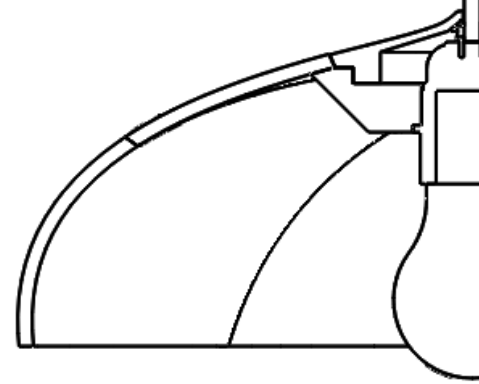
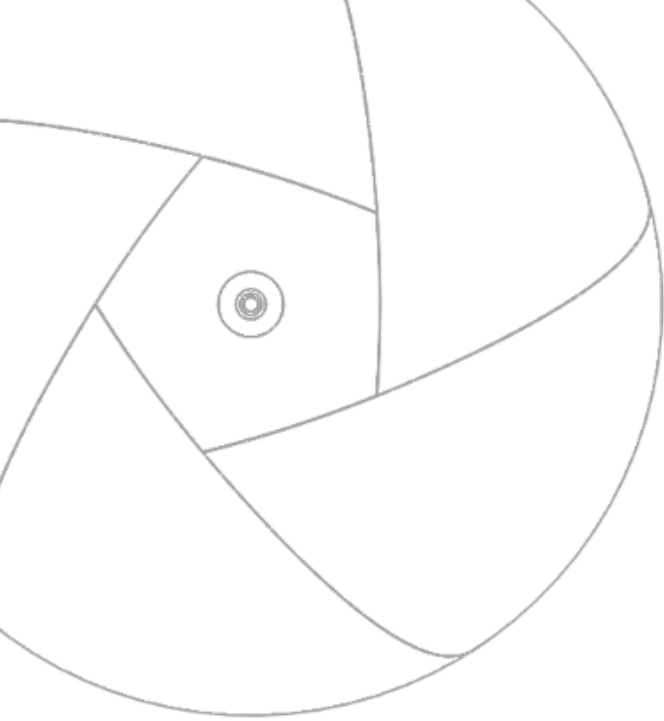




Dokumentation BHV-02 CAD-CAM-Praxisprojekt Entwurf „Pendelleuchte“

Max Wieseemann
Tobias Stark

betreut durch Dipl.-Ing. Norbert Linda & M.Sc. Arvid Schneck

Wintersemester 2024/-25
HAWK Hildesheim

Studiengang Holzingenieurwesen Vertiefungsrichtung Möbel und Ausbau

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	2
2	Einleitung.....	3
3	Entwurf	3
4	Bau.....	4
5	Formteile	4
5.1	Material und Pressformen.....	4
5.1.1	Pressvorgänge	6
5.1.2	Konditionierung.....	9
5.1.3	Oberfläche	10
5.1.4	Tiefziehteile	11
	Weiter Bauteile.....	12
5.1.5	Haltering	13
5.1.6	„Halteblech“	13
5.1.7	Baldachin	13
5.1.8	Zukaufteile.....	14
9.	Montage	14
6	Fazit	17
7	Abbildungsverzeichnis.....	18

2 Einleitung

Im Modul CAD/CAM-Praxisprojekt hatten die Studierenden die Aufgabe, ein Objekt mit den im Labor für Bearbeitungstechnik umsetzbaren Fertigungstechniken zu erstellen. Mögliche Verfahren dafür sind subtraktive Fräsverfahren, das Fertigen von Formholzteilen durch Pressformen und das Tiefziehen von Kunststoffen. Um die Bauteile CNC-gestützt bearbeiten zu können, war es außerdem ihre Aufgabe, die Funktionen der Software Alpha-CAM zu erlernen, welche die CNC-Programmierung durch zuvor erstellte CAD-Modelle ermöglicht.

3 Entwurf

Zu Beginn des Moduls bestand die erste Aufgabe darin, sich innerhalb der gebildeten Gruppen auf eine Produktidee zu einigen. In unserer Zweiergruppe entschieden wir uns dafür, eine Lampe zu fertigen. Daher begannen wir zeitnah mit der Recherche und dem Austausch der ersten Entwürfe.



Abbildung 1 Collage der Entwurfsskizzen und Inspiration

Der ausgewählte Entwurf sollte nicht aus einem einzigen, formverleimten Bauteil bestehen, da dies den Radius begrenzen und zu möglichen Verformungen führen könnte, die ovale Formen entstehen ließen. Stattdessen entschieden wir uns, den Lampenschirm aus mehreren formverleimten Segmenten zusammenzusetzen. Die Anordnung der Segmente war von einem Spielball inspiriert.

Geplant waren fünf Elemente, die ähnlich wie die Lamellen einer Irisblende angeordnet wurden. Dadurch entstand in der Öffnung ein Fünfeck, das sich auch in der Form der Fassungsverkleidung wiederfinden sollte.

Der Durchmesser der Lampe beträgt 34,5cm die Höhe etwa 12,8cm.

4 Bau

Nach der Festlegung eines Entwurfskonzepts begannen wir mit der Herstellung der ersten Bauteile, die eher experimentellen Charakter hatten. Es war zunächst unklar, ob der Entwurf wie geplant umsetzbar sein würde oder ob Anpassungen an Radien oder der Anzahl der Segmente erforderlich sein würden. Während des Bauprozesses mussten zahlreiche Anpassungen vorgenommen werden. Dabei flossen die gewonnenen Erfahrungen kontinuierlich in die Konstruktion und den Fertigungsprozess ein.

5 Formteile

5.1 Material und Pressformen

Um den von uns geplanten Lampenschirm fertigen zu können, benötigten wir im ersten Schritt eine Pressform, um die einzelnen Segmente der Lampe herstellen zu können. Diese Form frästen wir aus zuvor verleimten Multiplex-Rohlingen. Ursprünglich hatten wir die Idee, nur eine Form zu nutzen und den Druck über einen Vakuumsack aufzubringen. Allerdings hatten wir so zu wenig Kontrolle über die Positionierung des Bauteils, und im Furnier bildeten sich Falten.



Abbildung 2: Pressversuch im Vakuumsack



Abbildung 3: Pressergebnis aus dem Vakuumsack

Deshalb entschieden wir uns dazu auch die Gegenform zu fertigen. Dabei planten wir Bohrungen für Aluminiumstangen ein, welche als Führung dienen sollten.



Abbildung 4: Zweiteilige Pressform

Als Material verwendeten wir 3D-Furnier von Danzer, das in fünf Schichten kreuzweise verleimt wurde. Die äußeren Lagen bestanden aus Deckfurnieren, die in Walnuss, Eiche, Esche und Buche verfügbar waren. Für die inneren Furnierlagen verwendeten wir Buchenfurnier minderer Qualität (Danzer 3D-Veneer basic). Insgesamt entstand so eine Bauteildicke von ca. 5,5 mm. Im weiteren Verlauf testeten wir verschiedene Varianten von Furnierrohlingen. Die Besonderheit bei diesem Prozess bestand darin, die optimale Rohlingsgröße zu ermitteln. Diese durfte nicht zu klein sein, da sonst das eigentliche Bauteil nicht mehr gefräst werden konnte. Der Rohling durfte aber auch nicht zu groß sein, da sich die Pressform sonst nicht richtig schließen ließe.

Zunächst wurden die Zuschnitte grob von der späteren Bauteilform abgeleitet. Dieses Vorgehen war jedoch weniger erfolgreich, weshalb wir bei der nächsten Variante versuchten, die Form aus dem CAD abzuleiten. Da die daraus entstandenen Rohlinge allerdings zu klein waren, testeten wir weitere Formen, die wir selbst händisch erstellten, bis wir ein akzeptables Ergebnis erreichten.

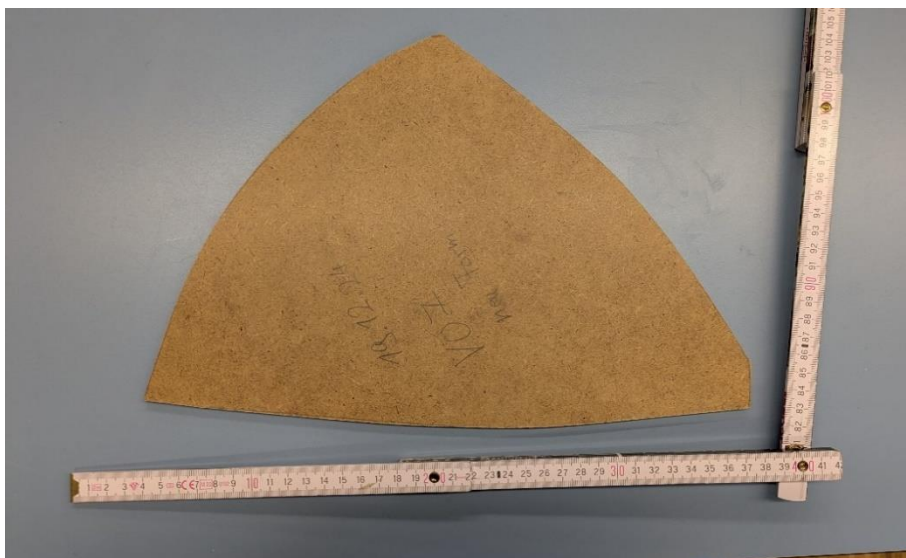


Abbildung 5: Furnier-Schablone

Den Vorgang des Furnierzuschnitts optimierten wir später durch den Einsatz eines Lasercutters, wodurch wir nicht nur formgetreue Rohlinge erhielten, sondern auch viel Zeit einsparen konnten. Der händische Zuschnitt der Rohlinge per Schere für eine Lampe dauerte ca. 50 Minuten, während das Lasern für zwei Lampensätzen nach nur 20 Minuten Maschinenlaufzeit erledigt war..

5.1.1 Pressvorgänge

Der erste Pressversuch fand im Vakuumsack statt, wurde von uns jedoch schnell als Methode verworfen, da wir zu wenig Kontrolle über die Lage der Furniere hatten. Bei den ersten Pressversuchen an der großen Presse erkannten wir schnell, dass die verleimten Furnierpakete auch innerhalb der Form unkontrolliert verrutschten. Um dieses Problem zu lösen, testeten wir, wie ein Anschlag aus Schrauben innerhalb der Pressform das Verrutschen des Furniers verhindern könnte.



Abbildung 6: Pressform mit Anschlägen

Da dieser Lösungsansatz und weitere, wie z.B. die Änderung der Ausrichtung der Furnierlagen, wenig Erfolg brachten und wir den Pressvorgang so gestalten wollten, dass wir ausreichend Kontrolle über die Lage der Furniere innerhalb der Form hatten, erstellten wir eine neue Pressform aus Baubuche. Das Material änderten wir, da sich der Schichtaufbau des Multiplex auf den Bauteilen abgezeichnet hatte.

Die neue Pressform wurde von uns so konstruiert, dass wir auch während des Schließvorgangs der Presse Zugriff auf das Furnierpaket hatten. Durch diese Anpassung konnte der Pressvorgang optimiert werden. In diesem Zuge fertigten wir direkt eine weitere Pressform an, um zwei Bauteile gleichzeitig verpressen zu können.



Abbildung 7: Zweite Version der Pressform



Abbildung 8: Zweite Pressform in der Presse

Zudem testeten wir während der Versuchsphase verschiedene Klebstoffe, wie PVAC-Leim und Kauritleim. Die Wahl fiel auf PVAC-Leim, da bei den zahlreichen Pressvorgängen (3 Zyklen pro Lampe) sonst immer nur eine sehr kleine Menge Leim angemischt werden müsste und aufgrund der Mindestmenge sehr viel verworfen werden würde. Zudem erzeugte der Kauritleim deutlich mehr Leimdurchschlag. Die mit Weißleim gepressten Bauteile zeigten bei Presszeiten von mindestens fünf Stunden und sorgfältiger Konditionierung sehr steife Ergebnisse.

Während der Fertigung des ersten Musterlampenschirms fiel uns auf, dass innerhalb eines verpressten Bauteils sehr große Abweichungen in der Dicke vorhanden waren. An den drei Messpunkten des Bauteils maßen wir als Extremwert eine Differenz in der Dicke von 0,9 mm.

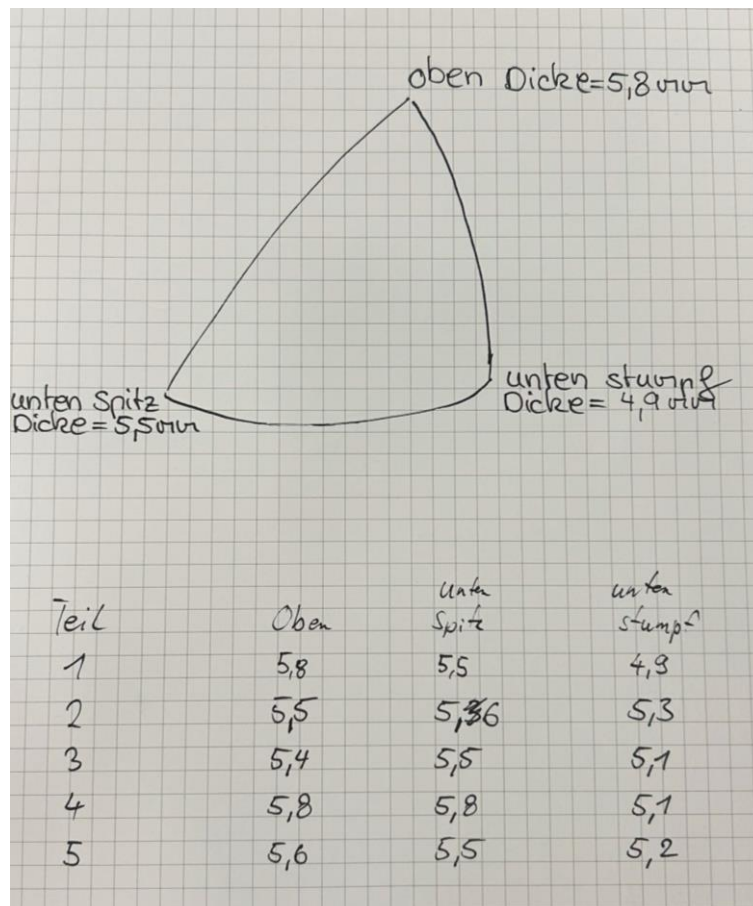


Abbildung 9: Messergebnisse in der Dicke

Da diese Differenz zu Versprünge der einzelnen Bauteile im Verbund führte, änderten wir unsere Strategie beim Pressen. Anstatt die große Presse zu verwenden, die unbeabsichtigt einen zu hohen Pressdruck auf das Bauteil ausübte, wechselten wir zu zwei kleineren Pressen, bei denen wir den Pressdruck durch besser ablesbare Manometer exakt auf den gewünschten Wert einstellen konnten. Der erforderliche Wert ergibt sich aus dem von Danzer empfohlenen spezifischen Pressdruck von 2,0 MPa in Verbindung mit der Rohlingsgröße von etwa 250 cm². Daher sollte die Presse eine Kraft von 5 kN aufbringen. Die Manometer der kleineren Werkzeugpressen besitzen unterschiedliche Skalen; die manuelle Presse zeigt die Presskraft in Tonnen an, daher wurde ein Druck von etwa 4,8 t angewendet. Bei der Presse mit elektrischer Ölpumpe wird der Druck im Ölsystem angezeigt. Angesichts einer Zylinderfläche von 43 cm² wurde hier ein Druck von etwa 110 bar angelegt.

So konnten wir die Toleranzen innerhalb des Bauteils auf ca. 0,3 mm Dickendifferenz minimieren. Da der Umgang mit den kleineren Pressen deutlich kontrollierter vonstattenging und eine Differenz von 0,3 mm ein akzeptables Ergebnis darstellte, behielten wir diesen angepassten Fertigungsschritt bei. Zudem testeten wir, ob das Anbringen minimaler Fasen an den Segmenten die noch vorhandene Differenz optisch ausgleichen würde.

5.1.2 Konditionierung

Um unsere Bauteile nach dem Pressen konditionieren zu können, fertigten wir zunächst Rohlinge für die Konditionierformen an. Diese bestehen aus mehreren verleimten Spanplatten, die für den Prozess der Konditionierung an der Kreissäge genutzt wurden. Aus den Rohlingen frästen wir anschließend die konkaven und konvexen Formhälften.

Nachdem eine Charge an Bauteilen gepresst wurde, bohrten wir diese vor dem Herausnehmen an. Dafür nutzten wir die in den Pressformen vorgesehenen Bohrlöcher. Durch das Anbohren der Bauteile konnten wir diese mithilfe von Holzstäben in der Konditionierform und in der Formatierform positionieren. Nach dem Herausnehmen formatierten wir die Bauteile grob, da sie aufgrund der großen Verformung des Überstands nicht passgenau in die Konditionierform passen würden. Dies geschah zunächst mit Hilfe der Bandsäge.

Im späteren Verlauf optimierten wir diesen Arbeitsschritt jedoch und entfernten den Überstand mit einem Fräsprogramm, mit dem die Bauteile mit einem Schruppfräser Besäumt wurden. Nach dem Besäumen und der Positionierung der Bauteile innerhalb der Konditionierformen konnten diese geschlossen werden und für zehn bis vierzehn Tage mit Gewichten beschwert konditionieren.



Abbildung 10: Konditionierung von Formholzteilen

5.1.3 Oberfläche

In der Versuchsphase testeten wir verschiedene Oberflächenbehandlungen. Die ersten Muster lackierten wir sowohl klar als auch farbig. Das Lackieren des Lampenschirms war zunächst das bevorzugte Verfahren. Wir erhofften uns durch eine lackierte Oberfläche eine größere Formstabilität. Bei Versuchen, bei denen die einzelnen Segmente vor dem Formatieren lackiert wurden, zeigte sich, dass auf diese Weise ein komplett ausrissfreies Ergebnis erzielt werden konnte.



Abbildung 11: Klar lackierte Außenseite



Abbildung 12: Farblich lackierte Innenseite

Da das Lackieren der Bauteile jedoch zur Folge hatte, dass sich die Längsspalten der 3D-Furniere stark abzeichneten, entschieden wir uns, die Oberflächen zu ölen. Das Ölen bildete nicht nur die Riefen weniger stark ab, sondern erzeugte auch eine natürliche und matte Oberfläche, die optisch deutlich ansprechender war.



Abbildung 13: Messung der Rissbreite



Abbildung 14: Geölte Formholzteile

5.1.4 Tiefziehteile

Innerhalb unseres Entwurfs war es zunächst geplant, den Lampenschirm von unten mittels eines leicht lichtdurchlässigen Bauteils zu schließen. Ziel war es bei dieser Idee, das Leuchtmittel zu verdecken, das Licht durch getönte Kunststoffe anders wirken zu lassen und dem Lampenschirm eine weitere Besonderheit zu verleihen.

Zu Beginn der Bauphase führten wir erste Versuche zum Thema Tiefziehen in der Werkstatt für Designmodellbau der Fakultät Gestaltung durch. Die ersten Ergebnisse mit 0,7 mm starkem Polystyrol entstanden schnell und wiesen glatte Formen auf. Allerdings ist die Größe der Bauteile in der Tiefziehmaschine auf eine Fläche von 30 x 30 cm beschränkt. Unser Lampenschirm hingegen hat einen Durchmesser von 36 cm und ist daher zu groß. Die Maschine beheizt das Material einseitig mit einem Infrarotstrahler, was bedeutet, dass nur dünnere Folien bis max. 1,5 mm erhitzt werden können. Dies funktioniert gut mit PS- und PET-Materialien. Unser Ziel war jedoch, einen komplett klaren Schirm aus 2-3 mm starken PMMA (Plexiglas/Acrylglas) zu realisieren. Dieser könnte im Temperofen mit einer selbstgebauten Vorrichtung und Form tiefgezogen werden. Allerdings erfordert dies umfangreiches Prozesswissen, dessen Erarbeitung den Rahmen dieses Projekts überschreiten würde. Dennoch wurde die Konstruktion des Anschlusses für den Lampenschirm, entweder mit Magneten oder einem Bajonettverschluss, diskutiert.

Durch die Eindrücke, die durch den Bau des ersten Lampenschirms entstanden, entschieden wir, dass uns die Optik des Schirms ohne eine Blende deutlich besser gefiel.



Abbildung 15: Muster Tiefziehteil



Abbildung 16: CAD-Modell mit Tiefziehteil als Blende

5.2 Weiter Bauteile

Die Lampe wurde durch zusätzliche Bauteile komplettiert. Da der Lampenschirm mit seinen segmentartigen Formholzteilen noch unvollständig war, entwickelten wir eine eigene Konstruktion, um den Schirm zu schließen und die Lampenfassung aufzunehmen. Marktübliche Zukaufteile waren hierfür nicht geeignet. Unsere Lösung bestand darin, dass eine Haube den Schirm von oben drückt, während ein Haltering ihn von unten stützt. Ein Halteblech bildet den Abschluss. Metrische Schrauben halten die gesamte Konstruktion zusammen und fixieren die Fassung.

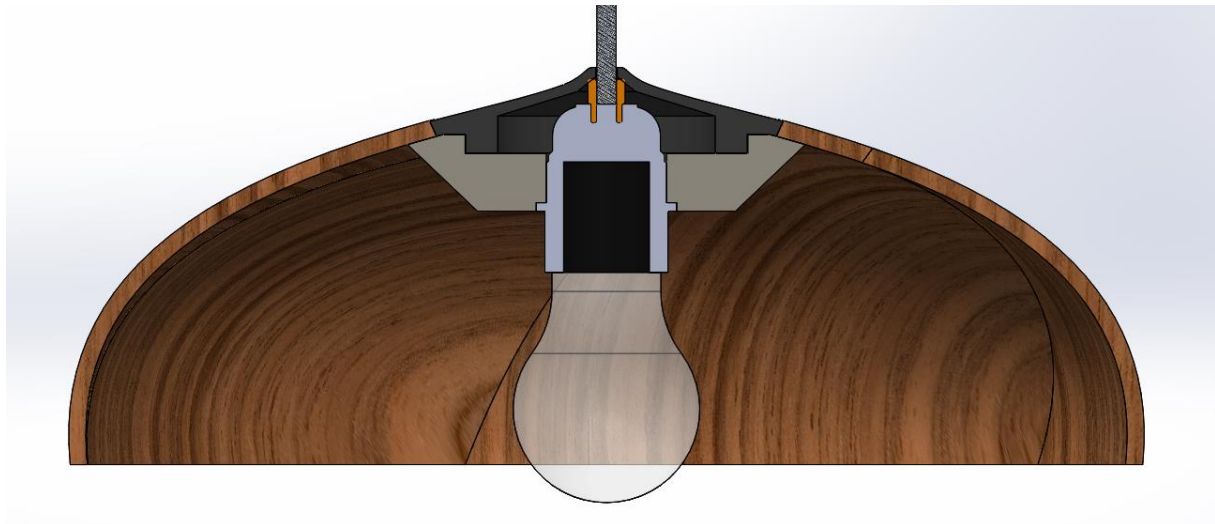


Abbildung 17: Vertikalschnitt im CAD

Die Haube schließt das fünfeckige Loch im Schirm und spiegelt dessen Form wider. Abgesehen von den Außenkanten handelt es sich um einen Rotationskörper, der bündig zur Oberfläche der Holzteile verläuft. Auf der Unterseite befindet sich eine kreisrunde Aussparung, die Platz für die Fassung bietet, sowie ein erhobener Kreisring, der den Haltering auf der Innenseite der Lampe zentriert.

Um den Schrauben, die alles verspannen, dauerhaften Halt zu gewähren, klebten wir kleine Gewindeeinsätze ein. Hierfür testeten wir verschiedene Verfahren und Klebstoffe, wie das trockene Einpressen in kleine Lochdurchmesser und das Einschmelzen ins Material. Sowohl 5-Minuten-Epoxy als auch Sekundenkleber zeigten gute Ergebnisse. Zudem testeten wir verschiedene Lochdurchmesser von 3,8 mm, 4,0 mm und 4,3 mm. Alle Verfahren erwiesen sich als ausreichend fest. Maximale Auszugswerte von 36 kg erreichten wir bei einer Verklebung mit Epoxidharz in einem 4,3 mm-Loch, wobei hierbei nicht die Verklebung, sondern das Material versagte und die Gewindemuffe samt umliegendem Material herausriss. Für schnellen Arbeitsfortschritt und bessere Zentrierung nutzten wir die Kombination aus warmem Einschmelzen in 4,0 mm-Löcher mit einem Tropfen Sekundenkleber auf der Oberfläche als Ausdrehsicherung.

Die Materialwahl fiel auf Obomodulan, da es glatte und in sich geschlossene Oberflächen sowie eine gute Fräsbearbeitbarkeit bietet. Als Alternativen wurden schwarzes MDF und gebeiztes Massivholz in Betracht gezogen. Zudem diskutierten wir die Möglichkeit, dieses Bauteil mittels additiver Fertigung mit einem Filament-3D-Drucker im "Fused Deposition Modeling" (FDM)-Verfahren herzustellen.

Das Bauteil wurde in zwei Spannvorgängen gefräst. Zunächst bearbeiteten wir die Unterseite mit den Bohrungen für die Gewindemuffen. Anschließend spannten wir die Oberseite auf einer angepassten

Aufspannform mit Vakuum. Zur exakten Ausrichtung in der richtigen Rotationsposition dienten zusätzliche Passstifte. Um den Unterdruck des Vakuums aufrechtzuerhalten, führten wir die Bohrung für die Kabeldurchführung zunächst als Sacklochbohrung aus und bohrten sie erst später manuell durch.

Die Oberfläche wurde konturparallel abgezeilt mit einem Kugelfräser, wodurch ein charakteristisches Muster entstand. Diese Oberflächenstruktur war gewünscht und wurde bewusst nicht vollständig verschliffen, sodass der Hinweis auf das Fertigungsverfahren – ein zentraler Aspekt dieses Moduls – auch nach dem Lackieren sichtbar bleibt.

Der Lackaufbau bestand aus Grundierung, zwei Farbschichten und einer abschließenden Klarlackschicht.

5.2.1 Haltering

Der Haltering wurde analog zur Haube gefertigt, jedoch mit einigen Unterschieden: Hier bearbeiteten wir zuerst die Oberseite mit einer kreisförmigen Nut, gefolgt von der Unterseite.

Anstelle einer Vakuumspannung nutzten wir Durchgangslöcher und metrische Schrauben, die in Gewindehülsen der Aufspannform eingeschraubt wurden. Diese Aufspannform entsprach der Unterseite der Haube. Eine geplante Doppelnutzung war jedoch nicht möglich, da beim Fräsen der schrägen Flanken die Aufspannform angekratzt werden musste.

5.2.2 „Halteblech“

Um die Fassung auch beim Anheben der Lampe sicher an ihrem Platz zu halten und das Eindrücken der Schraubenköpfe zu verhindern, wurde ein Blech vorgesehen. Die Außenkontur des Blechs ist ein Fünfeck mit abgerundeten Ecken, mit einer mittigen 40 mm-Bohrung für die Lampenfassung und zusätzlichen Bohrungen für M3-Schrauben.

Ursprünglich planten wir, ein Metallblech mit etwa 2 mm Stärke zu verwenden. Allerdings ließen sich nur spezielle Aluminium- oder Messinglegierungen auf den CNC-Maschinen des Labors ausreichend gut bearbeiten, diese waren kurzfristig nicht verfügbar. Daher wechselten wir zu selbst hergestelltem Sperrholz aus fünf Lagen mit einer Gesamtdicke von 2,8 mm.

Die Bearbeitung fand auf einer Opferplatte statt. Zuerst fixierten wir den Rohling mit doppelseitigem Klebeband und bohrten die benötigten Löcher. Anschließend wurde das Programm pausiert, um Schrauben in diese Bohrungen einzusetzen und ausreichend Spannkraft für das Fräsen der Kontur sicherzustellen.

5.2.3 Baldachin

Um die Pendelleuchte an der Decke zu befestigen, ohne auf ein Zukaufteil angewiesen zu sein, wurde ein zur Formsprache und Materialität der Lampe passender Baldachin entwickelt. Er verdeckt sowohl die Aufhängung als auch den Stromanschluss.

Gefertigt wurde er aus schwarz durchgefärbtem MDF, dass im Vakuumsack mit 3D Furnier überfurniert wurde. Dabei wurden drei Baldachine gleichzeitig auf den Vakuumsaugern aufgespannt und in folgender Reihenfolge bearbeitet:

1. Kreistasche auf der Rückseite, um Platz für Kabelklemmen zu schaffen
2. Schichten der Oberfläche, Hügel entstehen
3. Furnieren im Vakuumsack
4. Furnierte Oberfläche schleifen
5. Konturfräsung sowie die Bohrung bis auf eine Höhe von 2 mm
6. Einzelteile an der Bandsäge ausgesägt und Kanten geschliffen

7. Bei einem Exemplar kam es zu einem ausgerissenen 3D-Furnier, vermutlich verursacht durch einen geringeren Anpressdrucks im Vakuumsack verglichen mit einer Gegenform. Diese Fehlstellen wurden angeflickt und erfolgreich kaschiert.
8. Ölen der Oberfläche

Diese Arbeitsreihenfolge ermöglichte eine schnelle und effiziente Fertigung.

Da eine universelle Lösung der Befestigung für unterschiedliche Decken Beschaffenheiten und Aufhänge-Situationen schwierig ist, wurde keine Befestigung konstruiert, diese kann einzeln den jeweiligen Gegebenheiten entsprechend ergänzt werden.

5.2.4 Zukaufteile

Die elektronischen Bauteile wurden zugekauft. Wir entschieden uns für eine E27-Fassung aus Bakelit, die einen M10-Anschluss für eine Zugentlastung und ein 40 mm-Gewinde zum Anbringen eines Lampenschirms aufwies. Leider waren diese Fassungen nicht besonders maßhaltig, sodass wir trotz eingeplanter Toleranzen die Halteringe aus der Serie individuell an die variierenden Durchmesser anpassen mussten. Da die Haube besonders flach konstruiert werden sollte, blieb wenig Raum für die Zugentlastung, weshalb das Zukaufteil entsprechend gekürzt wurde. Für die Verkabelung nutzten wir textillummantelte Kabel. Um die Blendung zu reduzieren, setzen wir teilweise verspiegelte Glühlampen, als Leuchtmittel ein.



Abbildung 18: Zugentlastungen

9. Montage

Nachdem die einzelnen Bauteile das erste Mal geölt und formatiert wurden, konnten wir mit dem ersten Schritt der Montage beginnen. Dieser bestand aus dem Verleimen der zuvor formatierten Teile. Zu sagen ist, dass wir das Verleimen unmittelbar nach dem Formatieren und dem Konditionieren durchgeführt haben, da die Teile zu diesem Zeitpunkt die größte Formstabilität aufweisen.



Abbildung 19: Formatiertes Formholzteil in der Formatierform

Um das Verleimen vorzubereiten, hüllten wir die Montageform in transparente Folie und legten weitere Utensilien wie z.B. Zwingen, einen Pinsel, einen Lappen und Zulagen bereit. Um die Teile zu verleimen, benetzten wir die Schmalflächen mit PVAC-Leim und legten sie anschließend in die Form. Danach wurde Druck über einen äußeren und inneren Ring aufgebracht. Während der Druck aufgebracht wurde, reichten einige gezielte Hammerschläge aus, um die Teile in die vorgesehene Position zu bewegen. Abschließend konnte das Innere des Lampenschirms mit einem feuchten Tuch von überschüssigem Leim befreit werden.



Abbildung 20: Verleimen der einzelnen Formholzteile in der Montageform

Nachdem die zweite Oberflächenbehandlung des Lampenschirms stattgefunden hatte, konnten wir die finale Montage durchführen. Hierbei wurden Lampenschirm, Halteblech, Haltering, Haube und die Fassung miteinander verbunden. Gesichert wurde diese Verbindung durch kleine Muffen, die sich in der Haube befinden und Schrauben, die nach dem Zusammenfügen der Bauteile in diese Muffen geschraubt wurden.



Abbildung 21: Pendelleuchte in der Frontalansicht

6 Fazit

Rückblickend lässt sich sagen, dass wir insgesamt sehr zufrieden über den Ablauf des CAD/CAM-Praxisprojektes sind. Das Projekt ermöglichte es uns an einer Vielfalt von Themenbereichen zu arbeiten, die im Holzingenieurwesen von großer Relevanz sind. Wir beschäftigten uns vom Entwurfsprozess, über die Konstruktion in CAD-Programmen bis hin zur CAM-Programmierung und der eigentlichen Fertigung.

Auch in Bezug auf unseren erstellten Lampenschirm, lässt sich sagen, dass der Projektablauf im Gesamten gut getaktet und damit unserer Meinung nach sehr erfolgreich war. Die größten Lerneffekte konnten wir durch die Anpassungen im Fertigungsprozess erzielen, wie z.B. das Erstellen einer neuen Pressform oder das Lasern der Furnierblätter. Beide Anpassungen führten zu Zeitersparnissen und zu einer größeren Kontrolle innerhalb der Fertigung.

Auch wenn wir innerhalb des Projektes viele Optimierungen durchführen konnten, ist uns durchaus bewusst, dass es diesbezüglich noch viel Potential gäbe. Um die Produktion des Lampenschirms serientauglicher zu gestalten, müssten z.B. Konditionierzeiten verkürzt, Schleifvorgänge optimiert und die Ausschussraten verkleinert werden.

Zusammenfassend entstand durch das gesamte Projekt ein sehr großes Lernspektrum, aus dem wir viele wichtige Erkenntnisse gewinnen konnten, welche uns in unserer weiteren Laufbahn ohne Zweifel nützlich sein werden.



Abbildung 22: Fertiges Produkt

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Collage der Entwurfsskizzen und Inspiration	3
Abbildung 2: Pressversuch im Vakuumsack	4
Abbildung 3: Pressergebnis aus dem Vakuumsack	4
Abbildung 4: Zweiteilige Pressform.....	5
Abbildung 5: Furnier-Schablone	5
Abbildung 6: Pressform mit Anschlägen	6
Abbildung 7: Zweite Version der Pressform.....	6
Abbildung 8: Zweite Pressform in der Presse.....	7
Abbildung 9: Messergebnisse in der Dicke.....	8
Abbildung 10: Konditionierung von Formholzteilen	9
Abbildung 11: Klar lackierte Außenseite	10
Abbildung 12: Farblich lackierte Innenseite	10
Abbildung 13: Messung der Rissbreite.....	10
Abbildung 14: Geölte Formholzteile	10
Abbildung 15: Muster Tiefziehteil	11
Abbildung 16: CAD-Modell mit Tiefziehteil als Blende.....	11
Abbildung 17: Vertikalschnitt im CAD	12
Abbildung 18: Zugentlastungen	14
Abbildung 19: Formatiertes Formholzteil in der Formatierform	15
Abbildung 20: Verleimen der einzelnen Formholzteile in der Montageform.....	15
Abbildung 21: Pendelleuchte in der Frontalansicht.....	16
Abbildung 22: Pendelleuchte von Innen	17

Alle Abbildungen sind eigene Skizzen, Fotos, CAD Darstellungen, Screenshots oder Renderings.