

Dokumentation

Herstellung einer Bongo

Studenten:

Ammar Asaad, 702285

Sascha Bauch, 715010

Carl Schröpfer, 735058

Prüfer:

Prof. Dr.-Ing. Norbert Linda

Prof. Dr.-Ing. Renke Abels

WiSe 20/21

Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst

Fakultät Bauen und Erhalten

Hildesheim, den 18. Februar 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Projektbeschreibung	1
1.2	Ablauf	2
2	Idee	3
2.1	Brainstorming/ Produktidee	3
2.2	Bewertung nach Realisierbarkeit	4
2.3	Entscheidung.....	5
2.4	Aufbau einer Bongo	6
3	Planung	7
3.1	Konzept	7
3.2	Lastenheft	7
3.3	Pflichtenheft.....	8
3.4	Stückliste	9
3.5	Zeitplan	10
4	Entwurf	11
4.1	Rohteil.....	11
4.2	Pressform	12
4.3	Formteil.....	13
4.4	Vakuumvorrichtung	13
4.5	Formatierung	14
4.6	Verbindungsstück.....	14
5	Ausarbeitung	16
5.1	Zuschnitte und Furnier	16
5.2	Fräsen der Pressform	17
5.3	Pressen und Konditionieren.....	18
5.4	Vakuumvorrichtung	18
5.5	Formatieren	19
5.6	Verleimen	20
5.7	Herstellung des Verbindungsstücks	21
5.8	Montage und Oberflächenbehandlung.....	22
6	Fazit	23
7	Abbildungsverzeichnis	24
8	Tabellenverzeichnis	25

1 Einleitung

1.1 Projektbeschreibung

Die folgende Arbeit dokumentiert die Herstellung einer Bongo innerhalb des Vertiefungsmoduls BHV-02 CAD/CAM-Praxisprojekte im Wintersemester 2020/21. Der Schwerpunkt dieses Moduls liegt auf dem praktischen Umgang mit CAD/CAM Systemen und der 5-Achs-CNC-Bearbeitung. Diese Kenntnisse sollen im Rahmen der Herstellung eines Produktes mit Formholzteilen erworben werden. Dabei sollen alle Arbeitsschritte von der Planung, Konstruktion, Fertigung bis zur Montage des Produktes von den Studierenden selbstständig durchgeführt werden. Zur Verfügung steht ein Labor für Bearbeitungstechnik mit einem PC-Pool, einer Tischlerwerkstatt mit mehreren Holzbearbeitungsmaschinen, zwei hydraulischen Pressen sowie drei 5-Achs-CNC-Maschinen der Marke Maka.

Die Studierenden werden zu Beginn des Semesters in Arbeitsgruppen von zwei bis drei Mitgliedern eingeteilt, von denen mindestens einer eine technologische Lehrlingsqualifizierung für den Umgang mit Holzbearbeitungsmaschinen besitzen muss, damit die Gruppen alle Arbeiten an den Maschinen eigenständig durchführen können. Das herzustellende Produkt kann im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten von den Studierenden frei gewählt werden. Die einzige Voraussetzung ist, dass das Produkt ein eigengefertigtes Formholzteil mit einer dreidimensionalen Verformung besitzen muss. Bei der Herstellung des Produktes und dem Umgang mit Bearbeitungsmaschinen müssen die Studierenden bereits erworbene Werkstoff- und Materialkenntnisse anwenden sowie Arbeitsschutz und Unfallverhütung berücksichtigen. Als Leistungsnachweis dienen diese Dokumentation und ein erstelltes Plakat zur Veranschaulichung der verschiedenen Prozesse und das fertiggestellte Produkt.

1.2 Ablauf

Das herzustellende Produkt wird mit allen seinen Einzelteilen als digitaler 3D-Körper mit der CAD-Software AutoCAD gezeichnet, in das CAD/CAM-System AlphaCAM überführt, um dort Bearbeitungen zu programmieren und anschließend mittels Pressverfahren und 5-Achs-Technologie hergestellt. Dem Formteil kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da hierfür eine Pressvorrichtung, eine Vorrichtung zur Konditionierung und eine Vakuumvorrichtung für die Bearbeitung an der CNC-Fräse hergestellt werden muss. Alle Vorrichtungen werden ebenfalls digital modelliert und mit der CNC-Fräse hergestellt. Dafür müssen die Studierenden den Aufbau und die Arbeitsweise von den CAD/CAM-Systemen erlernen sowie unterschiedliche Programmierverfahren und Bearbeitungsstrategien mit bis zu fünf Bearbeitungsachsen anwenden. Das Formteil wird aus mehreren durch Leim verbundenen Furnierlagen mittels Pressvorrichtung in die gewünschte Form gepresst und anschließend konditioniert, um nachträgliches Verformen zu verhindern. Nachdem das Formteil circa eine Woche konditioniert ist, kann es in der CNC-Fräse auf einer Vakuumvorrichtung fixiert und bearbeitet werden. Eine Oberflächenbehandlung und die abschließende Montage aller Einzelteile zu dem Endprodukt sind die letzten Arbeitsschritte der Herstellung.

2 Idee

2.1 Brainstorming/ Produktidee

Die Projektgruppe fand sich zusammen, da alle Gruppenmitglieder aufgrund ihrer Begeisterung zur Musik die Initiative zum Bau eines Instrumentes ergriffen. In die nähere Auswahl fielen ein Saiteninstrument und ein Schlaginstrument, da beide Instrumentengruppen üblicherweise aus Holz gebaut werden und einen Resonanzkörper besitzen. Der Resonanzkörper wird als Modell für die Aufgabe der Herstellung von Holzformteilen als geeignet empfunden. Aufgrund der Komplexität, die in dem Bau eines Saiteninstrumentes steckt und der mangelnden Erfahrung der Gruppenmitglieder im Instrumentenbau, wird sich schnell für die einfachere Konstruktion eines Schlaginstrumentes entschieden. In einem gemeinsamen Brainstorming wurden verschiedene Trommelarten aufgelistet und bezüglich ihres Resonanz-

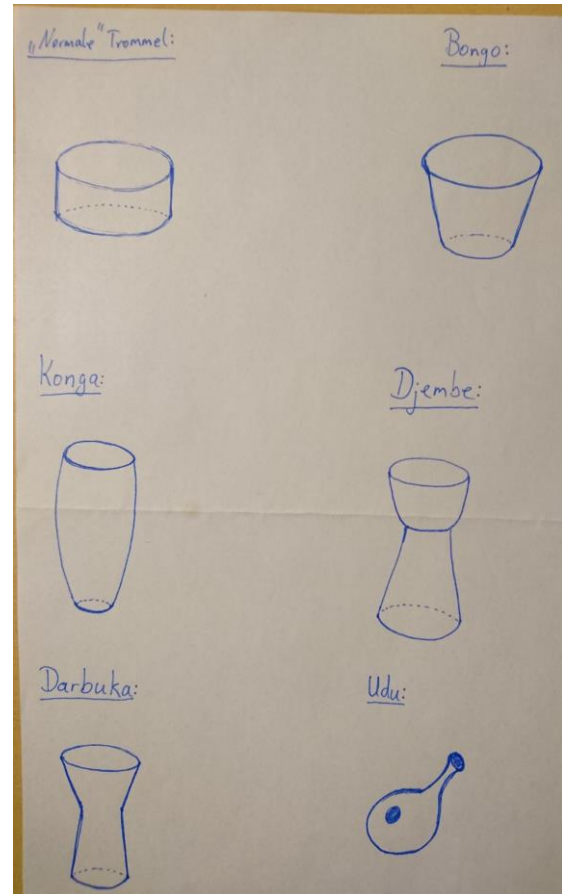


Abbildung 1: Brainstorming

körpers beschrieben sowie Skizzen angefertigt. In der Abbildung XY werden das Ergebnis des Brainstormings und die traditionell üblichen Trommelarten dargestellt.

2.2 Bewertung nach Realisierbarkeit

In Absprache mit dem Dozenten wird die Trommelarten nach ihrer Realisierbarkeit bezüglich der Konstruktion und Herstellung mittels Formteilen aus Schichtholz und der Herstellung mittels 5-Achs-Frästechnologie bewertet. Grundlegende Faktoren dafür waren:

- Größe der einzelnen Bauteile
- Verformung der Bauteile und des zusammengesetzten Resonanzkörpers
- Wahl der Verbindungsmittel der einzelnen Formteile
- Wahl des Fells und dem dazugehörigen Spannsystem
- Aufgabenverteilungen in der Gruppe

Eine Djembé wird in der traditionellen Bauweise aus einem Stamm gefertigt, der ausgehöhlt und in die typische Form geschnitzt wird (s. Abbildung 1). Der obere Teil der Djembé hat eine breite Schalenform, die sich zur Mitte hin verjüngt. Im unteren Teil hat sie einen Kegelstumpf als Sockel. Das Fell wird mittels zweier mit Stoff umwickelter Metallringe gespannt, die durch ein mehrfach verknotetes Schnürsystem verbunden werden. Djemben besitzen keine Einheitsgrößen, sondern haben einen individuellen Durchmesser. Das komplizierte Knotensystem zur Befestigung des Fells und die Teilung des Resonanzkörpers in zwei unterschiedlich geformte Körper werden als aufwendige und schwierige Konstruktion eingestuft. Deswegen fällt die Djembé nicht in die nähere Auswahl.

Die Udu-Trommel ähnelt einem bauchigen Krug mit einer Öffnung am Hals und einer zweiten Öffnung am Bauch. Durch einen Schlag auf die seitliche Öffnung am Bauch entsteht ein Ton, ein Fell als Schwingungsmembran braucht die Udu-Trommel daher nicht zwingend. Der Verzicht auf eine zusätzliche Schwingungsmembran spricht vorerst für den Bau einer Udu-Trommel, jedoch weist ihr Körper mit dem Übergang eines schmalen Halses zu einem kugelförmigen Bauch eine zu stark dreidimensionale Verformung für die Konstruktion mittels Holzformteilen auf. Nachträgliches Verziehen der einzelnen Formteile ist sehr wahrscheinlich, und ein passender Zusammenbau aller Teile nicht gewährleistet.

Die Conga und Bongos werden herkömmlich in Fassbauweise aus einzelnen Dauben hergestellt. Die Durchmesser beider Trommelarten besitzen Einheitsgrößen und die Felle und Beschläge stehen in verschiedenen Varianten zur Verfügung. Eine Conga ist circa 90 cm hoch. Die Oberseite, auf der das Fell gespannt wird, weist einen größeren Durchmesser auf als die untere Öffnung. Der größte Durchmesser ist jedoch in der Mitte des Korpus, wodurch sich eine längliche Vassenform bildet. Für eine Verbindung der einzelnen Formteile zu einem Resonanzkörper müssen daher flexible Formfedern eingesetzt werden.

Die Größe einer Conga von fast einem Meter wird als negativ eingestuft da der Bau von sehr großen und schweren Vorrichtungen das Resultat wären. Zudem würden die einzelnen Formteile die volle Länge der rohen Furnierblätter beanspruchen. Bongos bestehen dagegen immer aus einem Trommelpaar, die durch ein Verbindungsstück miteinander verbunden sind. Die Höhe beträgt üblicherweise zwischen 15 und 20 cm und der Korpus ist kegelförmig. Die untere Öffnung hat einen kleineren Durchmesser als die Oberseite, wodurch der Korpus der Bongo ebenfalls eine dreidimensionale Verformung aufweist, jedoch ändert sich der Durchmesser nur von klein auf groß. Als Verbindungsmittel kann somit eine einfache Nut-Feder-Verbindung dienen.

2.3 Entscheidung

Aufgrund der unkomplizierten, aber trotzdem dreidimensionalen Verformung der Bongo und ihrer kleinsten Größe wird sich für den Bau einer Bongo entschieden. Die Press-, Konditionier- und Vakuumvorrichtung für die einzelnen Formteile können in diesen Dimensionen leicht von jedem Gruppenmitglied einzeln gehandhabt werden. Die Verbindungsmöglichkeit einzelner Formteile durch eine Nut-Feder-Verbindung wurde gleichermaßen als zweckdienlich und unproblematisch eingestuft. Zudem können die Aufgaben bei der Herstellung der Trommeln und dem Verbindungsstück gut auf drei Gruppenmitglieder verteilt werden. Um sich an den Einheitsgrößen von Beschlügen und Fellen zu orientieren, werden die Maße 6,5 Zoll und 7,5 Zoll gewählt, da nach Recherche diese Größen am häufigsten zu finden sind.

2.4 Aufbau einer Bongo



Abbildung 2: Aufbau einer Bongo

Der typische Aufbau einer Bongo besteht zunächst aus zwei Trommeln. Die größere Trommel wird als Hembra und die kleinere als Macho bezeichnet. Verbunden werden diese über ein Verbindungsstück in der Mitte, das mit einer durchgehenden Gewindeschraube an beide Trommeln befestigt wird. Unabhängig von den verschiedenen Durchmessern besitzen Hembra und Macho die gleiche Höhe sowie einen identischen Aufbau:

Ein Kessel, der sich nach unten hin verjüngt, dient als Resonanzkörper. Zur Klangerzeugung dient ein Fell, welches über die obere Öffnung des Kessels gespannt wird. Die obere Öffnung weist eine Gratung auf, um die Vibration des Fells auf den Kesselkörper besser zu übertragen und die Resonanz zu verstärken. Der Spannreifen befestigt das Fell und zieht dieses mit Hilfe der Spannhaken nach unten. Um das zu ermöglichen, bedarf es eines Spannrings am unteren Ende der Trommel. Dort werden mittels Stimm-Schraubenmutter die Spannhaken eingespannt und je nach gewünschter Stimmung mehr oder weniger fest angezogen.

3 Planung

3.1 Konzept

Nachdem die Entscheidung auf die Herstellung einer Bongo gefallen ist, definieren die Projektteilnehmer im Lastenheft die genauen Anforderungen an das Produkt. Aus dem Pflichtenheft geht dann hervor, wie die Anforderungen des Lastenheftes realisiert werden sollen. Um den Anforderungen des Projekts gerecht zu werden, werden die Kessel der Bongos aus jeweils drei Holzformteilen gefertigt, die über eine Nut-Feder-Verbindung miteinander verbunden werden. Das Verbindungsstück, wird aus zwei Teilen zusammengesetzt, die mit einer Dübelverbindung in der Mitte verleimt werden. Die Seiten des Verbindungsstücks werden an die Durchmesser der beiden Trommeln angepasst, um eine formschlüssige Verbindung zu erzeugen. Die übrigen Komponenten, die nicht aus Holz bestehen, werden hinzugekauft. Schließlich ist deren Fertigung nicht Teil des Projektes und würde den Rahmen deutlich übersteigen.

3.2 Lastenheft

Anforderung	Muss	Kann
Form und Maße richten sich nach einer handelsüblichen Bongo	X	
Kessel besteht aus Segmenten	X	
Segmente bestehen aus Formholz	X	
Segmente weisen eine dreidimensionale Verformung auf	X	
Die Verformung darf nicht stärker sein als die Elastizität des Furniers zulässt	X	
Segmente werden unlösbar miteinander verbunden	X	
Spannsystem, Felle und Verbindungsstück sind lösbar	X	
Verbindungsstück besitzt eine individuelle Form		X

Tabelle 1: Lastenheft

3.3 Pflichtenheft

Anforderung	Umsetzung
Form und Maße richten sich nach einer handelsüblichen Bongo, die Wandstärke wird einer bestimmten Anzahl an Furnierlagen angepasst	• Kesseldurchmesser = Hembra: 7,5"; Macho: 6,5" • Kesselhöhe = 150 mm • Wandstärke = 15,4 mm • Konischer Kessel nach unten verjüngt
Kessel besteht aus Segmenten	• Drei Segmente ergeben einen Kessel
Segmente bestehen aus Formholz	• Verleimen und Pressen von insgesamt 14 Furnierschichten mit jeweils 1,1 mm Dicke in einer selbstgebauten Pressform • 2 Deckschichten: 3D-Furnier, Nussbaum • 12 Zwischenschichten: Schäl furnier, Buche
Segmente weisen eine dreidimensionale Verformung auf	• Die Segmente haben an der Unterseite einen kleineren Radius als an der Oberseite
Die Verformung darf nicht stärker sein als die Elastizität des Furniers zulässt	• Zerteilung des Kessels in 3 Einzelteile, dadurch beschränkt sich die Biegung auf 120 Grad
Segmente werden unlösbar miteinander verbunden	• Verbindung mittels Nut-Feder-System • Segmente werden verleimt
Spannsystem, Felle und Verbindungsstück sind lösbar	• Lösbarkeit wird durch Schraubverbindungen gewährleistet • Spannsystem und Felle werden fremdgefertigt /hinzugekauft
Verbindungsstück besitzt eine individuelle Form	• Verbindungsstück wird selbst entworfen und mittels 5-Achs-Bearbeitung hergestellt

Tabelle 2: Pflichtenheft

3.4 Stückliste

Aus dem zuvor beschriebenen Aufbau der Bongo lässt sich folgende Stückliste ableiten. Dabei wird auch nach Fremd- und Eigenfertigung der Komponenten unterschieden.

Stückliste	Einzelteile	Anzahl [Stück]	
		Hembra	Macho
Eigenfertigung	Kesselsegment	3	3
	Feder	3	3
	Verbindungsstück	1	1
Fremdfertigung	Fell	1	1
	Spannreifen	1	1
	Spannring	1	1
	Spannhaken	4	4
	Stimm-Schraubenmutter	4	4
	Gewindeschraube	1	
	Unterlegscheibe	4	4
	Flügelschraube	1	1
	Gummifüße	4	4

Tabelle 3: Stückliste

3.5 Zeitplan

Für eine Übersicht der einzelnen Abläufe und Prozessschritte wird ein Zeitplan erstellt. Die zu erledigenden Aufgaben werden den Kalenderwochen des Semesters chronologisch zugeordnet. Da innerhalb der Weihnachtsferien das Labor geschlossen hat, werden diesem Zeitraum, bis auf die Konditionierung der Formteile, keine weiteren Prozessschritte zugeordnet. Am Ende wird zudem ein Zeitpuffer von einer Woche eingeplant, um eventuelle Rückschläge wiederaufholen zu können.

Zeitplan		
KW	Datum	Aufgabe
42	12.10.20 - 18.10.20	Ideenfindung
43	19.10.20 - 25.10.20	Entwurfsphase
44	26.10.20 - 01.11.20	Erstellen der CAD-Zeichnungen
45	02.11.20 - 08.11.20	Erstellen der AlphaCAM-Dateien
46	09.11.20 - 15.11.20	Programmierung der Maschinenbefehle mit AlphaCAM
47	16.11.20 - 22.11.20	Herstellung der Pressformen
48	23.11.20 - 29.11.20	Herstellung der Pressformen
49	30.11.20 - 06.12.20	Pressung der Formteile
50	07.12.20 - 13.12.20	Herstellung der Vakuumvorrichtung und weitere Pressungen der Formteile
51	14.12.20 - 20.12.20	Herstellung der Vakuumvorrichtung und weitere Pressungen der Formteile
52	21.12.20 - 27.12.20	Weihnachtsferien
53	28.12.20 - 03.01.21	Weihnachtsferien
1	04.01.21 - 10.01.21	Formatierung der Formteile
2	11.01.21 - 17.01.21	Formatierung der Formteile
3	18.01.21 - 24.01.21	Herstellung des Verbindungsstücks
4	25.01.21 - 31.01.21	Oberflächenbehandlung und Montage
5	01.02.21 - 07.02.21	Zeitpuffer
6	08.02.21 - 14.02.21	Dokumentation und Plakat
7	15.02.21 - 18.02.21	Dokumentation und Plakat
7	19.02.2021	Abgabe und Kolloquium

Tabelle 4: Zeitplan

4 Entwurf

Nachdem nun die Anforderungen und das Konzept zu deren Umsetzung festgelegt worden sind, werden im nächsten Schritt die herzustellenden Teile mittels CAD-Software entworfen.

Die Abmessungen und Dimensionen richten sich dabei nach einer handelsüblichen Bongo mit den Größen 6,5" und 7,5", damit auch die Zukaufteile genau passen. Dazu zählen jeweils der obere und untere Durchmesser, die Wanddicke sowie die Phase beziehungsweise Gratung, auf der später das Fell aufliegt und der Falz, in dem sich der Spannring befinden wird.

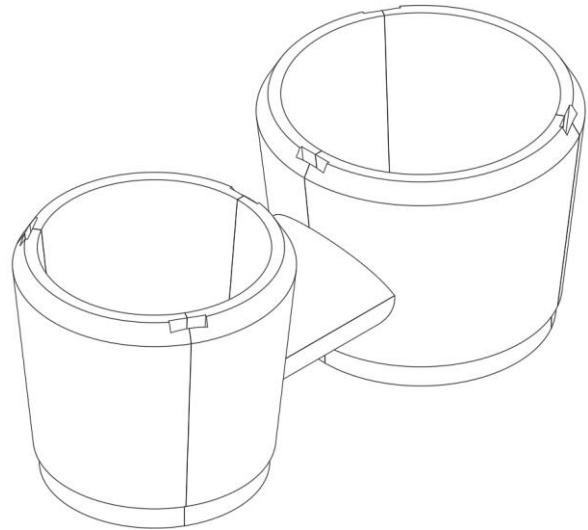


Abbildung 3: CAD Bongo

Zudem sind die Kessel in drei gleich große Segmente aufgeteilt, die an den Seiten je eine Nut aufweisen, in die dann eine Feder eingeleimt werden soll.

4.1 Rohteil

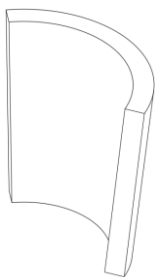


Abbildung 4:
CAD Rohteil

Um die finalen Kesselsegmente herstellen zu können, wird zuerst ein digitales Abbild eines Rohteils in CAD erstellt. Dieses wird benötigt, um eine Pressform entwerfen zu können. Dabei wird das Rohteil als Solid aus dem CAD in eine CAM-Software importiert und dient dort mit seinen Oberflächen und Kanten als Referenz für die digitale Modellierung einer Pressform.

4.2 Pressform

Die Form zum Pressen der Rohteile besteht aus einem oberen und einem unteren Teil, welche quasi die Negativform des Rohteils abbilden. Die Oberfläche der unteren Form entspricht dabei der Innenfläche des Rohteils. Die obere Form richtet sich entsprechend nach der Außenfläche. Damit im Zuge der Ausarbeitung die CNC-Maschine die Pressform wie gewünscht bearbeiten kann, werden in Alpha-CAM die NC-Pfade erstellt und ein Programm für die Maschine generiert.

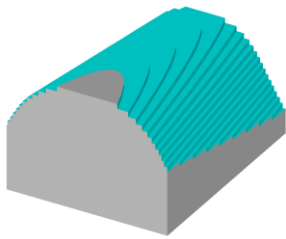


Abbildung 5: CAM unten1

Bei beiden Teilen wird erstmal mittels "Z-Ebenen schrappen" und einem Aufmaß von 2 mm zur fertigen Oberfläche Material durch einen 20mm-Schrupfräser abgenommen.

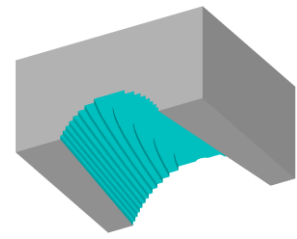


Abbildung 6: CAM oben 1

Danach entsteht durch Einsatz eines 20mm-Kugelfräasers die tatsächliche Oberfläche. Anschließend werden Bohrungen an übereinstimmenden Stellen vorgenommen, in welche später Stäbe zur Arretierung eingelassen werden. Diese gewährleisten eine passgenaue Positionierung der Teile zueinander.

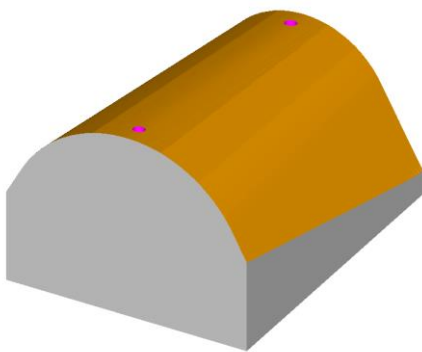


Abbildung 8: CAM unten2

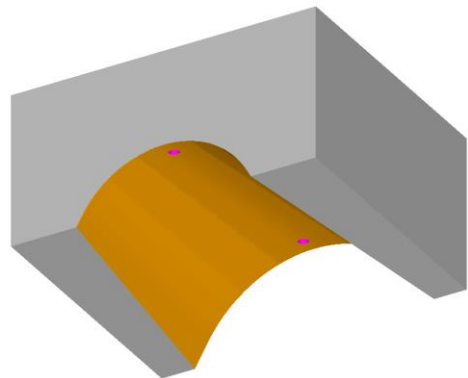


Abbildung 7: CAM oben2

4.3 Formteil



Ein einzelnes Kesselsegment, siehe Abbildung links, lässt sich auch als Formteil bezeichnen. Es resultiert aus dem Rohteil und zeigt den Endzustand nach allen geplanten Bearbeitungen.

Aus dem CAD ins CAM importiert dient es ebenfalls als Referenz für die zu modellierenden Formatierungs- und Bearbeitungsschritte, aus denen ein weiteres CNC-Programm generiert wird.

Abbildung 9:
CAD Formteil

4.4 Vakuumvorrichtung

Eine Vakuumvorrichtung wird benötigt, damit die Werkstücke während der Bearbeitung fest in der CNC-Maschine gehalten und gegen Verrutschen gesichert werden können.

Das Vorgehen bei der Modellierung ist vergleichbar mit dem bei der oberen Pressform. Hinzu kommen jedoch noch weitere Bearbeitungsschritte:

Mit einem 5mm-Schlichtfräser wird eine Nut (gelb) normal zur Fläche gefräst, in die ein Moosgummi gelegt wird, das als Abdichtung der Vakuumfläche dient. An der Außenseite des Moosgummis befindet sich die Auflagefläche, auf der das Formteil bei der Formatierung aufliegt.

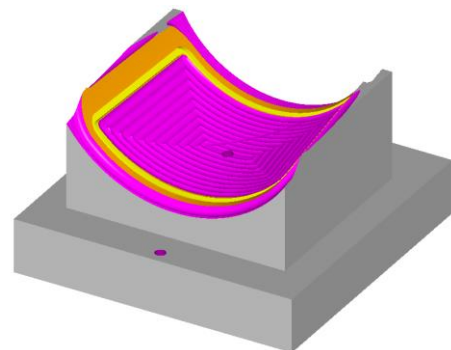


Abbildung 10: CAM Vakuum

Die Vakuumfläche wird mit einem 10mm-Kugelfräser in Form einer Tasche normal zur Fläche gefräst. Die Vakuumschale ist 2mm tiefer als die Auflagefläche, auf der das Werkstück aufliegt, damit in der Tasche ein Vakuum erzeugt werden kann. Durch eine Bohrung in der Mitte der Vakuumschale, die mit einer Bohrung von der Außenseite der Vorrichtung verbunden ist, kann diese an den Vakuumkreislauf der CNC-Maschine angeschlossen werden und das Formteil festsaugen.

Im Gegensatz zu der oberen Pressform ist die Vakuumform jedoch nur minimal größer als die Nettofläche des Formteils, um bei der späteren Formatierung kein Hindernis zu sein.

4.5 Formatierung

Damit aus dem Rohteil das Formteil hergestellt werden kann, müssen im nächsten Schritt die notwendigen Bearbeitungen im CAM erstellt werden.

Die Formatierung entlang der Seiten erfolgt mit Hilfe einer 180mm-Säge.

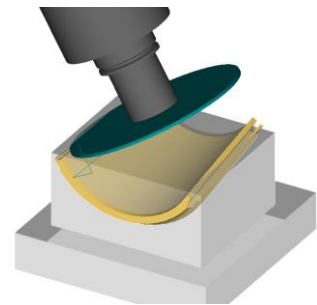


Abbildung 11: CAM Format Säge

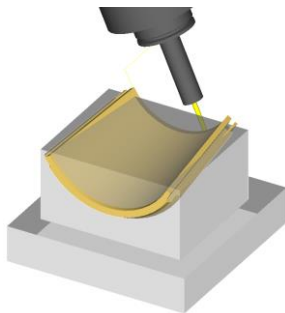


Abbildung 12: CAM Format Fräser

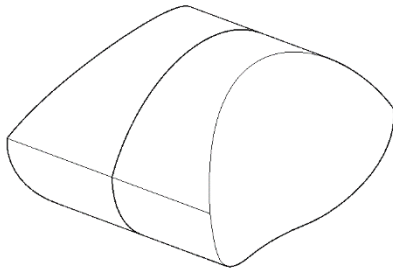
Die Ober- und Unterkante wird hingegen mit einem 5mm-Schlichtfräser formatiert.

Für die nächsten Bearbeitungsschritte kann derselbe Fräser verwendet werden. Somit fräst er anschließend die Phase oben, den Falz unten und jeweils die Nuten an beiden Seiten.

4.6 Verbindungsstück

Die Form des Verbindungsstücks soll individuell gestaltet sein und sich von dem einer konventionellen Bongo unterscheiden. Die Breite des Fertigteils darf nicht größer als der Abstand zwischen zwei Spannhaken sein. Außerdem darf es nicht zu lang sein, um es dem Spieler zu ermöglichen, die Bongo bequem zwischen die Knie zu klemmen.

Das Verbindungsstück wird aufgrund seiner Form und Abmessungen aus Vollholz und nicht aus einem Formteil gefräst. Da das Verbindungsstück auf seiner Ober- und Unterseite Rundungen aufweisen soll wird es aus zwei Hälften hergestellt. So besitzt jede Hälfte auf der Oberseite eine Rundung und auf der Unterseite eine plane Fläche, auf der das Rohteil bei seiner Bearbeitung fixiert werden kann. Später sollen die planen Flächen beider Hälften miteinander verleimt werden.



Aufgrund der kleinen Abmessungen des Fertigteils, wird für eine sichere Befestigung während der Bearbeitung ebenfalls eine Vorrichtung hergestellt. Die größere Fläche der Vorrichtung erlaubt den Einsatz mehrerer Sauger, sodass genügend Vakuum für sicheren Halt erzeugt werden kann.

Abbildung 13: CAD Verbindung

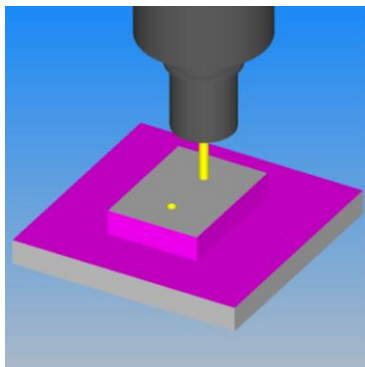


Abbildung 15: CAM Verb. Sockel

Die Vorrichtung wird zuerst mit einem 20mm-Schruppfräser gefräst, sodass ein Sockel übrigbleibt. Dieser wird anschließend

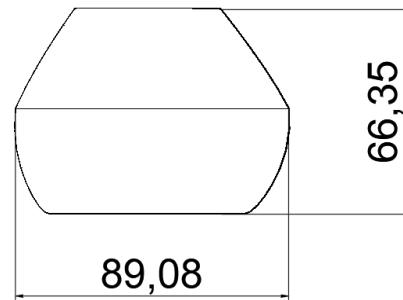


Abbildung 14: CAD Verbindung Maße

mit einem 8mm-Dübelbohrer gebohrt, um dort Stäbe zur Arretierung des Verbindungsstücks einzulassen. Der Sockel ist genügend hoch, um eine Hälfte des Verbindungsstücks bis zu der unteren Kante mit einem Kugelfräser fräsen zu können, ohne dass die Werkzeugaufnahme mit der Vorrichtung in Berührung kommt.

Das Rohteil des Verbindungsstücks wird zuerst einzeln auf einem Sauger befestigt und mit dem CNC-Fräser zweimal gebohrt, damit das Rohteil auf die Stäbe der Vorrichtung arretiert werden kann.

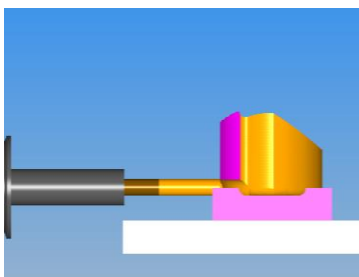


Abbildung 16: CAM Verb. Format

Zunächst wird das Rohteil mit einem Aufmaß geschruppt. Die restliche Formatierung erfolgt ausschließlich durch einen 10mm-Kugelfräser. Dies geschieht von fünf verschiedenen Arbeitsebenen, von denen vier auf die seitlichen Flächen projiziert werden, um das Rohteil oval zu fräsen und eine auf die obere Fläche, um eine formschlüssige Aussparung für die Befestigung an der Kesselwand zu fräsen.

5 Ausarbeitung

5.1 Zuschnitte und Furnier

Die Rohteile für die Press- und Vakuumformen werden innerhalb der CAM-Dateien definiert. Da diese grundsätzlich quaderförmig sind, lassen sich die Rohteile aus einzelnen Multiplex-Platten zusammensetzen. Diese werden auf das definierte Maß zugeschnitten und anschließend verleimt, um die gewünschte Höhe zu erlangen. Auf diese Weise entstehen die Rohteile, aus denen die CNC-Maschine dann die programmierten Formen fräst.

Die Furniere werden pro Formteil mit einer Bruttofläche von $215 \times 215 \text{ mm}^2$ für die Hembra und $200 \times 200 \text{ mm}^2$ für die Macho zugeschnitten. Um die gewünschte Dicke der Formteile von 15,4 mm zu erreichen, werden 14 Furnierschichten á 1,1 mm Dicke verwendet. Die Leimschichten dazwischen werden vernachlässigt, da sie dünn genug sind und nach dem Pressen einen irrelevanten Einfluss auf die Dicke haben.

Für die Deckschichten finden 3D-Nussbaumfurniere Anwendung. Grund dafür ist neben der Ästhetik vor allem die Tatsache, dass das 3D-Furnier im Zuge der Verformung während des Pressens nicht einreist. Für die zwölf inneren Schichten werden Schäl-furniere aus Buche verwendet, welche kreuzweise im 90° -Winkel angeordnet werden, um eine Absperrung des späteren Formteils zu erreichen. Dabei haben die beiden innersten Blätter die gleiche Ausrichtung.

Nach dem Zuschneiden und Ausrichten erhalten die Furnierblätter noch jeweils zwei Bohrungen, die sich mit den Positionen der Arretierstäbe von Press- und Vakuumvorrichtung decken. Somit wird es möglich, die Formteile für die Bearbeitungen stets korrekt auszurichten.

5.2 Fräsen der Pressform

Im nächsten Schritt werden die zuvor verleimten Multiplex-Blöcke in die Maschine eingelegt. Ein Anschlag dient dabei der genauen Positionierung am Nullpunkt sowie der parallelen Ausrichtung in X- und Y-Richtung des Koordinatensystems der Maschine.

Dies ist zwingend erforderlich, damit es mit den Koordinaten der NC-Pfade übereinstimmt und das Programm wie im Entwurf geplant ausgeführt wird. Für ausreichend festen Halt in der Maschine sorgen die Vakuumsauger unterhalb des Werkstücks.

In der Abbildung rechts ist eine Momentaufnahme während des "Z-Ebenen schrumpfen" der unteren Pressform für die Hembra zu sehen. Es folgen das "Oberflächenfräsen" sowie die Bohrungen für die Arretierung. Danach entstehen auf dieselbe Weise die obere Pressform für die Hembra und ebenfalls die Pressformen für die Macho.



Abbildung 17: CNC Pressform



Abbildung 18: Pressform Macho

Insgesamt werden sechs Pressformen gefräst, drei für die Hembra und drei für die Macho. Auf die Herstellung einer Konditionierform wird verzichtet, da aufgrund der kleinen Formate die Pressformen größtenteils aus Schnittresten hergestellt werden und der Materialverbrauch demnach vernachlässigt werden kann. Zudem können die Formteile nach dem Pressvorgang in der Form bleiben, dadurch ist die Pressform zugleich auch die Konditionierform. Innerhalb einer Woche können so mindestens drei Formteile für einen Kessel gepresst und konditioniert werden.

5.3 Pressen und Konditionieren



Abbildung 19: Pressen Hembra

Kraft von 60 N/cm^2 angenommen. Da die Kolbenfläche 12 cm^2 beträgt, wird für die Werkstückfläche der Furnierschichten ein erforderlicher Manometerdruck von 200 bar berechnet. Nach der ersten Pressung stellt sich heraus, dass eine leichte Komprimierung des Furnierblocks resultiert und das Rohteil eine Dicke von 15mm, statt der gewollten 15,4 mm aufweist. Da nach der zweiten Pressung mit etwas weniger Druck die Furnierschichten jedoch nicht vollflächig verleimt werden, wird der Druck wieder angehoben und die Komprimierung in Kauf genommen. Nachdem die Formteile mindestens 24 Stunden in der Presse abbinden und trocknen konnten, wird das Formteil wieder herausgenommen und circa eine Woche konditioniert. Dafür werden die Formteile in der Pressform gelassen und mit Zwingen zusammengehalten, um ein Zurückformen zu verhindern.

Damit nach dem Pressen das Formteil nicht mit der Pressform verklebt, wird diese zuerst mit Klarsichtfolie überzogen. Die einzelnen Furnierschichten werden mit Kauritleim bestrichen und nacheinander auf die Pressform gelegt, sodass ein Furnierblock mit 14 Schichten entsteht. Das obere Stück der Pressform wird nun auf die Stäbe der unteren Pressform aufgefädelt und alles zusammen in einer Kolbenpresse positioniert. Für den Pressdruck wurde eine

5.4 Vakuumvorrichtung

Damit die konditionierten Teile formatiert werden können, müssen noch die Vakuumvorrichtung hergestellt werden. Das Vorgehen ähnelt dem bei der Pressform, nur liegt der Bearbeitung ein anderes CNC-Programm zugrunde. Nach dem Fräsen werden das Moosgummi und die Arretierstäbe in die Form eingelassen sowie der Anschluss an den Vakuumkreislauf vorgenommen.

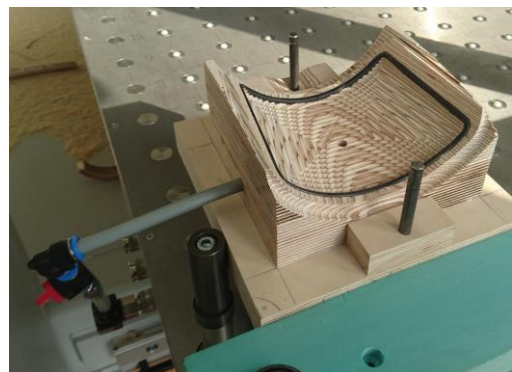


Abbildung 20: Vakuumvorrichtung

5.5 Formatieren

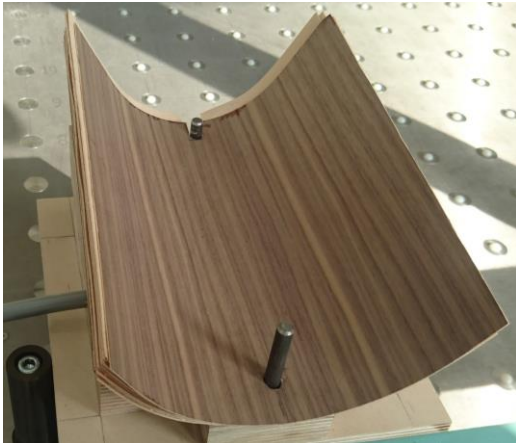


Abbildung 21: Rohteil in Vakuumvorrichtung

Zur Formatierung werden jeweils einzelne Roh-teile dank der Stäbe passgenau in der Vorrichtung positioniert. Danach wird das Vakuum aktiviert, welches das Teil in der Form hält und die Arretierstäbe werden wieder herausgenommen, damit diese während der Bearbeitung nicht mit der Maschine kollidieren. Erst dann kann das Formatierungsprogramm gestartet werden.

Für das Formatieren werden die Einsätze verschiedener Werkzeuge auf Basis des Resultats analysiert. Anschließend stellt sich heraus, dass das Fräsen von der Ober- und Unterkante des Segments weniger Risse in den Deckschichten aufweist, wenn es mittels eines 5mm-Schlichtfräsers erfolgt, als bei Verwendung der 180mm-Säge.

Die 180mm-Säge ist jedoch notwendig, um die länglichen Kanten des Segments zu formatieren, ohne dass die Werkzeugspindel mit dem Segment während der Bearbeitung in Berührung kommt.

Die Einfahrtsrichtung des Werkzeugs spielt auch eine wichtige Rolle bei der Entstehung von Rissen in den Deckschichten. Unter Berücksichtigung der Drehrichtung der Spindel werden die Verfahrenswege so optimiert, dass sich die Werkzeugschneiden stets in das Material hineindrehen.

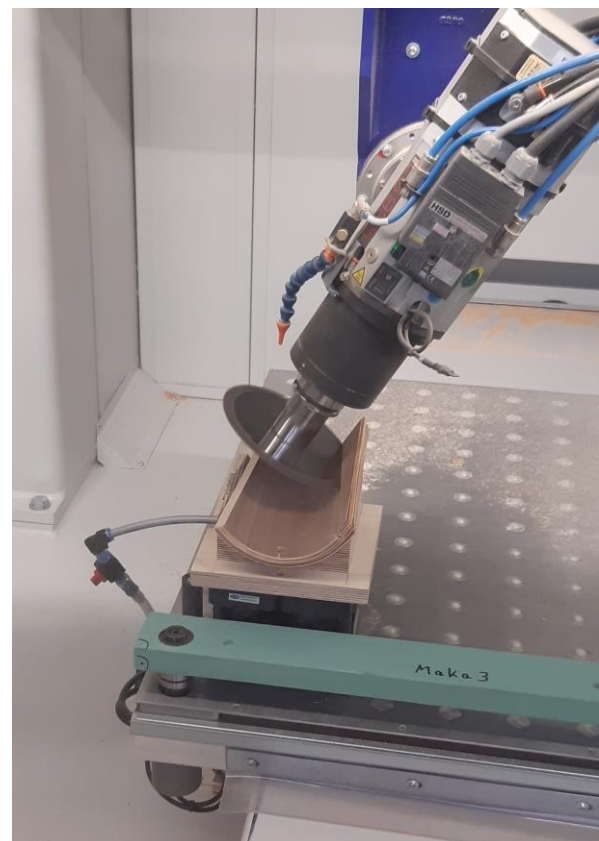


Abbildung 22: CNC Formatierung Formteil

5.6 Verleimen

Die einzelnen Kesselstücke werden durch die Nut-Feder-Verbindungen an den Seiten miteinander verleimt. Hierbei dienen zwei Spanngurte, die alle drei Kesselstücke von außen gleichmäßig zusammendrücken. Da die Gurte den Druck von außen anwenden, werden Differenzen nach innen verlagert und eine bündige Außenseite erzeugt. Wichtig dabei ist, dass die Federn mindestens einen halben Millimeter dünner als die Nuten sind, damit der Leim sich vollflächig verteilen kann und die Differenzen ausgeglichen werden können. Die Spanngurte werden zusätzlich mit Schraubzwingen fixiert, um ein Abrutschen zu verhindern. Nach dem Aushärten werden die Federn abgesägt und mit Schleifpapier bündig geschliffen.



Abbildung 23: Verleimte Kessel

5.7 Herstellung des Verbindungsstücks

Das Rohteil mit den Maßen 100 x 70 x 47 mm³ wird zuerst einzeln an dem Anschlag positioniert, dort durch einen Sauger fixiert und mit einem 8 mm Dübelbohrer zweimal von oben gebohrt. Da der Dübelbohrer nur Druck von oben auf das Werkstück ausübt, besteht keine Gefahr, dass das Rohteil bei diesem Bearbeitungsschritt von dem Sauger abrutschen kann. Die Bohrungen dienen nun der genauen Positionierung auf der Bearbeitungsvorrichtung mittels zweier Dübel. Zusätzlich wird das Rohteil von unten mit der Vorrichtung verschraubt, um während der seitlichen Bearbeitungen nicht verrutschen zu können. Das Vorgehen ist nun wie gewohnt: Zuerst wird Material mit einem Schruppfräser und einem Aufmaß von 2mm grob abgetragen. Anschließend wird mit einem 10 mm Kugelfräser die Oberfläche gefräst. Nachdem die zwei Hälften fertig formatiert sind können sie durch die beiden Dübellöcher an der unteren Seite miteinander verleimt werden.

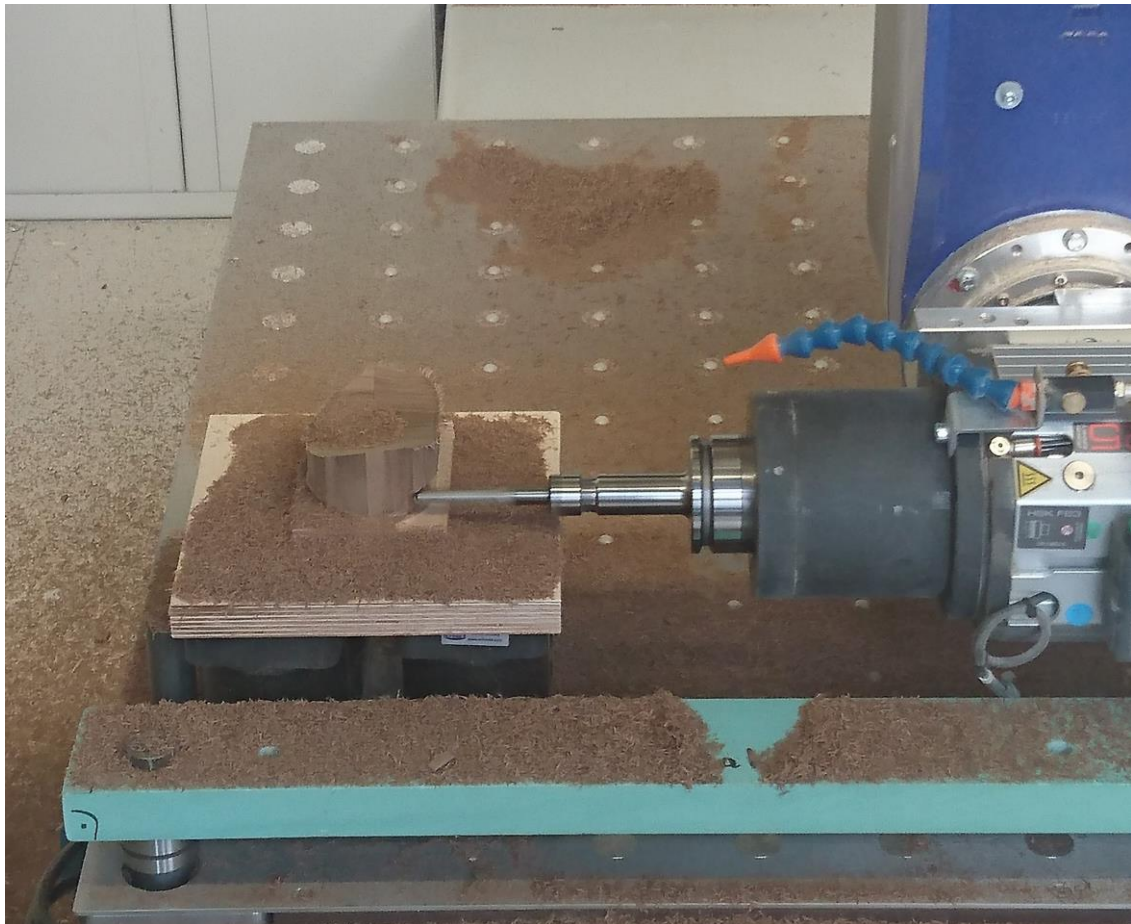


Abbildung 24: CNC Verbindungsstück

5.8 Montage und Oberflächenbehandlung

Nach dem Verleimen aller Komponenten werden diese fein geschliffen und mit einem Hartwachsöl behandelt. Für den Zusammenbau der Kessel und dem Verbindungsstück wird ein Loch längs durch das Verbindungsstück sowie jeweils ein Loch durch die Wände der Kessel gebohrt. Eine Gewindeschraube wird von dem einen Kessel durch das Verbindungsstück in den anderen Kessel geführt und dort mit einer Flügelschraube fixiert. Die formschlüssige Aussparung des Verbindungsstücks verhindert ein Verdrehen der Kessel, sodass eine einzelne Gewindeschraube zur Fixierung ausreicht. Letztlich können die Felle und Beschläge an die Bongo montiert werden.



Abbildung 25: Kesselsatz und Verbindungsstück nach Oberflächenbehandlung



Abbildung 26: Endmontage aller Komponenten

6 Fazit

Insgesamt wird das Projekt von allen Gruppenmitgliedern erfolgreich bewertet. Die fertigestellte Bongo entspricht sowohl optisch als auch technisch den Anforderungen, die im Pflichtenheft festgelegt sind. Die Form und Maße gleichen den einer handelsüblichen Bongo in den Größen 7,5" und 6,5", sodass die zugekauften Beschläge passend montiert werden können und die Bongo sich sauber stimmen und spielen lässt. Allerdings ist der zugekaufte Spannring der Macho etwas größer als angenommen und sitzt dadurch lockerer als gewünscht. Durch Festziehen der Spannhaken lässt sich der Spannring dennoch im Pfalz fixieren. Bezüglich dieses Mangels ist es klüger die montierten Beschläge vor dem eigentlichen Entwurf zu kaufen, um möglichen Fertigungstoleranzen in den Beschlägen entgegenwirken zu können. Außerdem liegt bei manchen Kesselsegmenten eine leichte Asymmetrie vor, die bei der Formatierung durch Holzspäne unter den Saugern oder ungenaue Positionierung in der Vorrichtung hervorgerufen wurde. Jedoch sind diese Fehler im Laufe der Produktion immer weniger geworden, sodass letztendlich eine zufriedenstellende Bongo hergestellt werden konnte.

Die uns gestellten Aufgaben von der eigenständigen Planung und Konstruktion bis hin zur praktischen Herstellung und Montage des Produkts haben im Verlaufe des Semesters intensiven Arbeitsaufwand vorausgesetzt jedoch genauso viel Freude bereitet. Die Kombination aus dem Erwerb von theoretischen Kenntnissen und der unmittelbaren praktischen Anwendung bietet den Projektteilnehmern zudem einen besonders schnellen und einprägsamen Lernprozess. Daher lässt sich das Modul CAD-CAM Praxisprojekte von allen Gruppenmitgliedern in eines der effektivsten Module des Studiengangs einordnen.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Brainstorming.....	3
Abbildung 2: Aufbau einer Bongo.....	6
Abbildung 3: CAD Bongo	11
Abbildung 4: CAD Rohteil.....	11
Abbildung 5: CAM unten1	12
Abbildung 6: CAM oben 1.....	12
Abbildung 7: CAM oben2	12
Abbildung 8: CAM unten2	12
Abbildung 9: CAD Formteil.....	13
Abbildung 10: CAM Vakuum	13
Abbildung 11: CAM Format Säge	14
Abbildung 12: CAM Format Fräser.....	14
Abbildung 13: CAD Verbindung.....	15
Abbildung 14: CAD Verbindung Maße.....	15
Abbildung 15: CAM Verb. Sockel.....	15
Abbildung 16: CAM Verb. Format.....	15
Abbildung 17: CNC Pressform.....	17
Abbildung 18: Pressform Macho	17
Abbildung 19: Pressen Hembra.....	18
Abbildung 20: Vakuumvorrichtung	18
Abbildung 21: Rohteil in Vakuumvorrichtung	19
Abbildung 22: CNC Formatierung Formteil.....	19
Abbildung 23: Verleimte Kessel	20
Abbildung 24: CNC Verbindungsstück.....	21
Abbildung 25: Kesselsatz und Verbindungsstück nach Oberflächenbehandlung	22
Abbildung 26: Endmontage aller Komponenten	22

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lastenheft.....	7
Tabelle 2: Pflichtenheft	8
Tabelle 3: Stückliste.....	9
Tabelle 4: Zeitplan.....	10