



# BAU EINER BEINABLAGE

Praxis Projekt CAD/CAM

## **HAWK**

Fakultät Bauen und Erhalten

5. Semester

Holzingenieurwesen

LBT - Labor für Bearbeitungstechnik

## **Dozent:**

Dipl. Ing. Norbert Linda

## **Studenten:**

Lukas Knipping 781329

Cedrik Borges 793113

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>PRODUKTIDEE</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>PLANUNGSPHASE</b> .....	<b>4</b>
3.1	KONSTRUKTION .....	4
3.2	MATERIALAUSWAHL .....	5
3.3	ZEITPLAN:.....	6
<b>4</b>	<b>BAU-/ UND DURCHFÜHRUNGSPHASE</b> .....	<b>7</b>
4.1	ABLAGEFLÄCHE.....	7
4.1.1	<i>Pressform</i> .....	8
4.1.2	<i>Fräsform</i> .....	8
4.1.3	<i>Fertigung</i> .....	9
4.2	BEIN .....	10
4.2.1	<i>Pressform</i> .....	11
4.2.2	<i>Fräsform</i> .....	12
4.2.3	<i>Fertigung</i> .....	13
4.3	METALLKOMPONENTEN .....	13
4.3.1	<i>Stahlstern</i> .....	13
4.3.2	<i>Edelstahlrohr</i> .....	14
4.4	FÜßE .....	15
4.4.1	<i>Bearbeitung 1</i> .....	16
4.4.2	<i>Bearbeitung 2</i> .....	17
4.5	ZUSATZTEILE .....	18
<b>5</b>	<b>FERTIGSTELLUNG</b> .....	<b>20</b>
5.1	OBERFLÄCHE.....	20
5.2	ZUSAMMENBAU.....	21
<b>6</b>	<b>FAZIT</b> .....	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>ANHANG</b> .....	<b>23</b>
7.1	ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	23
7.2	ANHANGSVERZEICHNIS .....	24
7.3	ANHANG .....	25

# 1 Einleitung

Das CAD-CAM Praxisprojekt (BHV-02) der HAWK ist ein auf den individuellen Möbelbau ausgelegtes Wahlfach, in dem das Ziel verfolgt wird, ein eigens entworfen und konstruiertes Möbel zu bauen. Dabei liegt das Hauptaugenmerk auf der 5-Achs-Bearbeitung mit einer CNC (Computerised Numerical Control). Mit dieser Maschine kann man verschiedenste Bearbeitungen an vielen unterschiedlichen Materialien durchführen, in dem man diese vorher in einem CAD-CAM-Programm (Bsp. ALPHACAM) programmiert. Hier werden Bearbeitungspfade erstellt, welche der Bearbeitungsarm der CNC dann mithilfe diverser Werkzeuge abfährt und die jeweiligen Bohrungen, Fräsungen oder Sägeschnitte vornimmt. Wenn es das Objekt zulässt, kann so in geringer Zeit ein kompliziertes, dreidimensionales Objekt mit sehr hoher Genauigkeit gefräst werden (Abb. 1: Beispiel einer NC - Bearbeitung).

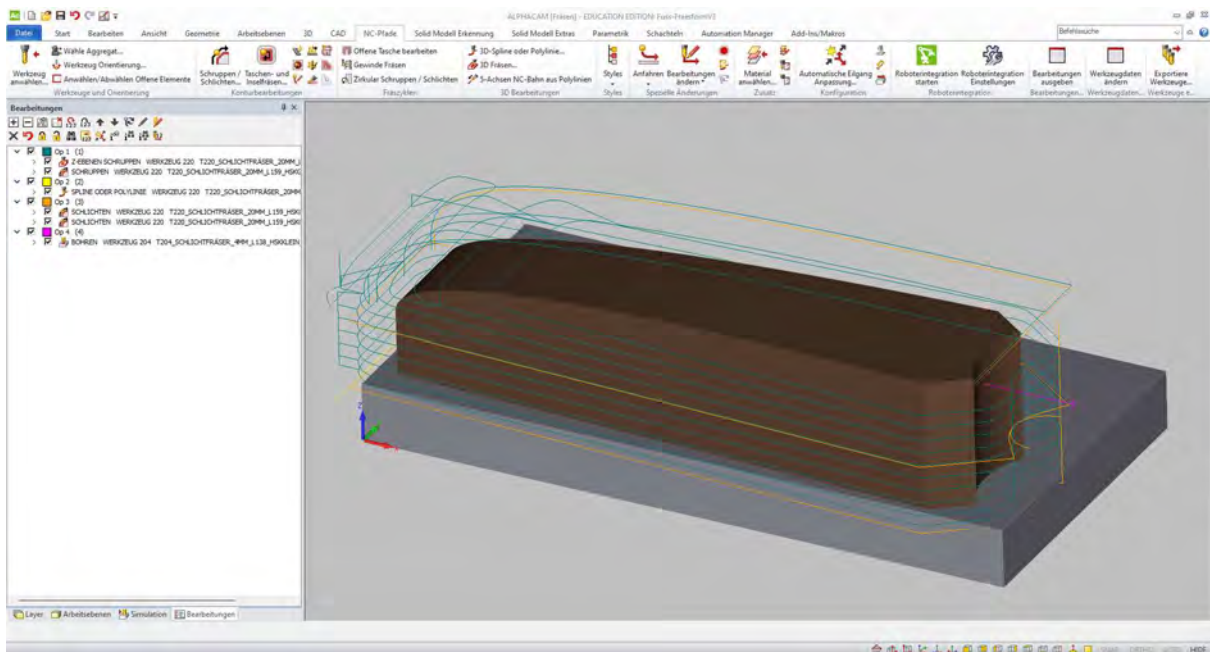


Abb. 1: Beispiel einer NC-Bearbeitung

## 2 Produktidee

Anfangs kamen uns zwei Ideen für dieses Projekt. Zum einen hatten wir die Idee eine Computer Maus umzubauen und mit einer Hülle aus Holz zu versehen. Allerdings haben wir diese Idee schnell ausgeschlossen, da ein ähnliches Projekt bereits durchgeführt wurde und wir den Anspruch eines eigen ausgearbeiteten Möbels haben. So entwickelten wir schließlich die Idee, eine Beinablage zu fertigen, da das Möbel ebenfalls einen praktischen und alltäglichen Nutzen haben soll.

So begannen wir zunächst mit der Recherche und sammelten einige Inspirationen aus dem Internet. Uns sagte keines der Designs zu, sodass wir als erstes damit begannen uns ein eigenes auszudenken.



In der Abbildung ist unser aller erstes Design zu erkennen. Unsere Vorstellung war, eine elegant geschwungene Ablagefläche mit Mesh zu bespannen, um für einen gewissen Komfort zu sorgen. Des Weiteren sollte die Ablagefläche in der Höhe, sowie im Winkel verstellbar sein um eine gewisse Variabilität zu erzeugen und in verschiedenen Situationen immer den nötigen Komfort zu bieten.

*Abb. 2: Erstes Beinablagen Design*

Anfangs haben wir zwei Varianten des Bein-/Fußgestells entworfen. Nachdem wir beide Varianten mit einander verglichen haben, entschieden wir uns allerdings für die in Abb2, da wir die Stabilität sowie den Aufwand für realistischer hielten. Im Anschluss an unsere ersten Vorstellungen und das erste Design der Beinablage starteten wir so in die Planungsphase. In dieser änderten sich regelmäßig Teile des Möbels, welches sich erheblich auf das Design auswirken.

## 3 Planungsphase

### 3.1 Konstruktion

Nachdem wir die Idee entwickelt und ein Design festgelegt hatten, folgte die Konstruktionsphase. In dieser überlegten wir uns, wie wir die Idee mit dem Design so umsetzen können, dass das Produkt trotzdem stabil und somit langlebig ist. Durch die vielen Rundungen und teils sehr dünnen Teile, mussten wir darauf achten, die konstruktiv hoch beanspruchten Teile zusätzlich zu stützen, um mögliche Schwachstellen zu vermeiden.



Abb. 3: Ablagefläche mit Kontersteg CAD

Ablagefläche und der obere Teil musste so geplant werden, dass durch die hohe Nutzung auf lange Zeit keine Fehlstellen auftreten können.

Der Kippmechanismus war eine ursprüngliche Idee von uns, die wir zwischen dem Bein und der Ablage realisieren wollten. Dieser war so geplant, dass aus einer Vollkern-PU-Platte ein Stutzen mit zwei kleinen Scheiben gefräst wird. Um zu gewährleisten, dass der Mechanismus auch langfristig reibungslos läuft, entschieden wir uns für dieses Material. Die beiden Scheiben würden an der rechten und linken Seite angebracht und in einem Nut- und Feder System im Halbkreis neigbar sein, somit auch die verbundene Ablagefläche.

Durch zeitliche Probleme und die schwierige Bearbeitung des Materials, haben wir allerdings von dem Mechanismus abgesehen und nur einen simplen Stumpf aus Vollholz konstruiert. Dieser hat ebenfalls eine gute Standhaftigkeit und ist in punkto Nachhaltigkeit, falls man von einer hohen Produktionszahl ausgeht, deutlich effektiver. Der mittlere Teil, das **Bein der Fußablage**, haben wir mit einer einfachen Höhenverstellung versehen. Dadurch tritt das Problem auf, dass die innen im Bein verlaufende Nut das Bauteil schwächt und wir hier aber in der Konstruktion, außer der Dicke, nur das Material so anpassen konnten, dass diese Schwachstelle möglichst minimiert wird.

An der oberen **Fußablagefläche**, in der später das Mesh in der Mitte gespannt wird, wurden deshalb Gegenstücke mit der gleichen Rundung gegengeleimt. Zum einen, um zu vermeiden, dass der Rahmen sich nicht verbiegt oder sich der Radius verzieht, zum anderen um die hohe Kraft, die später durch die Beine auf dem Rahmen drückt, abzuleiten. Vor allem die Ablage-



Abb. 4: Stahlstern CAD

Im unteren **Fußgestell** haben wir bei der Grundkonstruktion ein Edelstahl-Kreuz als Stabilisation genutzt, der die einzelnen Füße hält. Diese würden die Last höchstwahrscheinlich nicht langfristig halten können, weshalb wir uns bei diesem Teil der Beinablage schnell auf eine zusätzlich unterstützende Konstruktion verständigt haben.

Insgesamt hatten wir bei der Konstruktion drei große Ziele; Die Stabilität, die Langlebigkeit und zusätzlich die Möglichkeit, die Ablage als Bausatz zu konstruieren. Dieser letzte Punkt war eine Hürde, die wir uns freiwillig gestellt hatten, da wir versuchten, unser Produkt für die Fertigung in großen Mengen zu planen. Dabei war das Hauptproblem die Verbindung von Ablage, Bein und Fußgestell. Diese drei Teile wurden so gefertigt, dass man diese nur zusammenstecken muss, und so jeder Ottonormalverbraucher die Fußablage zu Hause selber zusammensetzen kann.

## 3.2 Materialauswahl

**Nussbaum:** Bei dem Hauptdesign haben wir uns für Nussbaum entschieden, da dieser im Aufbau relativ hart ist, eine gute Standfestigkeit besitzt und zusätzlich optisch sehr gut aussieht. Außer den Füßen haben wir allerdings keine massiven Teile, da alle anderen Teile geformt sein und eine sehr hohe Beanspruchung auf verhältnismäßig geringer Fläche aufweisen mussten. Anstatt Massivholz, in dem oft Fehlstellen oder nicht von außen zu erkennenden Schwachpunkten sind, haben wir hier auf Biegesperrholz, welches wir selber bei den Formteilen verleimt haben, zurückgegriffen. Diese wurden dann von außen mit Nussbaumfurnier bezogen.

**Biegesperrholz:** Alle Formteile sind aus Biegesperrholz gemacht, welches wir direkt in den Pressformen verleimt und in Form gebracht haben. Das Bein ist aus zehn Furnierschichten Sperrholzfurnier, dazu kommen zwei weitere Nussbaumfurniere als Deckschicht. Die Ablagefläche wurde aus insgesamt 14 Furnierschichten gepresst, zwei davon auch wieder Nussbaumfurnier, einmal oben und einmal unten. Die weiteren kleinen gebogenen Teile wie zum Beispiel das Konterstück der gebogenen Ablagefläche oder die kleinen Zierstreben auf den einzelnen fünf Füßen wurden aus den Verschnitt Resten hergestellt, sodass der Verschnitt generell stark minimiert wurde.



Stumpf: Wie im Abschnitt “Konstruktion” schon erwähnt, wurde der Stumpf, der die Ablage mit dem höhenverstellbaren Bein verbindet, aus Vollholz Nussbaum gefräst. Vor allem wegen dem Design und der guten Festigkeit von Nussbaum haben wir uns so entschieden. Die ursprüngliche Variante aus einer dicken PU-Vollkern-Platte wäre zu aufwendig und auch optisch nicht passend gewesen.

Edelstahl: Bei dem Großteil unserer Zusatzbauteile wie der mittleren Stange, die innerhalb des Beines läuft oder dem Stift, der in der Stange für den höhenverstellbaren Mechanismus verantwortlich ist, haben wir auf Edelstahl zurückgegriffen. Hier ist das Argument ähnlich wie bei dem Kippmechanismus; Standhaftigkeit und verlässliche Stabilität des Materials. Da diese beiden Teile unverzichtbar sind, haben wir uns guten Gewissens für Edelstahl entschieden. Bei dem Metallstern, welcher die fünf einzelnen Füße hält, haben wir allerdings einfachen Stahl benutzt, um Produktionskosten zu sparen. Dazu kommt, dass dieser von außen in normaler Nutzung nicht sichtbar ist und somit keinen besonderen Einfluss auf die Optik hat.

### 3.3 Zeitplan:

Zunächst erstellten wir einen Zeitplan für das Projekt, um unsere Arbeiten zu strukturieren und Deadlines zu haben, bis wann welches Teil fertig sein muss. Zur Hand nahmen wir uns dazu das Gantt-Diagramm. Wir begannen das Projekt in verschiedene Phasen aufzuteilen. Dabei stellten wir folgende Phasen auf. Entwurf, Arbeitsvorbereitung, Vorrichtungsbau, Prototyp, finaler Bau und Präsentation.

Im Laufe des Projektes haben wir einige Änderungen an diesem Zeitplan vorgenommen, da sich viele Dinge stark durch unterschiedlichste Gründe verschoben haben.

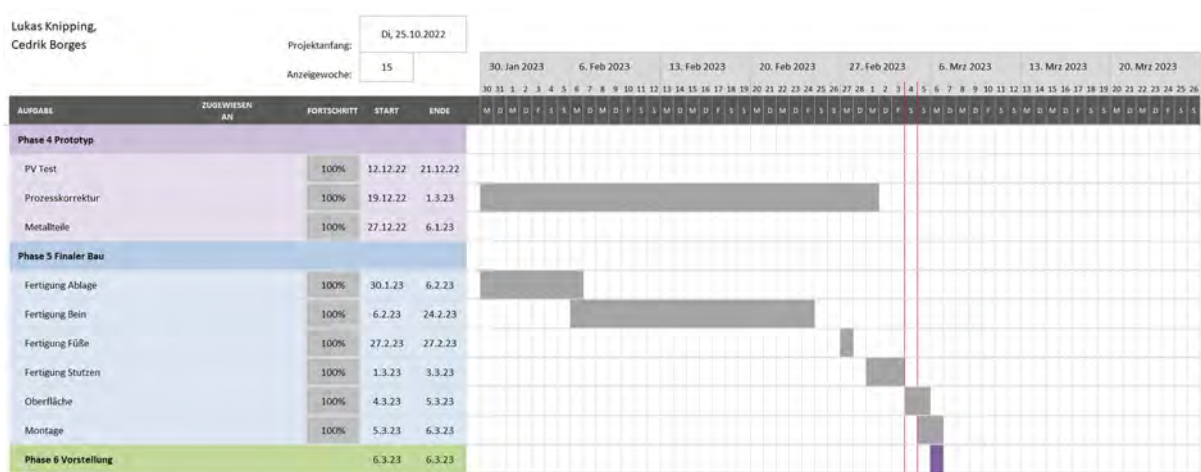


Abb. 5: Gantt-Zeitplan

## 4 Bau-/ und Durchführungsphase

### 4.1 Ablagefläche



Abb. 6: Ablagerahmen

Das Kernstück und somit das Hauptbauteil unserer Beinablage ist die Ablagefläche. Bei der Planung hatten wir ein paar Haupteigenschaften festgelegt, welche die Ablage haben sollte. Darunter zählen wir einmal das runde Design, die weiche Ablagefläche, auf der später die Beine liegen und die damit verbundene Stabilität, die natürlich nicht fehlen darf. Der letzte Punkt wurde bereits in der Materialauswahl berücksichtigt, weshalb wir diesen hier überspringen können. Bei dem Design brauchten wir natürlich eine Rundung, die sich durch unser gesamtes Möbel zieht. Hierbei war schnell klar, dass die Ablagefläche also aus Form-Holz oder gepresstem Furnier bestehen musste, um eine Rundung realisieren zu können. Da wir uns bei dem Teil der weichen Ablagefläche schon sehr früh auf einen Mesh-Stoff verständigt haben, entschieden wir uns für die Furnier-Variante. Dies stellte zwar einen höheren Arbeitsaufwand dar, ermöglichte uns aber viele Arten, das Mesh einzuarbeiten. Nach mehreren Ideen beschlossen wir, den Stoff zwischen zwei aufeinanderliegenden, gebogenen Furnier-Rahmen zu spannen. Somit erhält man ein sauberes Kantenbild an den Außenkanten, da das Mesh nur in der Innenseite auf einem schmalen Falz liegt und der Stoff gleichzeitig blind, aber trotzdem einfach befestigt werden kann. Daraufhin mussten also Press- und Fräsformen geplant und gebaut werden.



### 4.1.1 Pressform



Abb. 7: Pressform Ablagerahmen

Die Pressform der Ablagefläche ist unser erstes Formteil gewesen, welches wir gepresst haben. Die Nutzung der Hydraulikpresse war für uns schnell in den Mittelpunkt gerückt, da es als beste Art ersichtlich war die insgesamt 14 Furnierschichten mit einander zu verkleben.

Da wir die gesamte Beinablage bereits in CAD modelliert hatten, war es vergleichsweise einfach die beiden

Teile der Pressform ebenfalls in CAD zu modellieren. Die Schwierigkeit dieses Bauteils ist die geschwungene Form, welche keine Kreisförmige Kontur hat. Das heißt, die zwei Teile der Pressform haben nicht dieselbe Krümmung und zudem variiert die Krümmung sobald sich die Materialdicke verändert. Deshalb mussten wir im Vorfeld genau planen, wie viele Furnierschichten wir verwenden und was die gesamte Materialdicke nach dem Pressen ist. Außerdem besteht der Rahmen aus zwei Teilen (Siehe Abb. 7), dem oberen und dem unteren Rahmen. Im Zwischenraum wird das Mesh verbaut. Die beiden Teile werden gemeinsam in einer Form gepresst, um keine weitere Pressform herstellen zu müssen. Durch eine Trennschicht zwischen den beiden Teilen wird ein versehentliches Verkleben verhindert. Vor dem ersten Test-Pressen errechneten wir uns die Leimmenge, sowie den Pressdruck, damit wir das Formteil nicht zu sehr komprimieren. Nach wenigen Testversuchen haben wir bereits sehr gute Ergebnisse erzielt und noch einzelne Änderungen an der Pressform vorgenommen. Da uns beim ersten Versuch die Überstände, des Furniers an den langen Seiten gebrochen ist haben wir den unteren Teil der Form aufgedoppelt um mehr Platz zur Grundfläche der Presse zu generieren. Nachdem wir nun perfekte Pressergebnisse erzielten, konnten wir mit der Fräsform beginnen.

### 4.1.2 Fräsform



Abb. 8: Fräsform Ablagerahmen

Wir benötigen zur präzisen Fertigung zwei Fräsformen. Wie im ersten Teil erwähnt, haben die beiden Teile des Ablagerahmens eine unterschiedliche Krümmung. Da unsere Rahmen nur eine Stegbreite von 30 Millimetern haben, musste die Fräsform sehr knapp konstruiert werden, um neben dem Moosgummi auch Platz für die Vakuum-Nut zu haben. Dies hat allerdings erstaunlich gut funktioniert und auch die Kraft mit der das Bauteil an die Form gezogen wird, ist mehr als ausreichend.

Allerdings sind leider im Laufe der ersten Tests einige Probleme mit den Fräsen aufgetreten, wodurch wir die Fräsformen jeweils zweimal erneut ab- und neu fräsen mussten. Dadurch mussten die Fräsformen ebenfalls aufgedoppelt werden.

Nachdem unsere Fräsformen nun präzise gefräst waren, konnten wir erneut erste Tests durchführen und nach einigen wenigen Nacharbeiten haben wir sehr gute Fräsergebnisse erreicht.

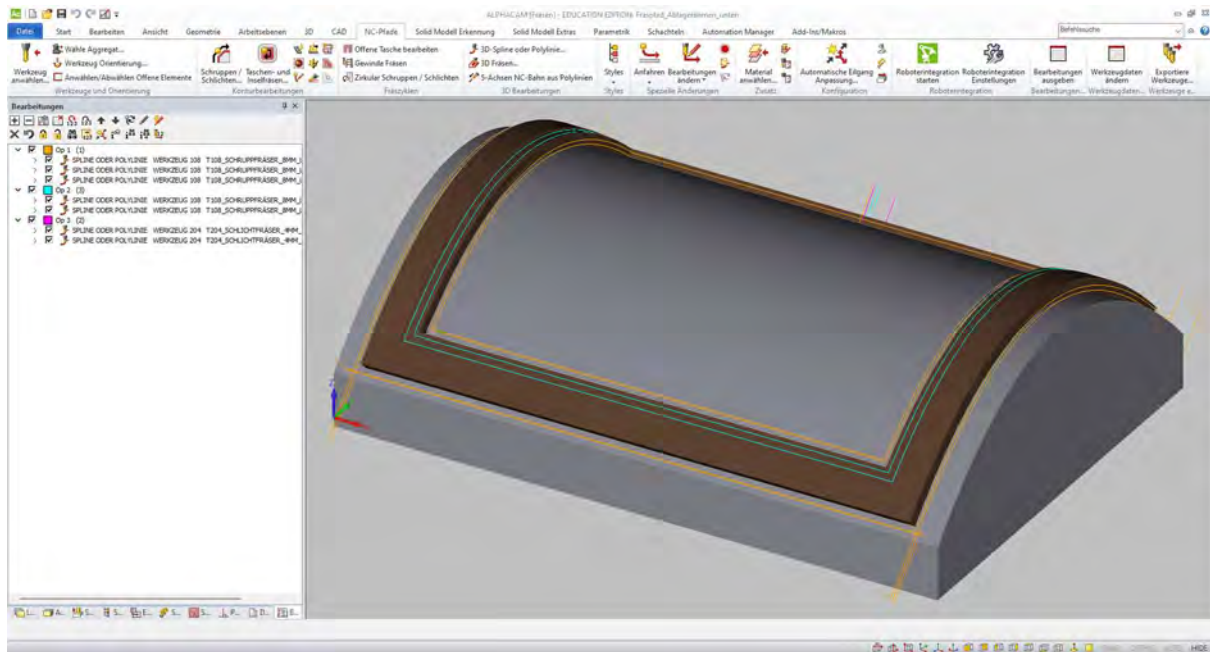


Abb. 9: Fräsprogramm Ablagerahmen-Unten

### 4.1.3 Fertigung

Nachdem wir alle Teile fertig hatten ging es darum, das Mesh einzuspannen. Dies haben wir mit Taekernadeln, in dem vorher eingefrästen Falz im unteren Teil des Rahmens, befestigt. Nach einigen Versuchen stellten wir fest, dass die Spannung über die längst Seite am wichtigsten für eine hohe Spannung ist. Deshalb haben wir zu beginn das Mesh einseitig fest getackert und daraufhin auf Spannung mit der gegenüberliegenden Seite verbunden.

Nachdem wir das Mesh mit dem Rahmen verbunden haben, konnten wir den unteren und den oberen Teil des Rahmens miteinander verkleben. Diese Lösung ist die einzig schlüssige für uns, damit das Kantenbild an den Seiten keine Fuge aufweist. Abgesehen vom finalen Schliff und der Oberflächenbehandlung ist die Fertigung unserer Ablagefläche somit vollkommen.

## 4.2 Bein



Abb. 10: Beinschalen

Bei unserem Bein hatten wir den Hauptgedanken, einen höhenverstellbaren Mechanismus einzuarbeiten, ohne zugekaufte Mechanik zu verwenden. So haben wir uns also erst einmal lang und detailliert auf die Planung konzentriert, in der wir diesen besagten Mechanismus dann entwickelten. Wir legten uns auf einen Mechanismus fest, der sich mit einem einfachen Nut-/ Feder-Prinzip vergleichen lässt und nur eine Höhenverstellung haben sollte. Der äußere Teil sollte aus Holz bestehen, um das bestehende Holz-Design nicht zu brechen. Da es ein Formteil wird, haben wir dieses, genau wie den Ablage-Rahmen, aus gebogenen Furnierschichten geplant. Daraus resultierte die Planung einer weiteren Pressform.

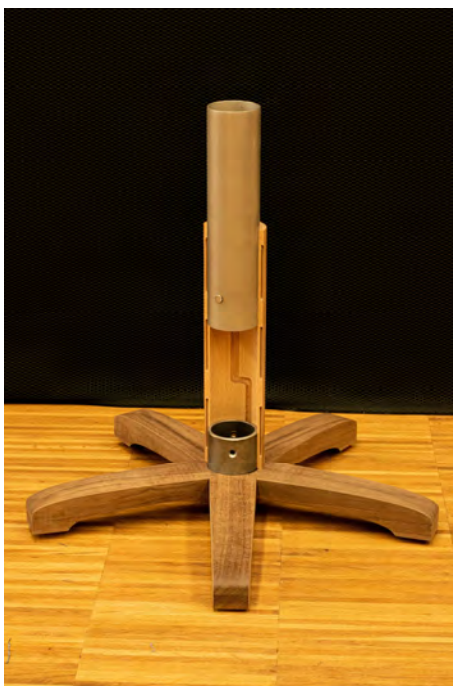


Abb. 11: Mechanismus - Schnitt

Der innere Teil musste eine hohe Standfestigkeit und Stabilität besitzen, um Verformungen zu vermeiden, da die "Feder" sich nicht im geringsten verformen durfte. Hier wählten wir Edelstahl, um die genannten Voraussetzungen zu erfüllen. Die Nut sollte in der Außenhülle verlaufen und bekam zwei Feststellmöglichkeiten. Die "Feder" ersetzten wir mit einem Metallstift, der in dem Edelstahl-Rohr steckt, welches als gesamtes Teil in der Holz-Hülle laufen sollte. Somit ergaben sich also zwei Teile; eine Holz-Röhre, in der innen beidseitig und Achsen-Symmetrisch ein Nutsystem liegt und eine Edelstahlröhre, in der ein Stift liegt, der beidseitig aus dem Rohr guckt und in der Nut läuft.

### 4.2.1 Pressform



Abb. 12: Pressform Bein

Auch bei dem Bein stand erst einmal die Pressform im Vordergrund, um das Furnier in die richtige Form zu bringen. Dazu befestigten wir den Rohteilkörper auf eine Platte und programmierten und frästen die Rundung des Innenradius. Zusätzlich verlängerten wir diese Rundung nach unten hin noch ein Stück, um zu gewährleisten, dass das Furnier beim Pressen ein wenig Spiel hat und wir trotzdem die Rundung gepresst wird

(siehe Abb. 12). Nach dem ersten Versuch stellten wir allerdings fest, dass sich das gepresste Teil im Nachhinein beim Nachtrocknen zusammenzieht. Deshalb vergrößerten wir den Radius der Rundung in der Pressform und fertigten zusätzlich eine Konditionierform an.

Zum Pressen nutzten wir den in der Hochschulwerkstatt vorhandenen Vakuum-Sack, der durch seine Anpassbarkeit, den gleichmäßigen Druck der Rundung gewährleistete. Anders wäre es sehr aufwendig geworden, eine Pressform zu erstellen, da vorherige Versuche gezeigt haben, dass alleiniger Druck von oben nicht ausreicht. Vor allem bei der zusätzlich überspitzten Rundung nicht mehr. Die darauffolgenden Pressergebnisse aus dem Vakuumsack stellten uns dann auch zufrieden.



## 4.2.2 Fräsform



Abb. 13: Fräsform Bein

Auf diese Ergebnisse hin fingen wir an, die Fräs-Programme zu erstellen und fertigten den Rohteilkörper an. Weil wir die Beinhälften nur von je einer Seite fräsen mussten, da die Stücke gespiegelt genau zusammenpassten, brauchten wir hier nur eine Fräs-Form für beide Hälften des Beins (siehe Abb. 13). Auch eine einseitige Bearbeitung reichte, sodass wir das Bauteil nicht öfters fräsen mussten.

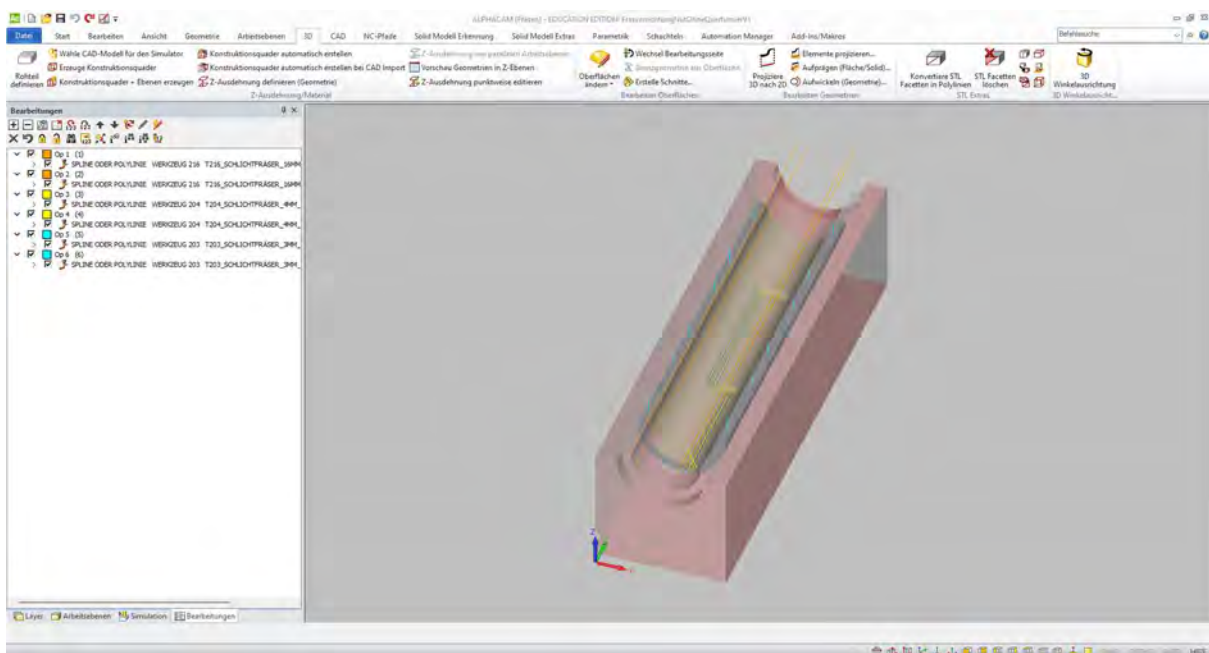


Abb. 14: Fräsprogramm Bein

### 4.2.3 Fertigung



Abb. 15: Konditionierform Bein

Beim Fertigen fielen uns noch einzelne Probleme auf, hauptsächlich solche, welche im oberen Teil bereits benannt sind. Dazu kamen wiederum viele Fehlermeldungen der CNC beim Fräsen, was aber zu diesem Zeitpunkt für uns normal war. Was wirklich überraschend gut bei der Fertigung der Beinteile geklappt hat, war die Arbeit mit dem Vakuumsack. Dafür, dass wir beide vorher keine Erfahrungen hatten, wie man damit arbeitet, waren die Pressergebnisse immer gut bis perfekt.

Im Nachhinein hatten wir dann je eine Press- und Fräs-Form und zwei Konditionierformen, sodass wir an einem Tag ein ganzes Bein fertigen konnten (siehe Abb. 15). Für die Pressform brauchten wir insgesamt zwei Anläufe, da die oben genannten Probleme auftraten. Die Fräs-Form war allerdings direkt ein Erfolg und lediglich das Fräsprogramm musste einmal abgeändert werden.

## 4.3 Metallkomponenten

### 4.3.1 Stahlstern



Abb. 16: Metallstern

Der Stahlstern übernimmt in unserer Konstruktion eine wichtige Rolle. Er bildet das Verbindungsglied zwischen allen fünf Füßen, sowie dem Bein der Ablage.

Wir haben uns dazu entschieden diese Konstruktion zu wählen, da somit im unteren Bereich der Beinablage ein gewisses Gewicht entsteht, welches der Standfestigkeit dient und außerdem die Verbindungsart aller Komponenten eine der stabilsten Varianten darstellt.

Auf die Verwendung von Edelstahl haben wir bei diesem Teil verzichtet, aufgrund der Kosten und außerdem ist dieses Teil im verbauten Zustand nicht sichtbar. Ebenso ist ein Kontakt mit Wasser nahezu ausgeschlossen.



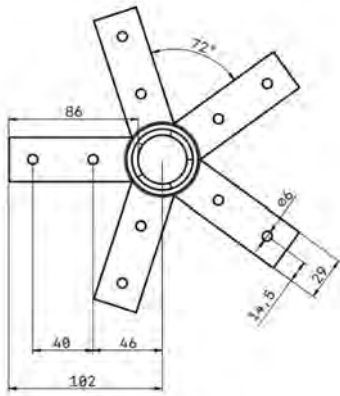


Abb. 17: Zeichnung Stahlstern

Der Stahlstern besteht aus insgesamt sechs verschweißten Teilen. Zum einen dem Stahlrohr (ca. 49mm) und den fünf Flachstähen unterhalb des Rohres. Da wir fünf Füße an unserer Beinablage verbauen, liegen die Flachstähe im 72° Winkel zueinander (siehe Abb. 17). Wir haben uns für 6 mm Flachstahl entschieden um eine geringe Verformung unter Last zu haben. Weiterhin sind in dem Rohr bereits Löcher mit Gewinde versehen, um daran das Bein zu befestigen.

Den Stahlstern haben wir komplett selbst konstruiert und geplant. Die Fertigung hat ein Verwandter Industriemechaniker übernommen. So konnte das Teil vollkommen auf unsere Bedürfnisse angepasst werden.

#### 4.3.2 Edelstahlrohr



Abb. 18: Edelstahlrohr

Das Rohr, welches im Inneren des Beines verläuft, haben wir aus Edelstahl hergestellt, da dieses sichtbar verbaut ist. Das Rohr ist 240 mm lang, einen Durchmesser von ca. 44,5 mm und hat im unteren Bereich eine 8 mm Bohrung. Durch diese Bohrung läuft der Edelstahlbolzen, welcher in der innenliegenden Nut des Beines verläuft. Ebenso wird durch den Bolzen die Last in ausgefahrenem Zustand auf das Bein übertragen. Um Kontakt zwischen dem Stahlstern und dem Edelstahlrohr zu vermeiden, haben wir eine Schutzkappe entworfen (Siehe Kapitel 4.5 Zusatzteile).

Um Kontakt zwischen dem Stahlstern und dem Edelstahlrohr zu vermeiden, haben wir eine Schutzkappe entworfen (Siehe Kapitel 4.5 Zusatzteile).

## 4.4 Füße



Abb. 19: Beine

Die Bearbeitung der Füße wurde in zwei Arbeitsschritte gegliedert, da diese von allen Seiten bearbeitet werden müssen. Wie in der überliegenden Abbildung zu sehen ist, fällt die Oberfläche des Fußes nach außen hin ab und endet in einer Rundung, welche zur Auflagefläche des Fußes übergeht. Ebenso laufen die seitlichen Flanken konisch zu und verleihen dem Fuß eine schlanker werdende Form. Innenliegend befindet sich eine Rundung, mit dieser Rundung liegt der Fuß an einem Metallstern (Siehe Kapitel: 4.5 Zusatzteile). Dieser verbindet alle fünf Füße miteinander. Die Fasen welche an der Rundung angrenzen sind die Kontaktflächen zu den anderen Füßen, daher laufen die zwei Fasen in einem 72° Grad Winkel aufeinander zu.

Unterhalb des Fußes befindet sich eine Tasche, welche zur Montage des Metallsterns dient. Dazu werden in die zwei Löcher Rampa-Muffen geschraubt. Der Falz am Ende der Rundung hat den Hintergrund, dass der Metallstein an der Außenseite eine Schweißnaht hat und dadurch der Fuß andernfalls nicht bündig an diesem anliegen würde. Ebenfalls zu sehen in der Rundung ist eine kleine Bohrung, welche für den zweiten Bearbeitungsschritt notwendig ist.

Die anfänglichen Überlegungen über Vakuumvorrichtungen schlossen wir schnell aus, da die Bauteile mit einer Breite von maximal 45mm und einer Länge von etwa 180mm zu klein waren um sie sinnvoll ansaugen zu können. Außerdem haben die Teile eine leicht konische Form, wodurch wir nach der seitlichen Bearbeitung keinen genauen Anschlag mehr haben. Angesichts der Vollholzbearbeitung und den daraus resultierenden höheren Kräften entschlossen wir uns daraufhin für die folgenden Bearbeitungsmethoden.

### 4.4.1 Bearbeitung 1



Abb. 21: Abgeschlossene Bearbeitung 1

So kamen wir auf die Idee zuerst die Bearbeitungen von Oben und von allen vier Seiten durchzuführen (siehe Abb. 21). Dadurch, dass die Unterseite erst danach bearbeitet wurde, hatten wir die Möglichkeit für die erste Bearbeitung das Holz auf eine Platte zu schrauben. Die Schrauben sind so positioniert, dass diese Bereiche in der zweiten Bearbeitung ohnehin zerspannt werden.

Um eine schöne Oberfläche zu bekommen haben wir uns dazu entschieden mit dem Schlichtfräser eine Hobelwelle zu simulieren und im 90° Winkel über das Bauteil zu fahren. So haben wir eine effiziente und saubere Spanabnahme und die Oberseite benötigt kaum Nachbearbeitung. Somit ist die erste Bearbeitung abgeschlossen und das Bauteil besitzt seine konische Form, sowie die Rundung auf der Oberseite und die Anschlussflächen zum Metallstern und den anderen Füßen. Außerdem wurde in diesem Bearbeitungsschritt ein kleines Loch gebohrt, welches zur Arretierung im zweiten Bearbeitungsschritt dient.

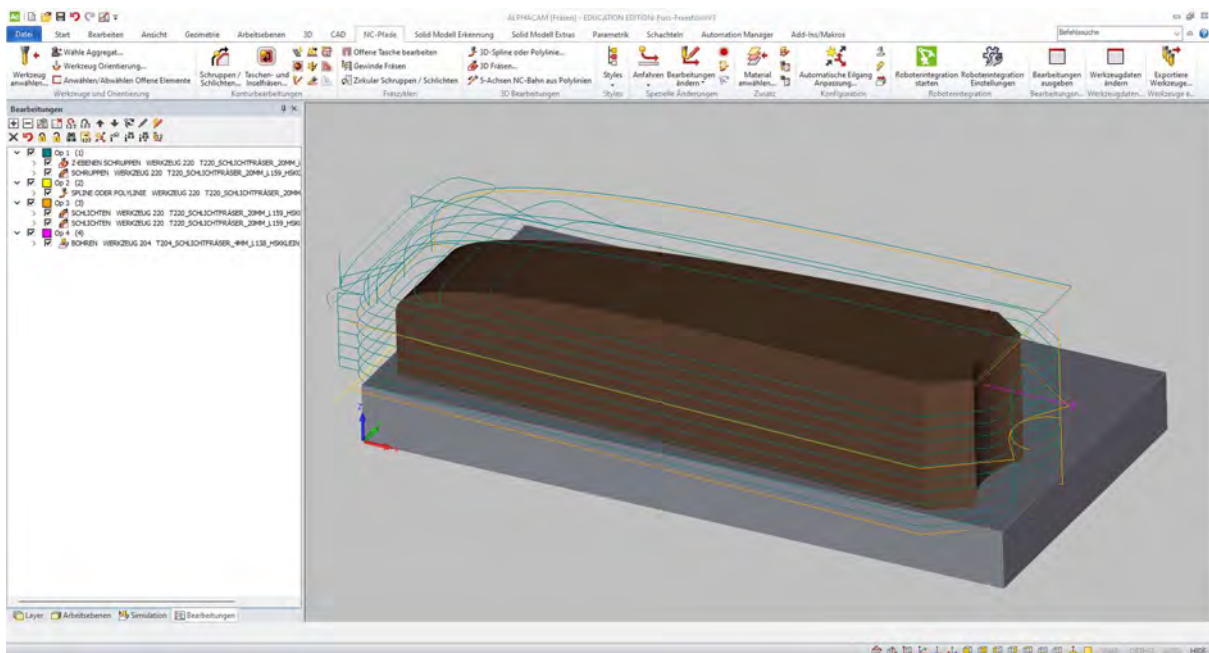


Abb. 20: Fräsprogramm - Fuß Bearbeitung 1

## 4.4.2 Bearbeitung 2



Abb. 23: Abgeschlossene Bearbeitung 2

Der zweite Bearbeitungsschritt erforderte eine etwas aufwendigere Fräsform. Sie besteht aus einer Grundplatte, in welcher die Negativform der Oberseite des Fußes gefräst ist. So kann der Fuß nach der abgeschlossenen Bearbeitung 1 umgedreht in die Fräsform gelegt werden. Durch die konische Form des Fußes ist dieser bereits ohne Arretierung nichtmehr in der Lage sich horizontal zu bewegen. Um das Bauteil in der vertikalen

Bewegung einzuschränken werden zwei Hilfsmittel eingesetzt. Zum einen haben wir einen Kniehebelspanner verbaut, welcher auf die Auflagefläche des Fußes drückt. Diese Fläche ist gleichzeitig die Einzige, welche nicht mehr bearbeitet wird. Dafür haben wir das Holz im Vorhinein gehobelt, um auch an der Stelle eine einwandfreie Oberfläche zu erzeugen. Im zweiten Schritt wird von der linken Seite ein Holzstift eingeschlagen. Dieser geht durch die Fräsform bis in das Loch welches seitlich im ersten Bearbeitungsschritt gebohrt wurde. Somit ist die Fräsform vollständig und die Bearbeitung von der Unterseite kann durchgeführt werden.

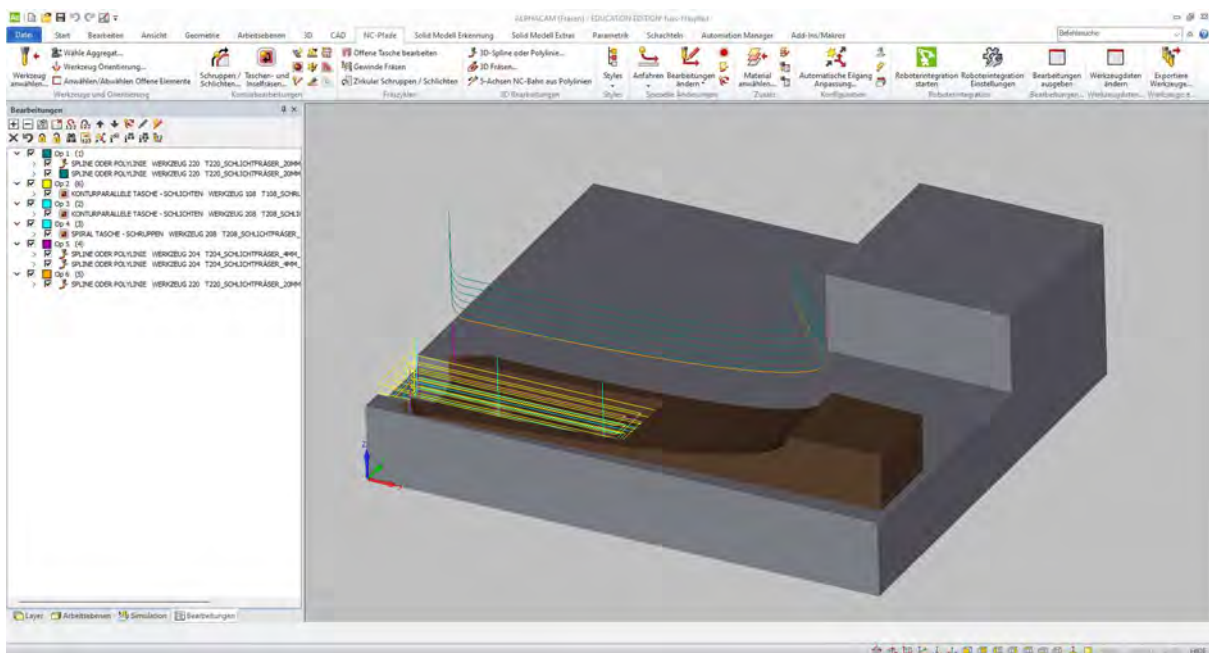


Abb. 22: Fräsprogramm - Fuß Bearbeitung 2



## 4.5 Zusatzteile

Zu den Zusatzteilen zählen der Stahlstern, die zugehörige Schutzkappe, die Innenstange mit Edelstahl-Pin, das Verbindungsstück von Ablage und Edelstahlstange, die Querstrebe und die beiden Stützbögen, welche die Ablagefläche befestigen und in Richtung halten. Bei diesen Teilen handelt es sich entweder um Teile ohne notwendige Fräsungen oder um Verschnitt Reste, welche wir weiterverarbeitet haben. Diese wurden per Hand individuell angefertigt oder bearbeitet, weshalb hier keine CAD-Programme oder CAD-CAM-Fräsbearbeitungen nötig waren. Wir haben ausschließlich mithilfe der uns zur Verfügung stehenden kleinen Werkstatt am Goschentor 1 gearbeitet, weshalb wir nicht in die benachbarten Werkstätten ausweichen mussten.



Abb. 24: Edelstahlteile

Alle **Edelstahlteile** (Stern und Stange mit Pin) wurden von einem Verwandten individuell für uns angefertigt. Die CAD-Dateien und Konstruktion haben wir selber entworfen. Alle Edelstahlteile sind nicht weiter Oberflächenbearbeitet, da sie zum größten Teil verdeckt liegen.



Abb. 25: Schutzkappe

Die **Schutzkappe** für den Metallstern wurde entworfen, um zu vermeiden, dass die innen liegende Stahlstange nicht bei jeder Höhenverstellung auf den Edelstahl-Stern stößt. Sie wurde aus einer hochdichten PU-Platte hergestellt und ist deshalb sehr beständig und langlebig. Um diese bearbeiten zu können, mussten wir mit scharfen Werkzeugen und in sehr kleinen Abnahmen Fräsen, ansonsten wären diese sehr schnell stumpf geworden oder hätten sogar brechen können.

Der **Stutzen**, der die Stange mit dem oberen Fußablage-Teil verbindet, wurde ebenfalls wie die Füße aus massivem Nussbaum gefertigt. Hierzu haben wir die Reste unserer Nussbaumplatte verwendet, und so materialsparend das Verbindungsstück herausgefräst. Um das Design beizubehalten, ist dieser Rund geplant worden.

Anfänglich sollte anstatt des Nussbaum-Stutzen ein komplexer und eigens entwickelter Kippmechanismus verbaut werden. Dieser sollte ebenfalls wie die Schutzkappe aus dem PU gefertigt werden.



Abb. 26: Nussbaum-Stutzen



Abb. 27: Kippmechanismus

Auch das Konzept, die CAD-Zeichnungen und sogar die Fräsprogramme waren bereits fertig, aber durch zeitliche und technische Probleme mit der CNC-Fräsmaschine konnten wir diesen Teil unseres Projektes leider nicht mehr praktisch umsetzen.

Bei der **Querstrebe** wurde ganz einfach ein Multiplex-Streifen furniert und bildet eine Verbindung zwischen den beiden außen liegenden, runden Stützen und dem Nussbaum-Stutzen. Verbunden wurden diese Teile mithilfe von Dübeln, um eine von außen nicht zu sehende, saubere und unscheinbare Holzverbindung zu schaffen.

Die **Stützbögen** sind von unten liegend gegen den Ablage-Rahmen mit dem Mesh befestigt. Sie wurden aus dem ausgefrästen Innenteil der Ablagefläche, in der im Nachhinein das Mesh gespannt wurde, gesägt. Auch sie sind somit aus Restmaterialien und wurden blind mit der Ablagefläche befestigt.



Abb. 28: Stützbögen und Querstrebe



## 5 Fertigstellung

### 5.1 Oberfläche

Für die Oberflächenbearbeitung haben wir uns für eine geölte OF entschieden. Dies hat den einfachen Grund, dass somit eine hochwertige und optisch gutaussehende Oberfläche geschaffen wird und das Möbel bei guter Pflege ohne chemische Lacke lange bestehen kann. Außerdem verleiht das Holz-Öl der Ablage eine gleichmäßige Färbung, da es das Nuss-Holz etwas dunkler erscheinen lässt. Eine hohe Beanspruchung auf die Flächen ist bei diesem Ablagemöbel nicht wahrscheinlich, weshalb auch keine Schutzschicht durch aushärtende Lacke benötigt wird.

Bei der Bearbeitung haben wir uns dafür entschieden, das Holz vor dem Zusammenbau und alle Teile gleichzeitig zu Ölen. Dadurch gewährleisten wir, dass keine anderen Materialien, wie das Mesh oder die Edelstahlteile, von dem Öl etwas abbekommen. Außerdem hat es den Vorteil, die Teile gleichzeitig zu Ölen, dass die Umgebungsverhältnisse (Temperatur, Luftfeuchte, etc.) und die Trocknungsdauer gleich sind. Dies ist für die Färbung, die das Öl dem Holz später verleiht, wichtig, da ansonsten unterschiedliche Farbtönungen auftreten können.

Alle Holz-Komponenten wurden 2-fach geölt und mussten über mehrere Tage trocknen, um voll belastungsfähig zu sein.



Abb. 29: Oberflächenbearbeitung

## 5.2 Zusammenbau

Als alle Teile fertig bearbeitet waren, konnten wir endlich alle Teile zusammenbauen. Dies hat sich etwas in die Länge gezogen, da im Nachhinein noch viele kleinst-Bearbeitungen an den Einzelteilen nötig waren.

Zuerst fertigten wir die obere Ablage, bei der die Bögen von unten mit verdeckten Schrauben gegen den Rahmen mit dem Mesh geschraubt wurden. Anschließend haben wir den Quer-Steg, welcher die beiden Bögen verbindet, mit Dübeln befestigt und von unten den Stumpf für die Verbindung mit dem Stahlrohr angebracht. So erhielten wir eine fertige Konstruktion des oberen Teiles der Beinablage.

Da wir unser Möbel in einem Bausatz konstruiert und geplant hatten, fiel die Montage leicht. Durch die Steckmechanismen und die Gewinde-Muffen, die bereits in den Einzelteilen vormontiert waren, mussten lediglich ein paar Schrauben geschraubt und das Edelstahlrohr passend in den Höhenmechanismus eingeführt werden. Zu unserer Überraschung funktionierte dies bereits nach den ersten Versuchen so gut, dass wir an dieser Funktion nichts mehr ändern mussten.

## 6 Fazit

Wenn man das gesamte CAD-CAM-Projekt einmal im Ganzen betrachtet, gab es viele Probleme und Erfolge, die wir benennen können. Dazu muss man allerdings sagen, dass wir uns durch die Freiheit, ein eigenes Möbel zu entwickeln, selber viele Schwierigkeiten in der Art unserer Konstruktion beschert haben, welche wir lösen mussten. Umso größer war natürlich nachher die Freude, als wir diese erfolgreich bewältigen konnten. Angefangen bei dem Mechanismus für die Höhenverstellbarkeit, in den viel Arbeit und Zeit investiert wurde, dass dieser erst einmal überhaupt funktioniert und dazu dann noch flüssig läuft. Als dieser endlich funktioniert hat, waren wir sehr erleichtert. Bei der oberen Ablagefläche war das Mesh unser Problem, da dies nur unter großem Kraftaufwand so gespannt werden konnte, dass es auch die benötigte Spannung erhielt. Auch hier brauchten wir mehrere Versuche, bis wir eine gute Ablagefläche in unseren Händen halten konnten. Diese beiden Dinge waren unsere größten Hindernisse, welche wir alles in allem zwar mit viel Aufwand aber auch mehr als erfolgreich bewältigen konnten. Von Seiten der Planung war es eine ganz besondere Herausforderung, den Zeitplan zu erstellen, bzw. diesen einzuhalten. Hier konnte man leider durch etliche Fehlermeldungen der CNC-Fräsmaschinen und natürlich auch ein paar Fehl-Planungen nur sporadisch seine nächsten Schritte planen, geschweige denn mehr als einen Tag im Voraus planen. Diese Erfahrung war eine der wenigen, die gleichzeitig zu den guten, aber ebenso schlechten Punkten des Projektes gehören.

Ein weiterer war die Zeitinvestition, die wir uns durch unser relativ anspruchsvolles Möbel selber zugeschrieben hatten. In Kombination mit einigen Maschinen-bedingten Problemen sind wir somit in Verzug geraten, haben dafür allerdings auch mehr Zeit für unser Projekt bekommen.

Das Projekt im Allgemeinen war für uns persönlich eine tolle Möglichkeit, von vorne bis hinten eine Produktion eines Möbels zu planen und selber durchzuführen. Uns wurden alle Freiheiten gegeben, die man sich wünschen konnte und auch unser Dozent stand uns bei allen Fragen rund um die Uhr bereitwillig zur Seite. Vor allem haben wir unser Wissen, welches wir uns in den vorherigen Semestern angeeignet hatten, in die Praxis umsetzen können und für die zukünftige Laufbahn eines Ingenieurs viel dazu gelernt. Deshalb können wir dieses Projekt nur jedem weiterempfehlen, es war eine tolle Erfahrung.

# 7 Anhang

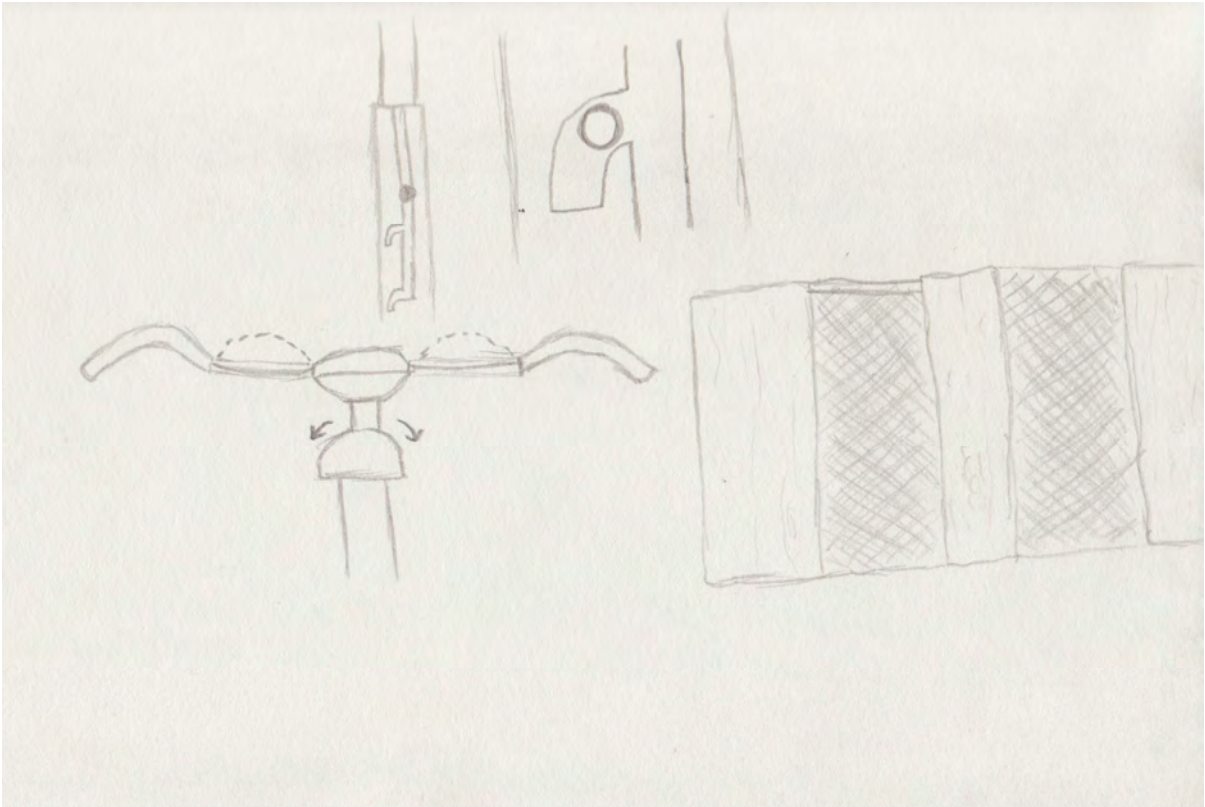
## 7.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Beispiel einer NC-Bearbeitung.....	2
Abb. 2: Erstes Beinablagen Design.....	3
Abb. 3: Ablagefläche mit Kontersteg CAD .....	4
Abb. 4: Stahlstern CAD.....	5
Abb. 5: Gannt-Zeitplan.....	6
Abb. 6: Ablagerahmen .....	7
Abb. 7: Pressform Ablagerahmen.....	8
Abb. 8: Fräsform Ablagerahmen.....	8
Abb. 9: Fräsprogramm Ablagerahmen-Unten .....	9
Abb. 10: Beinschalen.....	10
Abb. 11: Mechanismus - Schnitt .....	10
Abb. 12: Pressform Bein.....	11
Abb. 13: Fräsform Bein .....	12
Abb. 14: Fräsprogramm Bein .....	12
Abb. 15: Konditionierform Bein .....	13
Abb. 16: Metallstern .....	13
Abb. 17: Zeichnung Stahlstern .....	14
Abb. 18: Edelstahlrohr .....	14
Abb. 19: Beine.....	15
Abb. 20: Fräsprogramm - Fuß Bearbeitung 1 .....	16
Abb. 21: Abgeschlossene Bearbeitung 1.....	16
Abb. 22: Fräsprogramm - Fuß Bearbeitung 2 .....	17
Abb. 23: Abgeschlossene Bearbeitung 2.....	17
Abb. 24: Edelstahlteile .....	18
Abb. 25: Schutzkappe.....	18
Abb. 26: Nussbaum-Stutzen .....	19
Abb. 27: Kippmechanismus.....	19
Abb. 28: Stützbögen und Querstrebe .....	19
Abb. 29: Oberflächenbearbeitung .....	20

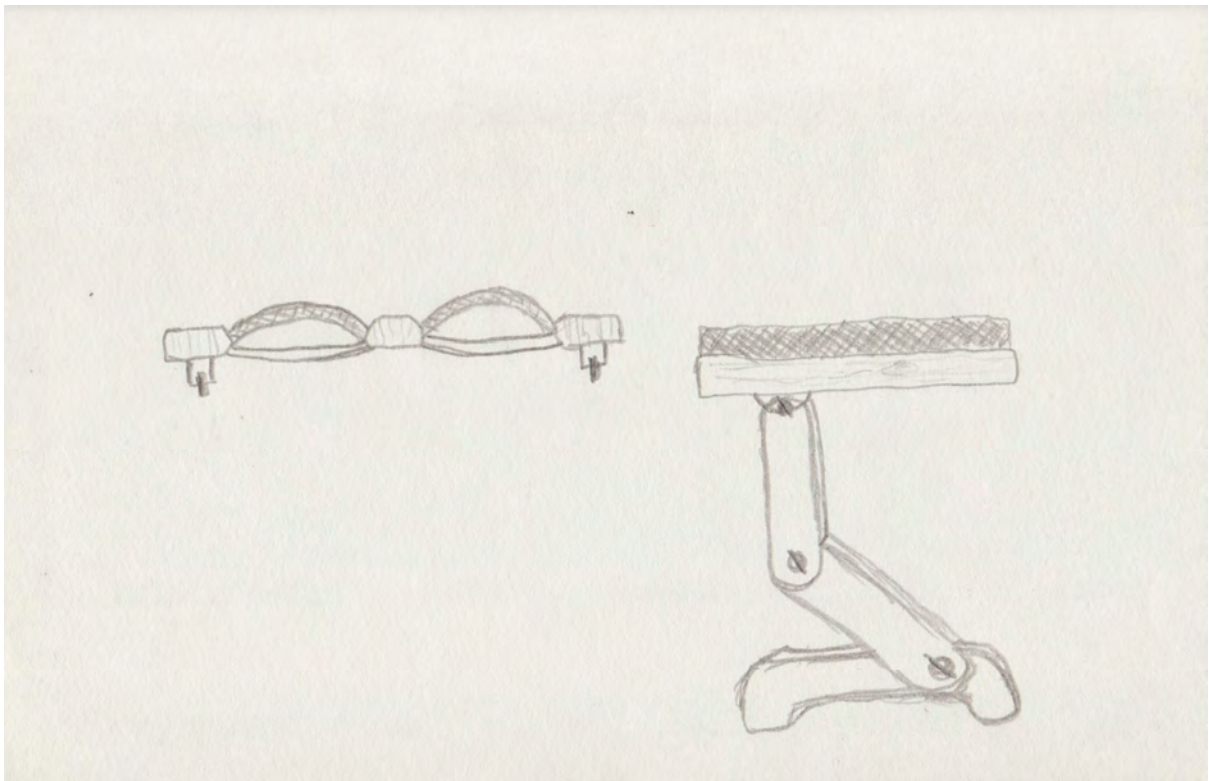
## 7.2 Anhangsverzeichnis

Anhang 2 Ideen-Skizze 2 .....	25
Anhang 1 Ideen-Skizze 1 .....	25

### 7.3 Anhang



Anhang 2 Ideen-Skizze 1



Anhang 1 Ideen-Skizze 2