

Ausarbeitung von

**Jerome Frohn**, Matrikelnr.: 688448

**Pia Junker**, Matrikelnr.: 688545

**Jan-Renke Oldewurtel**, Matrikelnr.: 688668



# **Inhaltsverzeichnis**

<b>1. Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2. Aufbau einer E-Gitarre</b>	<b>6</b>
<b>3. Vorgehensweise</b>	<b>11</b>
<b>4. Fender Telecaster</b>	<b>12</b>
4.1 Beschreibung der Gitarre	13
4.2 Von der CAD-Zeichnung zum gefrästen Korpus	14
4.3 Oberflächenbeschichtung	17
4.4 Resume	18
<b>5. Gibson Les Paul</b>	<b>20</b>
5.1 Beschreibung der Gitarre	21
5.2 CAD-Zeichnung	22
5.3 Der Korpus	24
5.4 Der Hals	28
5.5 Das Griffbrett	33
5.6 Die Decke	36
5.7 Hardware Einbau	40
5.8 Oberflächenbeschichtung	40
5.9 Resume	41
<b>6. Besuch bei Bassart Guitars</b>	<b>43</b>
<b>7. Semi-Hollow-Gitarre</b>	<b>46</b>
7.1 Beschreibung der Gitarre	47
7.2 CAD-Zeichnung	48
7.3 Der Korpus	49
7.5 Die Decke	53
7.6 Hardware Einbau	58
7.7 Oberflächenbeschichtung	58
7.8 Resume	60
<b>8. Rückblick über 15 Wochen</b>	<b>62</b>
<b>9. Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>64</b>
<b>10. Quellenverzeichnis</b>	<b>65</b>

# 1. Einleitung



*Ausstellung der drei Gitarren im LBT*

Das Projekt CAD CAM bei Dipl.- Ing. Renke Abels und Dipl.- Ing. Norbert Linda umfasst den Bau eines Möbels, mit mindestens einem Bauteil als Formteil und der Bearbeitung mit einem CNC- gesteuerten 5- achsigen Bearbeitungssystem, in einem Zeitraum von 15 Wochen. In diesem Rahmen haben wir uns entschieden eine halbakustische E-Gitarre zu bauen. Die Idee eine E-Gitarre zu bauen stand schon lange vor Beginn des Projektstarts fest und wurde den Rahmenbedingungen angepasst. So entschieden wir uns für den Bau einer halbakustischen Gitarre, da in ihr das geforderte Formteil umsetzbar war.

Da kein Gruppenmitglied Erfahrung mit dem Bau von Gitarren oder anderen Instrumenten hatte, entwickelten wir ein Konzept mit dem wir in einzelnen Schritten die

Herausforderungen des Instrumentenbaus angingen. Das Konzept beinhaltet den Bau von drei Gitarren unterschiedlicher Bauart.

Die erste Gitarre ist ein Nachbau der Fender Telecaster. Sie ist die erste E-Gitarre, die industriell in Serie gefertigt wurde<sup>1</sup> und im Vergleich zu den anderen beiden sehr einfach gehalten. Beim Bau dieser Gitarre ging es uns darum, uns mit den verwendeten Programmen vertraut zu machen und Erfahrungen mit der Fräsqualität zu machen.

Die zweite Gitarre ist ein Nachbau einer Gibson Les Paul. Hier wurde auch der Hals von uns gefertigt, sowie das Griffbrett. Eine weitere Herausforderung war die Konstruktion der gewölbten Decke und ihre Fertigung. Der Unterschied zur dritten Gitarre, der Semi Hollow, liegt darin, dass die Les Paul aus Vollholz gefertigt ist.

Die Semi Hollow ist in ihrer Form und der Bauart der zweiten Gitarre sehr ähnlich. Jedoch besitzt sie eine furnierte Decke aus Schichtholz, bei der die Wölbung mittels einer Pressform erzeugt wurde. Die Schichtholzdecke mit F-Cuts und der ausgefräste Korpus machen sie zu einer halbakustischen E-Gitarre.

Auf den folgenden Seiten werden wir den Aufbau einer Gitarre erklären, sowie unsere Vorgehensweise im Projekt. Ein besonderes Augenmerk soll auch auf die Schwierigkeiten gelegt werden und unsere Erfahrungen, die wir in den 15 Wochen gemacht haben.

---

<sup>1</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Fender\\_Telecaster](https://de.wikipedia.org/wiki/Fender_Telecaster)

## 2. Aufbau einer E-Gitarre

Der folgende Text gibt eine kleine Einführung in den Themenbereich E-Gitarre. Zu Beginn werden die einzelnen Komponenten einer Gitarre erläutert.



*Beschriftete E-Gitarre*<sup>2</sup>

**Korpus:** Das ist der aus Massivholz bestehende untere Teil einer E-Gitarre. Er kann verschiedene Formen haben und besteht meist aus Erle, Esche oder Mahagoni.

**Decke:** Auf dem Korpus befindet sich, bei mehrteiligen Korpen, die Decke, welche aus den verschiedensten Hölzern bestehen kann. Ein oft verwendetes Zierholz ist beispielsweise Riegelahorn.

**Klinkenbuchse:** Ein Kabel wird vom Verstärker zur Klinkenbuchse geführt, um die elektrischen Signale zu übermitteln.

---

<sup>2</sup> <https://www.gitarrebass.de/wp-content/uploads/2018/03/E-Gitarre-%C3%9Cbersicht-1.jpg>

**Volume Potentiometer:** Hier wird die Lautstärke des Instruments geregelt.

**Tone Potentiometer:** Hier wird die Intensität des Klangs geregelt.

**Bridge:** Die Bridge kann aus mehreren Teilen bestehen. In diesem Beispiel (der Gibson Les Paul) besteht die Bridge aus einem Saitenhalter und einer Tune-O-Matic. Die Tune-O-Matic ist für die Feinjustierung des Instruments zuständig. Mit ihr wird das Instrument intoniert. Unter Intonation versteht man die Abstimmung der Tonhöhen um einen guten Klang zu erzeugen<sup>3</sup>.

**Tonabnehmer:** Am Tonabnehmer, oder eng. Pickup, wird die Schwingung der Saite per Magnet aufgenommen und in elektrische Signale umgewandelt. Es gibt zwei oft verwendete Begriffe für Tonabnehmer.

Single-Coil: Ein einfacher Tonabnehmer

Humbucker: Ein doppelter Tonabnehmer, er besteht aus zwei Single-Coils

**Pickup-Switch:** Am Switch können die Tonabnehmer in verschiedenen Variationen zu- und abgeschaltet werden. Dieser Schalter regelt, welcher Tonabnehmer bzw. welche Tonabnehmerkombination das Signal an den Verstärker übermittelt.

**Griffbrett:** Für das Griffbrett werden oft härtere Hölzer, wie zum Beispiel Palisander und Ebenholz verwendet, um den Verschleiß des Griffbretts durch die Hände zu minimieren. Auf dem Griffbrett befinden sich außerdem die Bünde, mit Hilfe dieser werden die verschiedenen Töne gespielt. Sie werden durch Bundstäbe voneinander getrennt, deren Abstand sehr präzise berechnet und gefertigt werden muss.

**Hals:** Der Hals besteht häufig aus dem gleichen Holz, wie der Korpus. Auf ihm wird das Griffbrett geleimt. In ihm befindet sich ein Spannstab, der gegen die Biegung des Halses arbeitet, welche durch die Zugkraft der Saiten auftritt. Durch diese Konstruktion bleibt das Instrument spielbar trotz Durchbiegung des Holzes.

---

<sup>3</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Intonation\\_\(Musik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Intonation_(Musik))

**Inlays:** Die Inlays bieten dem Gitarristen Orientierung auf dem Griffbrett und werden häufig auch zur Zier sehr aufwändig designt.

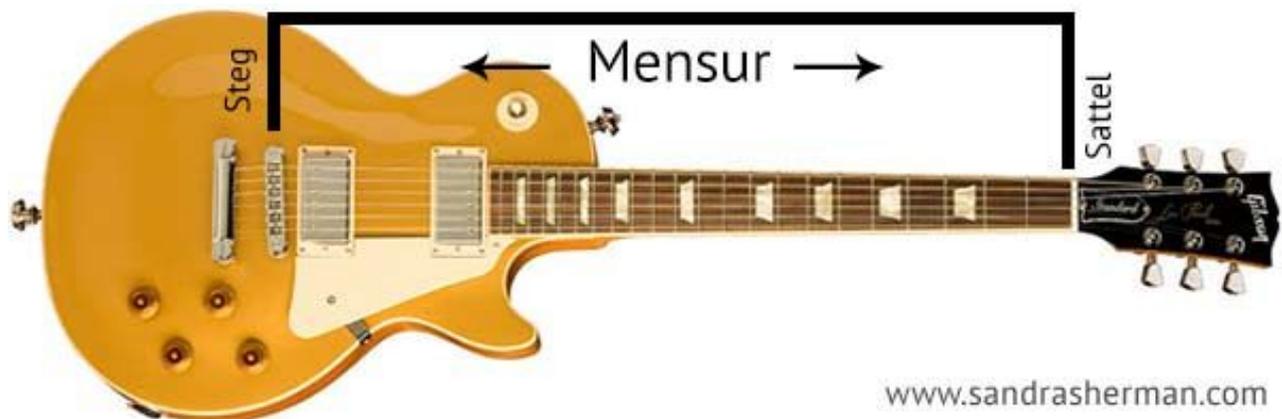
**Sattel:** Über den Sattel werden die Saiten zu den Mechaniken geführt.

**Stimmmechaniken:** Durch die Stimmmechaniken werden die Saiten auf die richtige Tonhöhe gestimmt.

**Kopfplatte:** Die Kopfplatte dient der Befestigung der Mechaniken.

### **Mensur:**

Wichtig zu erwähnen ist an dieser Stelle, dass die Mensur, sowie die Bundabstände zueinander und zum Sattel exakt berechnet werden müssen. Zuerst einmal will die Mensur erklärt werden. Die Mensur ist grob gesagt die Länge der freischwingenden Saite, das heißt der Abstand zwischen dem letzten Auflagepunkt der Saite auf der Brücke und dem ersten Berührungspunkt der Saite auf dem Sattel.



*Mensur bei einer E-Gitarre <sup>4</sup>*

Diese Mensur hat bei den verschiedenen Modellen eine unterschiedliche Länge. Bei der Fender Telecaster beträgt diese Länge 25.5 Zoll (647.1 mm), im Gegensatz dazu misst die

<sup>4</sup> <https://www.sandrasherman.com/lexikon/img/mensur-gitarre.jpg>

Mensur bei der Gibson Les Paul 24.74 Zoll (628.35 mm). Nun kann man aus der Länge der Mensur, die Abstände der einzelnen Bünde zum Sattel berechnen. Bei diesen Berechnungen kommt es auf jeden zehntel Millimeter an, und erlaubt keine Ungenauigkeiten, damit am Ende ein spielbares, stimmstabiles Musikinstrument entsteht. Auch wichtig für das Instrument ist die elektronische Schaltung innerhalb des Instruments. Hier wird, für ein gutes Ergebnis, die Kompatibilität der verwendeten Komponenten verlangt. Wenn die Abstimmung der einzelnen elektronischen Bauteile nicht zusammenpasst, wird unweigerlich die Qualität vermindert.

## Semi-Hollow-Gitarre



*Aufgeschnittener Korpus der Semi Hollow*

Der Unterschied zwischen einer klassischen E- Gitarre (Solidbody Guitar) und einer (Semi-Hollow Guitar) ist der Aufbau von Korpus und Decke. Bei einer Solidbody Guitar ist der Korpus aus massivem Holz gefertigt. Im Gegensatz dazu ist der Korpus einer Semi-Hollow Guitar hohl. Desweiteren gibt es jedoch auch verschiedene Konstruktionsarten von halbakustischen (Semi- Hollow) Gitarren. Man unterscheidet an dieser Stelle zwischen Halbresonanzgitarren (Hollowbody Guitars) und Gitarren halbmassiver Bauweise (Semi-Solid Guitars). Halbresonanzgitarren sind in einer sogenannten Zargenbauweise, ähnlich einer Akustikgitarre, gefertigt, im Gegensatz zu halbmassiven Gitarren, welche der klassischen E- Gitarre (Solibody- Guitar) am ähnlichsten sind, da der massive Korpus lediglich hohlgefräst wird, um einen Resonanzkörper zu schaffen. Die von uns produzierte Semi- Hollow-Gitarre ist daher eine E-Gitarre in halbmassiver Bauweise (Semi-Solid-Guitar).<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Halbresonanzgitarre#Konstruktionsweise>

### 3. Vorgehensweise



Nachdem das Konzept für das Projekt fest stand ging es an die Planung der Vorgehensweise und der Umsetzung.

Hierfür wurden alle notwendigen Informationen zu den einzelnen Gitarren gesammelt. Als Quellen dienten Foren im Internet, Youtubekanäle verschiedener Gitarrenbauer, der Besuch der Vintage Guitar Show 2018 in Oldenburg und der Besuch bei Matthias Meyer von Bassart Guitars während des Projektes. Als zusätzliche Hilfe war ein Nachbau einer Gibson Les Paul vorhanden, an dem wir uns orientieren konnten, wenn er auch in Form und Oberfläche nicht exakt unseren Modellen entspricht.

Aus den gesammelten Informationen wurden Zeichnungen der Gitarren in Cimatron 13 erstellt.

#### *Nachbau einer Gibson Les Paul der Firma Johnson*

Die Zeichnungen wurden als STEP-Dateien in AlphaCam eingefügt, wo dann die jeweiligen Bearbeitungen festgelegt wurden.

Von da aus ging es mit dem NC-Code an die CNC-Maschinen. Die Bearbeitungen wurden fast ausschließlich an der Maka 1 des LBT ausgeführt. Die Maka 1 ist ein 5-achsiges Bearbeitungszentrum und verfügt über zwei kombinierbare Werkzeuggestische, einen 10 fachen Werkzeugwechsler und einem Platz für ein Sonderwerkzeug.

Alle erstellten Dateien und Bilder wurden auf einer externen Festplatte gespeichert, die zu jedem Zeitpunkt allen Gruppenmitgliedern zur Verfügung stand.

Genauere Informationen zu den Programmierungen und dem Material geben wir in der Beschreibung der einzelnen Gitarren.

#### 4. Fender Telecaster



*Unser Nachbau der Fender Telecaster*

## 4.1 Beschreibung der Gitarre

Die Telecaster wird seit 1950 von der amerikanischen Firma Fender gebaut und wurde von Größen wie Keith Richards (Rolling Stones), Bruce Springsteen und Jimmy Page (Led Zeppelin) gespielt <sup>6</sup>.

Die Gitarre zeichnet sich dadurch aus, dass die Saiten durch den Korpus hindurch von der Rückseite aus, eingefädelt werden und über eine Brücke, welche eigens für diese Gitarre konstruiert wurde, über die Tonabnehmer (zwei Single- Coils) zur Kopfplatte führen.

Hinzu kommt, dass der Hals mit dem Korpus verschraubt wird und nicht, wie beispielsweise bei Gibson üblich, eingeleimt ist.

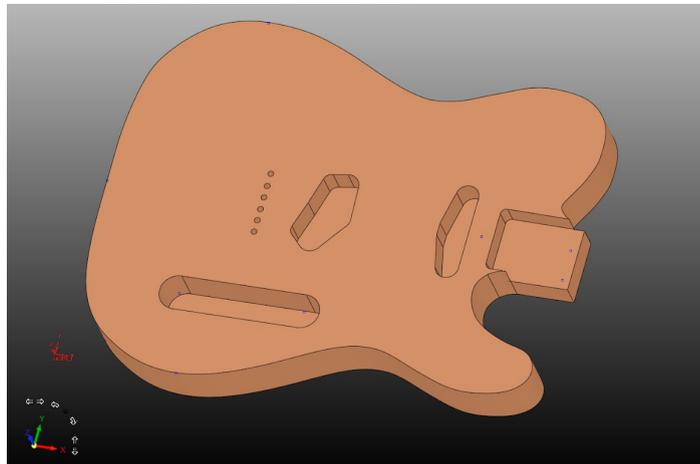
### **Die Telecaster im Konzept**

Um unser Konzept mit dem Ziel, der Semi Hollow Gitarre im Les Paul- Stil, umzusetzen, wurde beim Bau der Telecaster auf die Konstruktion des Halses verzichtet, dieser wurde zugekauft. Der Hals ist im Vergleich zur Gibson Les Paul nicht geneigt und hat eine Kopfplatte mit linken Mechaniken. Die Konstruktion und die Fertigung des Halses hätte viel Zeit und wenig Mehrwert für das Ziel gebracht. Zusätzlich war der Telecaster- Nachbau unser erster Versuch eine Gitarre zu bauen und die Konstruktion und die CNC-Programmierung des Halses hätte uns vermutlich schon zu Beginn des Projektes vor Herausforderungen gestellt, die wir mit dem derzeitigen Wissensstand über die Fertigung mit CNC-Maschinen nur schwer hätten bewältigen können. Aus diesem Grund haben wir uns auf den Korpus fokussiert.

---

<sup>6</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Fender\\_Telecaster](https://de.wikipedia.org/wiki/Fender_Telecaster)

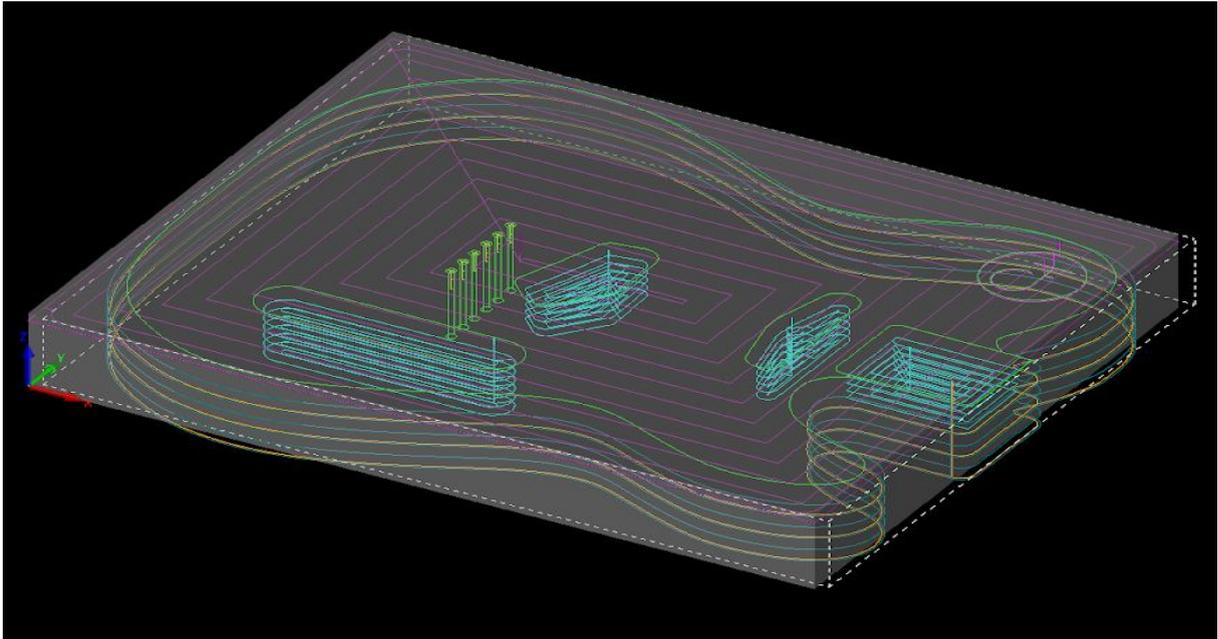
## 4.2 Von der CAD-Zeichnung zum gefrästen Korpus



*CAD-Zeichnung des Korpus in Cimatron*

Der Korpus ist in seiner äußeren Form geschwungen aber in der Fläche plan und hat Ausfräsungen für die Hardware. Alle Bearbeitungen sind von einer Seite und mit 3 Achsen gefräst. Bei allen Werkstücken, die wir gefertigt haben, sah der Ablauf gleich aus. Im ersten Schritt wurde eine 3D- CAD- Zeichnung mit Cimatron erstellt, welche als Solid- Körper im STEP- Format in das CAD/CAM- Programm Alphacam importiert wurde. Alle erforderlichen Geometrien wurden von diesem Solid- Körper abgegriffen, um die Fräsbahnen zu generieren.

<b>Korpus</b>		
Fräsreihenfolge	Bearbeitung	Fräser
1	Planfräsen des Rohteils	Schlichtfräser 20 mm
2	Bohren der Löcher für die Saiten	Schlichtfräser 4 mm
3	Taschenfräsung für die Tonabnehmer, Halstasche, Controlplate	Schlichtfräser 10 mm
4	Schruppfräsung der Kontur mit Aufmaß	Schruppfräser 16 mm
5	Schlichtfräsung der Kontur	Schlichtfräser 16 mm



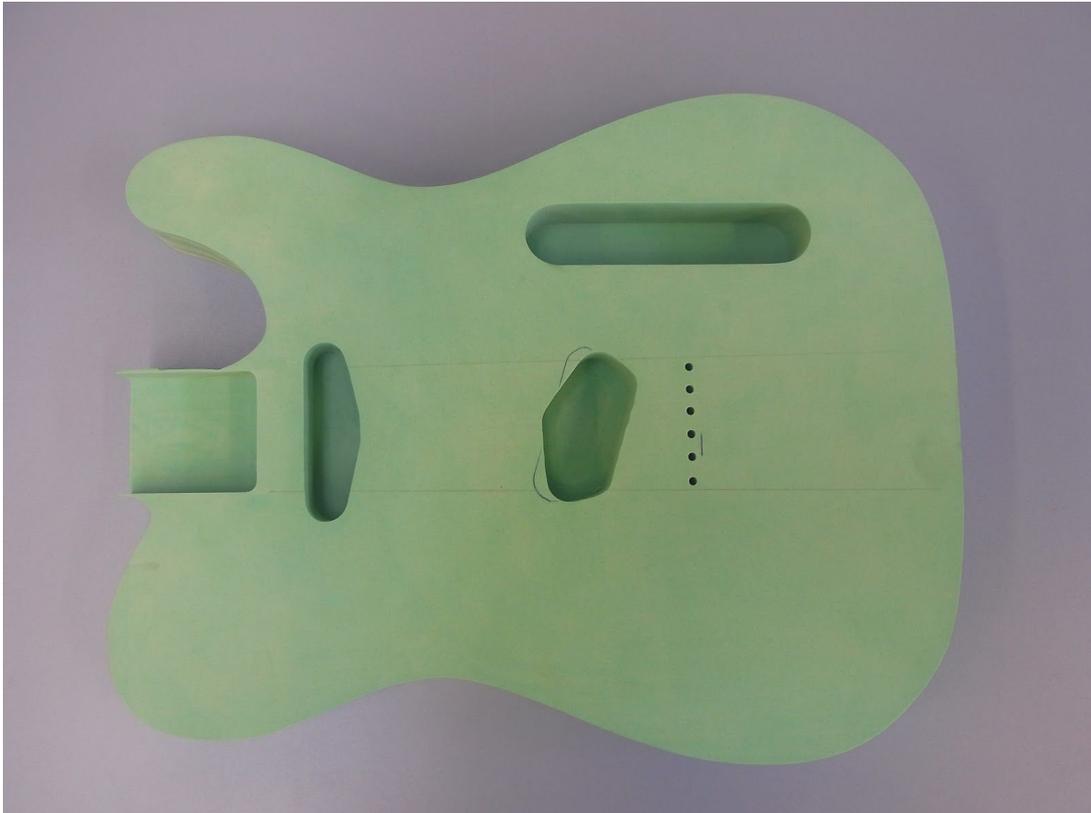
### *Bearbeitungen des Korpus in AlphaCam*

Da der Korpus in einer einzigen Bearbeitung hergestellt werden konnte, verzichteten wir auf die Herstellung einer Vorrichtung und positionierten die Vakuumsauger so auf dem Maschinentisch, dass die Fräser, die unterhalb der Werkstück Unterkante arbeiten, die Sauger nicht treffen konnten. Dies nahm viel Zeit in Anspruch, sodass wir bei den folgenden Gitarren Vorrichtungen nutzten, die helfen sollten, das Rohteil schnell und einfach auf dem Maschinentisch zu positionieren.

Das Rohteil besaß eine gehobelte Unterseite. Um nun die gewünschte Dicke des Korpus zu definieren und um eine gleichmäßig plane Oberfläche zu erhalten, starteten wir die CNC-Bearbeitung mit einer Planfräsung des Rohteils. Daraufhin folgten die Taschenfräsungen und Bohrungen für die Einbauteile, als auch die Konturfräsung, welche in zwei Schritten unterteilt war.

Beim Schruppen der Kontur wurde ein Aufmaß von 1mm gewählt, um die Oberflächenqualität zu erhöhen. Dadurch dass wir beim Schlichten dann jedoch mehrere Zustellungen einprogrammiert haben, ergab es keine qualitativ hochwertige Oberfläche an den Schmalkanten der Gitarre, was viel Handarbeit zur Folge hatte. Dieses Problem lösten wir bei den folgenden Gitarren, indem wir die Schlichtfräsung der Kontur in einer Zustellung erfolgen ließen. Die bestellten Einbauteile passten zudem nicht ganz in Ausfräsungen für die sie vorgesehen waren. Wir optimierten das Programm, indem die Ausfräsungen in Größe und

Tiefe an die von uns bestellten Einbauteile angepasst wurden bis die Tonabnehmer, der Hals und die Control-Plate exakt an ihrem Platz saßen.



*Probefräsung in Polyurethan mit Markierungen der Änderungen*

Die ersten Probefräsungen wurden in Polyurethan durchgeführt. Im späteren Verlauf des Projektes haben wir jedoch Abstand von diesem Material genommen und haben schon für die Probefräsungen Holz gewählt. Der Grund hierfür war neben dem ökologischen Aspekt, dass so schon bei den Proben das Verhalten des Holzes beim Fräsen kontrolliert werden konnte. So konnten wir bei Ausrissen, Verbrennungen und schlechter Oberflächenqualität schneller reagieren und weitere Versuche auslassen.

Unser Telecaster- Nachbau besitzt einen Korpus aus Lindenholz, da wir durch die Modellbauwerkstatt unserer Fakultät Zugriff auf diese Holzart bekamen, welche sich gut für den Bau von E- Gitarren eignet. Da unsere Tonholz - Recherche zu Beginn des Projektes noch nicht weit genug fortgeschritten war und wir auch keine eigenen Erfahrungen bezüglich der Holzwahl vorweisen konnten, entschlossen wir uns, Versuche und Proben mit Lindenholz durchzuführen.



### *Löten der Hardware*

#### 4.3 Oberflächenbeschichtung

Die Oberflächenbeschichtung der Telecaster sollte aus Zeitgründen möglichst einfach gehalten werden. Trotzdem sollte der Charme der Gitarre betont werden und ein Oberflächenschutz hergestellt werden. Für die Wahl der Farbgebung wurden viele verschiedene Proben mit Lackbeize gemacht. Da die Oberflächenbeschichtung der Telecaster und der Gibson Les Paul zeitlich zusammen kam, wurden Proben auf Limba, Erle und Linde gemacht. Die Entscheidung traf dann Jerome, der die Kosten für die Hardware übernommen hatte und die Gitarre nach Fertigstellung besaß.

Die Telecaster wurde in mehreren Schritten gewässert und geschliffen bevor sie mit einer blau-grünen Lackbeize gebeizt wurde. Anschließend wurde sie mit Hartöl in 5 Schichten behandelt und mit 800er Schleifpapier zwischengeschliffen. Der Hals erhielt keine Beschichtung, da er bei Lieferung oberflächenfertig war.



*Montage des Halses*

#### 4.4 Resume

Insgesamt hat der Bau dieser Gitarre lediglich eine Woche gedauert. Dies lag vorwiegend daran, dass es weniger Schwierigkeiten gab als zuvor eingeplant wurden. Aufgrund dessen war diese Projektphase schnell abgearbeitet und wird in dieser Ausarbeitung auch kürzer behandelt. Nichtsdestotrotz war es eine gute Entscheidung unser Projekt mit dieser Gitarre zu starten, um die erlangten Erfahrungen mit den Programmen und der CNC- Maschine in den folgenden Phasen routinierter anwenden zu können.



*Der Nachbau der Fender Telecaster in Front- und Rückansicht*

## 5. Gibson Les Paul



*Unser Nachbau der Gibson Les Paul*

## 5.1 Beschreibung der Gitarre

Die Les Paul ist die erste Solidbody-E-Gitarre von der Firma Gibson. Sie wurde von Größen wie, Slash (Guns n Roses), Jimmy Page (Led Zeppelin) und Eric Clapton gespielt und erlangte mehr und mehr Bedeutung. Sie gilt heute neben den Modellen Telecaster und Stratocaster der Firma Fender als Klassiker.<sup>7</sup>

Besonderheiten sind zum Beispiel der zweiteilige Korpus, welcher aus einem Vollholzkörper und einer gewölbten Vollholzdecke besteht, und der zum Gitarristen geneigte, in den Korpus eingeleimte Hals. Korpus und Decke, welche bei der Montage aufeinander geleimt werden, müssen nicht aus derselben Holzart bestehen. In unserem Fall entschieden wir uns für einen Korpus aus Erle und einer Decke aus Limba. Grund für die Entscheidung war die Verfügbarkeit der Holzarten in den Lagern unserer Werkstätten. Das Griffbrett wird, wie bei allen Gitarren, auf den Hals, dieser besteht bei uns ebenfalls aus Erle, geleimt. Auf der Rückseite des Korpus befinden sich sogenannte Montageklappen. Sie ermöglichen den Einbau und die Wartung der Elektronik.

Die Les Paul hat drei linke und drei rechte Stimmmechaniken, welche an der Kopfplatte angebracht sind. Außerdem besitzt sie einen Drei-Wege-Schalter, um zwischen den Humbucker-Kombinationen hin und herschalten zu können. Des Weiteren besitzt jeder Humbucker einen eigenen Volume und Tone Potentiometer, um das Klangspektrum zu erhöhen und Feineinstellungen zu gewährleisten. Saitenhalter und Tune-O-Matic sind bei diesem Modell von einander getrennt. Der Saitenhalter ist, wie der Name schon vermuten lässt, für das Halten der Saiten gedacht. Mithilfe der Tune-O-Matic wird die Intonation eingestellt, um auch in hohen Bundlagen die exakte Stimmstabilität zu gewährleisten.

### **Die Gibson im Konzept**

Bei diesem Modell war die Herausforderung zum einen die Anzahl der verschiedenen zu fertigen Teile. Dieser E-Gitarren Klassiker besteht aus Korpus, Hals, Griffbrett und Decke. Zu diesen verschiedenen Teilen mussten jeweils Fräsvorrichtungen und

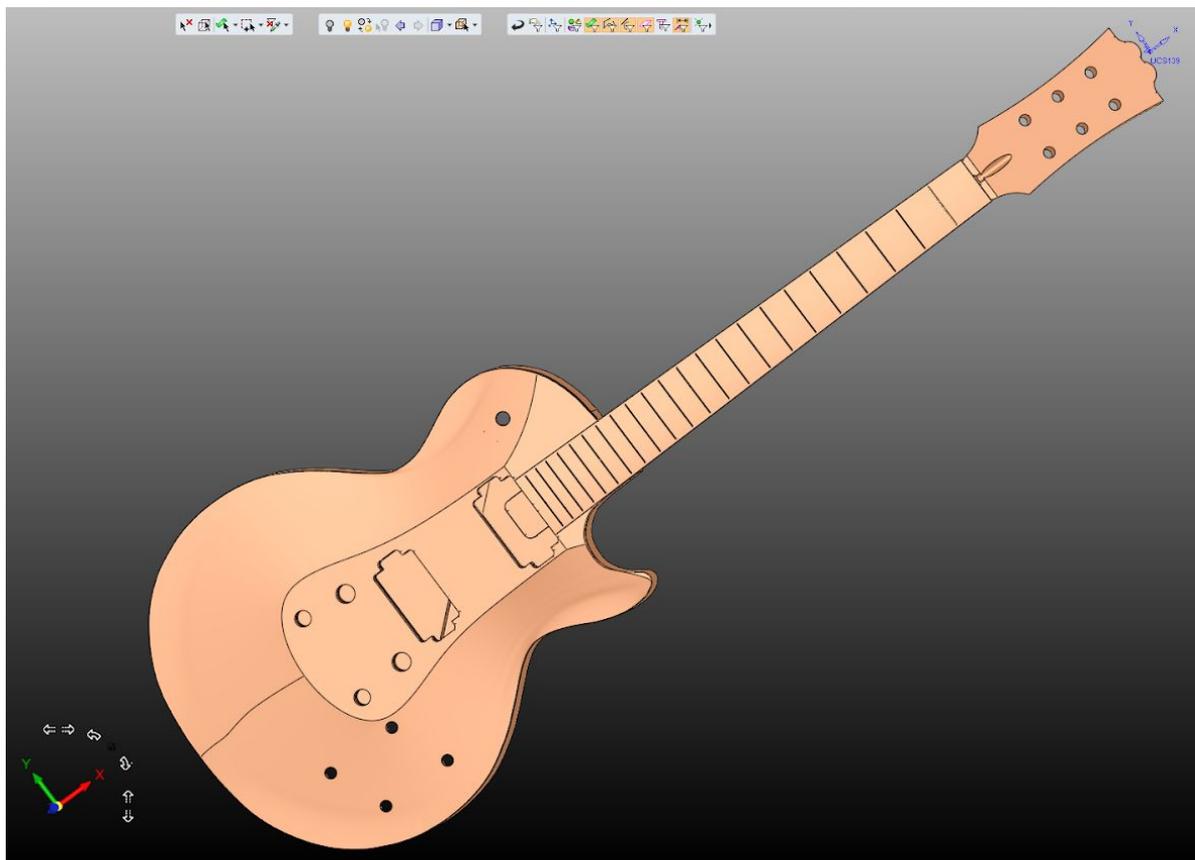
---

<sup>7</sup> [https://de.wikipedia.org/wiki/Gibson\\_Les\\_Paul](https://de.wikipedia.org/wiki/Gibson_Les_Paul)

Fräsprogramme erstellt werden. Zum anderen mussten manche Bauteile von mehreren Seiten bearbeitet werden, welches wiederum den Bau von weiteren Vorrichtungen bedingte. Eine große Aufgabe war der erste eigens konstruierte Hals und die gewölbte Decke.

Für unser Konzept war der Bau der Les Paul besonders entscheidend, da die Teile, wie z.B. der Hals und das Griffbrett 1:1 für den Bau der Semi- Hollow übernommen werden sollten. Daher war diese Phase am zeitintensivsten.

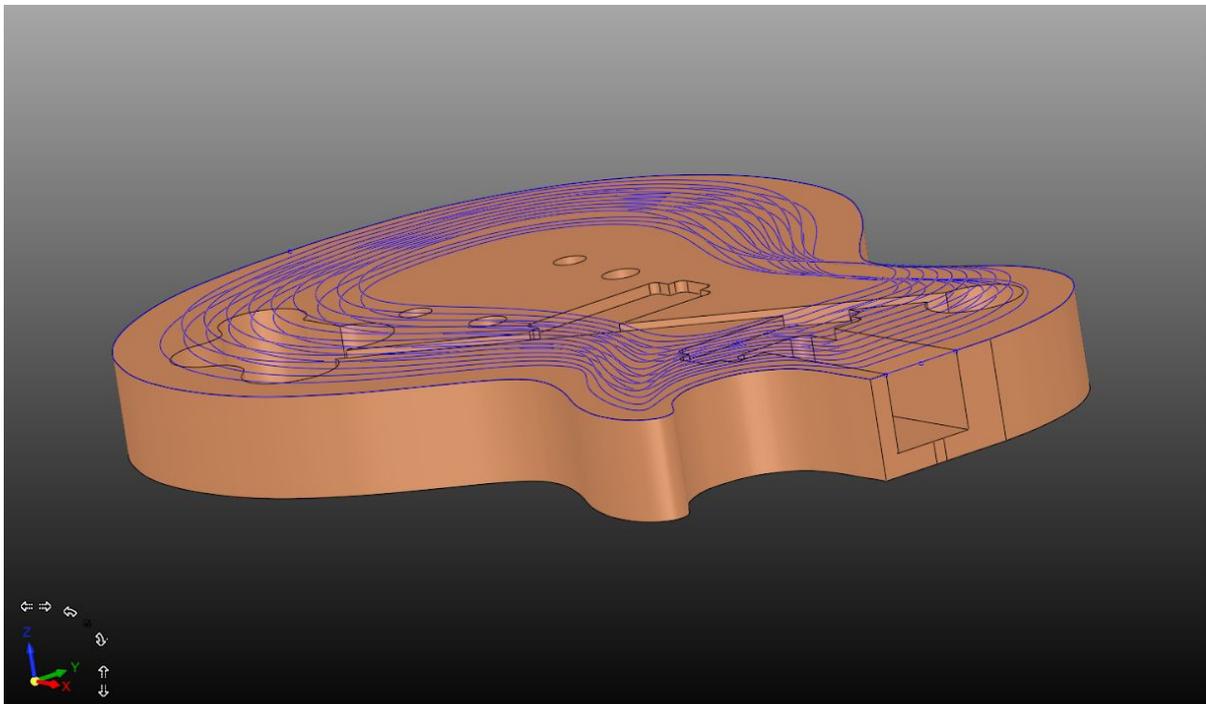
## 5.2 CAD-Zeichnung



*CAD-Zeichnung der Gibson Les Paul in Cimatron*

Zu Beginn der Zeichenarbeit wurde der Korpus der Gitarre in Cimatron erstellt. Es folgten Aussparungen für den Hals und die Einbauteile und schließlich der Hals selbst. Der Zeichenaufwand des Halses war, durch die Neigung von 3,5 Grad bedeutend größer als der Zeichenaufwand beim Korpus. Wesentlich unproblematischer verlief die Zeichnung des

Griffbretts, welches auf der Oberseite zwar eine Wölbung mit einem Radius von 300 mm aufweist und zusätzlich eine konische Außenkontur besitzt, was durch die bis dato gesammelte Zeichenerfahrung jedoch keine Schwierigkeiten brachte. Im letzten Schritt beschäftigten wir uns mit der Wölbung der Decke. Hierbei war der Zeitaufwand und die Komplexität des zu erstellenden Bauteils wesentlich höher. Es musste erst ein Vorgehensplan entworfen werden, um den theoretischen Gedanken im Zeichenprogramm umsetzen zu können. Die Decke wurde mit 16 mm Dicke geplant, und horizontal in sechzehn gleichgroße Ebenen unterteilt, welche jeweils um einen Millimeter in der Höhe voneinander versetzt waren. Jetzt konnte die Kontur der Gitarre immer weiter nach innen versetzt, um eine Wölbung der Decke realisieren. Schließlich ließ sich aus diesem gewölbten Linienkonstrukt eine geschlossene Oberfläche erstellen.



*CAD-Zeichnung des Korpus mit gewölbter Decke in Cimatron*

### 5.3 Der Korpus



*Probefräsung des Korpus aus Linde*

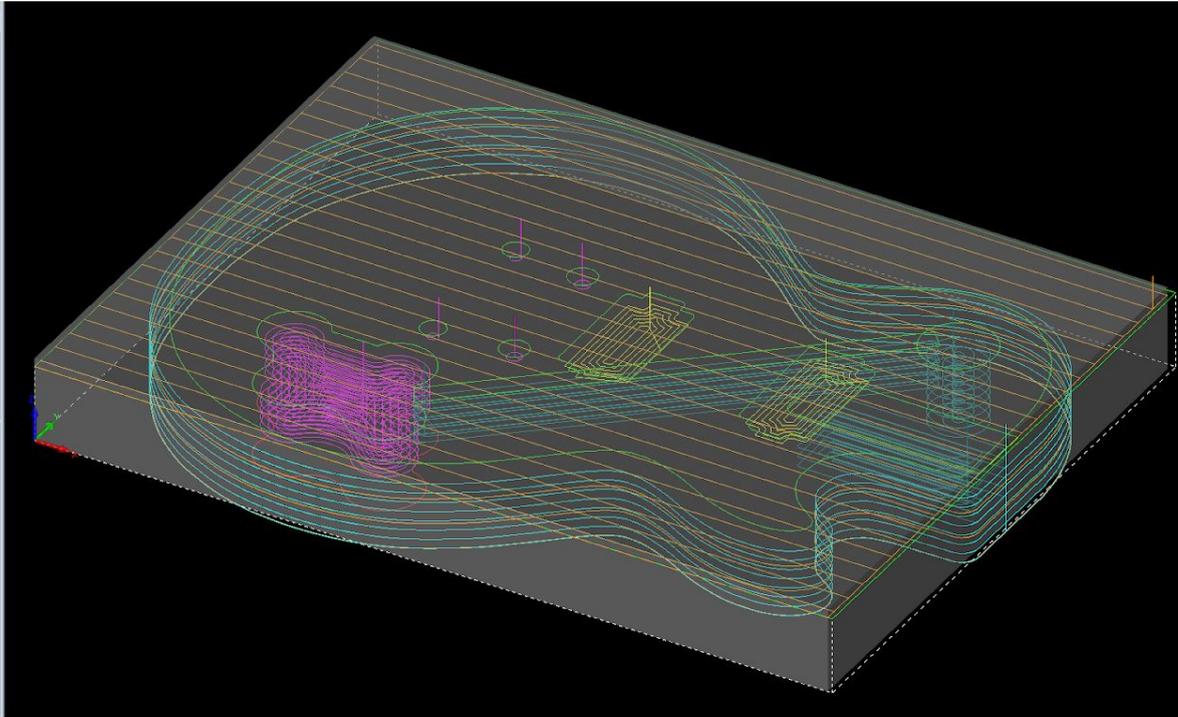
Der Korpus ist aus Erle gefertigt und wie die Telecaster in seiner äußeren Form geschwungen und oberseitig plan. Er besitzt neben den Aussparungen für die Hardware Ausfräsungen für die Kabel, sowie auf der Rückseite jeweils eine Falz an den beiden Aussparungen. Diese werden dafür genutzt die Montageklappen in den Korpus einsetzen zu können.

An dieser Stelle arbeiteten wir erstmalig mit Vakuumsaugvorrichtungen. Diese werden auf die Vakuumsauger des Maschinentisches gelegt und angesaugt, damit sind diese fest auf dem Maschinentisch fixiert. Ein Gummi, welches sich in einer Nut befindet dichtet den Vakuumhohlraum unserer Vorrichtung luftdicht ab. Die Gummis verlaufen in Form der zu fräsenden Kontur, um das Werkstück mit der größtmöglichen Fläche zu fixieren. Je größer die Fläche auf der gesaugt wird, desto stabiler die Befestigung des Werkstücks. Das Vakuum wird durch eine Bohrung in der Vorrichtung durch einen Schlauch gezogen.



Vorrichtung zum Fräsen der Korpusoberseite (rechts) und der Korpusunterseite (links)

<b>Korpus - Oberseite</b>		
Fräsreihenfolge	Bearbeitung	Fräser
1	Planfräsen des Rohteils	Schlichtfräser 20 mm
2	Taschenfräsung für Potentiometer und Bridge	Schlichtfräser 8 mm
3	Taschenfräsung für Switch, Halsaussparung und Kabelkanal	Schlichtfräser 10 mm
4	Taschenfräsung für Tonabnehmer	Schlichtfräser 6 mm
5	Schrupfräsung der Kontur mit Aufmaß	Schrupfräser 20 mm
(6	Schlichtfräsung der Kontur	Schlichtfräser 20 mm)

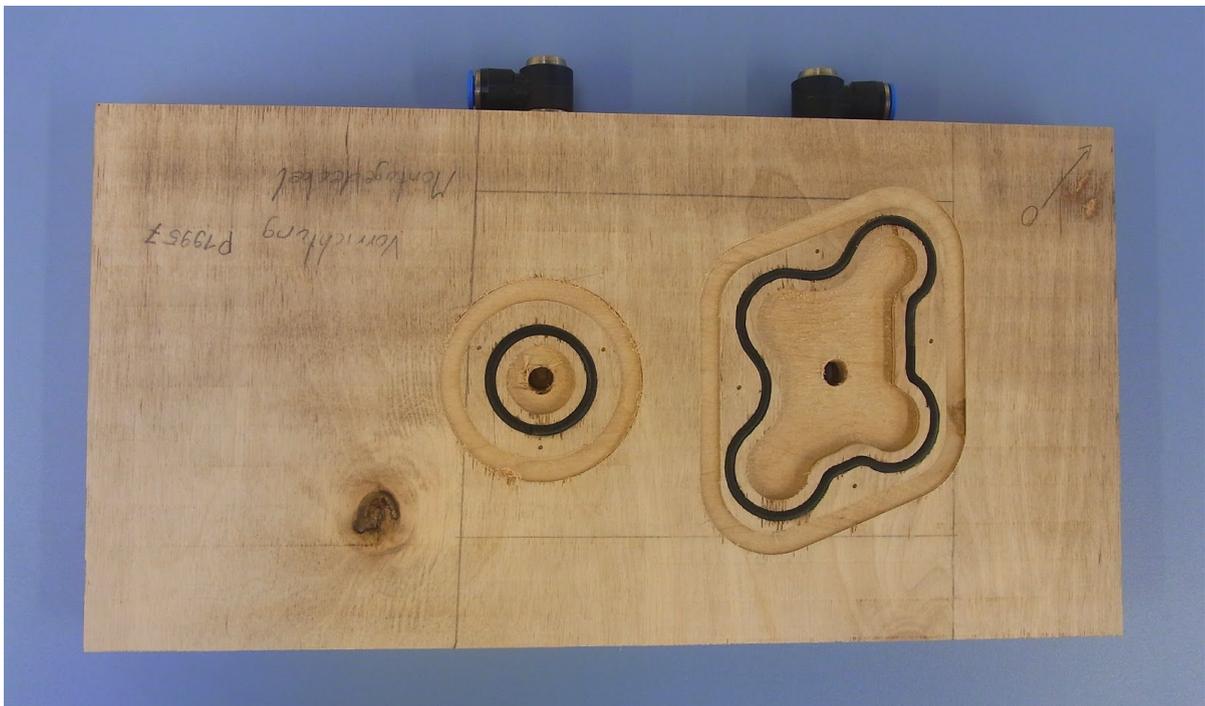


### *Bearbeitungen des Korpus in AlphaCam*

Das Fräsen des ersten Korpus verlief ohne Komplikationen, bis auf die Tatsache, dass wir diesen bereits auf das Fertigmaß gefräst haben. Dadurch, dass die Decke im späteren Verlauf auf den Korpus geleimt wird, standen wir vor der Problematik, die durch den Verleimprozess entstehenden Toleranzen nicht mehr beeinflussen zu können. Wir entschieden uns dafür den Korpus erst im verleimten Zustand, also in Verbindung mit der Decke auf das Fertigmaß zu formatieren. Daher enden die Programme für die Decke und den Korpus mit einer Schruppfräsung, einer Konturfräsung mit einem Aufmaß von 1 mm. Die Schlichtfräsung auf Fertigmaß wurde in einem gesonderten Programm ebenfalls auf der Vorrichtung für die Oberseite durchgeführt.

<b>Korpus - Unterseite</b>		
Fräsreihenfolge	Bearbeitung	Fräser
1	Taschenfräsung für die Montageklappen	Schlichtfräser 20 mm

Korpus - Klinkenausparung		
Fräsreihenfolge	Bearbeitung	Fräser
1	Taschenfräsung für die Klinke	Schlichtfräser 10 mm



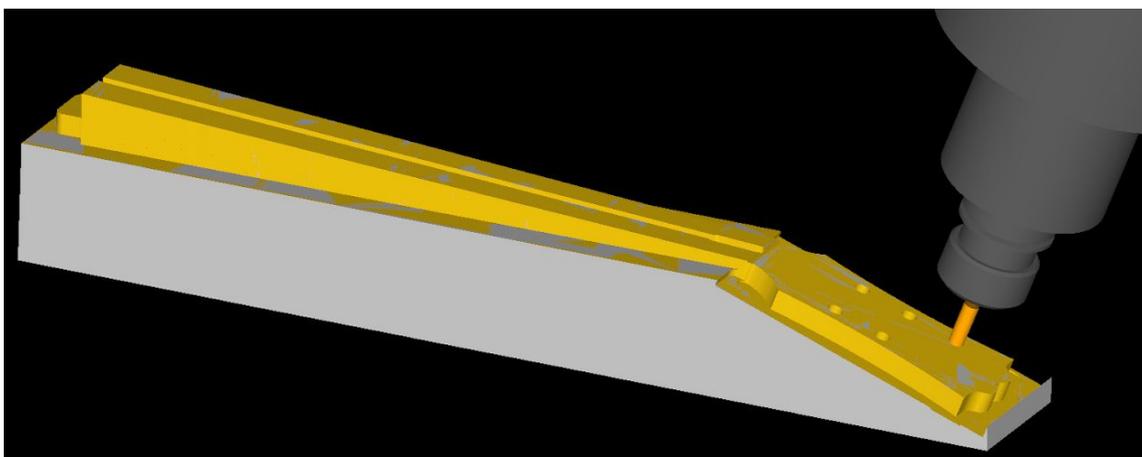
*Vorrichtung zum Fräsen der Montageklappen*

## 5.4 Der Hals



*Probefräsung des Halses aus Linde in Draufsicht und Seitenansicht*

Der Hals war bezüglich der Programmier- und Optimierungszeit am aufwendigsten, da bei beiden Halsprogrammen mehrere Arbeitsebenen benötigt wurden, welche diagonal verlaufen. Es wurden viele Probefräsungen gemacht bis alle Bearbeitungen und die Oberflächenqualität unseren Anforderungen entsprachen. Auch die Art der Verleimung des Rohteils war ein großes Thema, da das Erlenholz im Lager kein Rohteil aus einem Stück hergab. Wir entschieden uns dazu, ein Rohteil aus drei Lamellen zusammen zu leimen, welche horizontal liegend aufeinander geleimt werden sollten.



*Simulation der Bearbeitungen des Halses von oben in AlphaCam*

<b>Hals</b> - Oberseite auf Vorrichtung		
Fräsreihenfolge	Bearbeitung	Fräser
1	Z-Ebenen schrappen	Schruppfräser 20 mm
2	Z-Ebenen schrappen Kopfplatte	Schruppfräser 12 mm
3	Planfräsen des Rohteils	Schlichtfräser 20 mm
4	Planfräsen des Rohteils Kopfplatte	Schlichtfräser 20 mm
5	Finale Planfräsung	Planfräser 50 mm
6	Finale Planfräsung Kopfplatte	Planfräser 50 mm
7	Konturfräsung Kopfplatte	Schlichtfräser 10 mm
8	Konturfräsung Passung	Schlichtfräser 10 mm
9	Schlichten Passung	Schlichtfräser 8 mm
10	Taschenfräsung für den Spannstab	Schlichtfräser 6 mm
11	Taschenfräsung für den Imbus des Spannstabes	Schlichtfräser 8 mm
12	Taschenfräsung für den Sattel	Schlichtfräser 4 mm
13	Bohren der Löcher für die Mechaniken	Dübelbohrer 10 mm

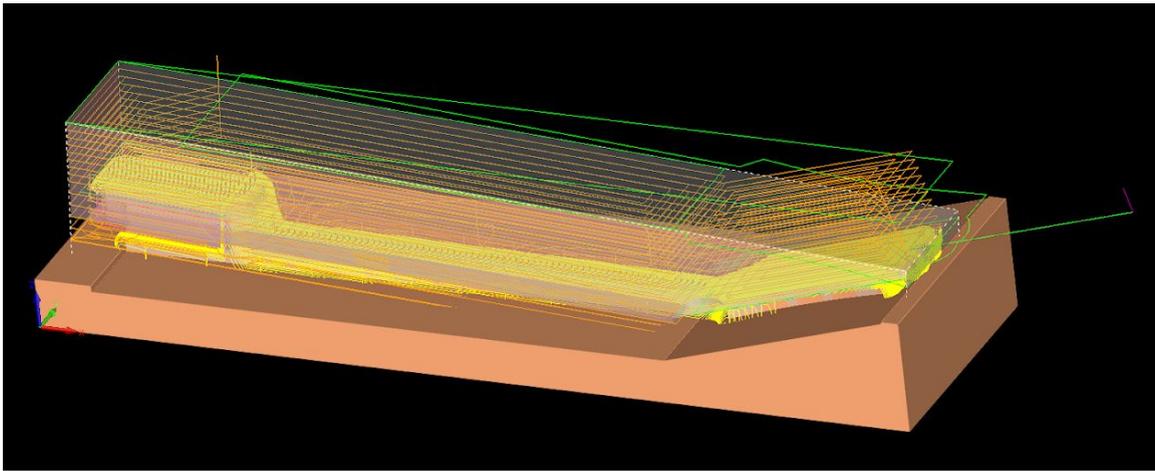
Die Bearbeitung der Oberseite beginnt mit einem Z- Ebenen schrappen-Befehl, was bedeutet, dass der Fräser recht grob mit einem Aufmaß die Form des Halses abfährt. Dies geschieht mit einem Schruppfräser, welcher für eine große Spanabnahme konzipiert ist. Die Nachbearbeitung bis kurz vor das Endmaß übernimmt ein Schlichtfräser. Der Schlichtfräser ist auch für die Konturfräsung der Kopfplatte zuständig. Die Nutfräsung für den Spannstab übernimmt ein 6 mm breiter Schlichtfräser. Die Nut dient einerseits dazu Platz für den Spannstab zu schaffen, um dem Gitarristen ein Justieren der Halskrümmung zu ermöglichen

und andererseits dient sie zur Positionierung des Halsrohlings auf der Vorrichtung zur Bearbeitung der Rückseite des Halses. Danach fährt ein Planfräser die Oberfläche des Halses ab, auf welche später das Griffbrett geleimt wird. Dies erfolgt mit einer Spanabnahme von wenigen 10tel mm, um die Oberflächenqualität zu erhöhen. Ein Bohrer setzt die sechs Löcher für die Stimmmechaniken und beendet das Programm.

Da wir beim Hals eine besonders hohe Oberflächenqualität schon durch die Fräsung erzielen wollten, um aufgrund der komplexen Form, Zeit bei der Nachbearbeitung zu sparen, dauerte das Feintuning des Programms recht lang. Wir feilten solange an der Anzahl der Zustellungen, den Fräsvorschüben und den Richtungen, in denen gefräst wurde, bis unser Endergebnis unseren Vorstellungen entsprach. Auch an dieser Stelle ist entscheidend, welche Holzart verwendet wird, da jedes Holz anders mit der Bearbeitung umgeht und jeweils eine individuelle Sprödigkeit aufweist.



*Vorrichtung zum Fräsen der Halsoberseite*



*Bearbeitungen der Halsunterseite auf der Vorrichtung in AlphaCam*

<b>Hals - Unterseite auf Vorrichtung</b>		
Fräsreihenfolge	Bearbeitung	Fräser
1	Planfräsen des Rohteils	Schruppfräser 20 mm
2	Planfräsen des Rohteils Kopfplatte	Schruppfräser 20 mm
3	Z-Ebenen schrappen	Schruppfräser 20 mm
4	Z-Ebenen schrappen Kopfplatte	Schruppfräser 20 mm
5	Schlichten Passung	Schlichtfräser 10 mm
6	Konturfräsung Passung	Schlichtfräser 10 mm
7	Finale Planfräsung Kopfplatte	Planfräser 50 mm
8	Erzeugen der Oberfläche	Kugelfräser 16 mm

Auch die Bearbeitung der Unterseite beginnt zunächst mit einem Z-Ebenen schrappen des Halses und der Kopfplatte. Ein Schlichtfräser bearbeitet daraufhin die Passung, den Teil, der in den Korpus eingeleimt wird, bevor der Planfräser, die Kopfplatte final abfährt und damit die Bohrungen für die Stimmmechaniken freilegt. Nun beginnt der zeitintensive Teil der Bearbeitung. Ein Kugelfräser fährt im Abstand von wenigen 10tel Millimetern die Form des

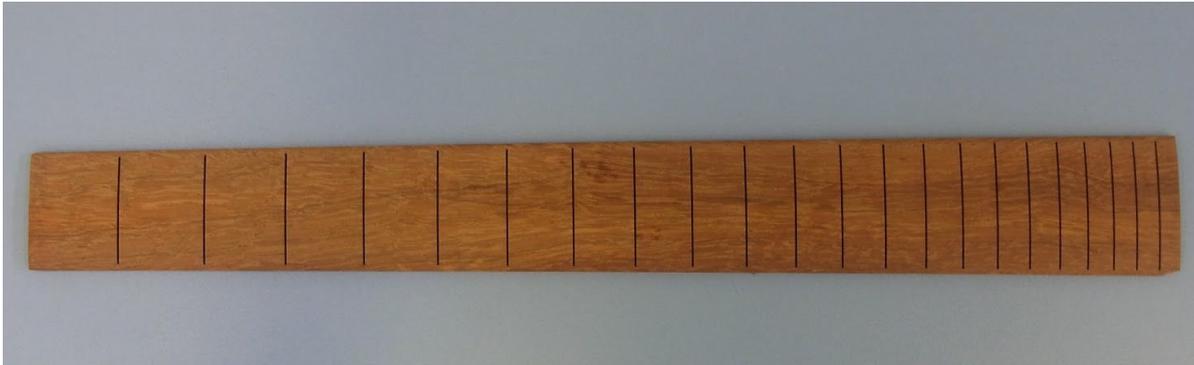
Halses und der Kopfplatte ab und schafft somit eine bemerkenswert saubere Oberfläche. An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass der Programmieraufwand für diese Bearbeitung sehr zeitintensiv war, dies lag daran, dass die Begrenzung des Befehls gut überlegt sein musste, um letztlich das Ergebnis zu erhalten, das wir angestrebt haben und gleichzeitig den Aufwand der Nachbereitung gering zu halten. In einem gesonderten Programm wird im Anschluss die Passung an den Korpus horizontal nachbearbeitet. Diese Aufgabe übernimmt ein Schlichtfräser mit einer Stärke von 10 mm.

Im Laufe des Projektes haben wir festgestellt, dass es sinnvoll ist Programme mit vielen Bearbeitungen in mehrere Programme aufzuteilen, um die Bearbeitungszeit zu verkürzen und um Fräsproblemen vorzubeugen. Innerhalb eines Fräsvorgangs kann es zu Problemen kommen, die der Bediener nicht vorhersehen kann. Diese sind meist maschinenbedingt, wie z.B. ein Systemabsturz des Betriebssystems oder Problematiken der Steuerung. Durch die Aufteilung des Programms in Teilprogramme erspart man sich das Starten des Programms von vorn und gewinnt Zeit, da man an Zwischenzielen starten kann.



*Vorrichtung zum Fräsen der Halsunterseite*

## 5.5 Das Griffbrett



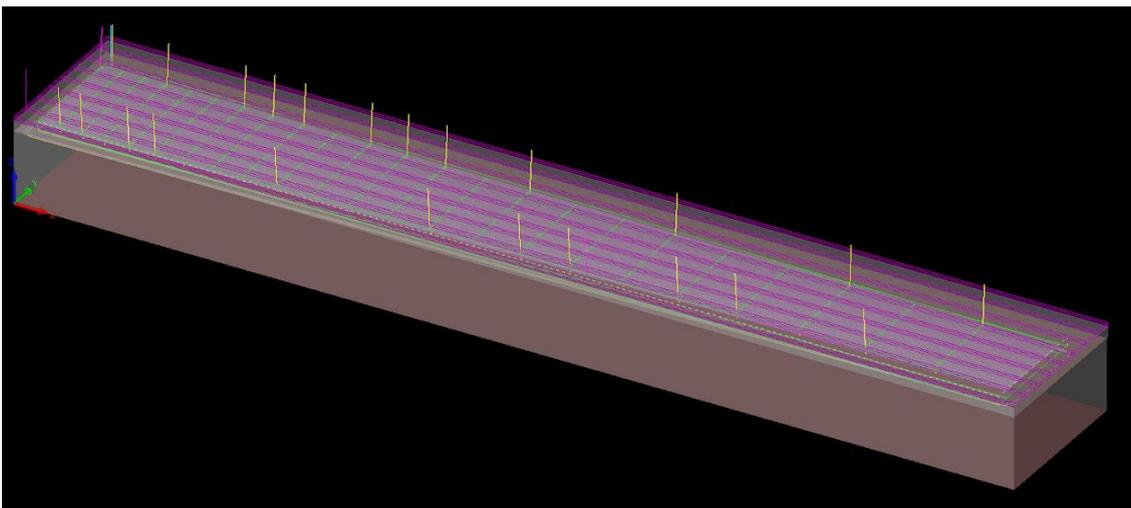
*Fertiges Griffbrett aus Kambala*

Das Griffbrett ist mit einer Dicke von 5 mm ein sehr filigranes Bauteil. Daher und da es zu schmal für die Vakuumsauger war, wurde auch dieses Teil auf einer eigenen Vorrichtung gefertigt. Es ist in einem Radius von 300 mm gewölbt, läuft konisch zu und hat Taschenfräsungen für die Bundstäbe in unterschiedlichen Abständen. Die Besonderheit beim Fräsen lag bei dem Schlichtfräser mit einem Radius von 0,25 mm für die Taschenfräsungen der Bundstäbe, der extra für diese Bearbeitung in den Werkzeugbestand eingefügt wurde. Die Taschenfräsungen für die Bundstäbe ist die erste Bearbeitung, die auf eine gewölbte Oberfläche projiziert wurde, was die Bearbeitung zu einer 4-Achssimultanbearbeitung macht, da der Fräser zu jeder Zeit senkrecht zur Oberfläche stehen muss. Aufgrund des geringen Durchmessers des Fräasers musste mit sehr vielen Zustellungen gearbeitet werden, was das Griffbrett zu dem Bauteil mit der längsten Bearbeitungszeit (ca. 1 Stunde 15 min) auf der Maschine macht. Die Bundstäbe wurden absichtlich in Taschen gesetzt anstatt lediglich Nuten durch das Griffbrett zu fräsen. Dies hat vor allen Dingen optische Gründe, da ansonsten 22 Nuten an der Seite des Griffbretts sichtbar wären, welche man nachträglich aufwändig schließen müsste.

Es ist zu beachten, dass es bei verschiedenen Holzarten gewaltige Unterschiede im Fräs-Endergebnis gibt. Unsere Gruppe hat zu Beginn zum Ausprobieren günstigere und weichere Hölzer für die Bearbeitung ausgewählt. Härtere Hölzer wie beispielsweise Kambala oder Palisander ließen sich mit dem selben Programm jedoch deutlich schlechter bearbeiten.

Das lag zum einen an der zu hohen Fräsengeschwindigkeit, viel entscheidender war aber die Reihenfolge der Bearbeitungen.

Wir haben erkannt, dass es nach dem Anpassen der Fräsengeschwindigkeit wichtig war, die Fräsung der Wölbung vor der Konturfräsung geschehen zu lassen, da ansonsten Ecken und Kanten des Griffbretts Brüche aufwiesen. Auch die Fräsung der Wölbung erfolgte bei ersten Versuchen anders als im finalen Programm, da wir erkannten, dass die Oberfläche der Wölbung durch den enormen Radius von 300 mm um einiges sauberer wurde, wenn sie mithilfe eines Schlichtfräsers anstatt eines Kugelfräsers bearbeitet wird.



*Bearbeitungen des Griffbretts auf der Vorrichtung in AlphaCam*



*Fräsen der Taschen für die Bundstäbe auf der Maka 1*

<b>Griffbrett - auf Vorrichtung</b>		
Fräsreihenfolge	Bearbeitung	Fräser
1	Planfräsen des Rohteils	Schlichtfräser 20 mm
2	Erzeugen der Oberfläche/ Wölbung	Schlichtfräser 12 mm
3	Konturfräsung mit Aufmaß	Schruppfräser 8 mm
4	Konturfräsung	Schlichtfräser 8 mm
5	Taschenfräsung für Bundstäbe	Schlichtfräser 0,5 mm



*Vorrichtung zum Fräsen des Griffbretts*

## 5.6 Die Decke



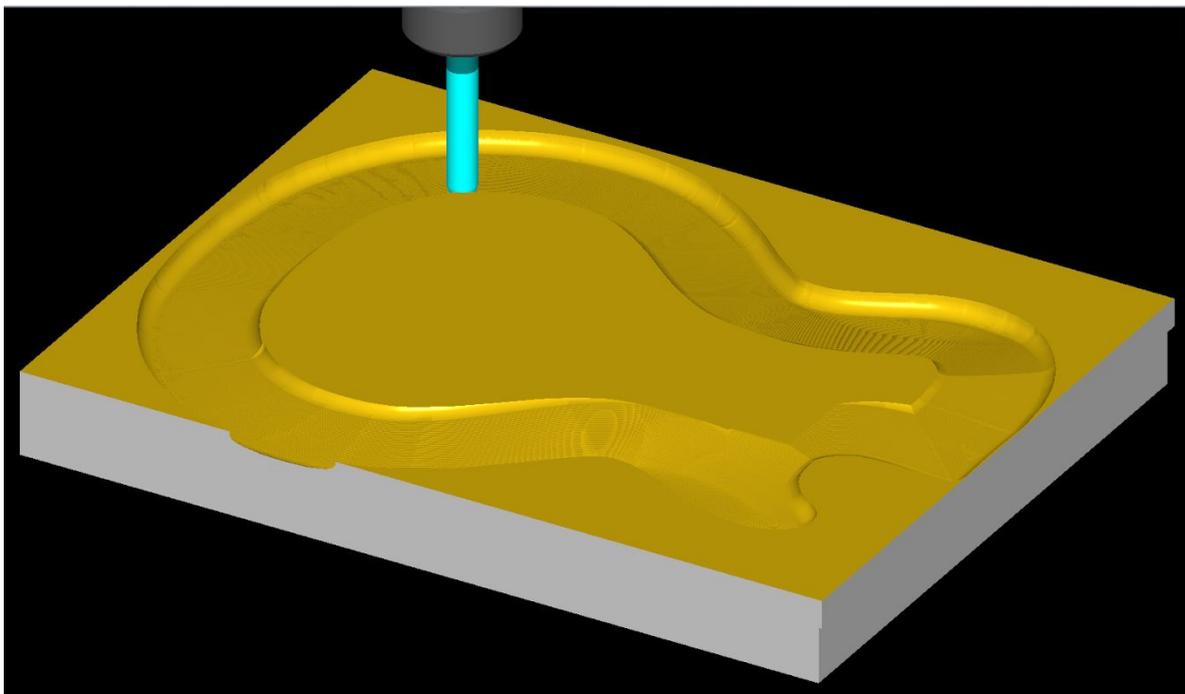
*Probefräsung der Decke aus Multiplex*

Für den Charakter der Gitarre ist im wesentlichen die Decke verantwortlich, da sie beim frontalen Blick die meiste Fläche einnimmt. Aus diesem Grund wird bei vielen Gitarren bei der Decke, gestalterisch, mit verschiedenen Hölzern und Farbeffekten gespielt. Die Verwendung von Edelhölzern wird durch einen zweiteiligen Aufbau ermöglicht. Die Decke wird aus Vollholz gefertigt und anschließend vollflächig auf den Korpus geleimt, wobei alle Aussparungen für die Hardware im Voraus gefräst sein müssen. Für den Nachbau der Gibson Les Paul entschieden wir uns für eine Decke aus Limba, die einen Kontrast zu dem dunkelrot gebeizten Korpus bilden sollte.

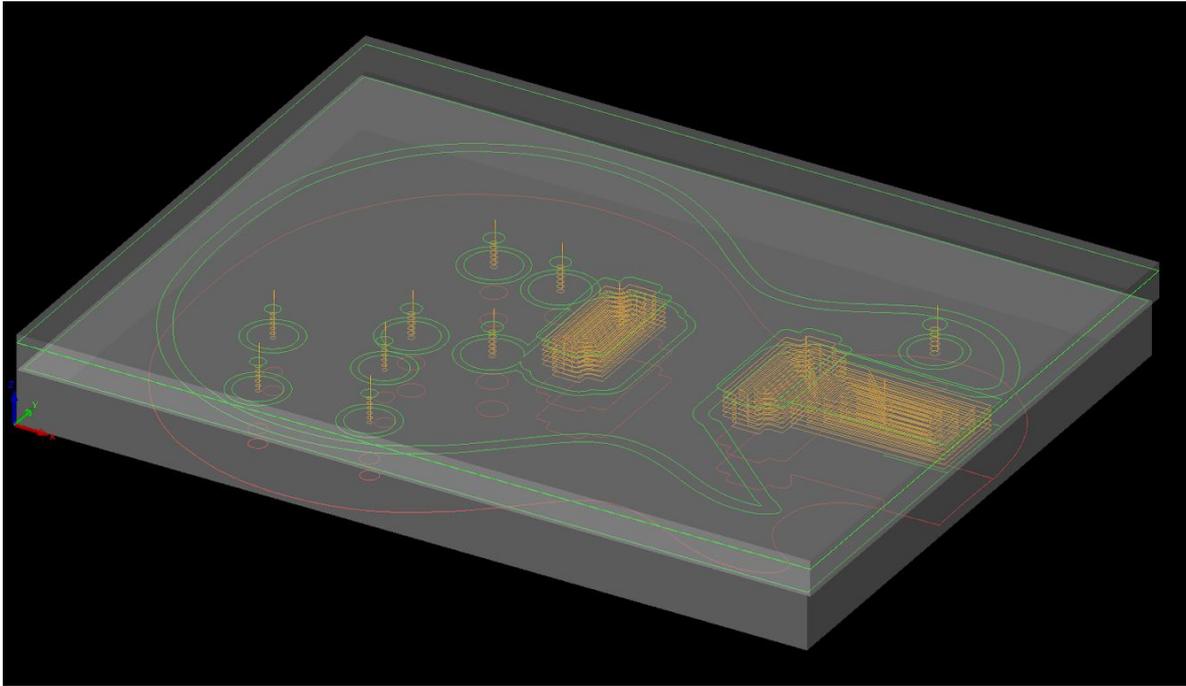
Für die Herstellung der 16 mm starken gewölbten Decke musste eine Vorrichtung konstruiert werden, die im Gegensatz zu den Korpusvorrichtungen wesentlich aufwändiger war. Das lag unter anderem an der Wölbung der Decke. Zusätzlich musste eine identische Gegenform gefräst werden, um die Decke auch von unten bearbeiten zu können. Bei der Bearbeitung von

oben wurden alle Aussparungen für die Hardware gefräst sowie die Wölbung der Decke. Die Bearbeitung von unten beinhaltet lediglich eine Ausfräsung für die Potentiometer, da sich diese aufgrund ihrer kurzen Schraubenlänge ansonsten nicht befestigen lassen.

Beim Bearbeiten des Rohteils werden enorme Spannungen freigesetzt. Diese Spannungen sorgen dafür, dass das Werkstück sich schüsselt und das Vakuum nicht mehr in der Lage ist unser Werkstück auf der Vorrichtung zu halten. Wenn diese Verformung nicht rechtzeitig bemerkt wird, fräst die CNC-Maschine durch die Decke. Diese Erfahrung mussten wir leider bei der Fräsung der Limbadecke machen. Dieses Problem lösten wir zukünftig mechanisch, indem wir zum niederhalten Holzriegel verwendeten, die das Werkstück auf Position hielten. Um die defekte Decke nicht entsorgen zu müssen, entschieden wir uns die Decke an den beschädigten Stellen in Form der Montageklappen auszufräsen und Einsätze aus Kambala einzuleimen. So hat der Gibson Nachbau seinen ganz eigenen Charme bekommen und wir konnten trotz des Unfalls ohne großen Zeit- und Materialverlust weiter machen.



*Simulation der Bearbeitungen der Decke in AlphaCam, erstes Programm*



*Bearbeitungen der Decke in AlphaCam, zweites Programm*

<b>Decke - Oberseite auf Vorrichtung in zwei Programmen</b>		
Fräsreihenfolge	Bearbeitung	Fräser
1	Planfräsung des Rohteils	Schlichtfräser 20 mm
2	Erzeugen der Oberfläche	Kugelfräser 16 mm
3	Konturfräsung mit Aufmaß	Schrupfräser 20 mm
1	Taschenfräsung für die Bridge	Schlichtfräser 8 mm
2	Taschenfräsung für den Switch	Schlichtfräser 8 mm
3	Taschenfräsung den Hals	Schlichtfräser 8 mm
4	Taschenfräsung den oberen Tonabnehmer	Schlichtfräser 8 mm
5	Taschenfräsung den unteren Tonabnehmer und die Potentiometer	Schlichtfräser 8 mm



*Vorrichtung zum Fräsen der Deckenoberseite (links), Die Vorrichtung zum Fräsen der Deckenunterseite (rechts)*

<b>Decke - Unterseite auf Vorrichtung</b>		
Fräsreihenfolge	Bearbeitung	Fräser
1	Taschenfräsung zum Einlassen des Switch	Schlichtfräser 20 mm
2	Taschenfräsung zum Einlassen des Potis	Schlichtfräser 20 mm
3	Taschenfräsung zum Einlassen des Potis	Schlichtfräser 20 mm
4	Taschenfräsung zum Einlassen des Potis	Schlichtfräser 20 mm
5	Taschenfräsung zum Einlassen des Potis	Schlichtfräser 20 mm

## 5.7 Hardware Einbau

Die verbaute Hardware muss bei jeder Gitarre auf das Modell abgestimmt sein.

Der Einbau einiger Hardware Teile, wie zum Beispiel der Mechaniken, der Halsstababdeckung und der Saitenhalter stellte keine Schwierigkeit dar, wohingegen das Löten der Elektrik eine große Herausforderung war. Dies lag zum einen an wenig Lötterfahrung und zum anderen an fehlenden oder uneindeutigen Schaltplänen. Auch beim Abrichten des Griffbretts gab es Probleme alle Bundstäbe auf die richtige Höhe zu feilen. Alle Schwierigkeiten im Bereich des Hardware-Einbaus konnten in einem Workshop bei Bassart Guitars gelöst werden. Im folgenden Kapitel gehen wir näher auf unsere Eindrücke und Erfahrungen des Workshops ein.

## 5.8 Oberflächenbeschichtung

### *Der Nachbau der Gibson Les Paul vor der Oberflächenbehandlung*



Wie schon im Abschnitt der Telecaster beschrieben, wurden verschiedene Proben mit Lackbeizen gemacht. Über die Farbgebung der Les Paul entschied Jan und wählte ein Zusammenspiel von 3 Farben. Die Limbadecke und die Kambala Einsätze erhielten eine sanfte Färbung mit Rustikalbeize, die lediglich die Poren des Holzes dunkel eintönte. Der Korpus und der Hals wurden in einem tiefen Rot gebeizt und erhielten einen umlaufenden schwarzen Streifen mit Acrylfarbe.

Auch die Les Paul musste vor dem Beizen mehrfach gewässert und geschliffen werden, wobei der Endschliff bei 400er Korn lag. Anschließend wurden 5 Schichten Hartöl aufgetragen und mit 800er Korn zwischengeschliffen. Das Öl dunkelte das gebeizte Rot verhältnismäßig stark nach und ließ damit die Leimfugen an der Kopfplatte optisch fast verschwinden. Der schwarze umlaufende Streifen hebt sich in seiner Oberflächenbeschaffenheit und dem Glanzgrad vom Rest der Gitarre ab, bildet aber den optischen Zusammenhang zu den schwarz gewählten Einbauteilen.

## 5.9 Resume

Der Bau der Gibson Les Paul war sehr zeitintensiv und hat im Vergleich zum Bau der anderen Gitarren die meisten Schwankungen in der Emokurve verursacht. Gleichzeitig gab es bei dieser Gitarre auch den größten Wissenszuwachs. Neben den schon beschriebenen Optimierungen gibt es ein paar Dinge, die wir beim erneuten Bau dieser Gitarre anders machen würden.

Dazu gehört an erster Stelle das Verleimen der Halslamellen in vertikaler anstatt in horizontaler Richtung. Auch der Korpus sollte bei der nächsten Gitarre aus mehreren Teilen verleimt werden, da in der Breite von knapp 400 mm viele Spannungen entstehen können. Die Zeit wird zeigen, inwieweit sich das Arbeiten des Holzes auf das Spielverhalten der Gitarre auswirkt.

Zudem ist die Gitarre aufgrund ihrer Bauform aus Vollholz sehr schwer. Dem könnte entgegengewirkt werden, indem der Korpus von innen Ausfräsungen erhält.

Im Allgemeinen muss das Schleifen optimiert werden. Es ist entscheidend nur einmal zu schleifen, wenn alle Bearbeitungen fertig sind und die Gitarre vor der Oberflächenbeschichtung steht, da die Arbeit sonst doppelt gemacht wird und die Maße durch zu häufiges Schleifen verändert und ungenau werden.

Weitere Optimierungen beim Griffbrett haben wir bei Bassart Guitars erfahren und gehen darauf im nächsten Abschnitt ein.



*Der Nachbau der Gibson Les Paul in Front- und Rückansicht*

## 6. Besuch bei Bassart Guitars<sup>8</sup>



Auf der Suche nach einem Workshop zum Thema E-Gitarrenbau, stießen wir auf die Internetseite von Bassart-Guitars.<sup>9</sup>

Matthias Meyer bietet regelmäßig Workshops an, von denen wir den Letzten leider recht knapp verpassten. Telefonisch sagte er uns dennoch einen persönlichen, kostenfreien Workshop zu, den wir selbstverständlich auch besuchten.



<sup>8</sup> <https://www.bluesrock.de/bassart-gitarren/>

<sup>9</sup> <http://www.bassartguitars.de>

Mit unseren beiden ersten Gitarren und dem Redakteur Florian Aue von der Pressestelle der HAWK schlugen wir in Matthias Werkstatt auf. Herr Aue begleitete uns, da zeitgleich mit dem Projekt ein Video von Jerome gedreht wurde, welches die Hochschule im Format "Einblicke" veröffentlichen wird.

Zu Beginn des Workshops zeigten wir Matthias unsere Gitarren und erklärten ihm, wie wir zu diesen Ergebnissen gelangt waren und was wir uns zukünftig vorstellten. Er gab uns viele Ideen und Tipps mit auf den Weg, bevor er uns seine Werkstatt und die Art seiner Arbeitsweise zeigte.



Von Matthias lernten wir wesentliche Kniffe des Gitarrenbaus kennen, wie z.B. das richtige Bundieren des Griffbretts, wie man die Fret- Dots in das Griffbrett bekommt, wie die Elektrik der Gitarre funktioniert und worauf es dabei ankommt, sowie viele Tipps für eine gute hochglänzende und matte Oberflächenlackierung.

Uns fiel auf, dass wir mit den Ideen, die wir bezüglich des Gitarrenbaus hatten, gar nicht soweit von der Realität entfernt waren. So sah die Vorrichtung von Matthias für die Unterseite des Halses, nahezu genauso aus wie unsere, obwohl dies unser erstes Konzept war, wie man ein solches Bauteil fräsen könnte. Hinzu kommt, dass Matthias unsere Arbeit bis zu

diesem Zeitpunkt lobte, da er nicht davon ausging, ein solches Ergebnis in einem Studienprojekt erreichen zu können. Dieses Lob machte uns stolz und motivierte uns im weiteren Verlauf des Projektes enorm.

Wir möchten uns an dieser Stelle noch einmal ganz herzlich bei Matthias Meyer bedanken, denn ohne ihn hätten unsere Gitarren bei weitem nicht so viel Know-How.



Fotos von Florian Aue / HAWK

## 7. Semi-Hollow-Gitarre



*Unsere E-Gitarre in halbmassiver Bauweise*

## 7.1 Beschreibung der Gitarre

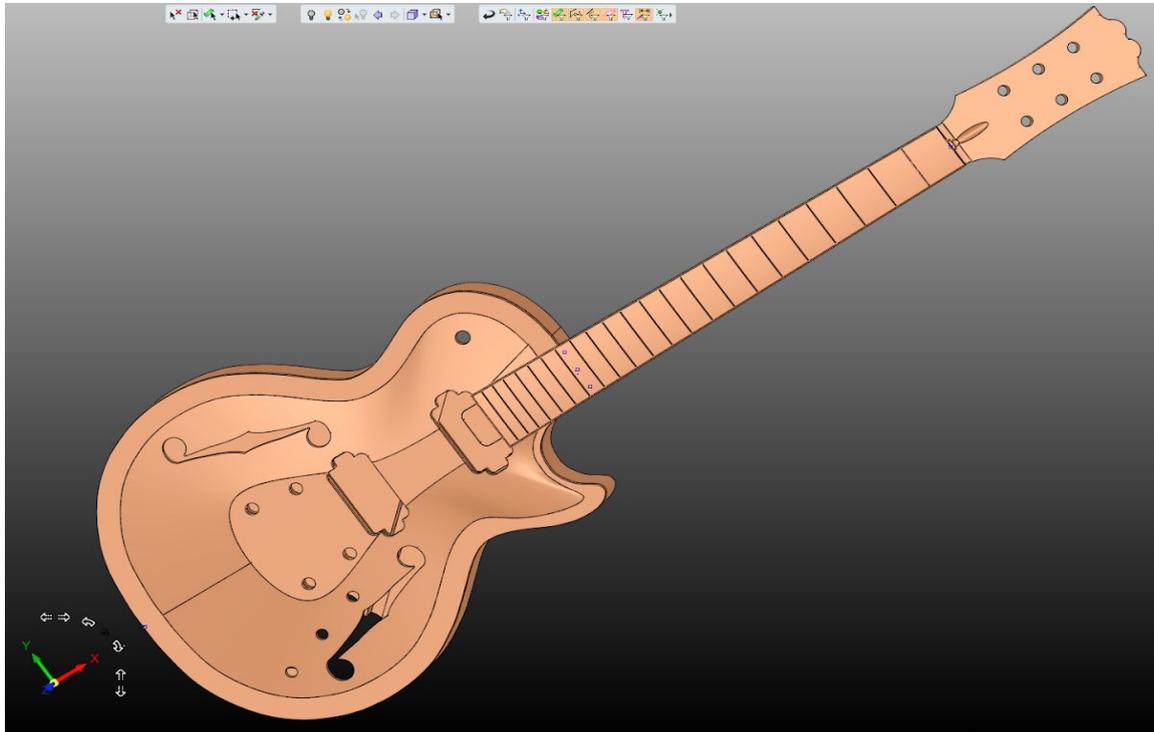
Die Semi-Hollow-Gitarre, zu deutsch Halbakustikgitarre, ist wie oben bereits erwähnt, eine Bauform der E-Gitarre mit größtenteils hohlem Korpus. Die exakte Bezeichnung unserer Semi-Hollow-Gitarre lautet: Elektrische Gitarre in halbmassiver Bauweise.

Um das Ziel einer halbakustischen Gitarre zu realisieren und die Prüfungsleistung zu erbringen, haben wir die Decke aus Furnieren gepresst. Damit die Schallwellen aus dem Korpus austreten können, sind außerdem noch sogenannte "F-Cuts" in die Decke gefräst. Das Design und ein großer Teil der Konstruktion der Gitarre wurde von unserer Gibson Les Paul übernommen, um den Aufwand und Verbrauch von Materialien zu minimieren.

### **Die Semi Hollow im Konzept**

Die Semi Hollow spielt wohl die entscheidendste Rolle in unserem Konzept, denn sie ist das Ziel unserer Arbeit und stellt den entscheidenden Teil unserer Prüfungsleistung in dem Modul dar. Da der Hals, das Griffbrett, die Montageklappen und auch die Form des Korpus von unserer Gibson Les Paul übernommen werden können, liegt der Schwerpunkt auf der Konstruktion und der Fertigung der gepressten Schichtholzdecke. In der Decke werden die Anforderungen des Moduls an ein gepresstes Formteil und die Bearbeitung mit 5- Achsen kombiniert.

## 7.2 CAD-Zeichnung



*CAD-Zeichnung der Semi Hollow in Cimatron*

Der Zeichenaufwand war im Vergleich zur Les Paul relativ gering, da sich neben der Hohlfräsung des Korpus, nur die Form der Decke veränderte. Jedoch war es Anfangs von großem Vorteil, die Form der Decke und ihre Dicke genau zu bedenken, da Änderungen an diesen Parametern im späteren Verlauf einen enormen Mehraufwand bedeutet hätten. Nach einigen anfänglichen Problemen mit der theoretischen Vorstellung der Form, der Umsetzung im Zeichenprogramm und der praktischen Durchführung standen die Geometrien fest. Im Falle des Korpus wurde innerhalb der Gruppe entschieden, die Veränderungen in Alphacam zu gestalten, und nicht umständlich in Cimatron zu variieren.

### 7.3 Der Korpus



*Gefräster Korpus der Semi Hollow*

Der Korpus der Semi-Hollow-Gitarre unterscheidet sich nur minimal von dem unserer Les Paul, da Form und Größe unverändert blieben. Der Unterschied besteht in der Hohlfräsung und der Tatsache, dass der innere Teil des Korpus, der durch die Befestigung der Brücke mit dem Korpus stehen bleiben muss, um 10 mm höher liegt, als die von außen sichtbare Oberkante des Korpus. Zum Fräsen des Korpus konnten die Vorrichtungen der Gibson Les Paul genutzt werden, wobei die Vorrichtung zum Fräsen der Rückseite leicht verändert werden musste, damit sich der Korpus trotz der zusätzlichen 10 mm festspannen ließ. Die Vorrichtung funktioniert jetzt für beide Modelle.



*Fräsen des Korpus auf der Maka 1*

<b>Korpus - auf Vorrichtung</b>		
Fräsreihenfolge	Bearbeitung	Fräser
1	Planfräsung des Rohteils	Schlichtfräser 20 mm
2	Taschenfräsung auf Dicke	Schlichtfräser 20 mm
3	Taschenfräsung für den Hals	Schlichtfräser 10 mm
4	Hohlfräsen	Schlichtfräser 16 mm
5	Hohlfräsen	Schlichtfräser 16 mm
6	Hohlfräsen Innenkante	Kugelfräser 16 mm

7	Taschenfräsung für die Bridge	Schlichtfräser 10 mm
8	Taschenfräsung für den Switch	Schlichtfräser 16 mm
9	Taschenfräsung für die Potis	Schlichtfräser 16 mm
10	Taschenfräsung für den unteren Tonabnehmer	Schlichtfräser 6 mm
11	Taschenfräsung für den oberen Tonabnehmer	Schlichtfräser 6 mm
12	Konturfräsung mit Aufmaß	Schlichtfräser 20 mm

Da wir einem Schüsseln des Korpus entgegenwirken wollten, wurde der Korpus zum ersten mal nicht aus einem Stück gefertigt, sondern mittig vertikal gefügt.

Dennoch schüsselte sich das Werkstück enorm, sodass es sich während des Fräsvorgangs von der Vorrichtung löste, da das Vakuum gegen diese Spannungen nicht ankam.

Den Grund hierfür sehen wir allerdings nicht in der Tatsache, dass es diesmal eine Fügung gab sondern, an der zu hohen Holzfeuchte, die das Eschenholz nach dem Kauf aufwies und welche wir mit den Möglichkeiten der Hochschule in so kurzer Zeit nicht schnell genug beeinflussen konnten. Hinzu kommt, dass das Holz durch die unbekannte Lagerung vermutlich anfänglich zu schnell getrocknet ist, sodass beim Hohlfräsen Spannungen freigesetzt wurden, die wir nicht hätten bedenken können.

## 7.4 Der Hals und das Griffbrett

Wie bereits erwähnt, gibt es keine Änderungen im Programm, da der Hals von unserer Les Paul übernommen wird. Dennoch gab es einige Dinge die wir an Hals und Griffbrett verändert haben. Zum ersten bemerkten wir, dass die Verleimung des Rohteils für den Hals nicht optimal gelungen war. Einerseits aus optischen Gründen, da die horizontalen Fugen in der Kopfplatte sichtbar waren und andererseits aus funktionalen Gründen, da eine vertikale Fügung optimal den Hals beeinflusst, was eine Durchbiegung des Halses betrifft. So wurde der Hals aus zwei Teilen vertikal verleimt.

Aus optischen Gründen beizten wir das Griffbrett unserer Semi-Hollow-Gitarre schwarz, was uns im Nachhinein Schwierigkeiten bei den Nacharbeiten bereitete. Aus diesem Grund würden wir zukünftig auf ein Beizen des Griffbretts verzichten. Zusätzlich fügten wir erstmalig sogenannte Fret-Dots ein. Das sind seitliche Markierungen am Griffbrett, welche zur Orientierung des Gitarristen dienen. Im folgenden Bild sind ein mit Dots versehenes Griffbrett und die verwendete Bohrvorrichtung dargestellt. Die Verwendung einer solchen Vorrichtung riet uns Matthias Meyer in seinem Workshop.



*Bohrschablone zum Bohren der Fret-Dots (oben), Griffbrett der Semi Hollow mit Fret-Dots (unten)*

## 7.5 Die Decke



*Schichtholzdecke mit Mahagoni Deckfurnier auf geschnittenem Korpus*

Bei der Konstruktion der Decke standen wir vor einer ganz neuen Aufgabe, da diese Konstruktionsart bei bekannten Gitarrenherstellern eher unüblich ist. In den meisten Fällen werden Decken von Semi-Solid-Gitarren aus Vollholz gefertigt. Da die Prüfungsleistung jedoch ein solches Schichtholzteil vorsieht, sahen wir es als Herausforderung an und begannen die Konstruktion.

Zu Beginn diskutierten wir darüber, wie groß die Ausfräsung der Gitarre werden sollte, also wie breit der Rand des Korpus bleiben sollte, auf welchen wir letztlich unsere Decke aufleimen wollten. Wir gingen auf Nummer sicher und entschieden uns für einen Rand von

20 mm. An dieser Stelle ist die Decke noch nicht gewölbt, sondern plan, was den Verleimprozess vereinfachen sollte. Eine weitere Herausforderung war die obere rechte Ecke der Oberfläche, da diese dort in einem engen Radius sehr steil ansteigt. Wir befürchteten, dass die Furniere an dieser Stelle brechen könnten und dass die Auflagefläche von 10 mm an dieser Stelle nicht ausreichen könnte, um die Decke auf dem Korpus zu halten. Durch diesen starken Anstieg der Oberfläche mussten wir die Auflagefläche von 20 mm an dieser Stelle auf 10 mm reduzieren. Zudem musste darauf geachtet werden, dass der Bereich, in dem die Bridge und die Tonabnehmer angebracht werden plan bleibt.

Als dann die endgültige Form der Decke feststand, fertigten wir die Pressform für eine Decke mit einer Stärke von 6 mm. Diese besteht aus einem oberen und einem unteren Teil, welche zwei Aluminiumstifte besitzen. Sie dienen einerseits dazu die Furniere auffädeln zu können und andererseits führen sie die beiden Teile in der richtigen Position aufeinander zu, um ein sauberes Ergebnis zu erzielen. Sie sind bewusst nicht aus Holz, da in Verbindung mit dem Leim ansonsten eine feste Verbindung zwischen Furnieren und Pressform entstanden wäre. An der Stelle wo die Stifte sitzen befinden sich später die Tonabnehmer.



*Pressform zum Erstellen der Schichtholzdecke*

Für die ersten Versuche schnitten wir die Furnierlagen mit der Schere zu. Wir optimierten jedoch den Zuschnitt später und verwendeten einen Laser als wir uns sicher waren, welche Form unsere Furniere erhalten sollten. Die Furniere besitzen dieselbe Kontur, wie die Gitarre, bloß um 20 mm nach außen versetzt.

Den ersten Versuch fertigten wir ausschließlich mit 3D Furnier um sicher zugehen, ob unsere Konstruktion überhaupt umsetzbar war, denn wäre das 3D Furnier gerissen, hätten wir uns sicher sein können, dass es mit normalem Messer- oder Schäl furnier ebenfalls nicht funktionieren kann.

Der erste Versuch war ein Erfolg und wir führen direkt mit dem zweiten Versuch fort. Wir verwendeten beim ersten Versuch Weißleim und hofften, dass wir die Härte und Steifigkeit unserer Decke mit Kauritleim im zweiten Versuch noch verbessern könnten. Zu der Härte kommt noch der Vorteil, dass Kauritleim eine längere Topfzeit als Weißleim aufweist, was uns etwas mehr Zeit beim Verleimen der Furniere einräumte. Zusätzlich fügten wir als Deckschicht ein kaschiertes Mahagonifurnier zu unserem Sandwich hinzu und legten ein weiteres Mahagonifurnier direkt darunter um dieselbe Schichtdicke zu erreichen, da das Mahagonifurnier nur ca. halb so dick ist wie eine Lage des 3D Furniers. Die Kaschierung ist wichtig, da ein normales unverstärktes Furnier bei solchen Wölbungen reißen würde.



*“Schaufel”, stark verformte Decke*

Nachdem der zweite Versuch augenscheinlich gelungen war, wunderten wir uns einige Tage später, dass unsere Decke vollständig verformt war und eher die Form einer Schaufel

angenommen hatte. Dies lag daran, dass der Aufbau unserer Decke unsymmetrisch war und dass wir keine Konditionierform verwendeten, welche das Teil im Trocknungsprozess in Form hält. Im letzten Versuch verwendeten wir wieder Klauritleim und fügten ebenfalls ein Deckfurnier auf der Unterseite ein, damit wurde der Aufbau symmetrisch und die Spannungen konnten durch die beiden Deckfurniere aufgenommen werden. Zusätzlich, um weitergehend ein Verformen der Decke zu minimieren, sperrten wir die einzelnen Furnierlagen gegeneinander ab.

Damit war unser Konzept für den Schichtaufbau mit 7 Furnierschichten abgeschlossen und wir konnten mit dem Bau der Formatiervorrichtung und der Konditionierform beginnen.

<b>Decke - auf Vorrichtung in zwei Programmen</b>		
Fräsreihenfolge	Bearbeitung	Fräser
1	Oberflächenfräsung für die Ausschnitte für Hals und den oberen Tonabnehmer	Schlichtfräser 4 mm
2	Oberflächenfräsung für den Ausschnitt des unteren Tonabnehmers	Schlichtfräser 4 mm
3	Oberflächenfräsung für den Ausschnitt des Switchs	Schlichtfräser 4 mm
4	Oberflächenfräsung für den Ausschnitt der Bridge	Schlichtfräser 6 mm
5	Oberflächenfräsung für den Ausschnitt der Potis	Schlichtfräser 6 mm
6	Konturfräsung mit Aufmaß	Schlichtfräser 6 mm
1	Oberflächenfräsung für den Ausschnitt der F-Cuts	Schlichtfräser 4 mm
2	Oberflächenfräsung für die F-Cuts	Schlichtfräser 4 mm

Das Programm für die Decke unterscheidet sich im Grunde genommen nicht von dem Programm der Decke aus Vollholz, bis auf die Tatsache, dass die Bearbeitungen nicht in einer planen Fläche stattfinden, sondern in der gewölbten Oberfläche. Das macht dieses Programm auch durch die Fräsung der F-Cuts zu einer 5-Achssimultanbearbeitung. Dadurch, dass die F-Cuts auf der Oberfläche liegen und damit geschwungen sind, wird von dem Fräser verlangt, dass er zu jeder Zeit senkrecht zur Oberfläche steht.



*Vorrichtung zum Fräsen der Schichtholzdecke*

## 7.6 Hardware Einbau

Der Hardwareeinbau ist nahezu identisch zur Les Paul. Der Unterschied ist, dass aus platztechnischen Gründen eine einfachere Schaltung mit nur einem Volume und zwei Tone Potentiometern gewählt wurde. Auch musste beim Verkabeln der Elektronik aus ästhetischen Gründen darauf geachtet werden, dass die Kabel nicht durch die "F-Cuts" zu sehen waren.

## 7.7 Oberflächenbeschichtung

Die Oberflächenbeschichtung der Semi Hollow nahm wesentlich mehr Zeit in Anspruch, als die der beiden vorangegangenen Gitarren. Grund hierfür war die Idee die Gitarre mit PUR-Lack zu lackieren, um die für E-Gitarren übliche harte Beschichtung zu erreichen. Zu dem Thema Lackierung hatte die Gruppe sehr ausführliche Informationen von Matthias Meyer hinsichtlich der Art des Lackieren als auch der Anzahl der Schichten und Zwischenschliffe bekommen. Um einen Überblick über den Arbeitsaufwand und die Oberflächenqualität zu bekommen, wurden Probefräsungen eines Halses und eines Korpus geschliffen und im Lackraum der Modellbauwerkstatt lackiert.

Der erste Versuch mit der Hesse MEGA PUR-Grundierung war nicht zufriedenstellend. Sowohl der Hals auch der Korpus hatten einen ungleichmäßigen Lackauftrag und viele Lackpickel. Beide Teile wurden erneut geschliffen und ein zweites mal lackiert. Das Ergebnis war im zweiten Anlauf um einiges besser. Die Oberfläche war glatt und gleichmäßig lackiert. Das schlechte Resultat der ersten Lackierung lässt sich auf den falschen Umgang mit der Spritzpistole und zu wenig Lackauftrag zurückführen.

Trotz des guten zweiten Ergebnisses wurde die Probereihe an dieser Stelle abgebrochen. Der Auftrag der einzelnen Schichten und den dazugehörigen Zwischenschliffen sprengte den zeitlichen Rahmen. Hinzu kam die Herausforderung, dass die fertige Gitarre nicht wie die Probestücke in Einzelteilen sondern im Ganzen lackiert werden sollte, was einen zusätzlichen Aufwand im Bau einer Lackiervorrichtung und dem Abkleben bestimmter Bauteile mit sich gezogen hätte.

Um auch ohne eine Lackierung eine möglichst harte Oberfläche zu erzeugen wurde viel Recherche zum Thema Wachse betrieben. Die Entscheidung fiel dann auf Carnaubawachs.

Carnaubawachs wird von der brasilianischen Carnaubapalme als Schutzwachs abgesondert und zeichnet sich aus durch seine hohe Härte und den zu erreichenden Glanzgrad <sup>10</sup>. Die Schwierigkeit im Umgang mit dem Wachs liegt in seiner Schmelztemperatur von ca. 87 Grad und der umständlichen Verarbeitung. Aus diesem Grund wird es in der Regel in Kombination mit anderen Wachsen verkauft. Wir haben uns für das Hartwachs classic von Auro entschieden, da es einen hohen Carnaubanteil hat und sich sowohl matt als auch glänzend polieren lässt. Das Wachs ist eine Oberflächenbehandlung, der immer eine Behandlung mit Hartöl vorhergehen muss.

Ein weiterer zeitintensiver Punkt war die Entscheidungsfindung der Gruppe bezüglich der Farbgebung. Zusätzlich zu den schon vorhandenen Beizproben wurde ein Pigment zur Färbung von Ölen bestellt. Nach Proben mit unterschiedlicher Pigmentkonzentration auf Esche und Zebrano, entschieden wir uns gegen eine zusätzliche Farbgebung des Korpus, des Halses und der Decke. Lediglich das Griffbrett und die Montageklappen wurden schwarz gebeizt.

Der Korpus, der Hals und die Decke wurden dreimal gewässert und geschliffen bis zur Endkörnung 320. Anschließend wurde die gesamte Gitarre mit Hartöl geölt und nach Einhalten der Trockenzeit die erste Schicht Carnaubawachs aufgetragen. Nach 15 Stunden wurde die Gitarre glänzend poliert und eine weitere Schicht Wachs aufgetragen, die ebenfalls nach 15 Stunden auspoliert wurde.

Zur Präsentation der drei Gitarren wurden drei Ständer nach einem Vorbild aus dem Internet <sup>11</sup>gebaut. Sie wurden gewässert, geschliffen, schwarz gebeizt, geölt, gewachst und matt poliert.

---

<sup>10</sup> [https://www.dictum.com/media/pdf/Kataloge/DICTUM\\_Oberflaechenfibel\\_DE.pdf](https://www.dictum.com/media/pdf/Kataloge/DICTUM_Oberflaechenfibel_DE.pdf)

<sup>11</sup> <https://www.musik-produktiv.de/bulldog-dragon-one-amazakoue.html>

## 7.8 Resume

Wir sind mit dem Ergebnis der Semi Hollow sehr zufrieden. Natürlich gibt es trotzdem Optimierungspotential. Dazu zählt zum einen, dass wir das Griffbrett nicht nochmals beizen werden, da schon kleinste Nacharbeiten sofort sichtbar werden und wieder an der Oberfläche gearbeitet werden muss. Zum anderen werden wir den Korpus beim erneuten Bau von Innen schwarz färben, da beim Blick durch die F-Cuts der farbliche Unterschied zwischen dem hellen Korpus und der dunklen Montageklappe störend auffällt. Dies kann durch eine einheitliche schwarze Färbung verhindert werden.

Des Weiteren lohnt es sich Halter für die Kabel in den Korpus einzubauen, um das Verstecken der Elektrik zu vereinfachen.

Letztendlich ist dies jedoch Kritik auf hohem Niveau und wir sind sehr zufrieden mit unserem Ergebnis, einer spielbaren und optisch mehr als ansprechenden E-Gitarre in halbmassiver Bauweise.



*Die Semi Hollow in Front- und Rückansicht*

## 8. Rückblick über 15 Wochen

Fazit Jan:

Rückblickend kann man sagen, dass das CAD/CAM Projekt seine Höhen und Tiefen hatte. Es gibt Tage an denen man sich ein bestimmtes Ziel vornimmt, und alles schief geht. Ich erinnere mich an den Vorfall, dass ein Werkzeug während der Fräsung 30 mm aus der Werkzeugaufnahme gerutscht ist. Dadurch wurde ein Werkstück komplett zerstört und eine ganze Tagesarbeit war zunichte gemacht. Oder an anderen Tagen kommt man viel weiter als man morgens gedacht hätte. Durch die gesammelten Erfahrungen beim Fertigen der Les Paul, war der Bau der Semi-Hollow-Gitarre wesentlich routinierter. Dennoch war der Zeitaufwand des gesamten Projektes riesig. Am Ende ist ein ansehnliches Resultat dabei rausgekommen. Besser geht immer, aber es ist ein Musikinstrument.

Fazit Jerome:

Auch wenn es vermutlich etwas dramatisch oder theatralisch wirken mag, möchte ich zu Beginn meines persönlichen Fazits loswerden, dass ich nun am Ende des Projektes voller Stolz und Ehrfurcht gegenüber dem bin, was wir zu dritt in 15 Wochen geschaffen haben. Als die Idee aufkam anstatt eines Möbels eine E-Gitarre zu konstruieren und zu fertigen, war mir durch meinen Respekt aufgrund der mangelnden Erfahrung bewusst, dass sich dieser Kindheitstraum wohl kaum zu einem spielbaren Instrument umsetzen ließe. Doch unser Ehrgeiz und der individuelle Perfektionismus der drei Studierenden hat es möglich gemacht, ohne jemals zuvor ein Instrument gebaut zu haben, sich derart tief in die Materie Gitarrenbau mit Konstruktion, Klang, Elektrik und Oberfläche einzuarbeiten, so dass innerhalb von 15 Wochen, trotz Problematiken mit den Zugangszeiten des Labores, 3 optisch ansprechende und einsatzbereite Instrumente entstanden sind, die sich wirklich nicht verstecken müssen. Ich möchte mich herzlich bei Dipl. Ing. Cornelia Blum aus der Modellbauwerkstatt, Dipl. Ing. Norbert Linda und Dipl. Ing. Renke Abels aus dem Labor für Bearbeitungstechnik, Matthias Meyer von Bassart Guitars und natürlich bei Jan-Renke Oldewurtel und Pia Junker bedanken. Ohne Sie/euch wäre dieser Traum nie Realität geworden.

Fazit Pia:

Für mich war das Projekt eine spannende Zeit, vor allem weil ich das einzige Gruppenmitglied bin, die keine Gitarre spielt. Ich habe eine Woche gebraucht, bis ich den beiden Jungs folgen konnte, wenn sie über die Vor- und Nachteile der einzelnen Hardwareteile diskutiert haben. Durch das Konzept der drei Gitarren war es für mich aber einfach in die Thematik rein zu kommen und es hat auch den Rahmen für unser Zeitmanagement gegeben. Ich bin stolz auf das, was wir in den Wochen geschafft haben und unser Teamwork in den Höhen und Tiefen. Mit keinem Anderen wäre das so möglich gewesen. Danke Jungs.

## 9. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichern wir, dass wir die Ausarbeitung selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt zu haben. Alle Ausführungen, die andere Schriften wörtlich oder sinngemäß entnommen wurden, wurden kenntlich gemacht.

Hildesheim den 14.02.2019

Unterschriften der Verfasser

---

Jerome Frohn

---

Pia Junker

---

Jan-Renke Oldewurtel

## 10. Quellenverzeichnis

[https://www.youtube.com/watch?v=j\\_BcLbF2II4](https://www.youtube.com/watch?v=j_BcLbF2II4)

[https://www.youtube.com/watch?v=\\_bI6pQ3wDsc](https://www.youtube.com/watch?v=_bI6pQ3wDsc)

<https://www.youtube.com/watch?v=Ew4WT-01Wxo>

<https://www.youtube.com/watch?v=5PqPXUafko0>

<https://www.youtube.com/watch?v=1svgmSBXwB8>

<https://www.youtube.com/watch?v=GMDJYJRxf7Y>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Fender\\_Telecaster](https://de.wikipedia.org/wiki/Fender_Telecaster)

<https://www.gitarrebass.de/wp-content/uploads/2018/03/E-Gitarre-%C3%9Cblick-1.jpg>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Intonation\\_\(Musik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Intonation_(Musik))

<https://www.sandrasherman.com/lexikon/img/mensur-gitarre.jpg>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Halbresonanzgitarre#Konstruktionsweise>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Fender\\_Telecaster](https://de.wikipedia.org/wiki/Fender_Telecaster)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Gibson\\_Les\\_Paul](https://de.wikipedia.org/wiki/Gibson_Les_Paul)

<https://www.bluesrock.de/bassart-gitarren/>

<http://www.bassartguitars.de>

[https://www.dictum.com/media/pdf/Kataloge/DICTUM\\_Oberflaechenfibel\\_DE.pdf](https://www.dictum.com/media/pdf/Kataloge/DICTUM_Oberflaechenfibel_DE.pdf)

<https://www.musik-produktiv.de/bulldog-dragon-one-amazakoue.html>