

Dokumentation SearchWing

Konzept Faserverbundrumpf

Version 1.0

Stefan Laimer

Maximilian Schäferle

Historie der Dokumentversionen

Version	Datum	Autor	Änderungsgrund / Bemerkungen
0.1	26.10.2020	Maximilian Schäferle	Ersterstellung
0.2	30.10.2020	Stefan Laimer	Ergänzung Recherche
0.3	28.12.2020	Stefan Laimer	CAD, Laminieren, Fräsen,
0.4	29.12.2020	Maximilian Schäferle	Ergänzung Laminieren, Fräsen, Konzepte
1.0	09.01.2021	Stefan Laimer	Finale Überarbeitung

Inhaltsverzeichnis

Historie der Dokumentversionen.....	2
Inhaltsverzeichnis.....	2
1. Einleitung	4
2. Aufgabenstellung	5
3. Stand der Technik.....	6
3.1 Faserverbundtechnik allgemein [2].....	6
3.1.1 Fasern	7
3.1.2 Matrix.....	7
3.2 Herstellung von Faserverbundbauteilen	8
3.2.1 Handarbeitsverfahren	8
3.2.2 Prepregverarbeitung	9
3.2.3 Härteprozess.....	9
3.3 Formwerkzeuge	9
3.4 Grenzen der Faserverbundtechnik	10
3.4.1 Gestaltung von Faserverbundkonstruktionen	10
3.5 Entformbarkeit	13
3.6 Elektromagnetische Abschirmung	13
4. Rumpfdesign	14
4.1 Konzepte	14
4.1.1 Konzept 1	14
4.1.2 Konzept 2	15
4.1.3 Konzept 3	16
4.1.4 Konzept 4	17
4.1.5 Vergleich der Konzepte	18
4.2 CAD-Modell.....	19
5. Fertigung.....	25
5.1 Überblick	25
5.2 Fertigung Negativ-Formhälften.....	25
5.2.1 Halbzeuge.....	25
5.2.2 Fräsen	27
5.2.3 Weitere Bearbeitung	28
5.3 Laminieren.....	29
5.3.1 Handlaminieren	30
5.3.2 Fertigung mithilfe des Schlauchblasverfahrens	31
5.3.3 Laminieren Vakuumtechnik	32
6. Ausblick.....	33
7. Quellennachweise	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Dreistufenkonzept.....	5
Abbildung 2: Grundlegender Arbeitsverlauf	6
Abbildung 3: Ablage und Durchtränkung der Fasern	8
Abbildung 4: Gestaltung von Formkanten.....	11
Abbildung 5: Verrundung von Kanten	12
Abbildung 6: Vorschläge der räumlichen Gestaltung	13
Abbildung 7: Skizze Konzept 1.....	14
Abbildung 8: Skizze Konzept 2.....	15
Abbildung 9: Skizze Konzept 3.....	16
Abbildung 10: Skizze Konzept 4.....	17
Abbildung 11: Loftkörper aus Querschnittsprofilen.....	19
Abbildung 12: Grundskizze "Sketch Main Sideview"	20
Abbildung 13: Gestaltung der Kammerschräge und Motormount-Aufnahme	20
Abbildung 14: Erstellung und Parameter des Seitenleitwerks.....	21
Abbildung 15: Zwischenstand Rumpfkörper.....	21
Abbildung 16: Erzeugung der Tragflächenaussparung.....	22
Abbildung 17: Aufspannung des Tragflächenprofils.....	22
Abbildung 18: Erzeugte Formhälfte und das Urmodell.....	23
Abbildung 19: Öffnungen in der Trennfuge und Entformungskeil.....	23
Abbildung 20: Lanzenöffnung.....	24
Abbildung 21: Frästest Bauteil und Skizze	24
Abbildung 22: Lieferung des Blockmaterials MB-0600	25
Abbildung 23: Erweiterung der Blockmaße	26
Abbildung 24: Versiegelung und Trennwachs	28
Abbildung 25: Paßdübel zur Zentrierung	29
Abbildung 26: Prinzipskizze Handlaminieren	30
Abbildung 27: Prinzipskizze Schlauchblasverfahren	32
Abbildung 28: Prinzipskizze Vakuum-Verfahren	33

1. Einleitung

SearchWing Augsburg ist eine unabhängige non-profit Organisation und entwickelt eine Drohne zur Ortung von in Seenot geratenen Menschen. Ihre Flugobjekte können allen Organisationen zur Verfügung gestellt werden, welche dieses Ziel verfolgen. [1]

Die Aufgabe der SAR-Drohne ist vergleichbar mit einem Vogel, der aus großer Höhe Anomalien auf der Meeresoberfläche erkennen kann, da große Flächen überblickt werden können. Um das Fluggerät einzusetzen, wird es zusammen mit dem Team per Schiff in das Zielgebiet gebracht. Dort wird von Deck per Handstart gestartet und die Drohne beginnt autonom ihre Arbeit, sobald die Zielhöhe erreicht ist.

Nach der Untersuchung der vorgegebenen rechteckigen Wasseroberfläche, kehrt das Flugzeug zu seinem Startpunkt zurück und kann für einen weiteren Flug vorbereitet werden. Die Landung erfolgt auf der Meeresoberfläche oder mithilfe eines Netzes. Andere Landungsmöglichkeiten wären deutlich komplexer und gefährlicher. [1]

2. Aufgabenstellung

Durch die Landung im Wasser findet ein direkter Kontakt mit dem salzhaltigen Meerwasser statt, vor welchem besonders metallene und elektronische Bauteile geschützt werden müssen, da andernfalls Korrosions- und Kurzschlussgefahr besteht. Letzteres kann zur Zerstörung sämtlicher Elektronikkomponenten führen.

Der aktuell verwendete Rumpf besteht aus dem expandierten Kunststoffschäum Polyolefin (EPO) und ist gegenwärtig nicht wasserdicht. Trotz einer Beschichtung der Oberfläche und der Verwendung eines Silikongels zum Schutz der Elektronik, kann Wasser in den Rumpf eindringen.

Zum Schutz vor Salzwasser wurde ein dreistufiges Konzept erstellt:

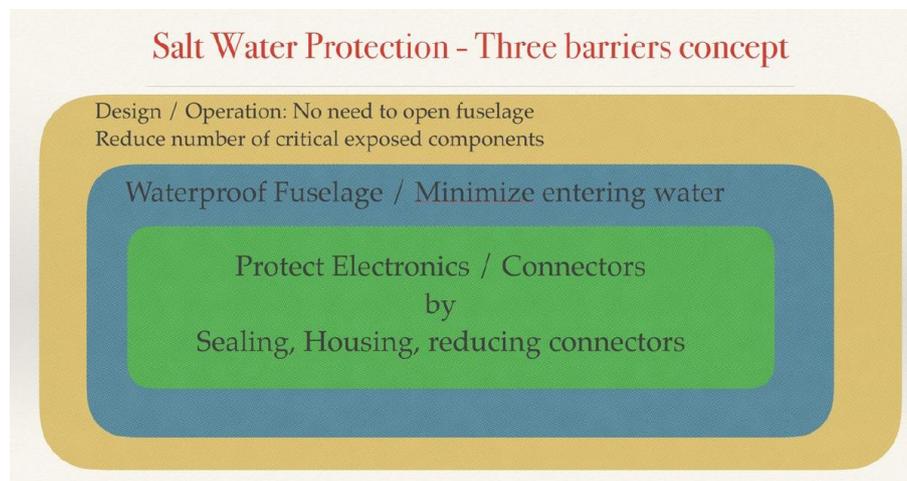


Abbildung 1: Dreistufenkonzept

Diese Arbeit behandelt fast ausschließlich die zweite Stufe, ein Konzept zur Gestaltung und Herstellung eines wasserdichten Rumpfes. In unserem Fall mit Fokus auf die Faserverbundtechnik, welche häufig im Leichtbau ihre Verwendung findet und unter bestimmten Bedingungen Wasserfestigkeit aufweist.

In diesem Rahmen werden im Folgenden die einzelnen Verfahren und Eigenschaften des Faserverbunds sowie der Stand der Technik erläutert. Daraufhin wird das Rumpfdesign an die Anforderungen dieser Herstellungsmethode angepasst, wobei auch die Montage, Bedienung und Wartung des Fluggeräts berücksichtigt werden soll. Den Höhepunkt dieser Untersuchung stellt dann voraussichtlich die Herstellung der Laminierformen und die Fertigung eines Prototyps mit Faserverbundtechnik dar.

3. Stand der Technik

3.1 Faserverbundtechnik allgemein [2]

Verbunde aus Fasern mit einem weiteren Werkstoff, in dem die Fasern eingebettet sind, werden als Faserverbundwerkstoffe bezeichnet. Viele natürliche Werkstoffe besitzen eine solche Faserstruktur und nutzen deren positive mechanische Eigenschaften. Auch dem Menschen ist diese Technik nicht neu. Sie wird häufig verwendet und gewinnt zunehmend an Bedeutung, besonders im Leichtbau. Die Anwendungsbeispiele reichen von Lehmhütten über Stahlbeton bis hin zu hochfesten Kunststoffteilen und besonders leichten Fahrradrahmen aus CFK.

Die Ausgangsmaterialien sind hierbei immer Matrix und Fasern, welche schichtweise in der Matrix eingebettet werden. Bei dieser Herstellung handelt es sich um ein Formgebungsverfahren, bei dem der Werkstoff selbst erst entsteht. Da die mit der Matrixkomponente durchtränkten Fasern bzw. das Gewebe vor der Aushärtung noch flexibel ist, kann der Werkstoff direkt auf formgebenden Geometrien aufgebracht werden. Dabei sind sehr individuelle Formen möglich. Unter Berücksichtigung und Kombination der Faserrichtungen können hohe Festigkeiten bei geringem Gewicht erzielt werden.

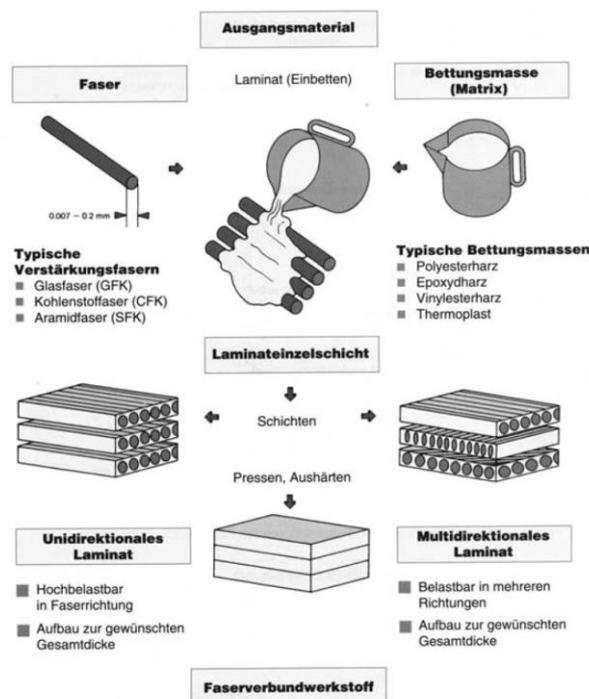


Abbildung 2: Grundlegender Arbeitsverlauf

3.1.1 Fasern

Die Fasern sind der wichtigste Bestandteil des Verbundwerkstoffs, da sie im Wesentlichen die mechanischen Eigenschaften des Bauteils bestimmen. Die Festigkeiten der Faser sind meist um das Zehnfache höher als die des Matrixwerkstoffes und liegen auch weit über den von metallischen Werkstoffen, während die Dichte geringer als bei Aluminium ist.

Am häufigsten finden bei Faserkunststoffverbunden die Glas-, Kohlenstoff- und Aramidfasern ihre Anwendung.

Glasfaser

Glasfasern sind die am weitest verbreiteten Fasern zur Verstärkung von Kunststoffverbunden. Neben ihren guten mechanischen, chemischen und dielektrischen Eigenschaften spricht vor allem der günstige Preis für eine Verwendung dieses Faserwerkstoffs. Auch im Hobbybereich wird er sehr häufig verwendet, da er auch für Privatpersonen leicht und in vielen Varianten verfügbar ist.

Kohlenstofffaser

Kohlenstofffasern sind mit ihrem hohen E-Modul besonders geeignet für CFK-Verbunde, welche eine hohe Steifigkeit aufweisen müssen.

Der Herstellungsprozess ist deutlich aufwändiger als bei Glasfasern, was sich einerseits stark auf die Preise auswirkt und andererseits können dabei stark unterschiedliche Qualitätsstufen der Faser erreicht werden. Hierbei können durch Vorspannung während der Herstellung und Temperaturbehandlungen Effekte auf die Reinheit und Faserausrichtung erzielt werden.

3.1.2 Matrix

Die Matrix ist die formgebende Komponente eines Faserverbunds und im Bereich der Kunststoffe wird hauptsächlich zwischen thermoplastischen und duroplastischen Matrixwerkstoffen unterschieden. Die weitaus größte Verbreitung haben dabei die duroplastischen Kunststoffe, da sie über ein paar wichtige Eigenschaften verfügen:

- Sehr einfache Verarbeitbarkeit
- Verarbeitung bei Raumtemperatur möglich
- Wesentlich höhere Bruchdehnung als Thermoplasten
- Geringere Kriechneigung als Thermoplasten

Duroplastische Werkstoffe härten aus und sind nicht schmelzbar, weshalb sie im Nachhinein auch nicht mit anderen Faserverbundbauteilen verschweißt werden können.

In dieser Kategorie werden primär Epoxidharze verwendet. Dabei wird das Harz mit einem Härter vor Gebrauch gemischt und härtet dann durch Polyaddition aus. Der entstandene Kunststoff zeichnet sich besonders durch hohe statische und dynamische Festigkeit sowie einem geringen Härteschwund aus. Des Weiteren haften Epoxidharze sehr gut an unterschiedlichsten Oberflächen und verfügen über eine gute Chemikalien- und UV-Beständigkeit, allerdings sind sie relativ teuer.

Neben Epoxidharzen finden auch andere Harzsysteme ihre Anwendung, wie Polyester-, Venylester- oder Phenolharze, allerdings deutlich seltener.

3.2 Herstellung von Faserverbundbauteilen

Bei der Herstellung wird einerseits der Werkstoff gebildet und ihm gleichzeitig seine Form verliehen. Die wichtigsten Schritte bei der Herstellung sind:

1. Ablage der Fasern
2. Benetzung der Fasern mit Matrixwerkstoff
3. Formgebung des Werkstoffverbundes
4. Aushärtung der Matrix (bei duroplastischen Werkstoffen)

Um diese Schritte abzuarbeiten, bieten sich unterschiedliche Herstellungsverfahren an, von denen sich nur eines als geeignet für das Projektvorhaben erweist: Das Handarbeits- bzw. Handlaminierverfahren mit optionaler Prepregverarbeitung. Es eignet sich gut für eine individuelle Formgebung, weist eine einfache Verarbeitung auf und ist empfehlenswert für Prototypen und geringe Stückzahlen.

3.2.1 Handarbeitsverfahren

Bei diesem einfachen Verfahren werden Matten und Gewebe als Faserhalbzeuge verwendet und mithilfe eines Pinsels oder einer Rolle mit dem Matrixwerkstoff benetzt. Die Faserablage und Benetzung erfolgen hier gleichzeitig mit dem Formgebungsverfahren in einer Form (s. Abb. 3). Nach der Aushärtung werden dann die Bauteile entformt und können ggf. nachgearbeitet werden. Dieses Verfahren zeichnet sich durch geringe Investitionskosten aus, eignet sich jedoch aufgrund seiner hohen Zykluszeit nicht für die Serienfertigung. Des Weiteren sind damit komplexe Geometrien und auch beschränkt Hinterschneidungen und unterschiedliche Wandstärken möglich. Zu beachten ist jedoch, dass eine durchgängige Bauteilqualität erreicht wird, welche primär von der Erfahrung und Sorgfalt des Verarbeiters abhängig ist. Ein besonderes Augenmerk verdient dabei die präzise Faserablage und ein gleichmäßiger Durchtränkungsgrad.

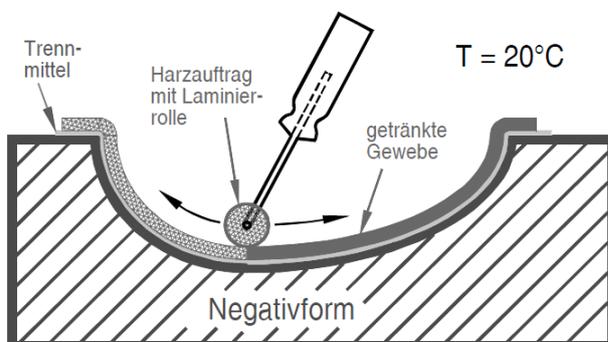


Abbildung 3: Ablage und Durchtränkung der Fasern

3.2.2 Prepregverarbeitung

Dieses Verfahren hat primär den Unterschied, dass die Fasern bereits vor der Verarbeitung mit der Matrix maschinell getränkt wurden. Man unterscheidet dabei Systeme, welche direkt verarbeitet werden müssen und jene, die begrenzt haltbar sind. Diese Haltbarkeit wird meist durch Kühlung erreicht, welche den Härteprozess verzögern kann. Prepreggewebe sind im Handel als getränkte Geweberolle erhältlich.

Durch die Zeitersparnis bei der Ablage der Fasern ohne Tränken ist diese Methode eher geeignet für eine Serienfertigung als das Handlaminierverfahren. Nachteilig ist jedoch, dass viele Prepregs zum Aushärten Temperaturen um 120°C und einen erhöhten Umgebungsdruck benötigen.

3.2.3 Härteprozess

Bei der Aushärtung sind primär zwei Faktoren entscheidend: Temperatur und Druck.

Man unterscheidet zwischen warm- und kalthärtenden Systemen, welche bereits bei Raumtemperatur aushärten. Epoxidharze gehören meist zu letzterer Gruppe. Die Härtedauer kann jedoch durch erhöhte Temperaturen deutlich verkürzt werden. Faustregel: 10°C wärmer halbieren die Aushärtezeit, unter 13°C härten sie oft überhaupt nicht mehr aus.

Die meisten Harzsysteme härten vollständig bei Umgebungsdruck aus, manche Prepregsysteme benötigen dagegen 3 bar oder mehr. Ein erhöhter Druck verbessert aber allgemein das Ergebnis aller Systeme, da der härtende Verbund verdichtet wird, an der Oberfläche wird Porenbildung verhindert und eventuelle Harzüberschüsse können ausgepresst werden. Außerdem werden gleichmäßigere Wandstärken ermöglicht.

Zur Aufbringung des Drucks, werden in der Regel Pressen, Vakuumsäcke/-kammern und Überdruckschläuche verwendet.

Vgl. [3] und [4]

3.3 Formwerkzeuge

Beim Handlaminierverfahren werden in der Regel ebene, muldenförmige oder gewölbte, offene Formwerkzeuge oder Negativformen benutzt.

Diese Formen werden in der Regel aus Stahl, Aluminium, Holz, EP- oder UP-Harzen aber auch aus Gips und Sand/Harz-Gemischen gefertigt.

Bei der Materialauswahl sind hauptsächlich folgende Faktoren zu beachten:

- Anzahl der zu fertigenden Teile (Entformungen)
- Genauigkeit der Bauteilgeometrie
- Oberflächengüte des Bauteils

- Temperaturbeständigkeit beim Aushärtungsprozess
- Größe des Formwerkzeugs
- Notwendigkeit einer Formheizung
- Kosten des Formwerkzeugs

Für die in diesem Projekt benötigten Geometrien, kommen nur offene Formwerkzeuge und Negativformen in Betracht. Bei dem Rumpf eines Fluggeräts ist außerdem die Oberflächengüte der Außenseite zu berücksichtigen, um Luftreibungswiderstände gering zu halten. Aus diesem Grund bietet sich besonders eine Negativform an, da hiermit die Oberflächenbeschaffenheit der Rumpfaußenseite vorgegeben werden kann.

Negativformen aus GFK werden sehr häufig verwendet, da sie relativ einfach herzustellen sind und keine Werkzeugmaschinen oder Umformwerkzeuge benötigen. Des Weiteren halten sich die Baukosten damit relativ zu Metallformen in Grenzen und sind besonders für den Prototypenbau und die Kleinserienfertigung geeignet. So finden sie nicht nur Anwendung bei kleinen Bauteilen, sondern werden auch für Formwerkzeuge von Bootsrümpfen und Windkraftanlagen genutzt.

Begonnen wird beim Formwerkzeugbau von Negativformen meist mit einem Ur- oder Mastermodell, welches die Kontur der Zielgeometrie besitzt. Dieses Urmodell kann aus unterschiedlichsten Materialien erstellt werden, wobei beachtet werden muss, dass die nötige Oberflächengüte und Temperaturbeständigkeit sowie Formstabilität und chemische Beständigkeit gewährleistet wird. Im Hobbybereich werden dazu oft günstige Materialien wie Holz (bzw. Holz-Rippformen), PLA oder PETG (3D-Druck) und Hartschäume wie Styrodur verwendet. Sobald dieses Modell erstellt ist, können davon eine oder mehrere Negativformen (bzw. Formhälften) abgeformt werden. Dies kann zum Beispiel durch eingießen (Gips, Sand/Harz-Gemische, Harzsysteme) oder Faserverbundlaminiierung (idR. GFK) erfolgen.

Vgl. [4] und [5]

3.4 Grenzen der Faserverbundtechnik

3.4.1 Gestaltung von Faserverbundkonstruktionen

Die Gestaltung von Faserverbundkonstruktionen beinhaltet gleichermaßen die Formgebung des Bauteils wie die Gestaltung des Werkstoffes. Eng damit verknüpft ist aber auch immer die Festlegung des Herstellungsverfahrens bis hin zu den einzelnen Verfahrensschritten.

Eine fasergerechte Formgebung sollte:

- Eine einfache Ablage der Fasern bzw. Faserprodukte ermöglichen,
- so beschaffen sein, dass der Faserverlauf im Bauteil im Wesentlichen dem Kraftflussverlauf im Bauteil entspricht,
- eine einfache Entformung des Faserverbundbauteils ermöglichen.

Wandstärken

Wandstärken von Faserverbundbauteilen sollten so dünn wie möglich und gleichmäßig sein. Bei größeren Wandstärken (> 10mm) ist aufgrund der exothermen Reaktion bei Aushärtung duroplastischer Matrixwerkstoffe zum Teil ein Verkochen der Matrix möglich. Wandstärken von nur 0,1mm sind möglich.

Harzansammlungen können leicht zu Schwindungsrissen führen. Da das Verstärkungsmaterial scharfe Kanten nur unzureichend ausfüllen kann, wird die Faserablage bei der fließenden Formgestaltung vereinfacht. Die erforderliche Steifigkeit der Formkante wird über die Ausrundung des Behälterrades erreicht.

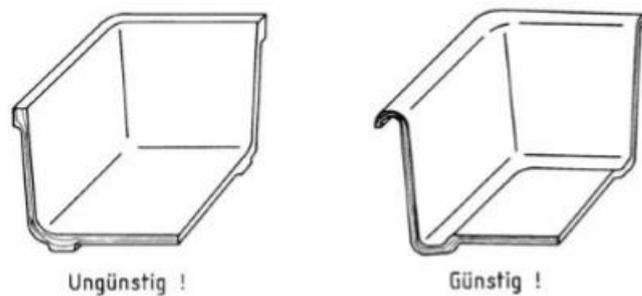


Abbildung 4: Gestaltung von Formkanten

Wanddickensprünge sind allerdings bei einigen Fertigungsverfahren möglich und auch üblich, wenn strukturelle Bedingungen – wie z.B. Krafteinleitungen – lokale Verstärkungen erfordern. Diese sollten allerdings lagenweise abgestuft werden, um einen sprunghaften Wandstärkenunterschied zu vermeiden.

Gestaltung von Ecken und Kanten

Die Ablage der Fasern gestaltet sich am einfachsten auf ebenen oder schwach gekrümmten Flächen. Problematisch sind somit insbesondere Bauteilecken und Kanten. Zu kleine Radien führen zu Lunkerbildung, da die Fasern bzw. Faserhalbzeuge sich nicht entsprechend anschmiegen und, selbst wenn sie während der Faserablage beim Herstellprozess zunächst in die Kanten gepresst werden, anschließend in der noch flüssigen Matrix aufschwimmen.

Sind funktionsbedingt Ecken oder Kanten am Bauteil nicht zu vermeiden, können diese vorher mit einem Füllstoff (gefüllte Harzmasse) gefüllt werden. Auf diese Weise wird eine „Ausrundung“ zur fasergerechten Ablage des Laminates geschaffen.

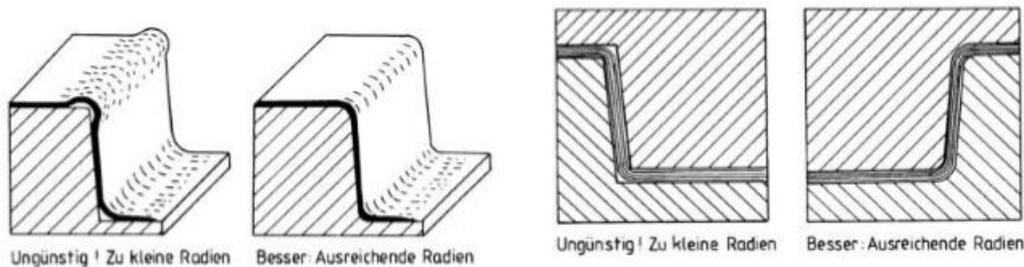


Abbildung 5: Verrundung von Kanten

Räumliche Gestaltung und Versteifungen

Großflächige, dünnwandige Bauteile neigen bei Druck- oder Schubbeanspruchung bzw. bei Belastungen senkrecht zur Schalenebene zur Verformung. Daher werden häufig deutlich größere Wandstärken benötigt, als zur Aufnahme der Belastungen in Schalenebene erforderlich wären.

Durch eine räumliche Bauteilgestaltung kann eine erhebliche Versteifungswirkung erzielt werden, die zudem für Faserverbundwerkstoffe besonders werkstoffgerecht ist.

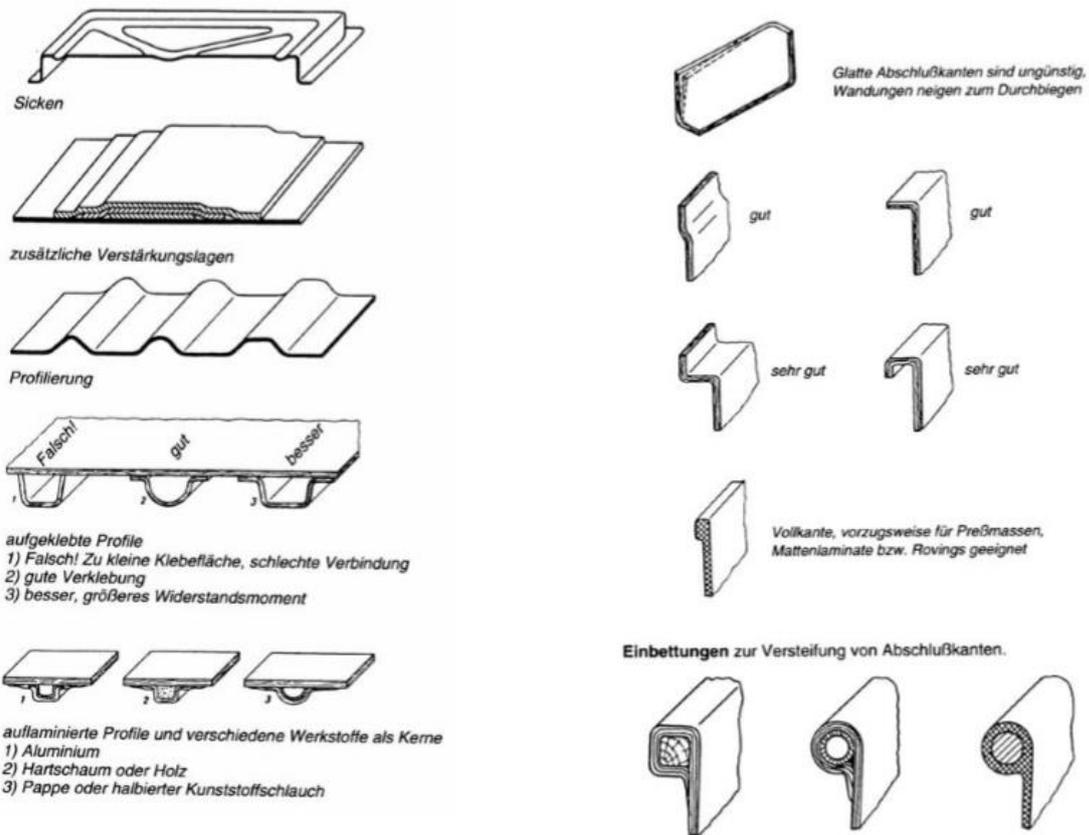


Abbildung 6: Vorschläge der räumlichen Gestaltung

3.5 Entformbarkeit

Wichtig bei der Gestaltung von Bauteilen ist die Beachtung der Entformbarkeit. Hinterschnidungen sollten vermieden werden. Sind sie unumgänglich, ist häufig eine zusätzliche Formteilung erforderlich.

Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung hochelastischer Formen aus Silikonkautschuk. Diese Werkstoffe haben ein Dehnungsvermögen von bis zu 500%, so dass selbst komplexe Geometrien wie Büsten oder Ähnliches mühelos abgeformt werden können.

3.6 Elektromagnetische Abschirmung

Kohlenstofffasern sind wegen ihres hohen E-Moduls für Anwendungen prädestiniert, in denen vor allem eine hohe Steifigkeit erforderlich ist. Während Glas- und Aramidfaser hohe elektrische Isolationswirkung haben, sind Kohlenstofffasern elektrisch leitend. Dadurch kann es zu Problemen der Elektromagnetischen Abschirmung kommen, wobei bei Glas oder Aramidfaser keine Beeinträchtigung zu erwarten ist.

Tabelle 1: Bewertungsschlüssel

4. Rumpfdesign

4.1 Konzepte

4.1.1 Konzept 1

Der Flügel soll abnehmbar und in den Rumpf eingepasst werden. Außerdem gibt es eine weitere Öffnung, um leicht an den Akku zu kommen. Das Leitwerk soll auch abnehmbar gestaltet werden, um gegebenenfalls Änderungen im Nachhinein leichter umzusetzen. Im Rumpf sollen die Komponenten durch Sektionen getrennt werden, was bei Wassereintritt die Schäden an Bauteilen minimieren soll.

4	Sehr gut
3	gut
2	akzeptabel
1	ungenügend
0	mangelhaft

(De-) Montage der Komponenten	3
Wasserfestigkeit	3
Steifigkeit, Stabilität	3
Aufwand (Herstellung, Nachbearbeitung)	2

Tabelle 2: Bewertung Konzept 1

Durch die zusätzliche Öffnung am Rumpf wird ein erhöhter Herstellungsaufwand erwartet und es besteht die Möglichkeit, dass leichter Wasser in den Rumpf eindringen kann, weil mehr potenziell gefährdete Stellen existieren.

Da die Öffnungen relativ weit vorne am Rumpf vorgesehen sind, ist die Montage und Wartung des Motors erschwert, zumal dieser hinten im Rumpf liegt.

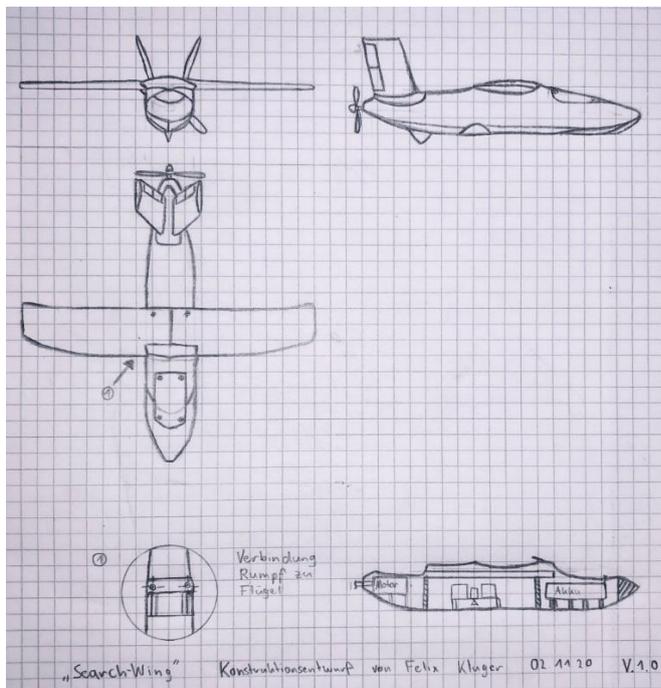


Abbildung 7: Skizze Konzept 1

4.1.2 Konzept 2

Der Rumpf soll am oberen Teil zum Großteil geöffnet werden können, sodass die Komponenten im Inneren gut erreichbar sind. Damit die Stabilität erhalten bleibt, sind Verstrebungen in der Öffnung vorgesehen. Die offene Stelle im Rumpf soll mit einer Dichtung wasserdicht gehalten werden. Das Leitwerk soll abnehmbar gestaltet werden, um gegebenenfalls Änderungen im Nachhinein leichter realisieren zu können. Der Deckel kann ein einzelnes Teil sein oder Teil der Tragfläche.

4	Sehr gut
3	gut
2	akzeptabel
1	ungenügend
0	Nicht akzeptabel

(De-)Montage der Komponenten	4
Wasserfestigkeit	3
Steifigkeit, Stabilität	3
Aufwand (Herstellung, Nachbearbeitung)	3

Tabelle 3: Bewertung Konzept 2

Die große Öffnung am Rumpf sorgt für eine leichte Montage und Wartung der Komponenten.

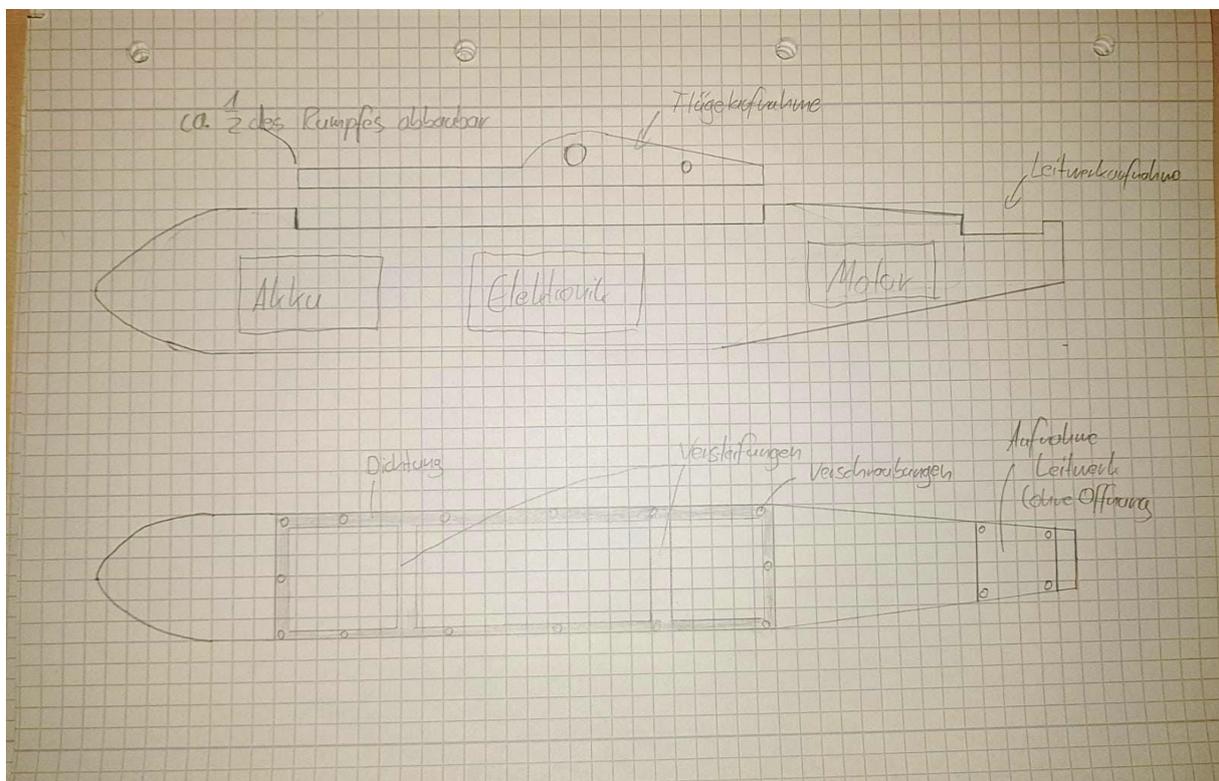


Abbildung 8: Skizze Konzept 2

4.1.3 Konzept 3

Eine Öffnung am Rumpf, welche an die Kontur des Flügels angepasst ist und mit einer Dichtung wasserdicht gehalten wird. Das Leitwerk soll abnehmbar gestaltet werden, um gegebenenfalls Änderungen im Nachhinein leichter zu realisieren.

4	Sehr gut
3	gut
2	akzeptabel
1	ungenügend
0	Nicht akzeptabel

(De-) Montage der Komponenten	2
Wasserfestigkeit	4
Steifigkeit, Stabilität	3
Aufwand (Herstellung, Nachbearbeitung)	4

Tabelle 4: Bewertung Konzept 3

Da die Öffnungen relativ weit vorne am Rumpf vorgesehen sind, ist die Montage und Wartung des Motors erschwert, zumal dieser hinten im Rumpf liegt. Doch die Dichtigkeit des Rumpfes sollte gut umsetzbar sein, weil es nur eine Öffnung gibt, welche relativ klein ist.

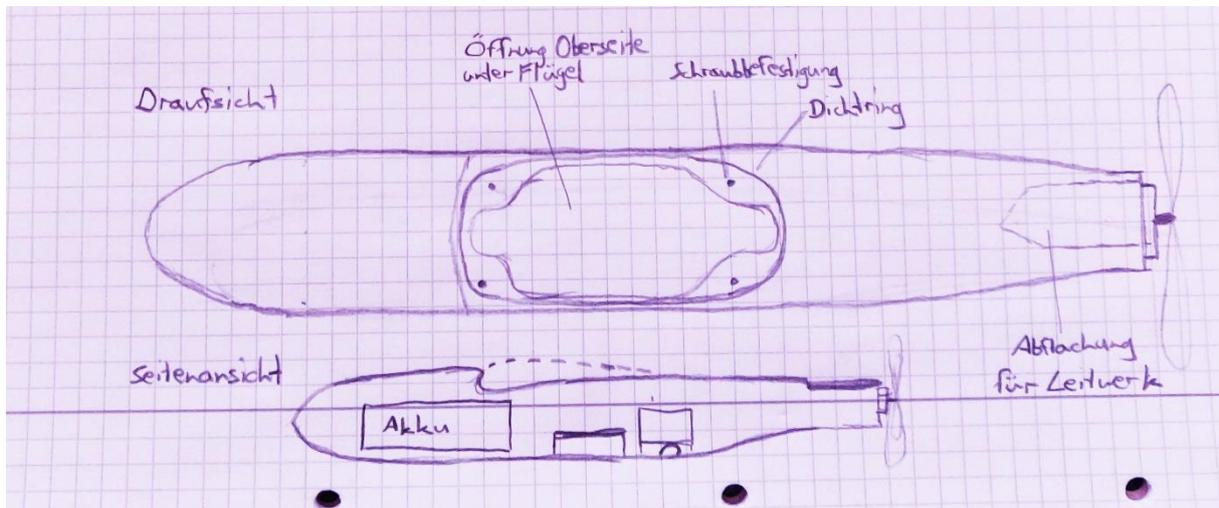


Abbildung 9: Skizze Konzept 3

4.1.4 Konzept 4

Die Rumpfföffnung soll durch eine abschraubbare Nase realisiert werden. Die Komponenten sollen auf ein Gestell montiert werden, welches in den Rumpf geschoben wird. Eine weitere Öffnung unter dem Flügel ist nicht vorgesehen. Das Leitwerk soll abnehmbar gestaltet werden, um gegebenenfalls Änderungen im Nachhinein leichter zu realisieren.

4	Sehr gut
3	gut
2	akzeptabel
1	ungenügend
0	Nicht akzeptabel

(De-) Montage der Komponenten	1,5
Wasserfestigkeit	2
Steifigkeit, Stabilität	4
Aufwand (Herstellung, Nachbearbeitung)	3

Tabelle 5: Bewertung Konzept 4

Durch die Öffnung vorne am Rumpf ist der Kabelanschluss (Motor, Kameras) erschwert, da diese fest bzw. am Heck des Rumpfs angebracht sind. Außerdem besteht die Gefahr, dass Wasser in den Rumpf eindringt, da dieses im Wasser landet und somit die Öffnung unter der Wasserlinie liegt.

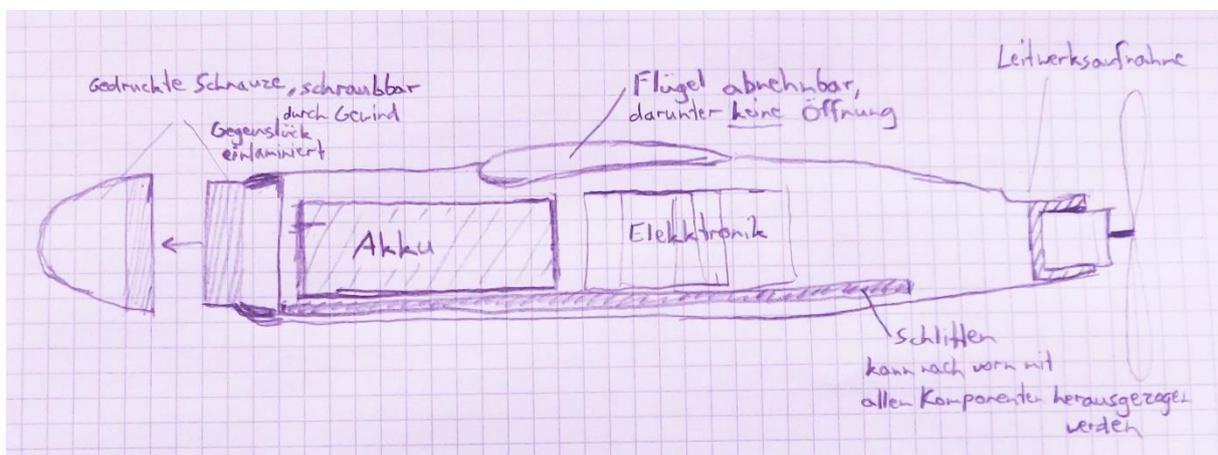


Abbildung 10: Skizze Konzept 4

4.1.5 Vergleich der Konzepte

Kriterium	Weight	Konzept 1		Konzept 2		Konzept 3		Konzept 4	
		Rating	Weighted score						
(De-) Montage der Komponenten	2	3	6	4	8	2	4	1,5	3
Wasserfestigkeit	3	3	9	3	9	4	12	2	6
Steifigkeit, Stabilität	2	3	6	3	6	3	6	4	8
Aufwand (Herstellung, Nachbearbeitung)	1	2	2	3	3	4	4	3	3
Total score		23		26		26		20	
Rang		2		1		1		3	

Tabelle 6: Gewichtung und Bewertungsüberblick

4	Sehr gut
3	gut
2	akzeptabel
1	ungenügend
0	Nicht akzeptabel

4.2 CAD-Modell

Für eine präzise Gestaltung bietet sich die Nutzung einer CAD-Software an. In diesem Fall wurde die browserbasierte Software OnShape genutzt, da das SearchWing Team diese bereits nutzt und dort eine Bibliothek der Modelle existiert.

Der Grundkörper und die Maße des bisher genutzten Flugmodells MiniTalon wurde mit nur geringen Veränderungen übernommen. Dabei bot sich einerseits die einfache Geometrie mit viel Stauraum an und hat andererseits zur Folge, dass ohne große Kalkulation der neuen Maße, Kennwerte und Geometrie ein möglichst funktionierender Prototyp gebaut werden kann.

Vorgehen

Für die Herstellung des Faserverbundrumpfs sind sogenannte Negativformen notwendig. Um diese bauen zu können, wird im Folgenden ein CAD-Modell des UAV-Rumpfs erstellt. Von dessen Konturen können dann die benötigten Formwerkzeuge abgeleitet werden.

Aufbau des CAD-Modells

Der Rumpfkörper besteht grundsätzlich aus der Schnauze, dem Haupttrumpf in der Mitte sowie dem verjüngten Ende mit Antriebsöffnung. Wie in Abb. 11 ersichtlich ist, wird dieser Grundkörper mit dem Werkzeug Loft und den einzelnen Rumpfprofilen erzeugt.

Um einen sauberen Loft und eine eindeutige Kantenerstellung zu ermöglichen, mussten ein paar Profilkanten zusätzlich aufgetrennt werden (Punkte).

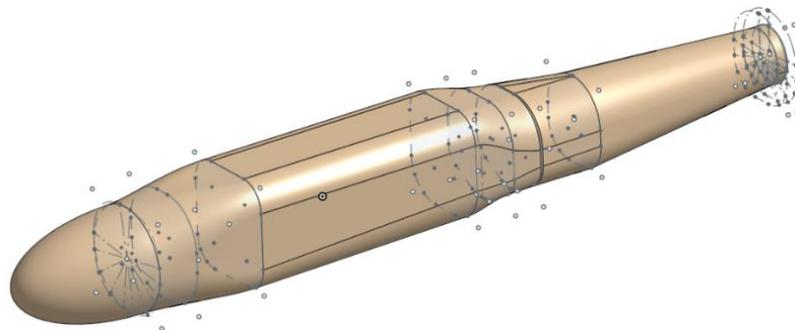


Abbildung 11: Loftkörper aus Querschnittsprofilen

Um die Abstände der Profile zu definieren, existiert eine Grundskizze „Sketch Main Sideview“ (Abb. 12), in welcher die später erzeugten Profilebenen durch Punkte dargestellt sind. Die Schnauze des Rumpfs wird durch Drehen um die Mittelachse erzeugt.

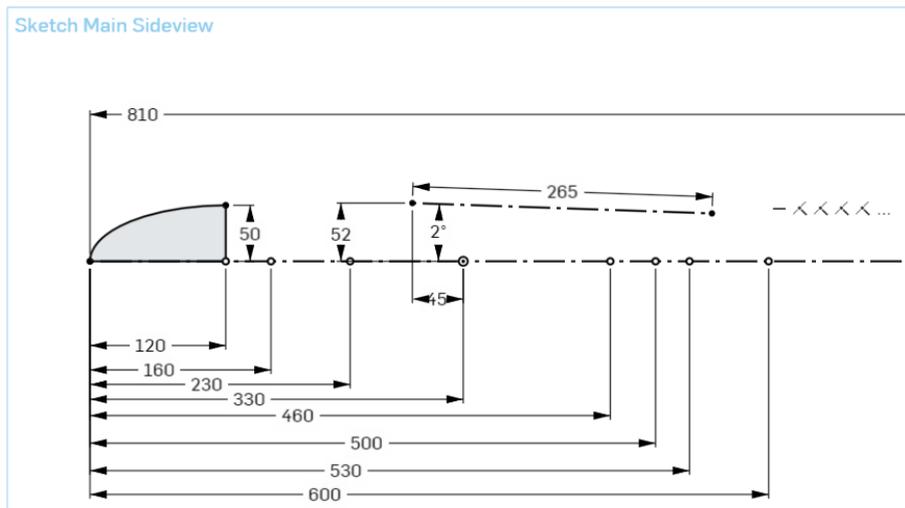


Abbildung 12: Grundskizze "Sketch Main Sideview"

Am Übergang vom annähernd rechteckigen Haupttrumpf und zum runden Heck wurden zusätzlich zwei um 30° gegenüber der Horizontalen geneigte Flächen integriert (Abb. 13). Sie sind zur Anbringung der Kameras gedacht, nachdem hier in der Nachbearbeitung die entsprechende Linsenfläche ausgetrennt wurde.

Damit die Motoraufnahme bei der Montage in das Motorheck optimal eingeklebt werden kann und Schutz gegen Wasser verspricht, sind die letzten 10 mm des Hecks leicht trichterförmig öffnend gestaltet. (Abb. 13 links)

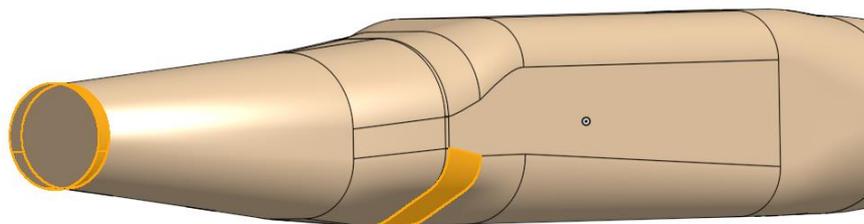


Abbildung 13: Gestaltung der Kameraschräge und Motormount-Aufnahme

Seitenleitwerk

Da es sich mit den ausgewählten Laminier-Techniken anbot, das Seitenleitwerk zusammen mit dem Rumpf zu laminieren, muss dieses auch im CAD-Urmodell und damit auch in den Formhälften vorhanden sein.

Dazu werden zwei Profile mithilfe des Plugins „Profile Generator“ generiert und über den Loftbefehl der Körper erstellt. Dieses Plugin erfordert zur Platzierung des Profils eine Ausrichtungsfläche und zwei Punkte (bzw. hier Linie in Skizze), zwischen denen das Profil aufgespannt werden kann. Dazu können noch weitere Parameter zur Beeinflussung der Krümmung und Abrundung verändert werden. Die verwendeten Parameter sind in Abb. 14 sichtbar.

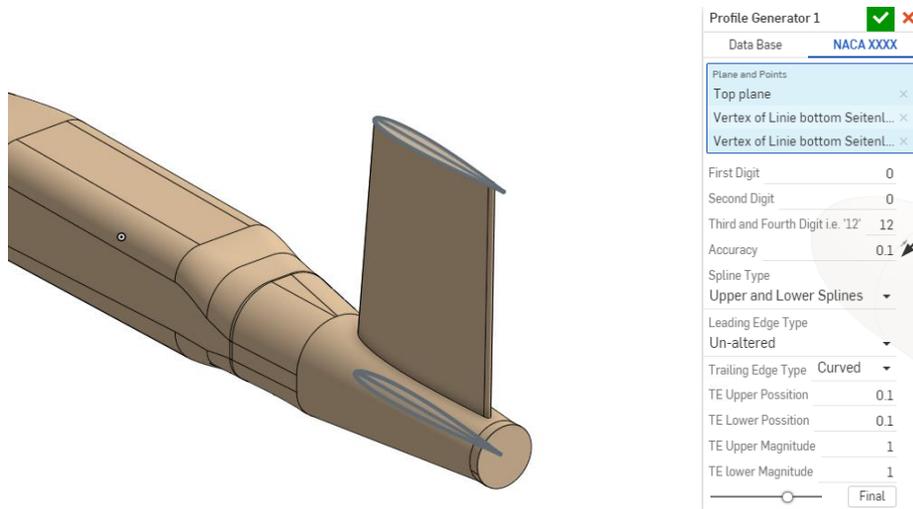


Abbildung 14: Erstellung und Parameter des Seitenleitwerks

Die erstellten Körper wurden nun miteinander verbunden und am Übergang eine Abrundung erstellt, um diese Kante laminiergerecht zu gestalten und einen besseren Kraftfluss im Belastungsfall zu ermöglichen.

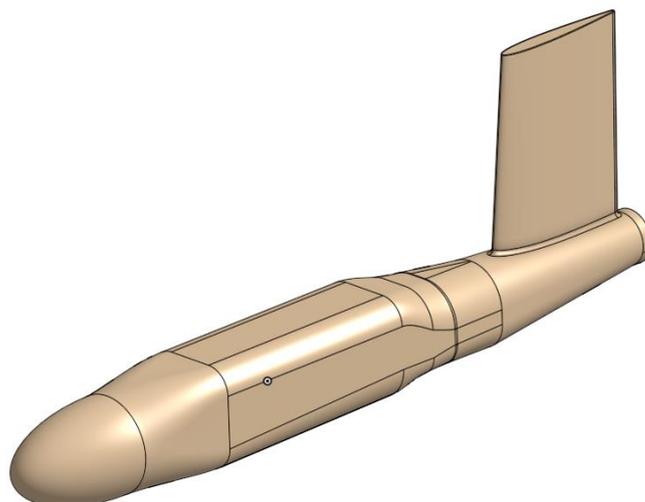


Abbildung 15: Zwischenstand Rumpfkörper

Aussparung Tragfläche

Die Tragflächen werden voraussichtlich zu einem späteren Zeitpunkt erstellt und bestehen planmäßig nur aus einem Teil, welches auf dem Drohnenrumpf montiert werden kann. Die Tragflächen sollen leicht in den Rumpf eingesenkt werden, um eine gute schraubbare Verbindung zu ermöglichen.

Hierzu wird das Tragflächenprofil mithilfe des Profil-Generators erzeugt und per Extrusion vom Grundkörper abgezogen. Die Profilparameter wurden auch wieder angepasst (Abb. 17).

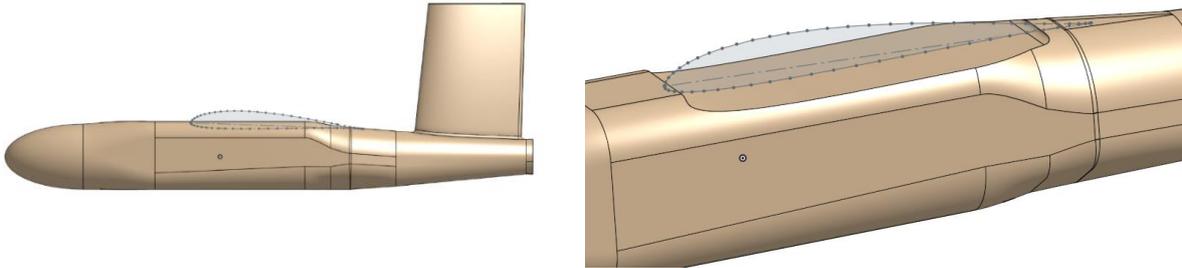


Abbildung 16: Erzeugung der Tragflächenaussparung

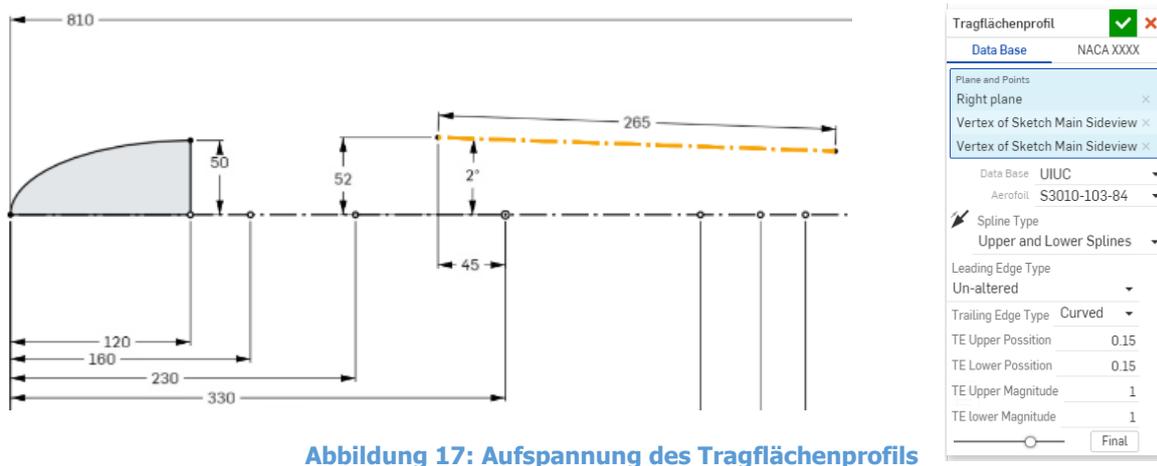


Abbildung 17: Aufspannung des Tragflächenprofils

Abschließend wurden die entstandenen scharfen Kanten mit einem Radius verrundet, um die Laminierbarkeit zu gewährleisten.

Formhälften

Die Negativformwerkzeuge sollen aus Blockmaterial gefräst werden. Voraussichtlich gibt es dabei eine Beschränkung auf drei translatorische Achsen der Fräse, weshalb die Formen keine Hinterschneidungen enthalten dürfen.

Zur Erstellung der Formhälften werden zwei Blöcke mit den Maßen 1000x250x75 mm extrudiert. Beide Blöcke berühren mit einer Hauptfläche die vertikale Mitte des Rumpfes.

Daraufhin kann der zuvor erstellte Rumpfkörper von den Blöcken mithilfe der Boolean-Funktion abgezogen werden

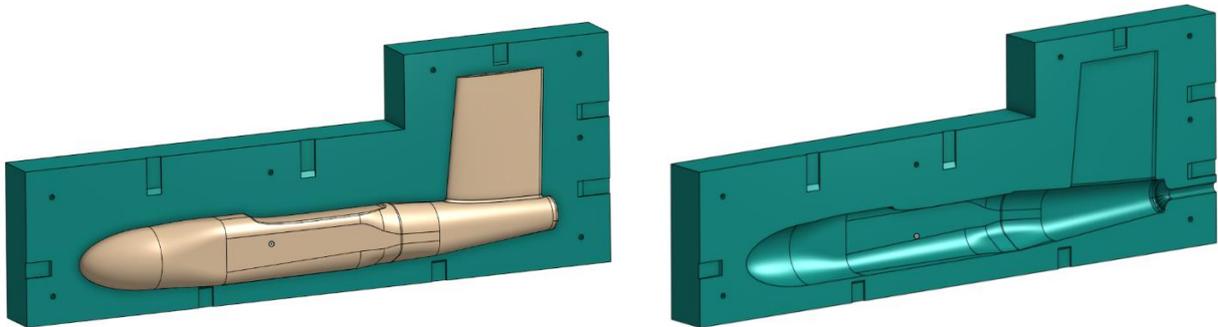


Abbildung 18: Erzeugte Formhälfte und das Urmodell

Da die Formwerkzeuge später eine wichtige Rolle im Laminier-Prozess haben, werden sie noch um eine Zentriermöglichkeit und Entformungshilfen ergänzt. Die Bohrungen der linken und rechten Formhälfte haben unterschiedliche Tiefen und sollen später Zentrierstifte und die passenden Hülsen aufnehmen. Damit die Negative nach dem Laminieren wieder gut voneinander getrennt werden können, werden rechteckige Öffnungen (s. Abb. 19) am Trennspace vorgesehen. Diese werden durch keilförmige Vertiefungen in den Hälften (s. Abb. 18) realisiert und sind dimensioniert für ein Stemmeisen entsprechender Größe. Dazu kann auch ein Entformungskeil, wie in der Abb. 19 auf der rechten Seite zu sehen ist, eingesetzt werden.

Entformungskeil rot (40 x 20 mm)

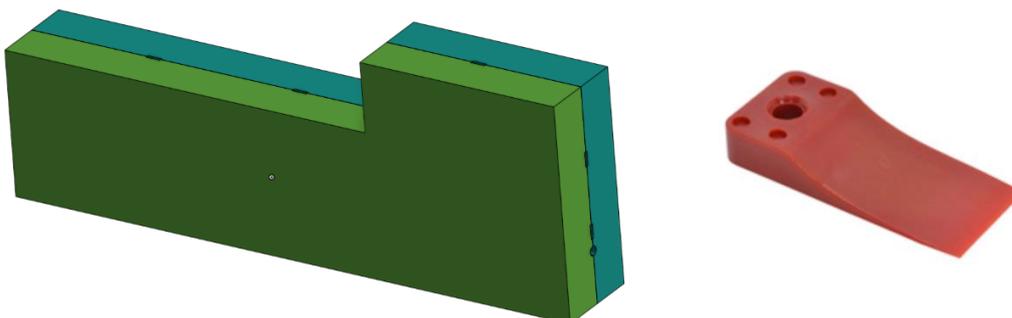


Abbildung 19: Öffnungen in der Trennfuge und Entformungskeil

Es wurden zwei Laminier Techniken ausgewählt, um einen Prototyp zu laminieren, wobei primär die Eignung des Schlauchblasverfahrens getestet und falls nötig auf die Vakuumtechnik zurückgegriffen werden soll. Beide Techniken werden später genauer erläutert.

Beim Formenbau ist dabei zu beachten, dass für das Schlauchblasverfahren eine Lanze zur Positionierung und Druckbeaufschlagung des Luftballons in die Form eingeführt sein muss. Hierfür wurde eine Öffnung mit starker Verrundung in der Form am Heckbereich eingeführt, wie in Abb. 20 zu sehen ist.

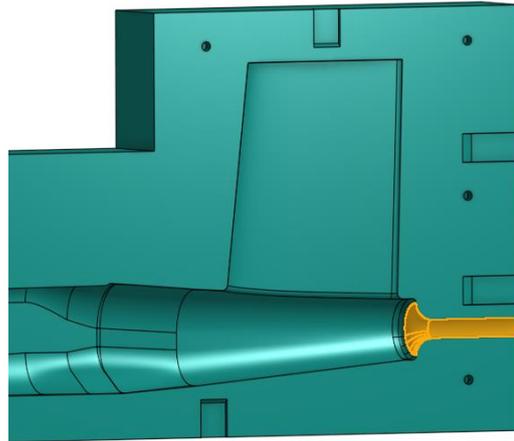


Abbildung 20: Lanzenöffnung

Um die Fräsparameter, welche bei der Herstellung der Formwerkzeuge genutzt werden, vorab an einem kleineren Werkstück zu testen, wurde ein Testblock mit den wichtigsten Konturen der großen Formen erstellt. Dieser ist ebenfalls in der OnShape Bibliothek im Dokument „SearchWing Faserrumpf“ im Reiter Frätestest zu finden.

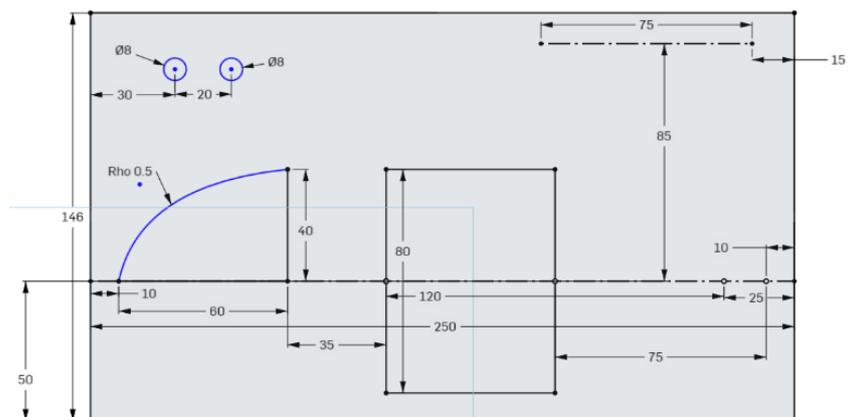
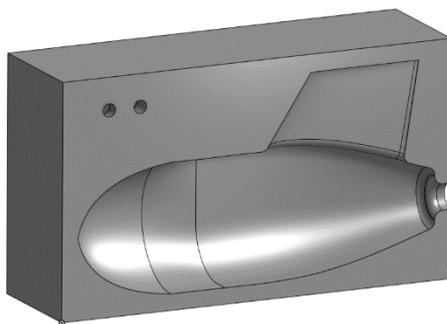


Abbildung 21: Frätestest Bauteil und Skizze

5. Fertigung

5.1 Überblick

Nachdem das CAD-Modell des Urmodells und der Formwerkzeuge erstellt sind, soll nun die Fertigung eines ersten GFK-Rumpfprototyps folgen. Hierfür sind folgende Schritte notwendig:

1. Fertigung Negativ-Formhälften
 - a. Vorbereitung der Halbzeuge
 - b. Planung des Fräsauftrags mit der Software DeskProto
 - c. Durchführung Fräsen
 - d. Vorbereitung für Laminieren
2. Laminieren
 - a. Fertigung mithilfe des Schlauchblasverfahrens
 - b. Alternative: Vakuum-Verfahren
 - c. Nachbearbeitung des Rumpfs

5.2 Fertigung Negativ-Formhälften

5.2.1 Halbzeuge

Als Halbzeug wird ein Block mit den Maßen 1000x250x75 mm mit der Materialbezeichnung RAKU-TOOL MB-0600 der Firma Rampf verwendet. Aus diesem sollen die im CAD erstellten Formwerkzeuge an der Holzwerkstatt der Hochschule Augsburg gefräst werden. Alternativ wäre eine Fertigung der Form auch durch Laminieren von Glasfaser denkbar, allerdings können durch das Fräsen die Fertigung eines Urmodells und des Formrahmens ausgelassen werden. Die Formwerkzeuge werden somit direkt gefertigt, wobei das Blockmaterial auch etwas teurer ist.



Abbildung 22: Lieferung des Blockmaterials MB-0600

Der Block mit den oben beschriebenen Maßen muss vor dem Fräsen noch erweitert werden, damit auch das hohe Seitenleitwerk mitlaminiert werden kann. Hierzu wird ein weiterer kleiner Block mit den Maßen 350x120x75 mm jeweils an die großen Blöcke entsprechend Abb. 23 geklebt.

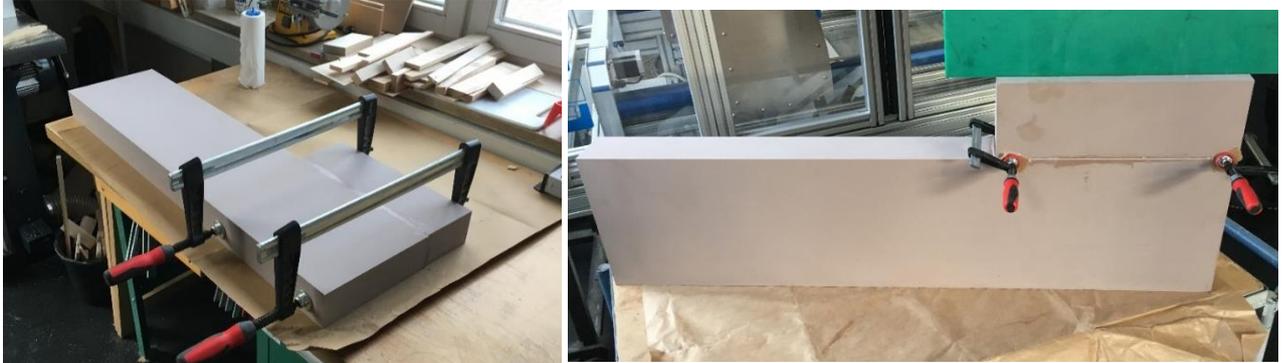


Abbildung 23: Erweiterung der Blockmaße

5.2.2 Fräsen

DeskProto-Software

Die DeskProto Software ist ein Programm, mit welchem Fräsprogramme erstellt werden können. Dazu wird das CAD-Modell als STL Datei heruntergeladen und anschließend in das Programm eingefügt. Um manche Stellen des Modells exakt zu Fräsen, werden zudem in Onshape Skizzen der Bereiche (Löcher) erstellt und diese als Vektor-Datei in DeskProto eingefügt.

Zum Erstellen des Fräsprogramms werden nun 3D oder 2D Jobs eingefügt. 3D Jobs werden verwendet, um mit einer einstellbaren Strategie das komplette Modell zu fräsen. Es gibt acht unterschiedliche Strategien um das Modell mit einen 3D Job zu Fräsen. In der Beschreibung unseres Materials wurden zwei Strategien vorgeschlagen. Zum Schruppen (grobe Vorarbeit) wurde „Volumenschruppen konturfolgend“ empfohlen. Dies kann in DeskProto mit der Strategie Z-Konstant realisiert werden. Dafür wird im Programm ein Z-Wert eingegeben, welcher den Abstand der Z-Ebenen vorgibt. Das Programm folgt anschließend der Kontur des Modells und fräst in den eingestellten Abständen Schritt für Schritt (z.B. 2mm) das Modell grob vor. Hierfür wird ein Vorschub von 8000 mm/min (maximum der Fräse) und eine Drehzahl von 14500 U/min eingestellt. Die maximale Zustellung des 8mm Fräasers beträgt beim Schruppen axial 8mm und radial 4mm. Nach dem Schruppen wird das Modell geschlichtet. Dazu bleiben der Vorschub und die Drehzahl unverändert. Es wird wiederum der 8mm Fräser verwendet, bei diesen wird zum Schlichten axial 0,8mm und radial 0,08mm als maximale Zustellung empfohlen. Als Bearbeitungsstrategie wird „Zick-Zack Flächenfräsen“ vorgeschlagen, dies wird in DeskProto mit der Strategie „Überkreuzt“ erreicht. Dabei wird das Modell zunächst in X-Richtung mit der voreingestellten Zustellung gefräst und anschließend in Y-Richtung.

Ein 2D Job in DeskProto wird mit der Vektor-Datei aus OnShape erstellt. In unserem Modell wurden die Löcher zur exakten Positionierung der Formen mit diesem Job bearbeitet. Hierfür werden dieselben Schnittwerte (Vorschub, Drehzahl) wie beim Schruppen/Schlichten verwendet. Die exportierten Vektor-Dateien werden im 2D-Job ausgewählt und anschließend muss nur noch die Tiefe (Z-Wert) des Jobs eingestellt werden.

Ein erster Fräsversuch hat ergeben, dass diese Strategien ein gutes Ergebnis erzielen. Doch die angegebene Zeit des Fräsens stimmt nicht mit der errechneten Zeit aus DeskProto überein.

Die gewählten Strategien waren:

- Schruppen: Z-Konstant, Abstand der Ebenen 2mm
- Schlichten 1: Z-Konstant, Abstand der Ebenen 0,06mm
- Schlichten 2: Überkreuzt, Bahnabstand 0,06mm

Weitere Informationen zum gefrästen Testteil sind in dieser Videodokumentation zu finden:

<https://youtu.be/RTPPZxAvHSE>

5.2.3 Weitere Bearbeitung

Oberflächenbehandlung

Das für die Formen verwendete Material Raku-Tool MB-0600 ist nach der Fräsbearbeitung an der Oberfläche leicht porös. Damit sich während des Laminiervorgangs kein Matrixwerkstoff mit dem Formmaterial verbindet, muss der gefräste Block also mit einer Versiegelung behandelt werden. Dieser Versiegler wird einmalig in ein oder mehreren Schichten aufgetragen und härtet aus. Zusätzlich muss dann noch vor jedem Laminiervorgang ein Trennwachs auf die Innenflächen der Formen aufgetragen werden, um die Entformung des Fertigteils zu ermöglichen.

Für diese Beschichtungen werden vermutlich die beiden Produkte in Abb. 24 des Herstellers Mikon verwendet.



Abbildung 24: Versiegelung und Trennwachs

Zentrierungen

Um die Formwerkzeuge fertigzustellen, fehlt nun noch ein Hilfsmittel, das die beiden Hälften beim Zusammenfügen exakt positioniert und ein Gleiten der Fügeflächen unter Druck verhindert. Dabei fiel die Wahl auf mehrere Passdübel mit zugspitzten Zentrierstiften. Ein Passdübel besteht aus einer Hülse, welche in der einen Formhälfte 8,2 mm tief eingesetzt wird und einem zylindrischen Zapfenteil, welcher mit der Buchse vereint 20,45 mm misst und in die andere Formhälfte eingefügt wird. Durch die konische Form des Zapfens, muss die Formhälfte anfangs nicht perfekt positioniert sein und zentriert sich durch das Zusammenpressen selbst.

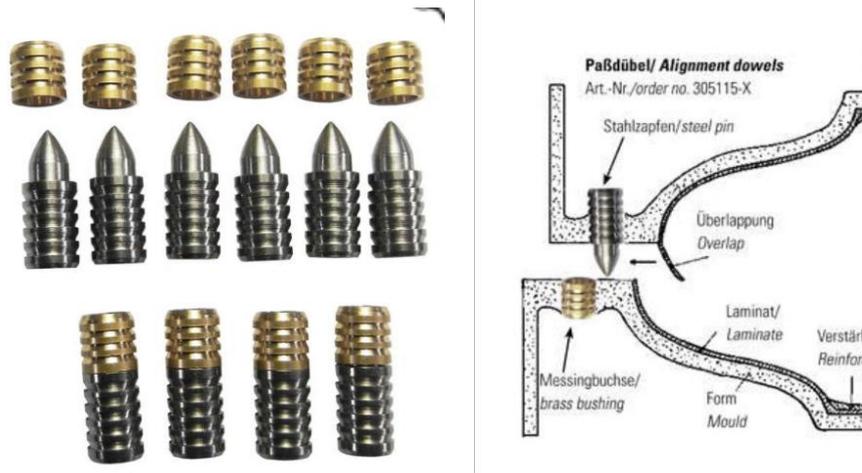


Abbildung 25: Paßdübel zur Zentrierung

5.3 Laminieren

Für die Durchführung des Laminierens wird das Handlaminierverfahren verwendet. Zum Fügen der Rumpfhälften stehen zur Zeit der Verfassung des Berichts zwei Verfahren in der engeren Auswahl: Das Schlauchblasverfahren oder mittels Vakuumverfahren und anschließender Nachbearbeitung.

Dabei wurde die Entscheidung getroffen, zuerst das Schlauchblasverfahren aufgrund des geringeren Nachbearbeitungsaufwands auszuprobieren und falls dabei Komplikationen auftreten, auf das Vakuum-Verfahren umzuschwenken. Die Formwerkzeuge sind für beide Verfahren einsetzbar.

Der primäre Unterschied der beiden Verfahren ist das Fügen der beiden laminierten Rumpfhälften. Während beim ersten Verfahren bei noch nicht vollständig gehärtetem Matrixwerkstoff gefügt wird, geschieht dies beim zweiten Verfahren erst in der Nachbearbeitung.

5.3.1 Handlaminieren

Das Handlaminieren ist das älteste, einfachste und am weitesten verbreiteten Verfahren. Es genügen minimale technische Voraussetzungen, weshalb es hauptsächlich für kleinere Serien, einfache Bauteilgeometrien und für den Formenbau angewandt wird. Bei Verwendung von Formharzen lassen sich hohe Oberflächengüten erreichen. Die Aushärtung erfolgt oft drucklos bei Raumtemperatur. Erhöhte Temperaturen bei der Aushärtung sind nur dann erforderlich, wenn die Formen und Bauteile später einer höheren Wärmebelastung ausgesetzt sind ($> \text{ca. } 60^\circ\text{C}$).

Arbeitsschritte:

1. Auftragen eines Trennmittels auf die Formoberfläche
2. Einstreichen oder -spritzen einer Deckschicht auf Epoxyd- oder Polyesterbasis
3. Nach dem Angelieren der Deckschicht werden die nachfolgenden Gewebelagen schichtweise Nass-in-Nass aufgebracht.
4. Den Abschluss bildet oft ein Abreißgewebe. Das aus Nylonfasern bestehende Gewebe lässt sich nach dem Aushärten des Harzes abschälen und erzeugt dabei eine definiert raue, saubere und klebfreie Oberfläche zur weiteren Verarbeitung
5. Die Aushärtung der Laminare erfolgt meist drucklos bei Raumtemperatur. Lediglich bei optimierten Leichtbauteilen, vor allem Sandwichbauteilen mit einem leichten Kern aus Schaum oder Waben, wird im Vakuum unter Druck gehärtet. Bestimmte Harzsysteme, vor allem Harze für den Flugzeugbau, benötigen zur optimalen Durchhärtung höhere Temperaturen. Die Bauteile werden entweder in der Form oder nach dem Entformen zusätzlich temperiert. Die hierfür erforderlichen Temperaturen liegen, je nach Harzsystem, meist bei $50\text{-}230^\circ\text{C}$. Dies ist in unserem Fall nicht erforderlich.
6. Nach der vollständigen Durchhärtung der Teile erfolgt die weitere Bearbeitung, z.B. durch Besäumen, Schleifen, Kleben.

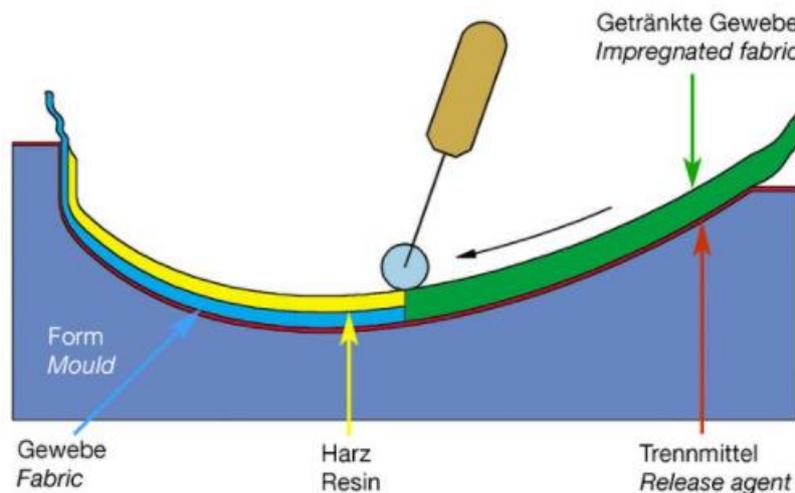


Abbildung 26: Prinzipskizze Handlaminieren

Merkmale des Handlaminierverfahrens:

- Geringer Werkzeugaufwand
- Geringe Investitionskosten
- Für kleine und mittlere Serien bis ca. 1000 Stück gut geeignet
- Lohnintensiv, da überwiegend Handarbeit

Vgl. [6]

Das Handlaminieren wird mit Sicherheit angewendet, die folgenden Verfahren ergänzen diese Methode.

5.3.2 Fertigung mithilfe des Schlauchblasverfahrens

Dieses Verfahren eignet sich, um die Rumpfhälften noch vor der Aushärtung nass-in-nass zu fügen und eine hohe Nahtqualität zu erreichen. Hierfür müssen ein paar der Schritte beim Handlaminieren ergänzt werden.

1. Das GFK-Gewebe möglichst auf einer ebenen Fläche mithilfe einer Kelle oder einem Roller mit dem Epoxidharz durchtränken.
2. Die durchtränkte Matte wird in die Formhälfte eingelegt und vollständig angedrückt, sodass sie die Formkontur annimmt. Möglicherweise sind zusätzliche kleine Gewebeabschnitte erforderlich, um die komplette Rumpfform nachzubilden.
3. Nachdem die erste Hälfte laminiert ist, wird das Gewebe bündig zur Formfügefläche abgeschnitten und die Laminierung der zweiten Hälfte kann beginnen. Hier wird das Gewebe diesmal mit einem Überstand von 10-20 mm abgetrennt.
4. Um später das Rumpfinnere mit einer leichten Druckbeaufschlagung zu versehen, sollte jetzt eine Lanze mit länglichem Ballon in einer Formhälfte ausgelegt werden. Dabei muss der Druck später möglichst gleichmäßig verteilt sein und besonders die Fügekanten erreichen.
5. Nun wird das überlappende Gewebe der einen Form mit dem Matrixwerkstoff benetzt und leicht nach innen gebogen, um besser in die andere Rumpfhälfte gleiten zu können. Die Formhälften werden jetzt zusammengefügt und es sollte mithilfe von Zentrierungen und Schraubzwingen keine relative Bewegung mehr möglich sein. Diesem Schritt gilt besondere Sorgfalt, da ein sauberes Fügen essenziell für die Wasserdichtigkeit des Rumpfes im Einsatz sein wird.
6. Zuletzt wird noch der Ballon mit einem geringen Druck beaufschlagt, um das überlappende Gewebe anzupressen. Der Faserverbund darf nun vollständig aushärten.

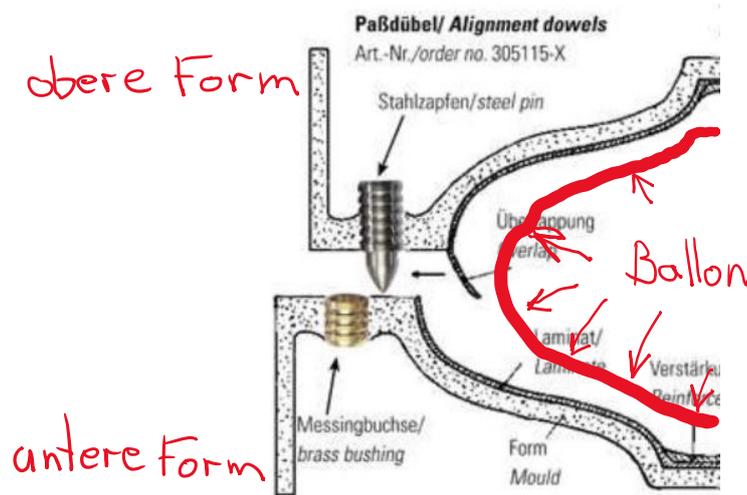


Abbildung 27: Prinzipskizze Schlauchblasverfahren

Dieses Verfahren wird häufig im Flugzeugmodellbau angewandt und ermöglicht das Fertigen eines Rumpfes in einem Stück. Zur Veranschaulichung dieses Verfahrens existieren einige Videos vom Rumpfbau im Internet.

<https://www.youtube.com/watch?v=BLXODw9kSHw&feature=youtu.be>

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

5.3.3 Laminieren Vakuumtechnik

Beim Vakuumpressen wird das zuvor handlamierte Bauteil mit der Form in einen Foliensack geschoben. Durch Absaugen der Luft presst sich die Folie auf das Laminat und drückt es gegen die Form. Der maximal erreichbare Druck ist der Umgebungsluftdruck und beträgt ca. 1bar.

Das Vakuumpressen wird vor allem angewandt, um:

- den Faseranteil des Laminates zu erhöhen, also um überschüssiges Harz herauszudrücken
- leichte Stützstoffe wie z.B. Hartschäume oder Aramidwaben mit hochfesten Deckschichten aus Harz und Geweben oder Gelege zu verkleben und so ein extrem leichtes und beulsteifes Bauteil herzustellen.

Um diese Ergebnisse zu erzielen, muss das Bauteil mit gleichmäßigem Druck gepresst werden. Dazu wird das Laminat zunächst mit Abreißgewebe und einer nichthaftenden Lochfolie abgedeckt. Darauf wird ein luftdurchlässiges Vlies gelegt, das die Aufgabe hat, das Vakuum gleichmäßig zu verteilen und überschüssiges Harz aus dem Laminat aufzusaugen. So

wird ein hoher und gleichmäßiger Fasergehalt im Bauteil erzielt.

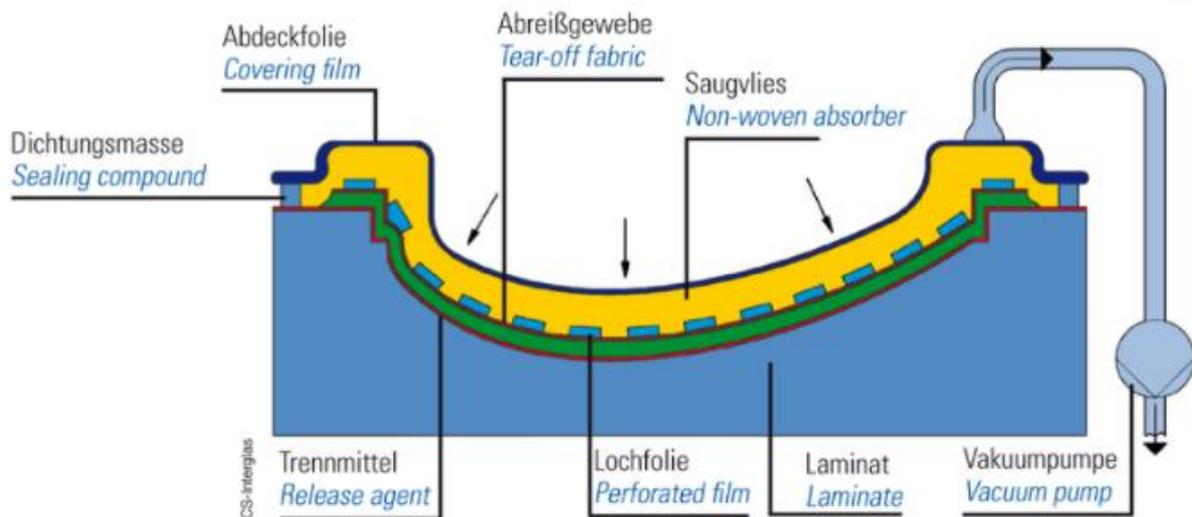


Abbildung 28: Prinzipskizze Vakuumpressen

Die Formen werden beim Vakuumpressen nicht besonders hoch belastet, sodass sie relativ leicht aufgebaut sein können. Die Aushärtung erfolgt meist bei Raumtemperatur. Eine anschließende Temperierung der Bauteile ist, wie schon beim Handlaminieren, noch in der Form oder nach dem Entformen möglich.

Vgl. [6]

6. Ausblick

Zu Beginn des Projekts im Rahmen der Systems Engineering 2 Vorlesung war neben dem Konzeptentwurf auch die Durchführung des Prototypenbaus geplant. Das Vorhaben gestaltete sich jedoch arbeitsintensiver als Anfangs gedacht und durch die zu der Zeit geltenden COVID-19-Maßnahmen wurde die Durchführung weiter erschwert. Somit konnte lediglich ein Testteil gefräst werden, bevor die Hochschule geschlossen und der Bericht abgegeben wurde.

Das Fräsen der entworfenen Negativformhälften wird vermutlich Anfang des Jahres 2021 durchgeführt werden und das Laminieren kann aus zeitlichen Gründen frühestens ab Februar 2021 erfolgen.

7. Quellennachweise

[1] SearchWing Website – Team/Über uns: <https://www.hs-augsburg.de/searchwing/de/team-uber-uns/>

Zuletzt abgerufen am 20.12.2020

[2] Herbert Funke, Systematische Entwicklung von Ultra-Leichtbaukonstruktionen in Faserverbund-Wabensandwichbauweise am Beispiel eines Kleinflugzeuges, Dissertation, 2001, https://www.r-g.de/w/images/9/99/Dissertation_von_Herbert_Funke.pdf, abgerufen am 29.10.2020

[3] Frank Henning, Handbuch Leichtbau – Methoden, Werkstoffe, Fertigung, 2. Auflage, Hanser Verlag 2020

[4] AVK – Industrievereinigung Verstärkter Kunststoffe e.V., Handbuch Faserverstärkter Kunststoffe, 4. Auflage, Springer Verlag 2014

[5] H. W. Bergmann, Konstruktionsgrundlagen für Faserverbundbauteile, Springer Verlag 1992

[6] r-g Website – Wiki/Hauptseite: <https://www.r-g.de/wiki/Hauptseite>

Zuletzt abgerufen am 27.12.2020

Dieser Bericht und die darin enthaltenen Projektergebnisse dürfen für weitere Forschungen genutzt und von der Organisation SearchWing veröffentlicht werden.

Dieser Bericht wurde angefertigt von

Stefan Laimer

Maximilian Schäferle

Augsburg, 09.01.2021