

5-Achs-CNC-Bearbeitung

CAD/CAM Praxisprojekt WiSe 2021/2022
Herstellung eines Ventilators im Maßstab 1:1

HAWK
Fakultät Bauen und Erhalten
Studiengang Holzingenieurwesen
Labor für Bearbeitungstechnik LBT

Studenten:
Jan Strahlmann
Henrik Tretau
Nils Müller

Dozenten:
Dipl.-Ing. Norbert Linda

Entwurf

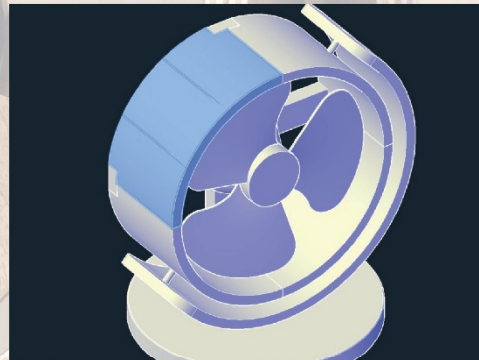


Bild links: Fertiger Ventilator
Bild rechts: Konzeptuelle Darstellung AutoCAD

CNC-Programmierung

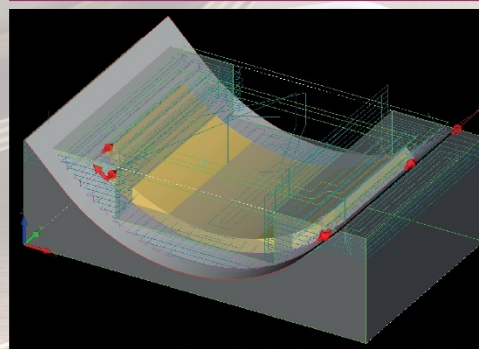
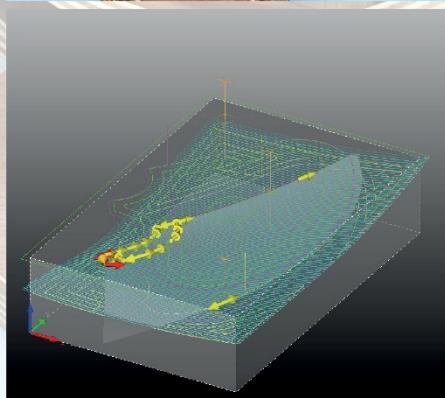


Bild links: Programmierung des Rotorblattes
Bild rechts: Programmierung des Bogenviertels

5-Achs-CNC-Fräsen

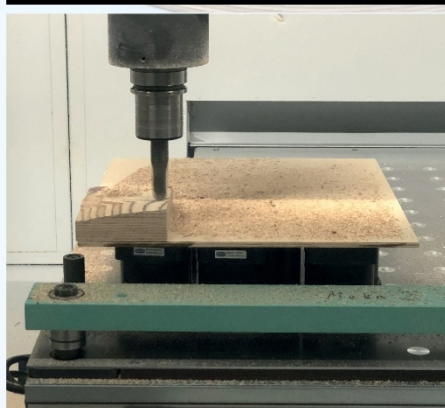


Bild links: Fräsen der Pressform des Rotorblattes
Bild rechts: Fräsen des Bogenviertels

Dokumentation

Herstellung eines Ventilators – im Maßstab 1:1

Studierende:

Nils Müller
Jan Strahlmann
Henrik Tretau

Dozierende:

Prof. Dr.-Ing. Norbert Linda

Wi/Se 21/22

Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst
Fakultät Bauen und Erhalten

Hildesheim, den 17.02.21

Inhaltsverzeichnis

1_Einleitung	3
2_Idee	3
3_Planung	6
4_Entwurf	9
5_Konstruktion	11
6_Montage	26

1_Einleitung

1.1_Projektbeschreibung

Im Rahmen des Vertiefungsmoduls BHV-02 CAD/CAM Praxisprojekte im Wintersemester 2021/21 haben wir anhand eines von uns entworfenem Möbel, den praktischen Umgang mit CAD/CAM Systemen und der 5-AchsCNC-Bearbeitung erlernt.

Ziel war es, ein Möbel aus mindestens zwei Formholzteilen herzustellen. Dabei sind alle Arbeitsschritte, von der Planung, Konstruktion, Fertigung bis hin zur Montage des Möbels von den Studierenden umzusetzen.

Zur Verfügung standen uns dabei das Labor für Bearbeitungstechnik mit einer Tischlerwerkstatt mit mehreren Holzbearbeitungsmaschinen, zwei hydraulische Pressen, einem PCPool, sowie drei 5-Achs-CNC-Maschinen der Marke Maka.

Unsere Arbeitsgruppe besteht aus drei Mitgliedern, in der mindestens eine Person, durch einen Maschinenschein dazu qualifiziert ist, die nötigen Holzbearbeitungsmaschinen zu bedienen.

Das Möbel war frei zu wählen, musste jedoch dem Erwartungshorizont in Bezug auf die Gruppengröße gerecht werden. Herzustellen war in eigengefertigtes Formholzteil mit einer dreidimensionalen Verformung. Kenntnisse über Material und Werkstoff waren ebenfalls anzuwenden, sowie der Arbeitsschutz und die Unfallverhütung zu berücksichtigen. Teil der Abgabe ist eine Dokumentation und ein selbst erstelltes Plakat.

1.2 Ablauf

Zunächst ist ein digitaler 3D-Körper mit der CAD-Software AutoCAD herzustellen. Dieser 3D Körper wird dann in der CAD/CAM-System AlphaCAM eingeführt und die Arbeitsweise der CNC-Fräse bestimmt.

Hierbei wird eine Pressvorrichtung zur Konditionierung der Formholzteile hergestellt. Die Formholzteile bestehen aus mehreren dünnen Furnierschichten, welche durch Zugabe von Leim, durch die Pressform, in eine dreidimensionale Form gepresst werden und anschließend konditioniert um nachträgliches Verformen zu verhindern.

In zusätzlichen hergestellten Formen, durch Vakuum festliegend, werden die gepressten Formteile auf Ihre endgültigen Maßen gefräst.

Danach erfolgt die Oberflächenbehandlung und Montage aller Einzelteile.

2_Idee

2.1_Brainstorming/Produktidee

In einem ersten Brainstorming haben über ein funktionales Möbel nachgedacht. Wir wollten nicht nur ein Produkt entwickeln, welches durch seine dreidimensionale Verformung ästhetisch ist, sondern auch eine Funktion erfüllt.

Da abseits dieses Projektes schon an einem Skateboard, ebenfalls durch Formverleimung gearbeitet wurde, lag die Idee erstmal Nah.

Nach Rücksprache mit den Dozierenden wurde die Forderung nach einem Anspruchsvollerem Produkt laut und es musste umgedacht werden.

Den Input für einen Ventilator kam relativ schnell und wurde sehr gut von den anderen Gruppenmitgliedern aufgenommen. Es verbindet mehrere anspruchsvolle dreidimensionale Formteile miteinander, ist ästhetisch sehr ansprechend und hat eine konkrete Funktion. Nun musste sich auf die Art des Ventilators geeinigt werden. Eine Recherche zu Bauformen von Ventilatoren, die verbaute Technik, Aerodynamik und Design war grundlegend um einen ersten Entwurf zu entwickeln.

Recherche:

Ein Ventilator ist eine fremd angetriebene Strömungsmaschine, die ein gasförmiges Medium fördert. Dazu hat er ein axial oder radial durchströmtes Laufrad, das meist in einem Gehäuse rotiert.

Axialventilatoren sind die gebräuchlichste Bauform. Die Drehachse des Axiallaufrads verläuft parallel (axial) zum Luftstrom. Die Luft wird durch das Axiallaufrad ähnlich wie bei einem Flugzeug- oder Schiffspropeller bewegt.

Der weitverbreitete **Axialventilator** ist nach einfachen mechanischen Prinzipien aufgebaut. Der Motor bewegt die der Luftansaugseite zugewandten Flügel mit kräftiger Rotation. Dadurch erzeugt das Gerät einen Unterdruck, der die Umgebungsluft mit hohem Volumenstrom anzieht und axial, also **parallel der Motorachse**, durch das Laufrad und an dem Gerät vorbeiführt. Durch die Sogwirkung auf die Luft wird diese beschleunigt, es entsteht Druck- und Bewegungsenergie.

Der Aufbau eines Ventilators

Die Drehachse oder Welle dient dazu, die Kraft des Antriebs auf die Flügel zu übertragen. Diese sind an der Achse befestigt. Meist steckt auf der Achse eine Scheibe, die wiederum als Träger für die Flügel dient.

Eine Einheit aus Scheibe und Flügeln wird als Rotor bezeichnet. Die Flügel sind das Wesentliche bei einem Ventilator. Daher werden diese genauer betrachtet. Die Form der Flügel entscheidet, ob das Gerät viel oder wenig Luft bewegt und ob dabei Druck entsteht oder nicht.

Üblicher Aufbau moderner Ventilatoren:

Bauteil	Funktion
Fuß	Dient der Befestigung an einem festen Bauteil oder dem Stand. Ist nicht immer vorhanden, manchmal dient das Gehäuse auch der Befestigung. Ohne Befestigung würde der Rotor den Ventilator in Bewegung setzen, statt die Luft zu bewegen.
Gehäuse	Schützt davor den Rotor zu berühren und dient bei Einbauventilatoren der Befestigung. Ist nicht erforderlich, wenn Berührung des Rotors ohne Gefahr möglich ist.
Achse oder Welle	Überträgt die Kraft des Antriebs auf den Rotor.
Antrieb	Setzt die Achse in Bewegung. Es handelt sich meist um einen Elektromotor, aber ein Antrieb über Riemen ist auch möglich, beispielsweise bei der Kühlung von Motoren.

Flügel/ Rotor	Profile, die über die Achse im Kreis bewegt werden. Zum Teil aus weichem Material, um Verletzungen zu verhindern.
---------------	---

Aus diesen einfachen Bauteilen besteht jeder Ventilator. Die Schwierigkeit bei der Konstruktion besteht darin das richtige Profil und die beste Stellung der Flügel herauszufinden, damit der Ventilator die Luft in die gewünschte Richtung bewegt. Die Stärke des Luftstroms ist nicht nur von der Drehzahl abhängig. Eine glatte Leiste könnte extrem schnell rotieren, ohne eine nennenswerte Strömung zu erzeugen.

2.2_Bewertung und Realisierbarkeit

In einem Nachgespräch mit den Dozierenden wurde die Idee vorgestellt und auf Ihre Realisierbarkeit geprüft.

Die Anzahl der der Formholzteile entspricht, gemessen an der Anzahl der mitarbeitenden Studierenden, dem Erwartungshorizont.

Alle Teile, außer dem Motor sollen selber hergestellt werden. Dieser wird aus einem vorhandenen Ventilator ausgebaut und in den Holzventilator eingebaut, was ebenfalls dazu führt, dass wir uns in der ungefähren Größendimension an dem zugekauften Ventilator orientiert haben.

Der kreisrunde Korpus scheint das Herzstück unseres Produktes zu sein. Hierbei sind die sauberen Stöße von sehr hoher Wichtigkeit, um ein harmonischen Kreis und durchgehendes Furnierbild zu erschaffen. Die Rückverformung der formverleimten Sperrholzteile könnte dieses verhindern. So war der Radius in der Verleimung kleiner zu wählen um der Toleranz in der Rückverformung entgegen zu wirken.

2.3_Entscheidung

Aufgrund der Realisierbarkeit des Produktes haben wir uns für den Bau eines Tischventilators geeinigt. Diese Größe eines Ventilators schien für unsere Anforderungen ideal. Durchaus in dem Bewusstsein, dass diese Projekt zum Erlernen weiterer Fähigkeiten gedacht ist, war uns klar, dass die wenigsten Sachen direkt beim ersten Versuch gelingen werden. Somit sollte auch der Materialverbrauch relativ gering gehalten werden. Auf der anderen Seite schien uns die Größe ebenfalls als sehr gut, da die Bauteile auch nicht zu kleinteilig sind. Ebenfalls war davon auszugehen, dass die Anzahl der Bauteile sich sehr gut in die Gruppenarbeit einbauen lassen und dem Anforderungsprofil, des Projektes gerecht werden würden.

3_Planung

In Planung, zu unserem Entwurf war festzulegen, welche Eigenschaften, hinsichtlich Technik, Material und Design, unser Tischventilator mit sich bringen sollte.

Es war festzulegen, welche Einzelteile aus Holz gefertigt werden sollten und welche Teile hinzugekauft werden mussten. Ob der Ventilator mit einem normalen Stromanschluss an die Steckdose funktionieren würde oder/ auch mit einem Akku betrieben werden würde. Wie lässt sich die Lautstärke der Rotorblätter auf ein Minimum reduzieren und ein erfrischender Luftstrom garantieren.

In einem Pflichtenheft haben wir alle Muss- und Kann-Kriterien in den Bereichen Umsetzung, Stabilität, Design und Funktion überprüft.

3.1_Pflichtenheft

Pflichtenheft				
Muss Kriterien	Umsetzung	Stabilität	Design	Funktion
	Flügel formverleimt	Ständer muss in Waage stehen	Keine Ausrisse	Funktionsfähigkeit
	Gehäuse formverleimt	Rotorblätter fest montiert	ansprechende Holzoptik	erträgliche Lautstärke bei Nutzung
	Gehäuse besteht aus 4 Segmenten	Gehäuse fest montiert	Keine Ecken und Kanten bei Rundform	Geringes Gewicht Rotorblätter
	Segmente werden unlösbar miteinander verbunden			Angenehmer Luftstrom
	Fertigung Maßstab 1:1			
Kann Kriterien	Umsetzung	Stabilität	Design	Funktion
	Herstellung mehrerer Produkte (Anzahl 4)	Transportierbarkeit (Stabilität)	Kontraste zu Formteilen bieten	Schutzgitter zu de- und montieren
	Andere Bestandteile aus Kunststoff (3D-Druck)		Verbergen von Technik	Geringes Gewicht gesamt
			Verbergen von Verbindungselementen	Geschwindigkeit regelbar
				Ständerwerk zum Schwenken

3.2_Zeitplan

<u>Zeitplan</u>		
KW	Datum	Aufgabe
41	11.10.21 - 15.10.21	Ideenfindung
42	18.10.21 - 22.10.21	Entwurfsphase
43	25.10.21 - 29.10.21	Laboreinführung und Bestände prüfen
44	01.11.21 - 05.11.21	Objekt in CAD zeichnen
45	08.11.21 - 12.11.21	AlphaCAM-Dateien generieren und Pressform für das Rotorblatt fertigstellen
46	15.11.21 - 19.11.21	Versuchsreihe: Rotorblatt mit versch. Furniermengen pressen
47	22.11.21 - 26.11.21	Formatierung Rotorblatt
48	29.11.21 - 03.12.21	Herstellung Verbindungsstück der Rotorblätter
49	06.12.21 - 10.12.21	Rotorblätter mit Verbindungsstück fertigstellen
50	13.12.21 - 17.12.21	Pressform für Gehäuse bauen und mit Grada Sperrholz verpressen
51	20.12.21 - 24.12.21	Weihnachtsferien
52	27.12.21 - 31.12.21	Weihnachtsferien
1	03.01.22 - 07.01.22	Formatierung Gehäuse Fußteil fräsen
2	10.01.22 - 14.01.22	Pressform für Ständer bauen und erste Versuche mit Grada Sperrholz
3	17.01.22 - 21.01.22	Ständer formatieren und "X-Streben" für die Aufnahme der Welle bauen
4	24.01.22 - 28.01.22	Zusammenbau und mögliche Fehler ausbessern
5	31.01.22 - 04.02.22	Zeitpuffer
6	07.02.22 - 11.02.22	Dokumentation und Plakat
7	14.02.22 - 18.02.22	Dokumentation und Plakat
8	21.02.22	Abgabe

Wichtiger Teil der Planung ist ein konkreter Zeitplan über alle anliegenden Aufgaben, um sich eine genaue Übersicht zu verschaffen. So entstehen Ziele, die terminiert sind und messbar. Im Nachhinein lässt sich nachvollziehen, was funktioniert hat und wo es noch Verbesserungspotential gibt.

Da die der grobe Aufbau des Ventilators bereits bestimmt worden ist, ließen sich dieser in seine groben Einzelteile auseinandernehmen und jeweilige Bearbeitungszeiten bestimmen.

In unserer Zeitplanung haben wir ebenfalls Versuchsreihen und Sichtungen von Material mit eingezogen. Auch das eingestehen von Zeitpuffer ist unabdingbar.

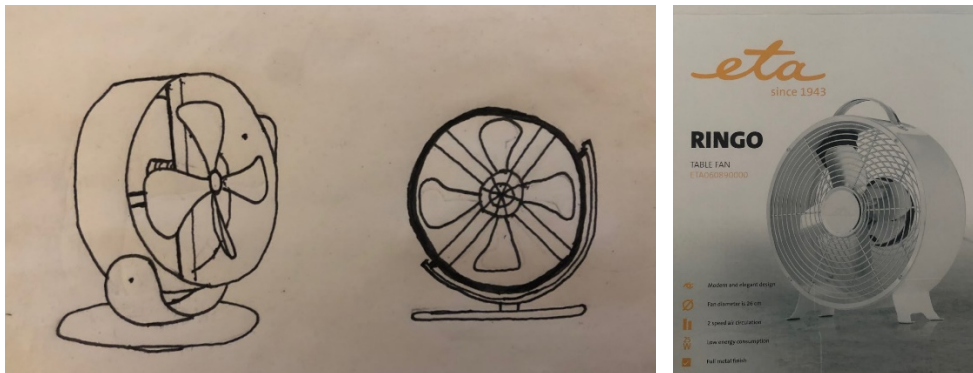
Besonders in der letzten Phase unseres Projektes haben wir uns nahezu jede Woche im Labor getroffen und ganztägig gearbeitet.

4_Entwurf

In diesem Teil wird der Entwurf des Ventilators in CAD vorgestellt und die Vorgehensweise zur Bewältigung der entstandenen Probleme.

Eine möglichst detailreiche und stets aktuelle CAD Zeichnung setzt den Grundstein für die Weiterarbeit in CAM und kann viel Zeit und Fehler einsparen.

Nachdem wir uns über die Aufgaben der Bauteile eines Ventilators ausführlich informiert haben und die verschiedenen Ausführungen, welche es auf dem Markt gibt analysiert haben, erstellten wir zunächst eine von Hand erstellte Zeichnung um sicherzustellen, dass wir die gleiche Vorstellung haben bevor es dann ins CAD ging.



Design

Auf wesentliche Dinge im Design des Ventilators konnten wir uns dann einigen, bevor der endgültige Entwurf gestaltet werden konnte.

Bauteil	Design
Fuß	Runder, flacher Fuß – minimalistisches, zurückhaltendes Design was für Leichtigkeit und Eleganz sorgt Furnierte Oberfläche und Sperrholzkante ziehen sich durch gesamtes Design
Gehäuse	Furniertes formverleimtes Sperrholz – durchgehend, Nussbaum Furnier auf GRADA Sperrholz Edel und stilvoll Gehäuse lässt sich in einer halbrundform schwenken. Optik erinnert an Globus. Stilvolle und einfache Richtungseinstellung des Ventilators
Achse/ Welle	3D Gedruckte Welle - für perfekte Anordnung der Rotorblätter, was stimmiges Bild erzeugt
Antrieb	Motor in schwarz und hochglanz metalloptik Kleiner Schalter am Gehäuse hat etwas von Retroventilatoren – Industriedesign
Flügel/ Rotor	Rotorblätter aus 3- lagigem Nussbaum-Furnier-Sperrholz Fladerrichtung passt sehr gut zur Rotationsrichtung der Flügel

Beim Kaufen der benötigten Technik entschieden wir uns für den Ventilator "Ringo" der Firma Eta, da dieser einen sehr kleinen Elektromotor besitzt, welcher per Schalter in zwei Geschwindigkeiten läuft und in unserem geplanten Gehäuse verschwinden könne und mittels zweier "X-Streben" befestigt werden würde. Außerdem war es deutlich günstiger als die Teile einzeln zu kaufen.

Zunächst war zu entscheiden welche Teile wir selber Bauen würden und welche Teile wir von dem vorhandenen Ventilator verwenden würden.

Wir entschieden uns dafür den Elektromotor mit dem Schalter (3 Stufen: Stufe 1, Stufe 2, Aus) und der Welle (um welche sich die Rotorblätter drehen) zu verwenden. Somit mussten diese Teile vermessen werden um sie in AutoCAD zeichnen zu können, hierzu diente ein Messschieber.

Als Orientierung zum Zeichnen in CAD diente die Handzeichnung, wobei wir die vier Rotorblätter aus optischen Gründen auf drei reduzierten.

Zur Organisation wurden verschiedene Layer für die verschiedenen Bauteile des Ventilators erstellt:

- -Fuß
- Gehäuse
- Motorgehäuse
- Verbindungsstück Rotorblätter
- Rotorblätter
- Ständer
- Welle
- X-Streben

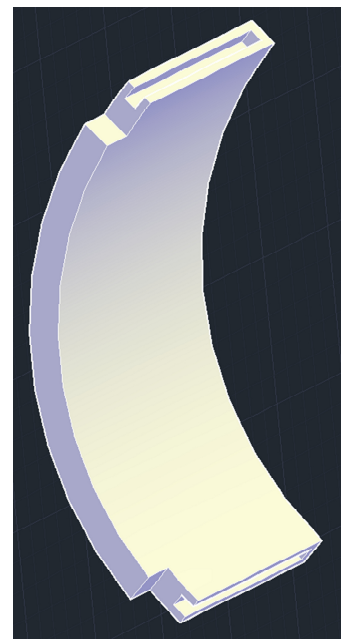
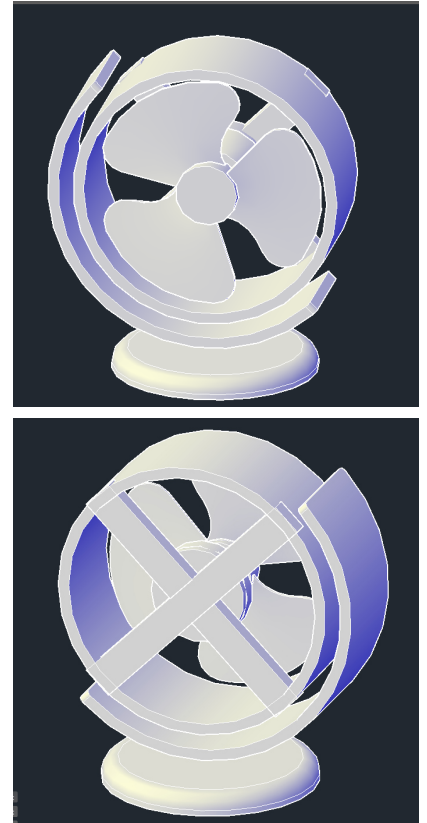
Nach Fertigstellung wurde die CAD-Zeichnung von allen Gruppenmitgliedern kritisch betrachtet und auf Probleme untersucht, welche später in der Fertigung, bzw. Programmierung auftreten könnten.

Folgende Punkte stellten sich als problematisch heraus:

- Die Welle hat einen Durchmesser von 4mm und ragt nur 14mm aus dem Gehäuse des Elektromotors heraus. Somit müssten die Rotorblätter und das Verbindungsstück so leicht wie möglich sein.
- Die Verbindung zwischen den "X-Streben" und dem Gehäuse war in der CAD-Zeichnung noch nicht dargestellt.
- Die Verbindung zwischen Rotorblättern und dem Verbindungsstück war in der Zeichnung noch nicht ersichtlich.
- Der Ständer müsste verlängert werden um das Drehen des Ventilators zu ermöglichen.

Das Gehäuse teilten wir in vier Teile, welche wir mit Nut und Feder verbinden würden.

Um Gewicht einzusparen Entschieden wir uns dazu das Verbindungsstück, welches die Rotorblätter mit der Welle verbindet im 3D-Druck-verfahren herzustellen.



5_Konstruktion

5.1_AlphaCAM – Programmierung und Fehlerquellen

Herangehensweise

Als Einstieg in das Programm AlphaCam diente der Online Kurs bei Herrn Linda und das von ihm zur Verfügung gestellte Video, welches wir zum Nachschlagen bestimmter Details verwendeten. Gerade bei der Gestaltung des Gehäuses und des “C-förmigen” Ständers waren die Parallelitäten zur Übung sehr groß und wir konnten gut damit arbeiten.

Bis zu diesem Zeitpunkt hatten wir unsere Erfahrungen lediglich in AutoCAD und Cimatron (etwas Fertigungsorientierter als AutoCAD), sodass wir zunächst den Umgang mit Arbeitsebenen lernen mussten.

Rückblickend kann man sagen, dass wir unsere Skills hauptsächlich an Erfahrung gesammelt haben und in AlphaCam herumprobieren mussten, um letztendlich schnell und vor allem sicher damit programmieren zu können.

Allerdings beschleunigte sich dieser Vorgang wenn man folgende Punkte beachtete:

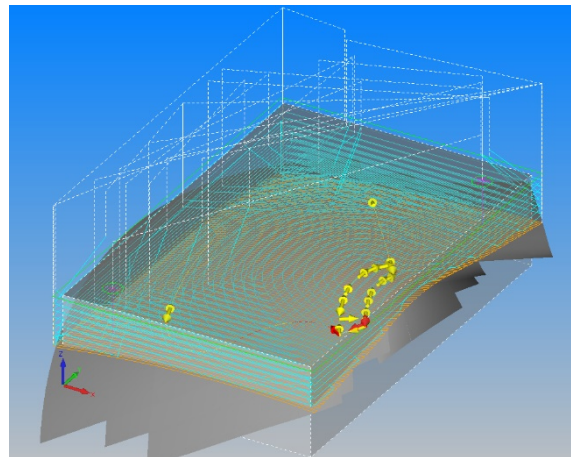
- zur Kontrolle immer ein vollständiges CAD Modell als Solid importieren
- beim NC-Pfad immer prüfen in welcher Arbeitsebene er sich befindet, um Freifahrts- und Sicherheitsebene zu definieren
- Verfügbarkeit der Fräswerkzeuge prüfen und mit Liste abgleichen
- Bruttomaß und Nettomaß vor dem Programmieren klar definieren
- Radien prüfen (nicht Innenradius und Außenradius verwechseln)
- Eilgänge in weiß anzeigen

Allgemein: Problem feststellen, danach Lösungswege **ausprobieren**

Pressformen

Pressform Rotorblatt Oben

- Solid importieren
- Flächen aus Solid generieren
- Stutzen von Oberflächen zurücknehmen
- Flächen Vergrößern (erweitern)
- schlechte Verformung der Flächen verhindern (probieren)
- Bohrungen auf Oberfläche projizieren



- ✓ ☒ Op 1 (1)
 - > ☒ Z-EBENEN SCHRUPPEN WERKZEUG 108 T108_SCHRUPPFÄSER_8MM_L165_HSKKLEIN_MK7
 - > ☒ SOLID/OBERFLÄCHE - FRÄSRICHTUNG WERKZEUG 20 T20_KUGELFRÄSER_20MM_L150_HSKGROSS_MK7
- ✓ ☒ Op 2 (2)
 - > ☒ BOHREN WERKZEUG 158 T158_DÜBELBOHRER_8MM_L171_HSKKLEIN_MK7_LANG

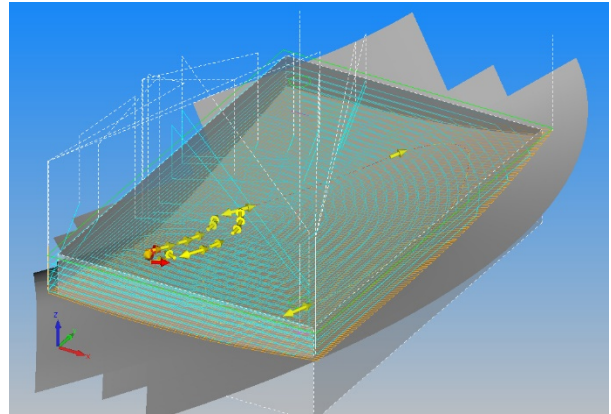
Werkzeugauswahl

T108 um kraftschlüssige Ansaugung vom Werkstück zu gewährleisten

T20 Kugel ist fast immer die beste Wahl

Pressform Rotorblatt Unten

- Solid Modell in AlphaCam um 180 Grad drehen
- ggf. Bearbeitungsseite der Oberfläche ändern
- es folgt das gleiche Vorgehen (siehe oben)



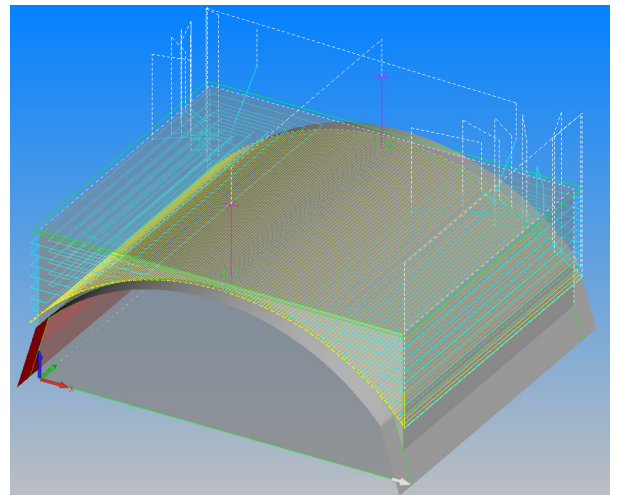
- ✓ ☒ Op 1 (3)
 - > ☒ Z-EBENEN SCHRUPPEN WERKZEUG 108 T108_SCHRUPPFÄSER_8MM_L165_HSKKLEIN_MK7
- ✓ ☒ Op 2 (2)
 - > ☒ Z-EBENEN SCHRUPPEN WERKZEUG 108 T108_SCHRUPPFÄSER_8MM_L165_HSKKLEIN_MK7
 - > ☒ SOLID/OBERFLÄCHE - FRÄSRICHTUNG WERKZEUG 20 T20_KUGELFRÄSER_20MM_L150_HSKGROSS_MK7
- ✓ ☒ Op 3 (1)
 - > ☒ BOHREN WERKZEUG 158 T158_DÜBELBOHRER_8MM_L171_HSKKLEIN_MK7_LANG

Problemlösung

Bei der ersten Fräsung hat sich das Werkstück gelöst. Die Auflagefläche war zu klein. Anfangs haben wir noch mit einem 20 mm Kugelfräser gearbeitet. Die Anpassung des Vorschubs ist nicht empfehlenswert, da hier Brandspuren entstehen können und damit ein höherer Verschleiß des Werkzeuges. Die effektivste Lösung ist die Verwendung einer Bodenplatte auf die das Rohteil verschraubt wird. Diese Bodenplatte bietet mehr Auflagefläche für die Sauger der Fräse.

Pressform Gehäuse Oben

- Entspricht dem Lernvideo von Herrn Linda
- Erstellung der Geometrie in AlphaCam
- Geometrie auf Arbeitsebene hinten spiegeln
- Oberfläche mit Geometrien definieren
- Rohteil materialsparend gestalten
- Anpassung der Fräsrichtung in Y-Richtung für schnellerer Bearbeitung
- Bohrungen auf Oberfläche projizieren



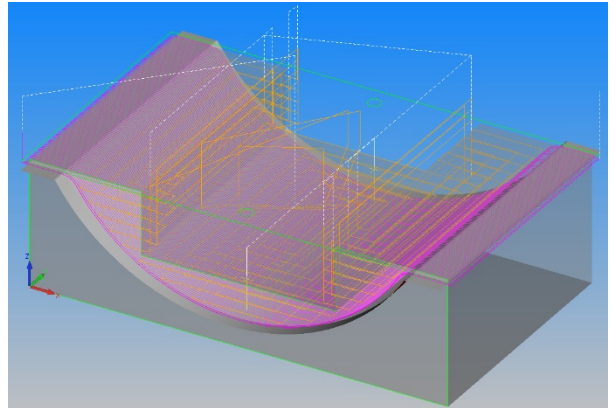
- ✓ ☒ Op 1 (1)
 - > ☒ Z-EBENEN SCHRUPPEN WERKZEUG 112 T112_SCHRUPPFÄSER_12MM_L129_HSKGROSS_MK7
- ✓ ☒ Op 2 (2)
 - > ☒ SOLID/OBERFLÄCHE - FRÄSRICHTUNG WERKZEUG 20 T20_KUGELFRÄSER_20MM_L150_HSKGROSS_MK7
- ✓ ☒ Op 3 (3)
 - > ☒ BOHREN WERKZEUG 158 T158_DÜBELBOHRER_8MM_L171_HSKKLEIN_MK7_LANG

Werkzeugauswahl

T112 Fräser war schärfer als T120 Fräser
T20 Kugelfräser meist die beste Wahl

Pressform Gehäuse Unten

- Drehung von Oberfläche und Geometrien ohne Solid nicht möglich
- Erstellung der gespiegelten Geometrie in AlphaCam
- Hier muss auf den Außen- und Innenradius geachtet werden
- Innenradius 120 mm, Materialdicke 10,4 mm → Außenradius 130,4 mm
- Alles andere entspricht Gehäuseform oben



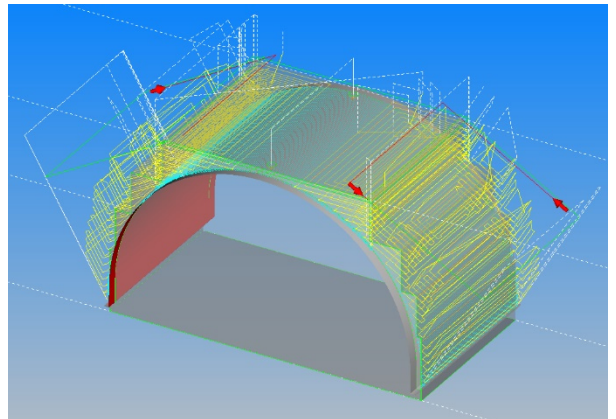
- ✓ ☒ Op 1 (1)
 - > ☒ Z-EBENEN SCHRUPPEN WERKZEUG 112 T112_SCHRUPPFÄSER_12MM_L129_HSKGROSS_MK7
- ✓ ☒ Op 2 (2)
 - > ☒ SOLID/OBERFLÄCHE - FRÄSRICHTUNG WERKZEUG 20 T20_KUGELFRÄSER_20MM_L150_HSKGROSS_MK7
- ✓ ☒ Op 3 (3)
 - > ☒ BOHREN WERKZEUG 158 T158_DÜBELBOHRER_8MM_L171_HSKKLEIN_MK7_LANG

Problemlösung

Bei der ersten Bearbeitung wurde der Unterschied zwischen Innen- und Außenradius nicht beachtet. Bei der Erstellung einer Regel Oberfläche durch 2 Geometrien fehlt die Dicke des Bauteils. Allgemein ist eine vollständige AutoCad-Zeichnung zu empfehlen mit allen Bohrungen und Nuten. Es sollte für jedes Einzelteil ein Solid geben, welches in AlphaCam importiert werden kann. Aus diesem Solid lassen sich alle benötigten Geometrien generieren.

Pressform C-Form Oben

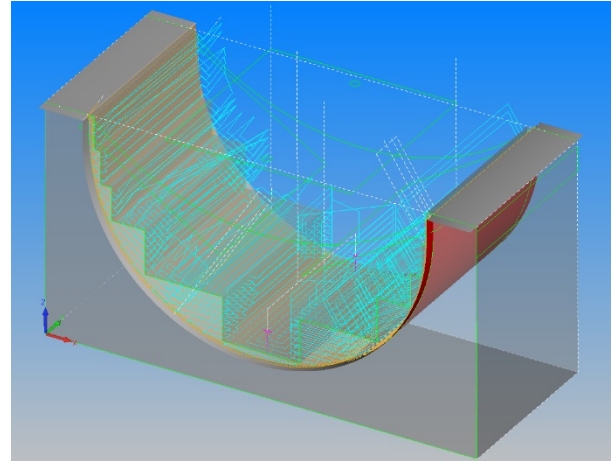
- Erstellung der Geometrie in AlphaCam (Entspricht Gehäuseform)
- Fräsung kann nicht komplett über Arbeitsebene oben definiert werden
- Erstellung schräger Arbeitsebenen für neuen Werkzeugvektor
- Unterkante stehen lassen um Sauger nicht zu gefährden (bei Vakuumform optimiertes Verfahren)



- ✓ ☒ Op 1 (2)
 - > ☒ Z-EBENEN SCHRUPPEN WERKZEUG 212 T212_SCHLICHTFRÄSER_12MM_L152_HSKGROSS_MK7
 - > ☒ Z-EBENEN SCHRUPPEN WERKZEUG 212 T212_SCHLICHTFRÄSER_12MM_L152_HSKGROSS_MK7
 - > ☒ Z-EBENEN SCHRUPPEN WERKZEUG 212 T212_SCHLICHTFRÄSER_12MM_L152_HSKGROSS_MK7
- ✓ ☒ Op 2 (3)
 - > ☒ SOLID/OBERFLÄCHE - FRÄSRICHTUNG WERKZEUG 20 T20_KUGELFRÄSER_20MM_L150_HSKGROSS_MK7
 - > ☒ SOLID/OBERFLÄCHE - FRÄSRICHTUNG WERKZEUG 20 T20_KUGELFRÄSER_20MM_L150_HSKGROSS_MK7
 - > ☒ SOLID/OBERFLÄCHE - FRÄSRICHTUNG WERKZEUG 20 T20_KUGELFRÄSER_20MM_L150_HSKGROSS_MK7
- ✓ ☒ Op 3 (2)
 - > ☒ BOHREN WERKZEUG 158 T158_DÜBELBOHRER_8MM_L171_HSKKLEIN_MK7_LANG

Pressform C-Form Unten

- Drehung von Oberfläche und Geometrien ohne Solid nicht möglich
- Erstellung der Geometrie in AlphaCam (Entspricht Gehäuseform)
- Erstellung schräger Arbeitsebenen für neuen Werkzeugvektor
- Überlappung der Arbeitsebenen durch Begrenzung garantieren
- Rohteil materialsparend definieren



- ✓ ☒ Op 1 (2)
 - > ☒ Z-EBENEN SCHRUPPEN WERKZEUG 112 T112_SCHRUPPFÄSER_12MM_L129_HSKGROSS_MK7
 - > ☒ Z-EBENEN SCHRUPPEN WERKZEUG 112 T112_SCHRUPPFÄSER_12MM_L129_HSKGROSS_MK7
 - > ☒ Z-EBENEN SCHRUPPEN WERKZEUG 112 T112_SCHRUPPFÄSER_12MM_L129_HSKGROSS_MK7
- ✓ ☒ Op 2 (3)
 - > ☒ SOLID/OBERFLÄCHE - FRÄSRICHTUNG WERKZEUG 20 T20_KUGELFRÄSER_20MM_L150_HSKGROSS_MK7
 - > ☒ SOLID/OBERFLÄCHE - FRÄSRICHTUNG WERKZEUG 20 T20_KUGELFRÄSER_20MM_L150_HSKGROSS_MK7
 - > ☒ SOLID/OBERFLÄCHE - FRÄSRICHTUNG WERKZEUG 20 T20_KUGELFRÄSER_20MM_L150_HSKGROSS_MK7
- ✓ ☒ Op 3 (2)
 - > ☒ BOHREN WERKZEUG 158 T158_DÜBELBOHRER_8MM_L171_HSKKLEIN_MK7_LANG

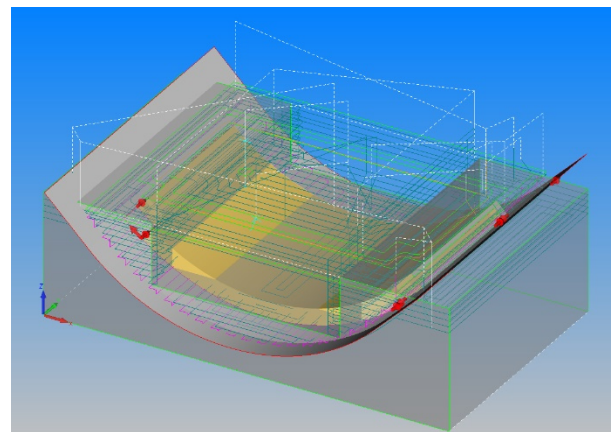
Problemlösung

Normalerweise wären schräge Arbeitsebenen nicht notwendig. Das Bild oben zeigt die beiden Geometrien, welche für die Transformation des Werkzeugvektors gedacht waren. Die Transformation der Bearbeitungen von Schrapp- und Kugelfräser waren durch einen Fehler des Postprozessors nicht möglich.

Vakuumformen

Vakuumform Bogenviertel

- Z-Ebenen schrappen und Fräsrichtung wird aus Pressform unten übernommen
- Kontur vom Solid auf die obere Arbeitsebene projizieren
- Kontur in der Arbeitsebene 2 mal nach Innen versetzen (5mm; 9mm), (Moosgummi; Vakuumtasche)
- Nut Moosgummi: Tiefe 3,5mm; Breite 4mm
- Nut: Abrundung der Ecken notwendig um gleichmäßige Auflagefläche auf Moosgummi zu gewährleisten



- ✓ ☒ Op 1 (1)
 - > ☒ Z-EBENEN SCHRUPPEN WERKZEUG 112 T112_SCHRUPPFRÄSER_12MM_L129_HSKGROSS_MK7
 - > ☒ KONTURPARALLELE TASCHE - SCHLICHTEN WERKZEUG 112 T112_SCHRUPPFRÄSER_12MM_L129_HSKGROSS_MK7
- ✓ ☒ Op 2 (6)
 - > ☒ SOLID/OBERFLÄCHE - FRÄSRICHTUNG WERKZEUG 20 T20_KUGELFRÄSER_20MM_L150_HSKGROSS_MK7
- ✓ ☒ Op 3 (3)
 - > ☒ SCHLICHTEN WERKZEUG 204 T204_SCHLICHTFRÄSER_4MM_L134_HSKKLEIN_MK7
 - > ☒ KONTURPARALLELE TASCHE - SCHLICHTEN WERKZEUG 112 T112_SCHRUPPFRÄSER_12MM_L129_HSKGROSS_MK7
 - > ☒ BOHREN WERKZEUG 158 T158_DÜBELBOHRER_8MM_L171_HSKKLEIN_MK7_LANG
- ✓ ☒ Op 4 (3)
 - > ☒ SCHRUPPEN WERKZEUG 204 T204_SCHLICHTFRÄSER_4MM_L134_HSKKLEIN_MK7
- ✓ ☒ Op 5 (3)
 - > ☒ KONTURPARALLELE TASCHE - SCHLICHTEN WERKZEUG 112 T112_SCHRUPPFRÄSER_12MM_L129_HSKGROSS_MK7
 - > ☒ BOHREN WERKZEUG 158 T158_DÜBELBOHRER_8MM_L171_HSKKLEIN_MK7_LANG

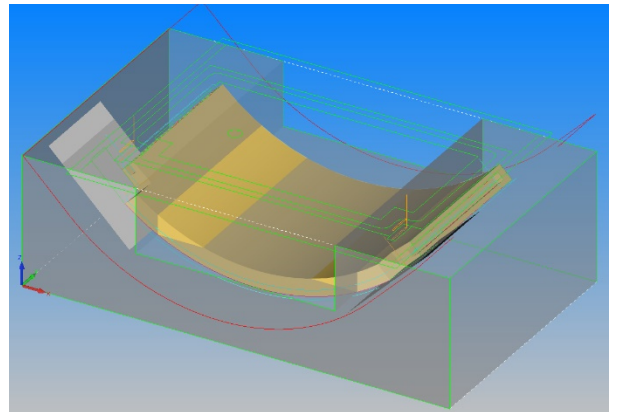
Werkzeugauswahl

Nut für Moosgummi (T204 Schlichtfräser 4mm)

Konturparallele Tasche (T112 Schruffräser 12mm)

Formatierung Bogenviertel

- Zur Formatierung Kontur von Solid Schlichten (T204)
- für die Nutfräsung in die Schmalfläche (T204) wurde eine Arbeitsebene erstellt mit x- und y-Achse aus Solid
- um händische Nachbearbeitung umgehen wurde der Winkel der x-Streben in der Aussparung angepasst
- Hierfür wurde eine Oberfläche aus dem Solid der X-Streben generiert und das Werkzeug rechtwinklig dazu programmiert



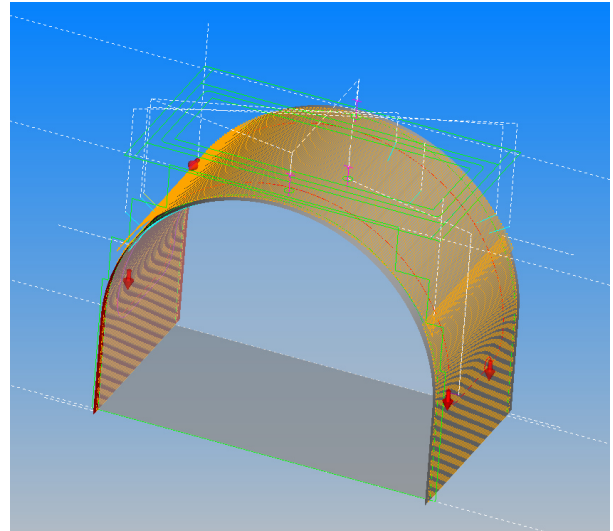
- ✓ ☐ Op 1 (1)
 - > ☐ SCHLICHTEN WERKZEUG 204 T204_SCHLICHTFRÄSER_4MM_L134_HSKKLEIN_MK7
- ✓ ☒ Op 2 (1)
 - > ☒ SCHRUPPEN WERKZEUG 204 T204_SCHLICHTFRÄSER_4MM_L134_HSKKLEIN_MK7
 - > ☒ SCHLICHTEN WERKZEUG 204 T204_SCHLICHTFRÄSER_4MM_L134_HSKKLEIN_MK7
 - > ☒ SCHLICHTEN WERKZEUG 204 T204_SCHLICHTFRÄSER_4MM_L134_HSKKLEIN_MK7
 - > ☒ SCHLICHTEN WERKZEUG 204 T204_SCHLICHTFRÄSER_4MM_L134_HSKKLEIN_MK7
- ✓ ☒ Op 3 (2)
 - > ☒ SCHRUPPEN WERKZEUG 204 T204_SCHLICHTFRÄSER_4MM_L134_HSKKLEIN_MK7

Problemlösung Bogenviertel

Um die Aussparung für die X-Streben nicht händisch nacharbeiten zu müssen, musste das Werkzeug in einem bestimmten Bereich parallel zur X-Strebe laufen und nicht rechtwinklig zur Oberfläche des Bogens. Hierzu wurde die X-Strebe als Solid importiert und aus dem Ende eine Oberfläche erstellt, zu welcher das Werkzeug rechtwinklig programmiert wurde.

Vakuumform C-Form

- Anpassung des Rohteils durch hinzufügen eines Sockels (40 mm Multiplex)
- Die Nullpunktverschiebung um 40 mm ermöglicht eine senkrechte Bearbeitung bis UK Vakuumform
- Außerdem bleibt nach der Fräsung der Form ein Referenzpunkt für die Formatierung erhalten
- Die Vakuumtasche wird nur oben gefräst, da an den Seiten beim Anlegen des Werkstücks das Moosgummi rausgedrückt werden würde
- Im Gegensatz zur Pressform wurde hier mit senkrechten Arbeitsebenen gearbeitet und eine Nullpunktverschiebung in x- und y-Richtung um 200 mm durchgeführt
- Die Vakuumtasche entspricht der Gehäuseform, hier jedoch mit größeren Auflageflächen



- ✓ ☒ Op 1 (1)
 - > ☒ SOLID/OBERFLÄCHE - FRÄSRICHTUNG WERKZEUG 20 T20_KUGELFRÄSER_20MM_L150_HSKGROSS_MK7
 - > ☒ SOLID/OBERFLÄCHE - FRÄSRICHTUNG WERKZEUG 20 T20_KUGELFRÄSER_20MM_L150_HSKGROSS_MK7
 - > ☒ SOLID/OBERFLÄCHE - FRÄSRICHTUNG WERKZEUG 20 T20_KUGELFRÄSER_20MM_L150_HSKGROSS_MK7
 - > ☒ KONTURPARALLELE TASCHE - SCHLICHTEN WERKZEUG 108 T108_SCHRUPPFRÄSER_8MM_L165_HSKKLEIN_MK7
 - > ☒ SCHRUPPEN WERKZEUG 204 T204_SCHLICHTFRÄSER_4MM_L134_HSKKLEIN_MK7
 - > ☒ BOHREN WERKZEUG 158 T158_DÜBELBOHRER_8MM_L171_HSKKLEIN_MK7_LANG
- ✓ ☒ Op 2 (2)
 - > ☒ SPLINE ODER POLYLINIE WERKZEUG 206 T206_SCHLICHTFRÄSER_6MM_L140_HSKKLEIN_MK7

Werkzeugauswahl

T108 Schrappfräser (T120 sorgt für Ausrisse bei den Auflageflächen)

T204 für 4mm Nut

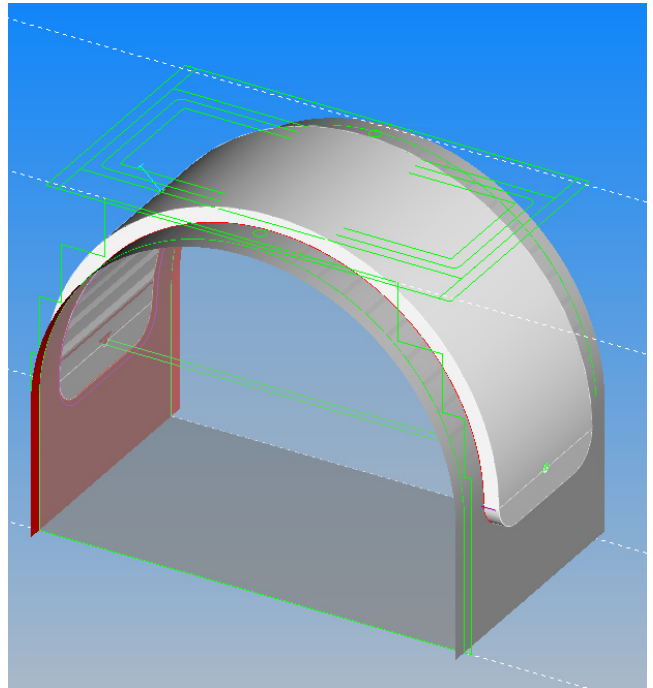
T206 für Formatierung (Eine Vorformatierung des Rohteils ohne Werkstück ist empfohlen)

Problemlösung

Bei der Bearbeitung mit der Fräse hatten wir einen unerklärbaren Fehler. Alle Bearbeitungen waren in y-Richtung um 5 mm verschoben. Nach verschiedenen Versuchen wurde klar, dass dieser Fehler sich auf alle Befehle bezieht. So auch bei den Formatierungsdateien. Im Endeffekt haben wir einfach alle NC-Pfade, Geometrien, Arbeitsebenen und Oberflächen um 5 mm in y-Richtung verschoben. Damit war das Problem gelöst. Durch unsere Sockelleiste konnten wir mit dem gleichen Rohteil weiterarbeiten. Mit einer Nullpunktverschiebung um 5mm nach unten und der Streichung des Schrappfräsens konnten die falsch gefrästen Vakuumtaschen überarbeitet werden.

Formatierung C-Form

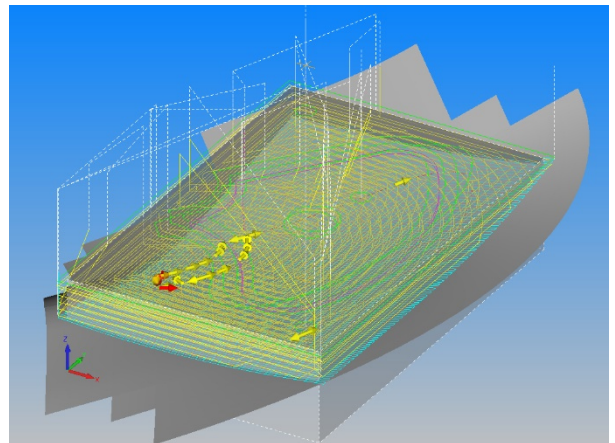
- Hier sind 2 getrennte Fräsungen notwendig
- Als erstes werden die Seiten gebohrt
- Anschließend werden die Bohrungen genutzt, um das Bauteil durch Schrauben zu befestigen
- Nun folgt der eigentliche Formatierungsbefehl
- Die gesuchten Geometrien für die Formatierung und die Bohrungen werden aus dem Solid erstellt
- Für schräge Bohrungen muss aus dem Solid eine Arbeitsebene erstellt werden
- T206 Schlichtfräser für Formatierung



- ✓ ☒ Op 1 (1)
 - > ☒ SPLINE ODER POLYLINIE WERKZEUG 206 T206_SCHLICHTFRÄSER_6MM_L140_HSKKLEIN_MK7
- ✓ ☒ Op 2 (2)
 - > ☒ BOHREN WERKZEUG 156 T156_DÜBELBOHRER_6MM_L144_HSKKLEIN_MK7

Vakuumform Rotorblatt

- Z-Ebenen Schrappen und Fräsrichtung kann aus Pressform unten übernommen
- Kontur des Solids auf obere Arbeitsebene projiziert
- 2 mal nach innen versetzen (Siehe Bogenviertel)
- Befehle auf oberer Arbeitsebene programmiert:
- Schrappen, Kontur Parallele Tasche, Bohrung
- NC Pfade auf Oberfläche projizieren



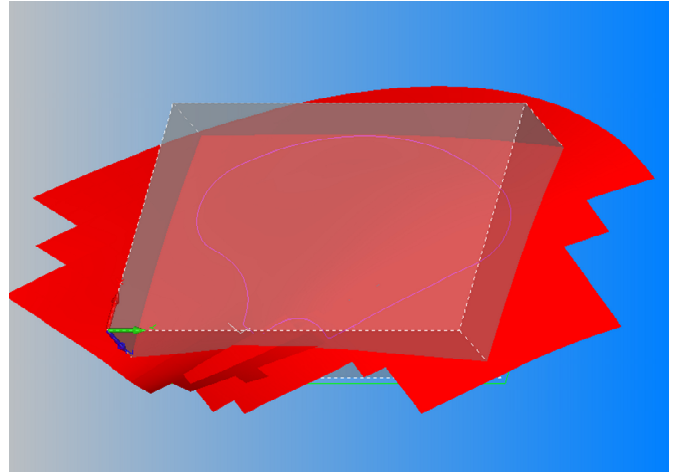
- ✓ ☒ Op 1 (1)
 - > ☒ Z-EBENEN SCHRUPPEN WERKZEUG 108 T108_SCHRUPPFRÄSER_8MM_L165_HSKKLEIN_MK7
- ✓ ☒ Op 2 (2)
 - > ☒ SOLID/OBERFLÄCHE - FRÄSRICHTUNG WERKZEUG 20 T20_KUGELFRÄSER_20MM_L150_HSGROSS_MK7
- ✓ ☒ Op 3 (3)
 - > ☒ KONTURPARALLELE TASCHE - SCHLICHTEN WERKZEUG 108 T108_SCHRUPPFRÄSER_8MM_L165_HSKKLEIN_MK7
 - > ☒ SCHLICHTEN WERKZEUG 204 T204_SCHLICHTFRÄSER_4MM_L134_HSKKLEIN_MK7
- ✓ ☒ Op 4 (3)
 - > ☒ KONTURPARALLELE TASCHE - SCHLICHTEN WERKZEUG 108 T108_SCHRUPPFRÄSER_8MM_L165_HSKKLEIN_MK7
- ✓ ☒ Op 5 (3)
 - > ☒ SCHRUPPEN WERKZEUG 204 T204_SCHLICHTFRÄSER_4MM_L134_HSKKLEIN_MK7
 - > ☒ BOHREN WERKZEUG 158 T158_DÜBELBOHRER_8MM_L171_HSKKLEIN_MK7_LANG
- ✓ ☒ Op 6 (5)
 - > ☒ BOHREN WERKZEUG 158 T158_DÜBELBOHRER_8MM_L171_HSKKLEIN_MK7_LANG
 - > ☒ BOHREN WERKZEUG 158 T158_DÜBELBOHRER_8MM_L171_HSKKLEIN_MK7_LANG

Problemlösung

Um sicherzustellen dass das Werkstück nicht vom Fräser verschoben wird, haben wir die Fläche für die Sauger vergrößert, indem wir wieder eine Platte unter das Werkstück geschraubt haben und das Z-Aufmaß wieder um die Plattenstärke verschoben.

Formatierung Rotorblatt

- Werkzeugorientierung außen
- Kontur schlichten in Arbeitsebene (T204)
- NC Pfad auf Oberfläche Projizieren



▼ ☒ ☒ Op 7 (6)
> ☒ ☒ SCHRUPPEN WERKZEUG 204 T204_SCHLICHTFRÄSER_4MM_L134_HSKKLEIN_MK7

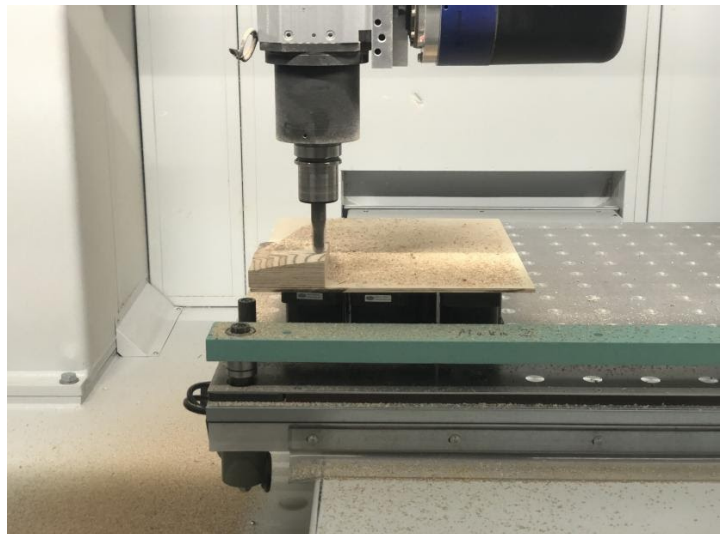
Fertigung

Einleitung

In diesem Thema geht es um die Umsetzung unserer Programmierung und Planung. In der Praxis gab es keine klare Trennung von Programmierung und Fertigung. Es wurde parallel gearbeitet und oft wurden erst nach der Umsetzung Fehler in der Planung sichtbar. Auf die Probleme und Fehler bei den Fräsungen sind wir oben schon eingegangen.

Fräsung Pressformen

- Rotorblatt
- Gehäuseform
- C-Form



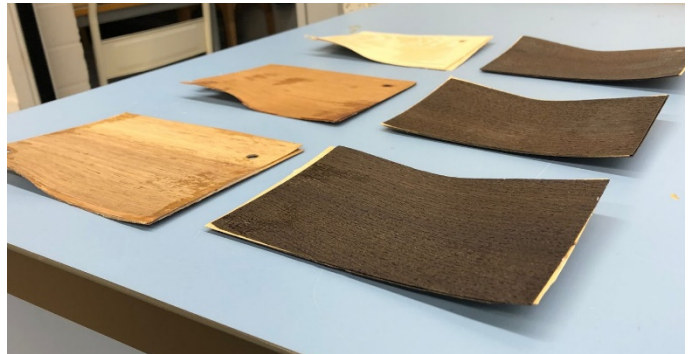
Erfahrungswerte

Das Bild zeigt unseren Lösungsansatz um genug Stützfläche zu gewährleisten. Die Wahl eines kleiner Werkzeugdurchmessers kann hier schon ausreichen. Der Vorschub sollte selten angepasst werden. Bei einigen bearbeitungen empfiehlt es sich den Anschlag des Frästisches rauszunehmen.

Verleimung Rotorblätter

Materialauswahl

Oben sind verschiedene Verleimungen der Rotorblätter dargestellt. Hier haben wir mit verschiedenen Furnieren gespielt. Wichtig ist hier, dass die Dicke der drei Schichten immer 0,6 mm beträgt. Denn unser Verbindungsstück hat eine Nut von 1,8 mm Dicke. Die Furniere werden kreuzweise verleimt, dabei liegt die Fasern der Mittelschicht in Querrichtung.



Am Ende entschieden wir uns für Nussbaumfurnier. Dieses wird bei allen Bauteilen verwendet. Das Gesamtbild des Ventilators ist damit einheitlich und minimalistisch. Das Nussbaumfurnier wirkt schlicht und elegant.

Verleimung

Am Ende fiel unsere Entscheidung auf Weißleim. Einige der Versuche wurden mit Kauritleim gemacht. Letztlich reicht die Steifigkeit des Weißleims aus und die Verarbeitung ist leichter. Bei vielen Verleimungen, vor allem mit dem Kauritleim, gab es einen großen Leimdurchschlag. Demnach ist es extrem wichtig den Leim dünn aufzutragen. Auch ist ein schnelles Verleimen notwendig. Der Pressdruck beträgt 50 Bar. Beim Konditionierten sollte der Druck runtergenommen werden.



Was ist hier schiefgelaufen?

Nach der Fertigstellung unserer ersten Rotorblätter wurde klar, dass diese keinen spürbaren Wind machen. Das Bild links oben zeigt unsere ersten Pressformen. Mittig an der rechten Seite ist im Vergleich zum rechten Bild ein großer Unterschied zu erkennen. Beim Verlängern und Stutzen der Oberfläche in AlphaCam hat sich der Radius verengt. Durch Probieren ließ sich dieses Problem lösen.

Formatierung Rotorblatt

Bei der Formatierung der Rotorblätter ist die Gestaltung der Vakuumschalen wichtig. Auf den Bildern ist die Insel in der Mitte zu erkennen. Diese ist wichtig um eine Durchbiegung des elastischen Rotorblattes bei der Formatierung zu vermeiden.

Das Anpassen der Pressform vom Rotorblatt hat sich die Kontur verzogen (Siehe mittlere Vakuumform). Dieses Problem konnten wir lösen, indem wir die Kontur unserer ersten Vakuumform auf die veränderte Oberfläche projiziert haben (siehe obere und unter Vakuumform).

Prüfung Rotorblatt



Ventilator macht kein Wind

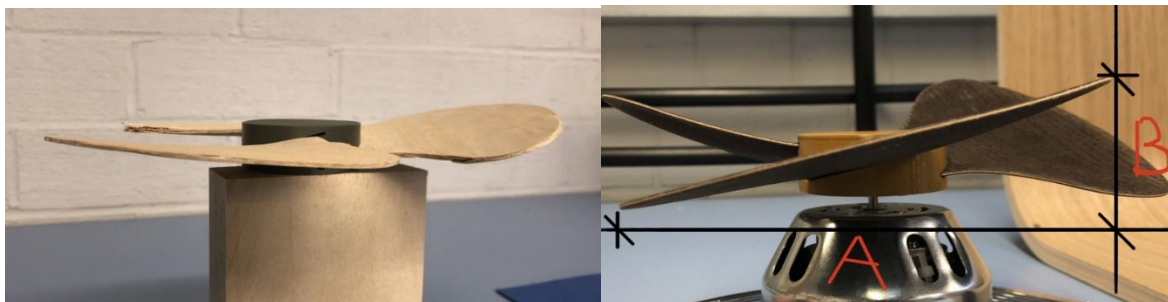
Im folgenden Bild sind die ersten Rotorblätter zu sehen. Diese wurden ohne Kleber eingesteckt und anschließend wurde der Ventilator getestet.

Problemerkennung:

Die Schräglage der Blätter ist nicht stark genug. Auch die Form lässt sich verbessern. Eine konkave Form, würde den Wind besser greifen.

Lösungsansatz:

1. Ansatz: Anpassung der Oberfläche des Solid Modells über AutoCAD.
2. Ansatz: Anpassung der Schräglage am Verbindungsstück. Ziel war es B zu vergrößern während A gleich bleibt. (Siehe Bild 2)

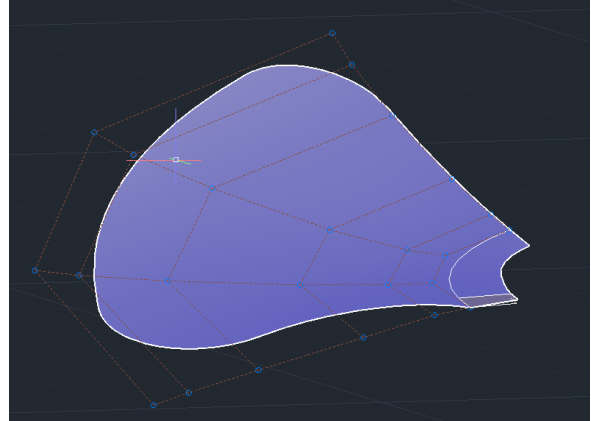


Nachbearbeitung des Rotorblattes in AutoCAD

Die Dimensionierung des Rotorblattes anzupassen stellt eine große Herausforderung dar. Solche komplexen Formen lassen sich nicht durch einfache Anpassung von Parametern ändern. Über AutoCAD lässt sich eine Oberfläche in NURBS konvertieren. Folgendes Bild zeigt diese NURBS. Die Anzahl der NURBS lässt sich einstellen und es ist möglich alle einzeln zu bewegen.

Folgende Ziele sollten erreicht werden:

- konkave Form (Außenkanten gewölbt)
- Windfang Seite nicht gewölbt (Einwandfreie Aufnahme von Windströmung)
- Abstand B (siehe Oben) von 2 cm auf 4,5 cm erhöhen



Durch die Anpassung der Oberfläche wurden die Konturen des Solids verändert. Dadurch passen die Rotorblätter nicht mehr einwandfrei in das Verbindungsstück und die Außenkante des Rotorblattes ist weiter außen. Demnach würden die Rotorblätter nicht mehr in das Gehäuse reinpassen. Dieses Problem konnten wir unkompliziert lösen (Siehe Formatierung Rotorblätter).



Verleimung Grada Sperrholz

Ofen

Beim ersten Versuch wurde das Grada Sperrholz bei 120 Grad für 15 Minuten in den Ofen gepackt. Es wurde schnell klar, dass dies bei weitem nicht reicht. Da das Sperrholz besser länger im Ofen sein sollte wurde das Holz bei allen Verleimungen für eine Stunde in den Ofen gepackt. Das Vorheizen des Ofens dauert ca. eine halbe Stunde



Grada Sperrholz

Zunächst wollten wir Grada Sperrholz mit einer Klebefläche in Außenschicht verwenden. Dieser Kleber hat leider nicht gehalten. Dies könnte am Alter des Sperrholzes liegen.

Als Lösung haben wir Grada ohne Leimschicht verwendet. Nach der Formpressung konnten wir nachträglich das Furnier mit Weißleim verleimen.



Verpressung

Sehr schnelles Verpressen ist notwendig. Der Arbeitsablauf muss klar strukturiert sein und es sollte möglichst zu 2. verleimt werden.

Konditionierung

Für die Konditionierung reicht es bei unseren Bogenformen die Pressung eine Nacht stehen zu lassen. Dies kann mit Schraubzwingen passieren.

Verleimung Gehäuseformen

Für die Verleimung der Gehäuseformen gibt es 4 verschiedene Formen. Im Bild ist nur eine dargestellt. Um alle 4 Gehäuseviertel gleichzeitig zu verpressen ist schnelles Arbeiten notwendig. Hier sollten immer 2 Personen zusammenarbeiten.



Verleimung C-Form

Vor allem bei der C-Form wird die Wichtigkeit des Bruttomaßes deutlich. Die Länge des Bauteils wurde zu knapp kalkuliert. Auf das Nettomaß wurden beidseitig jeweils 10 mm in der Länge drauf gerechnet. Mindestens das Doppelte wäre ratsam gewesen (Eher 40 mm).



Erfahrungsbericht Verleimung Grada

Das Verleimen muss sehr schnell laufen. Anfangs gab es Versuche bei denen wir das Furnier mit Weißleim vor dem Verpressen verklebt haben. Dies ist definitiv nicht möglich. Das Sichtfurnier kann nur nach der Formverleimung verklebt werden. Ansonsten kühlt das Grada Sperrholz vor dem Verpressen ab.



Ein andere Lösungsansatz ist hier die Verwendung von Grada Sperrholz mit einer äußeren Klebschicht. In der Theorie kann so das Sichtfurnier beim Formpressen mit verklebt werden. Leider hat dieser Kleber nie vollflächig gehalten. Ein Verflüssigen des Klebers war nicht zu erkennen.



Die schlimmsten Ergebnisse sind entstanden, wenn alleine verleimt wurde. Zur Beschleunigung des Verfahrens hätten wir in die Pressformen einseitige Anschläge (beispielsweise 2 Alurohre) einbauen können. Teilweise haben sich die Werkstücke beim Pressen verschoben und mussten neu ausgerichtet werden.

Abschließend sollten die Formen in der Länge ein viel höheres Brutto Maß haben. Denn die meisten Schäden sind an den Rändern der Werkstücke entstanden. Ein höheres Brutto Maß würde außerdem mehr Spiel bieten, so dass die Werkstücke beim Verpressen nicht 2 mal ausgerichtet werden müssen.

Formatierung

Allgemeines

- Bohrung für den Vakuumschlauch per Hand
- wichtig ein scharfes Werkzeug zu verwenden
- Mehrere Zustellungen zur Schonung des Werkzeuges
- eventuell Anschlag (türkis) bei Bearbeitung rausnehmen



Formatierung C-Form

Bei der Formatierung der C-Form wird mit einer Schablone gearbeitet. Diese wird genutzt um eine Nullpunktverschiebung in x- und y-Richtung um 200 mm zu machen. Mit dieser Verschiebung wird eine Kollision des Fräsaggregats mit dem Anschlag verhindert. Um eine Kollision mit dem Frästisch zu verhindern wird an das Werkstück ein Sockel angeleimt. In diesem Fall eine 40 mm Sockelplatte. Nach dem Kugelfräsen bleibt durch den Sockel ein geometrisch bestimmter Anschlag erhalten.



Fuß

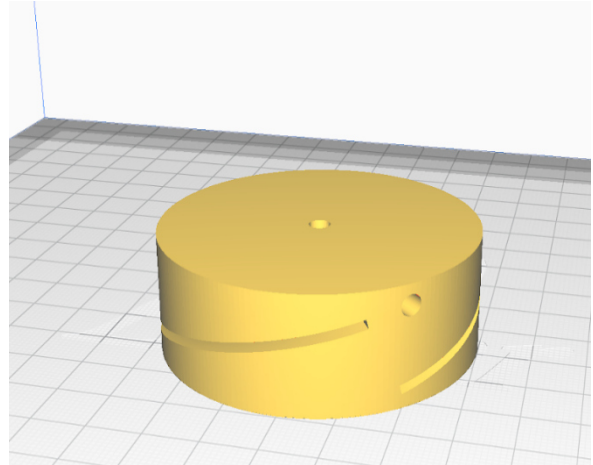
Den Fuß bildet ein Kreis aus 20mm starkem Multiplex mit einem Durchmesser von 250mm. Hierfür mussten wir lediglich eine konturparallele Schlichtfräsung programmieren und die Werkzeugorientierung nach außen setzen. Eine mittige 6mm Bohrung zur Verbindung mit dem Ständer und eine 10mm tiefe Sacklochbohrung (15mm Durchmesser) zur Versenkung des Schraubenkopfes vervollständigten diese Bearbeitung.

Verbindungsstück

Das Verbindungsstück der Rotorblätter, welches die Blätter mit der Welle verbindet, sollte per 3D-Druck hergestellt werden.

Hierfür musste es in AutoCAD gezeichnet werden und als STL-Datei exportiert werden, vor dem Export noch den Wert für Facetres auf 10 setzen, damit die Rundungen nicht eckig werden. Anschließend wurde die STL mit dem Slicer-Programm CURA geöffnet und für den Druck vorbereitet. Um das Bauteil möglichst leicht zu konstruieren wurde die Füllung auf 20% gestellt.

Nach dem Drucken wurde die Front noch mit dem passenden Furnier beleimt.



6_Montage

Für die Montage waren alle Einzelteile entsprechend vorzubereiten. Dies beinhaltet unter anderem, dass alle Teile mit aufsteigender Körnung hochgeschliffen werden und anschließend mit einem Öl, welches sich für Möbel und Furniere eignet, geölt werden.

Die Streben, die den Motor halten zuvor wurden mittig ausgeklinkt, vorgebohrt und in den Korpus eingeleimt. Überstände wurden formschlüssig mit dem Korpus geschliffen.

Das Gehäuse wurde ausgerichtet und markiert, damit festgelegt werden konnte, wie das Gehäuse schlussendlich im Ständer liegt. Nach dieser Erkenntnis, konnten die Bohrungen für die Muffen vorgenommen werden. Die Muffen wurden PU-Leim in das Sperrholz geklebt. Dem aufquellen des Klebers ist vorzubeugen und das Furnier sollte durch abkleben geschützt werden.

Nun können alle Teile miteinander verschraubt werden.

