

# Tutorial, wie man mit Fusion 360 eine Tragfläche in 3D konstruieren kann

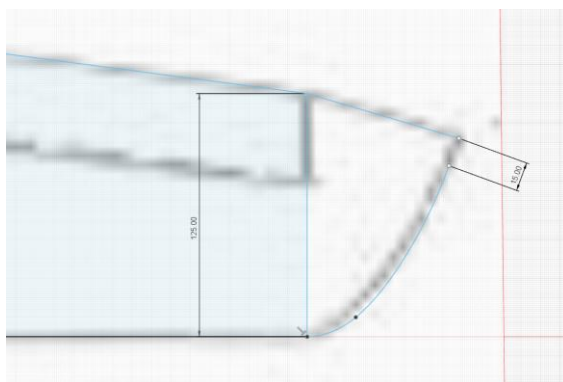
17. November 2020, Dr. Christoph Meier

1. 3D-Seiten-Ansicht der Tragfläche als Hintergrundgrafik in die XY-Ebene laden (Menüpunkt: Einfügen-Ansichtsbereich) und zusammen mit der Rumpf-Halbbreite auf Halbspannweite kalibrieren (Kontextmenü Ansichtsbereich)

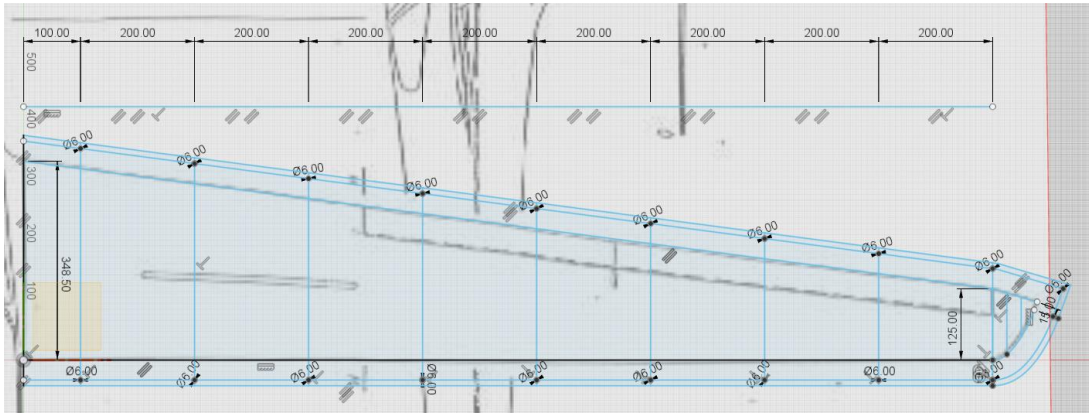


Dabei wählen wir die LINKE Tragfläche aus (sonst müssen später alle importierten Profile um 180° in der Z-Achse gedreht werden) und positionieren die Nasenleiste direkt an der X-Achse und die Wurzelrippe direkt an der Y-Achse. Dann ist „Oben“ tatsächlich oben und „Vorne“ tatsächlich vorne.

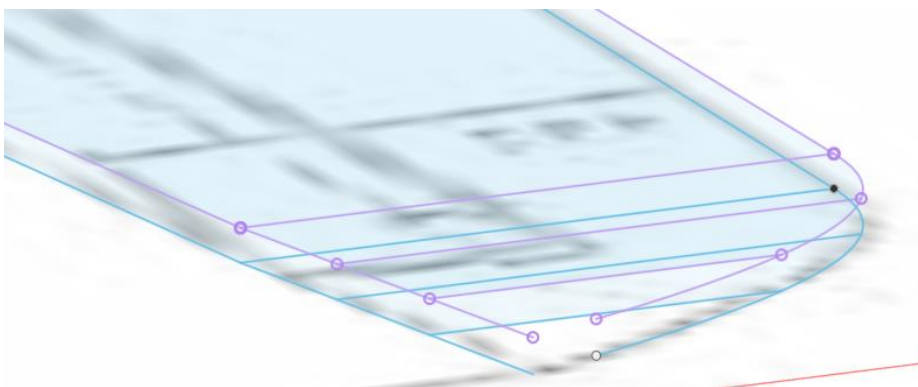
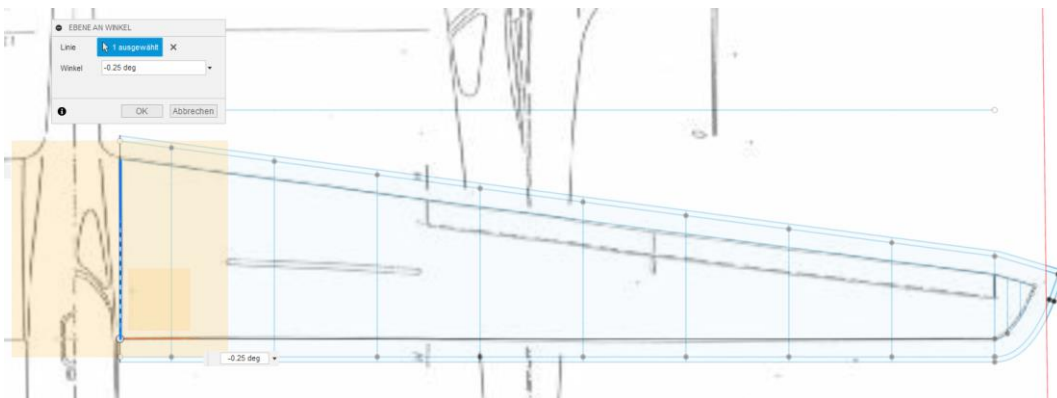
2. Skizze der Draufsicht auf die Tragfläche erzeugen. Ansichtsbereich evtl. nachträglich leicht drehen, falls dieser nicht parallel zu den XY-Achsen ausgerichtet war. Verzerrungen in dem Ansichtsbereich in der Skizze ausgleichen, ggf. mit gemessenen Daten (Wurzeltiefe, Außentiefe) abgleichen. Randbogen auf ca. 10-15mm offen lassen.



3. Für den spätere Form-Block gleich einen gleichmäßigen Versatz von 40mm um die Tragfläche herum konstruieren (mehr ist besser, aber Drucker-Bauraum beachten). Auch die Positionen der Bohrlöcher für die Form-Passungen und -Verschraubungen gleich mit einem Versatz von 30mm von der Tragfläche skizzieren. Die Bohrlöcher werden alle 200mm positioniert, immer in der Mitte der 3D gedruckten Segmente. Da gedruckte Formen wenig Druck vertragen wird mit 6mm Edelstahl-Pass-Stiften bzw. M6-Schrauben und Flügelmuttern gearbeitet. M8 oder Profi-Zentrierungen wären zu viel.



4. V-Form und ggf. Anstellwinkel (falls ein komplettes Flugzeug konstruiert werden soll) in Form einer schräg gestellten Ebene (Konstruktion Ebene an Winkel) erstellen. Skizze mit Tragflächen-Draufsicht darauf projizieren (V-Form hier  $0.25^\circ$  pro Seite, damit der Flügel nicht „hängend“ aussieht)

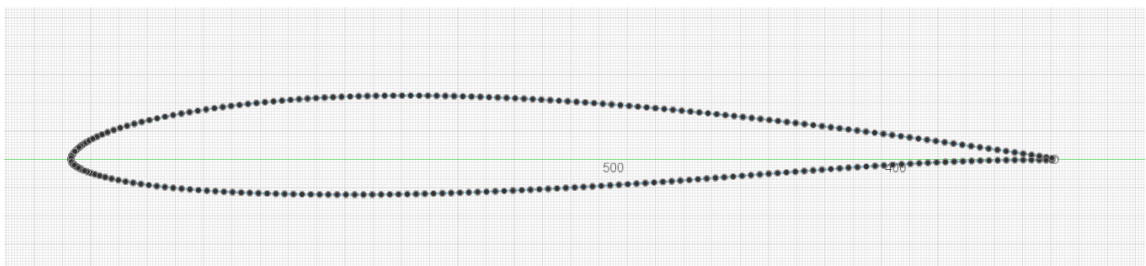


5. Tragflächen-Profiliefen in dieser projizierten Draufsicht ausmessen. Profil DAT-Dateien mit Excel so manipulieren, dass unabhängig von der Profildicke bzw. -tiefe eine gleichbleibende Endleistendicke entsteht (0.0mm ist nicht realisierbar, hier wurden 0.6mm gewählt).

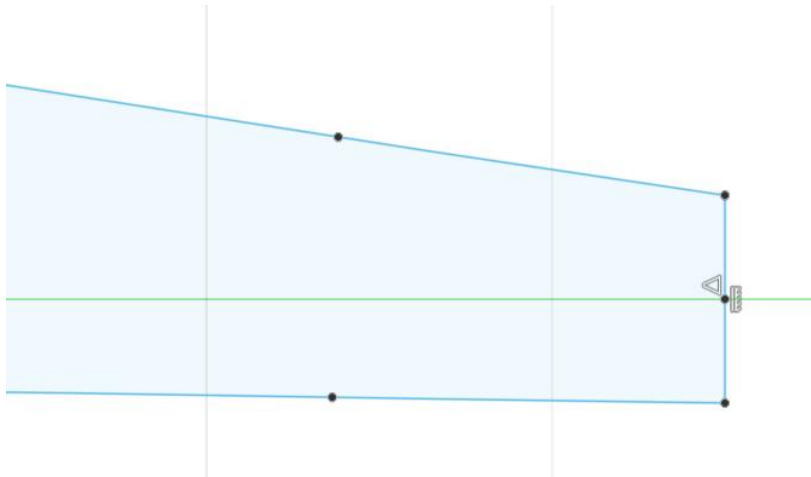
H2 $=((\$F\$2-\$F\$5)/2)*EXP((B2-1)*\$F\$3)$												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	HQ Acro 1.5/10				Tiefe[mm]	348,5000		Aufdickung [mm]		x-neu	y-neu	
2		1,000000	0,000000		Endleiste [mm]	0,6000		0,30000		348,500000	0,300000	
3		0,996790	0,000510		Exponent-Faktor	10,0000		0,29052		347,381315	0,468258	
4		0,991030	0,001460		Aufdickungsfakto	1,0000		0,27426		345,373955	0,783072	
5		0,984090	0,002580		Original-Endleiste	0,0000		0,25587		342,955365	1,155003	
6		0,976140	0,003840					0,23632		340,184790	1,574559	
7		0,967700	0,005160					0,21719		337,243450	2,015452	
8		0,959070	0,006500					0,19923		334,235895	2,464484	
9		0,950300	0,007840					0,18251		331,179550	2,914746	
10		0,941440	0,009190					0,16703		328,091840	3,369747	
11		0,932560	0,010510					0,15284		324,997160	3,815574	
12		0,923650	0,011830					0,13981		321,892025	4,262565	
13		0,914710	0,013140					0,12785		318,776435	4,707143	
14		0,905750	0,014460					0,11690		315,653875	5,156206	
15		0,896810	0,015760					0,10690		312,538285	5,599259	
16		0,887870	0,017060					0,09776		309,422695	6,043167	
17		0,878920	0,018350					0,08939		306,303620	6,484363	
18		0,869990	0,019630					0,08175		303,191515	6,922806	

In beige sind die Eingaben hinterlegt, in grau die Ausgaben. In den Spalten B/C ist die originale DAT-Datei importiert. In Spalte H wird die Aufdickung des Profils für die gegebene Endleistes-Dicke berechnet. Die Formel ist in der Abbildung hervorgehoben. Das Profil wird exponentiell zur Endleiste hin aufgedickt. In den Spalten J/K findet man die neuen Koordinaten zum Export in eine modifizierte DAT-Datei. Im Randbogen ca. 4 Profile unterbringen, im Randbogen nach außen die Profildicke erhöhen, damit kein spitzer Randbogen sondern ein schön runder Randbogen entsteht – z.B. 12% am Start des Randbogens, dann 13% und 14%. Die letzte Rippe außen am Randbogen muss die Lücke im Spline genau füllen, die Profildicke kann hier 16-20% betragen, das spielt bei der Tiefe von 10-15mm keine Rolle mehr. Der Spline wird u.U. gar nicht als Führungslinie benötigt, s.u.

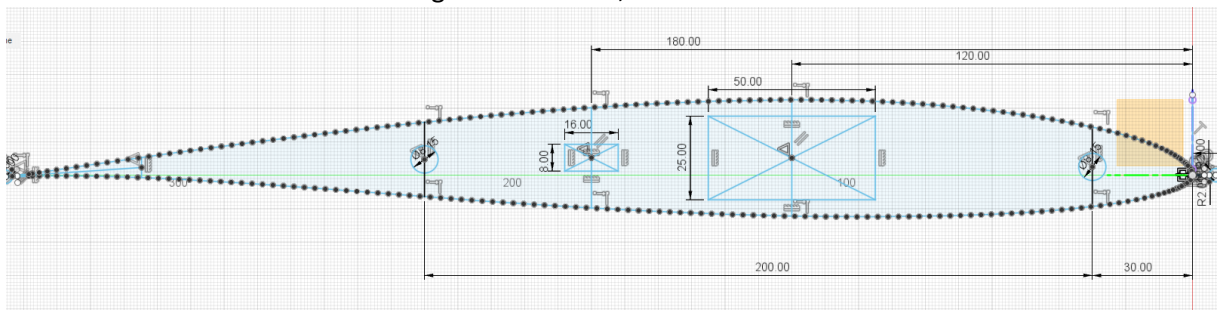
- Import der DAT-Dateien mit dem Fusion 360 Plugin „Airfoil\_DAT\_to\_Spline\_v1.8“ unter dem Menüeintrag „Werkzeuge-Zusatzmodule...“ auf der YZ-Ebene (Chord = 1.00mm, da bereits in Excel skaliert). Wenn es beim Import Fehlermeldungen geben, dann prüfen, ob z.B. sich noch eine Leerzeile am Ende der DAT-Datei befindet oder ob Komma/Punkt als Dezimal-Trennzeichen richtig eingestellt sind.



Da das Profil am Ende noch offen ist, die Skizze bearbeiten, eine Verbindungslinie einzeichnen sowie den Mittelpunkt darauf. Letzterer wird später zum Verschieben auf die Draufsicht benötigt.

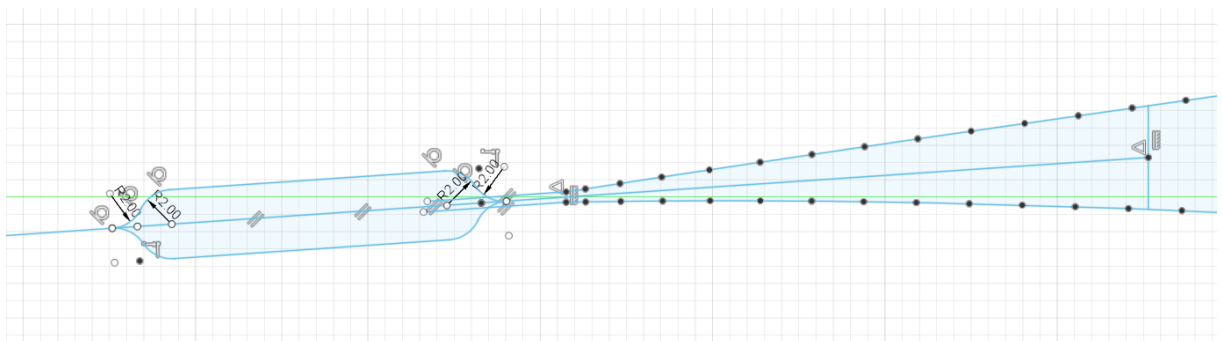


7. In der Profilskizze der Wurzel gleich mehrere Aspekte konstruieren: Verbinder, Verdreh-Sicherungen vorn und hinten sowie MPX-Stecker. Bohrungen für die Verdreh-Sicherungen müssen für den 3D-Druck etwas vergrößert werden, hier z.B. 8.15mm für echte 8mm.

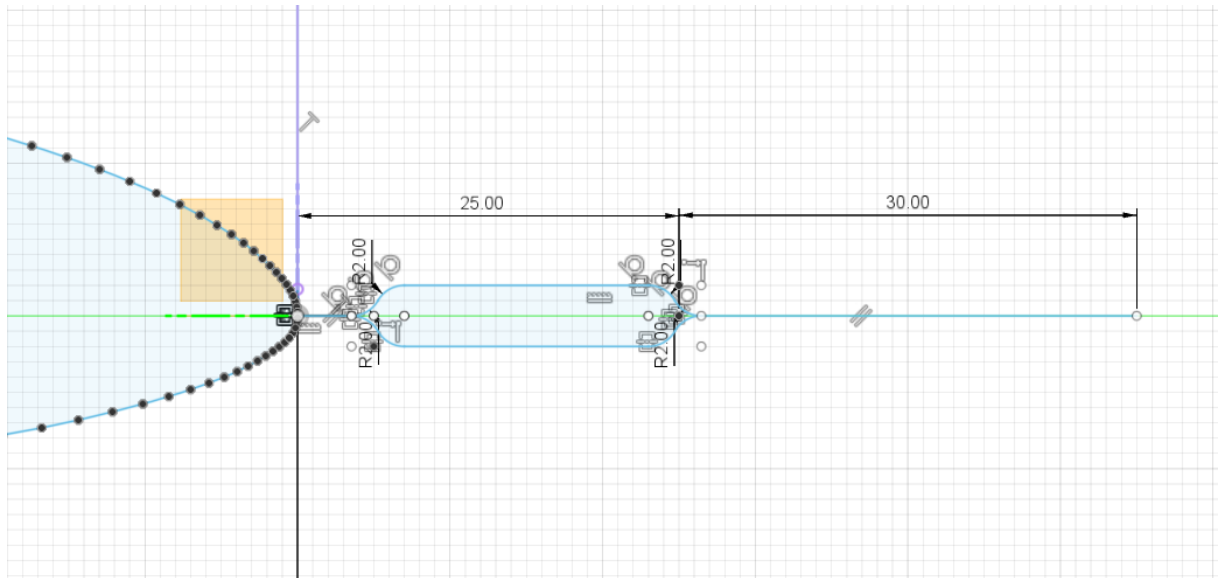


Außerdem den Verlauf der Formen-Trennebene konstruieren (in diesem Fall hinten  $86.1^\circ$  und vorn  $90^\circ$ ), eine um ca. 5mm verlängerte Endleisten-Fahne von 0.6mm und eine flache Speiß-Rinne (hier 20mm x 4mm) mit gerundeten Ecken konstruieren. Die Speiß-Rinne ist hinterher auch die Fläche auf der mit Acryl mit einer Folie beim Absaugen abgedichtet werden kann. Die Speiß-Rinne ist Arbeitsfläche und Acryl-Reste stören hier später nicht.

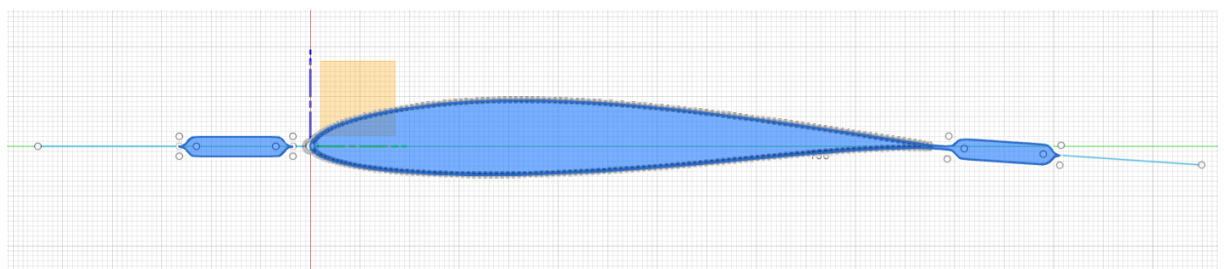
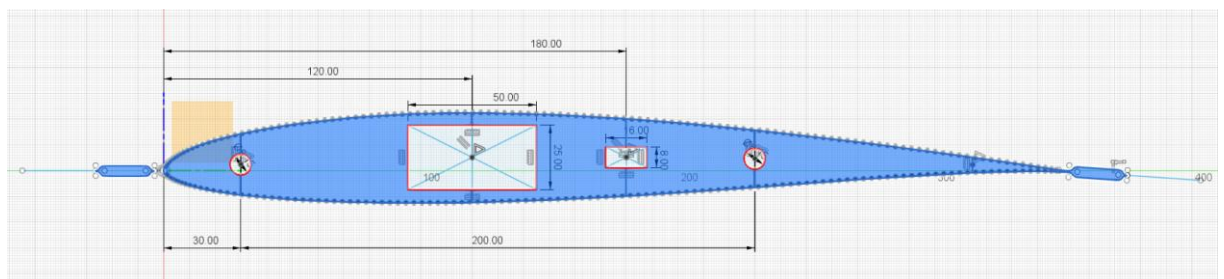
Beim Konstruieren diejenigen Linien, die später nicht als Körper / Flächen benötigt werden, markieren und mit x auf „Konstruktionshilfslinie“ umschalten (gestrichelt).



An der Nasenleiste muss genauso ein Auflager für die beiden Formhälften stehen bleiben. Und es muss eine Speiß-Rinne konstruiert werden.

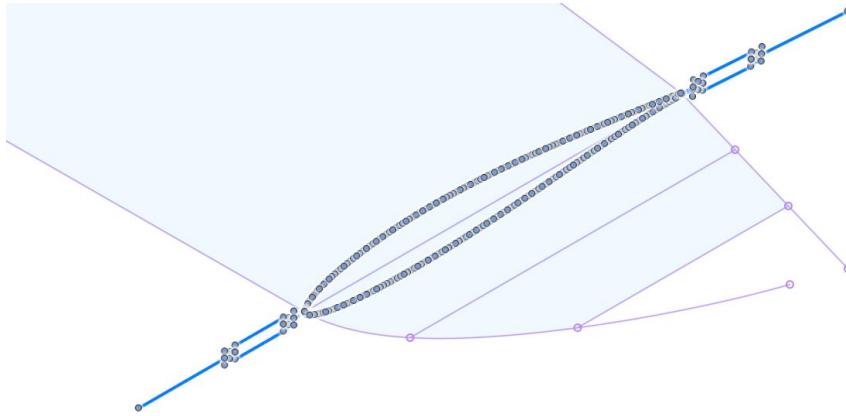


Man kann sehr viele Constraints nachträglich noch entfernen. Es entsteht dann folgendes Profil der Tragfläche, verbunden mit Endleistenfahne und den beiden Speiß-Rinnen.



Die Bereiche der Trennebene beidseitig um 5/100mm auf-dicken, falls man die Form nachträglich mit GFK beschichten und lackieren will. Das Profil von Speissinne und aufgedickter Trennebene sollte ein Stück in das Wurzelprofil hineinragen (überlappen) und soll für Nase und Endleiste einzeln selektierbar sein. Es werden diese Profile nur für die Wurzel benötigt, nicht für die Zwischenrippen oder den Randbogen (später mit Sweeping arbeiten).

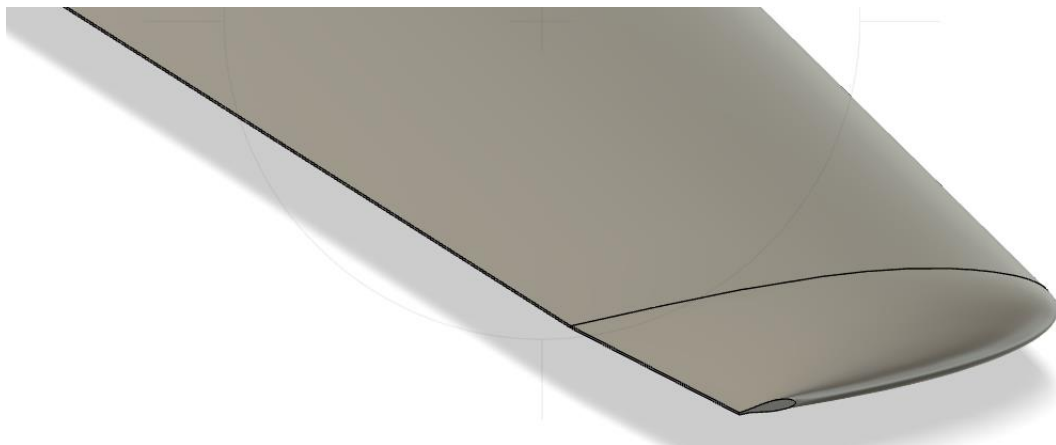
8. Nach dem Skizzieren aller Profile müssen diese an die projizierte Draufsicht der Tragfläche geschoben werden. Dies geht am besten Punkt-zu-Punkt. Dafür benötigen wir den Mittelpunkt der Verbindungslinie der Endleiste.



Falls sich Fusion 360 dabei zickig anstellt, z.B. aus geschlossenen Profilen beim Punkt-zu-Punkt Verschieben offene Profile macht, so kann man sich damit helfen, dass man zunächst aus den Profilen mit „Volumen-Extrusion“ 1/1000mm dicke Rippen generiert, an deren Endleiste man mit „Konstruieren-Punkt-entlang-Pfad“ mittig einen Hilfspunkt generiert und dann diesen auf die projizierte Draufsicht verschiebt.

Dies gilt auch für die Profile der Speiß-Rinnen und auf-gedickten Trennebenen.

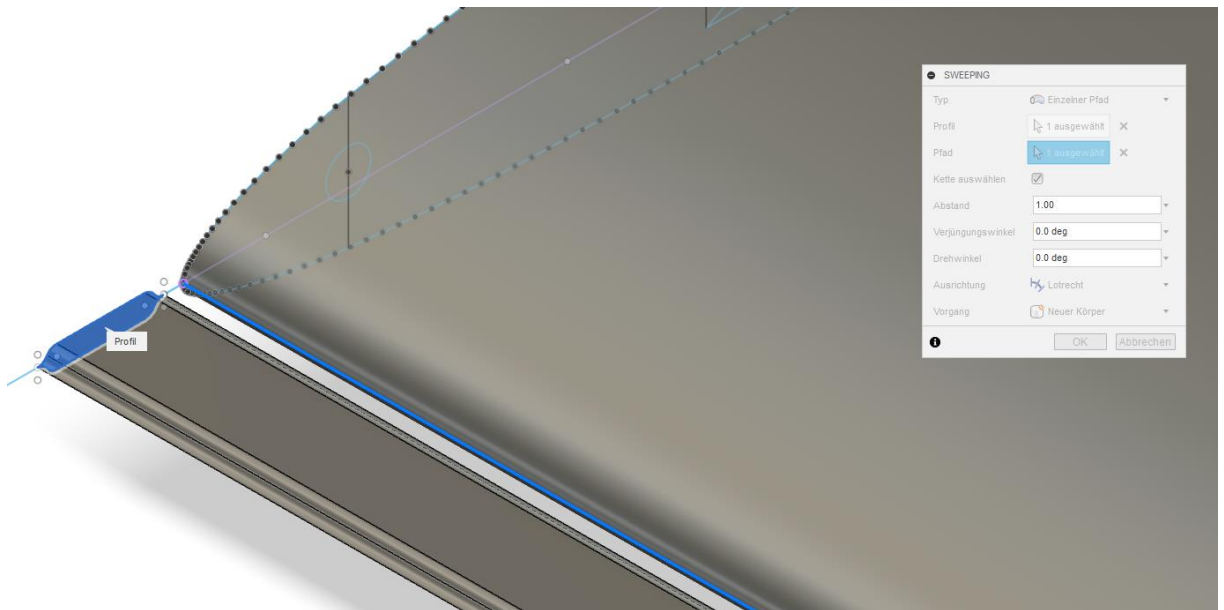
9. Mit dem Menüpunkt „Volumenkörper-Erhebung“ wird jetzt die Wurzelrippe mit dem ersten Randbogenprofil zu einer trapezförmigen Tragfläche verbunden. Die weiteren Randbogenprofile werden in einem zweiten Schritt zu einer Erhebung verbunden, ggf. wird noch der Spline an der Nasenleiste als Führungslinie angegeben. Ganz außen am Randbogen bleibt ein kleines Profil (Profiltiefe ca. 15mm) sichtbar, welches weg geschliffen / gespachtelt werden muss. Die Endleiste der Tragfläche ist jetzt konstant 0,6mm dick.



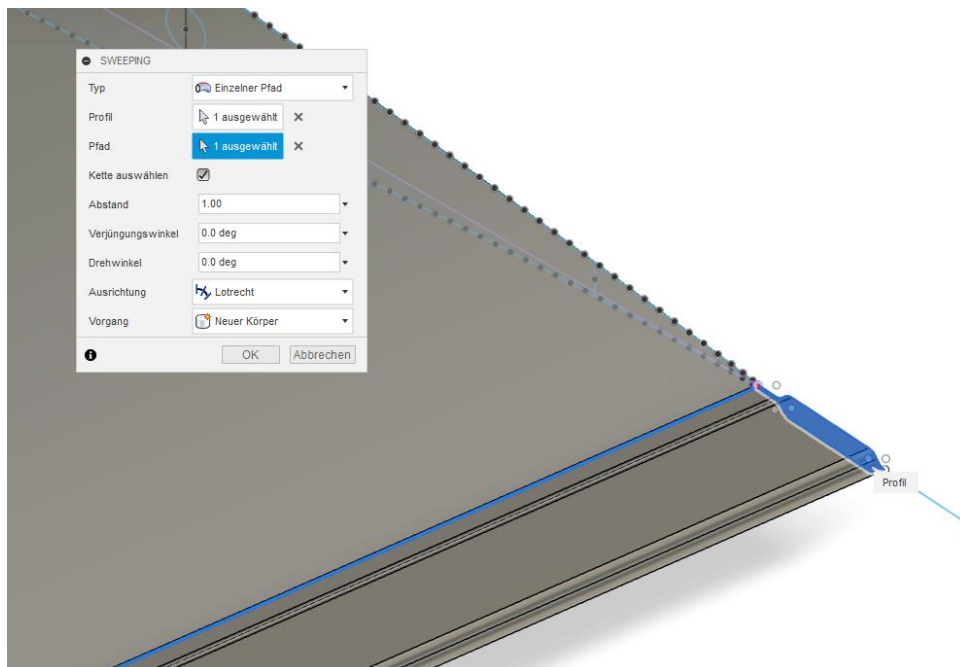
Falls sich Fusion 360 beim Randbogen zickig mit der Volumen-Erhebung anstellt, so muss man im Dialogfenster zwischen Subtrahieren, Addieren, Schnittmenge hin und her schalten, irgendwann geht es plötzlich doch. Auch die Reihenfolge der Verbindungen kann Pseudo-Fehler generieren. Am besten zunächst den Randbogen und die eigentliche Tragfläche erstellen, danach dann addieren. Man kann mit 3-4 Rippen im Randbogen auch ohne die Spline-Führungslinie (und die dabei manchmal auftretenden „Berührt nicht“ Fehler) sehr gut Randbögen konstruieren. Man sollte nicht versuchen mit Flächen zu arbeiten, die sind hinterher meist nicht zu Solids zusammen zu heften.



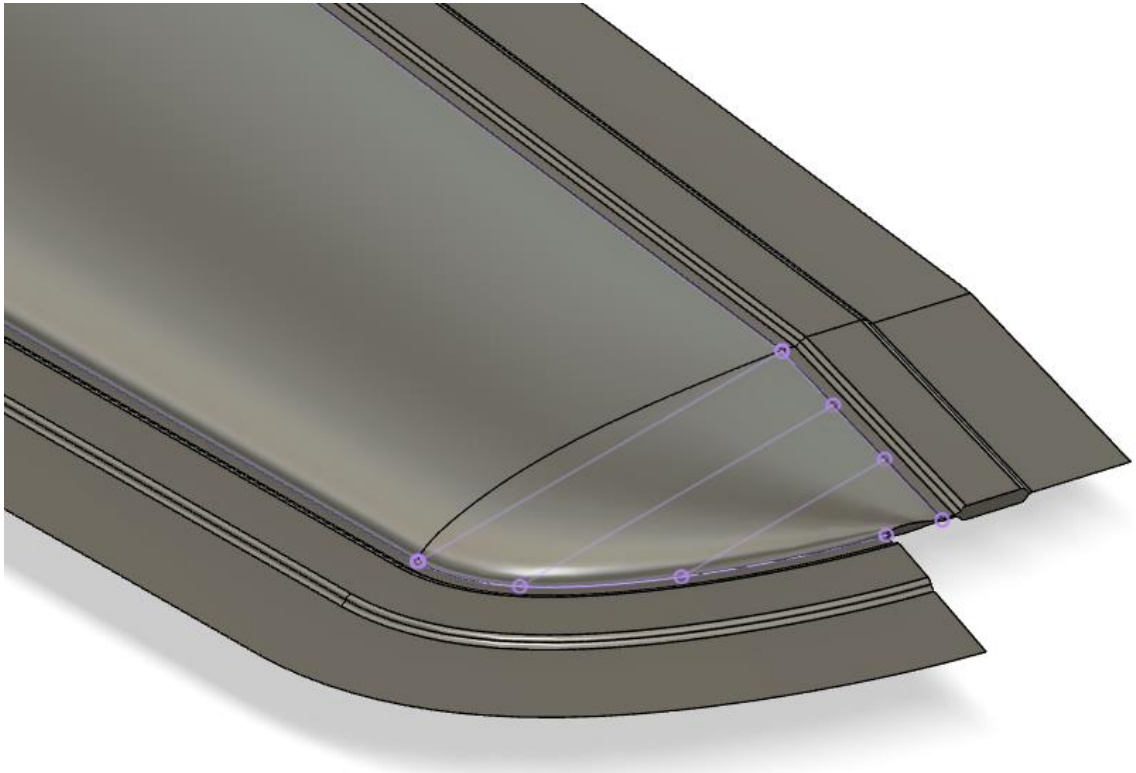
10. Mit der Funktion Sweeping wird die nur an der Wurzelrippe skizzierte Nasenleisten Speiß-Rinne mit Trennebene bis um den Randbogen herum an der projizierten Draufsicht als Pfad entlang gezogen



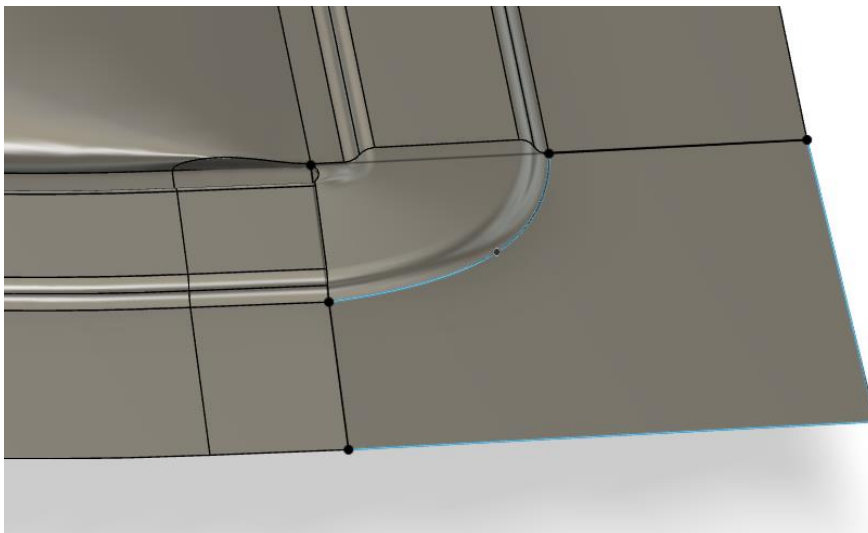
An der Endleiste wird ebenso verfahren.



11. Ebenso wird mit der Trenneben verfahren. (Am besten vorher 1 Profil aus Speiß-Rinne und Trennebene, welche in die Tragfläche hinein ragt generieren!)



Die letzte Ecke am Randbogen wird konstruiert, indem eine kleine 3D Skizze der Lücke erstellt wird, welche die beiden Trennebenen verbindet. Mit einem Spline als Führungslinie werden Endleisten und Nasenleisten Speiß-Rinne per „Erhebung“ verbunden.

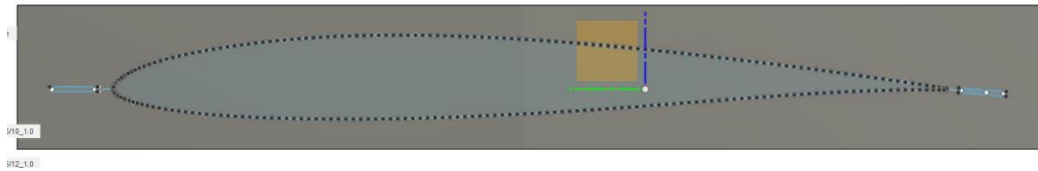


Oder noch einfacher, man extrudiert die Profile der Nasenleisten und Endleisten-Seite bis dieser Bereich dicht ist, wenn die Speiß-Rinnen da nicht ganz ästhetisch in einander übergehen, ist das egal.

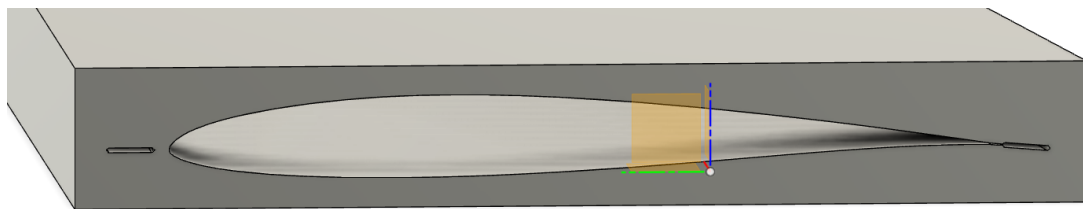
12. Als nächstes wird der Formklotz auf der Basis der Tragflächen-Draufsicht konstruiert, in diesem Fall aufgrund der geringen V-Form direkt auf der XY-Ebene (+35mm / -25mm). Umlaufend bis auf an der Wurzelrippe wird ein Rand von 40mm um den Tragflügel vorgesehen (5mm für den Endleisten-Auslauf / Quetschrand an der Nasenleiste, 20mm



Speiß-Rinne, 15mm für Verschraubung und Passung der Formhälften).



13. Danach müssen die Tragfläche und die Speiß-Rinnen von dem Formklotz abgezogen werden. Falls dabei an der Wurzel eine dünne Wand stehen bleibt, so werden die Querschnittsflächen der Tragfläche etc. noch um 1mm extrudiert. Am besten Tragfläche, auf-gedickte Trennebenen, Speiß-Rinnen usw. zu einem Solid addieren, an der Wurzelrippe noch um 10mm extrudieren und von dem Formklotz abziehen. Der Formklotz muss dabei in zwei Hälften zerfallen.



14. Kanten des Formklotzes (unten/oben/Trenneben) in Längsrichtung der Tragfläche mit 2mm abrunden
15. In der Draufsicht 6,0mm Passlöcher (zum späteren Aufbohren) zum Zusammensetzen der Form vorsehen. In jedem 2. bis 3. Formblock 6,5mm Löcher zum späteren Einsetzen von 6mm Alu-Rohre als Vakuum Absaugkanäle konstruieren.
16. Abschließend die Form mit Versatzebenen alle 400mm in Blöcke für den 3D Drucker schneiden. Der Randbogen ist in diesem Fall dann ca. 250mm lang.
17. Oberhalb und unterhalb der Speiss-Rinnen jeweils Passlöcher von 8,15mm mit ca. 21mm Tiefe bohren, damit später kurze 8mm Alu-Stäbe zum genauen Fügen der Formteile dienen können.
18. Den Formklotz vor der Wurzelrippe zur Ausrichtung von Verbinder und Verdreh-Sicherungen aus der Wurzelrippe durch Extrusion konstruieren. Gleich Löcher für Pass-Stifte und Verschraubungen neben dem Verbinder und den Verdreh-Sicherungen vorsehen. Die Trennebene durch den Wurzelblock so konstruieren, dass die Verdreh-Sicherungen zentriert getroffen werden. Mit wenigen Knicken ähnlich zu der restlichen Form konstruieren.
19. Eine 5mm dicke Bohrschablone aus der Wurzelrippe durch Extrusion konstruieren, um später die Bohrlöcher einfacher auf den Rumpf übertragen zu können.
20. Noch einmal nachdenken, ob alles bedacht wurde und dann sehr lange 3D Drucken.