

## 5-Achs-CNC-Bearbeitung



Dipl.-Ing. Norbert Linda, Dipl.-Ing. Renke Abels

BHV-02 CAD-CAM-Praxisprojekte, Wintersemester 2019/20

Herstellung eines Schlittens im Maßstab 1:1

HAWK

Fakultät Bauen und Erhalten

Studiengang: Holzingenieurwesen

Labor für Bearbeitungstechnik LBT

Studierende:

Jan Oliver Schulz

Arvid Schneck

Florentine Adam

Daniel Wappler

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	1
Projektbeschreibung .....	1
Ziel .....	1
Projektvorbereitung .....	1
Zeitplan .....	1
Entwurf.....	2
Konstruktion .....	6
Materialien .....	6
Projektdurchführung.....	7
Fertigungsplanung.....	7
Allgemein .....	7
Vorbereitung .....	7
Testphase für die Sitzschale .....	7
Fertigung der Sitzschale.....	10
Fertigung der Holme .....	12
Fertigung der Kufen .....	15
Fertigung der Bremse .....	16
Montage.....	18
Projektergebnis.....	19
Fazit .....	19
Eidesstattliche Erklärung und Zustimmung zur Veröffentlichung .....	20

## Vorwort

Die folgende Arbeit stellt die Dokumentation des Vertiefungsmoduls BHV 0-2 CAD-CAM-Praxisprojekte dar, welches im Wintersemester 2019/20 stattfindet. Die Aufgabe besteht darin, ein Möbel mittels Formverleimung und einer 5-Achs-CNC-Bearbeitung herzustellen. Dabei werden die einzelnen Arbeitsschritte vom Entwurf, über die Planung und Konstruktion bis hin zur Herstellung und Montage des Möbels durchgeführt.

Das Projekt wird in Arbeitsgruppen bestehend aus 4 Mitgliedern, wovon mindestens ein Mitglied die Ausbildung zum Tischler absolviert hat, durchgeführt. Zur Verfügung stehen neben der CAD-Software AutoCAD und der CAM-Software Alphacam drei voll funktionsfähige 5-Achs-CNC-Maschinen sowie eine Tischlerwerkstatt mit allen notwendigen Holzbearbeitungsmaschinen.

Innerhalb des ganzen Projektkurses ist eine hohe Motivation und Vorfreude gegenüber diesem Vertiefungsmodul zu spüren, was eine sehr positive Atmosphäre hervorbringt.

## Projektbeschreibung

### **Ziel**

Das Ziel dieser Projektarbeit ist es, ein fertiges Möbel zu planen und zu fertigen. Digitale 3D-Entwürfe sollen mittels 5-Achs-Technologie in reale 3D Modelle umgesetzt werden. Dazu ist der Aufbau und die Arbeitsweise sowie der Datenaustausch unterschiedlicher CAD/CAM-Systeme zu erlernen. Das Programmierverfahren findet demnach in fünf Bearbeitungsachsen statt. Neben der praktischen Anwendung von Werkstoff- und Materialkenntnissen wird die Berücksichtigung von Arbeitsschutz und Unfallverhütung beim Umgang mit den Bearbeitungsmaschinen vorausgesetzt. Am Ende des Semesters wird zudem ein kurzer Bericht auf der Internetseite der Hochschule veröffentlicht. Ein erstelltes Plakat und das Möbel dienen zur Darstellung im CAD/CAM Labor. Des Weiteren wird diese Arbeit vollständig dokumentiert und in dieser Ausarbeitung festgehalten sowie präsentiert.

## Projektvorbereitung

### **Zeitplan**

Um die vorher festgelegten Ziele am Ende des Projektes erfüllen zu können, wird ein detaillierter Zeitplan erstellt. Dieser soll einerseits jeden einzelnen Prozess abbilden und so das komplette Semester vorplanen, andererseits aber auch ein Arbeitsplan für die anstehenden Aufgaben jedes einzelnen Gruppenmitglieds sein. Folgende Darstellung zeigt den Ablaufplan, wie er zu Beginn des Semesters erstellt wird:

Ablaufplan						
KW	Datum	Wochenziel	Einzelaufgaben			
			Flo	Olli	Daniel	Arvid
40	30.09.-06.10.	Fertigstellung Konstruktion				
41	07.10.-13.10.	Festlegung Material und Fertigungsart				
42	14.10.-20.10.					
43	21.10.-27.10.	Formen im CAD fertig stellen, (Kufen fräsen)				
44	28.10.-03.11.					
45	04.11.-10.11.	Formen physisch fertig stellen				
46	11.11.-17.11.	Pressversuche und Konditionierung				
47	18.11.-24.11.	Analyse und Korrektur				
48	25.11.-01.12.	Pressversuche und Konditionierung				
49	02.12.-08.12.	Analyse und Korrektur				
50	09.12.-15.12.	Pressversuche und Konditionierung				
51	16.12.-22.12.	Analyse Korrektur				
52	23.12.-29.12.	Pressversuche und Konditionierung				
1	30.12.-05.01.	Analyse und Korrektur				
2	06.01.-12.01.	Fertigstellung des Schlittens				
3	13.01.-19.01.	Start Doku Erstellen				
4	20.01.-26.01.	Schönheitsarbeiten, Präsi planen und anlegen				
5	27.01.-31.01.	Präsentation				

Im Laufe des Semesters wird vereinzelt leicht vom Zeitplan abgewichen. Nur bis Ende November werden Pressungen durchgeführt, während Schönheitsreparaturen und Oberfläche, sowie die nicht von Anfang an geplante Fertigung von Bremsen deutlich mehr Zeit in Anspruch nehmen, als erwartet.

Letztendlich werden wie geplant zwei Schlitten pünktlich und ohne Zeitdruck fertiggestellt.

## Entwurf

Innerhalb der Gruppe werden verschiedene Ansprüche an das zu fertigende Objekt gestellt, wie beispielsweise ein tatsächlicher Nutzen, daraus resultierend der Fertigungsmaßstab 1:1, eine schlichte Optik sowie eine durch die Aufgabenstellung vorgegebene 3D-Verformung.

Über verschiedene Kreativitätstechniken (z.B. Mindmap, Clustern, Brainstorming etc.) kommt die Gruppe zu dem Entschluss, einen Schlitten zu fertigen.



Abbildung 1 - erste Entwürfe

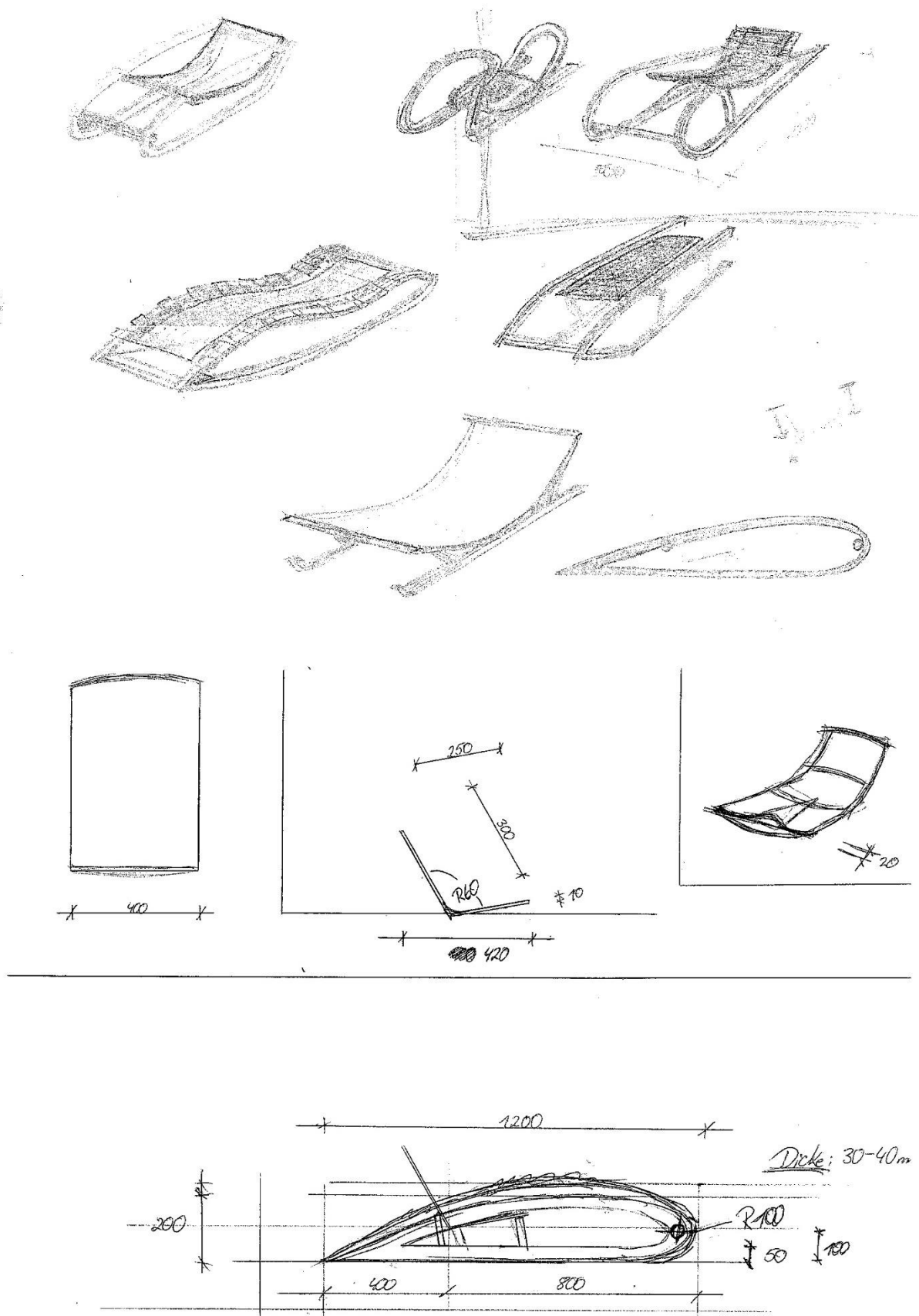


Abbildung 2 - Entwurfsskizzen und Bemaßungen

Um dem Anspruch von mindestens zwei verschiedenen zu fertigenden Formteilen gerecht zu werden, soll der Schlitten sowohl eine ergonomisch 3D-geformte Sitzschale als auch 2D-verformte Holme haben.

Da ein drittes Formteil für die Kufen letztendlich sowohl den Zeitrahmen als auch den Materialumfang sprengen würde, werden die Kufen aus wasserfester Multiplex-Platte 2D-gefräst.

Optisch soll ein Hell-Dunkel-Kontrast erzeugt werden, indem die Sitzschale und Holme mit dunklem Nussfurnier als Deckschicht ausgestattet werden. Die Kufen erhalten dank Ahorn- und Birkefurnier eine helle Optik.

Es wird sich auf die Stückzahl zwei geeinigt.

Um eine ideale Ergonomie zu gewährleisten, werden Sitzpositionen simuliert und alle notwendigen Maße genommen, auch unter Berücksichtigung der Dimensionen der Bearbeitungszentren.



*Abbildung 3 - Ermittlung der Maße für eine gute Sitzposition*

Nach Festlegung der Geometrien und Maße kann der Schlitten nun in AutoCAD konstruiert werden. Aus AutoCAD können im Anschluss die technischen Zeichnungen entnommen werden, welche hier exemplarisch, ohne Maßstab die Maße wiedergeben. Die Zeichnungen stammen aus dem Anfangsstadium der Entwicklung, weswegen Bremskomponenten noch nicht dargestellt sind. Für die Bremsen wird in Abhängigkeit vom Zeitmanagement entschieden, ob diese noch geplant und verbaut werden.

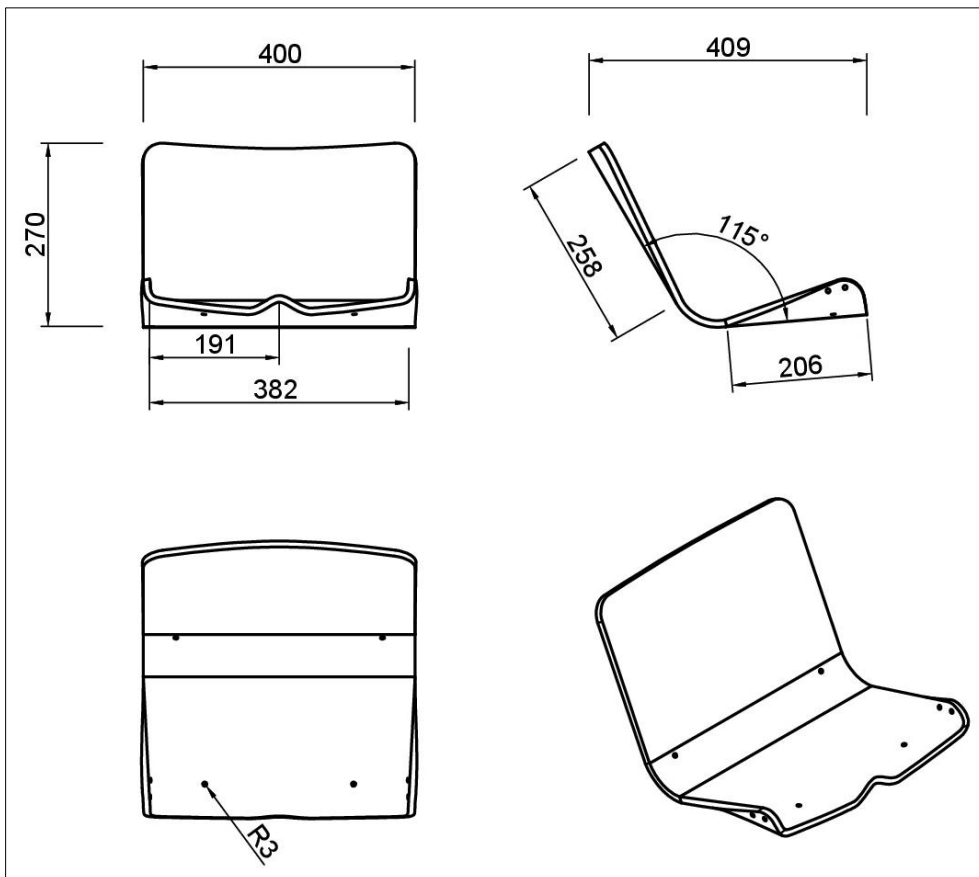
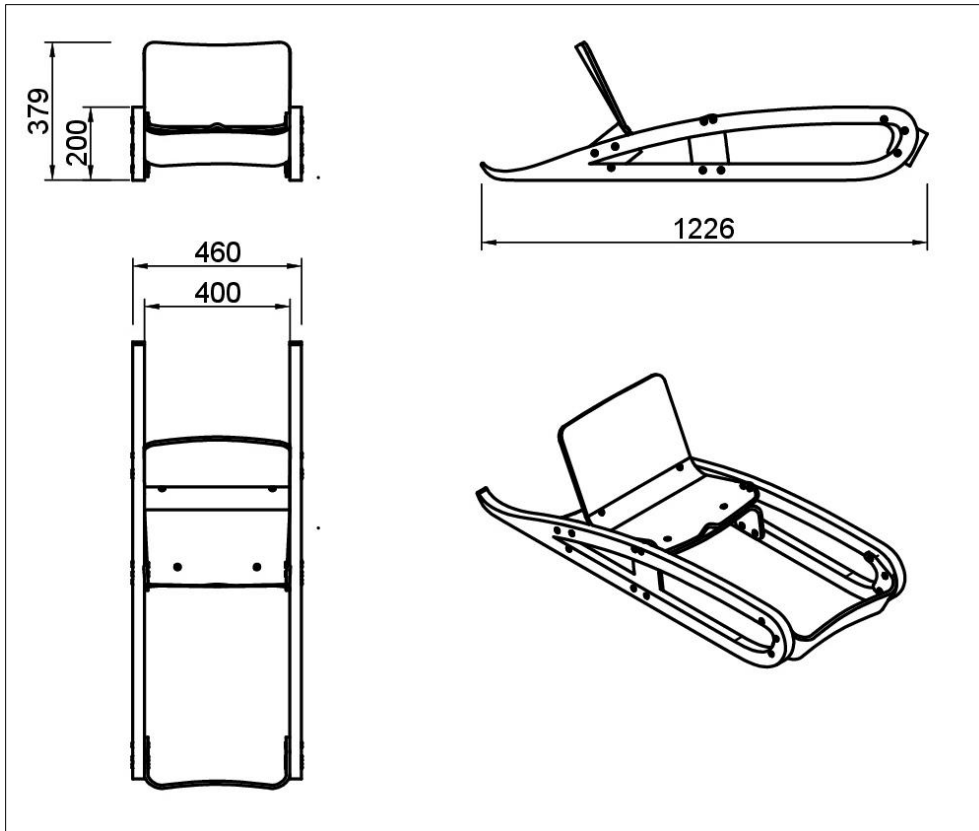


Abbildung 4 - Technische Darstellung Schlitten und Sitzschale

## Konstruktion

Der Schlitten besteht aus acht wesentlichen Komponenten, den zwei Kufen inklusive zwei Bremshebel, den drei Holmen und der Sitzschale.



Abbildung 5 - Entwurf in AutoCAD

Die Kufen werden zweidimensional aus furniertem 30mm-Birke-Multiplex gefräst. Zusätzlich werden die Kufen an der Unterseite mit einem Edelstahlband versehen, um eine ideale Gleitfläche zu erzeugen. Sowohl links als auch rechts wird ein Bremshebel in den Kufen verbaut. Dieser besteht ebenfalls aus mehreren Multiplex-Bauteilen, die gefräst werden, sowie einem Aluminiumrohr als Drehlager und einem Metallband an der Unterseite zum Schutz der Bremskrallen.

Die Holme werden aus sieben Lagen kreuzverleimten Schäl furnier mit 2 Lagen Nuss furnier (3D Furnier) als Deckschicht gefertigt.

Die Sitzschale wird aus neun Lagen 3D-Furnier kreuzweise verleimt. Die Deckschichten sind jeweils Nuss furnier.

Alle Komponenten werden über metrische V2A Schrauben und Hülsenmuttern miteinander verbunden.

## Materialien

Folgende Materialien wurden verwendet:

- Kufen: furniertes Birke-Multiplex, Einlagen mit Nuss furnier, rostfreie Metallbänder, Blindnieten und V2A-Holzschrauben
- Bremshebel: Birke-Multiplex, rostfreie Metallbänder, Aluminiumrohr und -rundstab
- Holme: Schäl furnier, Nuss furnier (3D) als Deckschicht
- Sitzschale: 3D-Furnier, Nuss furnier (3D) als Deckschicht
- Schraubverbindungen: Rostfreie Edelstahlschrauben und Edelstahlhülsen



# Projektdurchführung

## **Fertigungsplanung**

### Allgemein

Da es sich bei diesem Projekt um komplexere Fertigungstechniken handelt, müssen vor der eigentlichen Fertigung und Montage einige Prozesse vorangehen. Diese Vorfertigung beinhaltet vor allem das Erstellen der Pressformen und Frässhablonen sowie Haltevorrichtungen für die CNC-Bearbeitung der fertigen Werkstücke. Die Pressformen sind notwendig, um die Formverleimungen der Holme und der Schale mithilfe des Vakuumsackes erfolgreich durchzuführen. Hergestellt werden diese aus massiven Holzblöcken, die durch eine CNC-Fräsung das Negativ der endgültigen Form der Bauteile erhalten. Nach dem Verpressen der einzelnen Furnierschichten dienen diese Pressformen zudem zum Konditionieren und Trocknen der jeweiligen Bauteile. Neben diesen Pressformen werden Schablonen und Haltevorrichtungen benötigt, auf denen die Formteile befestigt und danach entsprechend auf dem Bearbeitungstisch der CNC-Maschine aufgespannt werden können. Die anschließende Formatierung der Formteile inklusive Bohrung der Löcher kann dann stattfinden.

### Vorbereitung

Vor Beginn der Umsetzung muss also entschieden werden, wie die einzelnen Schlittenbestandteile gefertigt werden sollen.

Es steht fest, dass Holme und Sitzschale als Formteile hergestellt werden sollen, während die Sitzschale aufgrund ihrer 3D-Verformung das komplexere zu fertigende Teil darstellt. Beide Formteile sollen möglichst mithilfe von Vakuumtechnik gepresst werden, da diese den Verzicht auf eine Gegenpressform ermöglicht, was im Idealfall ressourcenschonend und zeitsparend ist. Aus dieser Überlegung ergibt sich, dass sowohl für die Sitzschale, als auch die Holme eine Pressform erstellt werden muss, welche kompatibel zur vorhandenen Vakuumtechnik ist.

Die Kufen sollen aus Multiplex-Plattenwerkstoff als einfache Frästeile im späteren Verlauf des Projektes gefertigt werden.

Aufgrund der erhöhten Komplexität der Sitzschale, wird mit der Fertigung dieser begonnen.

## **Testphase für die Sitzschale**

Wie bereits erwähnt handelt es sich bei der Sitzschale um das komplexeste Formteil des Schlittens. Besondere Schwierigkeiten stellen hierbei die rechtwinklige Rundung an den Seiten der Sitzfläche da, sowie der kleine Radius der ergonomischen Rundung in der Sitzflächenmitte. Der vergleichsweise große Radius der Rückenlehne wird von vornherein als einfache Verformung eingeschätzt, weswegen Tests exemplarisch an der Sitzfläche ohne Rückenlehne durchgeführt werden sollen. Dadurch wird ein Materialverlust bei Fehlversuchen vermindert.

In der folgenden Abbildung ist die Testpressform für die ersten Versuche zu erkennen. Diese verfügt über zwei Bohrungen, die mit Dübeln versehen werden, welche als Positionierhilfe dienen.



Abbildung 6 - Sitzschale Pressform Versuch 1

Aufgrund der komplexen Verformung wird sich für die Verwendung von 3D-Furnier entschieden, welches D3-verleimt in der Vakuumpresse in Form gebracht werden soll. Wie in der folgenden Abbildung zu erkennen ist, zieht sich das Furnier mittig nicht zufriedenstellend in die gewünschte Form.



Abbildung 7 - Sitzschale Versuch 1 in der Vakuumpresse

Am Ergebnis im folgenden Bild ist deutlich zu erkennen, dass die Verformung nicht zufriedenstellend ist, weshalb ein weiterer Test durchgeführt werden muss. Hierbei soll durch ein passendes Gegenstück der Druckaufbau für die mittlere Rundung erleichtert werden.

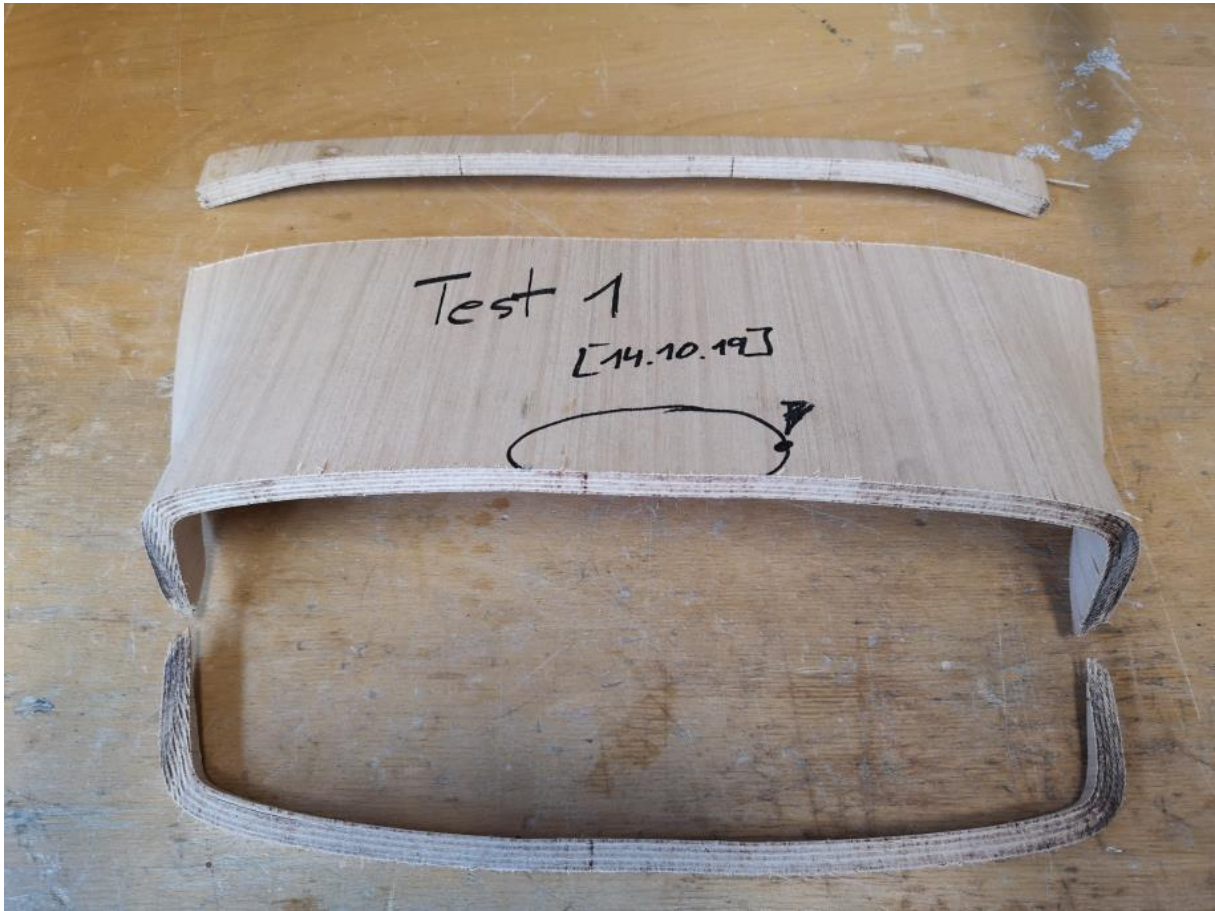


Abbildung 8 - Versuch 1 mit unzureichender mittlerer Verformung

Der nachfolgende Test eine Woche später liefert ein deutlich zufriedenstellenderes Ergebnis, weshalb der Test als bestanden eingestuft wird und der Einsatz eines Gegenstückes für die Fertigung der tatsächlichen Sitzschale vorgesehen wird.



Abbildung 9 - Versuch 2 mit zufriedenstellender mittlerer Verformung

An dieser Stelle wird sich gegen weitere Versuche mit anderen Furnierarten entschieden, da das Ergebnis die gewünschte Stabilität und Verformung aufweist und weitere Versuche mit anschließender Konditionierung als zu aufwendig bewertet werden.

## Fertigung der Sitzschale

Nachdem der Testlauf für die Sitzschale abgeschlossen ist, wird die Pressform für den vollständigen Sitz in AutoCAD konstruiert und anschließend in Alphacam die Fräsung vorbereitet. Zeitgleich bereiten die anderen Gruppenmitglieder entsprechend der abgesprochenen Vorgaben ein Rohteil vor.



Abbildung 10 - Daniel Wappler bei der Vorbereitung eines Rohteils

Das passend gefertigte Rohteil wird anschließend auf der MAK 2 durch einen Schrupp- und einen Schlichtvorgang in Form gefräst. Zudem werden zwei Bohrungen gesetzt, welche dazu dienen das Gegenstück für die mittlere Verformung anzubringen und festzuziehen.



Abbildung 11 – Pressform Sitz



Abbildung 12 - Gegenstück

In die Bohrungen werden Stockschrauben eingeschraubt, sodass ein metrisches Gewinde nach oben zeigt, auf welches das Gegenstück aufgefädelt werden kann. Anschließend werden die Furnierlagen mit sich kreuzenden Maserrichtungen zugeschnitten. Um anschließend die Furniere zu verleimen und später ohne Rückstände von der Pressform trennen zu können, wird diese mit dünner Kunststoffolie abgedeckt. Für den Verleimvorgang bewehrt es sich, dass zwei Personen schnell den D3-Leim angeben und verteilen, während die anderen beiden Personen die beleimten Furniere sauber stapeln. Sind alle Furnierlagen vorbereitet, wird der Stapel an den Stockschrauben ausgerichtet und das Gegenstück so fest angezogen, dass sich die mittlere Rundung ergibt. Die Stockschrauben werden anschließend mit einem passenden Aufsatz abgedeckt, um den Vakuumsack vor etwaigen Beschädigungen zu schützen. Erst dann wird die Pressform mit den Furnieren im Vakuumsack positioniert und dieser verschlossen. Beim Anschalten der Vakuumpumpe ist es wichtig, dass alle vier Personen den Vakuumsack festhalten, sodass sich dieser nicht zwischen Pressform und Furnierlagen zieht. Für diesen Vorgang ist eine gute Absprache wichtig, was einige Fehlversuche, die ein Lösen des Vakuums notwendig machen, bestätigen. Im gepressten Zustand bleiben Pressform und Formteil über 10 Stunden bei angeschalteter Pumpe und konstantem Druck im Vakuumsack. Das Ergebnis ist zufriedenstellend.



Abbildung 13 - Herstellung der Sitzschale / Konditionierung

Zum Konditionieren wird die Sitzschale mit dem Gegenstück, Schraubzwingen und Holzschrauben an der Pressform fixiert. In diesem Zustand konditioniert die Sitzschale über eine Woche bis auf dem gleichen Weg das Rohformteil der Sitzschale für den zweiten Schlitten hergestellt wird.

Nach Fertigstellung beider Rohformteile für die Sitzschalen werden in Alphacam die Konturfräsung und Bohrungen vorbereitet. Das Rohformteil wird auf der Pressform auf der MAKKA 2 positioniert. Um das Bewegen des Rohteils zu verhindern, wird dies an Überständen, die später verschwinden, an der Pressform festgeschraubt. In diesem Zustand werden alle Bohrungen vorgenommen. Diese Bohrungen werden nun verwendet, um das Formteil an der Pressform festzuschrauben, während die anderen

Schrauben, an den wegfallenden Stücken gelöst werden. So wird eine sichere Fixierung über den gesamten Fräsvorgang gewährleistet.

Das Fräsergebnis ist bis auf einige Ausrisse des Deckfurniers insgesamt gut. Die Ausrisse werden in intensiver Feinarbeit später korrigiert, die Kanten gebrochen und die Sitzschale bis auf 400er Körnung geschliffen.

## Fertigung der Holme

Auch die Holme sollen mithilfe von Vakuumtechnik gefertigt werden. Hierfür wird in AutoCAD eine passende Pressform konstruiert, für die anschließend in Alphacam der G-Code generiert wird. Da alle drei Holme ein identisches Profil haben, wird sich entschieden eine große Pressform herzustellen, auf dem ein Profil einer Länge gefertigt wird, aus welchem drei Holme gefräst werden können.

Nachdem das Rohteil vorbereitet ist, wird die Fräsung in Form eines Schrupp- und eines Schlichtvorgangs auf der MAK2 vorgenommen.

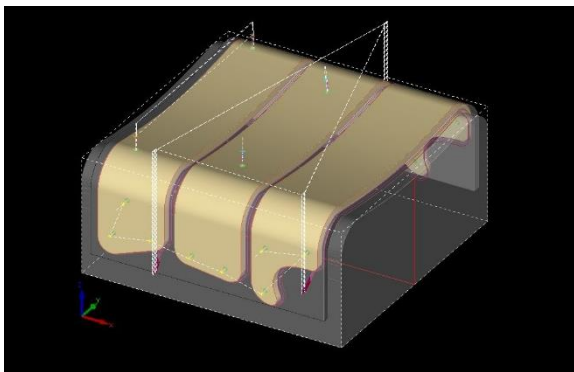


Abbildung 14 - Alphacam-Programmierung der Holme



Abbildung 15 - Herstellung der Holm-Pressform

Mit der fertigen Pressform wird ein erster Test mit 9 Lagen kreuzverleimtem Schälffurnier durchgeführt. An dieser Stelle wird sich bewusst für Schälffurnier entschieden, da beim Schlitten über die Holme die Kraft aus der Sitzschale in die Kufen geleitet wird. Bei einem erwachsenen Fahrer und den dynamischen Kräften, die bei einer Schlittenfahrt entstehen, werden hier höhere Anforderungen an die Stabilität der Holme gestellt.

Der Verleimvorgang im Vakuum erfolgt identisch zu dem der Sitzschale. Bei dieser Pressform ist es wichtig zu beachten, dass der obere Radius vorbelastet ist, bevor sich die Seiten an die Pressform ziehen. Wird diese Reihenfolge nicht eingehalten, kann das Furnier aufgrund der seitlichen Zugkräfte oberseitig nicht mehr an die Pressform gedrückt werden und eine unsaubere Verleimung entsteht.

Das nachfolgende Bild zeigt den ersten Testversuch, welcher das Vorgehen und die Verwendung von Schälffurnier bestätigt. Alle Rundungen und weitere Bereiche sind sauber und gleichmäßig verleimt und verpresst. Nachfolgende Holmpressungen werden im Prozess noch einfacher eingeschätzt, da aus optischen Gründen die äußeren Schälffurnierlagen durch Nuss-3D-Furnier ersetzt werden.



Abbildung 16 - Versuch 1 / Holme

Um das erzielte Formteil anschließend zu konditionieren, wird ein passendes, auf der Formatkreissäge vorgeschlitztes Gegenstück gefräst, welches mit Zwingen von oben den Radius erhalten soll. Die Schlitzze sollen für eine ideale Belüftung sorgen, sodass verbleibende Feuchtigkeit gut verdunsten kann.



Abbildung 17 - Konditionierung des Holmrohling

Auf diesem Weg werden nachfolgend insgesamt zwei zufriedenstellende Rohlinge in Nussoptik hergestellt, welche jeweils eine Woche wie beschrieben konditionieren. Ein weiterer Rohling ist aufgrund von Mängeln in der Verleimung Ausschuss. Dieser wird später für Probefräsungen eingesetzt.

Anschließend wird die Pressform als Positioniervorrichtung für die Fräsungen verwendet. Ähnlich wie bei der Sitzschale wird der Rohling an überstehendem Material an die Pressform geschraubt und es werden alle Bohrungen gesetzt. Diese Bohrungen werden anschließend für die weitere Fixierung mittels Schrauben verwendet, während die anderen Schrauben an den Überständen wieder gelöst werden, um eine mögliche Kollision mit dem Fräswerkzeug zu vermeiden. Wie in den nachfolgenden Abbildungen zu erkennen ist, werden je drei Holme für einen Schlitten aus einem Rohteil gefräst.

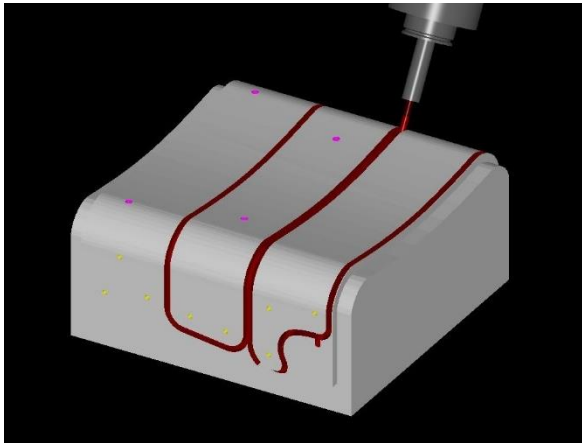


Abbildung 18 - Konturfräsung der Holme



Abbildung 19 - Fixierung des Rohlings an der Pressform

Die Konturfräsung liefert weitestgehend befriedigende Ergebnisse, leider neigt jedoch das Nuss-3D-Furnier zu Ausrissen, die später in aufwändiger Feinarbeit behoben werden. Zudem werden die Kanten gebrochen und die Holme erhalten einen Schliff bis zur finalen 400er Körnung.

Sowohl die Holme, als auch die Sitzschalen werden in der Modellbauwerkstatt sprühlackiert. Bei dem Lack handelt es sich um einen Holzsiegel der Firma Clou, seidenmatt. Dieser besitzt eine hohe Haftfestigkeit und ist strapazierfähig. Insgesamt werden drei Lackgänge mit entsprechenden Zwischenschliffen durchgeführt.

Für diese Behandlung der Oberflächen wird sich entschieden, da der Schlitten für eine tatsächliche Nutzung in der Natur bis zu einem bestimmten Grad witterungsbeständig sein muss.



Abbildung 20 - Holme und Sitzschalen bei der Trocknung



Abbildung 21 - Oliver Schulz beim Verdünnen des Lacks



## Fertigung der Kufen

Die Kufen sollen aus 30 mm starker Multiplexplatte hergestellt werden. Im Labor sind ausschließlich 29er-Platten vorhanden, weshalb die vorbereiteten Zuschnitte mit vorhandenem Ahorn- und Birkefurnier auf die notwendige Dicke gebracht werden. Verleimt wird zwischen zwei größeren Platten mit Zwingen. Das Ergebnis ist ein sauber verleimter 30 mm starker Zuschnitt.

Der Zuschnitt wird über Sauger auf der MAKA 1 positioniert, was sich als schwierig gestaltet, da entschieden wird die Kontur bis auf eine Höhe von -1 mm zu fräsen. Es muss sich also vergewissert werden, dass es keine Kollision zwischen Saugern und Fräswerkzeug geben wird.

Aufgrund der begrenzten Möglichkeit der Saugerpositionierung erzeugt eine Zustellung ein fehlerhaftes Ergebnis, da das Fräswerkzeug mehr Kraft in das Werkzeug leitet, als die Sauger halten können. Es muss ein neuer furnierter Zuschnitt hergestellt werden und der Vorschub wird so angepasst, dass das gleiche Problem nicht erneut auftritt.

Eine weitere Herausforderung stellt die Fräsung der Tasche für die nun fest eingepiante, in die Kufe eingelassene Bremse dar. Da es kein Fräswerkzeug mit ausreichender Länge gibt, muss hier in späterer Nacharbeit die Tasche vervollständigt werden. Die Bohrungen und die Taschenfräsung für die Bremsachskonterung werden ohne weitere Probleme durchgeführt.

Die Kanten der Kufen werden gebrochen und die Kufen erhalten ihren für die Ölung vorbereitenden Schliff und werden mit Osmo Hartwachsöl dreimal geölt.

Ein weiteres Teil, das für die Kufen gefertigt werden muss, ist ein 8 mm starkes Furnierbrett, welches in die Tasche in den Kufen eingelassen werden soll. Dieses Teil verfügt über eine Sackbohrung, in welcher die Bremsachse später blind endet.

Da kein passendes Furniersperrholz im Labor vorhanden ist, wird ein Rohteil aus 5 Lagen Schäl furnier und zwei deckenden Lagen Nuss-3D-Furnier gepresst. Die Pressung erfolgt in einer mechanischen Handpresse, wodurch gewünschte Stärke und Qualität erzielt werden kann. Nach mehreren Tagen des Durchrocknens soll die Fräsung aller vier Einlagen aus dem gefertigten Rohteil durchgeführt werden. Da die einzelnen Teile zu klein ausfallen für die vorhandenen Sauger des BAZ, muss ein alternatives Vorgehen gewählt werden. Mit doppelseitigem Klebeband wird das Rohteil auf einer Platte definierter Dicke fixiert und so in der MAKA 2 positioniert. Das doppelseitige Klebeband verhindert jegliches Verrutschen der Einzelteile, sodass gewünschte Fräsqualität erreicht wird.



Abbildung 22 - Fixierung der Einzelteile mit doppelseitigem Klebeband

Die Teile werden nachgeschliffen, um eine ideale Passung in der Kufe zu ermöglichen.

## Fertigung der Bremse

Das Ziel bei der Entwicklung der Bremse ist es, dass diese sowohl mit bremsender als auch lenkender Wirkung eingesetzt werden kann. Zudem soll kein großes und klobiges Teil den Schlitten in seiner Optik beeinträchtigen. Genannte Ansätze führen zu der Überlegung, die Bremse innerhalb der Kufe verlaufen zu lassen und nur die Bremskrallen seitlich der Kufen auszuführen. Dies wird sich sowohl optisch ansprechend als auch als interessante Konstruktion vorgestellt, da sich der unwissende Betrachter fragen wird, wie die Bremse montiert wurde. Abgesehen von optischen Faktoren soll der Griff möglichst ergonomisch und angenehm zu bedienen sein.

Aus vorangegangenen Überlegungen ergibt sich die Idee, die Bremse aus insgesamt fünf Teilen zusammenzusetzen – die Basis, zwei Bremskrallen und die beiden Seiten der Handgriffe.

Diese fünf Teile sollen in montiertem Zustand in der Kufe verleimt werden.



Abbildung 23 - Bremskomponenten



Abbildung 24 - Einbau der Bremsbasis

Die einzelnen Komponenten der Bremse (Abb. 21) werden mit einem Bündigfräser in der Oberfräse ausgefräst. Anschließend wird die Bremse mithilfe positionsgewebender Dübel zusammengesetzt (Abb.23) und die Oberfläche geschliffen, sodass die Übergänge zwischen den Einzelteilen nicht mehr spürbar sind. Die Bremskrallen werden anschließend noch mit Nuss-3D-Furnier furniert, um die Nussoptik wieder aufzugreifen.

Wie in Abbildung 22 zu sehen, wird zuerst die Bremsbasis eingebaut, was mit erheblichem Aufwand verbunden ist, da die Geometrie nicht um die Kurve der oberen Öffnung der Kufe zu führen ist. Aus diesem Grund wird die Bremsbasis unter Spannung an der unteren Kufenseite vorbeigeführt. Um das Material zu schützen, werden empfindlicher Stellen mit Klebeband versehen.



Abbildung 25 - zusammengesetzte Bremse



Abbildung 26 - Verleimung der Bremskomponenten

Anschließend werden in der Kufe die einzelnen Bremsbestandteile miteinander verleimt (Abb. 24). Nachdem der Leim getrocknet ist, wird ein weiterer Schliff der Bremse vorgenommen, um Leimreste zu entfernen. Zudem wird ein passender Alurohrabschnitt vorbereitet, welcher in die Achsbohrung der Bremse eingehämmert wird und durch die Presspassung seine Position hält.

Im nächsten Schritt werden die Bremsen dreimal mit Osmo Hartwachsöl geölt, bis sie die gewünschte Oberflächenqualität erhalten.



Abbildung 27 - fertiger Bremsgriff

Um die Bremskrallen vor Schäden zu schützen, werden diese zum Schluss mit einem Edelstahlblech versehen. Dies wird mit Silikon festgeklebt und mit Schrauben sicher fixiert.



Abbildung 28 - Edelstahl-Bremsbelag



Abbildung 29 - ergonomischer Bremsgriff

In jede Kufe wird das nussfurnierte Konterstück für die Bremsachse eingeleimt. Dies wird anschließend ebenfalls mit Osmo Hartwachsöl behandelt.



Abbildung 30 - Arvid Schneck beim Ölen der Kufen

Um die ideale Gleiteigenschaften zu erzielen und die Kufenunterseite vor Schäden zu schützen, wird diese mit einem Edelstahlblech versehen. Dies erhält vorbereitend gesenkte Bohrungen. Über diese kann das Blech an der Kufe verschraubt werden. Um diesen Vorgang zu erleichtern, wird das Blech an der missglückten Kufe vorgebogen. Da am hinteren Ende der Kufen zu wenig Material für eine Verschraubung vorhanden ist, wird das Blech hier über eine Blindniete an der Holzkufe befestigt.

Überstände von Nieten und Schrauben werden mit einem Handbandschleifer sauber entfernt und die Kufen erhalten zudem einen Längsschliff. Damit sind alle einzelnen Komponenten bereit für die Montage.

## Montage

Nachdem alle Bauteile gefertigt sind und die Oberflächenbehandlung abgeschlossen ist, kann die Montage hin zum fertigen Endprodukt vorgenommen werden. Da einige Toleranzen doch größer ausfallen als geplant, ist es wichtig eine sinnvolle Montagerihenfolge zu wählen. Es bewährt sich, zuerst die Holme mit beiden Kufen zu verbinden. Ist dies geschehen, folgt die Montage des Sitzes. An dieser Stelle stellen die entstandenen Abweichungen durch leichte Verformung der Formteile eine gewisse Schwierigkeit dar. Nur zu zweit, mit Einsatz leichten Drucks, lässt sich die Sitzschale sauber mit Kufen und Holmen verschrauben. Dabei werden zuerst durch die Löcher in der Sitzschale Schrauben durchgesteckt, ohne diese zu befestigen. So findet die Verbindung von Sitz und Kufen statt. Im Anschluss werden die Schrauben in der Sitzfläche mit der passenden Hülsenmutter gekontert und letztendlich die letzten zwei Schrauben in der Lehne eingesetzt und mit den Hülsenmuttern verschraubt. Rückblickend hätten für die Verbindung von Sitzschale und Kufen zwei statt vier Schrauben gereicht und die Montage erleichtert.

## Projektergebnis

Am Ende der Projektarbeit bietet das fertige Objekt mit kleinsten Abweichungen ein sehr gutes Ergebnis. Der Schlitten erfüllt bei den Aspekten Maße und Konstruktion, Optik sowie Funktion alle Kriterien. Zu den Kufen lässt sich sagen, dass die Fräsungen gut und präzise ohne Abweichungen vom Sollwert sowie ohne Ausriss funktioniert haben. Die Metallbänder zum Schutz der Kufen an deren Unterseite ließen sich gut befestigen. Die Formteile bestehend aus den Holmen und der Sitzschale ließen sich gut verleimen und pressen, die Bohrungen konnten exakt ausgeführt werden. Jedoch besitzen die Formteile eine minimale und zu erwartende Toleranz in der Biegeöffnung. Des Weiteren sind beim Formatieren trotz bester Vorbereitungen kleinste Ausrisse an den Kanten entstanden. Durch eine Nachbehandlung der Oberfläche konnten diese allerdings weitestgehend behoben werden und bei der Montage hat die genannte Toleranz keine schwerwiegenden Auswirkungen gezeigt. Das Einsetzen der Bremshebel in die Kufen gestaltete sich etwas komplexer als gedacht, beeinträchtigte das Resultat und die Funktion aber nicht.

## Fazit

Als Fazit lässt sich formulieren, dass das Vertiefungsmodul „CAD/CAM“ ein sehr gelungenes Projekt mit einem optisch ansprechenden Schlitten als fertiges Holzobjekt darstellt. Auf dem Weg dorthin sind nicht alle Vorgänge reibungslos vonstattengegangen und es sind einige Problemstellen sichtbar geworden. So konnten wir zum Beispiel zwar feststellen, dass der Vakuumsack zum Pressen und Verleimen unserer Formteile bestens geeignet war, jedoch das Handling des in seinen Maßen beschränkten Sackes etwas schwierig vonstattenging. Eine weitere Schwierigkeit wurde beim Fräsen der Kufen deutlich. Die relativ schmale Form der Kurve bot beim ersten Fräsversuch nicht genügend Halt, sodass sich die Kufe auf den Saugern des Frästisches löste und während des Fräsvorgangs verrutschte. Die daraus resultierende Folge war ein Übungsobjekt mehr. Nichts desto trotz wurden alle Aufgabenbereiche am Ende erfolgreich erledigt und das Projekt konnte sehr zufriedenstellend beendet werden.

Die Gruppenarbeit hat sehr gut funktioniert, die Aufgaben innerhalb des Teams wurden gleichmäßig aufgeteilt und es herrschte eine konstant positive Stimmung sowie ein hoher Grad an Motivation. Der Verlauf des Projektes innerhalb des Semesters war klar strukturiert und von Beginn an wurden alle inhaltlichen Aspekte klar kommuniziert.

Zu Beginn erfolgte eine sehr gute und verständliche Einarbeitung in das CAM-Programm Alphacam, jedoch hätte der zeitliche Umfang dieser Einarbeitung größer ausfallen können. Die räumlichen Gegebenheiten und die zur Verfügung gestellten Maschinen waren in einem ordentlichen Zustand, sodass es viel Spaß bereitete, damit zu arbeiten. Das Projekt wird von der ganzen Gruppe als eine sehr positive Erfahrung wahrgenommen und voller Zufriedenheit abgeschlossen.

## Eidesstattliche Erklärung und Zustimmung zur Veröffentlichung

Hiermit erklären wir an Eides statt, dass wir die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und dabei keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt haben. Sämtliche Stellen der Arbeit, die im Wortlaut oder dem Sinn nach Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren entnommen sind, haben wir als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher weder gesamt noch in Teilen einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht. Die Rechte aller Abbildungen dieser Arbeit liegen bei den Verfassern dieser Arbeit.

Des Weiteren stimmen wir zu, dass diese Dokumentation und das zugehörige Plakat, eingereichte Bilder, sowie die Zusammenfassung für den Internetauftritt der HAWK durch die Laborleitung des Labors für Bearbeitungstechnik veröffentlicht werden dürfen, bzw. zur Veröffentlichung an entsprechende Stellen der HAWK weitergegeben werden dürfen. Voraussetzung hierfür eindeutige Kenntlichmachung der Namen der Verfasser.

Hildesheim, 31.01.2020



Florentine Adam



Jan Oliver Schulz



Arvid Schneck



Daniel Wappler