

Westsächsische Hochschule Zwickau
Fachbereich Angewandte Kunst Schneeberg
Studiengang Musikinstrumentenbau Markneukirchen

Zum Einfluss der Masse beim Bassbalken
Dokumentation der Projektarbeit im Wintersemester 2008/2009

Vorgelegt von:
Carsten Hoffmann
Matrikelnummer: 23633

Markneukirchen
10.12.2008

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	2
1.1	Gegenstand der Arbeit.....	2
1.2	Ziel der Arbeit.....	2
2	Überblick in der Literatur.....	3
3	Versuch.....	4
3.1	Grundgedanken.....	4
3.2	Vorversuche.....	4
3.3	Hauptversuch.....	7
4	Messungen.....	9
4.1	Messungen der freien Decke.....	9
4.1.1	Messungen der Hauptmoden mit der Chladnimethode.....	9
4.1.2	FFT-Analyse der freien Deckenplatte.....	10
4.2	Messungen am fertigen Instrument.....	12
4.2.1	Subjektive Bewertung.....	12
4.2.2	FFT-Analyse des kompletten Instrumentes.....	15
4.2.3	Fernfeldmessungen.....	17
4.3	Auswertung.....	19
4.4	Ausblick.....	20
	Literaturnachweis.....	22
	Abbildungsverzeichnis.....	23
	Tabellenverzeichnis.....	24
	Danksagung.....	25

1 Einleitung

Die vorliegende Projektarbeit hat den Einfluss der Masse am Bassbalken eines Cellos zum Thema.

1.1 Gegenstand der Arbeit

Mit dieser Arbeit soll versucht werden, konkret an einem Instrument festzustellen, wie sich die Masse auf einen bestimmten Bassbalken auswirkt. Diese Thematik ist bisher in der Literatur eher unterbeleuchtet; das Credo, so steif und leicht wie möglich zu bauen, wird meist ohne Begründung als optimal für den Klang hingestellt.

Dazu wurde in einem Cello ein durch Vorversuche als optimal bestimmter, experimenteller Bassbalken eingeleimt und mit unterschiedlichen Massen an unterschiedlichen Stellen versehen. Die Unterschiede wurden messtechnisch untersucht sowie subjektiv im Klangtest dokumentiert.

1.2 Ziel der Arbeit

Die Zielsetzung der Arbeit war, Erkenntnis darüber zu erlangen, was die Masse zumindest an diesem einen Instrument und mit dieser einen Art von Bassbalken bewirkt. Im weiteren Verlauf lassen sich zumindest tendenziell Rückschlüsse ziehen, die generell den Bassbalken betreffen und darüber hinaus möglicherweise eine Aussage über Masseneinsatz im allgemeinen.

Die gewonnenen Erkenntnisse lassen sich im Werkstattalltag beim Einsetzen eines Balkens leicht über Holz Auswahl und Dimensionen des Balkens umsetzen.

2 Überblick in der Literatur

Als gute Zusammenfassung wichtiger Artikel über den Bassbalken, unterschiedliche Aspekte betreffend, ist die Diplomarbeit „Zur Funktion des Bassbalkens“ von STOCK zu nennen, die in diesem Haus verfasst wurde¹.

Immer wieder taucht dabei der Hinweis auf ein optimales Verhältnis von Masse zu Biegesteifigkeit auf, so bei CURTIN oder BRETOS, SANTAMARIA und MORAL².

CURTIN vermutet dabei, dass ein optimales Verhältnis von Masse zu Steifigkeit zu einer guten Klangabstrahlung im hochfrequenten Bereich führt, bei gleichzeitig geringer absoluter Masse mit guter Ansprache und erhöhter Kraft des Tones³. BRETOS, SANTAMARIA und MORAL fanden in FEM-Simulationen ähnliche Zusammenhänge.

Dabei stellt der Bassbalken selbst eine Versteifung der Decke mit geringem Masseneinsatz dar.

Die Frage stellt sich, ob ein brillanter Ton immer das Optimum darstellt bzw. gerade bei Bratschen und Celli überhaupt gewünscht wird.

Dieser Punkt wird bei RODGERS und ANDERSON erwähnt mit der Beschreibung eines Versuchs, bei dem eine kleine Bratsche durch Aufbringen einer kleinen Zusatzmasse von 2 g (bei ca. 5g Gesamtmasse eines Violabalkens beträchtlich; allerdings werden Dimensionen und Masse des vorhandenen Balkens nicht erwähnt) in der Nähe des Stegs eine deutliche Verbesserung der Bassfrequenzen erfuhr. Ein anderer Versuch erzielte einen offeneren Klang bei einem Cello durch Massenreduktion an den Enden (der Betrag bzw. die Höhe der Enden vor oder nach der Reduktion wird nicht erwähnt)⁴. Hier stellt sich natürlich die Frage der Subjektivität in der Beschreibung von Klang: Möglicherweise ging diese Offenheit zu Lasten der Bassabstrahlung bzw. Dunkelheit der Klangfarbe und Modulationsfähigkeit.

Grundsätzlich werden in beschriebenen Versuchen die Dimensionen eher in Bezug auf die Steifigkeit des Systems verändert, besonders in denen, die mit Chladni-Bildern die Modenstruktur nach HUTCHINS optimieren⁵.

¹Vgl. Stock 2008, v.a. Kap. 3.5.4.

²Vgl. Bretos, Santamaria, Moral 1998, S. 19

³Vgl. Curtin 2006, S. 164

⁴Vgl. Rodgers & Anderson 2000, S.138, 145f.

⁵Vgl. Bissinger & Hutchins 2000a, S. 68

3 Versuch

3.1 Grundgedanken

Aufgrund von selbst gemachten Erfahrungen im Cellobau, nach denen ein sehr stabiler Bassbalken (ca. 40 g) die Bassabstrahlung deutlich verbessert und zu „knackigen“ Bässen führt, stellte sich die Frage, was der Grund dafür ist: Die erhöhte Steifigkeit (bei der die Masse „in Kauf“ genommen wird, aber eigentlich unnützlich ist und durch den Einsatz anderer Materialien weiter optimiert werden könnte) oder die zusätzliche Masse oder beides und es existiert ein Optimum bzw. der Klangeindruck lässt sich durch eine Veränderung des Verhältnisses in die eine oder andere Richtung bewusst steuern.

Für einen Versuch bot sich aus praktischen Gründen die Konstanthaltung der Steifigkeit (in einem sehr hohen Maß) und Variation der Masse mittels Magneten an, zumal bei diesem Versuch die Veränderung der Verhältnisse ohne Öffnen des Instrumentes und binnen weniger Sekunden zu bewerkstelligen ist (was im subjektiven Klangtest einem besseren Vergleich dient).

Der eingesetzte Bassbalken ist von vornherein als „Hilfsbalken“ geplant und wird nach Abschluss dieser Projektarbeit durch einen konventionellen Balken aus Holz ersetzt werden. Die Erkenntnisse, die aus der folgenden Versuchsreihe gewonnen wurden, werden dann bei der Holz Auswahl und Dimensionierung natürlich berücksichtigt.

Die Erkenntnisse, die aus diesem Versuch gewonnen werden, sind zunächst nur für genau dieses Cello gültig; ich denke jedoch, dass sich allgemein Rückschlüsse auf Bassbalken zumindest in Celli, wenn nicht auf Einsatz von Masse im allgemeinen schließen lassen.

3.2 Vorversuche

Inspiziert von BEARE versuchte ich zunächst an einer Geigendecke, einen Bassbalken mit gleicher Steifigkeit und deutlich geringerer Masse zu erhalten. Dabei wird ein Karbonstreifen auf den Balken geklebt; der Balken selbst wird durch Bohrungen durchbrochen (s. Abb. 1)⁶. Die Steifigkeit kontrollierte ich durch die Klopföne der 2. und 5. Moden der Decke; dabei ist zu bemerken, dass ein leichterer Balken einen höheren Klopfon als ein schwererer ha-

⁶Vgl. The Strad May 2006, S. 46f.

ben muss, um die gleiche Steifigkeit zu besitzen (da die Frequenz des Klopftons proportional ist zum Quotienten aus Steifigkeit und Masse).

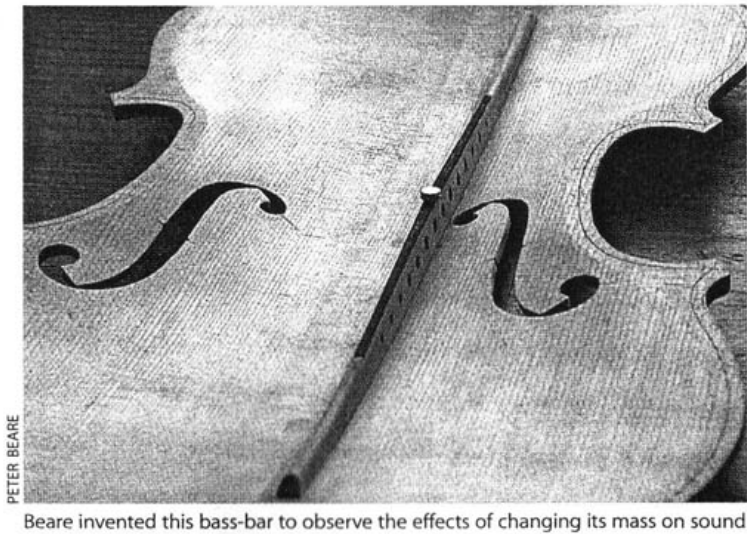


Abbildung 1: Von Peter Beare eingeführter Bassbalken

Im Verlauf zeigte sich, dass ich keine Balkendimension erreichte, die leichter als ein konventioneller wäre; die Durchbohrung des Balkens scheint mir eine zu geringe Massenreduktion zu sein, zumal ja noch eine Haltevorrichtung für Magneten angebracht werden muss. Ich schloss diese Art von Balken also aus.

Im weiteren Verlauf stellte ich Balken mit eingeleimten Karbonfurnieren her, zunächst mit 1, dann mit 2 Furnieren; es zeigte sich jedoch keine Zunahme der Steifigkeit im Balken bzw. eine im Verhältnis zu hohe Gewichtszunahme.

Dabei wurden die Holzteile mit den Karbonfasern gleichzeitig im Epoxydharz verklebt. Es stellte sich die Vermutung ein, dass die handgemachte Laminierung der Karbonfasern nicht gut genug bzw. das Epoxydharz nicht optimal war (s. Abb.2-4)⁷.

⁷Weiterführende Literatur: R & G Faserverbundwerkstoffe GmbH, Katalog 2004



Abbildung 2: Aufgesägter Balken



Abbildung 3: Furnierlage aus Karbonfasern

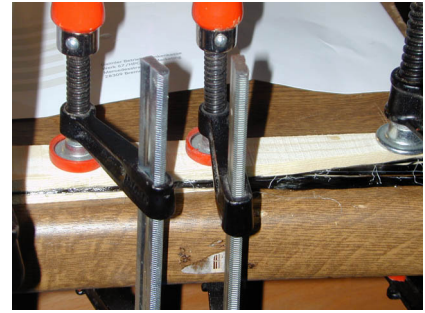


Abbildung 4: Verleimung

Ein mit zwei vorgefertigt gekauften GFK-Karbonstreifen eingelegter Balken mit starker Auskehlung im Querschnitt (alle Masse auf die Höhe konzentriert; s. Abb. 6) stellte dann das Optimum für meine Zwecke dar.

Optimal für den Querschnitt wäre eigentlich ein dreieckiger bzw. ausgekehlt dreieckiger Querschnitt (STOCK kommt zu einem falschen Schluss, da er für seine entwickelten Querschnitte immer das gleiche Grundquadrat behält; ein deutlich höherer dreieckiger Balken wäre jedoch bei gleichem Masseneinsatz deutlich steifer als einer mit doppelt-parabolischem Querschnitt. Die Werkstattpraxis, ein dreieckiges Profil anzunähern, ist also doch „akustisch sinnvoll“ unter dem Aspekt des besten Masse-Steifigkeits-Verhältnisses.), wenn man nur von einem Druck senkrecht von oben in Stegrichtung ausgeht. Die Gefahr ist hierbei jedoch ein „Verschlingern“ des Balkens und damit verbunden Steifigkeitseinbußen. Zudem braucht der Balken auf der Oberkante eine Auflage für die Magneten.



Abbildung 5: Einleimen der unteren Einlage



Abbildung 6: Gewichtsaufnahme an den Enden



Abbildung 7: Gewichtsaufnahme in der Mitte

Dabei stellt die doppelte Versteifung über ca. 2/3 der Länge den Versuch dar, einen ausgekehlt Bassbalken mit geschwungener Oberkante nach Steifigkeit zu imitieren (da ich die Oberkante gerade halten wollte, um das obere Furnier gut einarbeiten zu können).

3.3 Hauptversuch

Der Balken wurde in üblicher Weise eingepasst. Vor dem Einleimen wurde die Nut für das untere Furnier eingeschnitten und das Furnier mit Epoxyd-Harz eingeleimt.

Nach der Verleimung des Balkens wurde das seitliche Profil so gearbeitet, dass die Oberseite gerade ist (um das obere Furnier problemlos einarbeiten zu können) und 25 mm hoch. Dadurch ergibt sich an den Enden eine Höhe von 6,5mm – ausreichend für das 6 mm hohe obere Furnier.

Der Querschnitt wurde dann so gearbeitet, dass ein doppelt-parabolischer Querschnitt angenähert wurde, bei dem in der Mitte bis knapp vor die Furnierstärke abgearbeitet wurde. Die Oberkante brauchte noch eine gewisse Breite zur guten Lagerung der Magnete. Beim Abarbeiten wurde immer wieder die Masse kontrolliert; es sollte ein deutlicher Massegewinn gegenüber einem gleich steifen Holzbalken erreicht werden. Dieser liegt bei diesem Balken mit 25 g gegenüber knapp 40 g bei guten 30 %.

Auf der Oberkante wurden 3 Positionen mit Metallplättchen belegt, um die Magneten halten zu können; diese liegen je eine an den Enden und eine in der Mitte.

Um die Magneten problemlos durch das bassseitige ff-Loch am Balken anhängen zu können, wurden entsprechend lange Vorrichtungen angefertigt (s. Abb. 8); zum Einbringen der Magneten ist ein sehr kleines Metallplättchen auf der Vorrichtung aufgebracht (so dass die Anziehungskraft des Plättchens am Bassbalken höher ist); zum Abnehmen ist eine Schraube in die Vorrichtung eingedreht bzw. wird für die Mitte ein Geigenstimmsetzer verwendet, deren Anziehungskraft viel höher ist als die der Metallplättchen.

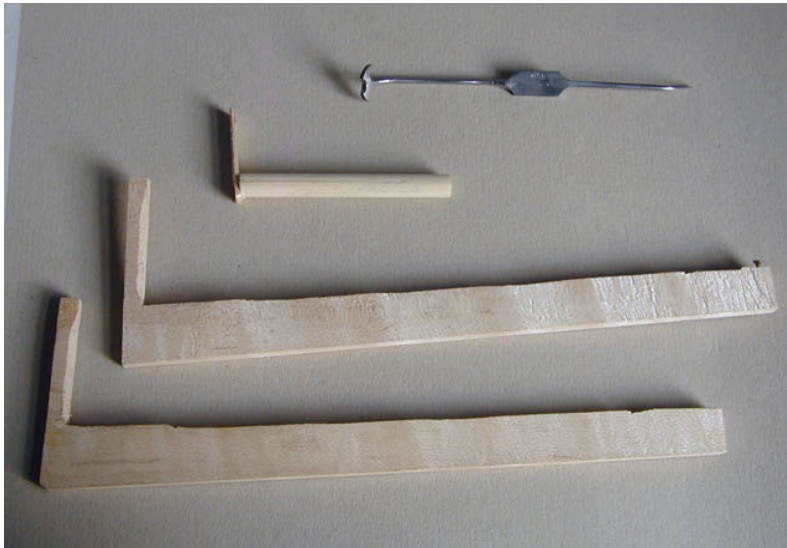


Abbildung 8: Werkzeuge zum Ein- und Ausbringen der Magnete

Die Metallplättchen am Balken wurde noch mit einer dünnen Knetschicht belegt, um ein Wackeln der Magnete und ein daraus resultierendes Störgeräusch zu verhindern.

Das für den Versuch verwendete Cello ist als Semesterarbeit im Wintersemester 2008/2009 mit allen wichtigen Maßen dokumentiert.

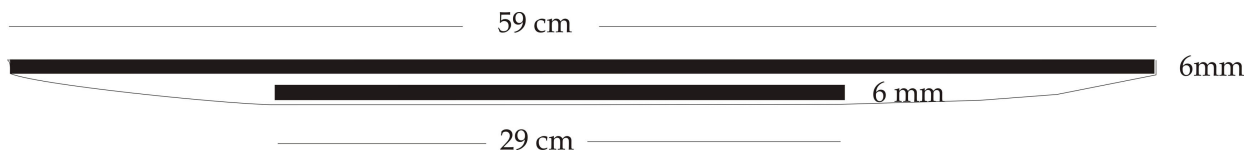


Abbildung 9: Schema des mit GFK-Karbonstreifen verstärkten Balkens

Länge	590 mm
Höhe Mitte	25 mm
Höhe Enden	6,5 mm
Breite unten	10,5 mm
Breite oben	5 mm
Länge unteres Furnier	290 mm
Stärke unteres Furnier	0,9 mm
Höhe unteres Furnier	6 mm
Länge oberes Furnier	590 mm
Stärke oberes Furnier	0,9 mm
Höhe oberes Furnier	6 mm
Gesamtgewicht	25 g
Erhöhung 5. Mode	23 Hz auf 139 Hz
Erhöhung 2. Mode	9 Hz auf 96 Hz
Dichte	0,38 g/cm ³

Tabelle 1: Hauptmaße des Bassbalkens

4 Messungen

4.1 Messungen der freien Decke

Mögliche Veränderungen – v.a. der Klopföne – wurden an der freien Platte untersucht.

4.1.1 Messungen der Hauptmoden mit der Chladnimethode

Die freie Deckenplatte wurde nach der am Fachbereich üblichen Methode mit dem Chladni-Verfahren angeregt.

Die erwartete Veränderung der Hauptmoden (vor allem 2. und 5. Mode) der freien Deckenplatte mit Gewichtsauflagen fand überhaupt nicht statt. Selbst in Extremfällen (24 g Gewichtsaufgabe, das entspricht einer Verdoppelung der Masse) war weder eine Veränderung der Lage noch der Modenstruktur festzustellen.

Deshalb wurde die freie Decke noch mit dem FFT-Analysator vermessen.



Abbildung 10: Modenlage und -struktur der 2. Mode ohne Zusatzmasse



Abbildung 11: Modenlage und -struktur der 2. Mode mit je 12g Masse an den Enden

4.1.2 FFT-Analyse der freien Deckenplatte

Die FFT-Analyse der freien Decke wurde nach der am Fachbereich üblichen Methode durchgeführt; der Beschleunigungsaufnehmer befand sich auch hier bassbalkenseitig auf Höhe des Stegs, 2mm vom Stegfuss entfernt. Angeregt wurde an der Stimmstockposition, im Inneren der Decke.

Es zeigt sich tatsächlich keine signifikante Veränderung der Hauptmoden (um 95 Hz bzw. 140 Hz). Allerdings gibt es deutliche Veränderungen im höherfrequenten Bereich.

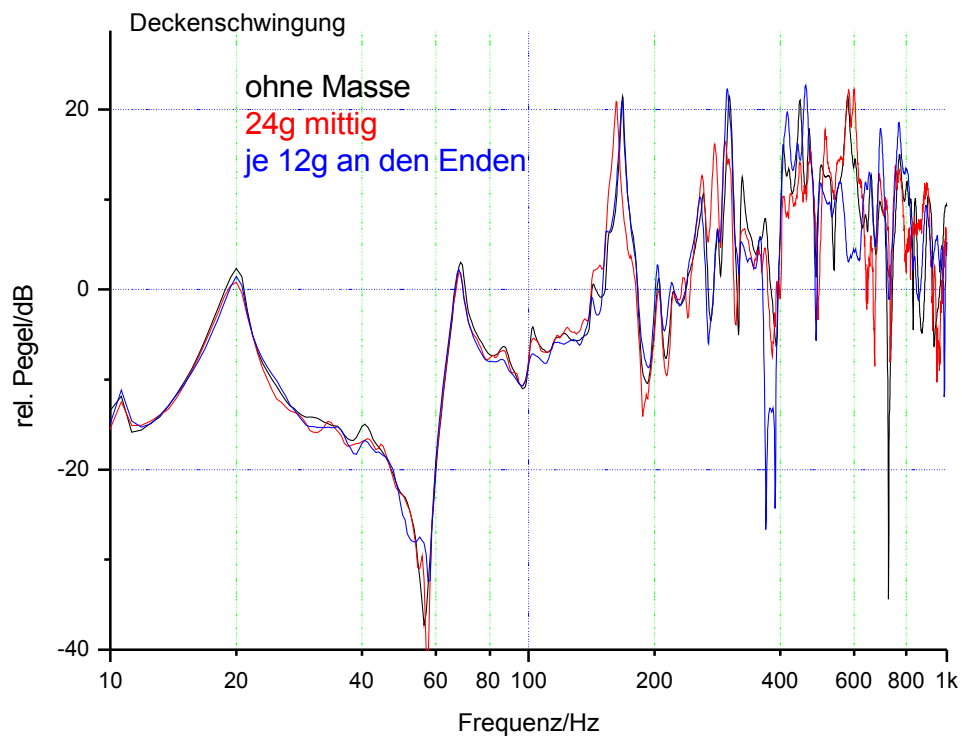


Abbildung 12: FFT-Analyse der freien Deckenplatte: Hauptmoden

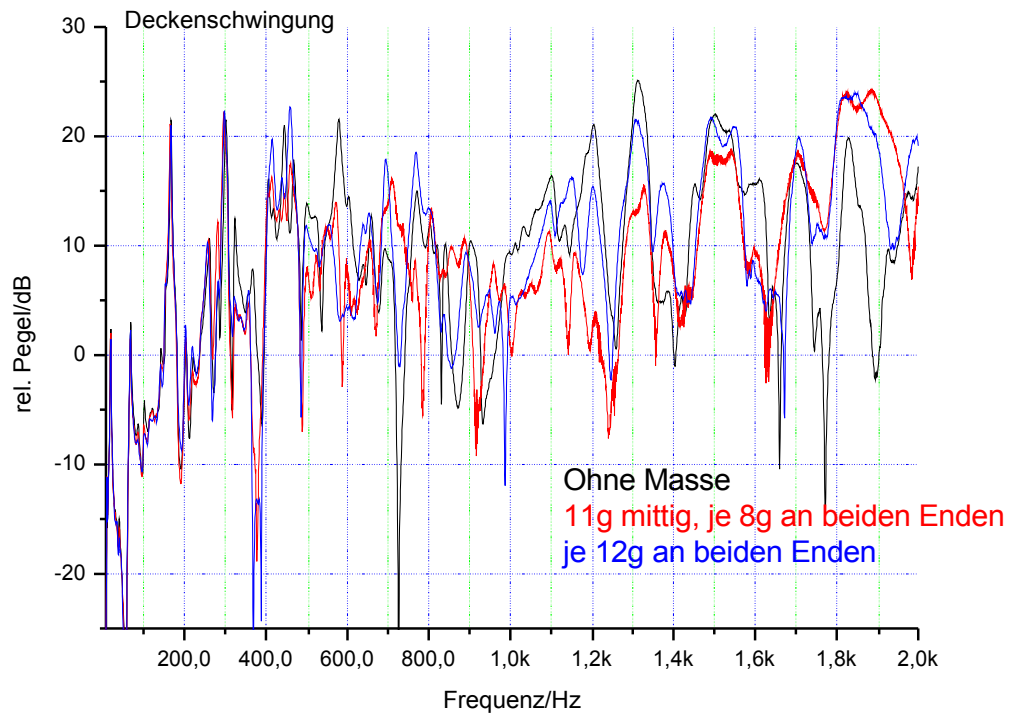


Abbildung 13: FFT-Analyse der freien Deckenplatte: Hochfrequenter Bereich

4.2 Messungen am fertigen Instrument

Für sichtbare Veränderungen wurden deutlich hohe Massen an den einzelnen Positionen angebracht. Dabei wurden alle 8 denkbare Kombinationen durchgespielt, mit einer Zusatzmasse von jeweils 12 g.

4.2.1 Subjektive Bewertung

Um die Veränderungen, die sich durch eine Massenänderung ergeben, subjektiv zu erfassen, wurde zusammen mit einem Cellisten und 3 Zuhörern ein Klangtest durchgeführt. Dabei sind die Bewertungen des Spielers und die der Zuhörer separat erfasst. Der Test fand in einem Zimmer mit relativ trockener Akustik statt. Die Zeit zwischen den verschiedenen Anspielen war sehr kurz, da der Wechsel der Massen maximal 1 Minute dauert. Um einen Eindruck zu verfestigen, wurden bestimmte Einstellungen wiederholt und gegeneinander gespielt.

Die Ergebnisse sind wie folgt zusammengefasst; der Begriff „Qualität“ bezieht sich hierbei auf eine subjektiv schöner empfundene Klangfarbe, einen runderen, weniger scharfen, auch dunkleren Ton:

	Diskant Hörer	Bass Hörer	allgemein	Spieler	Bewertung
1. Referenz: ohne Masse					
2. 12 g mit- tig	dunkler / dumpfer	dunkler / dumpfer	mehr Quali- tät, weniger Ne- bengeräusch, aber gedeck- ter	mehr Kern, mehr Quali- tät, modulati- onsfähiger	Qualität + Volumen - Modulation + +
3. 12 g oben	etwas dunkler / dumpfer zwischen A und a am of- fensten; ab a nicht mehr of- fen	etwas dunk- ler / dump- fer	etwas heller als 2.	etwas mehr Kern und Modulations- fähigkeit	Qualität + + Volumen - Modulation +
4. 12 g un- ten	etwas dunkler; ab a offener als 3.	viel dunkler	etwas dunk- ler als 2.; noch gedeckter	etwas mehr Qualität, modulations- fähiger	Qualität + Volumen - Modulation +
5. 12 g oben / 12 g unten	schärfer	breiter, et- was dunkler	unausgegli- chen; noch gedeckter	schwer zu spielen	Qualität - Volumen - - Modulation -
6. 12 g oben, unten und mittig	wieder dunkler als 5.; ab f nicht mehr offen	definiertes als 5.	noch gedeck- ter	wieder leich- ter zu spielen	Qualität + Volumen - - Modulation -
7. 12 g mit- tig und un- ten	macht zu unter Druck	sandig, nicht offen, ge- deckt	unausgegli- chen; gedeck- ter	wird scharf unter Druck	Qualität - Volumen - - Modulation -
8. 12 g mit- tig und oben	dunkel, rund	mehr Volu- men	schöne Quali- tät, aber dumpfer	modulations- fähig	Qualität + + Volumen - Modulation +

Tabelle 2: Subjektive Klangbewertung

Version 8 und Version 2 wurden dabei sowohl vom Spieler als auch von den Zuhörern als beste Versionen bewertet; allerdings mit einem leicht gedeckten Klangbild, wie hinter einem Vorhang.

Offensichtlich waren Zusatzmassen mittig und oben am effektivsten in Richtung mehr Qualität; insgesamt waren alle Massenzusätze (die natürlich extrem sind) schlecht für das Volumen.

Interessant ist auch, dass die leichte Version ohne Zusatzmasse kaum modulationsfähig und weniger klangschön war.

Es wurde noch mit geringeren Massen auf ein Optimum hin gearbeitet; dabei wurden oben 4 g, mittig 8 g und unten 2 g angebracht. Die 2 g am unteren Ende brachten dabei noch mehr Volumen und etwas mehr Schärfe unter Druck, was die Palette der Modulationsfähigkeiten erweiterte.

Dies entspricht in der Masse in der Summe von 39 g einem Standard-Holzbalken.

4.2.2 FFT-Analyse des kompletten Instrumentes

Das Instrument wurde mit der am Fachbereich üblichen FFT-Analyse vermessen.

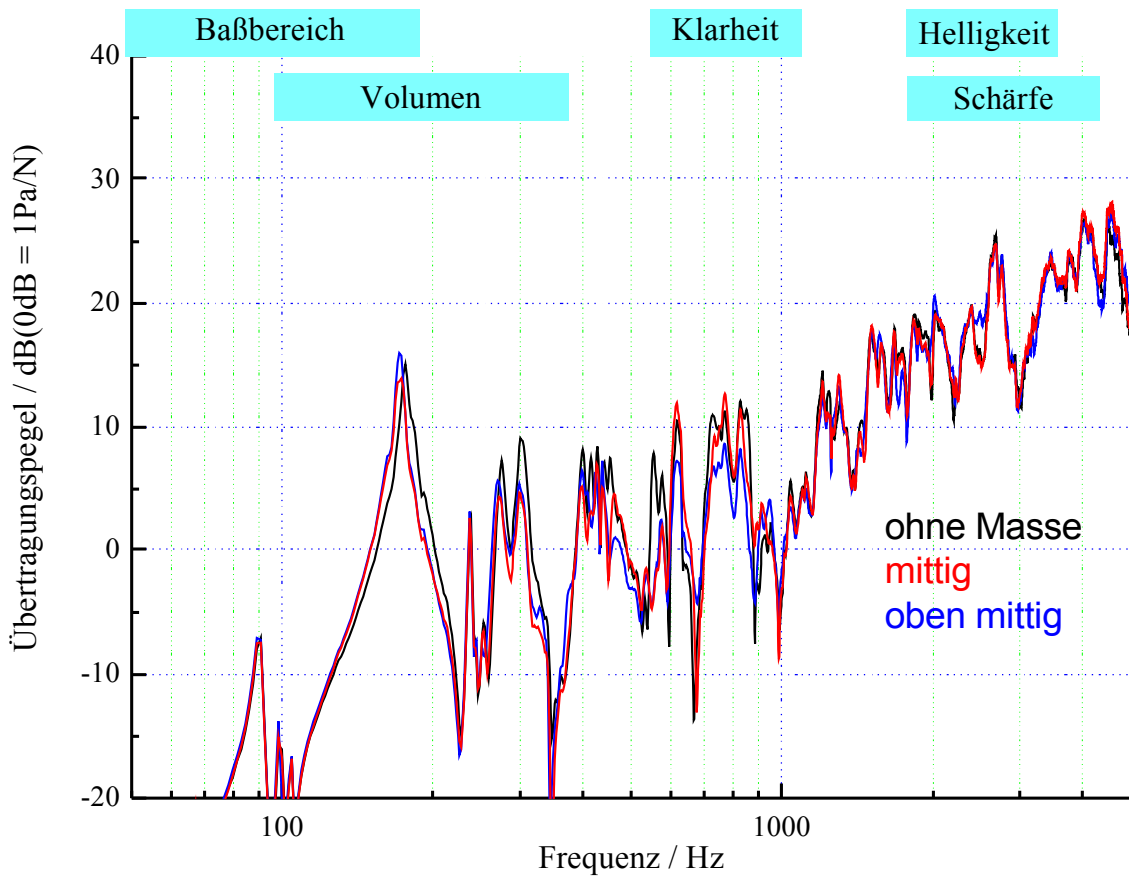


Abbildung 14: FFT-Analyse: Masse mittig/Masse mittig und oben

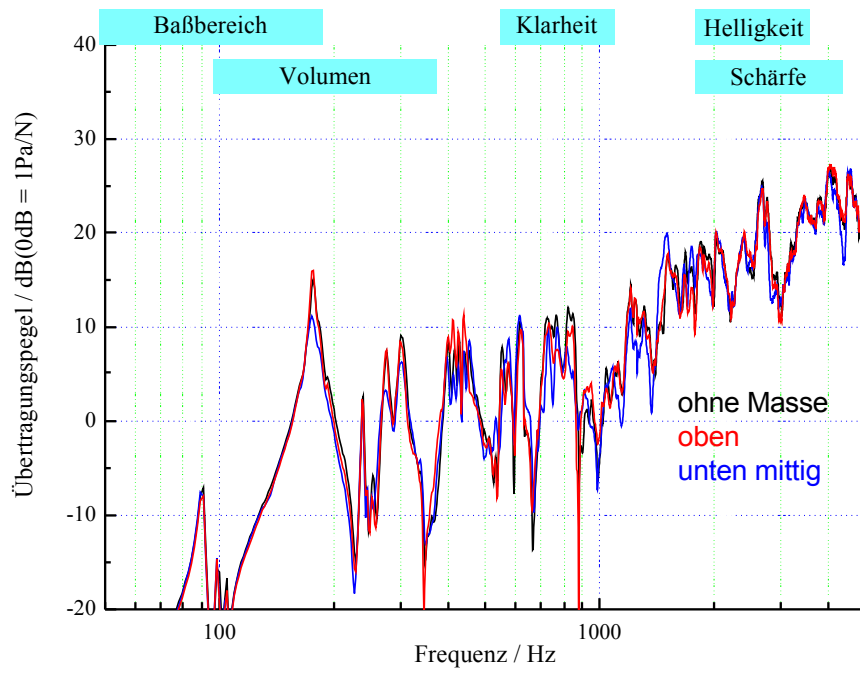


Abbildung 15: FFT-Analyse: Masse oben / Masse unten und mittig

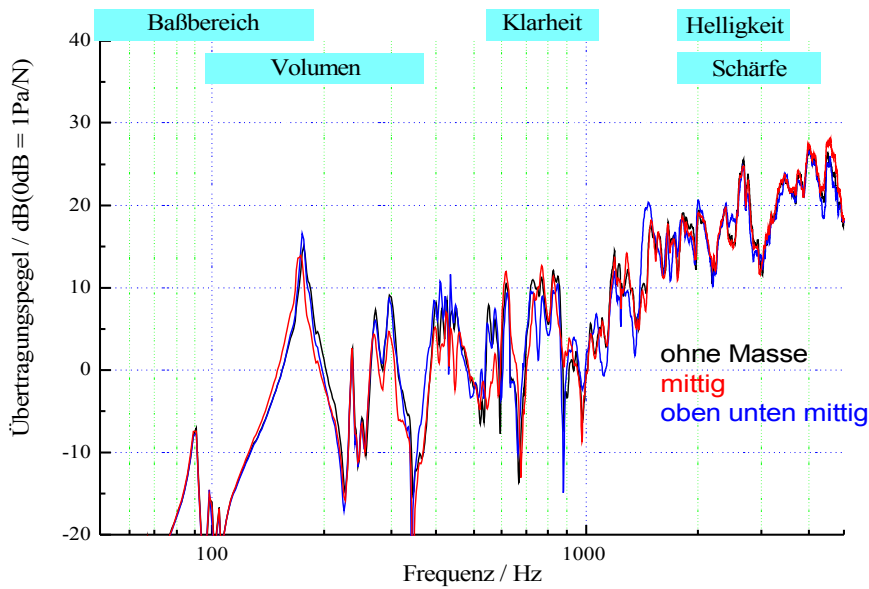


Abbildung 16: FFT-Analyse: Masse mittig / Masse oben, unten und mittig

4.2.3 Fernfeldmessungen

Im IfM Zwota wurde die Schallabstrahlung im Fernfeld (Mikrofonaufnahme in 1 Meter Entfernung) bei den verschiedenen Gewichtsoptionen vermessen.

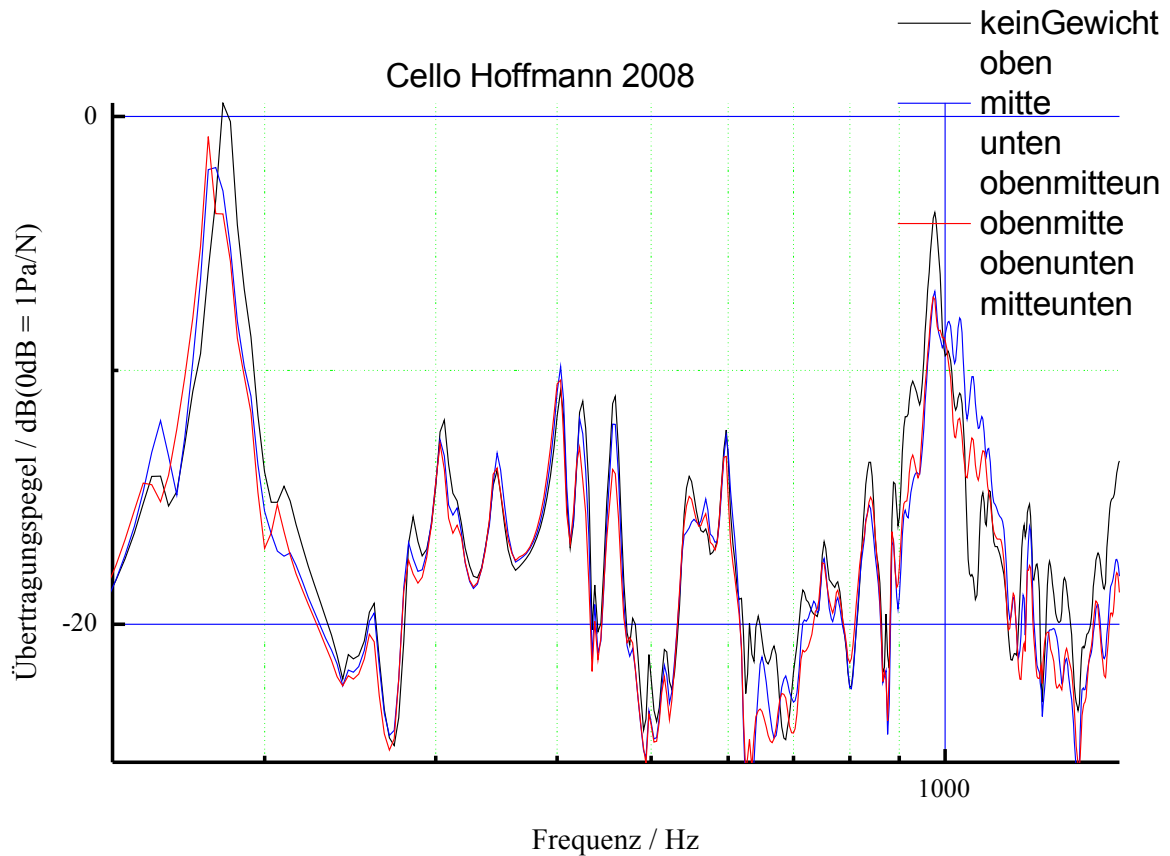


Abbildung 17: Fernfeldmessung: Masse mittig/Masse oben und mittig

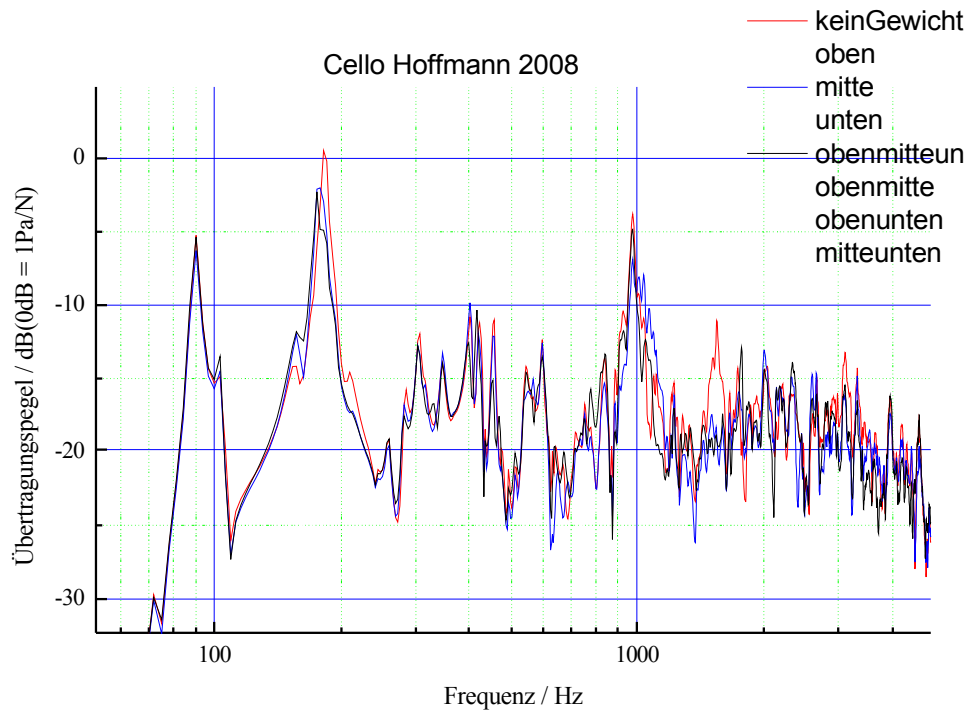


Abbildung 18: Fernfeldmessung: Masse mittig/Masse oben, unten und mittig

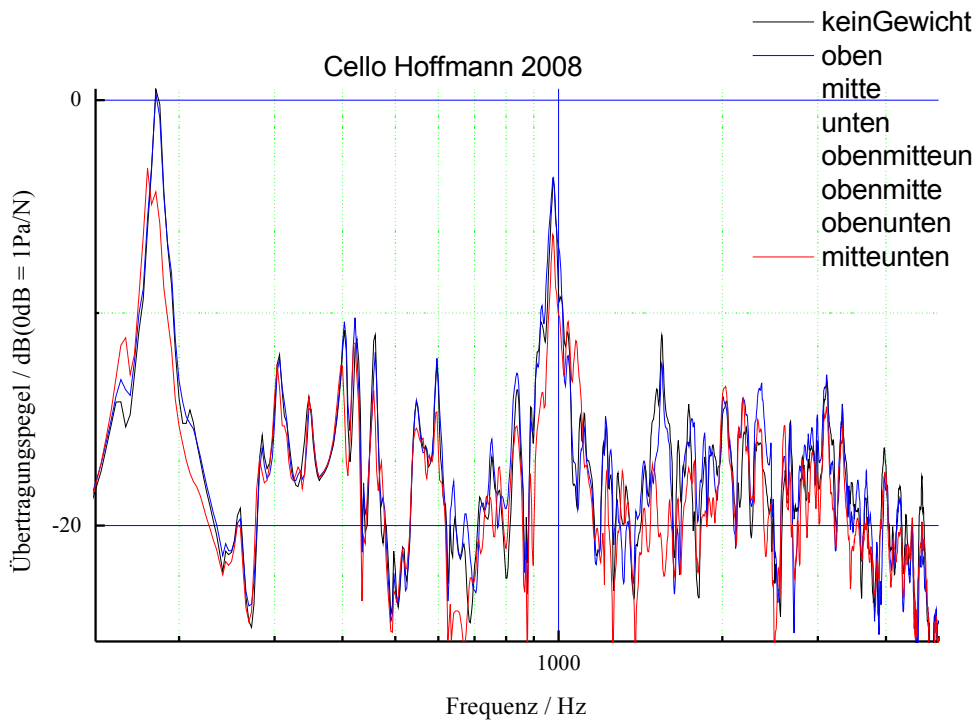


Abbildung 19: Fernfeldmessung: Masse oben/Masse mittig und unten

4.3 Auswertung

Die konstante Lage der Hauptmoden bei der freien Platte stellte zunächst eine Enttäuschung dar: Durch die Veränderung der Masse und der Tatsache, dass die Frequenz der Plattenmoden abhängig ist von Steifigkeit und Masse, müsste sich eigentlich die Frequenz verändern. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass der eingesetzte Balken (der ja deutlich steifer ist als z.B. von Hutchins vorgeschlagen – und dennoch sehr gute klangliche Ergebnisse erzielt!) eben in seiner Steifigkeit den Masseneffekt überlagert. Beim Abarbeiten von fehlgeschlagenen Bassbalken in der Vorbereitung des Versuchs zeigte sich, dass die Klopfthöhe sich lange Zeit überhaupt nicht zu verändern scheint, ab der Überschreitung einer kritischen Steifigkeit des Balkens jedoch rapide abnimmt. Ein ähnlicher Effekt stellt sich beim Ausarbeiten der Platten ein: Bis zu einem bestimmten Punkt ändert sich die Flexibilität fast nicht, bei Überschreitung jedoch deutlich schneller – möglicherweise ein Hinweis auf die „richtige“ Plattenstärken am Umsprungpunkt, da sich hier Steifigkeit und Masse im bestmöglichen Verhältnis befinden. Es wären weitere Versuche notwendig, um diese Thesen zu stützen.

Im Umkehrschluss könnte man vermuten, dass die Abstimmung des Balkens nach Hutchins mit Modenlage und -struktur zumindest für diese Art von Balken sinnlos ist. Nach Hutchins müsste dieser Balken deutlich dünner gearbeitet werden, was zu einer deutlichen Abschwächung des Bassbereichs am fertigen Instrument führen würde.

Des weiteren muss festgestellt werden, dass die vorgenommene zusätzliche Steifigkeit des Balkens in Hinblick auf die fehlende Masse in diesem Zusammenhang sinnlos war; es stellt sich auch die Frage, ob die Überprüfung der Steifigkeit des Balkens mit der Klopfthöhe die richtige war.

Nichtsdestotrotz ist die subjektive Klangwahrnehmung der verschiedenen Versionen deutlich unterschiedlich:

Die voraussagbare Tendenz, dass mehr Masse zu einer größeren Dämpfung führt, ist bestätigt; allerdings waren die Massen ja extrem gewählt, um Unterschiede zu provozieren.

Mit einem dezenterem Einsatz der Massen, so dass die übliche Masse eines guten Cellobalkens erreicht wird, findet keine zusätzliche Dämpfung statt; durch eine Extramasse von 2 g am unteren Ende wird der Klang sogar subjektiv voluminöser. Dies widerspricht also der Erwartung.

Ohne Masse ist der Klang zwar kräftiger (aber eben auch nicht kräftiger als mit dezentem Masseneinsatz), aber deutlich spitzer, schärfer und weniger modulationsfähig, was für viele Spieler fast wichtiger ist als Volumen. So sind extrem leise Passagen überhaupt nicht zu spielen; der Klang selbst ändert sich unter Druck kaum bzw. wird schnell scharf und unbrauchbar. Die Masse, v.a. mittig und oben, führt zu einer Abrundung und -dunklung des Klangs, zu leichterem Spiel und zu mehr Ausdrucksmöglichkeiten. Interessant ist dabei, dass die beste Version insgesamt mit 39 g Gesamtmasse einem normalen Holzbalken entspricht. Ein Extrem – sowohl in Richtung leicht als auch in Richtung schwer – scheint nicht anzuraten zu sein.

Des Weiteren ist anzumerken, dass die optimale Massenverteilung in diesem Fall asymmetrisch ist, da unten weniger Masse aufgebracht wird als oben. Gerade in dieser Hinsicht ist das ein wichtiger Hinweis, wie sensibel der Bassbalken auf kleine Änderungen auch der Masse reagiert.

Für einen neuen Bassbalken aus normalem Fichtenholz sind diese Beobachtungen natürlich Gold wert: durch gezielte Höhenveränderungen bzw. Profilveränderungen können die hier gewonnenen Erkenntnisse gut umgesetzt werden.

Die FFT-Analyse der Deckenschwingungen bringt die subjektiven Klangveränderungen etwas besser zum Ausdruck als die Fernfeldmessung. Zu beachten wären hier die insgesamt niedrigeren Pegel, sobald Masse ins Spiel kommt; die dunklere und angenehmer empfundene Klangfarbe kann man auf die Verschiebungen der Frequenzlage der Helmholzresonanzen leicht nach unten zurückführen.

4.4 Ausblick

Um mehr zu verstehen, wie die Kombination von Masse und Steifigkeit am fertigen Instrument wirkt, sind weitere Versuche unabdingbar. Zunächst wäre zu untersuchen, wie sich Massenveränderungen an einem Balken auswirken, der deutlich weniger steif ist; auch die andere Richtung, der steife und leichte Balken, könnte durch einen aufgeleimten GFK-Streifen und deutlich niedrigerem Balken noch mehr ins Extrem getrieben werden. Ein mögliches seitliches Verschlingern des Balkens wäre hier auch mehr ausgeschlossen als mit dem bei diesem Versuch verwendeten extrem dünnen Balken. Das absolute Extrem wäre ein

rundum aus Karbon aufgebauter Balken. Hier sind jedoch tiefer gehende Vorversuche unabdingbar, die die Steifigkeit separat vermessen, da der Klopftön kein Indikator ist.

Literaturnachweis

- Bissinger, G. & Hutchins, C.M. (2000a+b). *Tuning the bass bar in a violin plate I+II*. CAS Journal, Vol. 4, No.1 (Series II).
- Bretos, J., Santamaria, C. & Moral, A.J. (1998). *Effect of the bass bar on the free violin top plate studied by finite element analysis*. CAS Journal, Vol. 3, No.6 (Series II)
- Cremer, L. (1981). *Physik der Geige*. Stuttgart: S. Hirzel Verlag.
- Hutchins, C.M. & Benade, V. (Hrsg.) (1997). *Research papers in violin acoustics 1975 – 1993 (Volume I)*. Acoustical Society of America.
- Meinel, E. (2006). *Lehrbrief musikalische Akustik, Teil II*. Unveröffentl. Skript.
- Prier, P.P. (2005). *Highest strength with the least material*. JVSA: proceedings, Vol. XX, No.1
- R & G Faserverbundstoffe GmbH (2004). *Handbuch*.
- Rodgers, O.E. (1999). *On the function of the violin bass bar*. CAS Journal, Vol. 3, No. 8 (Series II)
- Rodgers, O. E. & Anderson, P. (2000). *From acoustic lab to violin: engineering and violin-making perspectives*. JVSA: proceedings part II, Volume XVIII, No.1.
- The Strad (2006, May). *Standard Bearer*.
- Stock, V. (2008). *Zur Funktion des Bassbalkens*. FH Zwickau, Studiengang Musikinstrumentenbau. Diplomarbeit.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Von Peter Beare eingeführter Bassbalken.....	5
Abbildung 2: Aufgesägter Balken.....	6
Abbildung 3: Furnierlage aus Karbonfasern.....	6
Abbildung 4: Verleimung.....	6
Abbildung 5: Einleimen der unteren Einlage.....	6
Abbildung 6: Gewichtsaufnahme an den Enden.....	6
Abbildung 7: Gewichtsaufnahme in der Mitte.....	6
Abbildung 8: Werkzeuge zum Ein- und Ausbringen der Magnete.....	8
Abbildung 9: Schema des mit GFK-Karbonstreifen verstärkten Balkens.....	8
Abbildung 10: Modenlage und -struktur der 2. Mode ohne Zusatzmasse.....	10
Abbildung 11: Modenlage und -struktur der 2. Mode mit je 12g Masse an den Enden.....	10
Abbildung 12: FFT-Analyse der freien Deckenplatte: Hauptmoden.....	11
Abbildung 13: FFT-Analyse der freien Deckenplatte: Hochfrequenter Bereich.....	11
Abbildung 14: FFT-Analyse: Masse mittig / Masse mittig und oben.....	15
Abbildung 15: FFT-Analyse: Masse oben / Masse unten und mittig.....	16
Abbildung 16: FFT-Analyse: Masse mittig / Masse oben, unten und mittig.....	16
Abbildung 17: Fernfeldmessung: Masse mittig / Masse oben und mittig.....	17
Abbildung 18: Fernfeldmessung: Masse mittig / Masse oben, unten und mittig.....	18
Abbildung 19: Fernfeldmessung: Masse oben / Masse mittig und unten.....	18

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Hauptmaße des Bassbalkens.....	9
Tabelle 2: Subjektive Klangbewertung.....	13

Danksagung

Herrn Prof. E. Meinel danke ich für die fachliche Betreuung.

Herrn Michael Stürzenhofecker in Cully gilt mein besonderer Dank für viele Anregungen und seine fast selbstlose Offenheit.

Beim Institut für Musikinstrumentenbau in Zwota bedanke ich mich für die Fernfeldmessungen.

Mein Dank gilt dem Studiengang, namentlich Herrn Prof. A. Michel, Herrn H. Seifert, Frau G. Schunk und Frau Groh für ihre großartige Unterstützung und Förderung.