BHV-02 CAD/CAM-Praxisprojekt

# Herstellung eines Globus im Maßstab 1:42.500.000

HAWK

Fakultät Bauen und Erhalten

Studiengang: Holzingenieurwesen

Labor für Bearbeitungstechnik LBT


WiSe 2020/2021


Studierende:

Samuel Salama

Simon Nielsen

Dozenten:

Dipl.-Ing. Norbert Linda

Dipl.-Ing. Renke Abels

# Inhalt

Inhalt ..... 1

1. Einleitung ..... 2

2. Vorbereitung ..... 2

2.1 Ideenfindung ..... 2

2.2 Anforderungen ..... 3

2.3 Konstruktion ..... 4

2.4 Zeitplan ..... 7

3. Halbkugel ..... 9

3.1 Pressform ..... 9

3.2 Pressversuche ..... 11

3.3 Formatieren ..... 13

3.4 Verleimen ..... 15

3.5 Pole ..... 16

3.6 Magnete ..... 17

4. Gestell ..... 18

5. Innenboden ..... 20

6. Kontinente ..... 20

7. Oberfläche ..... 24

8. Montage ..... 25

9. Fazit ..... 26

# 1. Einleitung

Im Modul „BHV-02 CAD/CAM-Praxisprojekt" geht es um die Bedienung von 5-Achs-CNC-Fräsmaschinen und die Anwendung von CAD/CAM-Software. Aufgabe dabei ist, ein beliebiges Objekt herzustellen, welches eine 3D-Verformung enthält und dementsprechend bearbeitet werden muss. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Verwendung von Formteilen und dem Formen- bzw. Vorrichtungsbau. Es soll der gesamte Entwicklungsprozess bis hin zur Produktion durchgeführt werden. Dafür stehen neben drei 5-Achs-CNC-Maschinen der Firma Maka auch eine Werkstatt mit allen nötigen Holzbearbeitungsmaschinen zur Verfügung.

Durch die besondere Situation des Corona-Semesters waren eine schnelle Ideenfindung und eine zügige Umsetzung besonders wichtig, da eine Aussetzung aller Präsenzveranstaltungen jederzeit denkbar gewesen wäre. Wichtig war uns außerdem, ein zeitloses Objekt herzustellen, welches nicht nach einigen Jahren seinen Reiz verliert und sich auch in der Zukunft sinnvoll verwenden lässt.

# 2. Vorbereitung

## 2.1 Ideenfindung

Schon lange vor Beginn des Projekts hatten wir die Idee, einen Globus zu bauen. Auch unter den besonderen Voraussetzungen erschien uns dies als ein ideales Projekt, da sich zum einen die Anzahl der verschiedenen benötigten Teile in Grenzen hielt, aber gleichzeitig die Herstellung einer formverleimten Kugel und das Einfräsen der Kontinente eine Herausforderung darstellte, deren Lösung wir noch erarbeiten mussten. Wir wollten einen klassischen Tischglobus entwerfen, der aber wie eine Minibar aufklappbar sein und über zusätzlichen Stauraum im Inneren verfügen sollte (siehe Abb. 1).

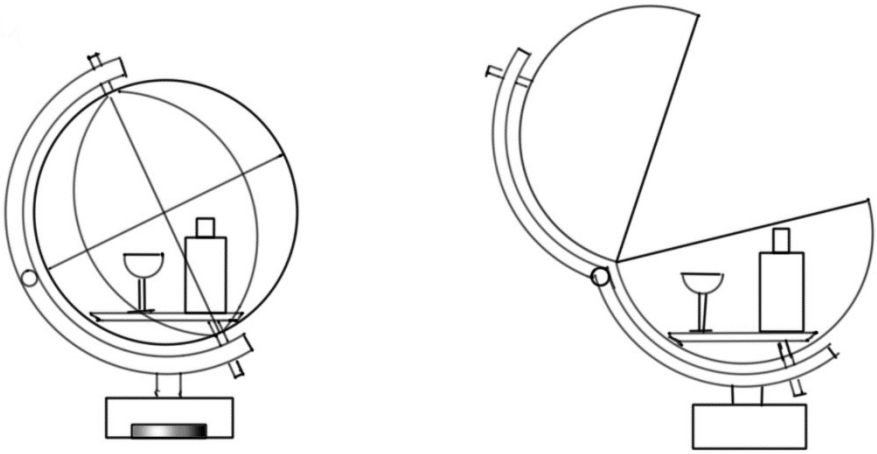

*Abbildung 1: Erste Skizze eines aufklappbaren Tischglobus*

Als Durchmesser der Kugel wählten wir das Standardmaß für Tischgloben, welche meist über einen Durchmesser von 300 mm verfügen. Dies entspricht einem Maßstab von 1:42.500.000 gegenüber der Erde. Als Material für die Kugel wählten wir Eichenfurnier und für das Gestell Birken-Multiplex.

Wichtig war uns, dass sich der Globus leichtgängig drehen lässt. Zu Projektbeginn war nicht abschätzbar, wie viel Zeit die Entwicklung und Fertigung der Kugel in Anspruch nehmen würde. Daher stellten wir in der Planung die Möglichkeit, auf der Kugel die Kontinente darzustellen, vorerst zurück. Dies wollten wir bei ausreichender Zeit zu einem späteren Zeitpunkt weiterverfolgen. Aus diesen Überlegungen ergaben sich folgende Anforderungen an den Globus:

## 2.2 Anforderungen

Muss-Kriterien:

- Tischglobus mit klassischem Gestell
- Leichtgängig drehbar
- Sicherer Stand
- Aufklappbar
- Stauraum für mindestens eine Flasche und ein Glas
- Hochwertige Optik

Kann-Kriterien:

- Abbildung der Kontinente/Küstenlinien
- Ausgewuchtete Kugel (soll an jeder beliebigen Position stehenbleiben, ohne sich wegzudrehen)
- Reversible Verbindungen (zum Austausch von Verschleißteilen)

## 2.3 Konstruktion

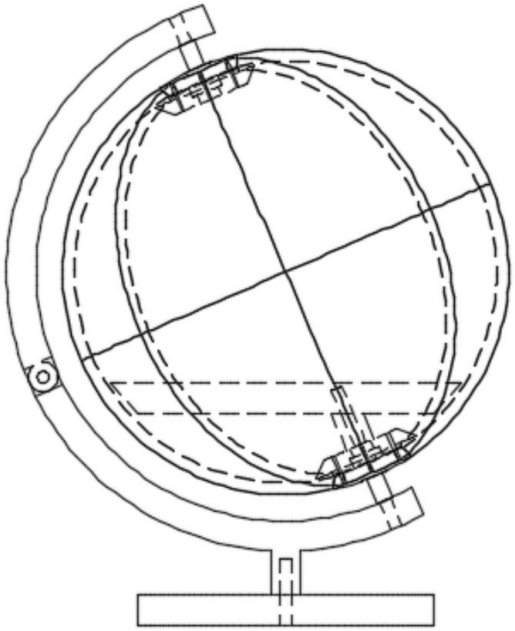

*Abbildung 2: Konstruktion des Globus in AutoCAD*

Bei der Konstruktion bestand die erste Aufgabe darin, eine sinnvolle Unterteilung der Kugel in einzelne Teilstücke zu finden. Die starke Wölbung einer Kugel war unserer Einschätzung nach eines der größten Probleme bei der Formverleimung, da auch 3D-Furniere Verformungen nur bis zu einem gewissen Grad standhalten können, ohne zu reißen. Da die Kugel geöffnet werden soll, stand von Anfang an fest, dass wir diese aus zwei Halbkugeln zusammensetzen wollten, welche durch eingebohrte Magnete zusammenhalten. Diese Halbkugeln unterteilten wir wiederum in jeweils acht sphärische Dreiecke, um die 3D-Verformung der einzelnen Teile auf ein realistisches Maß zu begrenzen (siehe Abb. 3). Dies war jedoch nur eine Annahme, deren Umsetzbarkeit erst durch spätere Versuche überprüft werden konnte. Bei einem Fehlschlag dieser Versuche hätte die Anzahl der Teilstücke beliebig erhöht werden können, um die 3D-Verformung der Einzelteile noch weiter zu verringern.

Auch die Art der Verbindung zwischen diesen einzelnen Teilen stellte eine Aufgabe mit verschiedenen Lösungsmöglichkeiten dar. Hierfür kamen die Verbindung mit Dübeln, die Verwendung einer Feder oder eine stumpfe Verleimung in Frage. Wichtig war dabei eine exakte Positionierung der sphärischen Dreiecke zu gewährleisten und gleichzeitig eine ausreichend starke Verbindung zu schaffen. Da eine Verbindung mit Dübeln oder Federn unweigerlich zu einem größeren Querschnitt der Formteile geführt hätte, entschieden wir uns, die stumpfe Verleimung als vorrangige Möglichkeit in Betracht zu ziehen. Anders als bei den anderen Möglichkeiten musste die Positionierung hierbei ausschließlich über die korrekte Fixierung beim Verleimen realisiert werden. Um die Umsetzbarkeit vorab testen zu können, druckten wir mit einem 3D-Drucker acht sphärische Dreiecke im Maßstab 1:3. Anhand dieser konnten wir feststellen, dass ein durch mehrere Ringe ausgeübter vertikaler Druck eine gute Möglichkeit der Fixierung darstellte (siehe Abb. 4). Durch einen ebenen Untergrund kann so zum einen sichergestellt werden, dass die Unterkannte der Halbkugel

überall bündig ist. Gleichzeitig kann genügend Druck aufgebaut werden, um die Fugen zuverlässig und ohne Versatz zu schließen.

*Abbildung 3: Sphärische Dreiecke im Maßstab 1:3*

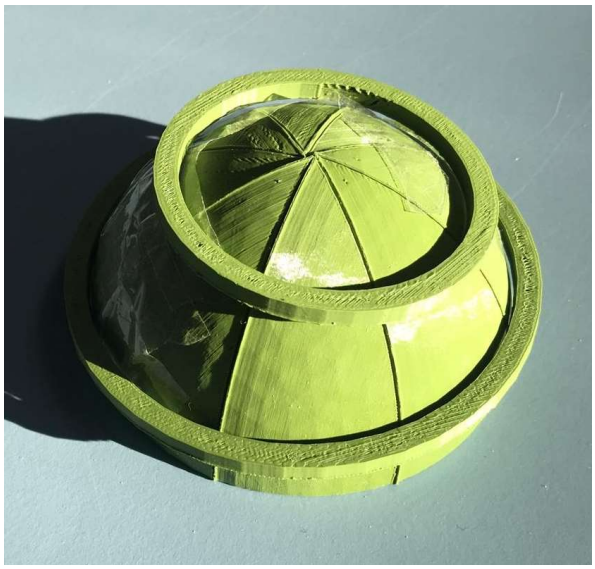

*Abbildung 4: Modell der Halbkugel mit Fixierungsringen*

Um eine ausreichende Leimfläche zu erhalten legten wir die Dicke der Formverleimten Stücke auf ca. 8 mm fest. Dieser Richtwert musste im weiteren Verlauf des Projekts dann noch den Dicken der zu Verfügung stehenden Furniere angepasst werden.

Wir entschieden uns dazu, die Pole der Halbkugeln, durch die die Achse verläuft, auszusparen. So können sich diese beim Verleimen nicht übereinander schieben. Zudem kann die Halbkugel für weitere Bearbeitungsschritte leichter aufgespannt werden. Gleichzeitig kann die Achse an einem separaten Vollholz-Teil befestigt werden, welches wiederum in die passend ausgefräste Aussparung der Halbkugel eingesetzt wird. Zur Befestigung verfügt diese Vollholz-Polkappe über ein Gegenstück, welches von innen verschraubt wird und so den Pol an der Halbkugel festklemmt, ohne verleimt werden zu müssen (siehe Abb.5).

Damit der Globus sich später leichtgängig drehen lässt, entschieden wir uns für den Einsatz von Kugellagern. Diese werden in den Innenteil des Pols eingelassen und durch das Außenteil des Pols festgeklemmt. Die als Globus-Achse dienende Gewindestange wird dabei durch eine Mutter auf der Innenseite und eine Gewindemuffe auf der Außenseite am Innenring des Kugellagers verschraubt. Die beiden Polteile dagegen verklemmen nur den Außenring des Kugellagers, sodass sich die Halbkugeln drehen lassen. Auf der Außenseite des Gestellbogens wird die Gewindestange dann

durch eine Hülsenmutter abgeschlossen, welche die Gewindemuffe fest gegen den Gestellbogen zieht. So entsteht eine spielfreie Verbindung zwischen Gestell und Halbkugel.

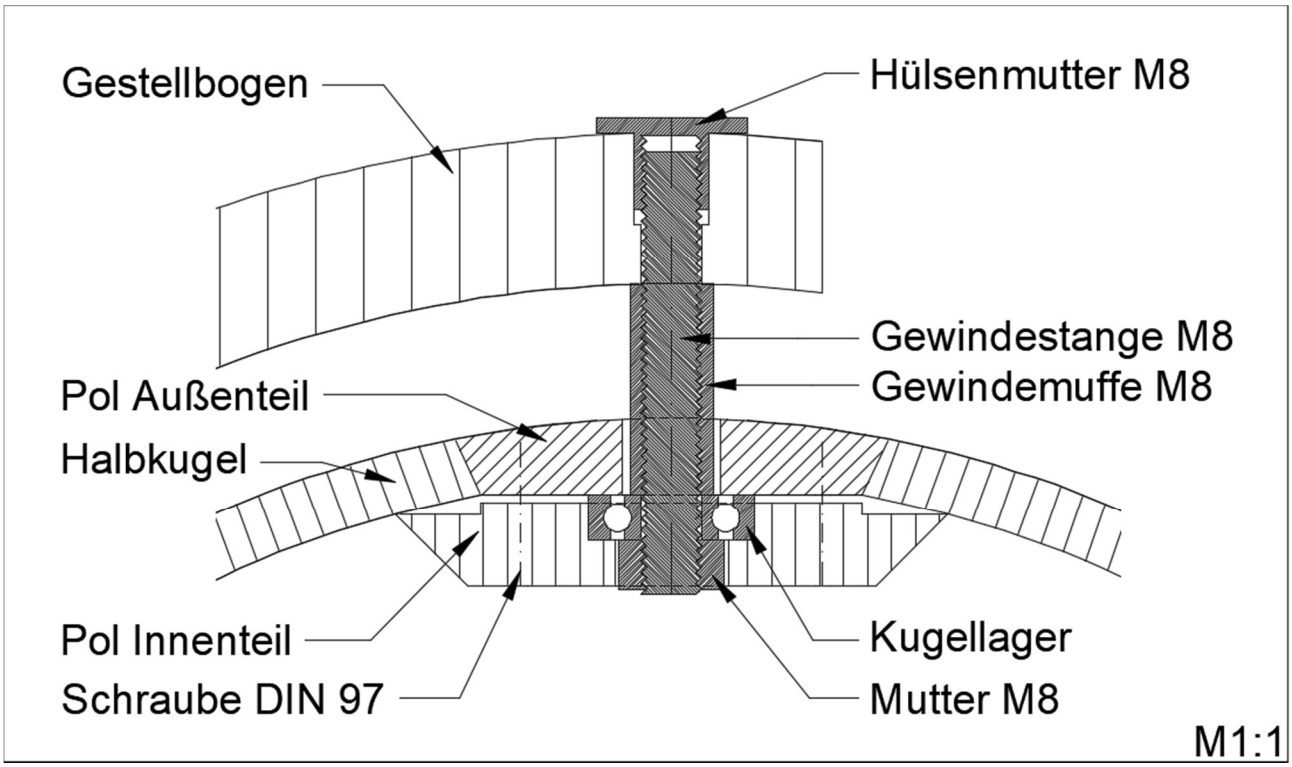


*Abbildung 5: Querschnitt der Achsaufhängung M1:1*

Der Gestellbogen aus Multiplex ist in zwei ineinandergreifende Teile unterteilt (siehe Abb. 6), welche mit einem weiteren Stück Gewindestangen und zwei Hülsenmuttern miteinander verbunden werden. Der Globus lässt sich so aufklappen. Der Winkel, in dem die Nordhalbkugel im aufgeklappten Zustand stehenbleibt, ist dabei durch die rechtwinklige Abkantung der unteren Bogenhälfte begrenzt (siehe Abb. 7).

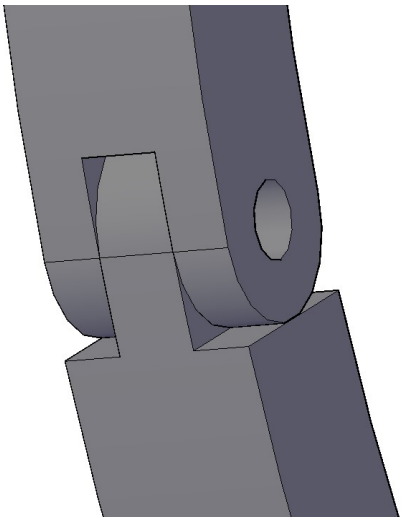

*Abbildung 7: Verbindung der Bogenhälften*

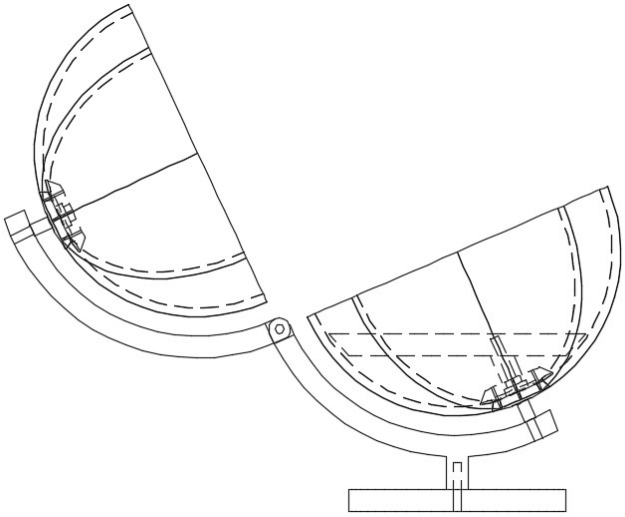

*Abbildung 6: Maximale Öffnung des Globus*

Dieses untere Bogenteil geht darüber hinaus in das Gestellbein über, welches mit dem runden Fuß verschraubt wird. Zu diesem Zeitpunkt konnten wir noch nicht abschätzen, ob der Globus im geöffneten Zustand kippen würde. Daher sahen wir in der Planung vor, auf der Unterseite des Fußes eine Tasche einzufräsen und dort ggf. ein Gewicht zur Stabilisierung einzulassen.

Um den Stauraum im inneren des Globus nutzbar zu machen, musste ein Boden in die Südhalbkugel eingebaut werden. Dieser wird über eine Einschraubmutter an der verlängerten Achse des Globus und damit auch am Gestell fest verbunden. Somit kann sich die Halbkugel drehen, ohne dass sich der Boden mit dreht. Um möglichst viel Platz in der Höhe zu erhalten, sitzt der Boden möglichst tief in der Halbkugel. Dadurch können bis zu 210 mm hohe Flaschen in der Kugel mit einem Innenradius von ca. 142 mm untergebracht werden. Der Boden besteht wie das Gestell aus 20 mm starkem Multiplex. Die Kante ist entsprechend der Wölbung der Kugel abgeschrägt und verfügt ringsum über 5 mm Luft um eine Berührung mit der drehenden Kugel sicher ausschließen zu können.

## 2.4 Zeitplan

Vor Beginn der praktischen Arbeiten musste zunächst ein Zeitplan erstellt werden. Dieses frühzeitige Zeitmanagement sollte zu einer erfolgreichen Bewältigung der Arbeit beitragen. Hierfür wurde im Vorfeld die Produktion der Globen in Teilaufgaben gegliedert und die jeweils benötigte Arbeitszeit eingeschätzt. Da eventuell auftretende Probleme nicht gezielt vorauszusagen sind, wurde darauf geachtet, genügend Zeit für deren Lösung in jeder Woche, sowie weitere Pufferzeit einzuplanen. Da auch im weiteren Verlauf des Projekts keine großen Probleme auftraten, lagen wir bei der Herstellung des ersten Globus stets vor dem Zeitplan. Die genauen Arbeitsfortschritte lassen sich Abbildung 8 entnehmen. Hier ist aufgezeigt, was laut Zeitplan in welcher Woche zu leisten war, was wir tatsächlich in der entsprechenden Woche gemacht haben und für welchen Globus die hergestellten Teile produziert wurden. Aus der Tabelle lässt sich ablesen, dass die Fertigstellung des ersten Globus bereits ca. 5 Wochen vor dem Abgabetermin erreicht wurde. Der Grundkörper in all seinen Funktionsweisen war sogar bereits vor der Weihnachtspause vorhanden. Die beiden weiteren Globen wurden ebenfalls frühzeitig fertiggestellt.

| Zeitplan und Arbeitsfortschritt | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Woche | angestrebte Ziele | tatsächlicher Fortschritt | Globus 1 | Globus 2 | Globus 3 |
| 19.10.2020 | Zeitplan | Zeitplan | | | |
| | Konstruktion | Konstruktion | | | |
| | | Modell der Halbkugel (3D Druck) | | | |
| 26.10.2020 | Pressform | 1. Pressform | | | |
| | Test Formverleimen | Formverleimen (1. Test) | | | |
| | | Formatierform | | | |
| 02.11.2020 | Test Formverleimen | 2. + 3. Pressform | | | |
| | | Formatieren (1.Test) | | | |
| | | Formverleimen (Tests: untersch. Leim, 3D- oder Schälfurnier) | | | |
| | | Entscheidung für 3D-Furnier als Innenlage und Kauritleim | | | |
| 09.11.2020 | Formatierform | Verleimform herstellen | | | |
| | Teile Formatieren | Formverleimen (9 Stk.) | x | | |
| | | Formatieren (9 Stk.) | x | | |
| | | Halbkugel verleimen | x | | |
| 16.11.2020 | Probeverleimen Halbkugel | Formverleimen (18 Stk.) | x | x | |
| | | Formatieren (9 Stk.) | x | | |
| | | Halbkugel verleimen | x | | |
| | | Modell der Pole (3D Druck) | | | |
| | | Polausschnitt fräsen | x | | |
| 23.11.2020 | Teile Produzieren | Haltevorrichtung Pole (innen, außen) | | | |
| | | Pole fräsen (1.Test, Multiplex) | | | |
| | | Formverleimen (12 Stk.) | | x | x |
| | | Formatieren (18 Stk.) | | x | |
| | | Halbkugel verleimen (2 Stk.) | | x | |
| 30.11.2020 | Puffer | Formverleimen (12 Stk.) | | | x |
| | | Formatieren (18 Stk.) | | | x |
| | | Halbkugel verleimen (2 Stk.) | | | x |
| 07.12.2020 | Halbkugeln verleimen | Haltevorrichtung Bögen | | | |
| | | Bögen (1. Test) | x | | |
| | | Fuß (1. Test) | | | |
| | | Boden (1. Test) | | | |
| | | Test-Zusammenbau | x | | |
| 14.12.2020 | Haltevorrichtung bauen | Neukonstruktion Innenboden | | | |
| | Ausschnitt fräsen | Bögen | | x | x |
| | | Füße | | | |
| | | Innenböden | x | x | x |
| | | Pole fräsen (Eiche) | x | x | x |
| | | Kontinente (Test auf Einzelteil) | | | |
| | | Polausschnitt fräsen | | x | x |
| | | Bohrschablone | | | |
| | | Magnete einsetzen | x | | |
| | | Haltevorrichtung Halbkugel | | | |
| | | Kontinente fräsen | x | | |
| 21.12.2020 | Frei | HAWK Betriebsurlaub | | | |
| 28.12.2020 | Frei | HAWK Betriebsurlaub | | | |
| 04.01.2021 | Haltevorrichtung Pole | Quarantäne | | | |
| | Pole Fräsen | | | | |
| 11.01.2021 | Haltevorrichtungen bauen | Quarantäne | | | |
| 18.01.2021 | Sokel, Innenboden und Bogen fräsen | Magnete einsetzen | | x | x |
| | | Kontinente fräsen | | x | |
| | | Neukonstruktion Fuß (Kreistasche für Stahlplatte) | x | x | x |
| | | Schriftzug lasern | x | x | x |
| | | Kontinente nachziehen (Lack) | x | | |
| 25.01.2021 | Montage | Kontinente fräsen | | | x |
| | Oberfläche | Oberfläche, Montage | x | | |
| | | Kontinente nachziehen (Lack) | | x | x |
| | | Bögen nachbohren | | x | x |
| | | Pole einsetzen, Testzusammenbau | | x | x |
| | | Oberfläche | | x | x |
| 01.02.2021 | Puffer | Montage | | x | x |
| 08.02.2021 | Puffer | | | | |
| 15.02.2021 | Puffer | | | | |
| 22.02.2021 | Abgabe | | | | |

*Abbildung 8: Zeitplan und Arbeitsfortschritt*

# 3. Halbkugel

Das Herzstück des Globus bildet die Weltkugel, welche aus formverleimten Halbkugeln bestehen sollte (siehe Kapitel 2.3 Konstruktion). Die zwei Hälften sollten aus jeweils acht sphärischen Dreiecken zusammengesetzt werden. Um zu testen, ob das Furnier dieser Verformung standhalten würde, musste eine erste Pressform hergestellt werden.

*Abbildung 9: Halbkugeln mit eingesetzten Polen*

## 3.1 Pressform

Die Pressform stellten wir aus Multiplex her. Um das Material an der CNC-Maschine in die gewünschte Form zu bringen, wurden zunächst mit dem Programm AlphaCAM die Fertigungsdaten generiert.

Der Grundkörper der Pressform wurde in AutoCAD erstellt. Hierfür wurde eine Kugel gezeichnet, die den Globus darstellte. Diese Kugel wurde mit einer Wandstärke versehen, da der Radius der unteren Pressform an den Innenradius und die obere Form an den Außenradius der Kugel angepasst sein müssen. Die Wandstärke wurde nach innen gesetzt, sodass der Außendurchmesser von 300 mm unverändert blieb. Anhand der Anzahl, der zu verwendenden Furnierschichten konnte die Wandstärke ermittelt werden. Hier entschieden wir uns für sieben Furnierschichten, da an einem späteren Zeitpunkt stirnseitige Bohrungen von 4 mm Durchmesser vorgesehen waren. Das verwendete 3D-Furnier hatte eine Stärke von 1,2 mm pro Lage, was bei sieben Lagen eine Materialstärke von 8,4 mm ergibt. Die dementsprechend gestaltete Kugel mit einer Wandstärke von

8,4 mm wurde anschließend von einem Quader abgezogen, sodass zwei Hälften entstanden (siehe Abb. 10). Diese Hälften bildeten bereits unsere Pressform und wurden noch durch Bohrungen für die Führungsstifte, sowie weitere kleine Anpassungen ergänzt. Anschließend wurden die AutoCAD Dateien (.dwg) in AlphaCAM geladen, um die Fertigungsinformationen für die Maschine zu generieren. Der sogenannte Solid wurde so platziert, dass eine Ecke am Ursprung des Koordinatensystems lag. Um den Solid wurde anschließend ein Konstruktionsquader als Rohteil erstellt. Dieser Rohteil entsprach den Maßen der angefertigten Multiplex-Blöcke. Anschließend wurden die NC-Daten generiert.

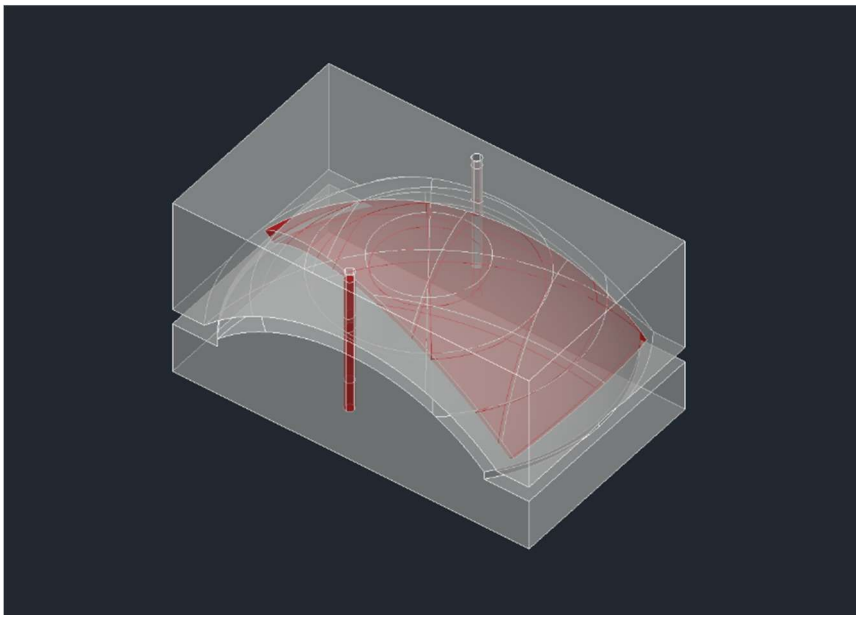

*Abbildung 10: AutoCAD-Zeichnung der Pressform*

Zunächst wurde der Befehl Z-Ebenen Schruppen benutzt, um das überschüssige Material abzutragen. Dabei wurde ein Aufmaß von 2 mm zum Solid-Körper gewählt, sodass der hier verwendete 20 mm Schruppfräser nicht die spätere Oberfläche beschädigt. Bei einer maximalen Schnitttiefe von 7 mm wurde konturparallel die Grundform freigelegt. Das restliche Material wurde mittels eines 20 mm Kugelfräsers und dem Befehl Z-Ebenen in Bezug auf die Solid-Oberfläche abgetragen (siehe Abb. 11 und 12). Bei einer Rillenhöhe von 0,03 mm wurde so eine ausreichend glatte Oberfläche geschaffen. Die zurückbleibenden Rillen, die trotz der Verwendung eines Kugelfräsers entstehen, ließen sich später herausschleifen. Für die Bohrungen der Führungsstifte wurde ein passender 8 mm Bohrer verwendet. Zu beachten war hier, dass die Löcher tiefer sind, als die Aluminium-Führungsstifte, die wir verwendeten. Mit den so erstellten NC-Pfaden wurde die erste Pressform gefräst und für Pressversuche benutzt. Die Versuche zeigten, dass die Pressform

funktioniert. Daher wurden zwei weitere dieser Formen hergestellt, um mehr Formteile gleichzeitig fertigen zu können.

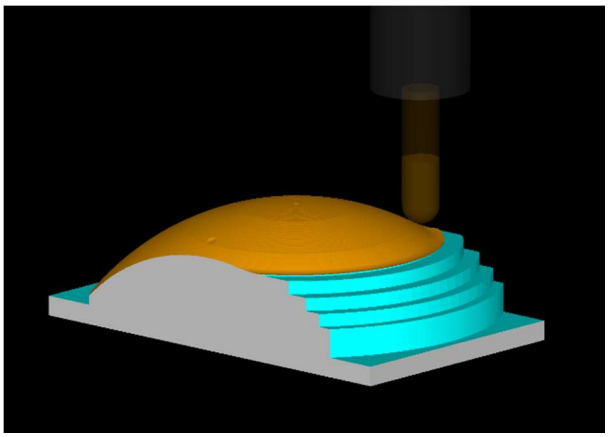

*Abbildung 11: AlphaCAM-Simulation der Pressformfertigung*

*Abbildung 12: Bearbeitung des Werkstücks mit dem Kugelfräser*

## 3.2 Pressversuche

Um zu prüfen, ob die 3D-Verformung mit einem Außenradius von 300 mm und einer Materialstärke von 8,4 mm ohne Risse im Furnier und Verformungen funktioniert, wurden mit der ersten Pressform einige Versuche durchgeführt.

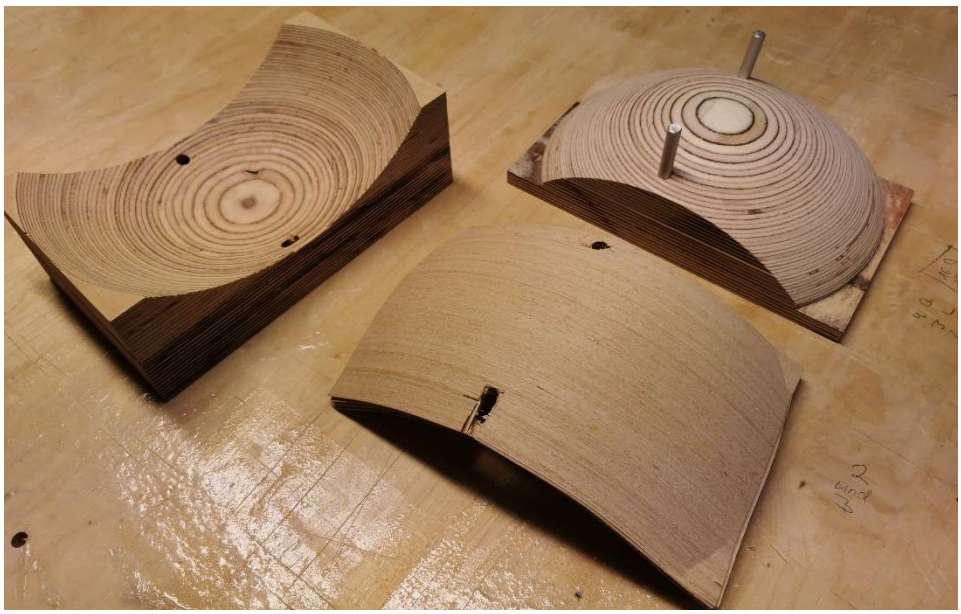

*Abbildung 13: Pressform und Formverleimtes Werkstück*

Der erste Versuch bestand aus 3D-Frunier als Innen- und Außenlagen sowie Weißleim (siehe Abb. 13). Hierbei wurde die Form mit einer Buchpresse verpresst. Das Formteil behielt soweit sichtbar die Form und zeigte keinerlei Risse. Um bei den weiteren Versuchen einen einheitlichen Druck zu

gewährleisten, wurden diese an einer hydraulischen Stempelpresse durchgeführt. Hier ließ sich der Druck genau regulieren. Zunächst wurde der erste Versuch mit denselben Komponenten an der neuen Presse durchgeführt. Anschließend wurde der Weißleim durch Kauritleim ersetzt um die Formhaltigkeit in Bezug auf den verwendeten Leim zu überprüfen. Sichtbare Unterschiede traten hier nicht auf, jedoch war das Versuchsobjekt mit Kauritleim biegesteifer als jenes mit Weißleim. Deshalb entschieden wir uns für die Nutzung von Kauritleim.

Da wir von Beginn an als Füllfurnier ebenfalls 3D-Furnier benutzt hatten und die Versuche sehr vielversprechend verliefen, sollte nun auch ein Test mit Schälfurnier als Innenlagen durchgeführt werden. Grund hierfür war, dass Schälfurnier in der Regel günstiger im Einkauf ist und untersucht werden sollte, ob eine kostengünstigere Produktion realisierbar wäre. Im Versuch ließen sich zunächst keine sichtbaren Unterschiede in der Formhaltigkeit erkennen. Daher formatierten wir die zu vergleichenden Teststücke (siehe Kapitel 3.3 Formatieren). Nach dem Formatieren wurden die sphärischen Dreiecke nacheinander auf die Pressform gelegt, um zu untersuchen, ob sie noch exakt aufliegen. Beim Testobjekt mit Schälfurnier stellten wir leichte Verformungen fest (siehe Abb.14), die sich nach zwei Tagen weiter verstärkte, während das 3D-Furnier sich verformungsfest erwies (siehe Abb. 15). Deshalb wurde im weiteren Projektverlauf mit 3D-Furnier weitergearbeitet. Da hierbei auch nach einigen Tagen keine große Verformung zu erkennen war, benötigten wir keine Konditionierform.

*Abbildung 15: Verformung bei der Verwendung von Schälfurnier*

*Abbildung 14: Verformung bei der Verwendung von 3D-Furnier*

Für die letztendlich verwendeten Formteile wurden Deckschichten aus 3D-Eichenfurnier und Innenlagen aus 3D-Füllfurnier verwendet, die mit Kauritleim unter 400 Bar (laut Anzeige) verpresst wurden, was einem Werkstückpressdruck von ca. 150 N/cm² entspricht. Dieser hohe Druck war notwendig, da bei weniger Krafteinwirkung die Furnierlagen sichtbar nicht aufeinandergepresst

wurden. Die geringförmige Komprimierung der Formteile auf ca. 8 mm zeigte im weiteren Verlauf keine Nachteile auf.

Mittels der drei Pressformen konnten pro Tag drei Formteile gleichzeitig hergestellt werden (siehe Abb. 17), da wir die Formen stets über Nacht in der Presse ließen. Für eine Halbkugel benötigten wir dementsprechend drei Tage und hatten ein zusätzliches Ersatzteil. Dieses konnte verwendet werden, falls es beim Formatieren zu einer Beschädigung kommen sollte. Solch ein Ersatzteil produzierten wir für jede Halbkugel, da wir stets durchgängige Furnierbilder verwendeten (siehe Abb. 16) und sich die Farben verschiedener Furnierblätter unterscheiden könnten.

*Abbildung 17: Durchgehendes Furnierbild der Deckschicht*

*Abbildung 16: Drei Pressformen übereinander in der hydraulischen Presse*

## 3.3 Formatieren

*Abbildung 18: Vakuum-Spannvorrichtung*

Um die formverleimten Werkstücke in die gewünschte Dreiecksform zu bringen, wurde eine weitere Form hergestellt, die das dreidimensionale Werkstück mittels Vakuum auf dem Frästisch fixiert. Diese Form wurde von der Unterhälfte unserer Pressform abgeleitet, da diese exakt dem Innenradius der Formteile entspricht. Um ein Vakuum zu erzeugen, durfte das Werkstück nur zum Teil auf der Form aufliegen. Die weiteren Bereiche

wurden 3 mm abgesetzt, so wurde ein Vakuum zu ermöglichen. Als Auflage ließen wir einen 5 mm starken Bereich stehen, welcher mit seiner Außenkante dem formatierten Werkstück entspricht (siehe Abb. 18). Innerhalb der Auflagefläche wurde eine Nut von 4mm und einer Tiefe von ca. 3,6mm eingebracht. Diese diente zur Fixierung eines Moosgummis, welches den Bereich abdichtete. In der Mitte der Form wurde eine Bohrung eingebracht, welche mit einer weiteren seitlichen Bohrung verbunden wurde. Da hier die Bohrer der Maschine nicht ausreichend lang waren, wurden die Bohrungen an der Ständerbohrmaschine vollendet. Hierbei kam es nicht auf Genauigkeit an, da nur ein durchgehender Hohlraum geschaffen werden musste, um das Vakuum zu ermöglichen. In die seitliche Bohrung wurde ein Vakuumschlauch gesteckt, welcher aufgrund der Passgenauigkeit ohne weitere Verbindungsmittel in der Form festhielt. Dieser Vakuumschlauch konnte dann für das Formatieren am Vakuumkreis 2 der Maschine angeschlossen werden, während der Vakuumkreis 1, also der Maschinentisch, die Form mittels Saugern fixierte (siehe Abb.19).

Zum Formatieren wurde ein entsprechender NC-Pfad erstellt. Dieser bezog sich auf die Außenkante der Auflagefläche des Werkstücks. Dabei war zu beachten, dass die Orientierung des Werkzeugs auf „Außen" zu setzen war, da sonst die Maße des formatierten Werkstücks abweichen würden. Für diese dreidimensionale Bearbeitung projizierten wir die Geometrie der Außenkante auf eine Arbeitsebene, erstellten den NC-Pfad und projizierten diesen wiederum auf die dreidimensionale Oberfläche des Solid-Körpers. Dabei wurde die Funktion „Normal zu Solid" gewählt, welche bewirkt, dass der Fräser an jeder Stelle, auch bei Krümmungen, exakt senkrecht auf dem Werkstück steht. Um keinen übermäßigen axialen Druck auf das aufgespannte Formteil auszuüben, wählten wir einen Fräser mit einem geringen Durchmesser und mehrere Zustellungen. Hierbei fiel die Wahl auf einen 4 mm Schlichtfräser und eine Eintauchtiefe von 3 mm pro Zustellung. Die letzte Zustellung stellten wir so ein, dass bis 2 mm unterhalb der Auflagefläche gefräst wurde. Dies sollte bewirken, dass die meist etwas stumpfe Spitze des Fräsers keine Ausrisse an der Innenseite der Formteile verursacht.

Bei der Durchführung der ersten Tests zum Formatieren bemerkten wir schnell, dass solche Ausrisse auch an der Oberfläche während der ersten Zustellung des 4 mm Fräsers auftraten. Um dem vorzubeugen ergänzten wir das Programm um einen weiteren NC-Pfad. Hierbei wurde mittels eines 1,3 mm Fräser die Kontur vorgeritzt und die äußerste Furnierlage durchtrennt. So konnten ein Ausreißen und Aufstellen einzelner „Stäbe" des 3D-Furniers verhindert und ein optimales Ergebnis erzielt werden (siehe Abb.20).

*Abbildung 19: Fixierung des formverleimten Werkstücks bei der Formatierung*

*Abbildung 20: Formatiertes Teststück*

## 3.4 Verleimen

Um die acht Einzelteile einer Halbkugel zum Verleimen sicher positionieren zu können, entwickelten wir eine Verleimform. Wie schon durch unser 3D-Druck-Modell bekannt, war für die bündige Verleimung vor allem ein ringförmig verteilter, vertikaler Druck und ein planer Untergrund notwendig. Damit die einzelnen Teile beim Verleimen darüber hinaus nicht nach außen wegrutschen konnten, frästen wir eine Tasche mit dem Außendurchmesser der Halbkugel in eine Grundplatte. Der Boden der Tasche wurde dabei so weit wie möglich entfernt, um die eingespannte Halbkugel später auch von der Unterseite kontrollieren und überquellenden Leim noch im frischen Zustand entfernen zu können. An einem mittig angeordneten Steg brachten wir eine Gewindestange mit einem runden Stück Multiplex an. So konnten die Einzelteile komfortabel abgestellt werden und nicht nach innen wegkippen (siehe Abb. 21). Weitere vier Gewindestangen auf der Außenseite der Halbkugel dienten hingegen dazu, zwei kreisförmig ausgefräste Platten aufzunehmen. Diese wurden mit Flügelmuttern verschraubt und erzeugten so den nötigen Pressdruck. Auch auf die mittige Gewindestange konnte ein der Wölbung entsprechendes Stück Multiplex aufgefädelt und mit einer Flügelmutter fixiert werden. Schon beim ersten Verleimversuch entstand so eine Halbkugel, die auch später für einen Globus verwendet werden konnte. Durch den auf mehrere Ebenen verteilten Druck konnten alle Fugen bündig geschlossen werden. Als besonders hilfreich erwies sich dabei, erst das Pressstück der mittigen Gewindestange anzuziehen, da so schon erstaunlich viel Druck erzeugt werden konnte. Überquellender Leim auf der Außenseite konnte daraufhin entfernt werden, noch bevor die anderen

beiden Platten zum Pressen angezogen wurden. Ein gleichmäßiges Anziehen aller drei Pressstücke war allerdings unbedingt nötig, um eine möglichst runde Kugel zu erzeugen (siehe Abb. 22).

*Abbildung 21: Bestückung der Verleimvorrichtung*

*Abbildung 22: Fixierung der Halbkugel beim Verleimen*

## 3.5 Pole

Die Pole zur Verbindung der Halbkugel mit der Achse bestehen aus einem Innen- und einem Außenteil (siehe Kapitel 2.3 Konstruktion). Um die Konstruktion auf ihre Umsetzbarkeit zu testen und um die genauen Maße zu überprüfen, druckten wir die beiden Teile zunächst mit dem 3D-Drucker aus (siehe Abb. 23 und 24). Auch die Halbkugel musste entsprechend formatiert werden. Dazu wurde die Halbkugel in die Verleimform ohne die mittige Gewindestange eingespannt. Anschließend konnte das Loch dann mit einem Schlichtfräser auf das benötigte Maß gebracht werden. Das erste Zusammensetzen bewies die Funktionsfähigkeit des Prinzips. Die Konstruktion musste mit Ausnahme des etwas zurückspringenden Außenteils nicht mehr verändert werden.

*Abbildung 24: 3D-gedrucktes Pol-Außenteil*

*Abbildung 23: 3D-gedrucktes Pol-Innenteil*

Da die beiden Teile jedoch sehr klein sind, mussten wir zum Ausfräsen Formen anfertigen, die das Werkstück auch ohne Vakuum sicher halten können. Außerdem war eine beidseitige Bearbeitung der Teile unumgänglich. Daher entschieden wir, die Bearbeitungsschritte der einen Seite jeweils an größeren Rohteilen auszuführen. Diese ließen sich problemlos mit den Saugern aufspannen. Unter anderem wurden bei dieser ersten Bearbeitung die Löcher für die Achse gebohrt. Anschließend schnitten wir die Teile an der Formatkreissäge so zu, dass diese mit einer Gewindeschraube und einer Mutter auf eine entsprechende Form aufgespannt werden konnten (siehe Abb. 25). Daraufhin konnten die Bearbeitungsschritte der anderen Seite ausgeführt werden und das Werkstück formatiert werden (siehe Abb. 26). Dieses Vorgehen wendeten wir sowohl für die Innenteile aus Multiplex, als auch für die Außenteile aus Eiche an.

*Abbildung 26: Auf der Formatkreissäge zugeschnittene Polteile mit einseitiger Bearbeitung*

*Abbildung 25: Fertig formatiertes Pol-Außenteil*

## 3.6 Magnete

Die Halbkugeln sollten wie zu Beginn festgelegt mit Magneten zusammengehalten werden. Dafür sahen wir Scheibenmagnete mit einem Maß von 4x4 mm und einer Haltekraft von 650g pro Stück vor. Jeweils vier Stück sollten in die Kanten der Halbkugeln eingebohrt werden. Um einen exakten Verlauf der Fugen zu gewährleisten und die Bohrungen möglichst mittig und senkrecht zur Kante einzubringen, fertigten wir eine Schablone an (siehe Abb. 27). Dafür frästen wir eine runde Platte mit dem Außendurchmesser der Halbkugeln aus. Diese versahen wir mit entsprechend platzierten Bohrungen für die Magnete und einer mittigen Bohrung zur Aufnahme einer Gewindestange. Anschließend markierten wir mit einem Strich auf der Kante der Schablone die Position einer Fuge der Halbkugel. Mit Hilfe der Gewindestange, welche durch die Aussparung der Achse gefädelt wurde, konnte die Schablone nun auf eine Halbkugel aufgespannt und mit einer Flügelmutter fixiert werden. Eine genaue Ausrichtung war dabei durch die Markierung der Fuge möglich. Um einen Versatz zwischen den beiden Halbkugeln ausschließen zu können, wurde nach dem Bohren der einen

Halbkugel die Schablone gedreht und die zweite Halbkugel auf der anderen Seite, ebenfalls an der Markierung festgespannt.

Die Magnete konnten dann in die Löcher eingepresst werden (siehe Abb. 28). Dabei achteten wir darauf, dass jeweils zwei nebeneinander positionierte Magnete mit derselben Polung eingesetzt wurden, während wir die anderen beiden Magnete andersherum verpressten. So wurde sichergestellt, dass die Halbkugeln später nur in einer einzigen Position zusammenpassen würden, da sich sonst immer mindestens ein Magnetpaar abstoßen würde.

*Abbildung 28: Bohrschablone für die Magnete*

*Abbildung 27: Magnet in vorgesehener Bohrung vor dem Einpressen*

## 4. Gestell

Die drei Teile des Gestells fertigten wir aus Multiplex. Hierbei war hauptsächlich eine 3-achsige Bearbeitung nötig.

Da die Bögen des Gestelles sehr schmal sind, frästen wir diese in zwei Arbeitsschritten aus. Zunächst wurde die Kontur auf der CNC gefräst. Dabei durchtrennten wir die Platte jedoch nicht, sondern ließen 2 mm stehen. So konnte das Werkstück problemlos mit den Vakuumsaugern gehalten werden. Anschließend frästen wir die Bögen mit einer Oberfräse und einem Bündigfräser aus. Die so entstandenen Werkstücke hatten eine Überlänge, welche im nächsten Schritt auf das exakte Maß gekürzt wurde. Hierfür stellten wir eine Form her, in die die Bögen eingelegt und mit Kniehebelspannern fixiert werden konnten (siehe Abb. 29). Um auch seitliche Bearbeitungen, wie das Bohren der Achslöcher oder das Ausfräsen des Schlitz-und-Zapfen-Gelenks zu ermöglichen, musste

die Form recht lang sein. Nur so konnte der nötige Abstand zum Anschlag des Werkstücktisches gewahrt werden (siehe Abb. 30).

*Abbildung 30: Spannvorrichtung für die Bearbeitung der Bögen*

*Abbildung 29: Stirnseitige Bearbeitung der Bögen*

Der Fuß des Gestells konnte hingegen direkt auf der CNC ausgefräst werden. Nach ersten Versuchen mit dem zusammengesetzten Globus stellte sich heraus, dass dieser zwar aufgeklappt stehen blieb, jedoch recht einfach umgestoßen werden konnte. Daher wurde auf der Unterseite des Fußes eine Tasche für eine schwere Metallplatte ausgefräst (siehe Abb. 31). Mit diesem zusätzlichen Gewicht stand der Globus dann sehr stabil.

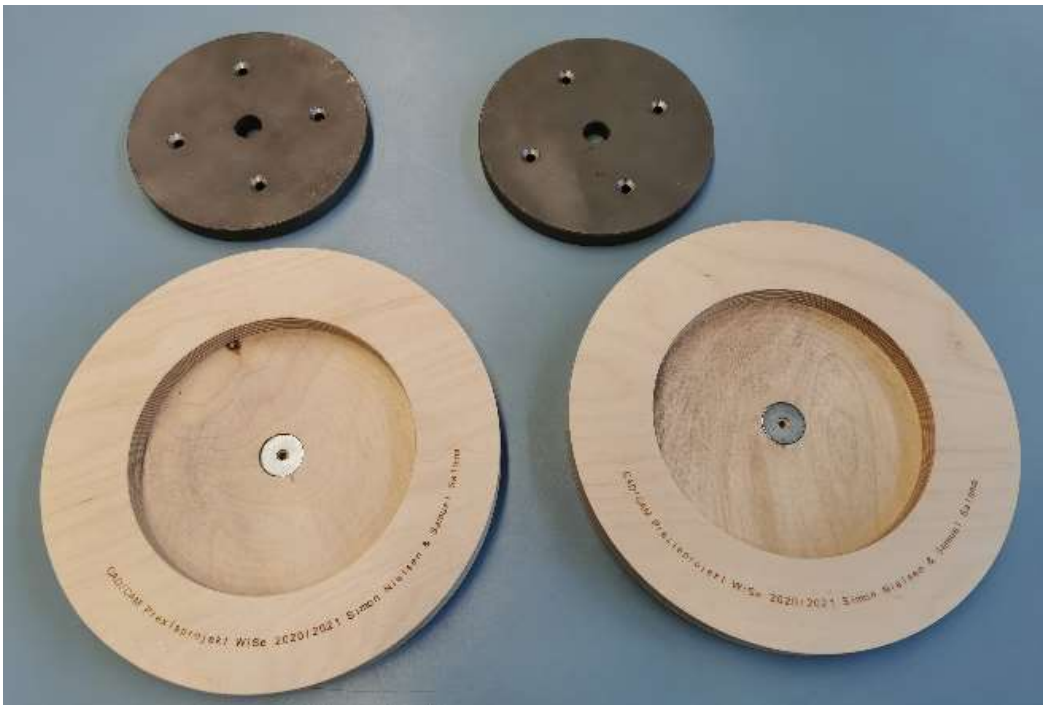

*Abbildung 31: Fuß des Globus mit Kreistasche für ein Gewicht*

## 5. Innenboden

Der Innenboden stellte eine größere Herausforderung dar. Dieser konnte nur an der Achse befestigt werden, durfte jedoch nicht nachgeben, um nicht an der drehbaren Halbkugel zu schleifen. Außerdem sollte er sich nicht verdrehen lassen. Nach einem ersten Versuch wurde schnell klar, dass unsere ursprünglich geplante Konstruktion mit einem kleinen Passstück zwischen Innenboden und der Mutter der Achse zu fragil war (siehe Abb. 32). Auch das gerade Einschrauben einer Gewindemuffe gestaltete sich schwieriger als erwartet. Um dem entgegen zu wirken und gleichzeitig noch ein wenig mehr Gewicht unterhalb des Schwerpunktes zu erhalten, ersetzten wir das kleine Passstück gegen ein großes Dreieck aus 40 mm starkem Multiplex (siehe Abb. 33). Dieses bot dem Boden selbst wesentlich mehr Auflagefläche und konnte mit diesem verschraubt werden. Zur genauen Positionierung frästen wir eine 2 mm tiefe Tasche auf der Unterseite des Innenbodens ein, in die das Dreieck eingelassen werden konnte. Darüber hinaus ließ sich die Gewindemuffe durch die größere Fläche wesentlich kontrollierter einschrauben.

*Abbildung 32: Erste Konstruktion des Innenbodens*

*Abbildung 33: Neukonstruktion mit dreieckiger Stütze aus Multiplex*

## 6. Kontinente

Da wir gut in unserem Zeitplan lagen, blieb uns genügend Zeit, uns mit dem Einfräsen der Kontinente zu beschäftigen. Um eine Bearbeitung der Halbkugeln zu ermöglichen, mussten zuvor einige Probleme gelöst werden. Neben der Frage, wie es möglich ist die Weltkarte als Polylinien um die Halbkugeln zu legen und der Wahl eines geeigneten Fräsers, musste auch eine Lösung gefunden werden, diese auf dem Frästisch zu fixieren.

Hierfür wurde eine Vorrichtung gebaut (siehe Abb. 35). Die Grundplatte hierbei sollte rechtwinklig sein, da sie an den Anschlag der Maschine gelegt werden sollte. Auf die Grundplatte wurden Füße geschraubt, da eine Horizontale Bearbeitung der Halbkugel auf Höhe der Sauger nicht funktioniert

hätte. Es musste beachtet werden, dass der Arm und die Werkzeugaufnahme der CNC-Maschine anderenfalls mit dem Frästisch kollidieren würden. Auf diese Füße wurde eine weitere Platte geleimt, welche erst im verleimten Zustand auf der Maschine plan gefräst und formatiert wurde. So war eine exakte Positionierung der Halbkugeln möglich. Um diese nun auf der Vorrichtung zu fixieren, wurde eine Gewindestange benutzt. Diese wurde mittels Muttern an der runden Grundplatte fixiert, sodass mithilfe eines äußeren Polteils und einer weiteren Mutter Druck auf die Halbkugeln ausgeübt werden konnte.

Bei der Positionierung der Halbkugeln auf der Haltevorrichtung musste zudem beachtet werden, dass die Fugen der jeweils acht Einzelteile zweier Halbkugeln wie auch die Konturen der Küstenlinien zusammenpassen sollten. Hierfür wurde mit einem 0,5 mm Fräser eine Markierung in der Vorrichtung eingebracht (siehe Abb. 34). Diese diente zum einen der zuvor genannten Positionierung als auch der Orientierung für die Anordnung der Karte. Die markierte Stelle kennzeichnete dabei den Nullmeridian, sodass dieser in Form einer Fuge dargestellt wird.

*Abbildung 34: Markierung für die Positionierung des Nullmeridians*

*Abbildung 35: Aufgespannte Halbkugel bereit für die Bearbeitung*

Als Vorlage für die zu fräsenden Kontinente nutzten wir eine als Sample in AutoCAD hinterlegte Weltkarte aus 2D-Polylinien. Um diese Karte nun auf eine dreidimensionale Kugel legen zu können, musste zunächst das Microsoft VBA Modul für AutoCAD installiert werden. Anschließend konnte mit dem ebenfalls bereits hinterlegten VBA-Makro "Map2Globe Plus" (siehe Abb. 36) die Karte in 3D-Polylinien umgewandelt werden.

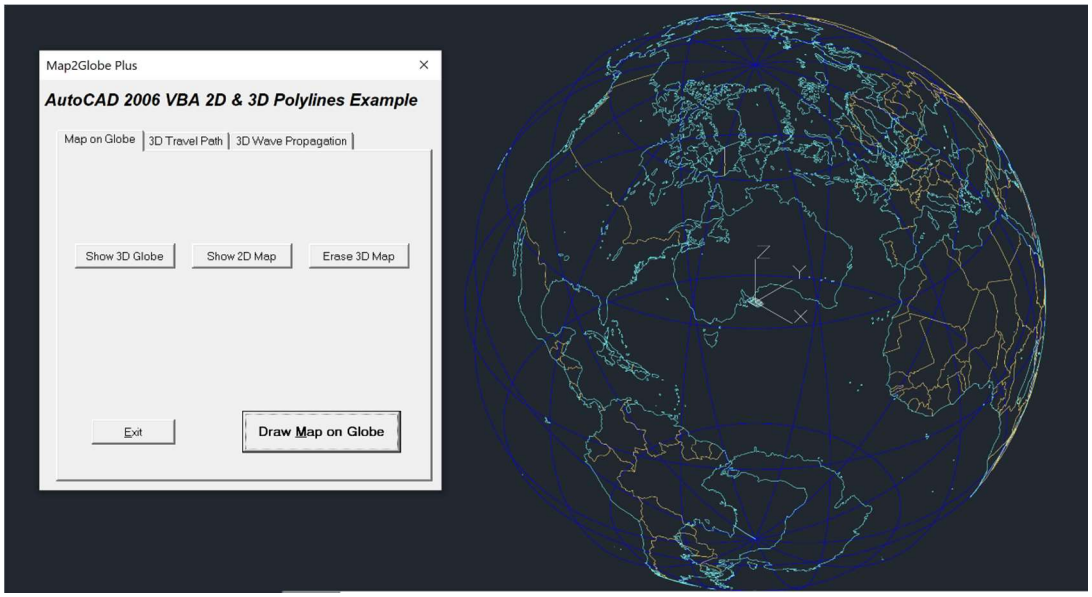


*Abbildung 36: VBA-Makro „Map2Globe Plus" in AutoCAD*

Nachdem die Polylinien In AutoCAD auf die Halbkugeln gelegt wurden, konnten diese Dateien in AlphaCAM geladen und an der richtigen Stelle positioniert werden. Die Maße hierfür waren der Bearbeitung der Haltevorrichtung zu entnehmen. Anschließend wurden die Polylinien auf eine Arbeitsebene projiziert und die NC-Pfade erstellt (siehe Abb. 37). Hierbei wählten wir die Konturbearbeitung, und setzten die Werkzeugorientierung auf „Mitte". Bei der Wahl des Fräsers wurde zunächst an einen spitz zulaufenden Schriftenfräser gedacht.

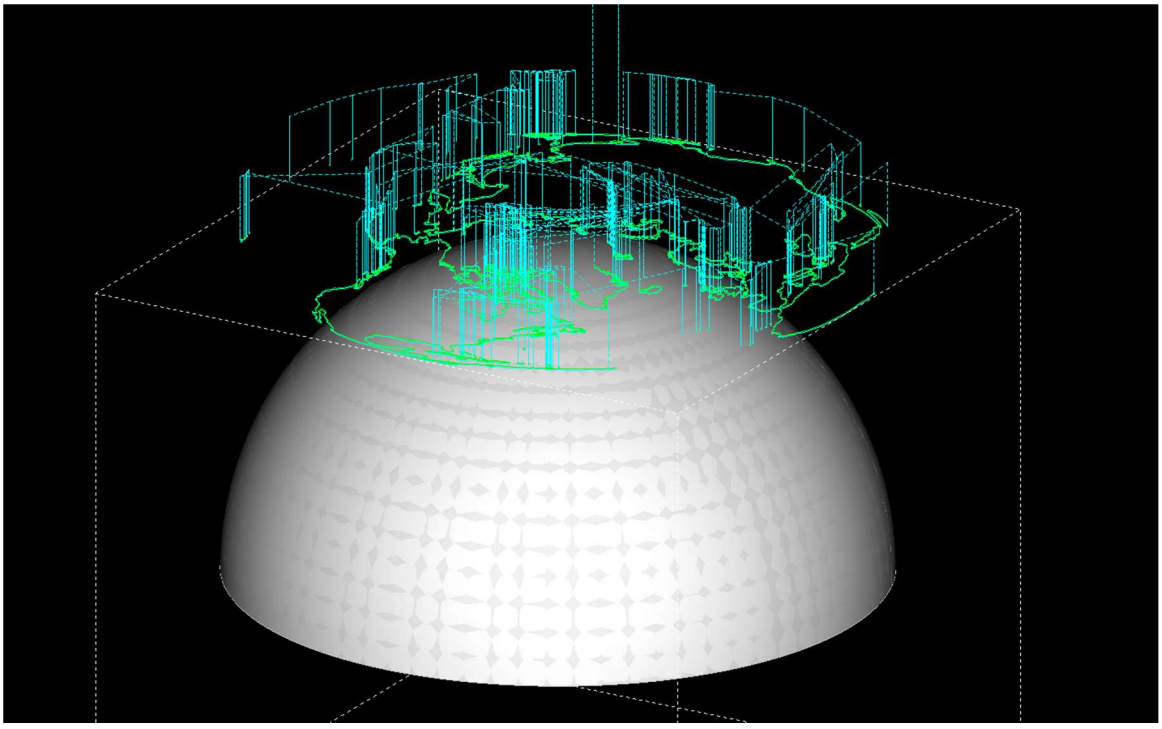

*Abbildung 37: NC-Pfade auf der Arbeitsebene*

Da jedoch nicht davon auszugehen war, dass jede Halbkugel einen perfekten Halbkreis bildet und an jeder Stelle exakt den gewünschten Radius hat, wäre dies nicht passend gewesen. Die Breite der Konturen ist bei diesem Fräser abhängig von der Frästiefe, weshalb das Ergebnis in diesem Fall nicht optimal sein konnte. Aufgrund dessen musste ein zylindrischer Schlichtfräser gewählt werden, welcher die sehr feingliedrigen Konturen der gewünschten Karte umsetzen konnte. Hierbei fiel die Wahl auf den kleinstmöglichen Fräser, der uns zur Verfügung stand, einen 0,5 mm Schlichtfräser. Die Frästiefe stellten wir Testweise auf 0,5 mm bei einem sehr geringen Vorschub von 2,5 m/min, wovon wir mittels manueller Regelung jedoch nur 70% abfahren ließen. Nach einem Test auf einem Probesegment stellte sich heraus, dass diese Einstellungen das gewünschte Ergebnis lieferten. Die so erstellten NC-Pfade wurden anschließend von der Arbeitsebene wieder zurück auf die Solid-Oberfläche projiziert, wobei die Einstellung „Normal zur Oberfläche" gewählt wurde. Hier war es besonders wichtig, sich die Eilgänge in AlphaCAM anzeigen zu lassen, da der Fräser sonst an einigen Stellen quer durch die Halbkugel gefahren wäre, um auf der anderen Seite zu fräsen. So mussten die einzelnen NC-Pfade in eine bestimmte Reihenfolge gebracht werden, damit sich der Fräser nach und nach um die Halbkugel herumarbeitet.

Mit diesen Einstellungen wurde die erste Halbkugel bearbeitet. Dabei fiel auf, dass sich die Vermutung der nicht exakt gewölbten Halbkugeln bestätigte. Während an einigen Stellen die tatsächliche Tiefe der Nut deutlich größer als die angegebenen 0,5 mm war, drang an anderen Stellen die Spitze des Fräsers nicht in das Material ein. So wurden anschließend die Konturen der Weltkarte in einzelne Abschnitte unterteilt, damit einige Stellen individuell mit einer angepassten Tiefe nachbearbeitet werden konnten. Mit diesen individuellen Anpassungen an jeder Halbkugel der drei Globen gelang es schließlich ohne weitere Komplikationen, die Küstenlinien in die Weltkugeln zu fräsen (siehe Abb. 38).

*Abbildung 38: Fräsvorgang der Kontinente*

Um die Konturen besser hervorzuheben, füllten wir die Nut mit schwarzem Lack. Hierfür wurde eine handelsübliche Spritze mit einer dünnen Kanüle verwendet (siehe Abb. 39). Diese Arbeit war zwar mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden, welchen wir jedoch gerne in Kauf nahmen, da uns das Ergebnis deutlich besser gefiel. Ein Vergleich ist Abbildung 40 zu entnehmen. So war gewährleistet, dass die Konturen auch nach dem Ölen noch gut sichtbar sind.

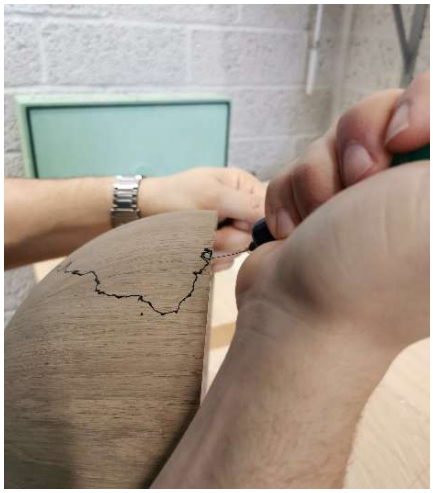

*Abbildung 40: Lackieren der Konturen mithilfe einer Spritze*

*Abbildung 39: Vergleich zwischen lackierten und unlackierten Kontinenten*

## 7. Oberfläche

Um den Kontrast zwischen dem hellen Birken-Multiplexteilen und der Eichenkugel noch zu erhöhen, behandelten wir die Kugel mit Leinöl-Firnis. Dies facht die Maserung deutlich an. Die Multiplexteile dagegen ölten wir mit einem neutralen Arbeitsplattenöl, welches das Holz farblich nicht verändert. Damit eine besonders glatte Oberfläche erzeugt werden konnte wässerten wir alle Teile vor dem Schleifen und Ölen gründlich.

*Abbildung 42: Werkstücke vor dem Ölen*

*Abbildung 41: Werkstücke nach dem Ölen*

## 8. Montage

Zwei Tage nach dem Ölen konnten die Einzelteile der Globen schließlich zusammengebaut werden. Dafür wurden zunächst die Metallgewichte in die Füße geschraubt und in die dafür vorgesehene Kreistasche eine Unterlegscheibe eingelegt. Anschließend wurden die Füße mit dem unteren Bogen des Gestells verschraubt, wobei ein wenig Leim angegeben wurde, um die einzelne Schraube zu unterstützen. Die zweite Bogenhälfte wurde an der passenden Stelle in die erste Hälfte gesteckt, sowie mittels zwei gekürzten Hülsenmuttern und einem kleinen Stück Gewindestange verbunden.

*Abbildung 43: Zusammenbau des Globus*

Danach wurde mit der Südhalbkugel und dem Innenboden begonnen. Die Gewindestange, die als Achse dient, wurde in die Gewindemuffe unterhalb des Innenbodens geschraubt. Anschließend wurde die Südhalbkugel auf die Gewindestange gesteckt. Zwischen Halbkugel und Innenboden befand sich zusätzlich eine Mutter, welche von einer Seite auf das Kugellager drückte. Von der anderen Seite wurde der Gegendruck von einer Gewindemuffe aufgebaut. Diese wurde auf die Gewindestange geschraubt, bis der entstehende Druck die Halbkugel auf der Achse fixierte. Im Anschluss wurde das Ende der Gewindestange in die dafür vorgesehene Bohrung im unteren Bogen des Gestells gesteckt und mit einer weiteren Hülsenmutter verschraubt. Dabei war darauf zu achten, dass der Innenboden beim Festziehen in der richtigen Position war, da dieser fest mit der Achse verbunden ist. Zum Schluss wurde dieser Schritt an der Nordhalbkugel wiederholt, wobei der Innenboden selbstverständlich wegfiel.

Beim Zuklappen der beiden Globushälften fiel auf, dass ein zu starres System durch sehr fest angezogene Schrauben an den Achsen zu Problemen führen kann. Unter anderem war ein Klappern der Halbkugeln oder ein Schleifen beim Drehen zu vernehmen. Zurückzuführen ist dies auf die Toleranzen, die an vielen verschiedenen Stellen in dem System nicht zu verhindern sind. Durch ein gefühlvolles Einstellen über die Hülsenmuttern an den Achsen ließen sich diese Probleme jedoch beseitigen, sodass die Halbkugeln sich gegenseitig stabilisieren und eine einheitliche Achse bilden.

## 9. Fazit

Abschließend lässt sich sagen, dass zu unserer positiven Überraschung im Laufe des gesamten Projekts keinerlei größere Probleme auftraten. Sowohl die Konstruktion aus acht sphärischen Dreiecken pro Halbkugel als auch die Verbindung selbiger miteinander stellten sich entgegen der ersten Erwartungen als realisierbar heraus. Auch das Fräsen der Konturen in die gewölbte Oberfläche und die funktionelle Konstruktion der Globen konnten nach genauer Planung exakt und wie erhofft umgesetzt werden. Dieser problemlose Ablauf zeigte sich auch in unserem Zeitplan. Keine der eingeplanten Puffer mussten genutzt werden, um eine Fertigstellung zu gewährleisten. Dabei waren wir bei unserem ersten Globus zum größten Teil dem Zeitplan voraus. Lediglich die Herstellung der insgesamt 64 sphärischen Dreiecke zog sich im Endeffekt länger hin als zuvor gedacht. Die Zeit hierbei konnte jedoch stets produktiv genutzt werden, da die Pressformen nur neu befüllt werden mussten. Die zu Beginn aufgestellten Anforderungen wurden fast ausnahmslos umgesetzt. Der einzige Punkt, der nur bedingt erfüllt wurde, ist die ausgewuchtete Kugel, die an jeder beliebigen Stelle stehen bleibt, da die verbauten Kugellager die Globen hierfür zu leichtgängig machen.

Uns persönlich hat das Projekt viel Spaß gemacht, da wir einen guten Einblick in das Arbeiten mit einem CAD/CAM Programm und CNC-Fräsmaschinen bekommen haben. Auch der Vorrichtungsbau und das Herstellen von formverleimten Furniersperrholz an sich war eine interessante Erfahrung. Besonders gut gefallen hat uns das freie Arbeiten und Experimentieren, sodass man ohne einschränkende Vorgaben zum Ziel kommen konnte. Letztendlich sind wir sehr zufrieden mit dem erreichten Ergebnis und dem Ablauf des Projektes.

*Abbildung 44: Die drei gefertigten Globen als Endergebnis*

*Abbildung 45: Endergebnis*

## Erklärung der Selbstständigkeit

Hiermit versichern wir, die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Soweit nicht anders gekennzeichnet wurden keine weiteren Quellen, Hilfsmittel oder die Hilfe außenstehender Personen in Anspruch genommen. Bei allen Abbildungen handelt es sich um eigene Darstellungen.

Hildesheim den 18.02.2021

Samuel Salama

Samuel Salama

Simon Nielsen