

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	Seite 3
Protokolle	Seite 4
Fotos	Seite 24
Fazit	Seite 26

CAD-CAM-Praxisprojekt

Fakultät [b]
Bachelor Holzingenieurwesen
Wintersemester 2017/18
5. Semester, Vertiefung
Abgabe: 19.12.17

Studierende

Joschka Scherges 659273
Jonas Schulte 660026

Dozenten

Dipl.-Ing. Norbert Linda
Dipl.-Ing. Renke Abels

Einleitung

Im 5. Semester des Studiengangs BEng Holzingenieurwesen, in der Vertiefung Möbel und Ausbau, zählt das CAD-CAM-Praxisprojekt zu den möglichen Vertiefungsmodulen. Unsere Aufgabe war es, ein Produkt mit Hilfe von der CAD-CAM Abwicklung und 5-Achs-CNC-Fräsen zu fertigen, das auch ein formverleimtes Bauteil enthält.

Wir hatten schnell eine konkrete Vorstellung von unserem Wunschprodukt. Wir wollten einen Lautsprecher fertigen. Dabei schwebte uns eine bestimmte Szene vor, die später auch unser Pflichtenheft entscheidend prägen sollte: Man sitzt mit Freunden zusammen im Park, genießt dabei Musik aus seiner eigens gefertigten „Box“ und kann bei Bedarf auch mal lauter aufdrehen.

Als Musikliebhaber stand für uns neben der Optik natürlich vor allem der Klang des Lautsprechers im Vordergrund. Hierbei bilden die Wahl der Treiber (die klangerzeugenden Lautsprecher bestehend aus Magnet, Schwingspule und Membran), das Gehäusevolumen, das eingesetzte Material und dessen Stärke sowie die Frequenzweiche die entscheidenden Parameter. Bei Letzterem haben wir uns für eine digitale Frequenzweiche mit einem sogenannten DSP (Digital Signal Processor) entschieden. Hierbei kann man den Klang mittels mehrerer parametrischer Equalizer (z.B. eine Anhebung oder Absenkung bestimmter Frequenzanteile im Signal) und Dynamikeffekten einstellen. Mit einem speziellen Messmikrofon wird der Frequenzgang des fertiggestellten Lautsprechers gemessen und analysiert, um die Einstellungen für den DSP zu entwickeln. Die Einstellungen können mit einer speziellen Software über ein USB-Interface aufgespielt werden.

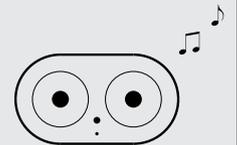
Damit der Schall in einem verbesserten Winkel auf unser Gehör trifft, verjüngt sich das Gehäuse zur Rückwand um 8 Grad. Dadurch sind die Treiber leicht nach oben geneigt und die Klangqualität wird optimiert.

Uns war von Beginn an bewusst, wie wenig Zeit uns für unser Audioprojekt zur Verfügung steht. Die Zeitplanung und das Einhalten von Meilensteinen hatten für uns von Anfang an Priorität und führten schließlich zum Erfolg.

Rückblickend bereiteten uns oft andere Dinge Probleme als anfangs erwartet. Wir führten ab dem ersten Tag Protokoll und konnten unseren Fortschritt stets mit unserem gesteckten Zeitplan abgleichen und unsere Fehler analysieren und somit die Prozesse optimieren.

Wir haben uns bei dieser Dokumentation für den Protokollstil entschieden, da wir der Meinung sind, dass ein chronologischer Bericht den „Wahnsinn“ der letzten Monate am authentischsten widerspiegelt.

Tagesprotokoll



Datum: Dienstag, 19.09.17

Beginn: 9 Uhr

Ende: 15 Uhr

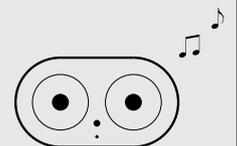
TOP 1 Ideenfindung

- Brainstorming
- Nutzwertanalysen
- Analysieren der Rahmenbedingungen

TOP 2 Pflichtenheft

- Bau eines Lautsprechers mit Formteil
- Möglichst wenig Teile
- Losgröße 3
- Ansprechender Sound
- Akkubetrieben, mind. 5 Std. Laufzeit
- Mobil, praktisch zu transportieren
- Beständig gegen Feuchte
z.B. feuchtes Gras im Park
- Bluetooth
- Stereo
- Digitale Frequenzweiche (DSP)
- Reversible Rückwand

Tagesprotokoll



Datum: Dienstag, 26.09.17

Beginn: 8 Uhr

Ende: 21 Uhr

TOP 1 Gespräch mit Herrn Linda

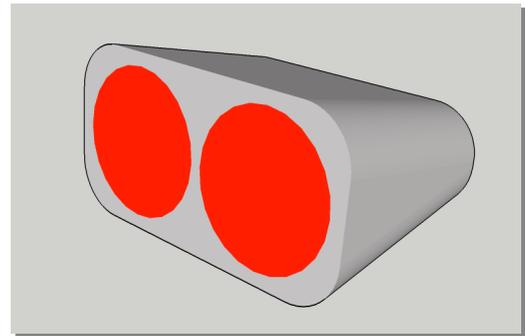
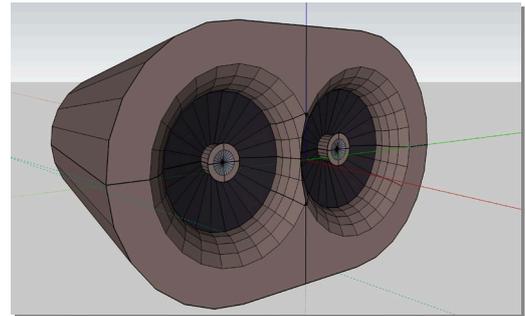
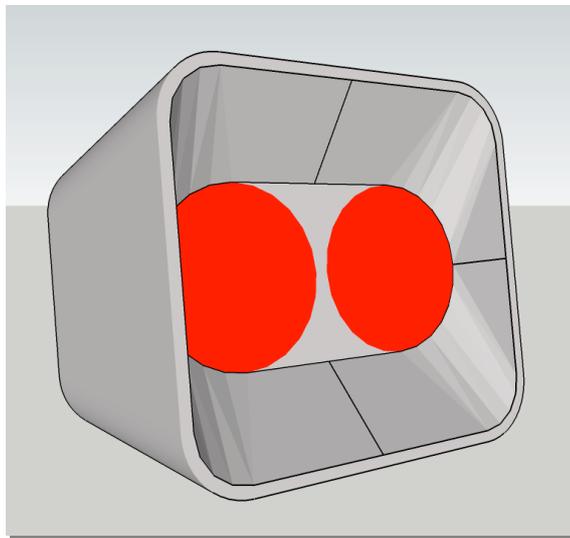
- Die Idee wird grundsätzlich genehmigt
- Aufgaben für uns: Kalkulation & Entwürfe

TOP 1 Kalkulation pro Lautsprecher

- Treiber	37€
- Akku	20€
- Frequenzweiche DSP	35€
- Bluetooth	21€
- Schäl furnier	≈ 40€
- Deck furnier	≈ 30€
- HPL	≈ 25€
- <u>Sonstiges</u>	≈ 25€
	≈ 233€

TOP 3 Konzipieren

- Verschiedene Konzepte erarbeiten
- erste CAD-Zeichnungen

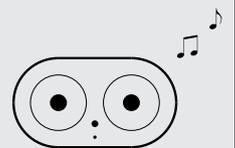


Tagesprotokoll

Datum: Mittwoch, 04.10.17

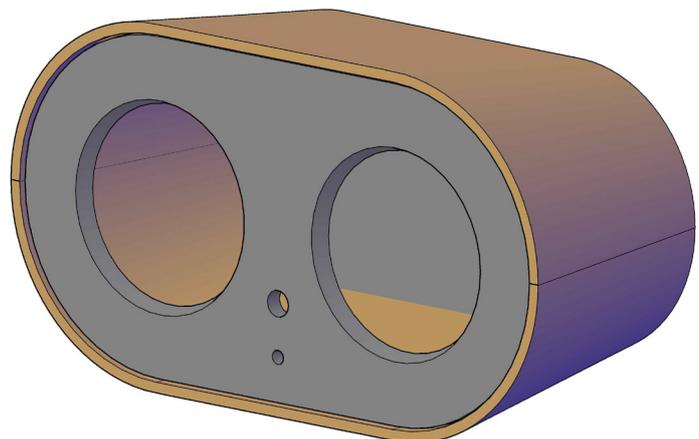
Beginn: 8 Uhr

Ende: 21 Uhr



TOP 1 Wunschkonzept festlegen

- Mit Nutzwertanalyse
- Mit Berücksichtigung des Kolloquiums am 19.12.17
- 13,4 Liter
- Mittellagen 1,2mm Buche Schäl furnier
- Sichtfurnier 0,55mm Kernbuche
- Materialstärke: $11 \times 1,2 \text{ mm} + 2 \times 0,55 \text{ mm} = 14,3 \text{ mm}$
- Vorder- und Rückteil mit 0,8mm HPL schwarz seidenmatt belegt

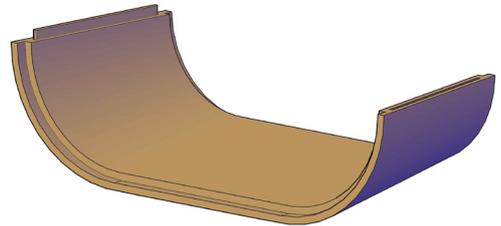


TOP 2 Gespräch mit Herrn Linda und Herrn Abels

- Genehmigung des Konzepts
- Genehmigung des Budgets von ca. 150€ für elektronische Bauteile
- Genehmigung des Kaufes von Kernbuche-Sichtfurnier bei *Hennig-Furniere*

TOP 3 3D-Modell in AutoCAD

- Festlegen d. endgültigen Maße, Proportionen und Geometrien
- Detail Verbindung Ober- und Unterteil --> Nut & Feder

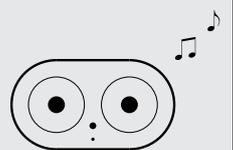


Tagesprotokoll

Datum: Montag, 09.10.17

Beginn: 6 Uhr

Ende: 21 Uhr



TOP 1 Furnier kaufen

- Fahrt zu *Hennig-Furniere*
- Kernbuche 0,55 mm
- 16 Blätter



TOP 2 Pressform konstruieren

Problem

- » Bei Abweichung der Furnierstärke passt Formteil nicht in Pressform oder es kann nicht genügend Druck aufgebaut werden

Lösung

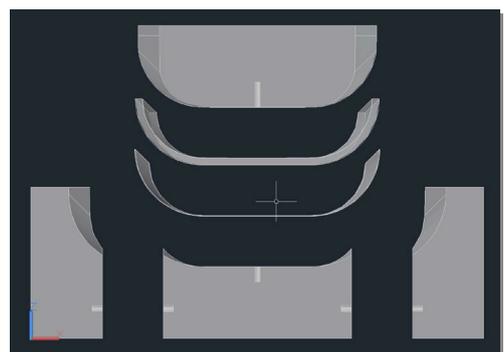
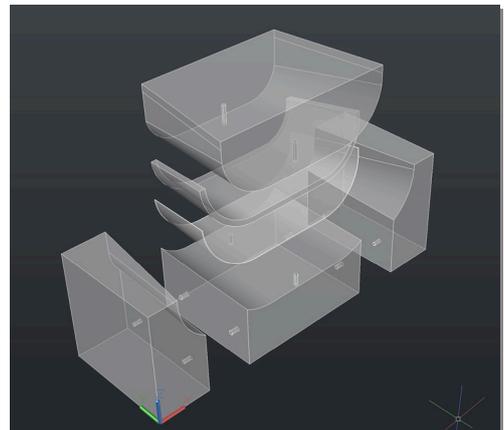
- » Mehrteilige Pressform

Problem

- » Beim einer mehrteiligen Pressform größere Toleranzen in der Pressfläche

Lösung

- » Schruppen einzeln, Schichten im Gesamten
- Führung der Einzelteile durch Aluminiumstifte
- Einlegen eines Blindfurniers



TOP 3 Verleimen der Rohteile

- Rohteile für dreiteilige Pressform zuschneiden und Verleimen in hydraulischer Presse

Tagesprotokoll

Datum: Mittwoch, 11.10.17

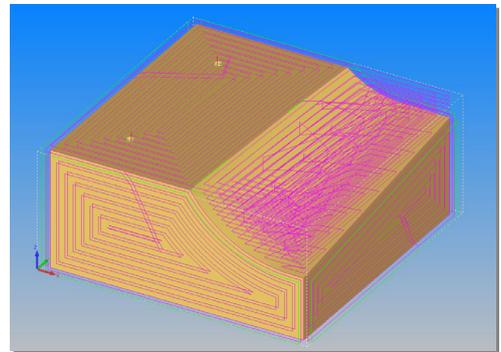
Beginn: 8 Uhr

Ende: 17 Uhr



TOP 1 Pressform programmieren

- Mit AlphaCAM
- Schruppen der unteren Form in drei Teilen
- Schichten im Gesamten



TOP 2 Pressform fräsen

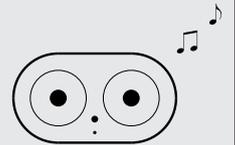
- Die drei Unterteile werden einzeln geschruppt, dann verschraubt und in einem geschlichtet
- Oberteil wird in einer Aufspannung bearbeitet



Tagesprotokoll

Datum: Samstag, 14.10.17

Beginn: 12 Uhr



Ende: 21 Uhr

TOP 1 Elektronik

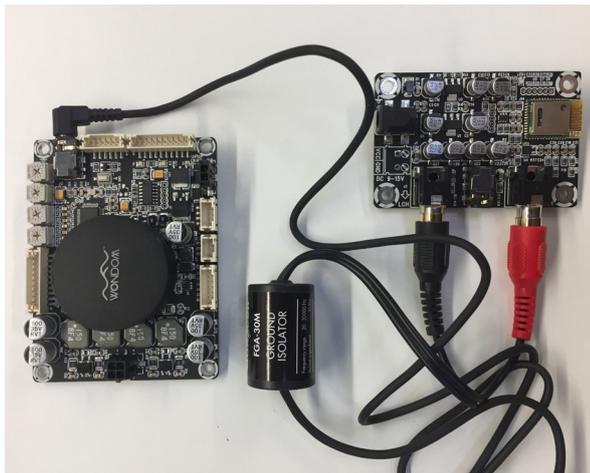
- Schaltplan zeichnen
- Verkabelung ausprobieren

Problem

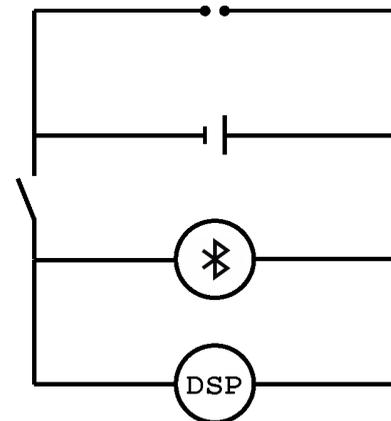
» Störgeräusch im Betrieb

Lösung

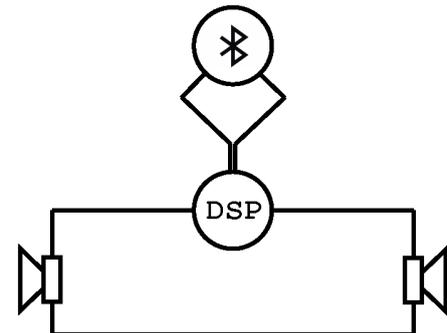
- » Bluetooth und DSP haben gleiche Stromquelle, dadurch zieht sich eine Schleife
- » Einbau Massentrennfilter



Stromkreis



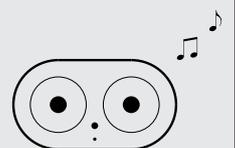
Audioverkabelung



Tagesprotokoll

Datum: Montag, 16.10.17

Beginn: 14 Uhr



Ende: 18 Uhr

TOP 1 Zusammenbau Pressform

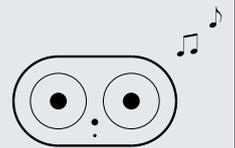
- Auf CNC angebohrte Durchgangsbohrungen durchbohren
- Versätze verschleifen
- Führungstifte und Hülsen einkleben

Tagesprotokoll

Datum: Mittwoch, 18.10.17

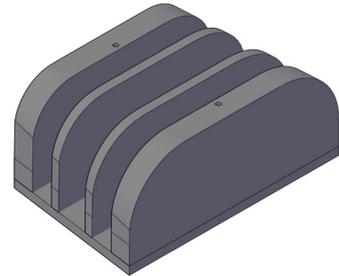
Beginn: 13 Uhr

Ende: 20 Uhr



TOP 1 Konditionierform

- Konzept erarbeiten
- Besteht aus einer Grundplatte und aufrechten Formgebern
- Niederhalter drücken Formteil auf Sollposition
- Positionierstifte



Tagesprotokoll

Datum: Freitag, 20.10.17

Beginn: 8 Uhr

Ende: 22 Uhr



TOP 1 Furnier

- Furnierabwicklung zeichnen
- Zuschnitt Sichtfurnier 0,5mm
- Zuschnitt Schäl furnier 1,2mm
- Furnier lasern in Modellbau-Werkstatt inkl. Positionierbohrungen, 3 gleichzeitig



TOP 2 Konditionierform

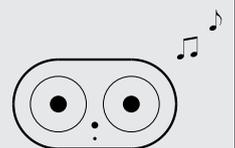
- Programmieren in AlphaCAM

Tagesprotokoll

Datum: Dienstag, 24.10.17

Beginn: 8 Uhr

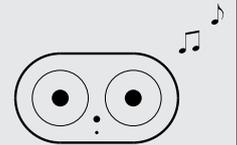
Ende: 22 Uhr



TOP 1 Konditionierform

- Fräsen und verleimen

Tagesprotokoll



Datum: Dienstag, 31.10.17

Beginn: 8 Uhr

Ende: 17 Uhr

TOP 1 Konditionierform

Problem

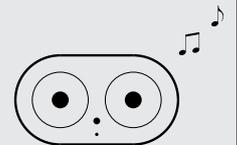
» Konditionierform nicht maßgenau

Lösung

- » Schruppen der Einzelteile einzeln
- » Schlichten im Gesamten nach dem Verleimen
- » Minimieren der Toleranzen

- Zeichnen in AutoCAD
- Herstellen der Niederhalter

Tagesprotokoll



Datum: Donnerstag, 02.11.17

Beginn: 8 Uhr

Ende: 22 Uhr

TOP 1 Konditionierform

- Programmieren in AlphaCAM
- Fräsen von insgesamt zwei Konditionierformen



Tagesprotokoll

Datum: Donnerstag, 09.11.17

Beginn: 8 Uhr

Ende: 22 Uhr



TOP 1 Pressung No.1

- 36 Stunden in der Presse
- 30 bar

Problem

- » Formteil macht nach dem Pressen 2mm auf

Lösung

- » Auskonditionieren

Problem

- » Abdrücke im Formteil von den Pressformstößen

Lösung

- » Weniger Pressdruck, max. 20 bar

Problem

- » Formteil zu groß für Konditionierform

Lösung

- » Entfernen von überstehendem Material mit der Handsäge
- » Änderung der CAD-Datei für den Laser



Tagesprotokoll

Datum: Montag, 13.11.17

Beginn: 9 Uhr

Ende: 17 Uhr



TOP 1 Pressung No.2

- 24 Stunden in der Presse
- 20 bar

Problem

- » Leichter Abdruck an Pressformstoß

Lösung

- » Kann weggeschliffen werden

Problem

» Materialstärke ist an den
den Flanken 0,8mm zu dick

Lösung

» Verwenden von zusätzlichen
Zwingen für mehr seitlichen
Druck

TOP 2 Formatiervorrichtung

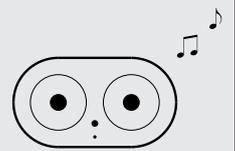
- Entwickeln und skizzieren
des Konzepts
- Absprache mit den Dozenten

Tagesprotokoll

Datum: Dienstag, 14.11.17

Beginn: 8 Uhr

Ende: 23 Uhr



TOP 1 Werkstatteinweisung

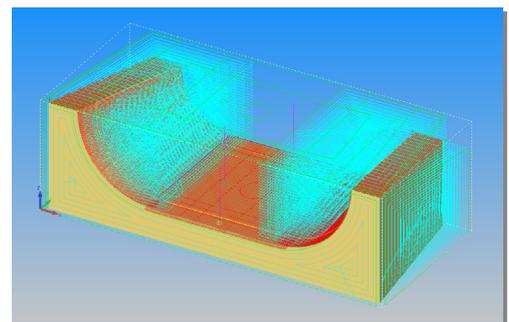
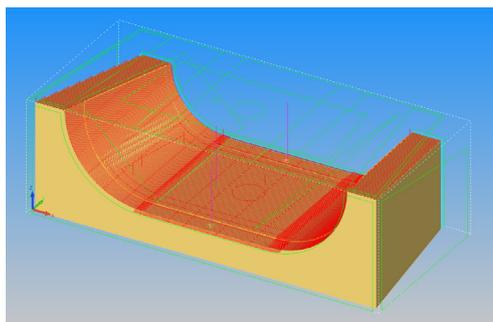
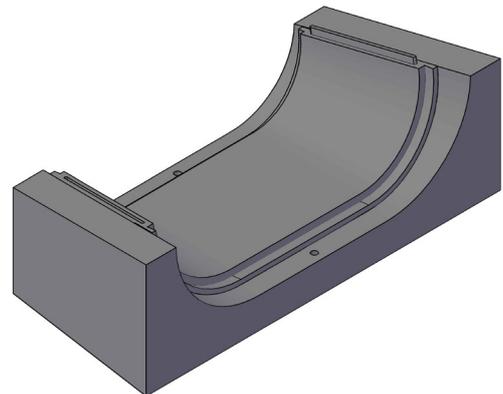
- Unterweisung in der
Gestalterwerkstatt
- Einweisung für den Lack-
raum und Terminabsprache mit
Andreas Kristl

TOP 2 AutoCad 3D-Modell

- Annahmen für Vorder- und
Rückwandtreffen
z. B. Materialstärke
- Änderung in AutoCAD

TOP 3 Formatiervorrichtung

- Zeichnen in AutoCAD
- Programmieren in AlphaCAM

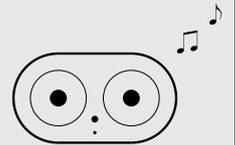


Tagesprotokoll

Datum: Donnerstag, 16.11.17

Beginn: 14 Uhr

Ende: 22 Uhr



TOP 1 **Formatiervorrichtung**

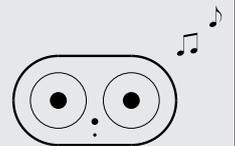
- Programmierung überarbeiten
- Rohteil verleimen
- Vorrichtung schrumpfen

Tagesprotokoll

Datum: Freitag, 17.11.17

Beginn: 8 Uhr

Ende: 22 Uhr



TOP 1 **Formatiervorrichtung**

- Vorrichtung schichten
- Vakuumschläuche und Moosgummi integrieren

TOP 2 **Formatierung No.1**

- Fräsen des ersten Formteils

Problem

- » Vereinzelt Ausriss

Lösung

- » Fräsrichtung oder Bearbeitungsstrategie ändern

Problem

- » Falz ungleichmäßig

Lösung

- » Konnte bis zum Schluss nicht vollständig geklärt werden

Problem

- » Vorrichtung nicht auf Sollposition

Lösung

- » Testbohrung am Anfang des Programms



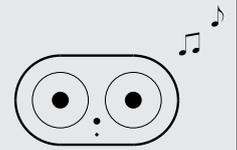
TOP 3 **Pressung No.3**

- 10 Stunden in der Presse
- 20 bar

Tagesprotokoll

Datum: Dienstag, 21.11.17

Beginn: 8 Uhr



Ende: 20 Uhr

TOP 1 **Formatiervorrichtung**

Problem

- » Zweites Pressteil hat Luft zur Vorrichtung

Lösung

- » Erstellen einer Spreize um Formteil auf Referenzpunkt zu positionieren



TOP 2 **Formatierung No.2 + 3**

- Fräsen des ersten Formteils

Problem

- » Falz erwischt Furnierquerlage

Lösung

- » Programm anpassen, sodass in Längslage gefräst wird



Problem

- » Kaurit hält nicht

Lösung

- » Mehr Kaurit auftragen
- » Kaurit vor Verarbeitung 10 Minuten ruhen lassen
- » Zu wenig Druck an den Flanken, Pressform ist fehlerhaft: oberer Teil muss neu gemacht werden



TOP 3 **Pressung No.4**

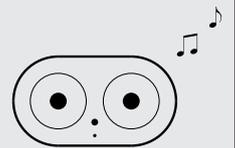
- 10 Stunden in der Presse
- 20 bar
- Mit neuer Pressform

Tagesprotokoll

Datum: Samstag, 25.11.17

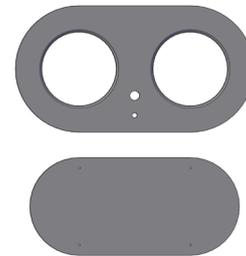
Beginn: 9 Uhr

Ende: 20 Uhr



TOP 1 Vorder- und Rückteil

- Alle Details festlegen
- Selbst verleimtes Buchensperrholz, HPL beschichtet
- Material zuschneiden
- Pressen der Rohteile



TOP 2 Pressung No.5

- 5 Stunden in der Presse
- 20 bar

Problem

» Blindfurnier reißt

Lösung

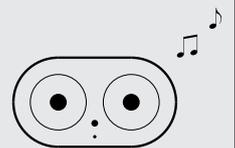
» Blindfurnier gegen eins mit Längsfaserverlauf austauschen

Tagesprotokoll

Datum: Sonntag, 26.11.17

Beginn: 9 Uhr

Ende: 20 Uhr

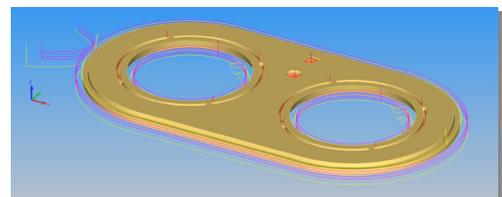


TOP 1 Vorder- und Rückteil

- Programmierung der Teile
- Zuschnitt der Rohteile

TOP 2 Formatierung No.4

- Fräsen viertes Formteil
- Erstes Gutteil



Problem

» Vorderer Falz nicht exakt gleichmäßig

Lösung

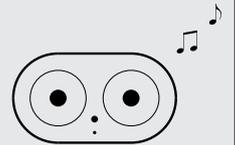
» Anfahren einer Fase, um Toleranzen zu kaschieren

Tagesprotokoll

Datum: Montag, 27.11.17

Beginn: 8 Uhr

Ende: 21 Uhr



TOP 1 Vorder- und Rückteil

- Probefräsungen

Problem

- » Schattenfuge ist nicht gleichmäßig 2mm

Lösung

- » Programm muss an Korpus angepasst werden

TOP 2 Verleimvorrichtung

- Kraftfluss während der Leimung durchdenken
- Druck wird durch Schraubzwingen aufgebaut
- Planen und fertigen der Vorrichtung



Tagesprotokoll

Datum: Dienstag, 28.11.17

Beginn: 8 Uhr

Ende: 22 Uhr



TOP 1 Rückteilbefestigung

- Wird durch M5 Gewindeschrauben reversibel befestigt

Problem

- » Muffe zu groß für den Falz

Lösung

- » In den Korpus werden Bucheleisten geleimt, in die die Muffen eingedreht werden
- Dichtung wird später in den Falz geklebt, um Dichtheit des Volumenkörpers zu gewährleisten



TOP 2 **Elektronik**

- Wird später auf Rückwand montiert
- Herstellen einer Bohrschablone für die Positionierung
- Fertigen von Abstandshaltern für die Platinen



TOP 3 **Pressung No.6**

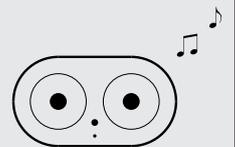
- 10 Stunden in der Presse
- 20 bar

Tagesprotokoll

Datum: Mittwoch, 29.11.17

Beginn: 8 Uhr

Ende: 22 Uhr



TOP 1 **Pressung No.7**

- 6 Stunden in der Presse
- 20 bar

TOP 2 **Formatierung No.5**

- Fräsen des fünften Formteils
- Zweites Gutteil

TOP 3 **Verleimung No.1**

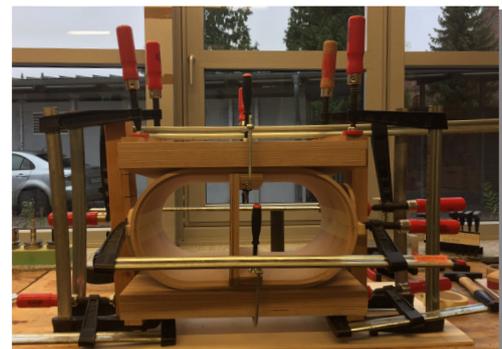
- Verleimen des ersten Gehäuses

Problem

» Fuge schließt nicht ganz

Lösung

» Seitlichen Druck durch Zwinde aufbauen



TOP 3 **Logo**

- Produktlogo entwickelt und gezeichnet

TOP 4 **Pressung No.8**

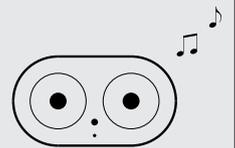
- 15 Stunden in der Presse
- 20 bar

Tagesprotokoll

Datum: Donnerstag, 30.11.17

Beginn: 8 Uhr

Ende: 21 Uhr



- TOP 1 **Pressung No.9****
- 6 Stunden in der Presse
- 20 bar
- TOP 2 **Vorder- und Rückteil****
- Programmierung optimiert
- TOP 2 **Dokumentation****
- Konzept überlegen
- Erstellung *Tagesprotokoll-*
 Vorlage

Tagesprotokoll

Datum: Freitag, 01.12.17

Beginn: 8 Uhr

Ende: 20 Uhr



- TOP 1 **Formatierung No.6 + 7****
- Fräsen der Formteile des
 dritten und vierten Gutteils
- TOP 2 **Verleimung No.2****
- Verleimen des zweiten
 Gehäuses
- TOP 2 **Vorder- und Rückteil****
- Vermessen des ersten und
 zweiten Gehäuses

Problem

» Maßabweichungen von 1 mm

Lösung

» Vorder- und Rückteil müssen
 individualisiert werden

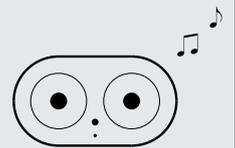


Tagesprotokoll

Datum: Sonntag, 03.12.17

Beginn: 8 Uhr

Ende: 22 Uhr



TOP 1 **Formatieren No.8 + 9**

- Fräsen der Formteile des fünften und sechsten Gutteils

TOP 2 **Verleimung No.3**

- Verleimen des dritten Gehäuses

TOP 3 **Vorder- und Rückteil**

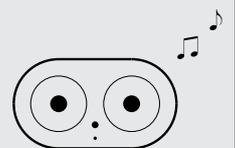
- Anfertigen individueller Programme
- Fräsen aller Vorder- und Rückteile

Tagesprotokoll

Datum: Montag, 04.12.17

Beginn: 8 Uhr

Ende: 20 Uhr



TOP 1 **Elektronik**

- Kaufen Kleinteile: Klemmen, Schrumpfschläuche, Nieder-voltkabel, Befestigung für den Akku

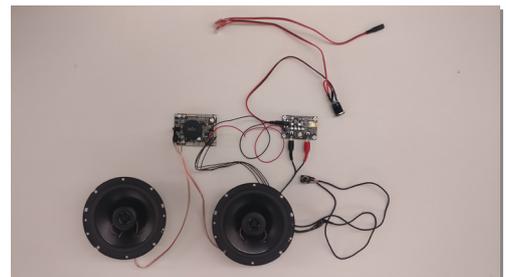
Problem

- » Bestellte 12V Akkus kommen nicht rechtzeitig aus China

Lösung

- » Akkus von *ENERprof* 15V
- » Wegen höherer Spannung muss vor Bluetooth-Einheit ein Spannungswandler verbaut werden

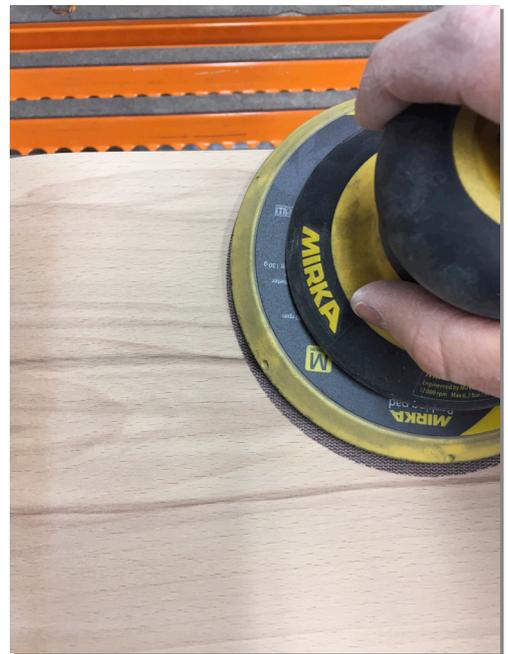
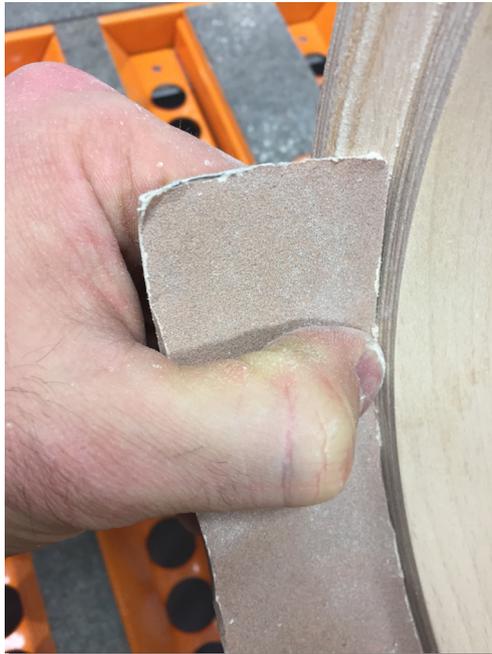
- Löten des Stromkreises von DSP, Bluetooth-board, I/O-Schalter



TOP 2

Schleifen

- Schleifen der Korpuse in der Gestalterwerkstatt

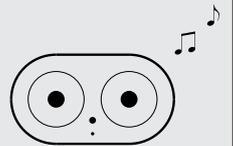


Tagesprotokoll

Datum: Dienstag, 05.12.17

Beginn: 8 Uhr

Ende: 20 Uhr



TOP 1

Grundieren

- Letzte Schleifarbeiten
- Verwendung von Hesse Lignal PUR Naturholzeffekt DA 400-1
- 10% Verdünnung

TOP 2

Dokumentation

- Tagesprotokolle ausfüllen

TOP 3

Elektronik

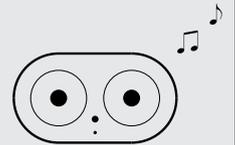
- Beginnen mit Lötarbeit der Bauteile des Audiokreises
- Testen der Technik ohne Gehäuse



Tagesprotokoll

Datum: Mittwoch, 06.12.17

Beginn: 9 Uhr



Ende: 17 Uhr

TOP 1 Lackieren

- Zwischenschliff
- Endlack
- Verwendung von Hesse Lignal PUR Naturholzeffekt DA 400-1
- 15% Verdünnung

TOP 2 Dokumentation

- Tagesprotokolle ausfüllen

TOP 3 Elektronik

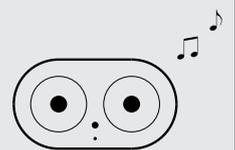
- Löten der verbleibenden elektronischen Bauteile
- Testen der restlichen Bauteile ohne Gehäuse



Tagesprotokoll

Datum: Freitag, 08.12.17

Beginn: 9 Uhr



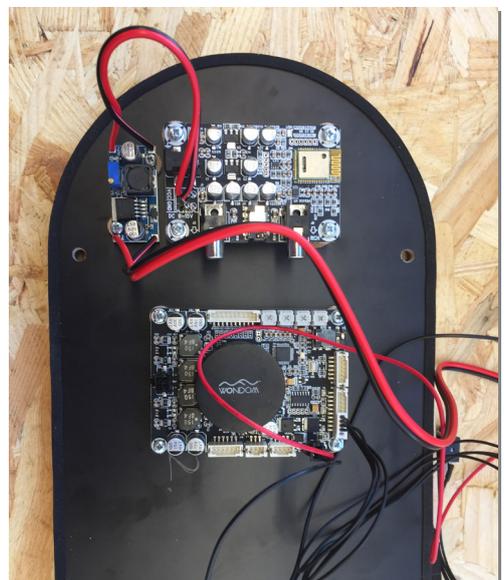
Ende: 18 Uhr

TOP 1 Gehäuse

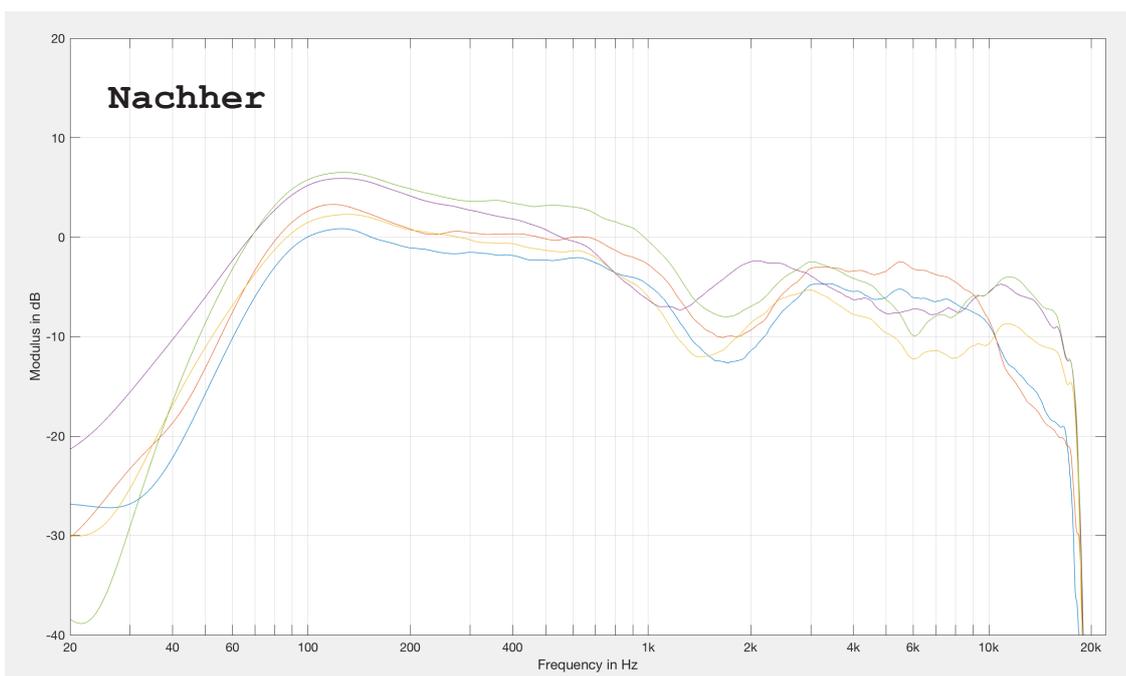
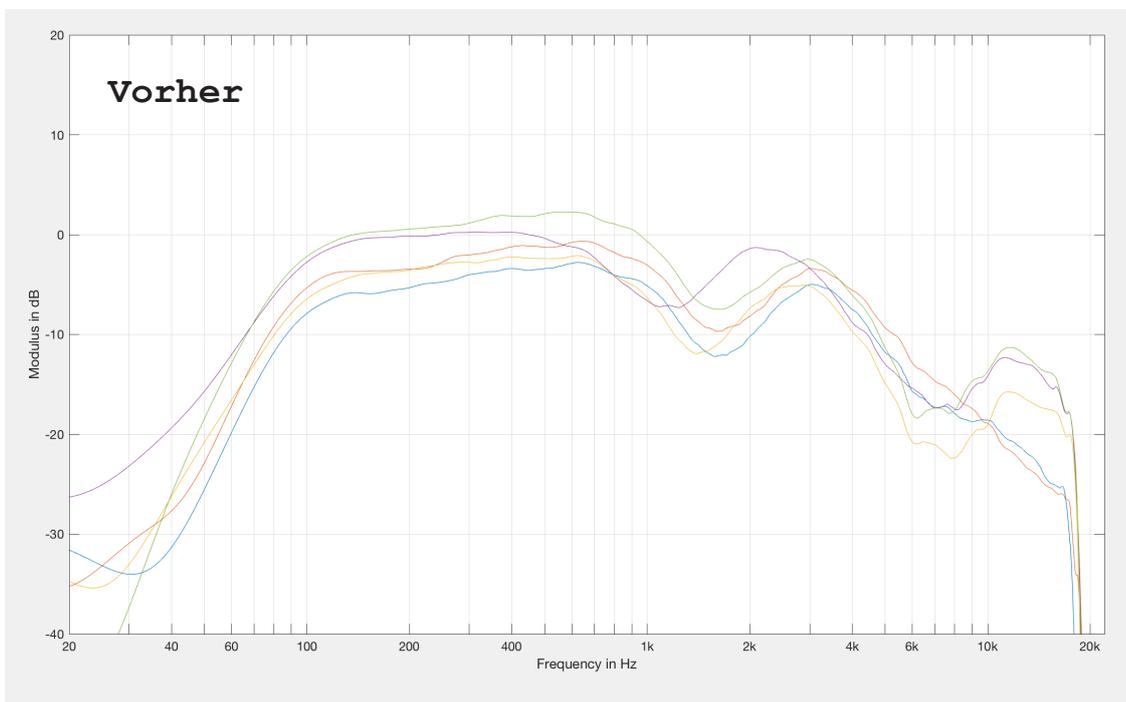
- Front einkleben
- Potentiometer und I/O-Schalter montieren
- Elektronik montieren
- Dämmwolle einlegen
- Rückwand montieren

TOP 2 Lautsprecher einmessen

- Einmessen des fertigen Lautsprechers draußen und drinnen mit Einmesssystem
- Verwendung professioneller Hard- und Software



- Einmessen mit 5 verschiedenen Mikrofonpositionen
- **IST-Zustand:** fehlender Tiefbass unter 100Hz, starke Mittenbetonung von 300Hz bis 1.000Hz, stark abfallende Höhen über 5.000Hz
- **SOLL-Zustand** wird mittels parametrischer Equalizer erreicht
--> Frequenzgang wird geglättet



TOP3

Programmieren des SOLL-Zustands

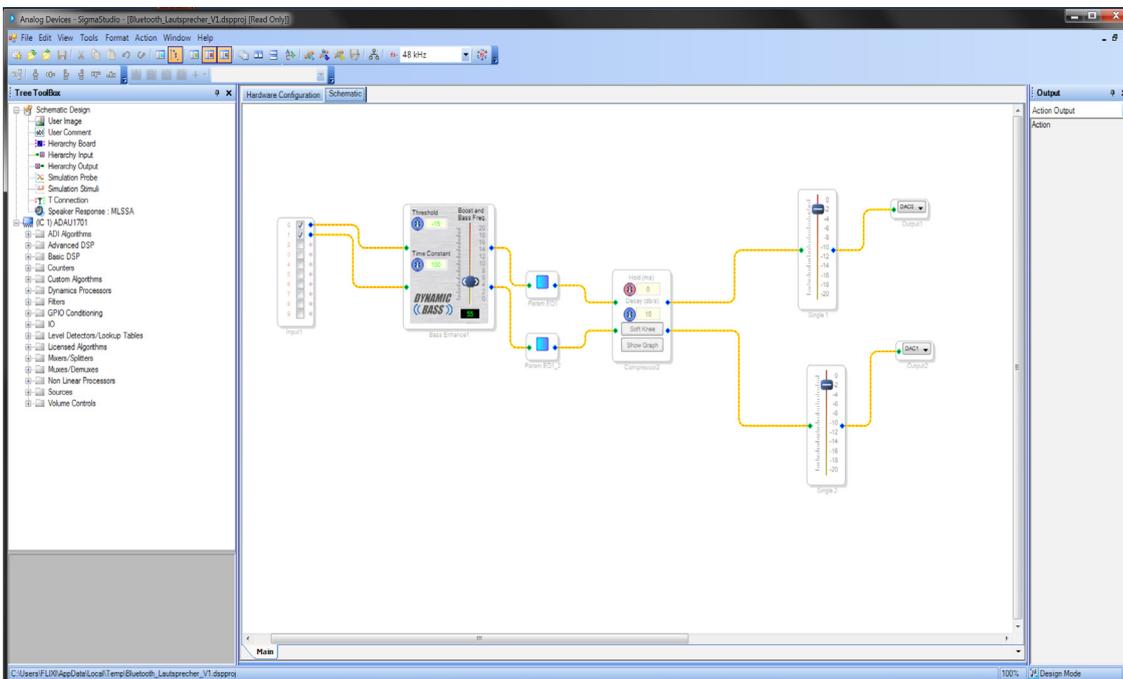
- Programmierung des DSP mit *Sigma Studio*

Problem

- » Zugriff auf EEPROM des DSP nicht möglich

Lösung

- » Anleitung des Hersteller geprüft
- » Fehler im Ablauf der Programmierung durch Analyse gefunden und behoben







F a z i t

Zum Abschluss des Projektes bleibt das Fazit. Die Auswertung des Geleisteten und das Reflektieren der erreichten Ziele.

Wenngleich uns von Beginn an bewusst war, wie wenig Zeit wir zur Verfügung hatten und sowohl Arbeitsmoral als auch Zielsetzung danach ausgerichtet hatten, wurde es einen Monat vor Abgabe doch noch einmal spannend. Vor allem wegen Dingen, die nicht in unserer Macht lagen, wie das Warten auf längst bestellte elektronische Komponenten, wurde das Ticken der Uhr lauter und die Tage im Labor länger. Mit dem verspäteten Eintreffen von Bauteilen kamen Änderungen der Konstruktion während der Fertigung, weil genaue Maße für Front und Rückteil oder genaue Bohrungsdurchmesser erst bestimmt werden konnten, als alle Teile vollzählig waren.

Dennoch gab es auch Momente, in denen wir unseren Zeitplan ohne Probleme einhalten oder Aufgaben sogar eher abhaken konnten. So zum Beispiel bei der Pressform, die wir ohne größere Probleme konstruiert, in Einzelteilen geschruppt und dann im Ganzen geschlichtet haben.

Dass wir innerhalb des 3D-Modells der oberen Pressform einen Konstruktionsfehler hatten, der sich erst beim Formatieren der Formteile offenbaren sollte, war uns zu dem Zeitpunkt noch nicht bewusst. Durch diesen bekamen die Seiten des Formteils nicht genug Druck und die Leimfuge riss auf.

Da der Fehler aber die genannte Vorlaufzeit hatte, war der erste emotionale Tiefpunkt die Konditionierform. Hierbei taten wir uns besonders schwer, viele Referenzwechsel und die von uns gewählte Fertigungsstrategie führten mehrmals dazu, dass die Ergebnisse nicht innerhalb des Toleranzbereiches lagen. Erst als wir uns entschlossen, die Formen geschruppt auf der Grundplatte zu verleimen und anschließend im Ganzen zu schlichten, war das Ergebnis zufriedenstellend. Dieser Prozess lief über 2 Wochen und zwang uns, sowohl den Zeitplan als auch die im Labor verbrachten Stunden pro Tag anzupassen. Des Weiteren war dies der Auslöser für noch strukturierteres Arbeiten, damit die folgenden Aufgaben nicht durch ähnlich viele Flüchtigkeitsfehler in die Länge gezogen werden. Nach erfolgreicher Fertigstellung der Konditionierformen begannen wir mit der Formatiervorrichtung. Diese konnte jedoch deutlich schneller konstruiert und auch mit dem

ersten Versuch umgesetzt werden.

Durch die erste Fräsung wurde allerdings, wie bereits erwähnt, die fehlerhafte Verleimung sichtbar, die diesen Meilenstein überschattete. Es folgten dann zwei weitere Pressversuche, beide ebenfalls erfolglos. Erst nach der Korrektur der oberen Pressform kamen wir mit der Formtierung des vierten Pressteils, dem ersten Gutteil, aus diesem emotionalen Tal heraus, und ab da ging es stetig bergauf.

Vor allem beim Konstruieren des Vorder- und Rückteils verzeichneten wir kaum Fehler. Lediglich die Schattenfuge zwang uns, die Teile im Anpassbau zu fertigen, da die Formteile sich nach dem Verleimen durch innere Spannungen unterschiedlich verformt hatten. Allerdings bewegten sich die Anpassungen im Bereich von 0,5 bis 1 Millimeter. Für eine Serienfertigung müsste die Konstruktion noch einmal überdacht und verändert werden, damit der Austauschbau gewährleistet werden kann.

Das Verleimen der Formteile war noch einmal aufregender als erhofft, durch eine ausgeklügelte Verleimvorrichtung gelang es uns aber, den Stoß zwischen den beiden Formteilen sauber zu schließen. Rückblickend sollte man testen, ob Ergebnisse von gleicher Güte mit Spanngurten statt Zwingen stressfreier erzielt werden könnten. Für solche Versuche fehlte uns allerdings die Zeit.

Auch das Treffen der Furniere vom oberen und unteren Formteil konnten wir mit jedem Versuch verbessern, bei Gehäuse 2 und 3 ließ sich der Versatz im Sturz fast beseitigen.

Die Oberfläche wurde dann in der Werkstatt der Gestalter behandelt, und durch das herausragende Equipment gelang es, eine sehr hohe Oberflächengüte zu erreichen.

Bei der Montage der Gehäuse stellten wir fest, dass die Muffen mit Gewindeschrauben für die reversible Rückwand zwar theoretisch eine elegante Lösung sind, praktisch die Übertragung des Bohrbilds von Rückwand in die Leisten nicht optimal funktioniert hat. Deshalb sollten auch an dieser Stelle für die Serienfertigung noch einmal Alternativen ermittelt und getestet werden.

Nachdem die einzelnen Gehäuse fertig waren, konnten wir unsere volle Aufmerksamkeit dem im Vorfeld erarbeiteten Elektronikkonzept widmen. Die Einarbeitungszeit in die Grundlagen dieses Fachbereichs nahm mehr Zeit in Anspruch als zu Anfang kalkuliert. Zudem gab es Probleme mit einzelnen Bauteilen. Wir mussten zum Beispiel einen Massentrenner in der Audioverbindung von Bluetooth-Adapter zu der digitalen Frequenzweiche (im Folgenden DSP) integrieren, um Störsignale zu eliminieren. Zusätzlich wurden die im Ausland bestellten Akkus nicht rechtzeitig geliefert, wodurch wir gezwungen waren, noch kurzfristig Ersatz zu

organisieren. Nach anfänglichen Schwierigkeiten im Bereich der Elektronik erfuhren wir eine steile Lernkurve, weshalb wir unseren Zeitplan dennoch einhalten konnten. Als die Elektronik verkabelt war und die Stromversorgung mit den neuen Akkus funktionierte, blieb noch das Einmessen der Lautsprecher und das Programmieren des DSP. Auch dies dauerte zunächst länger als erwartet, da die Kommunikation mit dem EEPROM, dem dauerhaften Speicher der Frequenzweiche, nicht funktionierte. Wir probierten mehrere Kabel und USB-Anschlüsse aus, unterschiedliche Reihenfolgen der Abläufe, aber nichts schien zu helfen. Erst als wir die Anleitung des Herstellers prüften, fanden wir den Fehler in der Anleitung. Nach der Korrektur konnten wir den EEPROM ansteuern und unsere Equalizerkonfiguration auch dauerhaft auf dem DSP speichern. Anschließend platzierten wir Dämmmaterial im Gehäuse und konnten den ersten Lautsprecher final verschließen. Nachdem unsere überschwängliche Freude über das erfolgreiche Beenden und die alle Erwartungen übertreffende Klangqualität der Lautsprecher langsam abklang, widmeten wir uns dieser Dokumentation und der daraus resultierenden Reflektion der Projektarbeit. Trotz der Tatsache, dass wir von Anfang an ein Auge auf den Terminkalender hatten und dem Zeitplan eine hohe Priorität gaben, wurde die Kürzung der Zeit gegenüber den Vorjahren um knapp die Hälfte immer wieder zur Herausforderung. Deshalb, und weil wir Probleme an Stellen hatten, an denen wir nicht damit gerechnet haben, waren zwischenzeitlich 14h-Tage im Labor keine Seltenheit. Auch die emotionalen Hoch- und Tiefpunkte sind in ihrer Stärke und der Häufigkeit unter den bisher absolvierten Projektarbeiten einmalig gewesen. Selten folgte bei anderen Abgaben auf überschwängliche Freude, zum Beispiel weil die Formatiervorrichtung beim ersten Versuch einwandfrei funktioniert hat, ein so tiefer Fall in die Ratlosigkeit, weil wir die schlechte Verleimqualität der Formteilflanken nicht nachvollziehen konnten. Dennoch überwiegt bei diesem akustischen Herzensprojekt am Ende die Freude, weil der Lautsprecher unsere Erwartungen in allen Bereichen übertreffen konnte.