

BHV-02 CAD-CAM-Praxisprojekt

Herstellung eines Rucksacks aus Holzformteilen mit Baumwollstoffbezug



Abbildung 1 - Bild des fertigen Rucksacks

Alina Breda 715023

Phillip Gollert 715285

David Roosen 713494

Felix Supthut 713575

Dozenten: Dipl.-Ing. Norbert Linda und Dipl.-Ing. Renke Abels

Abgabe: 31. Januar 2020

Inhalt

1. Ideenfindung	2
2. Pflichtenheft	3
3. Entwicklungsphasen	5
3.1 Rucksackdeckel	5
3.1.1 Phase 1: Versuche zur Furnier-Stoff-Verbindung und Erzeugung eines CAD-Modells	5
3.1.2 Phase 2: Erstellung einer Press- und Fräsform, Ermittlung der Furnierabwicklung und Pressversuche	6
3.1.3 Phase 3: Verzieren des Deckels und dessen Fertigstellung	8
3.2 Rucksackbehälter	9
3.2.1 Phase 4: Erstellung einer Press- und Fräsform	9
3.2.2 Phase 5: Pressversuche und Beurteilung des Biegeverhaltens nach dem Nutfräsen	10
3.2.3 Phase 6: Fertigstellung des Rucksackbehälters	11
3.3 Restliche Bauteile / Stoff	11
3.3.1 Phase 7: Stoffauswahl und weitere Versuche zur Furnier-Stoff-Klebeverbindung	11
3.3.2 Phase 8: Rückenteil und Boden	12
3.3.3 Phase 9: Schnittmuster-Erstellung	13
3.4 Oberflächenbehandlung	14
3.5 Fertigstellung des Rucksacks	14
4. Zeitplan	15
5. Aufbau der CNC-Programmierung	16
6. Vergleich Pflichtenheft & Resultat	18

1. Ideenfindung

Ziel des Moduls BHV-02 CAD-CAM-Praxisprojekte ist die Herstellung eines Erzeugnisses auf Basis der Nutzung von CAD-CAM-Programmen und 5-Achs-CNC-Bearbeitung. Hierbei steht die Entwicklung von Holzformteilen im Mittelpunkt.

Holzformteile bieten die Möglichkeit, Gegenstände aus dem Alltag, die für gewöhnlich aus anderen Materialien bestehen, aus Holz zu fertigen. Darunter fallen auch die durch die Gruppe erarbeiteten nachfolgend aufgelisteten Erzeugnisse:

- Stehlampe
- Sofakissen
- Laptophalterung
- Laptopcase
- Monitorgehäuse
- Rucksack
- Sitzkissen

Besonders ein Rucksack stellt hierbei eine außergewöhnliche Idee dar. Die vielen Gestaltungsmöglichkeiten (besonders im Bereich der 3D-Verformung) und die Kombinationsmöglichkeiten aus unterschiedlichen Materialien überzeugen die Gruppe.



Abbildung 2 - Rucksack mit Lamellen aus Holz

2. Pflichtenheft

Zielbestimmung

Allg. Zielbestimmung

- Geräumiger Rucksack bestehend aus gefrästen Holzformteilen und Stoff
- Qualitativ hochwertige Anmutung

Musskriterien

- Deckel und Behälter aus Formteilen
- 2D- und 3D-Verformungen
- Belastbarer Stoff
- Zuverlässige Klebeverbindungen und Nähte
- Konstruktionsbedingt gewährleistete Stabilität

Wunschkriterien

- Tragekomfort (Schulterpolster)
- Begrenzttes Eigengewicht (So leicht wie möglich)
- Begrenzte Materialdicke
- Witterungsbeständigkeit

Abgrenzungskriterien

- Pure Flexibilität + Funktionsreichtum
- Instabilität (Formtreue soll erhalten bleiben)
- Massive Optik

Produkteinsatz

Anwendungsbereiche

- Stauraum und Transport für alltägliche Gegenstände
- Schule, Universität, Arbeitsplatz, Alltags- und Freizeitaktivitäten
- Individuelles Designobjekt

Zielgruppen

- Schüler*innen, Studierende, Arbeitende
- Personen ab jugendlichem Alter und aufwärts
- Holz-/Designaffine Menschen und Individualisten

Ausschluss:

- Outdooraktivitäten mit möglicher Verschmutzung durch z.B. Schlamm
- Aktivitäten mit hoher Belastung und starkem Verschleiß

Betriebsbedingungen

- Gute Wetterbedingungen, möglichst kein Regen
- Indooraktivitäten, leichte Outdooraktivitäten
- Leicht verschmutzte Umgebung ist möglich (z.B. ein Abstellen auf dem Boden)

Produktfunktionen

Funktionen

- Ein Stauraum
- Verschließbarer Deckel
- Tragemöglichkeiten

Anforderungen an Teilkomponenten

Geometrie

- Ca. 430x260x150mm
- Ca. 15-17 Liter Fassungsvermögen (einem Alltagsrucksack entsprechend)

Kinematik

- Deckel nach oben öffnend (mit Verschluss)

Optik/Haptik

- Qualitativ hochwertige Anmutung
- Stoff in dunkler Farbgebung mit gewisser Schmutz-/Wasserresistenz
- Vertikaler Faserverlauf bei den Furnier-Formteilen
- Ansprechende Optik durch Logo / Schriftzug in Holz-Stoff-Kombination

3. Entwicklungsphasen

In diesem Kapitel werden die einzelnen Entwicklungsphasen des Rucksacks genauer erläutert. Auf Basis des Pflichtenheftes hat sich ein Rucksack bestehend aus einem Deckel und einem Behälter entwickelt.

3.1 Rucksackdeckel

Der Rucksackdeckel stellt das erste Formteil des Projekts dar. Es wird aufgrund seiner voraussichtlich hohen Komplexität als erstes bearbeitet. Der darauffolgende Rucksackbehälter soll sich der Form des Deckels anpassen.

3.1.1 Phase 1: Versuche zur Furnier-Stoff-Verbindung und Erzeugung eines CAD-Modells

Zu Beginn der Entwicklung steht fest, dass der Rucksack aus einer Kombination von Holzformteilen und Stoff bestehen soll. Eine Möglichkeit der Verbindung ist neben dem händischen Vernähen das Verkleben der beiden Komponenten. So werden anfangs Probeverklebungen von Buchenfurnier und verschiedenen Stoffen (Baumwolle und Polyester) durchgeführt. Dabei kommen verschiedene Klebstoffe wie Weißleim, silanmodifizierter Polymerkleber und UHU-Kraft- und Textilkleber zum Einsatz. Das Ergebnis des Tests zeigt, dass der Weißleim mit Baumwollstoff die beste Verbindung eingeht und im Laufe des Projekts zum Einsatz kommen soll.

Die Erstellung eines CAD-Modells erweist sich als eine komplexe Aufgabe, da die 3D-Modellierung einer Freiform in Autodesk AutoCAD seine Grenzen aufweist. Bei der Erstellung des ersten CAD-Modells wird der später generierte Behälter und die im Pflichtenheft festgelegten Gesamtmaße berücksichtigt.

3.1.2 Phase 2: Erstellung einer Press- und Fräsform,

Ermittlung der Furnierabwicklung und Pressversuche

In der zweiten Entwicklungsphase wird die erste Pressform nach der Vorgabe des CAD-Modells in AlphaCAM erzeugt und auf der CNC-Maschine gefräst. Es wird sich dazu entschieden, den Vakuumsack zu nutzen. Dies bringt viele Vorteile mit sich. Zum einen wird die Pressgegenform eingespart und zum anderen kann (gerade zu Beginn des Projekts wichtig) gut beobachtet werden, wie sich das Furnier bei Start des Pressvorgangs verhält, und somit Rückschlüsse auf die optimale Furnierabwicklung gezogen werden. Außerdem kann gegebenenfalls das Furnier erneut nachpositioniert werden, falls es sich verschiebt. Für die Nutzung des Vakuumsacks ist es sinnvoll, eine Grundplatte zu erstellen. Diese Platte (in diesem Fall eine mitteldichte Faserplatte) wird auf der Formatkreissäge kreuzweise eingeschlitzt, damit beim Pressen die Luft rückstandlos an der Pressform aus dem Sack gesogen werden kann. Zum Schutz des Vakuumsacks werden die Kanten dieser Platte mit einem Radius versehen.



Abbildung 3 - Erste Pressform



Abbildung 4 – Erstes Ergebnis

Durch einen ersten Pressversuch ohne Klebstoff kann eine erste Furnierabwicklung entwickelt werden. Darauf folgend wird Weißleim als Klebstoff genutzt und mit drei gesperrten Schichten Furnier verpresst. Es wird sich dabei von vornherein für das 3D-Furnier entschieden, weil davon auszugehen ist, dass Standard- oder auch kaschiertes Furnier der starken Verformung nicht gerecht werden

kann. Das Ergebnis des ersten Versuchs zeigt deutlich, dass eine Anpassung der Pressform notwendig ist. Es wird angenommen, dass sich das Furnier nicht ausreichend ablegen kann, weshalb die Flächen um die Nettofläche des Fertigteils verlängert werden. Außerdem lassen sich weitere Rückschlüsse bezüglich der Furnierabwicklung ziehen. Diese wird im Laufe des Projekts stetig angepasst, durch händisches Vermessen und Zeichnen in Autodesk AutoCAD geschieht.

Die zweite Pressform liefert in Kombination mit der angepassten Furnierabwicklung verbesserte Resultate. Jedoch bestätigt sich nicht der Gedanke, dass eine aufrechte Form die Abwicklung des Furniers während des Pressvorgangs begünstigt. Außerdem wird die gewünschte Stabilität der Form noch nicht erreicht. Aus diesem Grund wird der Einsatz von Epoxidharzkleber in Kombination mit Glasfaser in Betracht gezogen. Im Zuge dessen wird nicht nur die Stabilität erhöht, es kann auch auf das Konditionieren des Rucksackdeckels verzichtet werden.



Abbildung 6 - Zweite Pressform (angepasst)



Abbildung 5 - Versuch mit Epoxidharzkleber

Die zweite Pressform wird nun angepasst. Sie wird mit zwei Keilen versehen, um die angewinkelte Form wiederherzustellen. Außerdem wird zum ersten Mal die Konturfräsung des Deckels programmiert und gefräst, um beim Pressvorgang erkennen zu können, ob die Furnierabwicklung die Nettofläche abdeckt. Weil die Resultate zeigen, dass die Furnierabwicklung immer näher an die Nettofläche der endgültigen Form herankommt, kommen zwei Dübel an der oberen und unteren Mitte zum Einsatz, die eine Fixierung der Furnierschichten und somit die Abdeckung der Nettofläche garantieren sollen. Trotz der stetigen Anpassung der Furnierabwicklung lässt sich eine unzufriedenstellende Entwicklung des Rucksackdeckels feststellen. Eine Problemstelle stellt der hintere, sehr kleine Radius

des Deckels dar. Der Vakuumsack kann nicht genug Kraft aufwenden, um die drei gesperrten Furnierschichten, um diesen Radius zu legen.



Abbildung 7 - Problemstelle

Da Tests zeigen, dass auch ausschließlich längs verleimte Furnierschichten in Kombination mit Epoxidharzkleber und Glasfaser eine ausreichende Stabilität liefern, wird das genannte Problem zwar gemindert, aber nicht vollständig gelöst. Aus diesem Grund wird auf eine Hydraulikpresse zurückgegriffen, die die nötige Kraft aufbringen kann. Dafür wird eine neue Pressform inklusive Gegenform programmiert und gefräst. Der erste Versuch mit der Hydraulikpresse löst das Problem mit der hinteren Ecke vollständig. Stattdessen entsteht eine Überlappung auf der Oberseite des Deckels im vorderen Bereich. Dem wird durch Einschneiden der unteren Schichten an diesen Stellen entgegengetreten. Die Ergebnisse dieser Vorgehensweise sind absolut zufriedenstellend. Sie weisen eine hohe Formbeständigkeit und Qualität auf.

Bezüglich der Form für das Konturfräsen wird sich für eine Version ohne Vakuum entschieden. Da zu einem späteren Zeitpunkt ein Logo auf dem Deckel Platz finden soll (siehe nächstes Kapitel) wird der Rucksackdeckel beim Konturfräsen durch Schrauben fixiert. Um auch eine Fixierung beim Fräsen des Logos gewährleisten zu können, werden dafür Klemmen gebaut. Während dieses Arbeitsschritts kommt es zu keinerlei Problemen, die es zu lösen gilt.

3.1.3 Phase 3: Verzieren des Deckels und dessen Fertigstellung

Die starke Verformung des Rucksackdeckels erlaubt keine Alternative zu dem 3D-Furnier. Das zu Beginn des Projektes favorisierte Nussbaum-3D-Furnier mit

vertikalem Faserverlauf verliert an Gefallen innerhalb der Projektgruppe. Während der vorherigen Entwicklungsphasen wurde immer auf das kostengünstigere Buche-Streifenfurnier zurückgegriffen. Die „Streifenoptik“ überzeugt die Projektgruppe besonders, wenn diese geölt wird.



Abbildung 8 - Fräsung mit Klemmhilfen



Abbildung 9 - Rucksackdeckel mit Logo und gefräster Kontur

Gemäß dem Pflichtenheft soll der Rucksackdeckel eine Verzierung erhalten. Diese soll die massige Optik, die durch seine 3D-Verformung entsteht, zu einem gewissen Stück auflösen. Als Überlegungen stehen mehrere Möglichkeiten zur Diskussion. Einerseits kann der Deckel einen Schriftzug oder ein Logo erhalten, welche mithilfe eines kleinen Fräasers in die Fläche graviert werden. Andererseits können die für den Rucksackbehälter geplanten Nuten auch auf den Deckel übertragen werden. Es wird sich dabei gegen die Nuten entschieden, weil sich diese optisch mit denen des Rucksackbehälters sperren würden. Großes Interesse besteht an einem Logo, das die Verbindung des Rucksack-Designs zur Natur verdeutlicht. Nach Vorlage wird dieses in AutoCAD nachgezeichnet und in AlphaCAM importiert, auf den Deckel projiziert und programmiert. Die Bearbeitung erfolgt mithilfe des Schlichtfräasers T215 in mehreren Zustellungen.

3.2 Rucksackbehälter

Der Rucksackbehälter stellt das zweite Formteil dar. Er formt den Stauraum dieses Rucksacks.

3.2.1 Phase 4: Erstellung einer Press- und Fräsform

Basierend auf den vorherigen Überlegungen wird sich hierbei für eine Pressform für den Vakuumsack entschieden. Der Behälter ist eine einfachere zweidimensi-

onale Verformung, bei der kein Bedarf für eine Gegenform gesehen wird. Besonders weil dieses Bauteil ebenfalls mit Epoxidharzkleber und Glasfaser verklebt werden soll, um auch hier die Materialdicke möglichst gering zu halten.

Auch bei der Fräsform wird aufgrund der guten Erfahrungen bei dem Rucksackdeckel auf eine Befestigung mittels Vakuums verzichtet mit Schrauben (Konturfräsen) und Klemmen (Nutfräsen) realisiert.

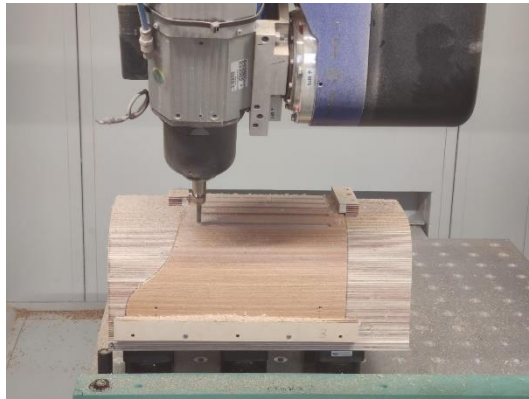


Abbildung 10 - Fräsen des Rucksackbehälters

3.2.2 Phase 5: Pressversuche und Beurteilung des Biegeverhaltens nach dem Nutfräsen

Weil es sich hierbei um eine zweidimensionale Verformung handelt, ist das Biegeverhalten der Form eine mögliche Schwierigkeit, die es zu beachten gilt. Dies gilt vor allem nach weiterer Materialentnahme durch das Nutfräsen.

Im Fall des Rucksackbehälters wird nach dem ersten Pressversuch im Vakuumsack die Erkenntnis gezogen, dass längere Presszeiten (ca. 24 Stunden) als bei dem Deckel benötigt werden, weil die Verformung anderenfalls wieder in seinen Ursprung zurückgeht. Dieses Mal wird sich dazu entschieden, das Formteil nach dem Pressen für weitere 12 Stunden zu konditionieren. Dies wird mittels einer Biege-MDF-Platte und Spanngurten realisiert. Bei einem weiteren Pressversuch zeigen sich diese Rückschlüsse als folgerichtig und es entsteht ein vollständig zufriedenstellendes Ergebnis.

Es werden bei dem Rucksackbehälter identisch zum Deckel drei Furnierschichten und zwei Glasfaser/Epoxidharzkleber-Schichten verwendet. Des Weiteren gilt es zu erwähnen, dass sich im ersten Versuch eine gesperrte Furnierschichtung entschieden. Im zweiten Versuch wurde ausschließlich mit vertikalem Fa-

serverlauf verklebt. Die zweite Variante gilt als ausreichend in Bezug auf das Biegeverhalten des Rucksackbehälters. Es wird davon ausgegangen, dass dies die Formstabilität zusätzlich fördert.

3.2.3 Phase 6: Fertigstellung des Rucksackbehälters

Zur Fertigstellung des Rucksackbehälters wird dieser nach dem Nutfräsen noch mit einigen Löchern versehen. Diese dienen später zum Vernähen des Stoffkörpers mit dem Rucksackbehälter und dem Deckel durch eine Ziernaht. Die Löcher werden mittels CNC vertikal an den langen Außenseiten des Rucksackbehälters und in 41,5 mm von unten versetzt horizontal über den Rucksack in einem Abstand von jeweils 8mm zueinander und einem Durchmesser von 3 mm gebohrt. Nach der Fertigstellung des Rucksacks sind diese nicht mehr sichtbar. Außerdem wird ein Falz für die Rückwand an die Längsseiten des Rucksackbehälters mit der Kreissäge geschnitten.

3.3 Restliche Bauteile / Stoff

3.3.1 Phase 7: Stoffauswahl und weitere Versuche zur Furnier-Stoff-Klebeverbindung

Bei der Stoffauswahl ist sehr schnell klar, dass ein dunkler kräftiger Farbton gewählt wird. Zuletzt wird sich für dunklen, grünen Baumwollstoff entschieden. Dieser erreicht durch seine dunkle kräftige Farbe einen schönen Kontrast zu den Holzteilen und soll sich durch die Baumwollbasis simpel und gut mit Weißleim verkleben lassen. Beim Verkleben der beiden Formteile mit Stoff stellt sich heraus, dass sich bei zu viel Pressdruck in der Pressform, welcher bei dem Deckel jedoch von Nöten ist, der Weißleim durchdrückt und somit ein Leimdurchschlag an der Innenseite sichtbar ist. Zusätzlich drückt sich der Weißleim in die Ausfräsungen des Logos und lässt sich dort nur sehr schwer und nicht rückstandslos wieder entfernen. Um den inneren Leimdurchschlag zu verhindern, wird sich dafür entschieden, eine zweite Lage Stoff aufzubringen. Ebenfalls wird eine neue Pressformhälfte gefräst, bei welcher die Dicke des Stoffes an der Deckelinnenseite berücksichtigt wird. Nach Pressversuchen mit diesem System zeigen sich Erfolge. Um zu verhindern, dass sich der Weißleim weiter in die Ausfräsungen des Logos drückt, wird die erste Stoffschicht vor dem Verkleben mit Weißleim im

Bereich des Logos mit Sekundenkleber angeklebt. Anschließend wird der übrige Stoff mit Weißleim benetzt und erst dann mit dem zuvor genannten System verpresst. Die zweite Stoffschicht wird komplett mit Leim benetzt und mithilfe der Pressform bei leichtem Druck mit der ersten verklebt. Ein weiterer Versuch hierbei ist, die zweite Stoffschicht mit Weißleim zu benetzen, diesen antrocknen zu lassen und wieder Weißleim in einer dickeren Schicht aufzutragen. So sollte ein Durchschlag des Weißleimes verhindert werden. Beide Möglichkeiten funktionieren. Nach Herausnehmen des Deckels aus der Pressform wird der Stoffrand am Übergang zum Furnier mit Sekundenkleber benetzt, um diesen zu verstärken. Anschließend wird er abgeschnitten und kann mit Schleifpapier bündig geschliffen werden, wodurch eine saubere Kante erzeugt wird. Bei dem Rucksackbehäl-



Abbildung 11 - Vergleich Leimdurchschlag



Abbildung 12 - Stoffverklebung mittels Pressform

ter wird der Stoff in der Konditionierform aufgespresst. Hier wird keine neue Pressform benötigt, da die Biege-MDF-Platte den Druck noch immer gleichmäßig verteilt. Die folgenden Bearbeitungen am Stoff sind identisch mit denen des Deckels.

3.3.2 Phase 8: Rückenteil und Boden

Für das Rücken- und das Bodenteil werden, wie bei dem Deckel und dem Rucksackbehälter, drei Furnierschichten mit Glasfaser-Zwischenlagen und Epoxidharzkleber verpresst. Diese werden nach dem Pressen geschliffen und in Form gebracht. Die Rückwand wird zunächst an der Kreissäge zugeschnitten, für den Boden wird ein CNC-Programm für die Außenform und einem Falz erstellt. In diesem Falz befindet sich später der Rucksackbehälter und die Rückwand. Die Nahtlöcher auf dem Rucksackbehälter sollen sich auf der Rückwand durchziehen und werden dort auf gleicher Höhe, also 41,5 mm, horizontal in 8mm Abständen zueinander in die Rückwand gebohrt. Außerdem werden an der Oberkante der

Rückwand zwei dieser horizontalen Lochreihen gebohrt, um dort später den Deckel zu befestigen. Nun werden die beiden Teile einseitig, auf der Innenseite, mit Stoff beklebt. Auch hier werden die Übergänge von Stoff zu Holz mit Sekundenkleber behandelt. Nach der fertigen Bearbeitung des Stoffes wird erst die Rückwand mit Weißleim in den Falz geklebt und anschließend wird der Rucksackbehälter mit der Rückwand auf den Boden geklebt, ebenfalls mit Weißleim.

3.3.3 Phase 9: Schnittmuster-Erstellung

Nach der Fertigstellung der Holzformteile werden anhand dieser die Schnittmuster erstellt. Zunächst wird überlegt, wie der Stoffkörper äußerlich gestaltet werden soll und auf welche Weise dieser mit den Holzformteilen verbunden werden kann. Um den Stoffkörper mit den Formteilen zu verbinden und um ein gewisses Aussehen zu erzeugen, wird eine Ziernaht den ersten Designideen hinzugefügt. Diese Ziernaht zieht sich hinten quer über den Deckel, verläuft weiter über das Rücken- und Behälterteil und endet in dem Rand des Stoffbodens. Durch die vorgebohrten Löcher in den Holzformteilen kann die Ziernaht hier durchgeführt werden und somit die Verbindung zwischen dem Stoffkörper und den Holzformteilen stärken. Für diese Verbindung wird eine etwas dickeres Garn genutzt, um den Kräften, die auf den Rucksack wirken, standhalten zu können.



Abbildung 13 - Detail Naht

Im Allgemeinen besteht der Stoffkörper aus drei Hauptteilen – dem Rücken- und Bodenteil und den zwei Trägern. Die Schnittmuster werden hierbei von den Holzformteilen abgeleitet. Bei den Trägern wird sich an einem konventionellen Rucksack orientiert. Das Rückenteil und die Träger werden durch eine eingelegte Fliebschicht verstärkt, um sich der Funktion eines Rucksacks und dessen Aussehen anzunähern. Auch in dem Boden ist im Rand eine Fliebschicht eingelegt,

um ein wertiges Aussehen zu erzeugen. Darüber hinaus werden in den Boden zwei Gurtbänder vernäht, um diese nach der Fertigstellung des Rucksacks mit den Trägern verbinden zu können.

Die Holzformteile an sich werden mit einer Stofflage versehen, aber nicht direkt mit dem Stoffkörper verbunden, sondern indirekt über die Ziernaht. Grund dieser Entscheidung ist die Vermeidung von zeitaufwendigen Näharbeiten.

3.4 Oberflächenbehandlung

Anfangs wird über eine Oberflächenbehandlung mit Epoxidharz nachgedacht, um das Holz vor Wittereinflüssen zu schützen, sofern der Rucksack draußen getragen werden sollte. Diese erste Überlegung wird jedoch schnell verworfen, da, wie in dem Pflichtenheft festgehalten, nicht die Outdoorfunktionalität im Vordergrund steht und eine Behandlung mit Öl das optisch bessere Ergebnis bietet. Darüber hinaus verträgt sich der Stoff besser mit einer Ölbehandlung, da diese nicht auf dem Stoff zu sehen ist und diesen nicht, wie es bei dem Epoxidharz der Fall wäre, bei Kontakt verhärtet. Nachdem die Holzteile geschliffen und mit dem Stoffkörper verklebt sind, können diese geölt werden.

3.5 Fertigstellung des Rucksacks

Zur Fertigstellung des Rucksacks wird der Stoffkörper nun mit den Holzformteilen vernäht. Dazu wird überlegt, in welcher Reihenfolge die Teile miteinander verbunden werden. Da das Vernähen durch die in den Holzformteilen gebohrten Löcher geschieht, muss alles von Hand genäht werden. Diese letzte Aufgabe nimmt, wie sich herausstellt sehr viel mehr Zeit in Anspruch, als anfangs gedacht, um auch der hochwertigen Anmutung (wie im Pflichtenheft festgelegt) gerecht zu werden. Abschließend wird sich für einen magnetischen Verschluss vorn am Rucksack entschieden, um die gewünschte Verschließbarkeit zu gewährleisten.



Abbildung 15 - Detail Träger



Abbildung 14 - Detail Deckelrückseite

4. Zeitplan

Für ein solches Projekt ist es zwingend notwendig, einen Zeitplan für die einzelnen Phasen aufzustellen. In der folgenden Tabelle ist der Zeitplan des Projekts sowie die dazugehörige Einhaltung dargestellt. Besonders in den letzten Phasen mit der Stoffbearbeitung tauchten viele unbedachte Probleme auf, die eine Einhaltung des Zeitplans unmöglich machten. Vor allem die Probleme mit der Stoffverklebung sorgten für eine Verzögerung.

Datum ab:	Aufgabe	Inhalt im Detail	Einhaltung
30.09.19	CAD Modell + Praxisversuche	Klebeversuche und Flexibilitätsverhalten von Stoff & Furnier	Im Zeitplan
07.10.19	CAD Modell + Praxisversuche	Klebeversuche und Flexibilitätsverhalten von Stoff & Furnier	
14.10.19	CAD Modell + Praxisversuche	Team 1: CAD Modell - Behälter Team 2: CAD Modell - Deckel	
21.10.19	CAD Modell + Praxisversuche	Team 1: CAD Modell - Behälter Team 2: CAD Modell - Deckel	
28.10.19	CAD Modell + Praxisversuche	CAD Modell f.d. Pressformen	
04.11.19	Pressformen + Haltevorrichtungen anfertigen	Pressformen + Haltevorrichtungen herstellen	
11.11.19	Pressformen + Haltevorrichtungen anfertigen	Pressformen + Haltevorrichtungen herstellen	
18.11.19	Press- und Nähversuche	Pressen und Konditionieren	
25.11.19	Press- und Nähversuche	Formteilfräsversuche	

02.12.19	Press- und Nähversuche	Oberflächenbehandlung ausprobieren Zusatzteile (Träger etc.) anfertigen-/besorgen	Leichter Verzug
09.12.19	letzte Optimierungen der Pressformen/Furniere	Zusatzteile (Träger etc.) anfertigen	
16.12.19	Fertigstellung des Modells	Zusammenbau/Näharbeiten Zusatzteile anbringen Oberfläche aufbringen	Nicht mehr im Zeitplan
23.12.19		Weihnachten	
30.12.19		Silvester	
06.01.20	Dokumentation + Plakat	Dokumentation	
13.01.20	Dokumentation + Plakat	Dokumentation	
20.01.20	Dokumentation + Plakat	Plakat	
27.01.20	Puffer für letzte Verbesserungen		

5. Aufbau der CNC-Programmierung

Bei der CNC-Programmierung werden meist 3-Achs-Bearbeitungen in verschiedenen Ebenen verwendet. Ausschließlich 3D-Polylinien werden in einer 5-Achs-Bearbeitung gefräst. Dazu gehören das Logo im Deckel, die Nuten im Rucksackbehälter und die Konturfräsungen des Deckels und des Behälters.

Bearbeitungen werden auf Basis einfacher Geometrien, Oberflächen oder Solid-Modellen, welche aus AutoCAD importiert werden, angelegt. Wenn nötig werden Geometrien in AlphaCAM nachgestellt oder neu angelegt. Ein Beispiel dafür sind die 3D-Polylinien für die Nuten im Rucksackbehälter. Diese werden aus AutoCAD

als Linie übergeben, sollen aber senkrecht zu einer Oberfläche und alle in einer Bearbeitung gefräst werden. Um diese Bearbeitung zu ermöglichen, werden die Linien mit 3D-Polylinien nachgezogen. Teilweise entstanden aus einer AlphaCAM-Datei mehrere einzelne CNC-Dateien, um Bearbeitungen Schritt für Schritt abzarbeiten und das Werkstück zwischen den Bearbeitungen umspannen zu können. In der folgenden Tabelle ist aufgeführt, welches CNC-Programm aus welcher AlphaCAM-Datei entstanden ist:

AlphaCAM-Dateiname	CNC-Programm
20191024_Pressform F1_T120 T20.ard	P20001 (F1_T120 T20)
20191028_Pressform F2_T120 T20 T203.ard	<ul style="list-style-type: none"> • P20002 (F2_T120 T20 T203)
20191029_Pressform F2_Erweiterung_T120 T12 T158.ard	<ul style="list-style-type: none"> • P20003 (F2Ew_T120 T12 T158)
20191030_Furnierabwicklung Opferplatte_T203 T158.ard	<ul style="list-style-type: none"> • P20004 (Furnierabwicklung_T203 T158)
20191104_Pressform F2 zu F3 Keil vorne_T120 T12.ard	<ul style="list-style-type: none"> • P20005 (F2 zu F3 Keil vorne_T120 T12)
20191119_Deckel-Frässform_Bohrungen und Konturfräsung_T120 T12 T216 T203.ard	<ul style="list-style-type: none"> • P20006 (Deckel-Nettoform_T216) • P20017 (Deckel Bohrungen_T203)
20191120_Deckel-Logo_T215.ard	<ul style="list-style-type: none"> • P20009 (Deckel-Logo_T215)
20191121_Pressform F4 außen_T120 T10 T212.ard	<ul style="list-style-type: none"> • P20010 (Pressform F4 außen_T120 T10 T212)
20191121_Pressform F4 innen_T120 T20 T203 T212.ard	<ul style="list-style-type: none"> • P20011 (Pressform F4 innen_T120 T20 T203 T212)
20191212_Press- und Fräsform Bauch+Bohrungen und Nuten_T120 T20 T203 T208.ard	<ul style="list-style-type: none"> • P20012 (Bauch Pressform+Kontur_T120 T20 T203) • P20013 (Bauch Formkontur ohne Nuten_T203) • P20014 (Bauch Nuten_T208) • P20015 (Bauch Bohrungen_T203)
20200103_Bodenteil_T220 T216.ard	<ul style="list-style-type: none"> • P20016 (Bodenteil_T220 T216)
20200106_Rückwand Bohrungen_T203.ard	<ul style="list-style-type: none"> • P20018 (Rückwand Bohrungen_T203)
20200121_Pressform F4 innen_Stoff-0.7_T120 T20 T203 T212.ard	<ul style="list-style-type: none"> • P20019 (F4 Stoff innen -0.7_T120 T20 T203 T212)

Fehlende Programmnummern bei den CNC-Programmen werden von irrelevanten Testprogrammen belegt und sind hier nicht aufgeführt.

Die Benennung der AlphaCAM-Dateien setzt sich aus dem Datum der Erstellung und dem Inhalt zusammen, wobei auch angegeben ist welche Werkzeuge verwendet werden. Die CNC-Programme fangen mit der Gruppennummer an und Enden mit einer Nummerierung nach Entstehungsreihenfolge.

6. Vergleich Pflichtenheft & Resultat

Am Ende des Projekts gilt es, das Resultat mit dem Pflichtenheft zu vergleichen. Während der einzelnen Entwicklungsphasen hat immer ein Abgleich mit dem Pflichtenheft stattgefunden. Daraus resultiert eine sehr große Deckung zwischen Ergebnis und Pflichtenheft. Die Musskriterien sind vollständig erfüllt. Der in den Wunschkriterien festgelegte Tragekomfort ist besser als erwartet und auch das gewünschte, begrenzte Eigengewicht und die Materialdicke können dank Einsatz von Glasfaser und Epoxidharzkleber eingehalten werden. Aufgrund der Ölbehandlung und der Stoffwahl sind gute Wetterbedingungen notwendig und der Wunsch nach Witterungsbeständigkeit kann nicht eingehalten werden. Jedoch ist dank der dunklen Farbgebung eine gewisse Resistenz gegen Schmutz gegeben. Die massive Optik (festgehalten in den Abgrenzungskriterien) ist durch das eingefräste Logo aufgelöst. Das Design fällt in diesem Fall unter das subjektive Empfinden und ist daher nicht bewertbar, weil es keine Untersuchungen dazu gibt. Die Zielgruppe hat sich im Laufe des Projekts nicht verändert. Die festgelegten Produktfunktionen (Stauraum und verschließbarer Deckel) sind ebenfalls gegeben und die gewünschte Tragemöglichkeit erweitert sich durch einen Haken am oberen Ende des Rucksacks. Auch die Geometrie-Angaben aus dem Pflichtenheft stimmen mit dem Resultat überein. Der vertikale Faserverlauf ist ebenfalls erfüllt.

Insgesamt handelt es sich bei diesem Projekt um ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis. Auch hinsichtlich der hochwertigen Anmutung des Rucksacks. Die Erstellung des CAD-Modells des Rucksackdeckels und die Verklebung des Stoffes mit dem Deckel ohne Leimdurchschlag erweisen sich als die größten Problemstellen dieses Projekts. Reflektierend lässt sich erwähnen, dass die Arbeit mit

einem Vakuumsack seine Grenzen hat und eine schnellere Problemlösung dieser Situation weniger Auswirkungen auf den Zeitplan bzw. dessen Verzug hätte. Obwohl der Tragekomfort des Rucksacks, wie schon erwähnt, besser als erwartet ausgefallen ist, könnte im nächsten Schritt die Form des Rückenteils ergonomischer gestaltet werden.