



BHV-02 CAD-CAM- Praxisprojekt

Lehrende: Dipl.-Ing. Norbert Linda, Arvid Schneck, M.Eng.

Finia Hertwig (893972) und Alexander Philippi (901194)
Wintersemester 2024/25

Inhalt

Einleitung.....	1
1. Entwurfsphase	2
1.1 Idee Couchtisch	2
1.2 Idee Torsion.....	3
2. Konstruktion	4
2.2 Zeichnung in SolidWorks	4
2.2.1 Varianten	5
3. Ausführung	6
3.1 Herstellung der Formteile	6
3.1.1 Material	6
3.1.2 Pressformen und Pressvorgänge	7
Pressversuch Schubkastenboden	8
Pressversuch Korpushälfte	8
3.1.3 Konditionierung	11
3.1.4 Formatiervorrichtung und Formatierung.....	12
Formatiervorrichtung Korpushälfte	12
Formatiervorrichtung Schubkastenboden	13
Formatierung der Korpushälften	15
3.2 Herstellung der weiteren Bauteile	17
3.2.1 Stückliste	17
3.2.2 Formatierungshilfe Sprossenfläche	17
3.2.3 Zukaufteile	18
3.3 Endmontage	18
3.3.1 Montage Schubkasten.....	18
3.3.2 Montage Korpus	18
4. Fazit.....	20

Einleitung

Im Rahmen des Moduls BHV-02 CAD-CAM-Praxisprojekt haben wir uns mit der Aufgabenstellung beschäftigt, ein Formholzmodell nach eigener Aufgabenstellung und unter Anwendung der CNC-Maschinen mit fünf Bearbeitungsachsen herzustellen.

Diese Dokumentation beschreibt den Prozess der Planung, Entwicklung und Konstruktion eines Möbels mit formverleimten Bauteilen.

1. Entwurfsphase

Der erste Schritt umfasste das Sammeln von Ideen für unsere Projektarbeit, wobei wir uns am Ende zwischen zwei Konzepten entschieden haben.

1.1 Idee Couchtisch



Abbildung 1: Screenshot Internet, Katzenmöbel, (<https://pl.pinterest.com/pin/1548181171872859/>)



Abbildung 2: Skizze, Entwurf eines Katzenscouchtisches

Die Gestaltungsidee bestand darin, das in der ersten Abbildung gezeigte Möbelstück so zu optimieren, dass es sowohl als Couchtisch als auch als Katzenmöbel flexibel genutzt werden kann. Dafür haben wir die Polsterfläche durch einen Konstruktionsboden und zwei Schubkästen ersetzt. Auf der inneren Ablagefläche kann ein passendes Kissen oder Polster platziert werden, um einen Schlafplatz für das Haustier zu schaffen. An den seitlichen Außenflächen ist eine Kratzfläche vorgesehen. Als gestalterisches Highlight haben wir eine schräg angeordnete Sprossenfläche eingeplant, die als eine Art Raumteiler fungieren soll.

1.2 Idee Torsion

Die in der Abbildung gezeigte Sitzbank, vermutlich aus Stahl gefertigt, sollte aus Formholz nachgebaut werden. Wir schätzen die Maße des Originals auf ca. 1500 x 400 x 400mm (L x B x H). Da das maximale Maß für die CNC jedoch 1000mm nicht überschreiten darf, versuchten wir das Teil im CAD in einer kürzeren Version zu konstruieren. Dies gelang uns leider nicht, da der Bereich der Torsion, welcher im vertikalen Bereich als Fuß der Sitzfläche dient, zu kurz ausfallen würde. Das Sitzmöbel hätte nicht die ausreichende Stabilität und Standsicherheit. Daher wurde diese Idee am Ende verworfen.

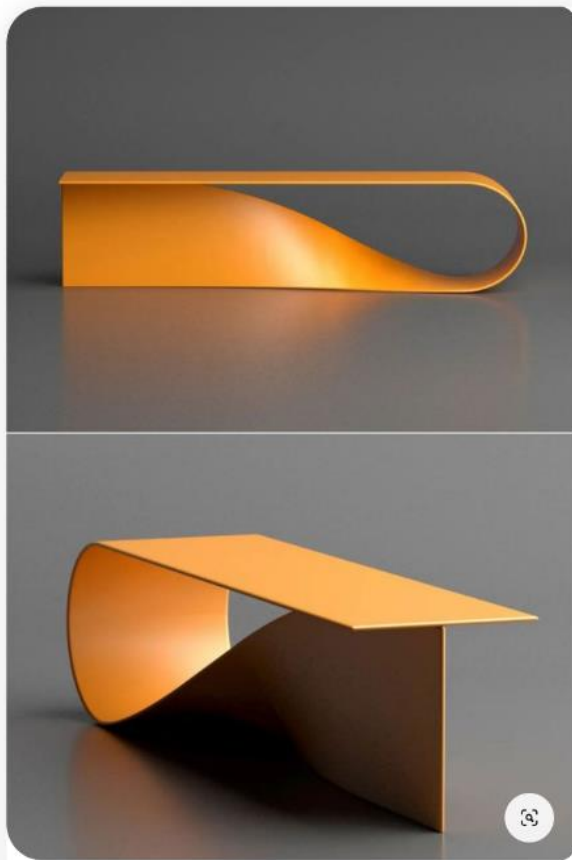


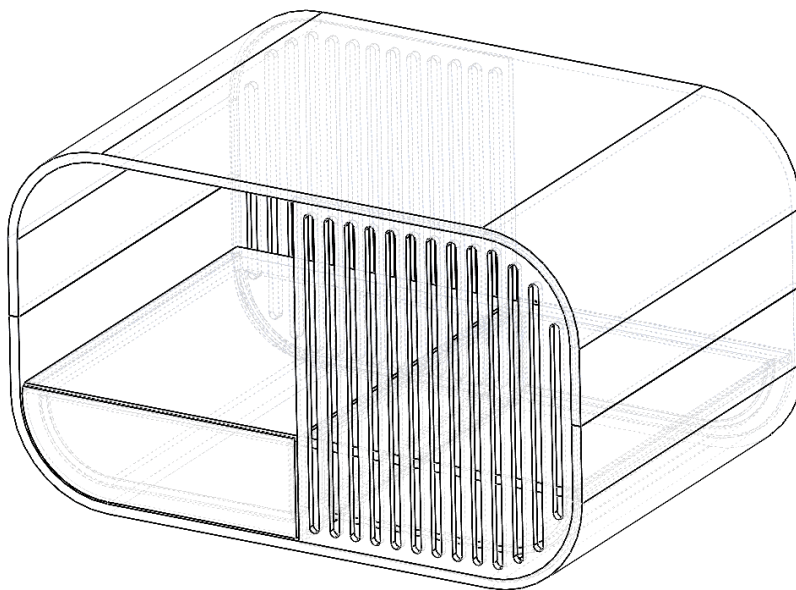
Abbildung 3: Screenshot Internet, geschwungene Sitzbank (<https://www.homecrux.com/pelican-low-coffee-table-by-deniz-aktay/229031/>)

2. Konstruktion

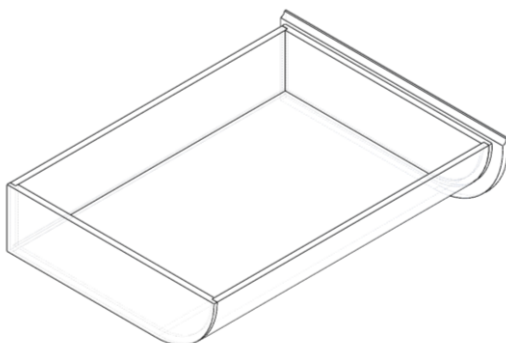
2.2 Zeichnung in SolidWorks

Das CAD-Modell wurde in SolidWorks erstellt. Die Konstruktion beinhaltet drei Formteile: Die beiden Korpushälften und den Schubkastenboden. Die untere Korpushälfte unterscheidet sich von der oberen nur durch zusätzliche Nuten für den Konstruktionsboden und die Mittelseite und Bohrungen für die Schubkastenauszüge. Zur Aussteifung und Rauntrennung ist auf jeder Seite eine Sprossenfläche montiert. Von beiden Seiten des Möbels lässt sich je einer der zwei Schubkästen öffnen.

Das Möbel hat eine Höhe von 350mm, ist 400mm tief und 600mm breit. Nach Montage der Füße (100mm) erreicht die Ablagefläche eine Höhe von 450mm. Der Außenradius beträgt 100mm. Das offene Fach misst eine Höhe von 230mm, das Fach für den Schubkasten eine Höhe von 90mm.



Die Verbindungssituationen der einzelnen Bauteile waren nicht von Anfang an klar, da sich einige konstruktive Fragen erst im Laufe des Projekts geklärt haben (siehe Kapitel 2.2.1 Varianten). Die beiden Korpushälften werden mit einer Feder verbunden, für möglichst viel Stabilität, gute Kontrolle über die Fuge und der Möglichkeit eventuelle Toleranzen auszugleichen. Der Konstruktionsboden und die Mittelseite werden ebenfalls durch Nut und Feder miteinander verbunden. So ist während der Montage noch die Möglichkeit gegeben, die Kanten der Bauteile bündig zueinander auszurichten.



Abbildungen: Screenshots SolidWorks, 3D Modell
Korpus (oben) und Schubkasten (unten)

Das Besondere an dem Schubkasten ist, dass der Boden den Radius des Korpus annimmt. Das Maß des Schubkastenradius ist hier 13,5mm kleiner als das des Korpusinnenradius, da dieses Maß der Dicke der Auszüge entspricht. Die Blende ist aufgedoppelt und erhält durch eine Fräsung in der Oberkante eine Griffmulde. Der Boden und die Seite sind in das Vorder- und Hinterstück eingefalzt. Die Blende ist aus Vollholz und wird von innen verschraubt.

Der Schubkasten ist 350mm tief und 266mm breit.

2.2.1 Varianten

Während des Konstruktionsprozesses, ergaben sich verschiedene Ansätze, um entstandene Aufgaben zu lösen.

Ein Thema war der Aufbau des Konstruktionsbodens. Es gab die Option, den Konstruktionsboden für die Sprossenfläche auszuklinken und die Vorderkante des Bodens bündig bis an die Vorderkante des Korpus laufen zu lassen. Der Vorteil bei dieser Variante wäre gewesen, dass der Konstruktionsboden für noch mehr Stabilität, eine größere Ablagefläche und ein ruhigeres Gesamtbild gesorgt hätte. Die andere Option wäre, den Konstruktionsboden nicht auszuklinken, sondern um die Stärke der Sprossenwand zurückspringen zu lassen und sich somit die kompliziertere Bearbeitung des Bauteils zu sparen.

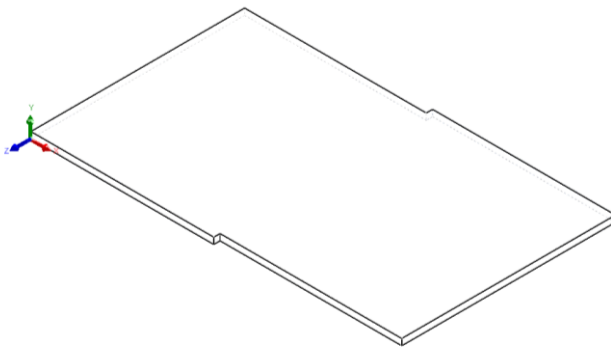


Abbildung: Screenshot SolidWorks, ausgeklinkter Konstruktionsboden

Da an diese Entscheidung auch die Gestaltung der Schubkastenblende gekoppelt war, fiel die Entscheidung auf Option zwei. Durch den Rücksprung kann die Schubkastenblende nach oben durchlaufen und ermöglicht das Öffnen ohne zusätzlich montierten Griff. Zumal wir die Blende aufdoppeln, spielte auch der Staub keine Rolle.

Für die Montage der Sprossenfläche an dem Korpus ergaben sich auch zwei Varianten. Zuerst war die Überlegung, die Sprossenfläche bündig und einschlagend an der Innenseite des Korpus zu verleimen. Diese Variante wurde nach einiger Überlegung allerdings überarbeitet und durch das Montieren in einem Falz ergänzt. Dadurch hat die Sprossenfläche einen besseren, genaueren Halt und es entsteht eine größere Fläche für den Leimauftrag. Durch eine Fase an der Kante werden die Toleranzen im Radius kaschiert.

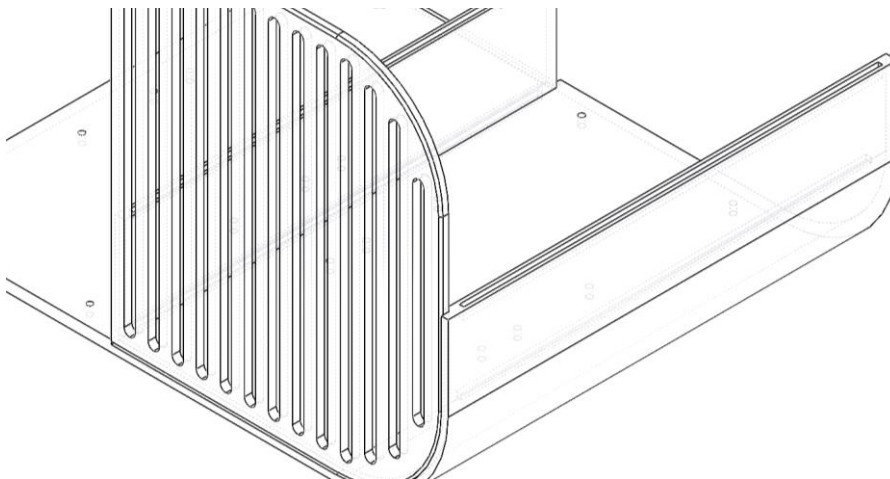


Abbildung: Screenshot SolidWorks, Sprossenfläche im Falz der unteren Korpushälfte

3. Ausführung

3.1 Herstellung der Formteile

3.1.1 Material

Das Material für den Schubkastenboden sind vier Lagen Buche Furnier mit einer Dicke von je 1,4mm und als Decklage auf beiden Seiten 0,5mm dickes Ahorn Furnier.

Der Schichtaufbau der Korpushälfte setzte sich zunächst aus 6 Lagen 1,4mm Buche Furnier und 0,5mm Nussbaum Furnier zusammen. Im Verlaufe des Projekts wurde die Innenlage jedoch überarbeitet (siehe Kapitel Pressversuch Korpushälfte) und nur noch eine Lage Buche Furnier und zwei Schichten 4mm Biegesperrholz verwendet.

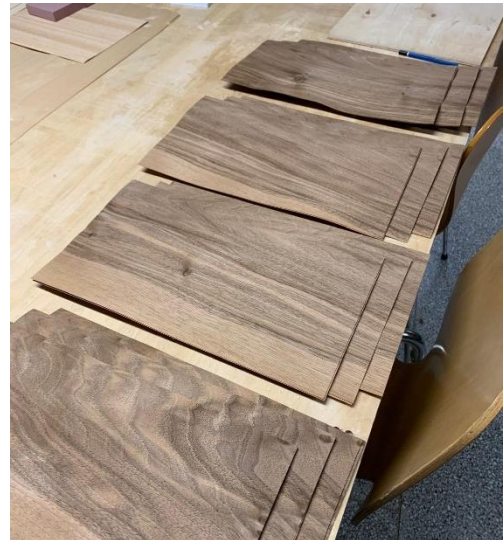
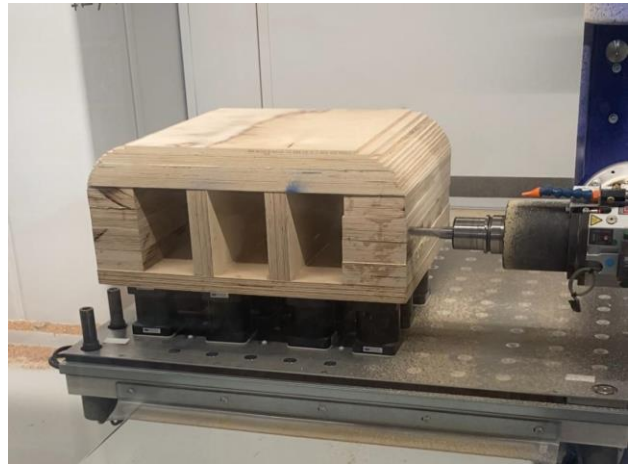
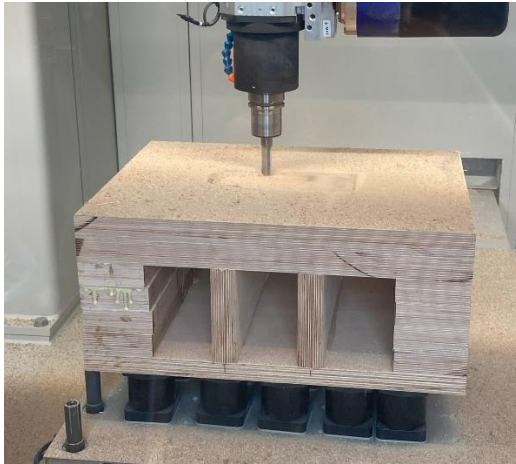


Abbildung: Eigene Aufnahme, Sortierung des Nussbaum Furniers (europäisch)

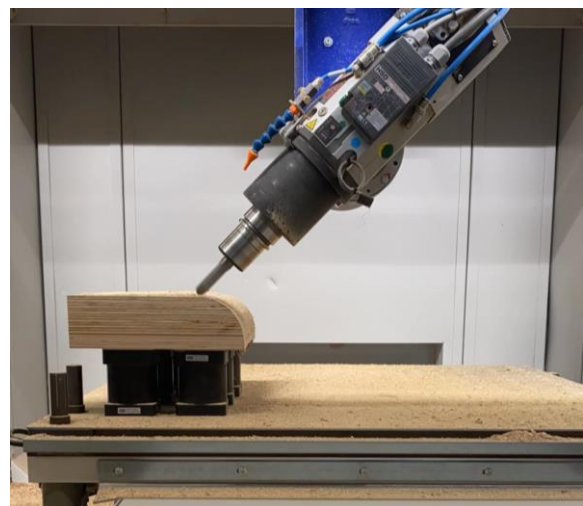
3.1.2 Pressformen und Pressvorgänge

Wir haben uns dazu entschieden, die Formteile mithilfe des Vakuumsacks herzustellen. Zunächst wurden jeweils eine CAD-Zeichnung angefertigt und nach der Übertragung als STEP-Datei in AlphaCAM die NC-Pfade geplant. Das Rohteil der Form wurde anschließend aus mehreren Schichten Multiplexplatten verleimt und die Pressform mit der gewünschten Kontur und dem entsprechenden Radius gefräst.



Abbildungen: Eigene Aufnahmen, Herstellung Pressform Korpshälfte

Bei der Planung der NC-Pfade der Korpusform unterlief uns leider ein Fehler. Wir legten das Solid in AlphaCAM direkt am Nullpunkt an, anstatt es um das Maß des Rohteils zu verschieben. Dadurch wurde auf der einen Seite der gesamte Betrag des Übermaßes abgetragen und die gegenüberliegende Seite nicht bearbeitet. Wir behoben diesen Fehler, indem wir die unbearbeitete rechte Flanke des Teils planfrästen und eine 8mm Multiplex Platte anklebten. Außerdem gab es bei der Übertragung der Radien vom Solid auf die Pressform eine Verwechslung von Außen- und Innenradius. Mit korrigierter NC-Programmierung gelang uns dann die Bearbeitung der Pressform. Die Oberfläche und die Kanten des Rohteils wurden zuerst mit dem Z-Ebenen Schruppen Befehl grob abgetragen. Im Anschluss wurden die Oberfläche und die seitlichen Flanken geschlichtet. Mit dem Kugelfräser und dem 3D-Fräsbefehl wurde der Radius dann abschließend realisiert. Die Fertigung der Schubkastenpressform lief identisch und ohne Zwischenfälle ab.



Abbildungen: Eigene Aufnahmen, Herstellung Schubkastenpressform

Pressversuch Schubkastenboden

Nachdem die Pressformen hergestellt waren, konnten wir mit der Formverleimung beginnen. Um uns der Methode langsam zu nähern, begannen wir mit der Verleimung des Schubkastenbodens. Dieser bestand aus jeweils einer Decklage Ahorn-Furnier innen und außen, sowie vier Mittellagen aus Buche-Furnier, welche alle in Faserrichtung verleimt wurden. So erreichten wir die angestrebte Materialdicke von 7mm. Das Ergebnis des ersten Versuchs war allerdings wenig zufriedenstellend. Die Pressform war zu flach geplant, dadurch wurde der Überstand an der Unterkante der Form beim Pressvorgang im Sack zusammengedrückt. Wir leimten eine 30mm Multiplexplatte unter die Form und machten einen zweiten Versuch, welcher zufriedenstellend verlief. Da die beiden ersten Teile sich im Verlauf der Konditionierung stark verzogen, verleimten wir die folgenden Schubkastenböden kreuzweise, um eine höhere Formstabilität zu erreichen. Um die offene Zeit des D3-Leims etwas zu verlängern, haben wir die Leimflächen der ersten Furnierlagen leicht angefeuchtet. Dies war notwendig, da bei einem vorherigen Leimversuch die zuerst beleimte Lage beim Auflegen auf die Pressform bereits teilweise abgebunden war. Mit dieser Methode gestaltete sich der Leimauftrag deutlich entspannter.



Abbildung: Eigene Aufnahme, gestauchte Furnierschichten (links), erster Pressversuch Schubkastenboden (rechts)

Pressversuch Korpushälfte

Um das Istmaß der Korpushälfte von 9,7 mm zu erreichen, setzten wir diese aus insgesamt 8 Furnierlagen zusammen. Aufgrund des 90-Grad-Radius entschieden wir uns gegen eine kreuzweise Verleimung, da wir befürchteten, dass die quer zur Faser verlaufenden Lagen beim Biegen reißen könnten. Außerdem wäre eine kreuzweise Anordnung nur mit einer ungeraden Anzahl an Furnierschichten sinnvoll. Darüber hinaus erwarteten wir, dass diese Radien der Konstruktion ausreichend Stabilität verleihen.

Nach dem Leimauftrag wurde das Furnierpaket auf die Pressform gespannt. Dies erwies sich im ersten Versuch als sehr schwierig, da die Furniere sich nur mit großem Kraftaufwand um 90 Grad biegen ließen und dabei in allen Schichten in Längsrichtung an den Stirnkanten tief einrissen. Das Teil wurde dennoch in Form gebracht, mit Klebeband fixiert, in Folie eingewickelt und in den Vakuumsack gelegt. Das Ergebnis war, wie erwartet, nicht zufriedenstellend.



Abbildungen: Eigene Aufnahmen, Rissbildung nach erstem Pressversuch (links), Faltenbildung nach erstem Pressversuch (rechts)

Für die nachfolgenden Versuche modifizierten wir den Schichtaufbau. Wir verwendeten zwei 4 mm starke Biegesperrholzplatten, eine Mittellage aus Buche Furnier und als Decklage Nussholz. Dadurch erreichten wir eine Materialstärke von 10mm. Durch die Biegesperrholzlagen reduzierte sich die Biegesteifigkeit des Pakets erheblich und die Furnierschichten neigten nicht mehr so stark zum Reißen. Zudem verringerte sich der zeitliche Aufwand für den Leimauftrag beträchtlich. Um die Furnierlagen an Ort und Stelle zu halten, befestigten wir sie zunächst mit Klebeband an den umlaufenden Kanten. Im Nachhinein stellte sich dies als problematisch heraus, da beim Pressen Falten entstanden, insbesondere in der Decklage. Deshalb beschränkten wir die Fixierung auf die Stirnkanten und spannten dort das Klebeband stark, um das Strecken der Decklage zu ermöglichen. Mit dieser Anpassung erzielten wir gute Ergebnisse.



Abbildung: Eigene Aufnahme, Schichtaufbau der frisch geleimten Furniere

Die Pressform befindet sich innerhalb des Vakuumsacks auf einer Sperrholzplatte, die mit einem Rastermuster aus Nuten versehen ist, um eine gleichmäßige Verteilung des Vakuums sicherzustellen. Leider war diese Platte zu klein, was dazu führte, dass sich das Vakuum im Bereich des Anschlussschlauchs zu früh aufbaute. Dadurch schmiegte sich der Sack sehr ungleichmäßig an die Form an. Wir fertigten daher eine größere Platte an. Zudem wurden die Seiten der Pressform für die Korpushälfte mit einer gelochten Sperrholzplatte geschlossen, um zu verhindern, dass der Vakuumsack während des Pressvorgangs in die Hohlräume der Form gezogen wird.

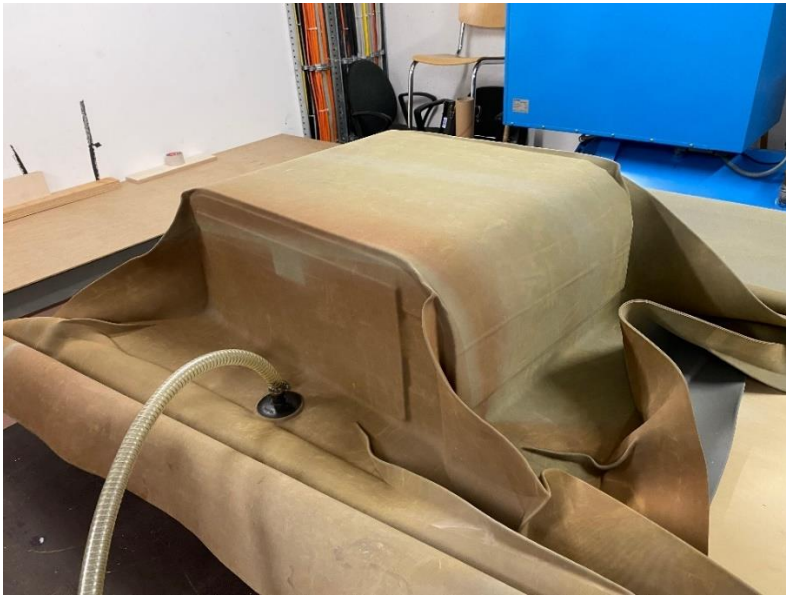


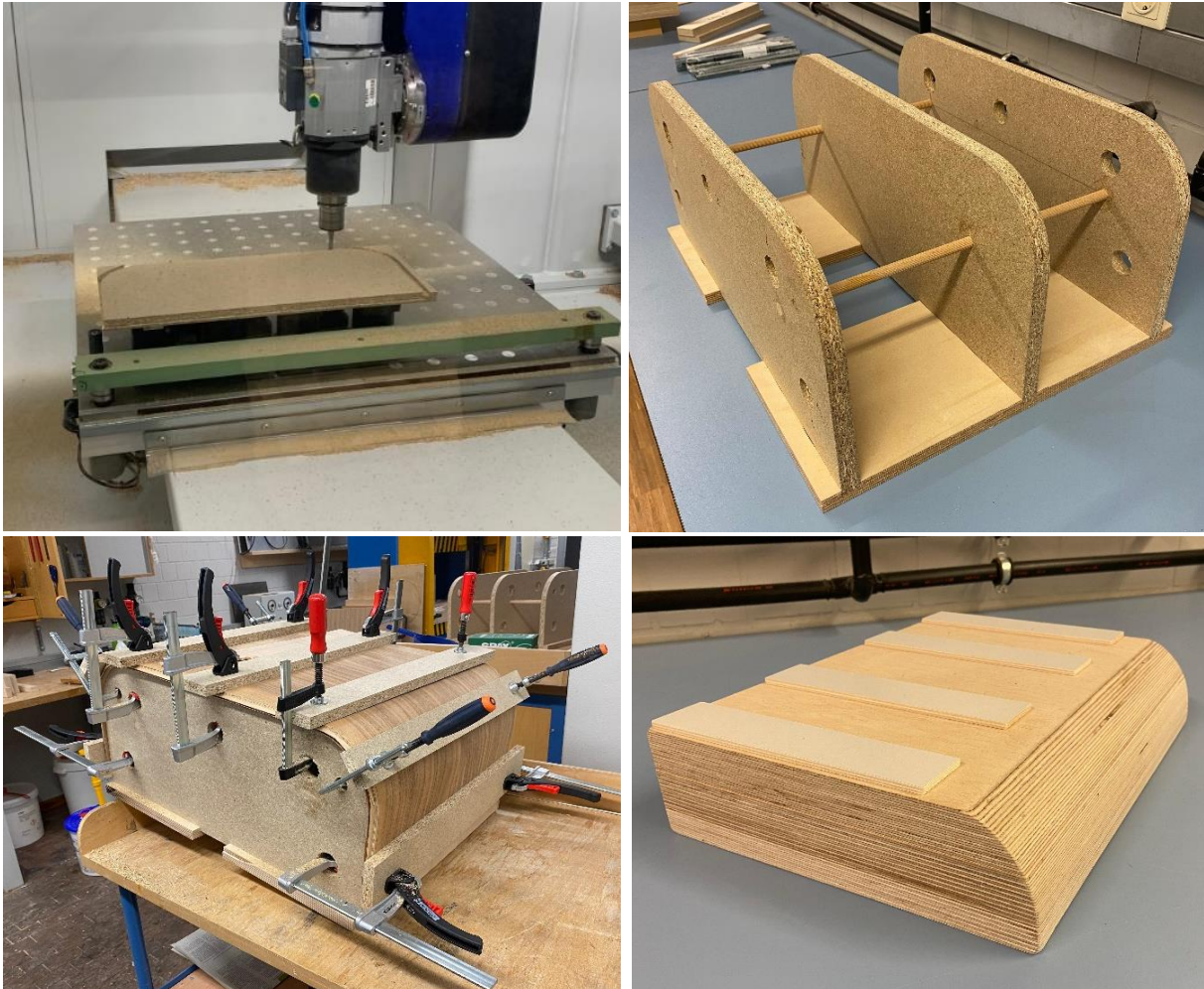
Abbildung: Eigene Aufnahme, Formverleimung der Korpushälfte mit modifizierter Pressform



Abbildungen: Eigene Aufnahmen, Ergebnis Pressversuch der Korpushälfte noch eingepackt (links) und ausgepackt (rechts)

3.1.3 Konditionierung

Um Verformungen während der Lagerung zu vermeiden, fertigen wir mehrere Formen an, um die Formteile zu konditionieren. Beide Varianten wurden mit einer CNC-Maschine produziert, um präzise Radien und maximale Genauigkeit sicherzustellen. Die Konditionierform für die Korpushälften wurde aus vertikal angeordneten Spanplatten gefertigt, während die Form für die Schubkastenböden ähnlich der Pressform gestaltet und mit Leisten für eine bessere Belüftung versehen wurde. Beide Varianten ermöglichten den sicheren und dauerhaften Halt mittels Zwingen bis zur Formatierung und Montage. Diese Konstruktionen sorgen für eine optimale Luftzirkulation der Formteile und somit für eine ideale Konditionierung.



Abbildungen: eigene Aufnahmen, Herstellung und Einsatz der Konditionierformen

3.1.4 Formatiervorrichtung und Formatierung

Formatiervorrichtung Korpushälfte

Um die Formteile abschließend zu formatieren sowie Nuten, Falze und Bohrungen einzufräsen, wurden spezielle Formatiervorrichtungen hergestellt. Diese bestehen ebenfalls aus schichtweise verleimten Multiplex-Platten. Zuerst wurden diese in SolidWorks entworfen und anschließend in AlphaCAM mit den entsprechenden NC-Pfaden programmiert. Bei der Formatiervorrichtung für die Korpushälfte, stellte die Wahl des geeigneten Werkzeugs die größte Herausforderung dar. Mit der CNC-Spindel war die horizontale Bearbeitung der inneren Flanken nur begrenzt möglich. Um Kollisionen zu verhindern, wurde vorab genau ausgemessen, wie dicht die Spindel bei vertikaler Bearbeitung an die Flanken fahren darf. Dann wurden die Überstände zunächst mit dem Z-Ebenen-Schruppbefehl gefräst und anschließend geschlichtet. Der Radius und die Innenflanke wurden mit einem Kugelfräser realisiert.



Abbildungen: Eigene Aufnahmen, Rohteil der Formatierungsform Korpushälfte (links), Abmessen der Spindelwege (rechts)

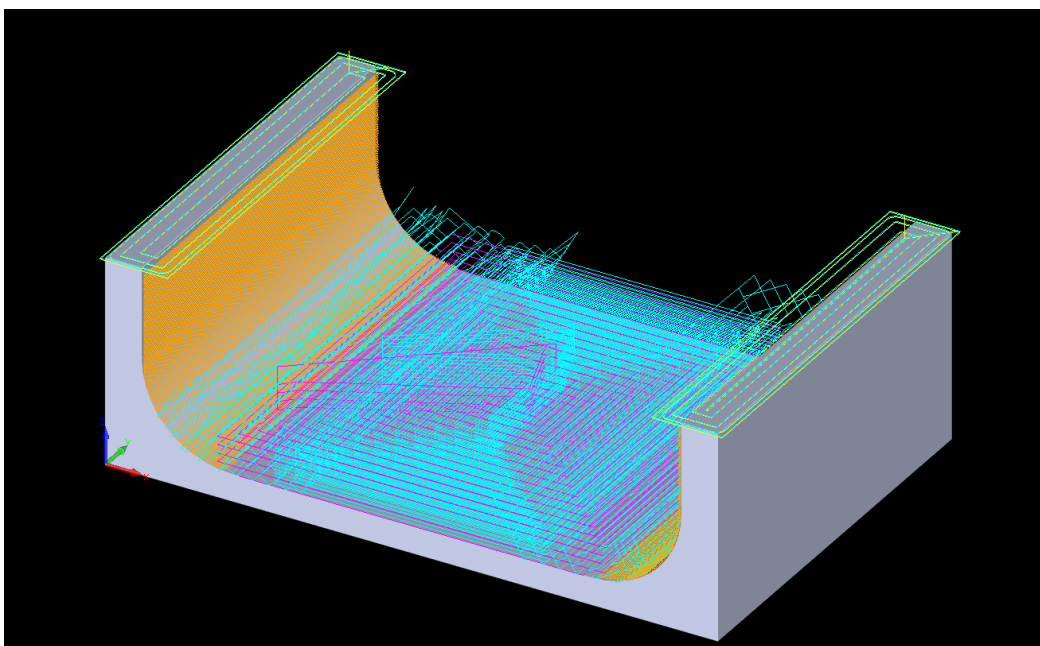


Abbildung: Screenshot AlphaCAM, NC-Pfade für die Formatiervorrichtung der Korpushälfte

Um das Teil während der Formatierung sicher zu fixieren, wurde ein Vakuumfeld auf der horizontalen Fläche eingeplant. Rund um dieses Feld wurde eine Nut eingefräst, in die später ein Moosgummi als Dichtung eingelegt wurde. Um das Vakuum an den Vakuumkreis der Maschine anzuschließen, wurden zwei Bohrungen im Bereich des Feldes durchgeführt und ein Schlauch mit Ventil und Kupplung angeschlossen.



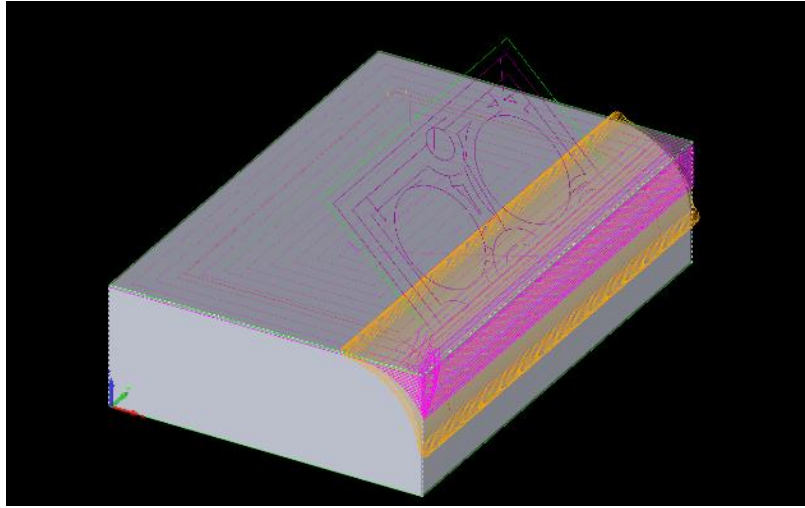
Abbildungen: Eigene Aufnahme, Formatierungsform mit Vakuumfeld

Die in der Mitte des Vakuumfeldes befindliche runde Insel, soll das Ansaugen des Teils „auf Null“, also auf die Höhe der Vakuumfläche verhindern. Diese Insel hat sich im Nachhinein als zu klein dimensioniert herausgestellt. Beim ersten Ansaugversuch hat sich das Formteil verbogen und auf die Fläche des Feldes gelegt, was dazu geführt hat, dass das Teil nicht mehr sauber in der Form lag. Man hätte mehrere dieser Inseln verteilt in der Fläche planen sollen. Stattdessen haben wir mit Zulagen gearbeitet, womit wir ebenfalls gute Ergebnisse erzielten. Ursprünglich hatten wir den Plan, zusätzlich Vakuumfelder in die Flanken der Form zu fräsen, um ein optimales Anlegen der Formteile zu ermöglichen. Jedoch wäre dies nur bei horizontalem Einsatz der Spindel möglich gewesen.

Formatiervorrichtung Schubkastenboden

Die Formatiervorrichtung für den Schubkastenboden wurde ebenfalls aus Multiplex gefräst und ähnelt in ihrer Gestaltung der Press- und Konditionierform. Auch hier wurde ein Vakuumfeld mit einer umlaufenden Nut eingefräst. In diesem Fall konnte das Vakuumfeld auch im Bereich des Radius umgesetzt werden, was ein sauberes Anlegen des Teils garantierte, ohne dass zusätzliche Hilfsmittel wie Zwingen erforderlich wurden.

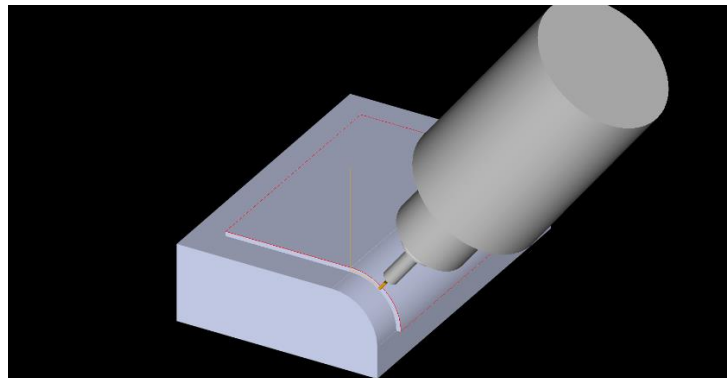
Um die Nut über den Radius hinauslaufen zu lassen, wurde bei der Erstellung des NC-Pfads der Befehl 3D projizieren verwendet. Die Geometrien für die Nuten und Inseln des Vakuumfelds wurden zunächst in einer Arbeitsebene gezeichnet, welche im 45° Winkel über dem Radius ausgerichtet ist. Deren Begrenzung entsteht aus der vorher definierten Kante des fertigen Solids auf der Arbeitsebene in Z-Höhe 117, der Solidoberfläche. Die Begrenzung wurde dann auf die schräge Arbeitsebene projiziert und dort mit den Geometrien gefüllt. Anschließend wurden die Inhalte der Ebene wieder auf die Oberfläche des Solids projiziert.



Abbildungen: Eigene Aufnahme, fertige Formatiervorrichtung (links), Screenshot AlphaCAM, Programm für Formatiervorrichtung (rechts)

Der NC-Pfad für die Formatierung des Schubkastenbodens war einfach zu programmieren. Bei der Durchführung der Formatierung stießen wir jedoch auf zwei Probleme.

Das erste Problem bestand darin, dass der Boden nicht direkt vollständig vom Vakuum angesaugt wurde. Obwohl das Teil in der Konditionierform gelagert wurde, war bei der Positionierung auf der Formatierungsform ein hoher körperlicher Einsatz von Nöten. Um das zu verhindern, wurden die nächsten Böden direkt nach der Entnahme aus dem Vakuumsack formatiert und erst nach der Formatierung in die Konditionierform gespannt.



Abbildungen: Eigene Aufnahme, Schubkastenboden gespannt und bereit zum Formatieren (links), Screenshot aus AlphaCAM, NC-Pfad für Schubkastenbearbeitung (rechts)

Das zweite Problem waren Reste, die bei den Fräsvorgängen stehen geblieben sind. Zwar ließen sich diese nachträglich gut mit einem Stecheisen entfernen, dennoch entstand dadurch ein zusätzlicher Arbeitsschritt. Bei der nächsten Formatierung wurde eine weitere Zustellung in Z-Richtung hinzugefügt und das Problem schien vorerst behoben. Nach Ausfall und Neukalibrierung der MAKa 2, trat das Problem trotz optimiertem NC-Pfad erneut auf. Eine mögliche Ursache dafür, könnte eine ungenaue Ausrichtung der Pressform am Anschlag gewesen sein. Eindeutig ließ sich der Fehler bei dieser Bearbeitung leider nicht identifizieren.



Abbildung: Eigene Aufnahme, Überstand nach Formatierung des Schubkastenbodens

Formatierung der Korpshälften

Um die Bearbeitung beider Korpshälften wirtschaftlich durchführen zu können, sowie technisch möglich zu machen, teilten wir die Fräsvorgänge in mehrere Schritte auf und gaben sie als einzelne Programme aus.

Obere Korpshälfte

Zu Beginn formatierten wir die seitlichen Schmalflächen. Um das Teil sauber an den Flanken der Vorrichtung anlegen zu können, fixierten wir das Übermaß mit Schrauben an einer Zulage der Vorrichtung, welche ebenfalls mit Schrauben fixiert wurde. Wir verwendeten die Säge, deren Schnittqualität äußerst überzeugend ist. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Spindel, im Gegensatz zur Bearbeitung mit einem Fräser, nicht innerhalb der Vorrichtung arbeitet, wodurch keine Kollisionsgefahr besteht. Anschließend wurden die Abschnitte manuell entfernt.



Abbildungen: Eigene Aufnahmen, seitlicher Formatierungsschnitt (links), mit Schrauben fixierter Überstand (rechts)

Im nächsten Schritt wurde der Falz mit einem 6mm Schlichtfräser, ebenfalls an der seitlichen Schmalflächen, in zwei Zustellungen gefräst. Bei dieser Bearbeitung hatten wir mit einigen Toleranzen zu kämpfen, die wir bei der Planung des Möbels und der Vorrichtung nicht berücksichtigt hatten. Sowohl bei der Herstellung als auch bei dem wiederholten Auf- und Anlegen der Vorrichtung auf den Maschinentisch, ergaben sich Toleranzen in X-, Y- und Z-Richtung. Der Falz wurde dadurch teilweise ungenau in der Tiefe und Breite. Die Tiefe des Falzes war durchgehend mit 4mm geplant. Bei der Bearbeitung ergaben sich Abweichungen von mehreren Zehnteln (3,5mm Tiefe in Z-Richtung) bis zu einem Millimeter (5mm Tiefe in X-Richtung). Nach vielen Versuchen und minimalen Änderungen, kamen wir zu der Erkenntnis, dass neben den üblichen Toleranzen hier zusätzlich ein maschineller Fehler in der Ausrichtung des Drehpunktes vorliegt.

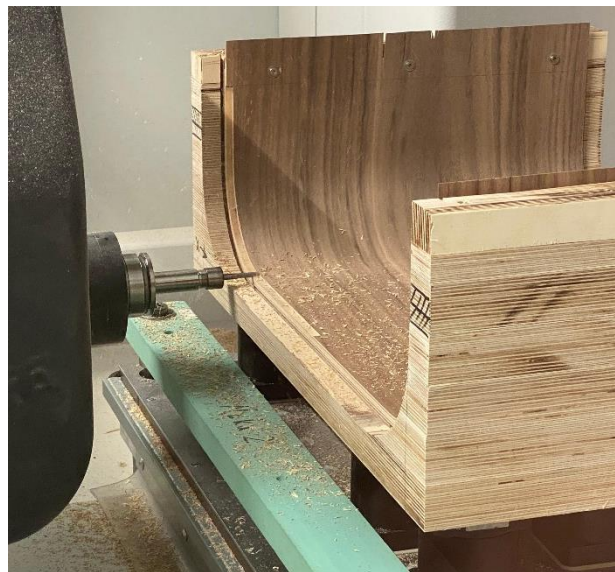


Abbildung: Eigene Aufnahme, Fräsung der Falz

Im nächsten Bearbeitungsschritt der oberen Korpushälfte formatierten wir die obere Schmalfläche, die später die Verbindung zur unteren Korpushälfte bildet. Dazu musste die Flanke im Voraus mit seitlich angebrachten Zwingen fixiert werden, um eine Kollision mit der Spindel und dem Werkzeug zu vermeiden. Nach der Fixierung wurden die Schrauben und die Zulage aus der ersten Bearbeitung entfernt. Dieser Prozess erforderte besondere Sorgfalt, um Ungenauigkeiten und Toleranzen zu vermeiden. Nach dem Sägeschnitt frästen wir mit einem 4 mm Schlichtfräser eine Nut in die Kante. Diese Kante lief infolge der entstandenen Toleranzen leider außermittig. Dies sollte sich allerdings bei der Montage der beiden Hälften nicht negativ auswirken, da diese Verschiebung bei allen Teilen gleichmäßig auftrat.



Abbildungen: Eigene Aufnahmen, Formatierschnitt (links), Fräsung der Stirnnut (rechts)

Untere Korpushälfte

Die Bearbeitung der unteren Korpushälfte umfasste neben den zum oberen Teil identischen Formatierschnitten, der Fräsung der Stirnnut und dem seitlichen Falz, auch eine Nut, die in der Mitte und an den Flanken verläuft und zur Nut-Feder-Verbindung mit dem Konstruktionsboden dient. Außerdem wurden 12 Bohrungen für die Montage der Auszüge der Schubkästen vorgesehen. Die Flanken konnten bei der seitlichen Bearbeitung nicht mit Schrauben fixiert werden, da der Lamellofräser bei der Fräsung der Flankennut mit der für die Verschraubung benötigten Zulage kollidiert wäre. Daher nutzten wir zur Fixierung mehrere Zwingen bei der Bearbeitung der Seiten. Für die Nuten, Bohrungen und den oberen Abschnitt haben wir Spanngurte genutzt, um das Formteil zu spannen. Hierzu musste die Bearbeitung erneut pausiert werden.



Abbildung: Eigene Aufnahme, links: Fräsung mit Lamellofräser, rechts: Mittelnut und Bohrungen

3.2 Herstellung der weiteren Bauteile

3.2.1 Stückliste

Das Möbelstück setzt sich neben den drei Formteilen noch aus 13 weiteren Bauteilen zusammen. Die weiteren Bauteile wurden aus 6 und 8mm starkem Furniersperrholz hergestellt, welches mit dem entsprechenden Furnier - 0,5mm Ahorn oder 0,5mm Nussbaum - beschichtet wurde. Nach dem Pressen der Platten erfolgte der Zuschnitt auf die Rohmaße an der Formatkreissäge. Die abschließenden Formatierungen auf die Istmaße mit den entsprechenden Bearbeitungen erfolgten alle an der CNC.

Position	Bezeichnung	Anzahl	Material	Oberfläche	Rohmaße			Istmaß		
					Länge	Breite	Dicke	Länge	Breite	Dicke
1	Korpus, halbiert	2	VP, eigene Herstellung	Nussbaum, geölt	1000	440	-		400	9,7
2	Mittelseite	1	VP	Nussbaum, geölt				90	384	9
3	Konstruktionsboden	1	VP	Nussbaum, geölt	-	-	-	580	384	9
4	Sprossenfläche	2	VP	Nussbaum, geölt	340	300	-	330	290	7
5	SK, Blende	2	VP	Nussbaum, geölt	290	105	7	286	97	7
6	SK, Vorderstück/Hinterstück	4	VP	Ahorn, geölt	275	80	7	266,5	74,5	7
7	SK, Seite	2	VP	Ahorn, geölt	-	-	-	350	74,5	7
8	SK, Boden	2	VP, eigene Herstellung	Ahorn, geölt	-	-	-		350	6,8
VORRICHTUNGEN										
20	Pressform Korpus	1	MPX, eigene Herstellung	-	650	450	269			
21	Pressform SK, Boden	1	MPX, eigene Herstellung	-	370	270	80		267,7	
22	Formatierungsform Korpus	1	MPX, eigene Herstellung	-						
23	Formatierungsform SK	1	MPX, eigene Herstellung	-						
24	Konditionierungsform Korpus	1	MPX, eigene Herstellung	-						
25	Konditionierungsform SK	1	MPX, eigene Herstellung	-						
ZUKAUFTEILE										
30	Tablarauzug	2								
31	Möbelfüße	4								

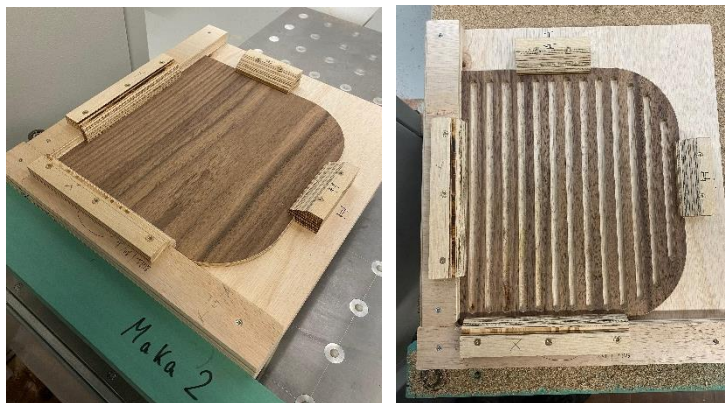
Abbildung: Screenshot Excel, Stückliste (Vorrichtungen und Formen wurden nicht im Vorhinein in der Liste bemaßt)

3.2.2 Formatierungshilfe Sprossenfläche

Die Formatierung der Sprossenfläche erfolgte in zwei Arbeitsschritten. Zuerst wurde das Rohteil mit den Saugern gespannt und auf das Istmaß formatiert. In diesem Bearbeitungsschritt wurde abschließend noch eine 1mm Fase an die Kanten gefräst, die hinterher an den Falz angeleimt werden.

Der zweite Arbeitsschritt beinhaltete das Fräsen der Nuten. Da die Sprossenfläche während dieser Bearbeitung nicht mehr mit den Saugern gespannt werden konnte, wurde eine weitere Formatiervorrichtung konstruiert. Auf dieser Vorrichtung konnte das Bauteil mit Blöcken und Schrauben fixiert werden. Die Formatierungsvorrichtung funktionierte sehr gut und musste, bis auf zwei Bearbeitungen der Halteklötze am Bandschleifer, nicht weiter optimiert werden.

Einige Versuche durchliefen jedoch unsere NC-Pfade für die Nuten. Da die ersten Rohteile der Sprossenwände etwas knapp bemessen waren und so zwei fehlerhafte Teile entstanden sind, hatten wir die Möglichkeit verschiedene Bearbeitungen zu vergleichen. Um eine besonders schöne Kantenqualität zu erzielen, wurde bei einer Fläche probiert, die Nuten mit dem 1,5mm Fräser vorzuritzen. Diese Bearbeitung stellte jedoch einen hohen zeitlichen Mehraufwand dar und erzielte kein besseres Ergebnis, sodass dieser Schritt wieder verworfen wurde.



Abbildungen: Eigene Aufnahmen, Schritte der Sprossenflächen-Formatierung

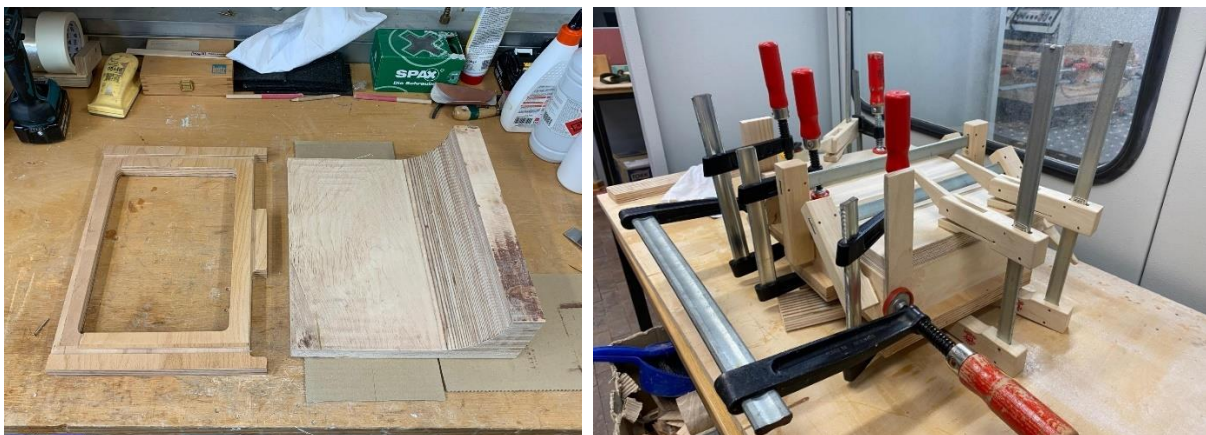
3.2.3 Zukaufteile

Zu den 16 Bauteilen kommen obendrein noch die Zukaufteile hinzu. Das sind zum einen vier Füße und vier Tablarauszüge für ein fertiges Möbel. Die Montage der Füße erfolgt über von Hand gebohrte Löcher in der Korpusunterseite mit Euroschrauben der Länge 11mm. Die Auszüge werden auch mit diesen Schrauben montiert.

3.3 Endmontage

3.3.1 Montage Schubkasten

Um den Verleimprozess des Schubkastens zu erleichtern, haben wir eine Montagehilfe entwickelt. Im Grunde ist es ein stabiler Rahmen, der für die Winkligkeit der Bauteile zueinander sorgt. Die eingefrästen Nuten halten die Bauteile in Position und ermöglichen so ein leichteres Ansetzen der Zwingen. Damit die Zwingen gut angesetzt werden können und auf die Leimfuge des Bodens über den gesamten Radius gleichmäßig Druck ausgeübt werden kann, haben wir zusätzlich noch eine Zulage hergestellt. Diese bildet das Gegenstück zur Press- und Formatierungsvorrichtung. Die Montagehilfen erwiesen sich als äußerst hilfreich, da der Boden des Schubkastens über eine hohe Eigenspannung verfügt. Um Leimrückstände zu vermeiden, wurden die Bauteile vor dem Verleimprozess an den Kanten der Leimfugen abgeklebt. Nach ca. 90 Minuten war der beste Zeitpunkt, um den herausgequollenen Leim zu entfernen.



Abbildungen: Eigene Aufnahmen, Montagehilfe und Zulage (links), Schubkasten während des Verleimens (rechts)

3.3.2 Montage Korpus

Zuerst wurden in der Korpusunterhälfte die Auszüge montiert und die Mittelseite eingesetzt. Dann konnte der Schubkasten, zunächst noch ohne Blende, an der Mittelseite ausgerichtet und an den Auszügen montiert werden. Sobald der Schubkasten fest auf den Auszügen saß, konnte die Blende mithilfe von 2mm Abstandshaltern ausgerichtet werden, um ein gleichmäßiges Fugenbild zu erzielen.



Abbildungen: Eigene Aufnahmen, Montage der Auszüge (links), Montage der Blende (rechts)

Anschließend wurde der Konstruktionsboden in die untere Korpushälfte eingesetzt. Dafür mussten die Flanken mithilfe von Korpuszwingen etwas auseinandergebogen werden. Nach diesem Schritt wurde das Möbel zum Verleimen mit Zwingen eingespannt. Durch die Aufteilung des Verleimprozesses, ließen sich die Zwingen besser ansetzen und der Ablauf gestaltete sich etwas ruhiger.



Abbildung: Eigene Aufnahme, Verleimprozess der unteren Korpushälfte und Konstruktionsboden

Im nächsten Arbeitsschritt wurde nur die obere auf die untere Korpushälfte montiert. Da bei der Bearbeitung des Falzes geringe Abweichungen vorlagen (siehe Kapitel Untere Korpushälfte), wurde das Einsetzen der Sprossenfläche zu einem separaten Arbeitsschritt. Durch die Fase war es möglich, die Maße der Sprossenfläche am Bandschleifer noch nachträglich zu bearbeiten und anzupassen. Dies konnte aber erst nach fertiger Verleimung der beiden Korpushälften geschehen. Das Anpassen funktionierte sehr gut.

Zusätzlich wurde hinter der Sprossenfläche noch ein schwarz gebeiztes Furnier montiert, damit man durch die Nuten nicht auf die Rückseite des Schubkastens blicken kann.

Dann wurde die Stoßfuge noch einmal übergeschliffen und der Korpus wurde von der Unterseite beginnend geölt. Als die untere Hälfte geölt war, konnten wir die Füße montieren und den Korpus für die weitere Oberflächenbehandlung richtigerum stellen.



Abbildung: Eigene Aufnahme, Korpus von unten geölt, montierte Füße

4. Fazit

Am Ende ist unser Möbel doch kein pures Katzenmöbel geworden. Die Möglichkeiten, das Möbel noch dementsprechend nachzurüsten sind gegeben. Wir entschieden uns aber für eine schlichtere und offene Gestaltung, damit individuell entschieden werden kann, ob das Möbel weiter aufgerüstet wird.

Zu Beginn des Projektes haben wir den Arbeitsaufwand deutlich geringer eingeschätzt, als er am Ende war. Unsere größte Fehleinschätzung war die Anzahl der Bauteile. Die Komplexität der meisten Bauteile war eher gering, dennoch mussten wir uns für jedes Bauteil einen individuellen Herstellungsprozess überlegen, die Platten beschichten, die NC-Pfade schreiben usw.. Dieser Prozess startete bei jedem unserer Bauteile wieder von vorne, was mit mehr Aufwand verbunden war als erwartet. Dadurch wurde unsere Produktion auch fehleranfälliger.

Positiv ist allerdings, dass dieser Zustand dazu geführt hat, dass wir die CNC sehr vielfältig eingesetzt und den Umgang mit der Maschine gelernt haben. Wir beide haben viele NC-Pfade geschrieben und ein weites Spektrum des Programms AlphaCAM kennengelernt. Insgesamt haben wir im Laufe des Projekts 22 verschiedene NC-Pfade geschrieben, die Optimierungen der jeweiligen Pfade sind dabei noch nicht berücksichtigt.

Die Frage, ob die Fertigung des Möbels massentauglich wäre, lässt sich nicht klar mit Ja oder Nein beantworten. Betrachtet man die Bearbeitungsschritte an der CNC, lautet die Antwort ganz klar: Ja. Die NC-Pfade sind fertig geschrieben und beliebig oft anwendbar. Teilweise haben die Programme viele Überarbeitungen durchlaufen, um unnötige Fräsvorgänge zu entfernen, die Fräswege zu optimieren und einen einfachen Bearbeitungsablauf zu schaffen. So wäre es auch bei einer Produktion mit hoher Losgröße üblich.

Den Herstellungsprozess der Formteile, konnten wir während des Projektzeitraumes nicht so ausreifen wie die NC-Pfade. Der Pressvorgang im Vakuumsack war nach mehreren Durchgängen und Verbesserungen immer noch sehr aufwändig und fehleranfällig. Auch nach vielen Versuchen, gab es manche Schritte, die sich auch aufgrund der Größe und Anzahl der Schichten, nicht effizienter gestalten ließen. Die Weitergabe der gelernten Informationen, zum Beispiel an Mitarbeiter, stellen wir uns ebenfalls nicht so einfach vor. Der Prozess fällt eher in die Kategorie *learning by doing*, als dass er durch eine grobe Anleitung zusammengefasst und dann bei der ersten Anwendung fehlerfrei durchlaufen werden könnte. Wir schließen aber nicht aus, dass bei längerer Auseinandersetzung mit dieser Methode, noch eine elegantere Lösung gefunden werden könnte.

Vielleicht lagen die vielen Überraschungen auch an der Wahl des Vakuumsacks als unser Hilfsmittel, da wir aber den gleichmäßigen Druck von allen Seiten brauchten, erschien es uns trotzdem als die beste Option.

Abschließend sind wir beide der Meinung, dass dieses Projekt uns viel Spaß gemacht hat. Die praktische Arbeit, die entspannte Arbeitsatmosphäre und die Möglichkeit, seine eigenen Ideen umzusetzen haben dafür gesorgt, dass wir trotz des hohen Aufwands, gerne ins Labor gekommen sind.