die Anregung der A0 Mode maßgeblich durch die B1 stattfindet, was die von HUTCHINS vermutete Bedeutung der A1-B1 und A0-B1 deltas begründen würde. (Gough C. , 2015) Eine optimale Abstimmung der B1 durch geeignete Einstellung des Bassbalkens würde also große Einflüsse auf klangliche Eigenschaften des Instruments besitzen.

Der Bassbalken erzeugt entlang seiner Ausdehnung für Moden in seinem Bereich eine Knotenlinie, ähnlich dem Stimmstock, der diese Eigenschaft weitaus lokalisierter an seinen Kontaktpunkten mit Decke und Boden aufweist. Zusammen mit der Stimme bringt er Asymmetrien in die Modenstruktur ein.

Ein Einfluss des Bassbalkens auf das Bridge Hill Feature ist zwar nicht eindeutig nachgewiesen und in der Literatur deutlich umstritten, erscheint dem Autor allerdings nicht wenig plausibel. In jedem Falle kann bei Messungen eine mögliche Rolle des Bassbalkens im Hinterkopf behalten und im

Einzelfall darauf geachtet werden, ob Einflüsse beobachtet werden können.

5.3 Zusammenfassung praktisch anwendbarer Hinweise

Flachere Wölbungen benötigen einen höheren und damit schwereren Bassbalken, um dieselben freien Plattenmoden erreichen zu können. Da ein Einfluss der freien Plattenmoden auf die Moden des Instruments von einigen Studien nahegelegt wird, vor allem auf die B1, sollten diese in der Ausarbeitung berücksichtigt werden. (Rodgers O., 1993c) Höher gewählte Wölbungen würden demnach einen flacheren und leichteren Bassbalken ermöglichen und möglicherweise das Masse-Stefigkeitsverhältnis verbessern, wodurch wiederum die abgestrahlte Energie vergrößert werden sollte. Eine größere Schrägstellung des Bassbalkens kann seinen Einfluss auf die zweite und ggf. erste Plattenmode relativ zur fünften erhöhen, sollte dies gewünscht sein.

Die Wahl eines geeigneten Bassbalkenprofils kann ebenfalls zur Erreichung eines verbesserten Masse-Stefigkeitsverhältnisses beitragen. Dabei sollten Profile mit möglichst großem Flächenträgheitsmoment bevorzugt werden. Es sollte aber bedacht werden, dass prinzipiell auch deutlich höhere Bassbalken, als dies üblich ist, Anwendung finden können. STOCK machte diese Beobachtung bereits in seiner Arbeit aus dem Jahre 2008, in der er ein bei einer fixierten Höhe optimales Bassbalkenprofil wählte und anschließend fand, dass eine weitere Optimierung durch einen höheren Balken mit einem anderen Profil möglich gewesen wäre. (Stock, 2008)

Auf Grund des starken Masseinflusses des oberen Bassbalkenendes in der Ausbildung der B1 Mode, könnte dieser Bereich dafür genutzt werden, die B1 in die gewünschte Richtung abzustimmen. Eine Verringerung der Masse oder Einkürzung des oberen Bassbalkenendes würde dabei Frequenz und Amplitude der B1 steigern. Dies wurde vom Autor bereits in einer Arbeit angewendet und führte zu klanglich zufriedenstellenden Ergebnissen. Ob diese auch auf das hier diskutierte Detail zurückgeführt werden können ist nicht geklärt. (Jost, 2020)

6. Fazit und Ausblick

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass ein guter Überblick über und Verständnis von relevanter Literatur zu den gewählten Themengebieten und darüber hinaus gewonnen werden konnte. Die bestehenden Arbeiten von z.B. HUTCHINS und WOODHOUSE konnten dabei ergänzt, spezifiziert und auf einen aktuellen Stand gebracht werden.

Eine große Stärke der vorliegenden Arbeit besteht des Weiteren in ihrer Nähe zu eventuellen Lesern, in denen maßgeblich zukünftige Studenten und Studentinnen gesehen werden. Es konnten praxistaugliche Empfehlungen zu allen drei Themengebieten auf wissenschaftlich fundierter Grundlage gegeben werden. Außerdem kann jede in dieser Arbeit getroffene Aussage durch den Leser anhand der digital hinterlegten Quellen schnell und einfach überprüft und ein vertieftes Verständnis gewonnen werden. Auch liefert diese Datenbasis eine gute Grundlage für Recherchearbeiten zukünftiger Veröffentlichungen und stellt hoffentlich den Beginn einer kollaborativen Quellensammlung in digitaler Weise am Studiengang dar.

Für den Autor selbst wird diese Arbeit als Nachschlagewerk bei weiteren wissenschaftlich informierten Arbeiten und in der Werkstatt dienen. Die Quellensammlung wird dabei weitergeführt und mit zusätzlichen Themengebieten versehen werden, wie dies schon demonstrativ in der zugrunde liegenden Tabelle vorgenommen wurde. Auf diese Weise werden die im Rahmen dieser Abschlussarbeit aufgewendeten Stunden über den weiteren Verlauf meines Arbeitslebens viele Entscheidungen und noch zu bildende Meinungen mitbestimmen und formen.

Literaturverzeichnis

1. Achterhold, K., Marschke, S., Pfeiffer, F., Ring, W., & Wunderlich, L. (2019). *An approach to construct a three-dimensional isogeometric model from u-CT scan data with an application to the bridge of the violin*. München: Technische Universität München.
2. Beldie, I. (1968). *Die Bestimmung der Schubmoduln des Fichtenholzes*. Bukarest: Forstliche Forschungsanstalt Bukarest.
3. Beldie, I. (2003). *About the bridge hill mystery*. Berlin: Catgut Acoustical Society.
4. Bernstein, R. (1981). *Tuning the top of a new family small bass*. Catgut Acoustical Society.
5. Bissinger, G. (1992a). *Effect of f-hole shape, area, and position on violin cavity modes below 2 kHz*. Greenville, NC: Catgut Acoustical Society.
6. Bissinger, G. (1992b). *Semiempirical relationships for A0 and A1 cavity mode frequencies for bowed string instruments of the violin, viola and cello family*. Greenville, NC: Catgut Acoustical Society.
7. Bissinger, G. (1992c). *The effect of violin cavity volume (height) changes on the cavity modes below 2 kHz*. Greenville, NC: Catgut Acoustical Society.
8. Bissinger, G. (1995a). *Modal Analysis Comparison of New Violin Before and After - 250 Hours of Playing*. Greenville, NC: The Internatuinal Society for Optical Engineering.
9. Bissinger, G. (1995b). *Modal analysis study of mode frequency and damping changes due to chemical treatments of the violin bridge*. Greenville, NC: Acoustical Society of America.
10. Bissinger, G. (1995c). *Some mechanical and acoustical consequences of the violin soundpost*. Greenville, NC: Acoustical Society of America.
11. Bissinger, G. (1996a). *Acoustic normal modes below 4 kHz for a rigid, closed violin-shaped cavity*. Greenville, NC: Acoustical Society of America.
12. Bissinger, G. (1996b). *Ambiguity in A1 - B1 delta Criterion for Violin Tone and Quality*. Greenville, NC: Catgut Acoustical Society.
13. Bissinger, G. (1998). *A0 and A1 coupling, arching, rib height, and f-hole gemetry dependence in the 2 degree-of-freedom network model of violin cavity modes*. Greenville, NC: Acoustical Society of America.
14. Bissinger, G. (2004). *The role of radiation damping in violin sound*. Greenville, NC: Acoustical Society of America.
15. Bissinger, G. (2006). *The violin bridge as filter*. Greenville, NC: Acoustical Society of America.
16. Bissinger, G. (2008). *Structural acoustics model of the violin radiativity profile*. Greenville, NC: Acoustical Society of America.
17. Bissinger, G. (2008). *Structural acoustics of good and bad violins*. Greenville, NC: Acoustical Society of America.
18. Bissinger, G. (2012). *Parametric plate-bridge dynamic filter model of violin radiativity*. Greenville, NC: Acoustical Society of America.
19. Bissinger, G., & Greforian, A. (2003). *Relating Normal Mode Properties of Violins to Overall Quality: Part I: Signature Modes*. Greenville, NC: Catgut Acoustical Society.
20. Bissinger, G., & Hutchins, C. (1981). *"Q" Measurements of Mode #2 and Mode #5 in a Number of Violin and Viola Top and Back Plates*. Greenville, NC: Catgut Acoustical Society.
21. Bissinger, G., & Hutchins, C. (1985). *Air-Plate and Neck Fingerboard Coupling and the "Feel" of a Good Violin*. Greenville, NC: Catgut Acoustical Society.
22. Bissinger, G., & Hutchins, C. (1988). *A1 Cavity-Mode-Enhanced fundamental in bowed violin and viola sound*. Greenville, NC: Catgut Acoustical Society.
23. Bissinger, G., Van Karse, C., & Pyrkosz, M. (2011). *Converting CT Scans of a Stradivari Violin to a FEM*. Jacksonville, FL: Society of Experimental Mechanics.
24. Bissinger, G., Williams, E., & Valdivia, N. (2006). *Violin f-hole contribution to far-field radiation via patch near-fiel acoustical holography*. Greenville, NC: Acoustica Society of America.

25. Boutin, H., & Besnainou, C. (2008). *Physical parameters of the violin bridge changed by active control*. Paris: Acoustics 08 Paris.
26. Bretos, J., Santamaria, C., & Alonso Moral, J. (1998). *Effect of the bass bar on the free violin top plate studied by finite element analysis*. Bilbao: Catgut Acoustical Society.
27. Caldersmith, G. (1979). *A nes fiddle family - The Almas*. Catgut Acoustical Society.
28. Caldersmith, G. (1988a). *Vibration theory and wood properties*. Latham, Australien: Catgut Acoustical Society.
29. Caldersmith, G. (1988b). *Vibration theory and wood properties II*. O'Connor, Australien: Catgut Acoustical Society.
30. Caldersmith, G., & Freeman, E. (1990). *Wood properties from sample plate measurements I*. O'Connor, Australien: Catgut Acoustical Society.
31. Carlson, M., & Kilbride, G. (2019). *Statistical analysis of violin, viola, and cello bridges*. Alberta: J. Violin Society of America.
32. Carrillo, A., Bonada, J., Pätyen, J., & Välimäki, V. (2011). *Method for measuring violin sound radiation based on bowed glissandi and its application to sound synthesis*. Barcelona: Acoustical Society of America.
33. Carruth, A. (1994). *An inexpensive air resonance mode tester*. Dedham, MA: Catgut Acoustical Society.
34. Condax, L. (1964). *The soundpost of the violin*. Catgut Acoustical Society.
35. Cremer, L. (1981). *Die Physik der Geige*.
36. Cremer, L. (1990). *Remarks on the prediciton of eigenmodes of violins*. Miesbach: Catgut Acoustical Society.
37. Curtin, J. (2005). *Bridge Tuning: Methods and Equipment*. Ann Arbor, MI: Violin Society of America.
38. Curtin, J. (2009). *Measuring violin sound radiation using an impact hammer*. Ann Arbor, MI: Violin Society of America.
39. Dünwald, H. (1991). *Deduction of objective quality parameters on old and new violins*. Erkelenz-Golkroth: Catgut Acoustical Society.
40. Ebbelwhite, F., & Barton, E. (1910). *Vibration curves of violin bridge and strings*. Nottingham: Iniversity College, Nottingham.
41. Ekwall, A. (1981). *A study of the Stradivari-Sacconi Violin arching for getting a computerizable arching of the same type*. Smedjebacken, Schweden: Catgut Acoustical Society.
42. Fang, N., & Rodgers, O. (1992). *Violin soundpost elastic vibration*. Newark, Delaware: Catgut Acoustical Society.
43. Field, C. (1993). *Effects of f-holes and bassbar on the frequencies of violin and viola top plates*. Oak Ridge, TN: Catgut Acoustical Society.
44. Fleischer, H. (2010). *Schall, Schwingung und Stegkonduktanz des Cellos*. Neubiberg: Institut für Mechanik Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik Universität der Bundeswehr München.
45. Fox, S. (1989). *Thinning movable-foot violin and viola bridges to improve tone quality*. Bethlehem, PA: Catgut Acoustical Society.
46. Ganbat, G. (2013). *Zum Einfluss der Spannung beim Bassbalken*. Markneukirchen: Westsächsische Hochschule Zwickau.
47. Gough, C. (1983). *The nonlinear free vibration of a damped elastic string*. Birmingham: J. Acoustical Society of America.
48. Gough, C. (2011). *Violin bow vibrations*. Birmingham: Acoustical Society of America.
49. Gough, C. (2015). *Violin plate modes*. Birmingham, England: Acoustical Society of America.
50. Gough, C. (2016). *Violin Acoustics*. Birmingham: Acoustical Society of America.
51. Gough, C. (2017). *Influence of the Bridge, Island Area, Bass Bar and Soundpost on the Acoustic Modes of the Violin*. Montreal, Canada: Proceedings of the 2017 Internationals

Symposium on Musical Acoustics.

52. Gough, C. (2018). *The violin bridge-island input filter*. Brimingham, England: Acoustical Society of America.
53. Haas, M., & Giltay, J. (1909). *On the motion of the bridge of the violin*. Amsterdam: Huygens Institute - Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences (KNAW).
54. Haines, D. (1979). *On Musical Instrument Wood*. Catgut Acoustical Society.
55. Haines, D. (1980). *On musical instrument wood - Part II Surface finishes, plywood, light and water exposure*. Ardsley, NY: Catgut Acoustical Society.
56. Hoffmann, C. (2008). *Zum Einfluss der Masse beim Bassbalken*. Markneukirchen: Westsächsische Hochschule Zwickau.
57. Hutchins, C. (1964). *Notes on plate testing and variables*. Catgut Acoustical Society.
58. Hutchins, C. (1966a). *That elusive clear full ring*. Catgut Acoustical Society.
59. Hutchins, C. (1966b). *Tuning top and back plates electronically*. Catgut Acoustical Society.
60. Hutchins, C. (1967). *Plate Tuning - A Progress Report*. Catgut Acoustical Society.
61. Hutchins, C. (1971). *Clarification of free plate tap tones by hologram interferometry*. Catgut Acoustical Society.
62. Hutchins, C. (1973). *Progress Report on a Method of checking eigenmodes of free violin plates during instrument construction*. Catgut Acoustical Society.
63. Hutchins, C. (1974). *A note on the function of the soundpost*. Catgut Acoustical Society.
64. Hutchins, C. (1976). *Free Plate Resonances of 16 Conventional Violas (Abstract)*. Catgut Acoustical Society.
65. Hutchins, C. (1977a). *Acoustics for the Violin Maker III*. Catgut Acoustical Society.
66. Hutchins, C. (1977b). *Another piece of the free plate tap tone puzzle*. Catgut Acoustical Society.
67. Hutchins, C. (1979). *A possible rationale for tuning violin free plates to a given narrow frequency range*. Catgut Acoustical Society.
68. Hutchins, C. (1982). *Violin Makers' Electronic Test Equipment*. Catgut Acoustical Society.
69. Hutchins, C. (1983a). *A history of violin research*. Montclair: Catgut Acoustical Society.
70. Hutchins, C. (1983b). *Physical Measurements on sampling of european spruce and maple for violin top and back plates*. Catgut Acoustical Society.
71. Hutchins, C. (1983c). *Plate tuning for the violin maker*. Montclair, NJ: Catgut Acoustical Society.
72. Hutchins, C. (1984). *A note on practical bridge tuning*. Montclair: Catgut Acoustical Society.
73. Hutchins, C. (1985). *Effect of an air-body coupling on the tone and playing qualities of violins*. Montclair, NJ: Catgut Acoustical Society.
74. Hutchins, C. (1987). *Some notes on free plate tuning frequencies for violins, violas and cellos*. Montclair, NJ: Catgut Acoustical Society.
75. Hutchins, C. (1989). *A measurable controlling factor in the tone and playing qualities of violins*. Montclair, NJ: Catgut Acoustical Society.
76. Hutchins, C. (1991). *A rationale for BI-TRI OCTAVE plate tuning*. Montclair, NJ: Catgut Acoustical Society.
77. Hutchins, C., & Bissinger, G. (1976). *Tuning the bass bar in a violin plate I*. Catgut Acoustical Society.
78. Hutchins, C., & Bissinger, G. (1978). *Tuning the bass bar in a violin plate II*. Catgut Acoustical Society.
79. Hutchins, C., & Rodgers, O. (1992). *Methods of changing the frequency spacing (delta) between the A1 and B1 modes of the violin*. Catgut Acoustical Society.
80. Hutchins, C., Creel, W., & Rogers, P. (2000). *Focus on stringed instrument research and development*. Catgut Acoustical Society.
81. Jansson, E. (1973). *On higher air modes in the violin*. Catgut Acoustical Society.
82. Jansson, E. (1990). *Experiments with the violing string and bridge*. Stockholm: Elsevier

- Science Publisher Ltd.
83. Jansson, E. (2004). *Violin frequency response - bridge mobility and bridge feet distance*. Stockholm: Elsevier Ltd.
84. Jansson, E. (2009). *On the prominence of the violin bridge hill in notes of played music*. Stockholm: Violin Society of America.
85. Jansson, E. V., Fryden, L., & Mattson, G. (1990). *On tuning of the violin bridge*. Stockholm: Acoustical Society of America.
86. Jansson, E., & Day, R. (1993). *Vibration modes of neck, scroll and fingerboard*. Stockholm: Catgut Acoustical Society.
87. Jansson, E., & Kabala, A. (2018). *On the influence of arching and material on the vibration of a shell - towards understanding the soloist violin*. Stockholm: Vibrations in physical systems.
88. Jansson, E., & Niewczyk, B. (1989). *Experiments with violin plates and different boundary conditions*. Stockholm: Acoustical Society of America.
89. Jansson, E., & Niewczyk, B. (1999). *On the acoustics of the violin: bridge or body hill*. Stockholm: Catgut Acoustical Society.
90. Jansson, E., Barczewski, R., & Kabala, A. (2016). *On the violin bridge hill - comparison of experimental testing and FEM*. Stockholm: Vibrations in physical systems.
91. Jansson, E., Bork, I., & Meyer, J. (1986). *Investigations into the acoustical properties of the violin*. Braunschweig: Acustica.
92. Jansson, E., Gren, P., Tatar, K., Granström, J., & Molin, N. (2006). *Laser vibrometry measurements of vibration and sound fields of a bowed violin*. Stockholm: Institute of physics publishing.
93. Jansson, E., Molin, N., & Lindgren, L. (1988). *Parameters of violin plates and their influence on the plate modes*. Stockholm: Acoustical Society of America.
94. Jansson, E., Molin, N., & Saldner, H. (1994). *On eigenmodes of the violin - electronic holography and admittance measurements*. Stockholm: Acoustical Society of America.
95. Jost, L. (2020). *Bau einer Violine in Anlehnung an das Modell „Tuscan“ von Antonio Stradivari mit besonderem Augenmerk auf die akustische Abstimmung*. Markneukirchen: Westsächsische Hochschule Zwickau.
96. Junko, M. (2003). *Untersuchung der Geigenstimme*. Markneukirchen: Westsächsische Hochschule Zwickau.
97. Killion, M. (1994). *The effect of extended playing on the tone of new violins*. Elk Grove Village, IL: Catgut Acoustical Society.
98. Kishi, K. (1998). *Influence of the weight of mutes on tones of a violin family*. Tokio: University of Electro-Communications, Tokio.
99. Kishi, K., & Osanai, T. (1991). *Vibration analysis of the cello bridge using the finite element method*. Chofu, Tokyo: Acoustical Society of America.
100. Knott, G. (1987). *A modal analysis of the violin using MSC/NASTRAN and PATRAN*. Monterey: Naval postgraduate school monterey, california.
101. Marshall, K. (1984). *Modal analysis of a violin*. Brecksville, Ohio: Acoustical Society of America.
102. Matsutani, A. (2002). *Study on bridge of violin by photoelastic observation*. Tokio: The japan society of applied physics.
103. Meyer, J. (2019). *Untersuchungen zur Abstimmung der Eigenfrequenz des Geigensteges*. Markneukirchen: Westsächsische Hochschule Zwickau.
104. Miles, J. (1994). *Simple method to measure air resonance modes*. Wayland, MA: Catgut Acoustical Society.
105. Miles, J. (1996). *Tuning the a1 mode without changing the body size of an instrument*. Wayland, MA: Catgut Acoustical Society.
106. Minnaert, M., & Vlam, C. (1937). *The vibrations of the violin bridge*. Utrecht: Physica.
107. Molin, N., Tinnsten, M., Wiklund, U., & Jansson, E. (1986). *A violinmakers practical test of*

- wood properties suggested from FEM-Analysis of an orthotropic shell.* Lulea, Schweden: Catgut Acoustical Society.
108. Moral, A., & Jansson, E. (1982). *Input admittance, eigendmodes, and quality of violins.* KTH Computer Science and Communication.
 109. Movassagh, M. (2009). *On the Bridge-Hill of the Violin.* McGill University.
 110. Müller, H. (1979). *The function of the violin bridge.* Mittenwald: Catgut Acoustical Society.
 111. Rechenberg, J. (2011). *Zur Funktion des Geigensteges.* Markneukirchen: Westsächsische Hochschule Zwickau.
 112. Reinicke, W. (1973). *Übertragungseigenschaften des Streichinstrumentensteges.* Berlin: Technische Universität Berlin.
 113. Richardson, B., Roberts, G., & Walker, G. (1987). *Numerical modelling of two violin plates.* Cardiff, England: University College, Cardiff.
 114. Rodgers, O. (1986). *Initial Results on Finite Element Analysis of Violin Backs.* Delaware: University of Delaware.
 115. Rodgers, O. (1988). *The effect of the elements of wood stiffness on violin plate vibration.* Wellingford, PA: University of Delaware.
 116. Rodgers, O. (1990). *Relative influence of plate arching and plate thickness patterns on violin back free plate tuning.* Newark, Delaware: University of Delaware.
 117. Rodgers, O. (1991a). *Effect on plate frequencies of local wood removal from violin plates supported at the edges.* Newark, DE: University of Delaware.
 118. Rodgers, O. (1991b). *Influence of local thickness changes on violin top plate frequencies.* Newark, Delaware: Catgut Acoustical Society.
 119. Rodgers, O. (1993a). *Influence of bassbar length on free plate frequencies of a violin top.* Newark, Delaware: Catgut Acoustical Society.
 120. Rodgers, O. (1993b). *Influence of local thickness changes on violin top plate frequencies, Part 2.* Newark, DE: Catgut Acoustical Society.
 121. Rodgers, O. (1993c). *Tri-octave tuning of violin top free plates.* Newark, Delaware: Catgut Acoustical Society.
 122. Rodgers, O. (1994). *The effect of the musical key on perceived violin tonal quality.* Newark, DE: Catgut Acoustical Society.
 123. Rodgers, O. (1997a). *Another look at the swiss cheese violin.* Newark, DE: Catgut Acoustical Society.
 124. Rodgers, O. (1997b). *Effect of sound post adjustment.* Newark, DE: Catgut Acoustical Society.
 125. Rodgers, O. (1998). *Nodal line seeker.* Newark, DE: Catgut Acoustical Society.
 126. Rodgers, O. (1999). *On the function of the violin bass bar.* Newark, Delaware: Catgut Acoustical Society.
 127. Rodgers, O., & Masino, T. (1990). *The effect of wood removal on bridge frequencies.* Newark, Delaware: Catgut Acoustical Society.
 128. Saldner, H., Molin, N., & Jansson, E. (1996). *Vibration modes of the violin forced via the bridge and action of the soundpost.* Lulea, Schweden: Acoustical Society of America.
 129. Saunders, F., Hutchins, C., & Hopping, A. (1960). *Subharmonics and plate tap tones in violin acoustics.* South Hadley, MA: Acoustical Society of America.
 130. Schelleng, J. (1971). *The action of the soundpost.* Catgut Acoustical Society.
 131. Schelleng, J. (1982). *Wood for Violins.* Catgut Acoustical Society.
 132. Schleske, M. (1990). *Speed of sound and damping of spruce in relation to the direction of grains and rays.* Planegg, Deutschland: Catgut Acoustical Society.
 133. Schleske, M. (1996). *Eigenmodes of vibration in the working process of a violin.* München: Catgut Acoustical Society.
 134. Schleske, M. (1996). *On making "tonal copies" of a violin.* München: Catgut Acoustical Society.
 135. Seifert, H. (1993). *Historische und moderne Stegformen und ihr Einfluss auf die Akustik der*

- Geige*. Markneukirchen: Westsächsische Hochschule Zwickau.
136. Sie, A. (1987). *Note on "BITRI OCTAVES" tuned violins*. Hongkong: Catgut Acoustical Society.
 137. Stock, V. (2008). *Zur Funktion des Bassbalkens*. Markneukirchen: Westsächsische Hochschule Zwickau.
 138. Trott, W. (1986). *The violin and its bridge*. Annandale, Virginia: Acoustical Society of America.
 139. Weinreich, G. (1985). *Sound hole sum rule and the dipole moment of the violin*. Ann Arbor, MA: Acoustical Society of America.
 140. Weinreich, G., Mellody, M., & Holmes, C. (2000). *Air-wood coupling and the Swiss-cheese violin*. Ann Arbor, MA: Acoustical Society of America.
 141. Woodhouse, J. (2005). *On the "bridge hill" of the violin*. Cambridge: S. Hirzel.
 142. Woodhouse, J. (2014). *The acoustics of the violin: a review*. Cambridge: Cambridge University.
 143. Woodhouse, J., & McIntyre, M. (1984). *On measuring wood properties, Part 1*. Cambridge: Catgut Acoustical Society.
 144. Woodhouse, J., & McIntyre, M. (1985). *On measuring wood properties, Part 2*. Cambridge: Catgut Acoustical Society.
 145. Woodhouse, J., & McIntyre, M. (1986). *On measuring wood properties, Part 3*. Cambridge: Catgut Acoustical Society.
 146. Zhang, A., Woodhouse, J., & Stoppani, G. (2016). *Motion of the cello bridge*. Acoustical Society of America.
 147. Ziegenhals, G., & Voigtsberger, K. (1996). *Der Einfluß der Stegform auf den Klang der Streichinstrumente*. Zwota: Institut für Musikinstrumentebau, Zwota.
 148. Zink, D. (2014). *Versuch die Bassabstrahlung der Geige zu verbessern durch das Einsetzen gebogener Bassbalken*. Markneukirchen: Westsächsische Hochschule Zwickau.
 149. Zinkhahn, F. (2020). *Belgisches- Französisches Cellostegmodell*. Markneukirchen: Westsächsische Hochschule Zwickau.

Danksagung

Mein Dank gebührt meinen Meistern für Rat und Kritik, meinen Dozenten für Leitung und Inspiration, meinem Freund Andreas Preuss für Diskurs und Motivation, Martin Schleske für seine einzigartige Inspiration, meinen Freunden und Kommilitonen für Kooperation und Freundschaft, meinen Eltern für Korrektur und Beratschlagung und meinem Großvater Udo Greger für ein beispielloses Vorbild an Moral und Arbeitsethik.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts habe ich Unterstützungsleistungen von folgenden Personen erhalten:

.....
.....

Weitere Personen waren an der geistigen Herstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Mit ist bekannt, dass die Nichteinhaltung dieser Erklärung zum nachträglichen Entzug des Diplomabschlusses (Masterabschlusses) führen kann.

Ort, Datum

Unterschrift