

# CAD/CAM Praxisprojekt WiSe 2017/2018

Dokumentation über die  
Konstruktion und Herstellung  
eines Lounge Chairs

## Studierende

Johannes Behling  
659985

Simon Herter  
662587

Justus Hintze  
660660

Matthia Leyendecker  
659956

## Dozenten

Dipl. - Ing. Norbert Linda

Dipl. - Ing. Renke Abels

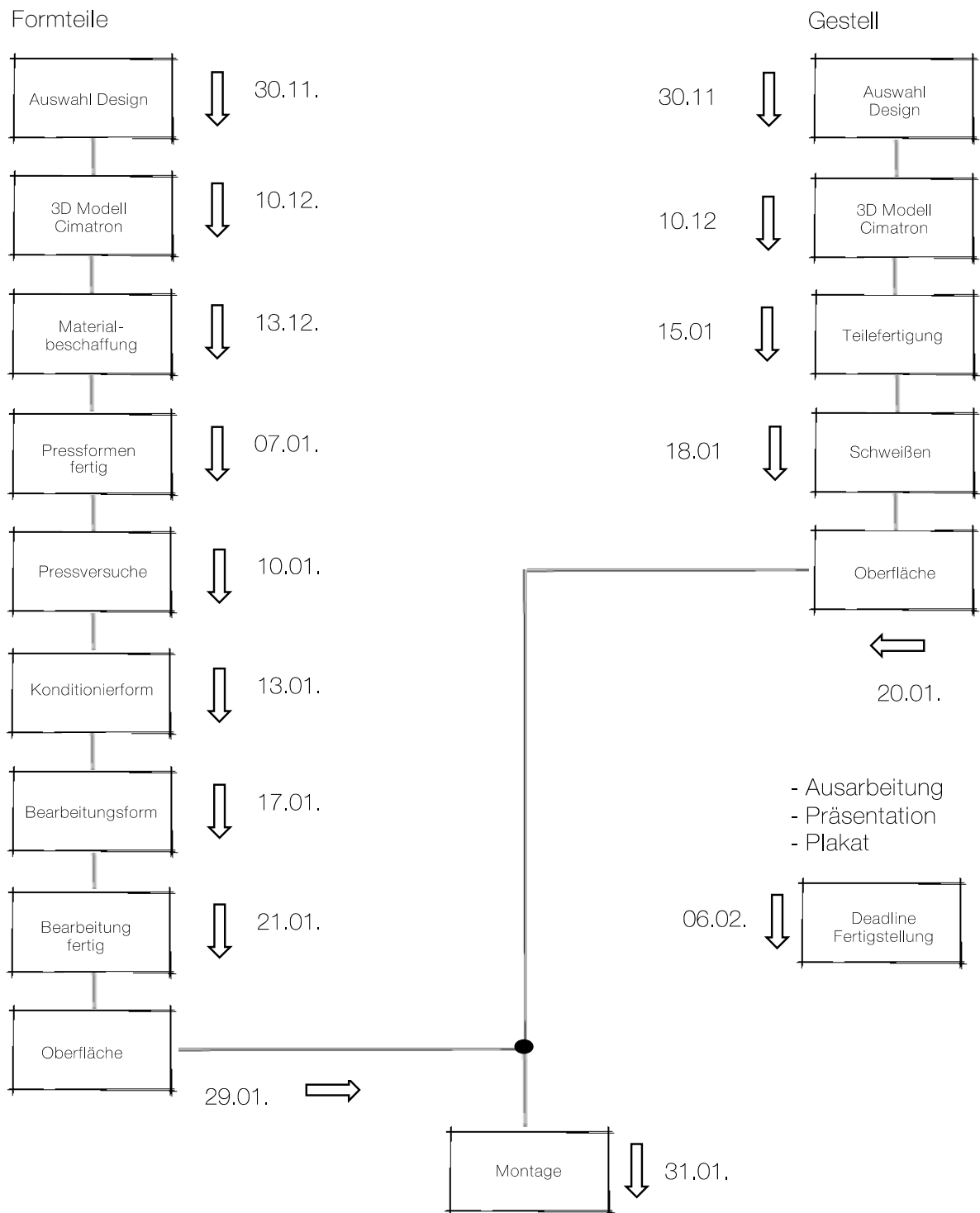
## Inhalt

|     |                                    |    |
|-----|------------------------------------|----|
| 1.  | Modulbeschreibung                  | 1  |
| 2.  | Meilensteinplan                    | 2  |
| 3.  | Die Idee                           | 3  |
|     | 3.1 Vorüberlegungen                | 3  |
|     | 3.2 Pflichtenheft                  | 4  |
|     | 3.3 Formgebung                     | 4  |
|     | 3.4 Entwurfsprozess                | 5  |
|     | 3.5 Der endgültige Entwurf         | 8  |
| 4.  | CAD                                | 9  |
|     | 4.1 Sketch- Up Make 2017           | 9  |
|     | 4.2 Auto-CAD 2018                  | 9  |
|     | 4.3 Cimatron 13                    | 10 |
| 5.  | Schnittstelle CAD-CAM              | 12 |
| 6.  | CAM                                | 12 |
|     | 6.1 Cura                           | 12 |
|     | 6.2 AlphaCAM                       | 13 |
| 7.  | Fertigungsprozess                  | 14 |
|     | 7.1 Pressformen                    | 14 |
|     | 7.2 Materialauswahl                | 15 |
|     | 7.3 Pressvorgang                   | 17 |
|     | 7.4 Konditionierformen             | 20 |
|     | 7.5 Formatiervorrichtungen         | 22 |
|     | 7.6 Formatieren                    | 22 |
| 8.  | Gestell                            | 23 |
| 9.  | Oberflächenbearbeitung und Montage | 25 |
| 10. | Fazit                              | 27 |
| 11. | Anhang                             |    |

# 1. Modulbeschreibung

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                          |          |                                     |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------|--------------|
| Stand vom 25.01.2012                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Modulbeschreibung BHV-02                                                                                                                 |          |                                     |              |
| Titel des Moduls                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | CAD-CAM-Praxisprojekt                                                                                                                    |          |                                     |              |
| Leistungspunkte                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 6 Leistungspunkte                                                                                                                        |          |                                     |              |
| Semesterwochenstunden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 4 SWS                                                                                                                                    |          |                                     |              |
| Turnus des Angebots                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Sommer/Wintersemester                                                                                                                    |          |                                     |              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                          |          |                                     |              |
| Lernziele/zu erwerbende Qualifikation („Learning-Outcomes“):                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                          |          |                                     |              |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Selbständiges Arbeiten mit CNC-Maschinen mit 5 Bearbeitungsachsen</li><li>- Selbständiges Arbeiten mit CAD/CAM-Systemen</li><li>- Selbständige Durchführung von Projekten in Gruppen</li><li>- Innerhalb der Projektarbeit entwickelt die/der Studierende eigene Team-, Konflikt, Moderations- und Führungsfähigkeiten</li><li>- Kenntnisse über Aufbau und Funktionsweise unterschiedlicher CAD/CAM-Systeme</li><li>- Kenntnisse über unterschiedliche Bearbeitungsstrategien</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                          |          |                                     |              |
| Praktische Anwendung bereits theoretisch erworbener Kenntnisse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                          |          |                                     |              |
| Inhaltsbeschreibung:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                          |          |                                     |              |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Planung, Konstruktion, Herstellung und Montage von Möbel oder Treppen in kleinerem Maßstab</li><li>- Umsetzung von digitalen 3D-CAD-Entwürfen in 3D Modelle mittels 5-Achs-Technologie</li><li>- Programmierverfahren mit 5 Bearbeitungsachsen</li><li>- Frästechnologien mit 5 Bearbeitungsachsen</li><li>- Mehrseitenbearbeitung</li><li>- 4/5-Achs-Simultanbearbeitung</li><li>- Aufbau und Arbeitsweise unterschiedlicher CAD/CAM-Systeme</li><li>- Datenaustausch zwischen unterschiedlichen CAD/CAM-Systemen</li><li>- 3D-Digitalisieren</li><li>- Praktische Anwendung von Werkstoff- und Materialkenntnissen</li><li>- Berücksichtigung von Arbeitsschutz und Unfallverhütung beim Umgang mit Bearbeitungsmaschinen</li></ul> |                                                                                                                                          |          |                                     |              |
| Unterrichtssprache                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Deutsch                                                                                                                                  |          |                                     |              |
| Eingangsvoraussetzungen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Projekt C-Technik 4.Sem/ Programmierung- und Bedienung der im Labor für Bearbeitungstechnik vorhandenen CNC-Maschinen im 3-Achs-Betrieb, |          |                                     |              |
| Veranstaltungsform                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Vorlesung, Laborübung                                                                                                                    |          |                                     |              |
| Prüfungsleistung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Hausübung, Kolloquium,                                                                                                                   |          |                                     |              |
| Mindest-Gesamtwertung für Note 4,0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 50%                                                                                                                                      |          |                                     |              |
| Erlaubte Unterlagen in der Prüfung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                          |          |                                     |              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                          |          |                                     |              |
| Modulverantwortlicher Dozent                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Dipl.-Ing. Linda                                                                                                                         |          |                                     |              |
| Lehrkapazität                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Dipl.-Ing. Abels                                                                                                                         | 4 SWS    |                                     |              |
| Lehrkapazität                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Dipl.-Ing. Linda                                                                                                                         | 4 SWS    |                                     |              |
| Lehrkapazität                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                          |          |                                     |              |
| Arbeitsaufwand für das Modul                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Kontaktstudium                                                                                                                           | 60 Std.  | Vorlesung<br>Übung mit<br>Betreuung | Std.<br>Std. |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Selbststudium                                                                                                                            | 120 Std. |                                     |              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Gesamt                                                                                                                                   | 180 Std. |                                     |              |

## 2. Meilensteinplan



Der Meilensteinplan wurde zum Start des Projektes erstellt. Das Ziel des Meilensteinplans ist es, eine Orientierung für den Projektablauf zu geben, sodass man die festgelegten Meilensteine zeitlich einzuhält. Der Lounge Chair hat eine Fertigungshochzeit zwischen den Formsperrholzteilen und dem Metallgestell. Daher ist eine genaue Termineinhaltung besonders wichtig, da ansonsten der Meilenstein Montage nicht erfolgen kann. Die Gruppe hat die Fertigstellung der schriftlichen Abgabeleistungen für die letzte Woche des Projektes veranschlagt.

## 3. Die Idee

### 3.1 Vorüberlegungen

Zunächst galt herauszufinden, welches Objekt bzw. Produkt wir im Rahmen des CAD/CAM-Praxisprojektes konstruieren und fertigen wollen. Nach einem Brainstorming waren wir uns einig, dass es ein Sitzmöbel werden sollte, da wir einen gebrauchsfähigen Gegenstand bauen wollten und dies mit einer Gruppengröße von vier Personen realisierbar erschien. Wir entschieden uns für einen Lounge Chair, da das Design eines solchen Stuhls auch für sich als Einzelstück wirkt.

Wir wollten beim Design möglichst einen eigenen Entwurf umsetzen und kein existierendes Produkt nachbauen. Aus diesem Grund haben wir viel Zeit und Mühe in die Entwurfsarbeit investiert.

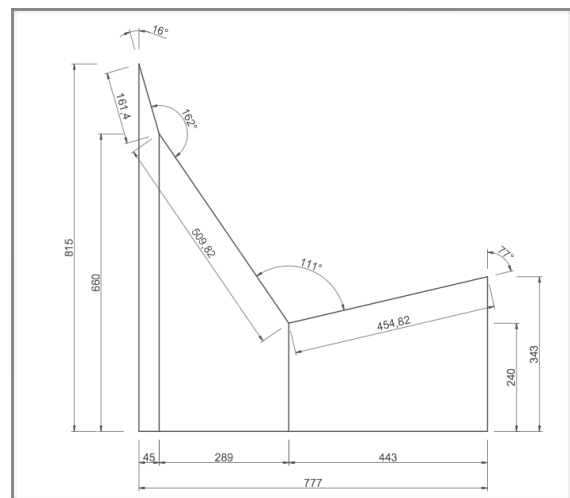
Da alle Gruppenmitglieder unterschiedliche Anforderungen an den Stuhl hatten, haben wir einen Überblick über diese im Rahmen eines Pflichtenhefts aufgestellt.

### 3.2 Pflichtenheft

| Anforderungen                      | „kann“ | „muss“ |
|------------------------------------|--------|--------|
| Maßstab 1:1                        |        | X      |
| funktionsfähiges Produkt           |        | X      |
| optisch ansprechend                |        | X      |
| bequem                             | X      |        |
| besondere Konstruktion             | X      |        |
| gute Umsetzbarkeit                 |        | X      |
| gute Standfestigkeit               |        | X      |
| dreidimensional verformte Bauteile |        | X      |
| eigener Entwurf                    |        | X      |
| Gestell selbst fertigen            |        | X      |
| Gestell aus Metall                 | X      |        |

### 3.3 Formgebung

Zu Beginn des Entwurfsprozesses wurden mit dem hochschuleigenen Stuhlsimulator zunächst Maße und Winkel ermittelt, um eine möglichst bequeme Geometrie für verschiedene Anatomien zu entwerfen.



Nach mehreren Versuchen haben wir einen geeigneten Kompromiss gefunden, der für alle Gruppenmitglieder ausreichend bequem erschien.

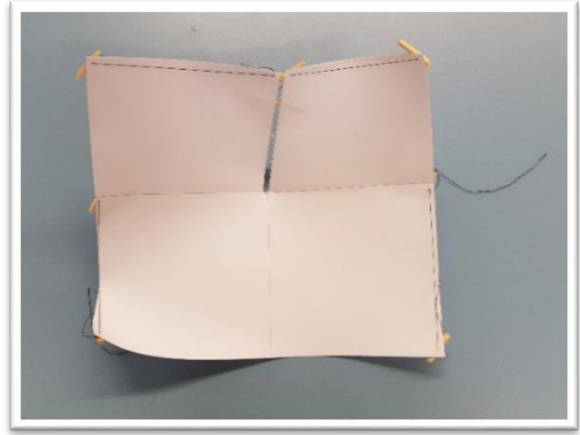
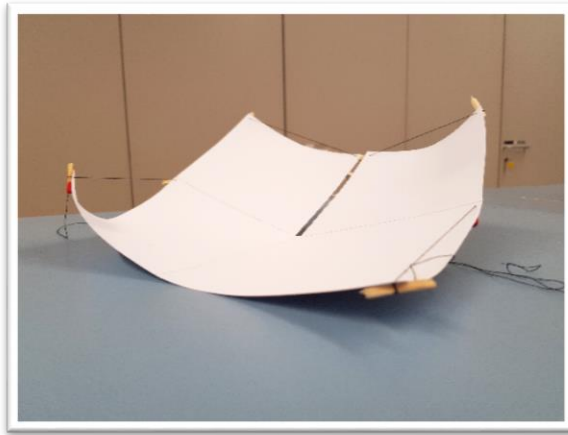
In der Tiefe sollte die Sitzfläche circa 450 Millimeter sein, die Breite soll circa 600 Millimeter betragen. Die Rückenlehne sollte eine Länge von circa 540 Millimeter erreichen, mit einer zusätzlichen Kopfstütze. Im Laufe des Entwurfsprozesses haben wir uns jedoch gegen eine Kopfstütze entschieden. Einen Winkel von  $111^\circ$  zwischen Sitzschale und Rückenlehne empfanden wir als angenehm für einen Lounge Chair.

### 3.4 Entwurfsprozess

Der erste Entwurf bestand aus 15 einzelnen Teilen, die miteinander über innenliegende Flachverbinder oder Stifte zusammengehalten werden sollten. Die Aufteilung in verschiedene kleine Elemente gefiel gut, da diese dem Stuhl trotz der Größe eine gewisse Leichtigkeit verlieh. Auch die Verjüngung des Stuhls hinsichtlich der Breite von der Sitzfläche bis zur Rückenlehne gefiel uns. Jedoch lag keine ausreichende Schwierigkeit in der Konstruktion und Verformung dieser Elemente vor. Aus diesen Gründen hat man sich gegen diesen Entwurf entschieden.



Die folgenden Entwürfe orientierten sich an diesem ersten Entwurf und es wurde versucht, durch ein Zusammenfügen der Elemente zu lediglich drei Einzelteilen, die geforderte Schwierigkeit durch dreidimensional verformte Bauteile zu erreichen. In diesem Prozess wurde der Lounge Chair auf zwei Formteile reduziert, da ein drittes Bauteil die Schwierigkeit nicht erhöht, sondern nur höheren Zeit- und Materialaufwand bedeutet. Um die Verformung nachzubilden und eventuell notwendige Einschnitte zu ermitteln, haben wir aus  $300 \text{ g/m}^2$  starkem Papier Modelle und Teilausschnitte gebastelt. Dabei wurde deutlich, dass sich die Verformung, die wir vorher angestrebt haben, nicht aus einem durchgehenden Stück ohne Einschnitte realisieren lässt.



Daraufhin haben wir den Entwurf weiter reduziert und folgendes Modell erarbeitet:



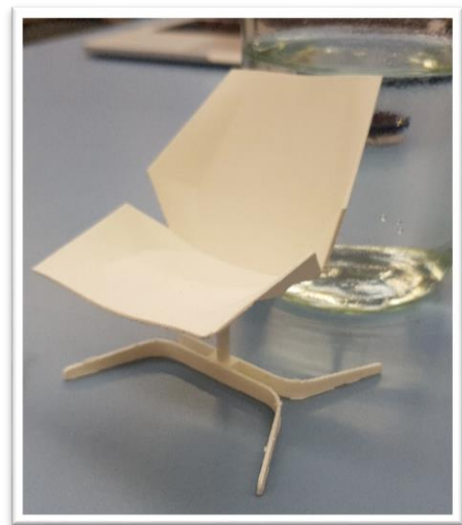
Dieser Entwurf besteht ebenfalls aus zwei verschieden langen Formteilen, die in der Mitte gestoßen sind. Das Gestell war zu diesem Zeitpunkt noch nicht ausreichend ausgereift. Außerdem wurde penibel auf eine ausschließlich zweidimensionale Verformung geachtet, um Probleme mit dem Furniermaterial auszuschließen. Dies ging jedoch zulasten des Designs. Aus diesen Gründen haben wir uns entwurfstechnisch neu orientiert.

Die folgenden Entwürfe orientieren sich im Design an den Sessel „808“ von Thonet und dem Lounge Chair „4+“ von Dauphin. Die dreieckige Form der Seiten und die geschwungene Anmutung haben uns für unseren Lounge Chair inspiriert. Außerdem empfanden wir die Lösung mit einem Mittelfuß sehr ansprechend.



Da im CAD-Modell organische Formen schwierig abzuschätzen waren, wurden diese zusätzlich als Modelle mittels 3D-Druck hergestellt.

Um eine Auswahl zu bekommen, haben wir gleich mehrere Entwürfe gedruckt und an den Ergebnissen weitere Änderungen vollzogen.



### 3.5 Der endgültige Entwurf

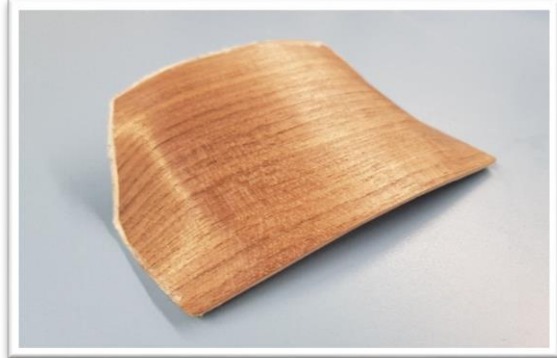
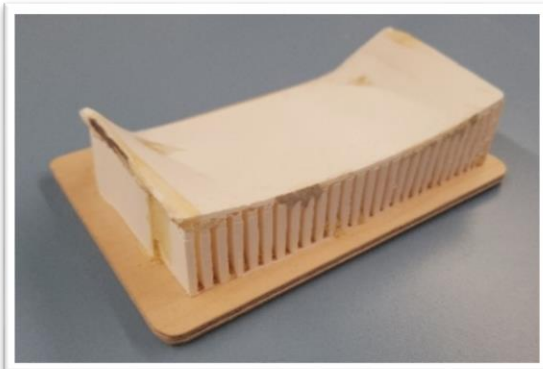
Der endgültige Entwurf orientiert sich an unseren vorigen Entwürfen mit den seitlichen „Flügeln“ an der Sitzschale und Rückenlehne. Sitzfläche und Rückenlehne bestehen aus formverleimtem Furnier und ähneln sich in ihrer Geometrie. Letztere ist jedoch aus optischen und ergonomischen Gründen höher.



Die beiden Teile werden durch Metallbügel miteinander verbunden, wobei die Formteile zwar durch eine Fuge von 13 Millimetern getrennt sind, aber durch eine Gehrung optisch harmonisch aufeinanderstoßen. Mit diesen Maßnahmen erreichen wir eine flexible Rückenlehne durch das E-Modul des Stahls und können außerdem optische Toleranzen ausgleichen, die bei einer schmalen Fuge deutlicher sichtbar wären.

Um auszuprobieren, ob die gewünschten Formen mit Furnier herzustellen sind, wurden zunächst Probeverleimungen erstellt. Diese entsprachen den gewünschten Formen, wobei eine Pressform im Maßstab 1:5 3D- gedruckt und mit Hilfe einer Vakuumpresse verleimt wurde.

Wegen des passenden Designs haben wir das Fußgestell optisch vom Modell „808“ der Firma Thonet übernommen. Dies ist mit den vorhandenen Möglichkeiten in der Metallwerkstatt der Hochschule zu fertigen. Hier hat sich im Endeffekt die Idee des Mittelfußes durchgesetzt.



## 4. CAD

### 4.1 Sketch- Up Make 2017

Die ersten Entwürfe zeichneten wir in Sketch-Up, da sich dieses Programm sehr gut eignet, um schnell eine optische Vorstellung des Entwurfes zu bekommen. Uns war von Anfang an bewusst, dass Sketch-Up für die Konstruktion von 3D-Modellen für die Fertigung zu unpräzise ist. Mit Sketch-Up Make können nur polygonale Flächen und keine Solid Volumenkörper erstellt werden. Im Gegensatz zu anderer CAD-Software können daher keine komplexeren und dadurch wesentlich „weicher“ bzw. „glatter“ Geometrien gezeichnet werden, welche durch sogenannte NURBS-Flächen und Volumen realisiert werden können. Auch die mangelnden Export-Schnittstellen in der kostenlosen Version sorgen dafür, dass sich Sketch-Up Make zwar ideal zum schnellen Skizzieren eignet, jedoch keine umfassende und detaillierte Konstruktionssoftware ersetzen kann.

### 4.2 Auto-CAD 2018

Zu Beginn der Konstruktionsphase wurde begonnen 3D- Modelle mit AutoCAD zu erstellen, da das Wissen mit dem Umgang der Software bei allen Studierenden am größten war. Hierbei wurden die Sitzflächen und Rückenlehnen durch linear angeordnete Konturen aufgebaut, welche in der angenommenen Materialstärke versetzt und zu Polylinien verbunden wurden. Im nächsten Schritt wurden diese zu Volumenkörpern mit der Funktion „Anheben“ verschmolzen. Schon im Entwurfsprozess fiel auf, dass eine einfache Nachbearbeitung des Modells nicht

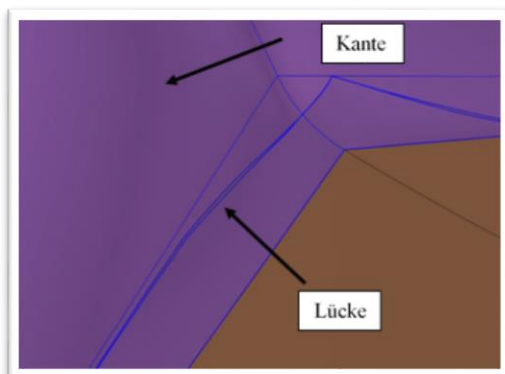
möglich ist, sondern jeweils wieder beim Erstellen der Grundkonturen angefangen werden musste. Auch die noch unbekannte, genaue Materialstärke bzw. eine Änderung dieser, bedeutet eine arbeitsaufwändige, neue Erstellung des 3D-Modells. Hinzu kam, dass es sich als schwierig gestaltete, bei der organischen Form ohne Kanten und Ecken Punkte zur Veränderung anzuwählen. Aus diesen Gründen entschieden wir uns, die weiteren 3D-Zeichnungen mit Cimatron 13 zu erstellen.

#### 4.3 Cimatron 13

Auch in Cimatron wurde das erste Modell aus Bögen und Geraden mit Hilfe der Funktion „Blend“ erstellt.

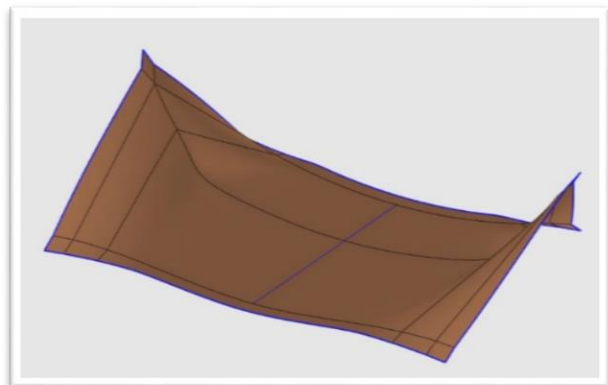
Im nächsten Schritt wurde versucht, den Übergang zwischen Geraden- und Bogenfläche abzurunden, was jedoch in der Fläche nicht

möglich war. Hierbei entstanden Lücken, sodass keine zusammenhängende Fläche erhalten blieb. Um das Problem zu lösen wurde der Übergang bereits in den Sketchen abgerundet, was



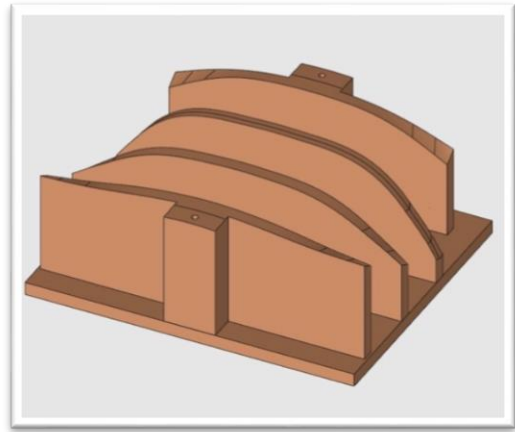
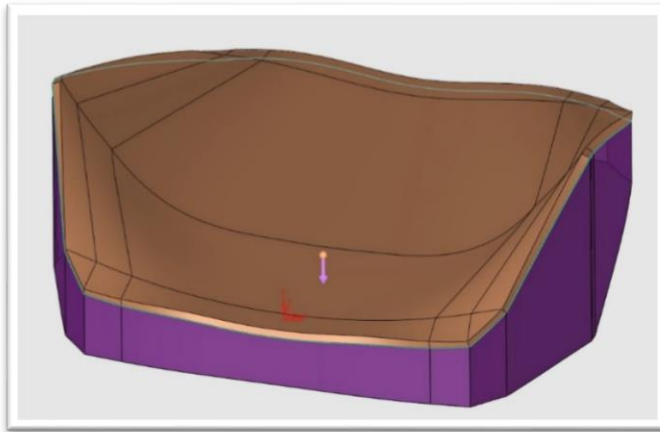
jedoch nicht das gewünschte Ergebnis erzielte, da in den Flächen Kanten entstanden. Die abschließende Lösung für dieses Problem war, dass anstatt von Bögen und Geraden durchgehende Splines gezeichnet wurden, die einen weichen Übergang zwischen den beiden Teilen ermöglichten.

Anschließend tauchte das Problem auf, dass die Nettofläche auf eine Bruttofläche vergrößert werden musste. Dies war als Volumenkörper nicht möglich und wurde daher durch Vergrößerung des Flächenmodells mit Hilfe des Befehls „Verlängern“ erreicht. Bei diesem Befehl entstanden Lücken, die durch eine erneute Verlängerung und eine Anpassung dieser, zu einer zusammenhängenden Fläche, geschlossen wurden. Im abschließenden Schritt wurden die Flächen geglättet und mit dem Befehl „Wandung“ ein Volumenkörper in der Werkstückdicke erstellt.

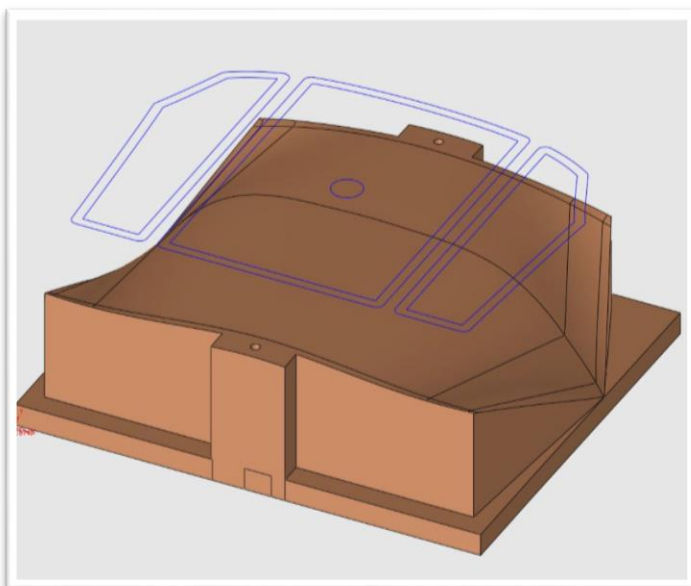


Eine zunächst begonnene Eimpflege von Parametern, um spätere, notwendige Änderungen leicht umsetzen zu können, wurde eingestellt. Bei der Änderung der Parameter entstanden häufig Erzeugungskonflikte und es wurden keine brauchbaren Ergebnisse ausgegeben.

Die benötigten Pressformen wurden durch die Extrusion der Flächen auf eine Referenzebene erstellt.



Von großem Vorteil war es, dass bei Cimatron die Möglichkeit besteht über den Baum an jeden beliebigen Zeichenschritt zurück zu gehen. Dies zeigte sich besonders, als sich nach dem Fräsen der Pressform der Sitzfläche das Problem ergab, dass durch eine „Beule“ in der Fläche das Furnier anfang zu reißen. Dies konnte schnell durch eine Anpassung der ursprünglichen Splines behoben werden. Bei der Erstellung der Konditionierform wurden die benötigten Plattenstreifen auf einer Grundplatte gezeichnet und anschließend durch das fertige Modell geschnitten.



Um die Spannvorrichtungen für die CNC- Fräsmaschinen zu erzeugen, wurden die bereits modellierten Pressformen weiterbearbeitet. In Cimatron ist es nicht möglich, Konturen auf einer bestehenden Ebene parallel zu versetzen, um so die Nuten für die Moosgummis und die Vakuumtaschen und Inseln zu erzeugen. Aus diesem Grund wurde die Außenkontur auf eine darüber-

liegende Ebene projiziert und in dieser versetzt. Diese Konturen wurden anschließend in AlphaCAM eingepflegt und durch die Bearbeitungen erstellt. Dieses Vorgehen hat jedoch zur Folge, dass die Abstände zwischen den Außenkonturen, den Moosgummis und den Taschen

nicht gleichmäßig sind. In unserem Fall hat dies jedoch keinen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit der Spannvorrichtungen.

## 5. Schnittstelle CAD-CAM

Die Schnittstelle soll die Informationen aus dem CAD System ins CAM System übertragen. Für diese Übertragung wählten wir zwei unterschiedliche Dateiformate:

Zum einen erfolgte die von uns gewählte Schnittstelle über das STL Dateiformat (Standard Triangulation Language) von AutoCAD in das CAM System Cura, da dies das einzige Dateiformat ist, welches sich aus AutoCAD exportieren und in Cura importieren lässt.

Das STL Format beschreibt die Oberfläche von 3D Objekten mit Hilfe von Dreiecksfacetten in Form von Punkten, die auf der Oberfläche liegen. Die Punkte verbinden sich zu Dreiecken, die dann der originalen Oberfläche sehr nahekommen. Dieser Prozess wird Triangulation genannt. Außerdem wird mit der Flächennormalen die Rück- bzw. Vorderseite des Dreiecks bestimmt, daher ist das Objekt eindeutig beschrieben.

Das Problem der Triangulation ist, dass gekrümmte Formen nicht genau dem Original entsprechen. Es handelt sich bei der Umwandlung um eine rechnerische Annäherung zum Original. Nach der Umwandlung der Datei besteht das Objekt aus einem geschlossenen Oberflächennetz, was je nach Objekt aus bis zu mehreren Millionen Polygonen bestehen kann. Jedes dieser Polygone enthält Informationen über die Oberfläche des Objektes. Anhand dieser Informationen ist es für Cura möglich, die Konturen zu erkennen und somit Bearbeitungen durchzuführen. Bei den 3D gedruckten Teilen handelte es sich in unserem Fall um Modelle und Probeformen im kleinen Maßstab, weshalb die Genauigkeit ausreichend war.

Das zweite Dateiformat, welches für die Übertragung von Cimatron zu AlphaCAM benutzt wurde, waren STEP-Dateien (Standard for the Exchange of Product Model Data). Diese sind speziell für den Austausch zwischen unterschiedlichen CAX-Systemen entwickelt worden und nach ISO 10303 genormt. Mit STEP-Dateien sollen möglichst alle Produktdaten dargestellt werden. Im Rahmen des CAD/CAM Projekts wurde diese Möglichkeit jedoch nicht ausgenutzt, sondern lediglich die datenverlustfreie Übertragung aufgrund der Standardisierung.

## 6. CAM

### 6.1 Cura

Für die Veranschaulichung unserer Entwürfe in Form eines 3D-Modells im Maßstab 1:10 haben wir die Software Cura 3 verwendet, um die 3D-Drucker von Ultimaker anzusteuern.

Dabei fungiert die Software als Postprozessor oder auch als sogenannter „Slicer“, indem sie G-Codes erstellt und das vorliegende Solid 3D-Modell in ein maschinenverständliches Programm umwandelt. Gleichzeitig werden durch verschiedene Parameter und Einstellungen, wie beispielsweise die Drucktemperatur, -geschwindigkeit und Schichtdicke des aufgetragenen Materials, das Druckprogramm optimiert. Zusätzlich lässt sich eine Stützkontur erstellen, damit das Bauteil während des Drucks nicht den Halt verliert.

## 6.2 AlphaCAM

Durch die sehr gute Vorarbeit seitens der Cimatronmodelle, war es nicht aufwendig die STEP-Dateien in AlphaCAM weiter zu bearbeiten. Die Einfügekanten und demnach auch die Nullpunkte waren an den Stellen, wie wir sie für die Bearbeitung auf der Maschine benötigen. Außerdem fiel das Erstellen von neuen Rohteilen weg, da diese bereits in Cimatron für das Zuschneiden der Rohteilmaterialien vorhanden waren.

Das generelle Vorgehen war so, dass man sich die Datei mit den entsprechenden Arbeitsebenen und Konstruktionen eingerichtet hat. Für bestimmte Bohrungen oder Taschen war es teilweise im Prozess erforderlich, Geometrien auf die entsprechenden Ebenen zu zeichnen und diese im weiteren Schritt als Bohrungen zu definieren.

Sobald diese Schritte erledigt waren, haben wir mit der eigentlichen Programmierung der Operationen fortgefahren. Diese beinhaltete bei den verschiedenen Formen zunächst das Z-Ebenen Schruppen, welches eine grobe Konturgebung zur Folge hat. Um der endgültigen Bearbeitung in jedem Fall ausreichend Material zur Verfügung zu stellen, haben wir in den meisten Fällen ein Aufmaß von drei Millimetern sowohl in x,y- Richtung als auch in z-Richtung gegeben. Damit die Maschine keine unnötigen Bearbeitungen fahren muss, gab es die Möglichkeit nach einer Operation ein neues Rohteil aus dem Simulationsergebnis zu erstellen. Dies hat im Vergleich zur sonstigen Bearbeitung eine enorme Zeitersparnis zur Folge.

Im Weiteren wurde durch die Oberflächenbearbeitung mit einem Kugelfräswerkzeug erstellt. Für die Pressform haben wir für eine ausreichend gute Oberflächengüte eine Rillenhöhe von 0,025 Millimetern gewählt.

Da nicht nur Oberflächenkonturen, sondern auch Bohrungen, Nuten und Taschen erzeugt werden mussten, konnten wir nicht nur auf das 3D-Solid Fräsen zurückgreifen. Hilfreich für die Herstellung der Nuten für die Moosgummidichtung war der Befehl „Splines oder Polylinien bearbeiten“. Durch eine vorher gezeichnete 3D-Polylinie war es möglich, dass die Bearbeitung im 5-Achs Verfahren normal zur Oberfläche stattfinden konnte. Außerdem wurde dieser Befehl

für die Außenformatierung der Fertigteile genutzt. Hier war es notwendig die Richtung parallel zur Solidmodellfläche einzustellen.

Problematisch war bei diesem Vorgehen zu Anfang, dass man sich auf keiner Arbeitsebene befinden darf. Sobald eine Arbeitsebene beim Programmieren angewählt ist, findet keine 5-Achs Bearbeitung in diesem Sinne statt, sondern die Verfahrswege befinden sich ausschließlich auf Höhe der Ebene. Diesen Fehler haben wir schnell gefunden und konnten somit rasch mit der Programmierung fortfahren.

## 7. Fertigungsprozess

Um den Herstellungsprozess für ein Formsperrholzteil nachvollziehen zu können, gilt es als erstes Formsperrholz zu definieren. Formsperrholz ist ein zwei oder auch dreidimensional verformtes Werkstück aus mehreren Furnierlagen, die mit Hilfe von Druck und/oder Hitze in einem Presswerkzeug verleimt werden. Die Furnierlagen werden kreuzweise in einem Winkel von 90 Grad angeordnet, damit sich die Furniere untereinander absperren. Die Ausrichtung der Maserung gegeneinander erhöht die Formstabilität der Werkstücke und verhindert das Ausdehnen oder Zusammenziehen des Holzwerkstoffes.

Nach dem Pressvorgang werden die Teile mit einer mehrachsigen CNC Maschine aus den gepressten Rohlingen gefräst und erhalten bei Bedarf Taschen und Bohrungen. Das Werkstück muss anschließend noch geschliffen werden und eine Oberflächenbehandlung erhalten.

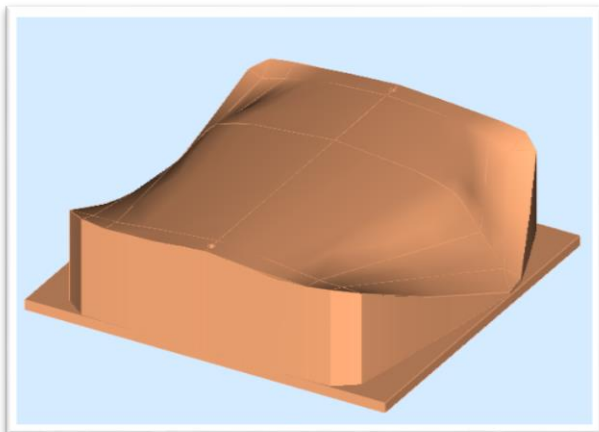
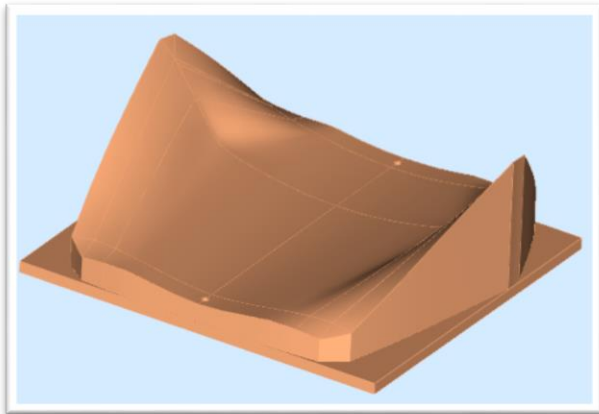
### 7.1 Pressformen

Zu Anfang stand die Überlegung im Raum, die Bruttoteile mit einer Pressform und der Vakuumpresse zu erstellen. Jedoch schien die Vakuumpumpe nicht ausreichend Leistung zu bringen. Bereits bei unserem 3D-Druck Modell der Sitzschale im Maßstab 1:5, auf dem wir mithilfe des Vakuumsacks probeweise Furnier formverleimt haben, zeigte sich, dass sich das Furnier bzw. der Vakuumsack nicht richtig an die Verformung der Sitzfläche anpasst. Daher haben wir ohne weitere Vorversuche im 1:1 Maßstab direkt jeweils eine untere und eine obere Pressform aus Multiplex Sperrholzmaterial Birke erstellt, da dieses Material gute Standfestigkeiten und Belastbarkeiten gewährleistet. Die unteren Pressformen sind jeweils aus einem quaderförmigen Block entstanden, da wir bei dieser Geometrie keine großen Materialeinsparmöglichkeiten hatten. Anders sah es bei der oberen Gegenform aus. Hier konnten wir das Rohteil soweit optimieren, dass wir eine Grundplatte und einige Streifen des Plattenmaterials zu einem Rohteil verleimen konnten. Somit konnten wir nicht nur Material einsparen, sondern auch die Bearbeitungszeit des Fräsvorganges auf ein Minimum reduzieren.

Um die Referenz über den kompletten Projektprozess zu erhalten, haben wir uns für zwei Positionierbohrungen an den Außenkanten entschieden. Sie weisen einen Durchmesser von zwölf Millimetern auf und werden durch Aluminiumstifte definiert. Zusätzlich haben wir unten eine Plattenstärke rechtwinklig stehen lassen, damit wir die Möglichkeit haben, die Form auch später für weitere, eventuell notwendige Bearbeitungen genau zu positionieren. Dafür haben wir vorne und links Referenzkanten erstellt. Hiermit kann die Form trotz ihres hohen Gewichtes dennoch gut manipuliert werden.

Um die Gefahr auszuschließen, dass störendes Pressformmaterial an den Außenseiten während des Pressvorgangs im Weg ist, haben wir die Außenkontur der Bruttoflächenkontur angepasst.

Von oben betrachtet sind annähernd zwei Achtecke entstanden. Durch zusätzliches Umrunden beim Schlichtvorgang mit dem Kugelfräser haben wir solch ein Problem komplett verhindern können.



## 7.2 Materialauswahl

In Vorversuchen haben wir bereits herausgefunden, dass unser CAD-Modell eine recht komplexe Verformung aufweist. Nach Versuchen mit Buche Schäl furnier in 1,2 Millimeter Stärke, haben wir uns gegen dieses Material als Mittellagen entschieden. Die hohe Dicke der einzelnen Lagen war ausschlaggebend dafür, dass das Buchenschäl furnier nicht das richtige

Material für diese Anwendung gewesen ist. Die Versuche mit Furnier in der Stärke von 0,6 Millimeter haben ein besseres Verhalten in der Formgebung gezeigt.

Erste Proben haben ergeben, dass das Furnier trotz der dünnen Materialausprägung nicht die gewünschte Form ohne Risse erreicht. Durch Recherchen sind wir auf sogenanntes Kaschierpapier gestoßen. Hiermit kann man die Decklage von hinten belegen und dem Furnier mehr Stabilität geben. Nachdem wir die Folie auf ein weiteres 0,6 mm starkes Birkenfurnier mithilfe der Heizplatten aufgebracht hatten, zeigte ein erneuter Versuch, dass auch diese Maßnahme nicht den gewünschten Erfolg bringt.

Naheliegender war im nächsten Schritt die Verwendung von 3D-Furnier. Probehaltig haben wir daher getestet, wie gut sich eine Lage dieses Furniers der Form anpasst. Dies hat sich der Verformung ideal angeschmiegt.

Bevor man den drastischen Schritt tätigt und alles aus 3D-Furnier fertigt, machten wir uns Gedanken über weitere, mögliche Lösungen. Zum einen könnte man das Material verändern bzw. anpassen und zum anderen die Pressform verändern. Das Furnier zu nassen und Kaschierpapier für die Decklage zu verwenden war bereits misslungen. Eine weitere Möglichkeit könnte sein, alle Mittellagen mit Kaschierpapier zu versehen. Des Weiteren könnte man über erhitzten Acrylkunststoff als Mittellage nachdenken, was jedoch keine erstrebenswerte Lösung wäre.

Bezüglich der Pressform war eine Alternative, die Bruttomaße zu verringern. Durch die tangentielle Verlängerung der Nettofläche ist am äußeren Rand ein extremer „Schwung“ entstanden, der für das Furnier eine weitere Hürde darstellt. Auch der „Knick“ im Mittelbogen ist eine Schwachstelle, da sich dort das Furnier am meisten der 3D-Verformung anpassen muss.

Um zu sehen, wo sich die problematischen Stellen befinden, haben wir nochmals ein Blatt Papier zur Hilfe genommen und dieses solange eingeschnitten, bis es keine Falten oder Wellen mehr ergeben hat.

Die naheliegende und einfachste Lösung war schließlich, geringere Winkel für die Flügel als auch für den „Knick“ an sich zu verwenden.



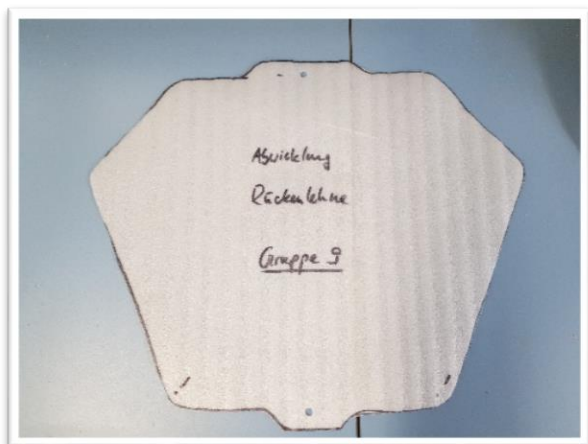
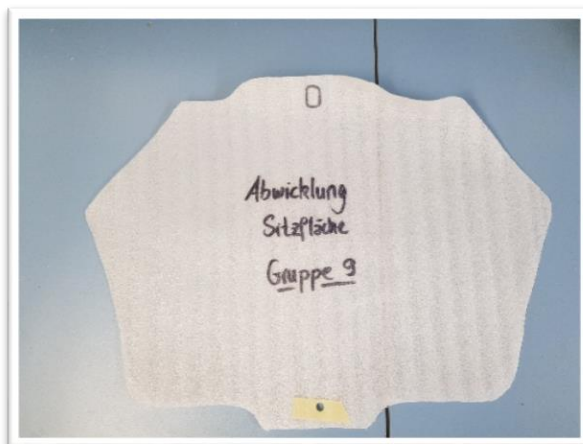


Um nicht direkt unsere bereits hergestellte Pressform der Sitzfläche für die Umsetzung des Versuchs zu entbehren, haben wir beschlossen, die neue Form zunächst aus dem PU-Plattenwerkstoff Obomodulan zu fräsen.

Das Furnier passte sich bereits besser an die Form an, um jedoch aussagekräftige Schlüsse zu ziehen, wurde beschlossen, einen ersten

Pressvorgang vorzunehmen. Dafür haben wir unter die bereits gefrästen Pressformen für die Sitzfläche jeweils eine 30 mm starke Multiplex Platte verleimt, damit bei der Nachbearbeitung noch genügend Material übrigbleibt.

Für die Furnierabwicklung haben wir ein Flies zwischen die jeweiligen Pressformen gelegt und mit dem Stift außen entlang angezeichnet. Diese Abwicklung haben wir auf eine P2 Spanplatte übertragen, um damit die Furniere mit einer Oberfräse zu formatieren. Die Lagen erhielten zum Schluss noch eine Bohrung und ein Langloch zur genauen Positionierung auf der Form. Diese Referenzbohrungen haben sind über den ganzen Bearbeitungsprozess erhalten geblieben.



## 7.3 Pressvorgang

### 1. Probeversuch

Für die erste Probepressung mit der neuen Sitzform haben wir 19 Lagen Birkenschäl furnier in 0,6 Millimeter Dicke verwendet. Die hohe Lagenanzahl und die kurze offene Zeit des Kauritleims von circa 15 Minuten hat uns dazu veranlasst, mit vier Personen die Pressung zu gestalten. So konnten wir mit zwei Leimrollen gleichzeitig sowohl die Quer- als auch die Längslagen mit Leim benetzen. Die anderen zwei Personen waren dafür zuständig die beleimten Lagen in die Presse zu legen.

Da Kauritleim für unsere Bedürfnisse die besten Eigenschaften bietet, haben wir uns in diesem Zuge gegen den Weißleim entschieden. Kauritleim wird im Laufe seiner Aushärtung sehr steif und fest und kann demnach gut die geschwungene Form der Stuhlteile halten. Außerdem ist er im Vergleich zu Weißleim günstiger.

| Pressdruckberechnung            |         |                               |                                             |
|---------------------------------|---------|-------------------------------|---------------------------------------------|
| Sitzfläche                      |         | Rückenlehne                   |                                             |
| Kolbenfläche [cm²]=             | 288,000 | Kolbenfläche [cm²]=           | 288,000                                     |
| Werkstückfläche [m²] =          | 0,261   | Werkstückfläche [m²] =        | 0,320                                       |
| Werkstückpressdruck [N/cm²] =   | 140,000 | Werkstückpressdruck [N/cm²] = | 140,000                                     |
| Erforderlicher Manometerdruck = |         | 126,875 bar                   | Erforderlicher Manometerdruck = 155,556 bar |

Die Pressdauer für den ersten Versuch betrug 24 Stunden. Das Ergebnis war überraschend gut. Zwar ist an einigen Stellen wie erwartet gerissen, dies hat jedoch die Form und die Oberflächengüte nicht beeinflusst. Dabei haben wir vorher den erforderlichen Pressdruck mittels Formel berechnet. Jedoch sind wir bei der ermittelten Fläche davon ausgegangen, dass der Druck vertikal und gleichmäßig auf die Fläche wirkt. Somit hat der von uns ermittelte Pressdruck von ungefähr 125 Bar dazu geführt, dass die Dicke unseres Formteils anstatt 11,4 Millimeter nur 9,2 Millimeter betrug. Jedoch fiel auf, dass an den seitlichen Flügeln nicht genügend Druck vorhanden war, da die Verleimung dort nicht ideal war. Als Maßnahme haben wir seitlich Schraubzwingen an die Außenpunkte der Form angesetzt. Da das Formteil an sich jedoch genügend Stabilität geboten hat und die Risse in den Innenlagen kaum zu sehen waren, entschieden wir uns dafür, nachträglich Decklagen aus 3D-Buchenfurnier aufzubringen und die Sitzfläche nochmals zu pressen. Um das Problem der Materialstärke in den Griff zu bekommen, haben wir uns für eine Verringerung des Werkstückpressdrucks entschieden. Mit den neu angenommen Werten erhielten wir für beide Werkstücke einen gerundeten Pressdruck von circa 50 Bar.

| Pressdruckberechnung            |         |                               |                                            |
|---------------------------------|---------|-------------------------------|--------------------------------------------|
| Sitzfläche                      |         | Rückenlehne                   |                                            |
| Kolbenfläche [cm²]=             | 288,000 | Kolbenfläche [cm²]=           | 288,000                                    |
| Werkstückfläche [m²] =          | 0,261   | Werkstückfläche [m²] =        | 0,320                                      |
| Werkstückpressdruck [N/cm²] =   | 55,000  | Werkstückpressdruck [N/cm²] = | 45,000                                     |
| Erforderlicher Manometerdruck = |         | 49,844 bar                    | Erforderlicher Manometerdruck = 50,000 bar |

Weil zu diesem Zeitpunkt noch nicht feststand, ob diese Verformung gelingt, ist bis dahin keine Konditionierform erstellt worden. Wir haben bis zur Erstellung die Pressform als Konditionierform zweckentfremdet. Dabei hat sich herausgestellt, dass man das Teil gut mit Spanngurten auf der Form befestigen kann.



Um eine bessere Aussagekraft über die Formtreue zu geben, ist ein zweites Teil gepresst worden. Damit wir sehen konnten, ob sich auch die Form der Rückenlehne realisieren lässt, haben wir uns für eine Probepressung dieses Teils entschieden. Die Rückenlehne hat beim ersten Versuch ein sehr gutes Ergebnis gezeigt. Auch die Oberflächengüte war sehr zufriedenstellend und hat keinerlei Risse oder Verwerfungen aufgewiesen. Bei diesem Versuch haben wir die Decklage in Form von 3D Furnier in Buche direkt aufgebracht. Dabei konnten wir mit weniger Pressdruck eine Verminderung der Lagenzahl erreichen. Dem Problem der Formtreue haben wir mit einem schnellen Spannen des Spanngurtes um die Form entgegengewirkt. Somit hatte das Formteil keine Möglichkeit sich zu verwerfen.

Das Ergebnis der ersten Versuche war so überzeugend, dass wir daraufhin alle weiteren Pressungen durchführten.

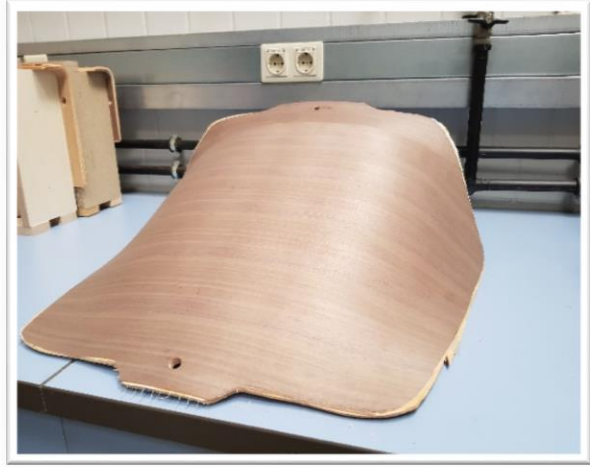
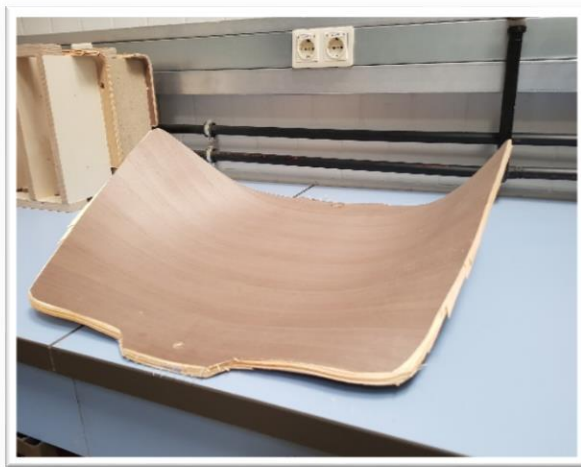
---

### **Finaler Pressvorgang**

---

Für die weiteren Versuche haben wir den verringerten Pressdruck von 50 Bar sowie die verringerte Lagenanzahl von 15 Stück übernommen. Zudem haben wir seitlich an den Flügeln mit einer Zwinge gearbeitet, um zu gewährleisten, dass sich die Pressform an dieser Stelle durch den vertikalen Druck von oben nicht spreizt.

Unser endgültiger Lagenaufbau besteht schließlich aus 15 Mittellagen aus 0,6 mm starken Birkenschäl furnier und zwei Decklagen aus ca. 1 mm starken 3D-Furnier in Form von Eiche und Nussbaum. Mit diesem Vorgehen haben wir ausschließlich Gutteile produzieren können.

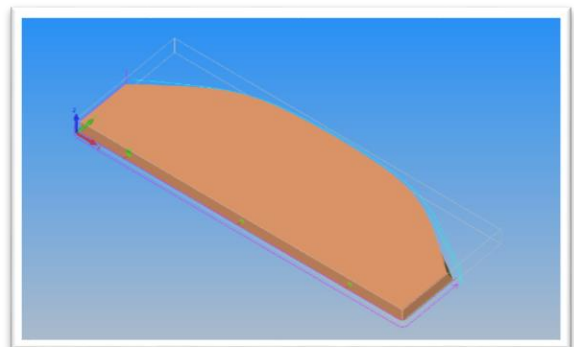


#### 7.4 Konditionierformen

Um zu gewährleisten, dass die gepressten Teile sich nicht aufgrund von Feuchtigkeitsaufnahme oder -abgabe verziehen, wurden Konditionierformen gemäß der Kontur der Sitzfläche bzw. Rückenlehne hergestellt. So konnten wir während der Aushärtungsphase des Kauritleims dafür sorgen, dass die Teile formstabil lagern.

Die Konditionierform ist konstruktiv ein minimalistisches Abbild der Pressform. Sie besteht aus einer Grundplatte und aufrechten Bauteilen aus P2 Spanplatten, wobei die Schmalflächen die Kontur des jeweiligen Formteils annehmen. Um auch hier die durchgehende Referenzkette zu gewährleisten, haben wir an den gleichen Stellen Bohrungen für die Positionierung durch Aluminiumstifte angeordnet. Die offene Konstruktion sorgt zusätzlich dafür, dass das Werkstück ausreichend ablüften kann.

Der Fertigungsverlauf der Konditionierform teilt sich in vier Phasen. Die erste Phase beinhaltet den Zuschnitt der Rohteile für die einzelnen Elemente der Form. In der zweiten Phase erfolgen die grobe Konturbearbeitung der Einzelteile mithilfe eines Schruppfräasers, sowie die vertikalen Dübelbohrungen für die

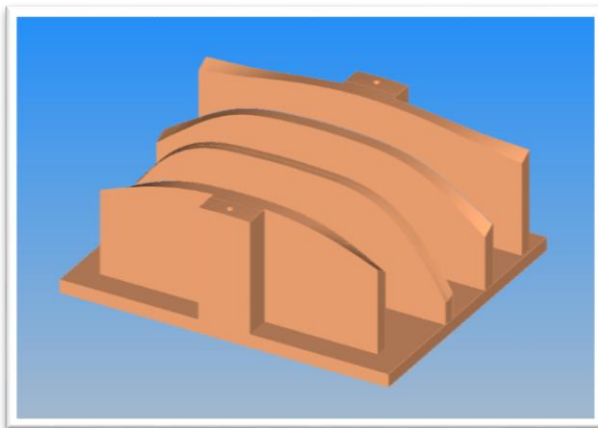


Verbindung der Grundplatte mit den aufrechten Bauteilen. Auch die horizontalen Bohrungen der Grundplatte sind in diesem Schritt getätigt worden.

Die Einzelteile werden an drei Seiten geschruppt und erhalten an der nach oben geneigten Schmalfläche ein Aufmaß für die Oberflächenbearbeitung, die in der vierten Phase erfolgt.

Nach der Einzelteilherstellung werden die aufrechten Einzelteile auf die Grundplatte mit Hilfe von Dübeln und PU-Leim verbunden. Die aufrechten Bauteile sind mit jeweils zwei rechteckigen Stützteilen verschraubt und verleimt, um für die vierte Phase genug Stabilität zu gewährleisten.

Die vierte und letzte Phase beinhaltet die Schlichtbearbeitung der formgebenden Kontur, sowie zwei Dübellöcher, für die Aluminiumstifte. Die Oberflächenbearbeitung erfolgt mit einem Kugelfräser, der genau die Oberfläche der Sitzfläche bzw. Rückenlehne auf der oberen



Schmalfläche der Einzelteile erzeugt. Um diesen Schritt mit AlphaCAM virtuell zu simulieren, genügt es die Pressform als Rohteil in der Bearbeitung zu definieren.

Die Dübellöcher erfolgen mit einem Schlichtfräser, der in zwei Zustellungen die 12 mm Dübellöcher fräst.

Das gepresste Formteil wird über die Stifte auf der Konditionierform positioniert. Das Formteil liegt auf den Schmalflächen der Konditionierform auf und wird mit Hilfe von zwei Spanngurten an die Form gepresst.

Die Formteile werden nach dem Pressvorgang etwa sieben Tage konditioniert, um ein Verziehen der Teile zu verhindern.



## 7.5 Formatiervorrichtungen

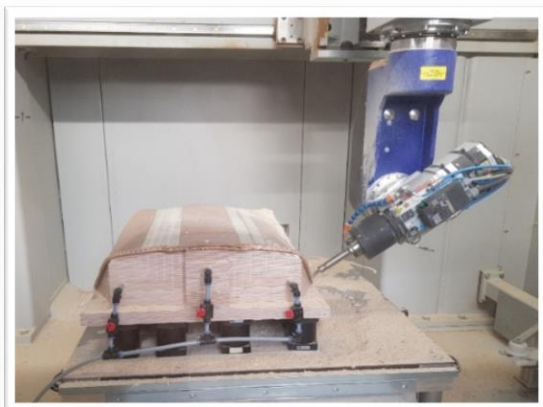
Für die Erstellung der Bearbeitungsformen waren wichtige Vorüberlegungen zu berücksichtigen. Das Probeteil aus Buche hat eine Winkeluntreue im Bereich der Flügel aufgewiesen, da wir zu diesem Zeitpunkt noch keine Konditionierform fertiggestellt hatten. Ein sehr gutes Konditionieren nach dem Pressen ist jedoch unerlässlich. Mit dem Konditionieren von sieben Tagen haben wir dieses Problem zu unserer Zufriedenstellung in den Griff bekommen. Gerade im Bereich der Flügel ist eine Formtreue wichtig, um das Teil gut auf der Formatiervorrichtung ansaugen zu können. Um eine bessere Vakuumspannung zu erzeugen, haben wir uns für einen dreiteiligen Vakuumkreis entschieden. Im ersten Schritt wird die mittlere Fläche angesaugt. Daraufhin können die beiden äußeren Vakuumkreise zugeschaltet werden. Weil in der mittleren Fläche die größte Flexibilität im Teil herrscht, ist eine Materialinsel in der Mitte angeordnet worden.

Diese soll verhindern, dass sich das Teil beim Pressen durchbiegt, und soll somit Geometrieungenauigkeiten beim Fräsen entgegenwirken. Außerdem wird die Gefahr verringert, dass durch eine mögliche Durchbiegung keine ausreichende Reibung vorhanden ist.



## 7.6 Formatieren

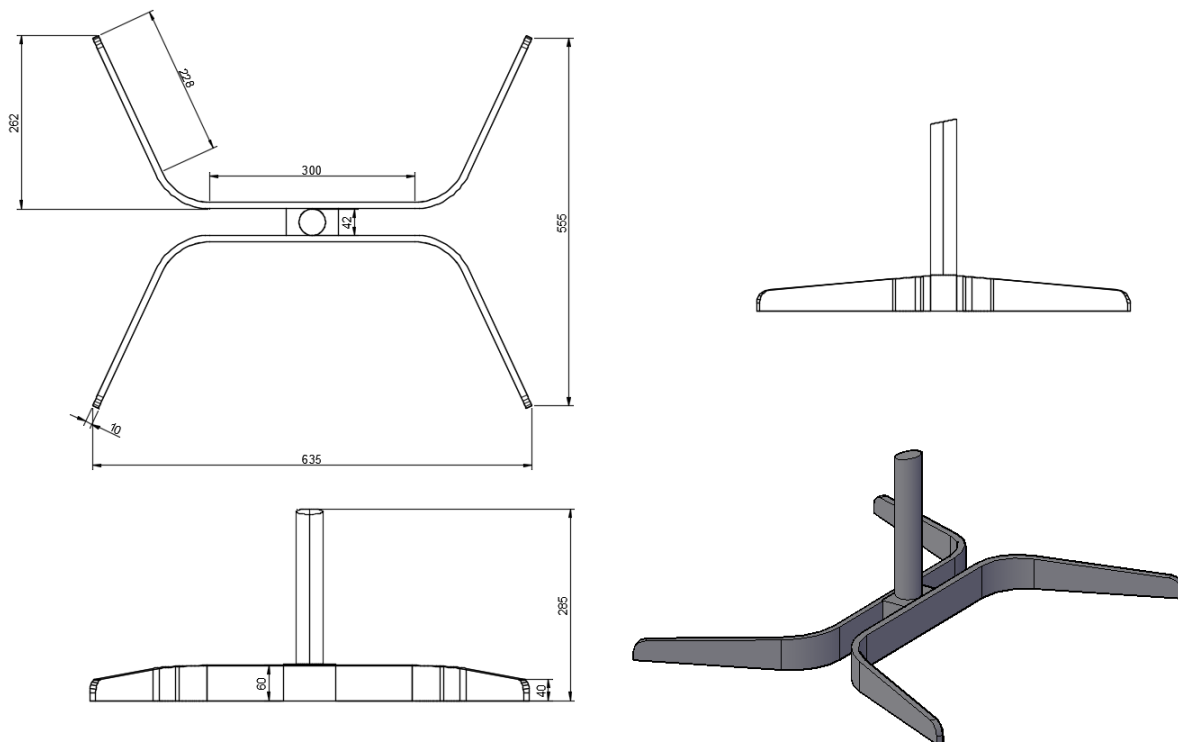
Unseren ersten Pressversuch aus Buche haben wir zu Anfang formatiert, um zu sehen, wo eventuell noch Verbesserungen vorgenommen werden können. Die Simulation hat zu diesem Zeitpunkt keinerlei Probleme gezeigt, worauf wir uns aber nicht verlassen wollten. Es zeigte sich, dass die Formatierung mit einem sechs Millimeter Schlichtfräser bis auf ein paar lösbare Aufgaben recht zufriedenstellend war. So musste an den Flügelspitzen die An- und Abfahrstrategie geändert werden, da der Fräser dort eine kleine Kerbe hinterlassen hat. Auch



die Fräsrichtung musste auf einer Seite geändert werden, um mit Gleichlaufräsen das Ausreißen zu verhindern. Auch nach dem Fräsen der Taschen für die Ausgleichsstücke kam es zu erheblichen Faserausriss. Dieses Problem konnten wir dann bei allen Gutteilen durch Abkleben der Kontur und durch Änderung der Fräsrichtung gut in den Griff bekommen.

## 8. Gestell

Auch bei unserem Gestell gab es verschiedene Entwürfe, wobei sich zeitnah der passende Entwurf herausstellte. Da wir den größten Wert darauflegten, das Gestell auch selbst fertigen zu können, sollte die Konstruktion des Gestells nicht zu komplex sein. Als Werkstoff zogen wir Stahl in Betracht, da dieses in Kombination mit dem Werkstoff Holz, das optische Gesamtbild abrundet. Daher bot es sich an, das Gestell in der Schmiede der Fakultät Gestaltung zu fertigen. Zwei Gruppenmitglieder hatten dort bereits im vergangenen Sommersemester 2016 einen Grundkurs absolviert.



Das Untergestell besteht aus mehreren, verschieden dimensionierten Stahlteilen. Zum einen sind es ganz unten die Fußbügel, eine Aufnahme in der Mitte und der Mittelfuß mit Verbindung zur Sitzfläche.

Zusätzlich benötigt man jedoch eine Verbindung zwischen Sitzschale und Rückenlehne, zwischen denen ein Abstand von 13 Millimetern besteht. Die beiden Formteile werden durch zwei 40 mm breite Flachstähle in 8 mm Stärke verbunden. Diese haben wir kalt verformt, um durch Wärmeeinwirkung keinen Stabilitätsverlust zu bekommen. Dennoch sollten die Verbindungsbügel eine gewisse Flexibilität aufweisen. Im unteren Teil, der an die Sitzfläche geschraubt wird, besitzen die Bügel Langlöcher, um den Stuhl später bestmöglich positionieren zu können.

Insgesamt lässt sich der Stuhl durch das mehrteilige Gestell bei Bedarf schnell demontieren und wieder montieren.

Die Gestellfüße bestehen aus 10 mm dickem Flachstahl. Dieser verjüngt sich an beiden Enden von 60 mm auf 40 mm. Die Flachstahlteile sind auf 920 mm Länge an der Kappsäge formatiert worden.

Der Biegevorgang erfolgt nachdem der Flachstahl mit Hilfe eines Acetylenbrenners erhitzt wurde. Der Flachstahl wird dazu in einen Schraubstock eingespannt und nach und nach von Hand gebogen, bis der Radius der vorher definierten Schablone erreicht ist. Dies wird solange durchgeführt, bis der Bügel seine endgültige Form hat und auf einer planen Ebene gut aufliegt.



Die Aufnahme für das Stahlrohr mit einem Durchmesser von 42 mm ist ein rechteckiger Kasten, der aus vier 3 mm starken Blechen zusammengeschweißt ist. Dieser ist wiederum mit den beiden Bügeln für das Fußgestell verschweißt. In der Mitte dieses Aufnahmekastens ist ein Loch, in das der Rundstahl gesteckt wird. Das Stahlrohr wird auf einen Flansch in Form einer 5 mm starken

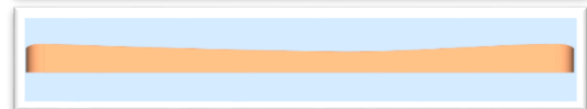
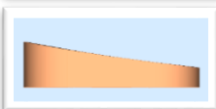
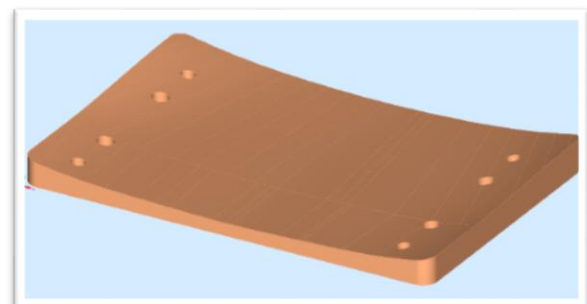
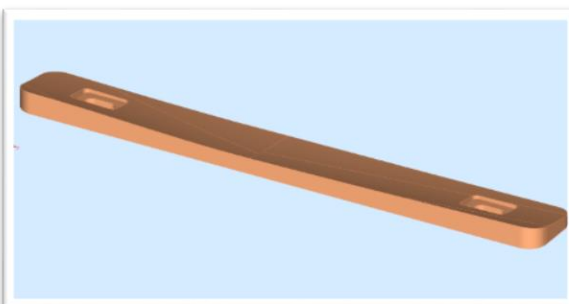
Stahlplatte geschweißt. An dieser Stahlplatte sind später zum einen das Aufnahmebauteil für die Sitzfläche, sowie die zwei Bügel für die Rückenlehnen-Aufnahme mittels Senkkopfschrauben nach DIN 7997 aus A2 Edelstahl befestigt. Das Rohr wird nicht mittig zur Sitzfläche positioniert, da aufgrund des weit zurückgelehnten Sitzwinkels mehr Kräfte auf den hinteren Teil des Stuhls wirken. Wenn schließlich auch Flansch und Rohr mit den Fußbügeln und dem Aufnahmekasten verschweißt sind, kann die Oberfläche bearbeitet werden. Dazu haben wir einen Sandstrahler verwendet. Der sandgestrahlte Stahl konnte dann schließlich mit Reinigungsverdünnung entfettet werden und im Anschluss mit Owatrol Öl behandelt werden.





## 9. Oberflächenbearbeitung und Montage

Für die Befestigung des Gestells an der Sitz- sowie Rückenfläche war es erforderlich, eine Lösung zu finden, um die planen Metallteile an der gekrümmten Oberfläche des jeweiligen Teils zu fixieren. Daher entschieden wir uns dafür, Ausgleichsstücke aus Whitewood zu fräsen, die sich genau der Kontur der Unterseite der Formteile anschmiegen und von unten eine plane Oberfläche besitzen, sodass dort der Flachstahl bzw. der Flansch angeschraubt werden kann. Vor der Lackierung sind in diesem Zuge Rampa Muffen in die Ausgleichsstücke eingepasst worden. Diese ermöglichen erst ein mehrfaches Montieren und Demontieren.



Diese Ausgleichsstücke haben wir im Anschluss zunächst grundiert und im Farbton RAL 7016 lackiert. Um die spätere Montage zu vereinfachen, haben wir die Anschlussfläche zu der Sitzfläche abgeklebt, damit man die Teile einfach mit Weißleim verbinden kann.

Zu Anfang der Oberflächenbearbeitung bestand das Problem der Aufspannung der Teile. Zu unserer Überlegung gehörte eine Lackierung in zwei Schritten. Das Problem bei dieser waren die längere Trocknungszeit und schlechte Übergänge zwischen Vorder- und Rückseite. Aus diesem Grund haben wir uns für eine zweiseitige Lackierung mittels einer Aufspannung entschieden.



Die Taschen für die Ausgleichsstücke haben die Möglichkeit geboten, die Teile mittels Schrauben aufzuhängen. Hierfür haben wir sowohl eine Hängevorrichtung für den eigentlichen Lackiervorgang als auch eine Vorrichtung zum Trocknen gebaut.

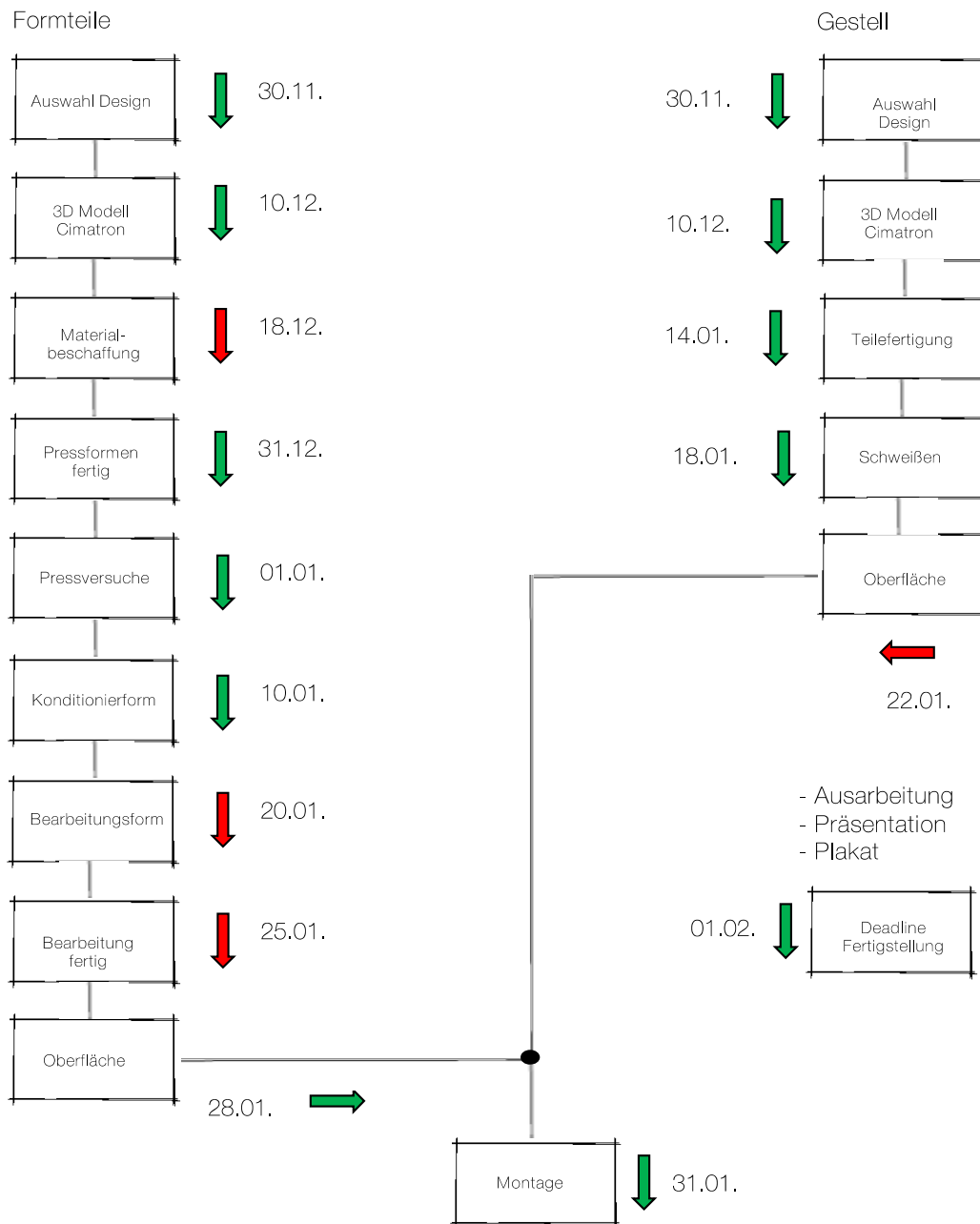
Anschließend wurden die Formteile mit Seidenmatt PUR Lack grundiert. Um einen möglichst guten Lackauftrag zu erzielen, haben wir uns für eine hohe Düsengröße entschieden. Der Endlack besteht ebenfalls aus Polyurethan-Lack, jedoch aufgetragen mit einer feineren Düse.

Als alle Teile getrocknet waren, wurden die Formteile mit den Ausgleichsstücken mithilfe von vorher gefrästen Zulagen, welche ebenfalls die Kontur der Sitz- und Rückenschale aufnehmen, verklebt. Das Abkleben der Taschen sowie der Anschlussseite der Ausgleichsstücke hat uns erlaubt, die Teile mit konventionellem Weißleim zu verkleben.

Zum Schluss sind alle Einzelteile miteinander verschraubt worden. Dieser Arbeitsgang hat wegen unserer ausgereiften Konstruktion sehr gut funktioniert. Alle Teile haben gut zusammengepasst und ein Einstellen der Positionierung war kaum nötig. Außerdem hat sich ab diesem Punkt die gute Stabilität des gesamten Sitzmöbels gezeigt.

## 10. Fazit

### Abgleich mit dem Meilensteinplan



Insgesamt kann man sagen, dass uns der Meilensteinplan eine gute Struktur für die termingerechte Abgabe gegeben hat.

Die roten Pfeile zeigen eine Abweichung zum festgelegten Meilensteinplan auf, die grünen Pfeile stehen für die Einhaltung oder das Unterbieten der Meilensteintermine.

Durch den vorgezogenen Projektabgabetermin kam es zu vielen kleinen Abweichungen gegenüber dem festgelegten Meilensteinplan. Die schriftlichen Abgaben mussten während der

Umsetzungsphase erfolgen, was demzufolge die Produktionsschritte verlangsamt hat. Daher kam es bei der Erstellung der Bearbeitungsform und der anschließenden Formatierung der Formteile zu Terminabweichungen. Die Schwierigkeit lag zudem darin, die Dauer der Produktionsschritte im Vorfeld einschätzen zu können.

---

#### Abgleich mit dem Pflichtenheft

---

Der Abgleich mit dem zu Anfang des Projektes festgelegten Pflichtenheft gibt ein objektives Feedback über den Erfolg des Projektes. Sind die „muss“ und „kann“ Anforderungen im Projekt erfüllt?



Der Maßstab von 1:1 geht mit der Funktionalität des Stuhls einher. Der Stuhl wurde im Maßstab von 1:1 gefertigt und kann daher von einem Menschen als solcher genutzt werden. Durch die stabile Konstruktion ist dieser zudem funktionsfähig und kann den statischen Belastungen standhalten. Dadurch, dass das Gestell aus ausreichend dimensionierten Flachstahl besteht und auf einer breiten Fläche aufliegt, fängt es den extremen Winkel, den die Lounge Chair Rückenlehne hat, ab und ist standfest. Unser Ergebnis ist optisch sehr

ansprechend und besteht aus zwei verschieden dreidimensional verformten Bauteilen. Aus einer langen Entwurfs- und Inspirationsphase ist der unser Lounge Chair eigenständig entstanden. Die Konstruktion für das Gestell und dessen Verbindung zu den Formteilen ist unter optischen und konstruktiven Einflüssen entstanden. Das Gestell konnte eigenständig in der Schmiede der Fakultät Gestaltung gefertigt werden und weist viele konstruktive Details auf. Durch den vorher definierten Neigungswinkel der Rückenlehne und der Sitzschale ist der Lounge Chair sehr bequem.

---

### Persönliches Fazit

---

Das CAD/CAM-Praxisprojekt war eine sehr interessante Erfahrung, die einen nicht nur mit den CNC-Maschinen und der Vorgehensweise eines Konstrukteurs vertraut gemacht hat, sondern viel mehr das Arbeiten im Team gefördert hat.

Der Entwurfsprozess war rückblickend für uns ein anstrengender Prozess, für den wir uns bewusst relativ viel Zeit gelassen haben. Jedes Gruppenmitglied musste Kompromisse hinsichtlich des eigenen Designanspruches schließen. Dadurch wurde jedoch der Teamgeist gestärkt und wir gingen als Gruppe motiviert in den Fertigungsprozess.

Auch wenn wir unser anfängliches Design nochmals überarbeiten mussten, da wir sonst auf 3D-Furnier in allen Lagen angewiesen gewesen wären, konnten wir uns schnell mit der leicht abgeänderten neuen Form zufrieden stellen. So funktionierte der erste Pressversuch auf Anhieb und wir waren zuversichtlich, dass wir mit einer Veränderung des Pressdrucks sowie der Anzahl der Lagen ein gutes Ergebnis erreichen können.

Zudem haben wir durch das Projekt gelernt, wie facettenreich die Bearbeitung im 5-Achs Bereich sein kann. Dennoch musste man beim Zeichnen und Programmieren viele Eventualitäten bedenken, was einem einen guten Einblick in die Arbeitsvorbereitung gegeben hat. Bei diesen Schritten ist man oftmals an seine Grenzen gestoßen, hat aber immer eine Lösung für jegliche Probleme gefunden.

Da wir neben der Formverleimung auch das Gestell aus Metall selber fertigen wollten, entschieden wir uns aufgrund der zeitlichen Begrenzung, ein nicht allzu komplexes Gestell zu bauen. Dies war die richtige Entscheidung und sorgte dafür, dass wir auch Spaß am Arbeiten in der Schmiede entwickelt haben.

Insgesamt sind wir mit dem Ergebnis sehr zufrieden. Durch die hohe Arbeitsleistung unsererseits haben wir bis zum Abgabetermin einen fertigen Lounge Chair für die Hochschule sowie vier weitere Produkte für uns nach einem hohen qualitativen Anspruch fertigen können.

## 11. Anhang

### Materialliste

| Material                            | Menge für 5 Stühle | in der HAWK vorrätig |
|-------------------------------------|--------------------|----------------------|
| Sperrholzplatten Pressformen        | 1,5m <sup>2</sup>  | ✓                    |
| Sperrholzplatten Bearbeitungsformen | 1,5m <sup>2</sup>  | ✓                    |
| P2 Spanplatten Konditionierformen   | 3,0m <sup>2</sup>  | ✓                    |
| Whitewood                           | 0,01m <sup>3</sup> |                      |
| Kauritleim                          | 10kg               | ✓                    |
| Weißleim                            | 0,5kg              | ✓                    |
| Dübelstangen                        | 1 Stk.             | ✓                    |
| Schälfurnier Birke                  | 30,0m <sup>2</sup> | ✓                    |
| Deckfurnier Eiche 3D                | 3,2m <sup>2</sup>  | ✓                    |
| Deckfurnier Nussbaum 3D             | 4,8m <sup>2</sup>  | ✓                    |
| Gestellteile                        | 5 Stk.             |                      |
| Schrauben sämtliche                 | 100 Stk.           |                      |
| Schleifmittel                       | 10 Stk.            | ✓                    |
| Sprühlack RAL 7016                  | 1 Stk.             |                      |
| Grundierung Sprühlack               | 1 Stk.             |                      |
| Lack Holzteile Hesse UNA PUR        | 3,0 l              | ✓                    |
| Härter DR 470                       | 0,3 l              | ✓                    |

® = reg. Marke der BASF SE

## KAURIT<sup>®</sup> Leim 234 Pulver

Kaurit Leim 234 Pulver<sup>1)</sup> wird zusammen mit Härtern sowohl nach dem Kalt- als auch nach dem Heißverfahren in der Türen-, Möbel-, Sperrholz-, und Parkettindustrie verarbeitet. Je nach Leimansatz erhält man Verleimungsfestigkeiten, die den folgenden Anforderungen genügen:

EN 636-1 für Nutzungsklasse 1

EN 636-2 für Nutzungsklasse 2

EN 12765 Beanspruchungsgruppe C4

DIN 68705 (1981): IF; BFU 20; BST 20; BSTAE 20

DIN 68705 (1968): IF 20; IW 67; A 100

Desweiteren dient Kaurit Leim 234 Pulver zum Herstellen von Bindemitteln für körnige und faserige Materialien sowie für Kokillendämmplatten.

### Chemische Charakterisierung

Pulverförmiges Harnstoff-Formaldehyd-Kondensationsprodukt

### Einstufung und Kennzeichnung gemäß EG-Richtlinien

Einstufung: WGK1  
Kennzeichnung: Xi, R 38, R 43, S 37

## Eigenschaften

### Produktspezifikation

|                                        |                            |            |
|----------------------------------------|----------------------------|------------|
| Aussehen                               | weiß                       |            |
| Dichte der Lösung (2 :1) bei ca. 20 °C | ca. 1,25 g/cm <sup>3</sup> | ISO 2811-3 |

### Weitere Eigenschaften

|                                                                   |           |               |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|---------------|
| Lagerbarkeit in geschlossenem<br>Originalgebinde                  | bei 20 °C | ca. 12 Monate |
|                                                                   | bei 30 °C | ca. 6 Monate  |
| Lagerbarkeit der Lösung<br>(2 Gew.-Tl. Pulver :1 Gew.-Tl. Wasser) | bei 20 °C | ca. 1 Woche   |

<sup>1)</sup> bis zum 01.04.2007 identisch mit Urecoll 270 Pulver

## Technische Information



### Hesse UNA-PUR DE 55x(Glanzgrad)

Mischungsverhältnis (volumetrisch): 10 : 1 PUR Härter DR 470

#### >Produktbeschreibung

UNA-PUR ist ein **lichtechter** und transparenter Schichtlack. Durch die **vielseitigen Applikationsmöglichkeiten** und **unkomplizierte Verarbeitung** eignet sich UNA-PUR hervorragend als **Schichtlack** auf **allen gängigen Holzarten** und parallel als **exzellenter Abschlusslack auf Hesse PUR Farblacken**. Mit den **sehr guten Haftungseigenschaften** kann UNA-PUR auch auf **gebleichten Holzarten** in den Glanzgraden von **stumpfmatt bis glänzend** verarbeitet werden.

#### >Einsatzgebiete

UNA-PUR kann im gesamten Laden-/Innenausbau, einschließlich Küche und Bad sowie dem Schiffsinnenausbau eingesetzt werden. Parallel kann anwendungsbezogen UNA-PUR in unterschiedlichen Abhärtungsvarianten verwendet werden. Detaillierte Informationen dazu unter „Verarbeitungshinweise“ in dieser technischen Information.

#### >Untergrundvorbehandlung

|                                        |                                                                     |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Untergrundvorbehandlung                | Sauberes trockenes Holz, je nach Holzart und Auftragsverfahren.     |
| Untergrundschliff Körnung von-bis      | 150 - 180 (Rohholz)<br>320 - 400 (Farblacken)                       |
| Lackzwischen Schliff (Körnung) von-bis | 280 - 400                                                           |
| Endbehandlung                          | Nach Trocknung und Lackschliff mit Lackmaterial der gleichen Serie. |

#### >Zeiten

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| Verarbeitungszeit | 8 h / 20 °C             |
| Topfzeit          | 3 d / 20 °C             |
| Trocknung         | 2 h / 20 °C             |
| Stapelbar nach    | mindestens 16 h / 20 °C |
| Durhhärtung       | 7 d                     |

#### >Applikation

| Applikation          | Düsengröße mm | Spritzdruck bar | Zerstäuberdruck bar |
|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|
| Spritzen - alle      |               |                 |                     |
| 2K Anlage            |               |                 |                     |
| Airless              | 0,23 - 0,28   | 100 - 150       |                     |
| Airlessniederdruck   |               |                 |                     |
| Airmix               | 0,23 - 0,28   | 60 - 100        | 2,0 - 2,5           |
| Druckluftspritzen    | 1,8 - 2       | 2,5 - 3,5       |                     |
| Leistenspritzautomat |               |                 |                     |
| Spritzautomat        |               |                 |                     |
| Spritzroboter        |               |                 |                     |

#### >Verarbeitungshinweise

Für die Lackierung auf kritischen Trägern oder zur Optimierung der chemischen und mechanischen Beständigkeit wird eine Abhärtung der Lack-/ Härtermischung von (vol) 5 : 1 mit PUR Härter DR 470 oder 10 : 1 mit PUR Härter DR 4071 empfohlen.

Die Abhärtung der Lack-/ Härtermischung von (vol) 5 : 1 mit dem PUR Härter DR 4076-0001, nach einer vorherigen Untermischung von 5 % Glaslackzusatz EL 460-0025 zur Lackkomponente, ermöglicht zusätzlich die Direktlackierung auf Glas. Eine vorherige ordnungsgemäße Reinigung der zu lackierenden Glasfläche mit dem Hesse Glasreiniger ZD 101 ist erforderlich.