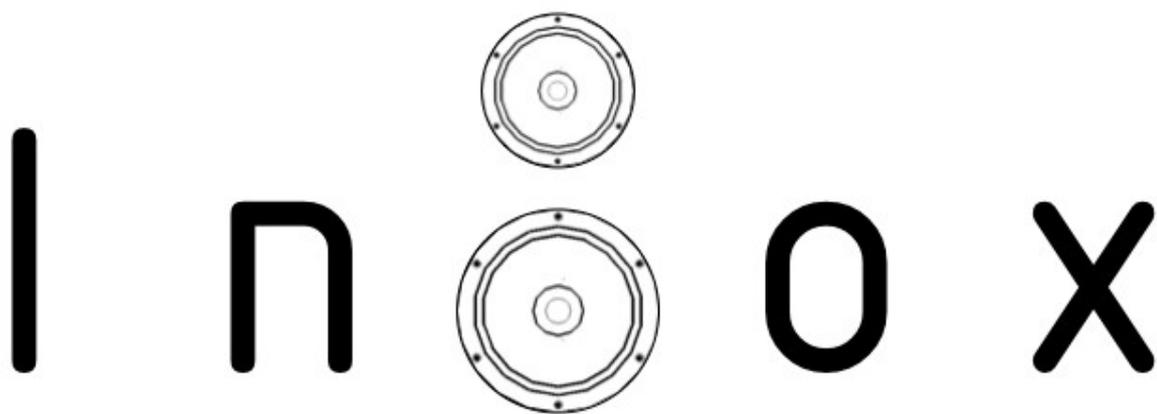


l n o x

The image displays five distinct symbols arranged horizontally. From left to right: a simple vertical line; a hook-like shape that curves to the right at its base; two concentric circles with small dots on their perimeters, one positioned above the other; a single circle; and a large 'X' shape formed by two intersecting diagonal lines.

Modul:
BHV 02 CAD CAM

Lehrende:

Dipl.-Ing. Norbert Linda
Dipl.-Ing. Renke Abels
im Wintersemester 2018/19

Studierende:

Fabian Terpelle 688765
Lukas Mühlenstädt 688655
Timon Burgermeister 688406

HAWK Hildesheim
Fakultät Bauen und Erhalten
5. Semester Holzingenieurwesen
Vertiefungsrichtung: Möbel und Ausbau

Inhalt

1	Einführung	4
	Das Projekt.....	4
	Unsere Erwartungen.....	4
2	Die Ideenfindung.....	5
	Projektideen	5
	Projektziel	6
	Pflichtenheft.....	8
	Arbeitsweise.....	8
3	Konstruktion.....	9
	Hauptmaße	13
4	Die Front	14
	Konzipierung.....	14
	Arbeitsablauf Fertigung	16
5	Seiten.....	21
	Konzipierung.....	21
6	Hinterstück	26
7	Deckel	27
8	Böden	28
9	Verleimen	29
10	Oberfläche & Montage & Technik & Anbauteile	30
11	Fazit.....	31
12	Galerie.....	32

1 Einführung

Das Projekt

Zu Beginn der Veranstaltung des CAD/CAM-Praxisprojektes wurden Formalitäten zu diesem Modul geklärt und Projekte aus den letzten Semestern gezeigt, die diese Erwartungen erfüllt haben. Die zentrale Aufgabe besteht darin, die fünfachsigige Bearbeitung an den CNC-Maschinen der Hochschule zu erlernen und anwenden zu können. Die dazu benutzte CAD-Software konnte frei gewählt werden, die Daten für die CNC-Steuerungen wurde über die CAM-Software AlphaCAM generiert und erstellt.

Die hier folgende Ausarbeitung soll einen strukturierten Überblick über die Ideenfindung, das gewählte Design und die gewählte Konstruktion sowie über die Fertigung unseres Projektes geben. Es werden Einblicke in unsere Vorgehensweise gewährt sowie Probleme und deren Lösungen aufgezeigt.

Abschließend bewerten wir unser Abgabestück und geben einen Rückblick über den Verlauf des Projektes.

Unsere Erwartungen

Unsere Erwartungen an dieses Projekt sind sehr anspruchsvoll und fallen dementsprechend sehr hoch aus. Durch Abgabeleistungen aus den vorangegangenen Semestern haben wir einen Einblick in mögliche Projekte bekommen, die sich vor allem durch ihre besondere Form und ihr Design auszeichnen. Uns war von Anfang an bewusst, dass wir eine sehr aufwändige Form gestalten wollten, um den richtigen Umgang mit der fünfachsigigen Bearbeitung zu lernen und nicht nur Formen gestalten wollten, die auch durch eine drei Achs möglich gewesen wäre. Diese Herausforderungen sprachen unser Projektteam gleichermaßen an. Jeder wollte in diesem Kurs etwas erreichen, dass einem rückblickend auf die Studienzeit mit Stolz und Freude erfüllt. Das alleinige erfüllen der Mindestanforderungen ist für uns nie in Frage gekommen. „Wenn man sich aus allen Autos eines aussuchen könnte, dann würde man auch nicht den alten Polo wählen, oder?“ (Lukas M.)

2 Die Ideenfindung

Projektideen

Um mögliche Produkte für unser Projekt besprechen zu können, recherchierten wir vorerst für einige Tage allein, um mögliche Artikel, die eine gebogene Form aufweisen, aufzulisten und deshalb nicht direkt eine bestimmte Produktkategorie auszublenden. Wir haben viele Artikel gefunden, die eine mögliche fünfschichtige Bearbeitung erfordern und diese zusammen diskutiert. Um unsere Auswahl zu verkleinern, entschieden wir uns mit folgenden vier möglichen Produkten eine Nutzwertanalyse durchzuführen:

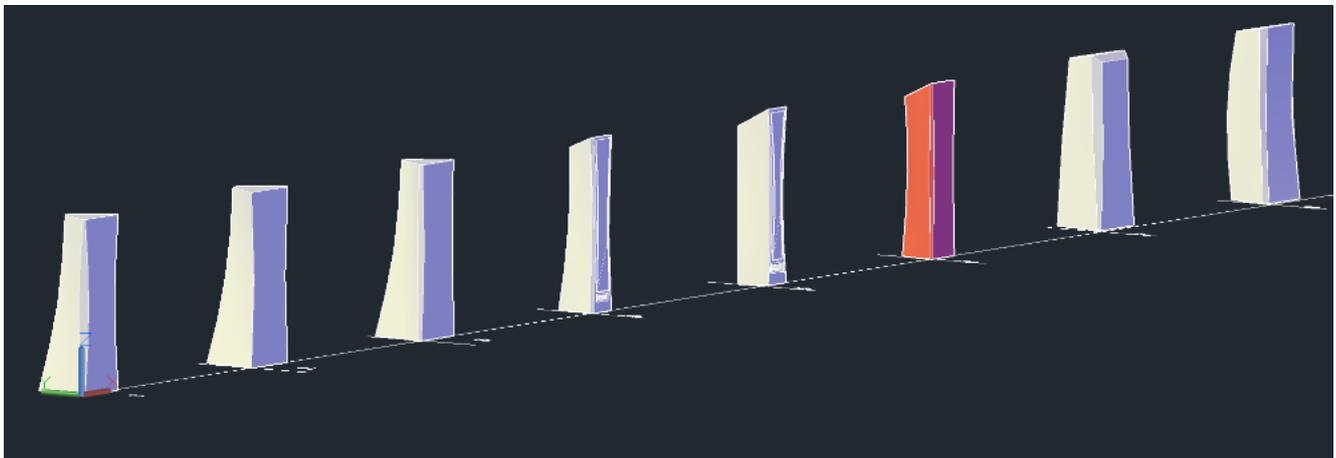
1. Standlautsprecher mit gebogenen Seiten
2. Hängendes Sideboard für den Flurbereich, Korpus und Front aus Formteilen
3. Standventilator, der komplett aus Formholz gefertigt wird
4. Lesesessel mit integrierter Ablage für Zeitschriften.

Nutzwertanalyse			Datum:	21.09.2018	
Kurs:	CAD CAM (BHV 02)		WiSe 18/19	HAWK	
Durchführungsrichtlinien: Die Wertermittlung jedes einzelnen Produktes in Bezug auf ein Kriterium erfolgte innerhalb der Gruppe durch objektive Bewertung als auch einer persönlichen Meinung. Der eingetragene Wert ist der Mittelwert, berechnet aus drei Werten von den Gruppenmitgliedern.					
Tabelle 1		Zu bewertende Projektideen			
Gewichtung	Bewertungskriterien	Standlautsprecher	Ventilator	Lesesitz	Wand-Sekretär
20	Nutzen in den nächsten 5 Jahren	8,5	7	4,5	5
15	Nutzen nach 5 Jahren	8	3,5	5,5	5,5
20	Lernfaktor im Projekt	10	10	9	9
5	Arbeitsaufwand	7,5	6	5	7,5
7,5	Kostengünstig	4	6	9	9
10	Nice to have	9,5	8,5	7,5	6,5
17,5	Lebensdauer	8,5	8,5	10	10
5	Alltagsgebrauch	8	6	7	6
100		8,41	7,31	7,30	7,38
	Weitere Kriterien die als unabdingbar gelten:				
	Endprodukt in Maßstab 1:1	✓	✓	✓	✓
Ergebnis:					
Wie in Tabelle 1 zu sehen ist, ist das Ergebnis der NWA eindeutig. Die Projektwahl trifft auf der Standlautsprecher.					

In einer dreistündigen Telefonkonferenz besprachen wir diese vier Produkte sehr ausführlich und führten eine Nutzwertanalyse durch, die hier dargestellt wird:

Projektziel

Unser Projektziel war somit sehr eindeutig und mit einem großen Abstand festgelegt: Die Herstellung eines Standlautsprechers, dessen Design einzigartig sein soll. In den folgenden Tagen recherchierten wir außergewöhnliche Formen von Lautsprechern, Stehlampen und Gebäuden, die sich auf unseren Lautsprecher übertragen lassen können. Unter sehr vielen Bildern fiel uns eine Stehlampe von Parapatricists besonders auf, die durch ihre verdrehte Form optisch einzigartig gestaltet ist. Die ersten erstellten Designs liegen der Form der Stehlampe auch sehr nahe. Schnell wurde jedoch deutlich, dass diese Form sehr viele Probleme in Bezug auf den Lautsprecherbau mit sich brachte. Beispielsweise gab es keine glatte Fläche, in der man ohne Probleme Lautsprecher-Chassis hätte einlassen können. Es musste also abgeändert werden und eine gerade Ebene aufweisen. Dazu stellten wir insgesamt acht Modelle in AutoCAD zusammen, die dieser Form sehr ähnlich waren und besprachen erneut diese Modelle sehr ausführlich. Die Modelle werden hier dargestellt:





Das von uns gewählte, finale Modell ist das folgende: Die Seiten sind unten in einem Radius gebogen und drehen sich zur Rückwand des Korpus. Die Rückwand wurde so konstruiert, dass auch dort in der gesamten Form ein etwas größerer Radius zu finden ist und auch hier eine fünfsichtige Bearbeitung notwendig ist. Damit wir das Projekt zielgerichtet fortsetzen können, haben wir ein Pflichtenheft erstellt, um damit stetig zu überprüfen, inwiefern wir unseren eigenen Erwartungen gerecht werden.

3 Konstruktion

Nachdem das Design festgelegt wurde, haben wir uns Gedanken über die Konstruktion und technischen Details des Lautsprechergehäuse gemacht. Verschiedene Konstruktionsprinzipien wurden erarbeitet und diskutiert. Themen wie, aus wie vielen Teilen besteht das Gehäuse, welche Geometrien werden zusammengefasst, wie sehen die Verbindungssituationen aus, wie erfüllen wir die Anforderungen des Pflichtenheftes und weiteres, wurden bearbeitet. Es wurden Muster im 3D Drucker aus PLA gefertigt und Vor- und Nachteile verschiedener Varianten verglichen. Recherche wurde mit Fachliteratur und Foren durchgeführt.

Die Soundqualität der Lautsprecher stand von Anfang an mit einer sehr hohen Erwartung fest. Um eine gute Soundqualität zu erreichen, recherchierten wir zu Beginn des Projektes sehr viel in speziellen Internetforen und in Fachliteratur, da nur ein abgestimmtes System eine zufriedenstellende Qualität erzeugen kann. So sind dafür unter anderem die folgenden Faktoren von großer Bedeutung: Material und Stärke der Seiten, räumliche Abtrennung innerhalb des Lautsprechergehäuses, verfügbares Litervolumen, Bassreflexrohr, Trennung von Frequenzbereichen für die verschiedenen Lautsprecher, Eigenschaften der Chassis und Nutzung von Dämmmaterial.

Nach wochenlanger Recherche entschieden wir uns ein abgestimmtes Passiv Bassreflex System zu bauen. Das heißt ein Korpus, der dicht ist und der Schall nur an einer Stelle über ein berechnetes Bassreflexrohr entweichen kann. Ursprünglich war es zwar geplant einen aktiv Lautsprechersystem zu entwickeln und auch das technische System selbst zusammenzustellen, nachdem wir uns jedoch intensiv mit der Technik beschäftigt haben, ist uns klar geworden, dass wir ein solches System in der kurzen Zeit nicht realisiert bekommen. Da sowohl das nötige Wissen und die Erfahrung über das Fachgebiet bei niemandem von uns vorhanden war, als auch die technischen Mittel und die Technik nur eine Nebenrolle in dem Projektziel spielen, haben wir uns auf ein passives Stereosystem fixiert und einen Bausatz, der alle Eigenschaften erfüllt, gesucht. Außer auf die technischen Eigenschaften wie Qualität und Art des Systems kommt es nur auf das Volumen des Gehäuses an, für das das System berechnet und ausgelegt wurde. Es wurde ein Bausatz für ein 32 l Volumen in unser 31.8 l Gehäuse verbaut. Eine Abweichung von bis zu 10% sind im Rahmen der Möglichkeiten.

Alle Hauptteile, bis auf die Böden, sollen auf Gehrung miteinander verleimt werden, um von außen betrachtet keine Fuge oder andere Verbindungsmittel zu sehen. Die Maßhaltigkeit der einzelnen Teile ist in diesem Fall daher enorm wichtig, denn selbst minimale Abweichungen in Winkel, Länge und anderen Faktoren verursachen offene Fugen und zerstören so die optische Erscheinung des Korpus. Um Eigenresonanzen und Schwingverhalten des Lautsprechergehäuses zu minimieren, wurde die

Materialdicke aller Teile auf 18,2 mm festgelegt. Dieser Richtwert ist der Fachliteratur für Lautsprecherbau entnommen. (Visaton; Buch für Lautsprecherselbstbau) Die 18.2 mm setzen sich bei den Sperrholzteilen aus 17 inneren Lagen (9 Quer & 8 Längs), dem Blindfurnier und dem Deckfurnier zusammen. Zu Beginn des Projektes haben wir erste Versuche mit einer Materialdicke von 12 mm durchgeführt, sind jedoch aufgrund der ausdrücklichen Empfehlung eine Mindestdicke von 18 mm zu haben, schnell davon abgekommen.

Die Auswahl des Materials nimmt eine zentrale Rolle im Bau unseres Lautsprechers ein, da dadurch die zu erwartenden Verformungen und Quell- sowie Schwindverhalten berücksichtigt werden müssen. Weiterhin wird die Stabilität des späteren Korpus maßgeblich bestimmt. Als Mittellage haben wir uns deshalb für 1mm starke Buchenschäl furniere entschieden, die wir als Sperrholz verpressen. Buche ist ein hartes Laubholz, dass trotzdem sehr elastisch sein kann. Somit können wir problemlos die Form der Außenseiten herstellen. Durch die abgesperrten Lagen (neun Querlagen und elf Längslagen) erreichen wir eine gute Form- und Maßstabilität. Die Wahl des Deckfurniers kann jeder für sich selbst auswählen und hat nur einen geringfügigen Einfluss auf die Maßhaltigkeit. Als Blindfurnier (zur Innenseite) haben wir uns für Buche als Messerfurnier entschieden, da die Deckfurniere auch Messfurniere sind und Buche eine günstige Alternative zu den ansonsten teuer gewählten Deckfurnieren ist. Die Linke und Rechte Seite sind gebogen und verdreht, sodass hier ein hoher Anspruch an das Furnier gestellt wird, welches gut formbar sein muss. Mit Buche und den bisher verarbeiteten Hölzern haben wir das gut erreicht. Da wir mit dem Projekt an vielen verschiedenen Teilbereichen arbeiteten, stellten wir vorerst keine Konditionierungsformen her. Dies hatte für uns zwei Gründe: Zum ersten sparten wir Zeit und konnten den Fokus auf andere Bereiche setzen, in denen Probleme auftraten und zum zweiten waren die Pressformen ausreichend schwer, damit wir sichergehen konnten, dass sich die Form der Außenseiten und der Rückwand nicht verziehen würde bei Lagerung der Teile in den Pressformen.

Da unsere gewünschten Deckfurniere nicht in der Hochschule vorhanden waren, kauften wir diese über die Hochschule bei Hennig-Furniere in Gehrden und bei Langner-Furniere in Minden ein. Dabei handelt es sich um Kernbuche, Europäischem Nussbaum und einem eher unbekanntem heimischem Holz Gleditschie, umgangssprachlich auch Christusdorn genannt.

Für die Herstellung der Front haben wir uns für MDF entschieden, die wir furniert haben. Die Front hat keine besondere Verformung, sodass hier eine Wahl von Sperrholzschichten nicht notwendig ist. Da auch der Deckel keiner besonderen Verformung ausgestellt ist, haben wir uns auch hier für MDF mit einem Deck- und Blindfurnier entschieden. Die Rückwand besitzt nur eine 2D-Verformung und wurde zur Stabilität aus Formsperrholz gepresst.

Im folgenden Abschnitt wird unser finales Konstruktionsprinzip vorgestellt, mit den jeweiligen Erläuterungen und Gründen, warum wir uns dafür entschieden haben.

Dies ist eine Explosionszeichnung des Gehäuses ohne technische Elemente, Verbindungsmittel sowie Anbauteilen. Alle Teile, die hier abgebildet sind, werden selbst, teils aus Rohmaterialien, hergestellt, auf der CNC Maschine bearbeitet und im Anschluss erfolgen die Verleimung, Oberflächenbehandlung, Montage der Technik sowie den weiteren Einkaufsteilen. Der Korpus besteht aus fünf Hauptelementen mit weiteren Untergliederungen:

1: Front

Rahmen
Aufdopplung
Füllung

2: Seiten

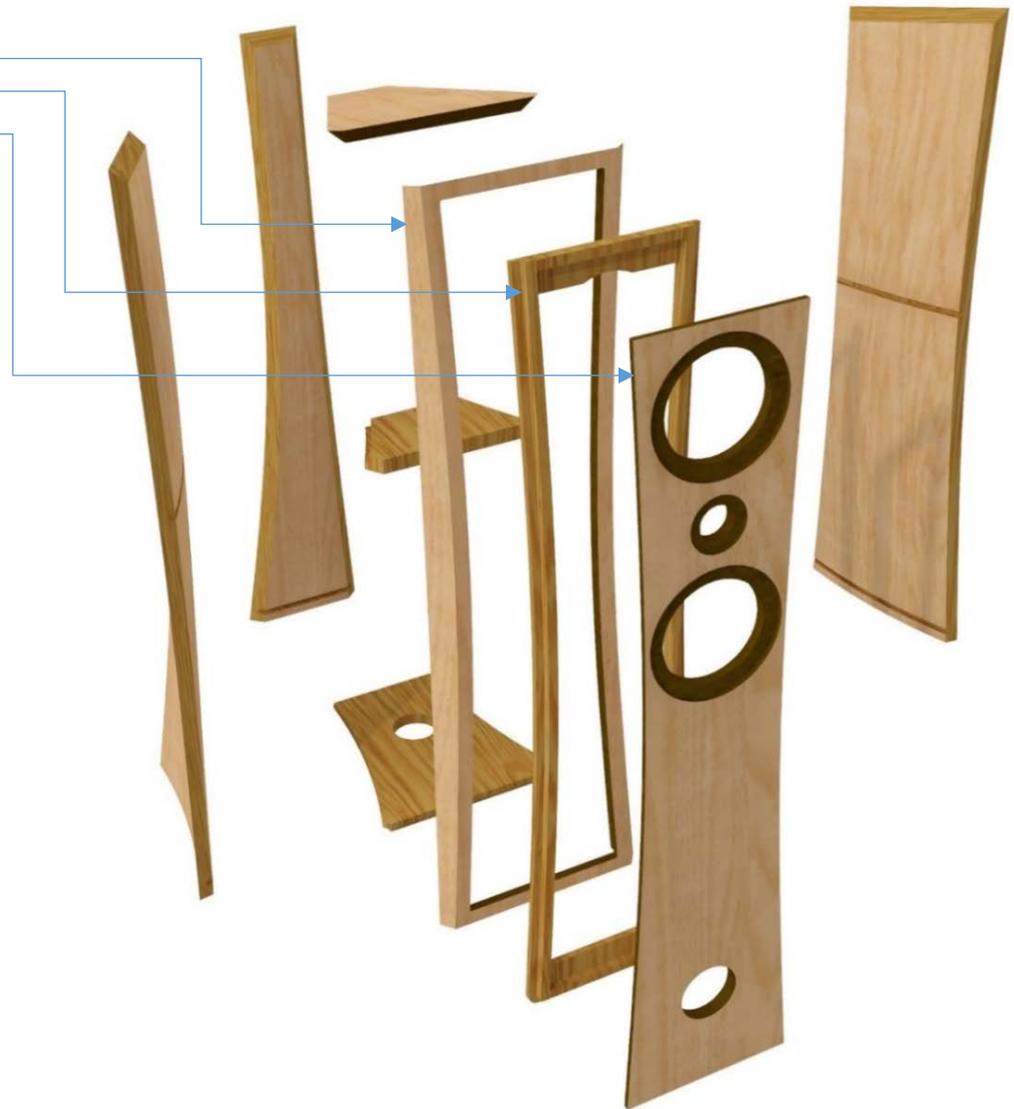
Links
Rechts

3: Hinterstück

4: Deckel

5: Böden

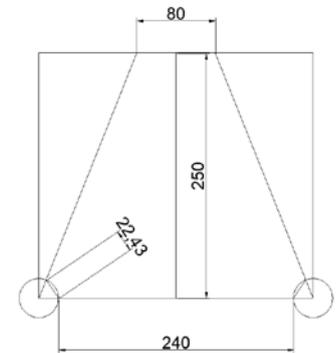
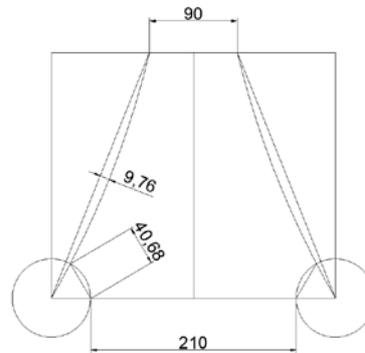
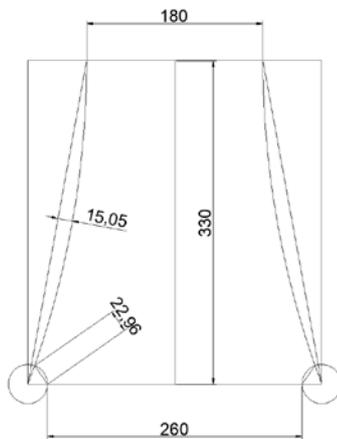
Mittelboden
Unterboden





Hauptmaße

Der Lautsprecher ist ohne FüÙe an der Vorderkante genau einen Meter hoch. Die weiteren MaÙe sind der Zeichnung zu entnehmen. Sie zeigen von links nach rechts die Ebenen Unten, Mitte und Oben. Für die Konstruktion der CAD-Datei wurden die Ecken über Splines miteinander verbunden und über den Befehl „Anheben“ und „Führung durch Linie“ wurde die CAD Datei des Lautsprechers erstellt. Diese Volumenkörper wurden dann noch mit Hilfslinien und Rohteilvolumen in separaten Dateien abgespeichert und anschließend in AlphaCAM bearbeitet und mit Operationen belegt. Die Vorarbeit der Teile in AutoCAD, sodass in AlphaCAM nur noch vorhandene Geometrien angewählt und mit einer Bearbeitung belegt werden mussten, war sehr hilfreich und effizient.



4 Die Front

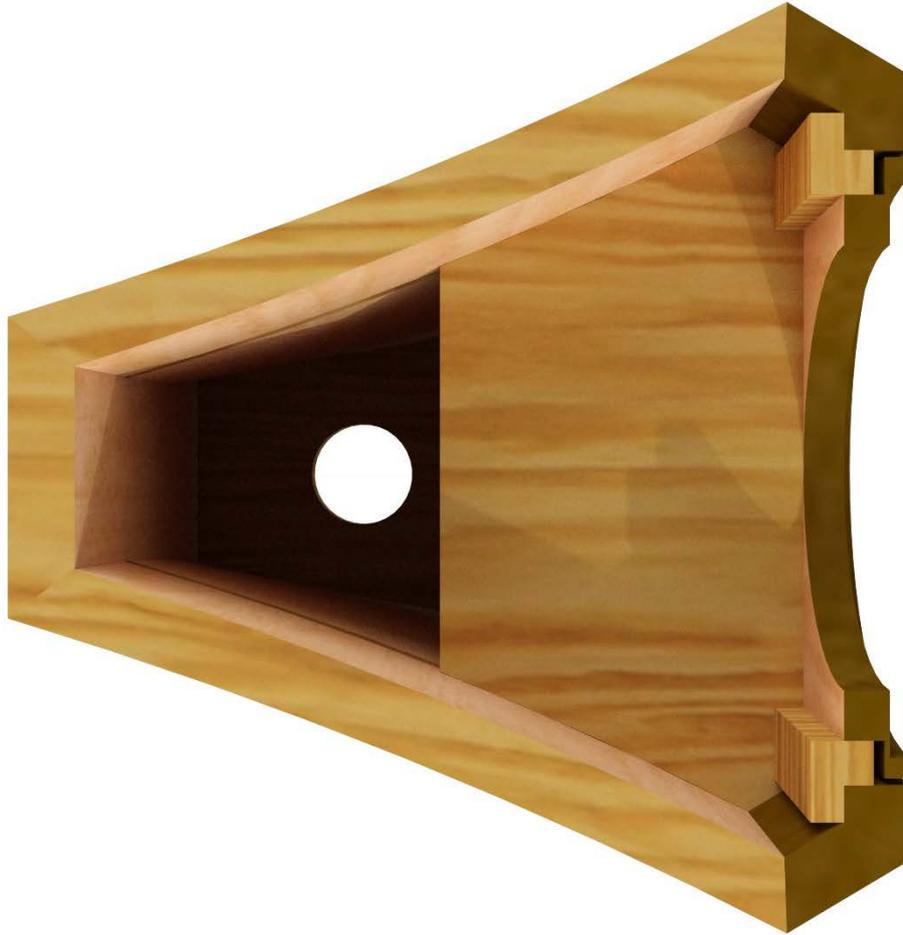


Konzipierung

Die Front des Korpus ist eines der komplexesten Teile in der Konstruktion. Viele verschiedene Anforderungen wurden gestellt und mussten berücksichtigt werden.

Zum einen sollte es nach unserem Pflichtenheft möglich sein die Box individuell gestalten zu können und dazu gehören auch die verbauten Chassis. Diese gibt es in unterschiedlichsten Größen und Formen. Die Individualität der Frontaufteilung sollte vor allem nicht nur bei der Fertigung gegeben sein, sondern auch im Anschluss, wenn bereits alles fertig ist. Ein „Upgrade“ der Chassis und/oder der Frequenzweiche auf hochwertigere Produkte soll nicht ausgeschlossen sein. Ebenso sollen Wartungsarbeiten im inneren der Box kein Problem darstellen. Ein geschlossenes System ist also keine Lösung. Es muss eine Blende, Tür oder ähnliches vorhanden sein. Wir haben uns dazu entschlossen, diese in die Front zu legen und gleichzeitig eine optische Betonung der Korpusgeometrien, in Form einer Schattenfuge, zu erreichen. Ein durchlaufendes Maserbild in der Front sowie die Schalldichtheit war in der Konstruktion ebenfalls zu berücksichtigen. So wäre beispielsweise auch ein geschlossenes Lautsprechersystem anstelle des Bassreflexsystems möglich. Zu der Individualität gehört ebenfalls die Oberflächengestaltung. Verschiedene Holzoptiken oder auch Lacke sollten möglich sein.

Die Wahl des Trägermaterials viel so auf MDF, um alle technischen als auch optische Anforderungen zu erfüllen. Wie gut in der Explosionszeichnung zu erkennen ist, besteht die Front aus drei Teilen, die im folgenden analysiert werden.



Die Aufteilung der Front ergab eine undichte Stelle im System, die geschlossen werden musste. In der Detailansicht sieht man eine Fuge zwischen der Füllung und der Aufdopplung. Ein 12 mm breites Kompriband, welches für ein Spaltmaß von 1- 5 mm vorgesehen ist, findet hier Anwendung und sorgt für ein luftdichtes Abschließen. Hierdurch gewährleisten wir auch eine nahezu perfekte Flächenbündigkeit von Füllung und Rahmen. Die Füllung wird über vier Gewindeschrauben in jeder Ecke in einer Einschraubmuffe in der Rahmenaufdopplung fixiert. Eine weitere befindet sich unten am Mitteltieftöner, die durch die Bohrungen des Chassis in den Mittelboden geführt wird. (Siehe Bilder vom Original im Anhang)

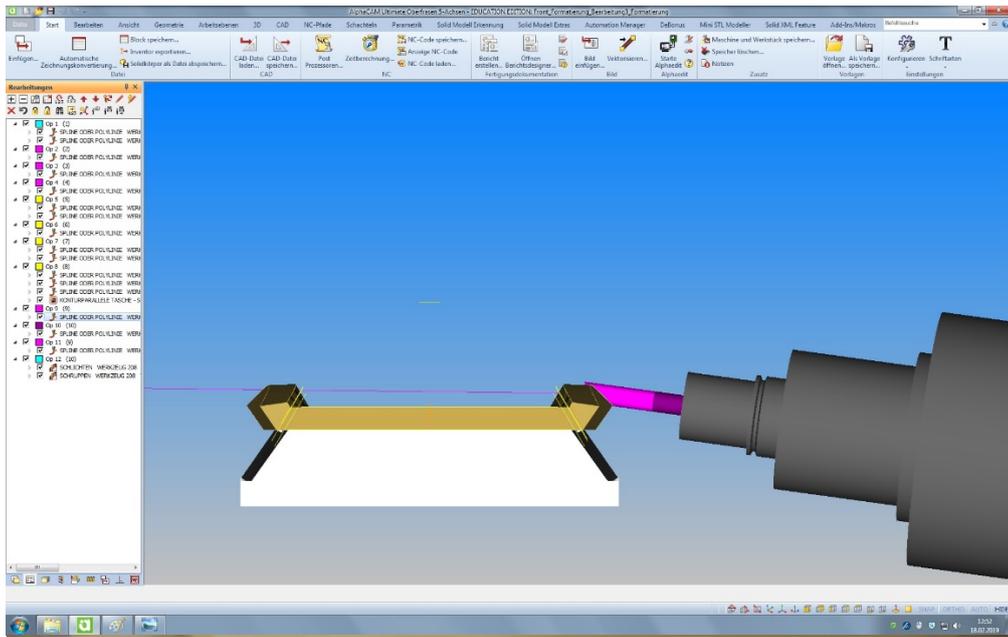


Arbeitsablauf Fertigung

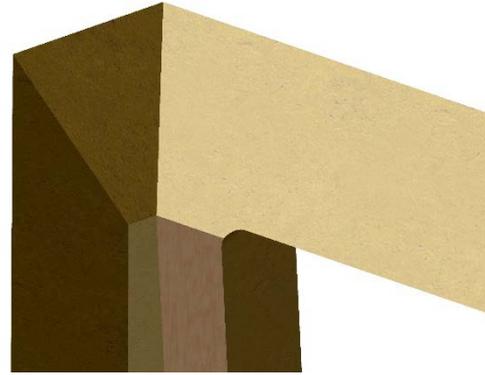
Der Fertigungsprozess geschieht in verschiedenen Arbeitsschritten. Zu Beginn wird das Rohteil, welches aus drei Teilen besteht, angefertigt. In der Konstruktionsphase stellte sich hier die Frage, an welchem Punkt in der Fertigung das Furnier aufgebracht wird. Die erste Lösung war das Rohteil fertig zu fräsen und anschließend das Furnier mithilfe eines Vakuumsacks aufzuleimen. Von dieser Idee kamen wir jedoch schnell ab, da der Prozess, die Teile passgenau zuzuschneiden und zu verarbeiten, sehr aufwändig erschien. Auch die Nacharbeit der Furnierüberstände wäre nicht zu vernachlässigen. In der finalen Lösung wird eine 17 mm dicke MDF Platte als erstes mit einem Deck- und Blindfurnier belegt. Dazu wird Kauritleim bei einer Presstemperatur von 80°C verwendet, um Leimdurchschlag zu vermeiden. Erst im Anschluss werden die zwei kleineren MDF Streifen aufgeleimt. Die zweite Phase startet sehr zeitnah, um einen Verzug in dem Bauteil zu minimieren. Sie besteht aus der Positionierung des Teils, dabei werden ein Kreisabschnitt und ein Langloch in das Rohteil gefräst, wodurch das Teil immer passgenau auf die verschiedenen Vorrichtungen positioniert werden kann. Im Anschluss erfolgt die Schrupp-Bearbeitung mit einem Aufmaß von 3 mm. Lediglich die seitlichen Fasen werden in dem finalen Fräsgang bearbeitet, um im Anschluss ein Furnier aufzubringen. Dies geschieht mithilfe von starker Hitzezufuhr durch ein Bügeleisen. Nach dem Bündigfräsen beginnt Phase drei, die am selben Tag der Korpusverleimung erfolgt, um ein Quellen der passgenauen Gehrungen zu verhindern.

In dem nächsten Bild ist eine von den zwei Saugvorrichtungen für die Front zu sehen. Die Fixierung wird über zwei Vakuumkreise erreicht, einem Inneren und einem Äußeren. Zu Beginn wird die Innenseite gefräst und formatiert. Hier wird nur der innere Vakuumkreis benötigt. Der äußere Kreis wird benötigt, wenn das Teil von der Vorderseite bearbeitet wird und in diesem Schritt in zwei Teile aufgetrennt wird. Bei dem Bau der Vorrichtung war unter anderem die Bearbeitungshöhe zu beachten, da die Gehrungen einen Kippwinkel von über 90° haben und das Aggregat bei einer zu geringen Höhe mit dem Maschinentisch kollidieren würde.





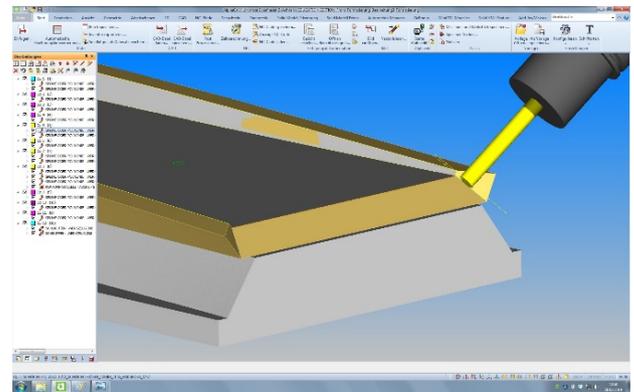
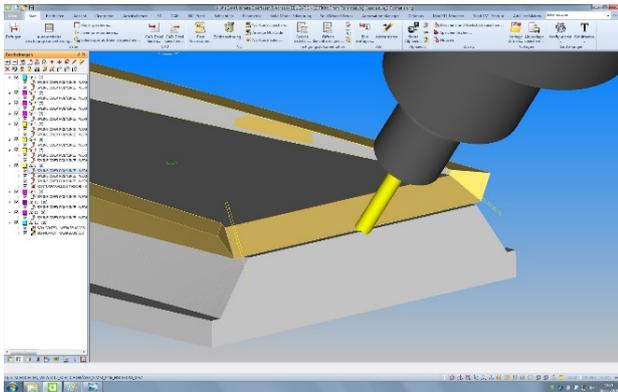
Es gibt ein paar besondere Schwierigkeiten bezüglich der Bearbeitung und der Fertigung der Front. Dies ist ein Detail der oberen rechten Ecke des Frontrahmens. Da wir uns aufgrund der Größe der Teile dazu entschlossen haben die drei Flächen (Fase links, rechts und Frontfläche) aus einem Rohteil zu fertigen, entsteht eine Geometrie, die nur in mehreren Schritten zu bearbeiten ist. Es mussten einige Versuche gemacht werden, bis ein sehr gutes Ergebnis in Sauberkeit, Maßhaltigkeit und Kantenschärfe erreicht wurde.



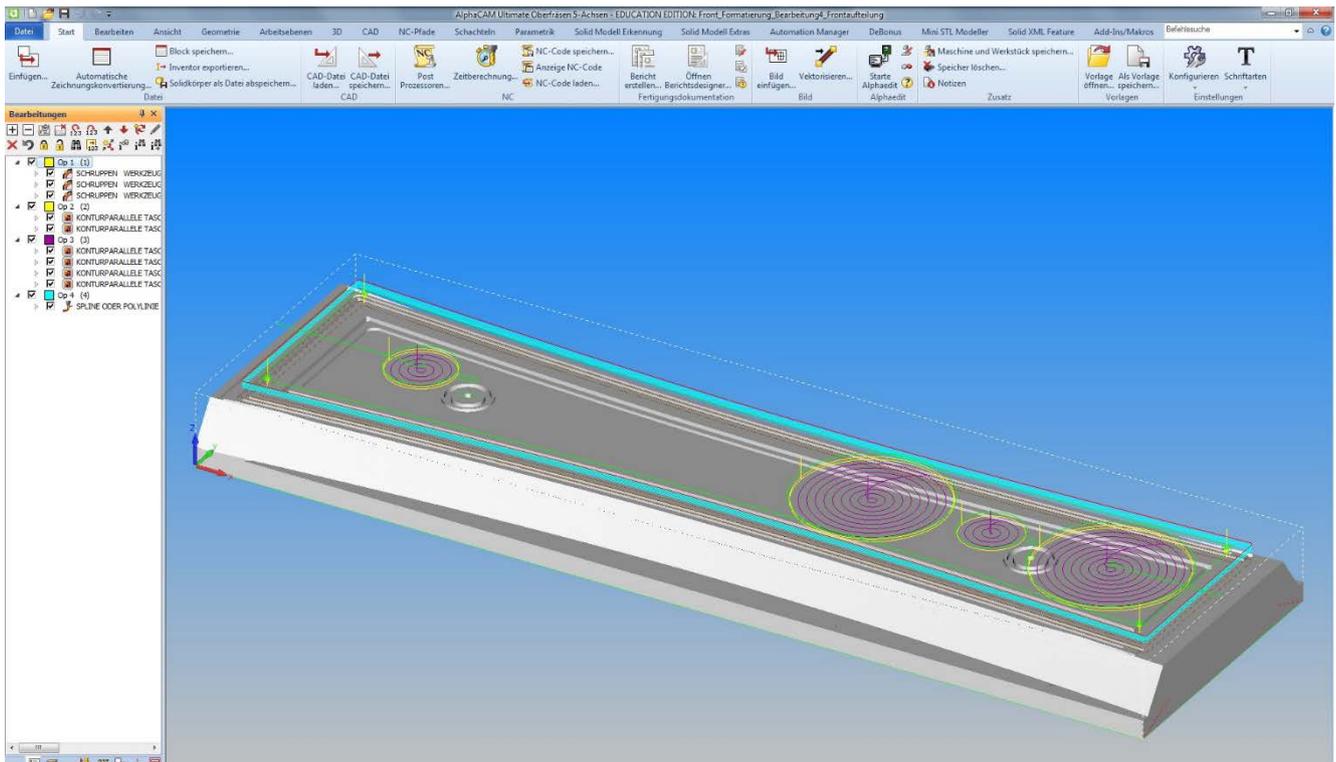
Das Ergebnis sind eine Reihe von Stirn Fräsungen, die in einer bestimmten Reihenfolge und Fräsrichtung abgefahren werden. Scharfes Werkzeug für eine saubere Kante ist Voraussetzung sowie kontrolliertes Eintauchen des Fräasers in das Material.

Nachdem die Gehrungen angefräst wurden, folgen auf der Innenseite als letzte Bearbeitung das Ausfräsen des Falzes. Fast alle Bearbeitungen, vor allem bei denen es auf saubere Schnittkanten ankommt, werden in zwei Zustellungen gefräst, um ein optimales Ergebnis zu erreichen.

Das beste Ergebnis konnten wir mit einem 12mm Schlichtfräser erreichen.



Zum Schluss wird noch die Frontaufteilung gefräst. Hierzu wird das Teil auf derselben Vorrichtung umgedreht, sodass die Außenseite oben liegt. Mit einem 3 mm Fräser werden alle Ausschnitte vorgefräst, um ein Ausreißen des Furniers zu verhindern. Im Anschluss wird das übrige Material ausgeräumt, jedoch noch nicht durchgefräst. Dies geschieht über eine andere Saugvorrichtung, die der von der Front sehr ähnlich ist, bis auf, dass sie andere Gummiabdichtungen hat. Als abschließende Bearbeitung wird die Front mit einem 1.9 mm Fräser in Rahmenteil und Füllung aufgetrennt. Für diesen Arbeitsschritt wird der zweite Vakuumkreis benötigt. Die Bearbeitungszeit für das Teilprogramm liegt bei 25 Minuten und die reine Bearbeitungszeit der gesamten Front beläuft sich auf ca. 1.5 – 2 Stunden.



5 Seiten



Konzipierung

Die Seiten sind der zentrale Punkt der Projektanforderungen. Es handelt sich um eine dreidimensional verformte Geometrie, deren Kantenwinkel sich im Verlauf der Geometrie ändern. Eine Fertigung ohne eine Fünf-Achs CNC Maschine ist kaum möglich und wenn mit einem sehr hohen Aufwand verbunden. Die Seiten Links und Rechts unterscheiden sich lediglich in der Spiegelung. Die Form ist wie in dem Bild zu erkennen im unteren Bereich nach innen gewölbt. Diese Wölbung läuft bis nach oben in eine gerade Kante über. Des Weiteren wird die hintere obere Ecke um 50 mm nach innen verschoben. Durch diese Geometrien entstehen Bereiche, in denen das Furnier „länger“ und „breiter“ werden muss und an anderen Stellen „kürzer“ und „schmäler“.

Um das Rohteil herzustellen, werden einzelne Furnierlagen miteinander als Sperrholz verleimt. Pro Seite wird also eine Pressvorrichtung benötigt, die wiederum aus zwei Teilen sowie mehreren Zubehörteilen besteht. Die Pressformen haben wir aus verleimten Multiplexplatten hergestellt, sodass eine erste geometrische Bearbeitung durch grobes Schruppen erfolgt ist. Damit das Furnier die spätere Form passend annimmt, erfolgt die Schlichtfräsung durch einen 20 mm Kugelfräser. Die erste Pressform musste erneut durch den Kugelfräser korrigiert werden, da wir uns während des Projektes auf eine stärkere Materialdicke geeinigt haben, um eine bessere Soundqualität durch Stabilität zu erreichen. Da sich folglich der Radius der Innenseite ändert, war eine Korrektur unabdingbar.

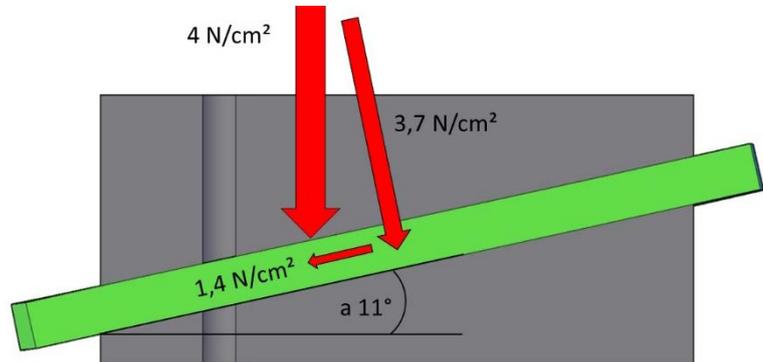
Für das Verleimen der Furnierlagen haben wir uns für Weißleim entschieden, da man diesem eine bessere Langzeitbelastbarkeit durch Schwingungen zuschreibt. Diese Informationen stammen zwar nicht von dem Leim- Hersteller, jedoch von erfahrenen Personen, die im Lautsprecherbau tätig sind und ihr Wissen und Ratschläge über Internetforen mitteilen. Den ersten Leimvorgang mit der Enddicke von 18,2 mm haben wir zu zweit durchgeführt, jedoch schnell festgestellt, dass wir zu langsam sind und an dem Punkt, an dem wir alle Furniere beleimt haben, wir die offene Zeit für die unteren Schichten schon überschritten hatten. Alle weiteren Pressvorgänge wurden zu dritt getätigt.

Zwei Personen haben über Leimwalzen Leim aufgetragen und die dritte Person hat die Furnierblätter in die Pressform gelegt. In die Furniere haben wir zuvor auf der CNC-Maschine mit einem 12 mm Schlichtfräser Positionierungen gefräst, indem wir die Furnierlagen zwischen zwei Multiplexplatten gespannt und dann alle zusammen gefräst haben. Die Positionierung besteht im Furnier aus einem Kreisloch und einem Langloch, die an einer Seite mit einem Abstand von ca. 40 cm liegen. Dadurch ist gewährleistet, dass alle Teile exakt positioniert sind und keine Überbestimmtheit vorliegt. Die Positionierung der Furniere innerhalb der Pressform haben wir anfänglich durch 10 mm Dübel platzieren wollen, allerdings sind diese bei unserem ersten Pressversuch aufgrund des hohen Druckes der Hydraulikpresse und der dadurch verursachten Scherkräfte gebrochen. Dabei haben sich die Pressformen in der Presse verschoben und die Positionierung sowie Formgebung waren fehlerhaft.



(Zulagen mit blauem Klebeband an den Rändern, um ein Einreißen zu vermeiden)

In der Grafik ist die Problemstelle aufgeführt. Bei einem angenommen Pressdruck von 50 Bar ergeben sich die genannten Kräfte. Der frisch aufgetragene Leim wirkt zusätzlich wie eine Art Gleitschicht und die gesamte Kraft wirkt auf die Positionierungen. Bei rückwirkender Betrachtung war es unmöglich für die 10mm Dübel, auch bei geringerem Druck, standzuhalten. Auch der Austausch durch Aluminiumstifte hat



kein besseres Ergebnis hervorgerufen, sodass wir letztendlich nach groben Berechnungen auf 20 mm starke Eisenbolzen für die Positionierung zurückgegriffen haben. Zusätzlich haben wir den unteren Teil der Pressform aufgedoppelt, um eine längere Führung der Metallbolzen im Material zu bekommen. So können die Kräfte besser aufgenommen werden und die Positionierung ist auch nach diversen Pressvorgängen unverändert. Anhand von Berechnungen und mehreren Pressvorgängen haben wir uns an den optimalen Druck herangetastet, bei dem wir die gewünschte Dicke, Stabilität und keinen Leimdurchschlag vermerken konnten. Die Materialdicke haben wir kontrolliert, indem wir die Teststücke aufgetrennt und vermessen haben. Teststücke wurden teilweise nicht über die gesamte Länge verpresst, um Material und Zeit zu sparen.



Die ersten Versuche verrutschten wegen der vorhin dargestellten Problematiken sehr schnell und Fehlstellen wie Überlagerungen, Risse und Leimdurchschlag traten auf, sodass wir zu einer Lösung gekommen sind, bei der wir die ersten fünf Minuten bei nur fünf Bar pressen, bis der Weißleim etwas angezogen hat und die einzelnen Schichten sich in ihre Position „schieben“ konnten. Im Anschluss haben wir den Pressdruck schrittweise auf 45 Bar erhöht, um die erforderliche Materialdicke, Komprimierung und den Materialverbund zu erreichen. Durch diese Strategie konnten wir alle aufgetretenen Probleme beheben und erzielten auch bei verschiedenen Deckfurnieren ein gleichbleibendes Ergebnis. Zusätzlich zu den 19 miteinander verpressten Furnierblättern liegt jeweils ein weiteres Furnierblatt als Zulage und Schutz unter und oberhalb des Verbundes. Eine Abtrennung erfolgte durch eine dünne Kunststofffolie. Es ist von großer Bedeutung, dass die Zulagen frei von Rissen oder anderen Fehlstellen sind, da sich diese direkt auf das Deckfurnier abzeichnen.

Die Pressform diente zu Beginn wie erwähnt ebenfalls als Konditionierform und die verpressten Seiten lagen vier bis fünf Tage in einem klimastabilen Raum, bevor sie weiterbearbeitet wurden. Die Maßhaltigkeit der auskonditionierten Seite ist sehr gut. Auch nach weiterem Lagern der Seite außerhalb einer formgebenden Auflage kam es zu keiner Veränderung der Form außerhalb der Toleranzen von ca. 2-3 mm Höhenunterschied in der Diagonale. Die Saugvorrichtung wurde so konzipiert, dass die Außenseite, also die Sichtseite, aufliegt und alles von der Innenseite bearbeitet wird. Dadurch erreichen wir eine Verschiebung der Toleranzen auf die Korpusinnenseite und eine gleichbleibende Maßhaltigkeit auf der Außenseite. Dies wird bei allen Komponenten angewendet, die zusammengefügt werden. Im ersten Schritt werden mit einem Aufmaß von 3 mm die Formteile mit einem Schruppfräser bearbeitet und anschließend die abgetrennten Teile von der Vorrichtung genommen.



Im letzten Arbeitsgang werden zwei Nuten für Boden und Mittelboden sowie die Formatierung der Kanten gefräst. Für die Kantenbearbeitung der Seiten wurde der Befehl „Fräsbahn aus zwei Konturen“ gewählt, da wir so flexibel einen geringen Hinterschnitt der Gehrungen erzeugen können, sodass mit Sicherheit alle Gehrungen des Korpus an der Außenseite geschlossen sind.



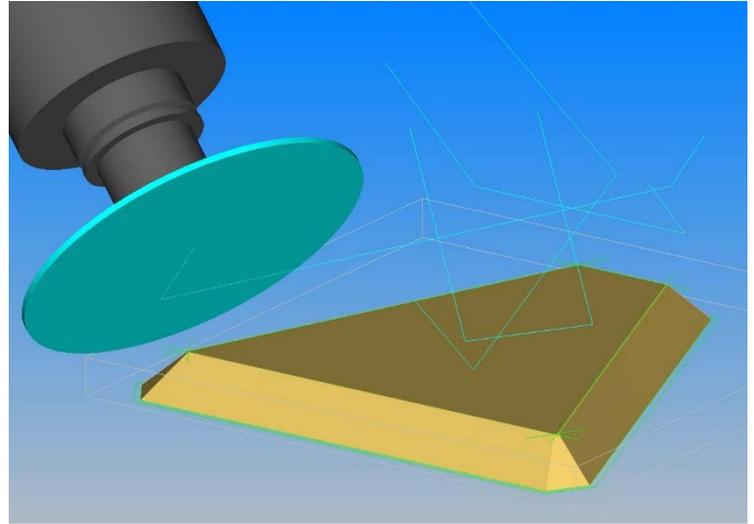
6 Hinterstück

Das Hinterstück beinhaltet bis auf die anderen Geometrien die gleichen Arbeitsabläufe und Überlegungen wie die zuvor vorgestellten Seiten. Aufgrund der Form haben hier jedoch die 10mm Positionierungen ausgereicht, da keine nennenswerten Scherkräfte bei dem Pressvorgang auftreten. Der Pressdruck liegt bei 30 Bar. Da die Rückwand nur in eine Richtung gebogen ist, ergaben sich auch keine Probleme mit Rissen oder Überlagerungen in dem Furnier.

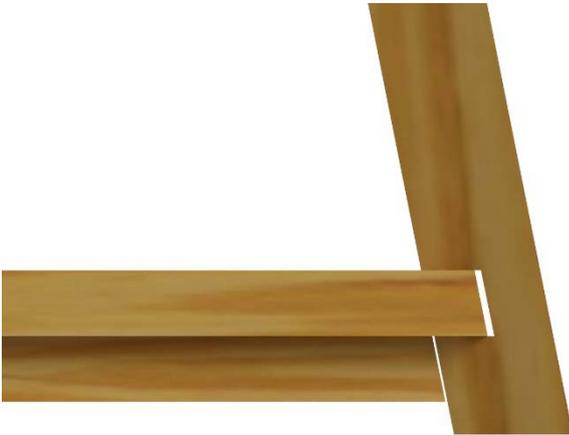


7 Deckel

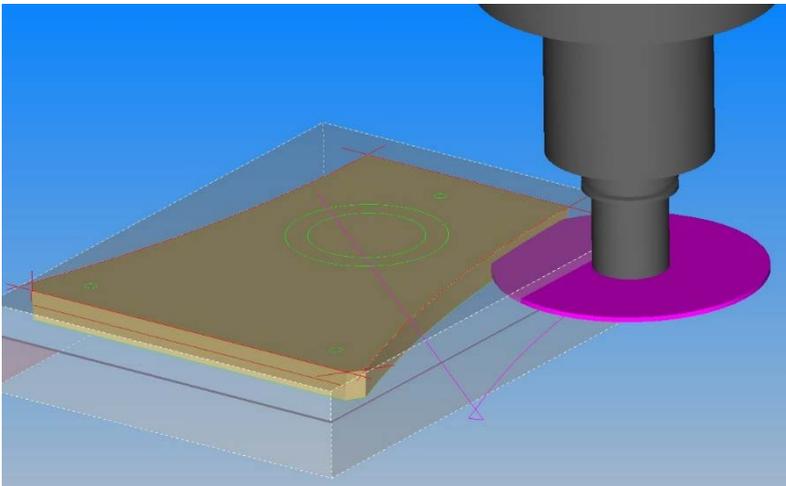
Für den Deckel wurde für eine sicheres Spannen ebenfalls eine eigene Saugvorrichtung gefertigt. Diese Vorgänge und Programmierungen waren nach den anspruchsvolleren Aufgaben, die man im Vorfeld bereits gelöst und programmiert hat, schnell und sicher fertiggestellt. Die Formatierung wurde hier über ein Sägeaggregat gemacht. Wirkliche Probleme oder Schwierigkeiten sind bei diesem Teil nicht aufgetreten.



8 Böden



Auch das Programmieren der Böden und deren Saugvorrichtungen war schnell erledigt und ist ebenfalls ohne Probleme abgelaufen. Dies liegt zum Großteil daran, dass diese Teile zu einem Zeitpunkt gefertigt wurden, an dem man sich sowohl schon gut mit den Programmen als auch mit den CNC Maschinen ausgekannt hat. Die meisten der Bearbeitungen waren nur noch Standard-Programmierungen, die man in einer anderen Form schon vorher ausgeübt hat. Die interessanteste Bearbeitung an dem Boden ist das Erstellen eines Falzes mit zwei schrägen Seiten, welches mit einem normalen Fräsvorgang nicht möglich ist. Hier wurde das Sägeaggregat in horizontaler Lage genutzt, um eine parallele Fläche des Falzes zur Innenseite zu erzeugen, ohne dabei die schrägen Seiten zu beschädigen.



9 Verleimen

In diesem Arbeitsschritt zeigt sich die Genauigkeit der einzelnen Teile. Geringe Abweichungen der Geometrien wirken sich unausweichlich auf das Fugenbild ab, welche das Gesamtbild erheblich beschädigen können. Das Verleimen des Gehäuses geschieht in zwei Schritten. Im ersten Schritt werden alle festen Elemente, bis auf den Deckel, miteinander verleimt, welcher erst im zweiten Schritt aufgeleimt wird. Der Grund hierfür liegt darin, dass wir so im ersten Schritt unsere volle Konzentration auf die seitlichen Gehrungen legen konnten und im Anschluss den Deckel mit eventuell kleineren Anpassungen in den Geometrien auf den IST-Zustand fertigen können. Wir erhofften uns dadurch ein optimales Kantenergebnis. Es handelt sich hierbei um eine Lösung, die für eine Kleinserie vertretbar ist, aber keine optimale Lösung darstellt. Als Hilfsmittel für die Verleimung haben wir Klebeband, Zwingen, „Konturrahmen“ (siehe Bild) und Keile benutzt. Alle Teile wurden stumpf mit Weißleim verbunden.

Bei dem ersten Korpus haben wir den Fehler gemacht, das Klebeband unter Spannung um den gesamten Korpus herum zu führen. Trotz Mittelboden und Strebe hat sich so eine geringfügige Einschnürung der Mitte ergeben, welche sich in dem Fugenbild bemerkbar macht. Nach der Erkenntnis darüber haben wir den „Weg“ über die Front ausgelassen. Also von Fase zu Fase über das Hinterstück geführt. Mit dem Klebeband wird so der meiste Druck auf die Verbindung ausgeübt. Zu Beginn, nachdem alle Teile zusammengestellt wurden, fixiert einer der Konturrahmen die Teile und hindert sie so vor dem Umfallen. Mit den Zwingen und Keilen werden, falls nötig, die Teile in Position gedrückt. Die Verleimung wurde bisher immer mit drei Personen durchgeführt, welche auch voll ausgelastet waren. Die Fugenbilder sprechen für eine hohe Präzision der Maschinen und Vorrichtungen, da bei allen verleimten Korpen ein nahezu perfektes Fugenbild erreicht wurde.

10 Oberfläche & Montage & Technik & Anbauteile

Verbaute Technik

Es wurde der Bausatz des Spirit 5 verbaut. Dabei handelt es sich um ein Zwei-Wege-System, das zwei Tiefmitteltöner W5-704D von Tang Band und einem Keramikhohtöner 25-1719 ebenfalls von Tang Band beinhaltet. Das System hat eine Impedanz von 4 Ohm und eine Trennfrequenz von 2200 Hz. Die Kosten der Zukaufteile eines einzelnen Lautsprechers betragen ca. 200€. Die Frequenzweiche und der Schaltkreis müssen selbst zusammengebaut werden, was jedoch auch von einer ungeübten Person durchgeführt werden kann. Das Korpusinnere wird mit einer Akustikdämmung ausgekleidet, um Schwingungen im Volumen zu dämpfen. Die Oberfläche wurde geschliffen und mit einem Öl behandelt. Leider ist es bei dem Abgabestück zu Problemen mit dem Öl gekommen, weshalb das Oberflächenfinish hier relativ schlecht ausgefallen ist. Bei den folgenden Boxen wurde ein Naturechtes Hartwachs benutzt, mit dem eine hervorragende Oberflächengüte erzeugt wurde. Der Korpus steht auf Spikes, die für eine bestmögliche Trennung von Lautsprecher und Fußboden sorgen.



11 Fazit

Die aufgebrauchte Arbeitszeit für dieses Projekt übersteigt die Vorgabewerte um einiges, trotz zwischenzeitiger Zugangssperre, bedingt durch Sicherheitsrichtlinien. Zu Beginn konnten noch viele Arbeiten zuhause oder in anderen Räumen am Computer erledigt werden. Sobald es jedoch an die Fertigung der Teile ging, summierten sich die Stunden, die im Labor für Bearbeitungstechnik verbracht wurden rapide. Nach Abschluss anderer laufender Projekte und Arbeiten im Semester trat ein weiterer erheblicher Anstieg der investierten Arbeitszeit ein und in den letzten zwei Wochen waren Zeiten von 9.30 bis 23 Uhr abends keine Ausnahme. Bis zum Schluss waren aber trotzdem alle mit Freude und Ehrgeiz bei der Sache. Die Arbeitsteilung lief ebenfalls sehr gleichmäßig verteilt. Jeder wusste zu jedem Zeitpunkt über alles bescheid und wurde in die Entscheidungen mit einbezogen.

Alle Gruppenmitglieder haben den sicheren Umgang mit AlphaCAM und den CNC Maschinen erlernt. Auch im gesamten Semester herrschte eine entspannte Arbeitsatmosphäre und das eigenständige Arbeiten und Lernen bringen einen sehr hohen Lerneffekt mit sich. Besonders die Freiheit in der Projektwahl machen das Vertiefungsmodul CAD CAM zu einem der interessantesten Lehrveranstaltungen in dem Studiengang, da man seinen eigenen Interessen nachgehen kann. Die Möglichkeit ein eigenes Exemplar des Projektes zu bauen motiviert natürlich sehr, daher an dieser Stelle ein Dank an jene, die dies ermöglichen.

Die Ergebnisse, die wir innerhalb dieses Semesters erreicht haben, sind sehr zufriedenstellend und haben unsere Erwartungen teilweise sogar übertroffen, auch wenn wir einige Abstriche in Bezug auf die technische Ausstattung machen mussten, ist bei der gewählten Konstruktion ein zukünftiger Umbau jedoch nicht ausgeschlossen. Das im CAD konstruierte Objekt, fertig im Maßstab 1:1 vor einem zu sehen ist sehr eindrucksvoll. Die Proportionen und Formgebung sind auch in real sehr zufriedenstellend.

Die ersten Soundtest des Lautsprechers wurde mit einem vergleichsweise schlechten Verstärker, der auch nicht für eine Impedanz von 4 Ohm ausgelegt ist, getätigt. Bereits ein einzelner Lautsprecher konnte einen großen Raum mit klaren und präzisen Tönen erfüllen. Als jedoch zum ersten Mal beide Lautsprecher der Stereoanlage mit einem guten Verstärker in einem Wohnzimmer bespielt wurden, hoben sie sich eindeutig von anderen Lautsprechern ab. Der Klang überzeugt in jeder Hinsicht und liefert ein atemberaubendes Musikerlebnis sowohl bei leisen als auch lauten Tönen.

Das Projekt war dem zufolge in allen Punkten, trotz den Problemen, die aufgetreten sind, ein voller Erfolg.

12 Galerie

Die aufgeführten Bilder zeigen zwei der Lautsprecherboxen, die nach dem ersten Abgabestück entstanden sind. Prozesse und Konstruktion sind hier optimiert durchlaufen, wie in der Ausarbeitung als Idealfall beschrieben. Das erreichte Ergebnis in Qualität und Präzision ist hier noch einmal deutlich besser als bei dem Abgabestück. Wäre der Material- und Zeitaufwand vergleichsweise nicht so hoch, würde eine optimiertes Abgabestück gefertigt werden.



©INBOX











©INBOX



©INBOX



©INBOX





Selbst gebaute Frequenzweiche

