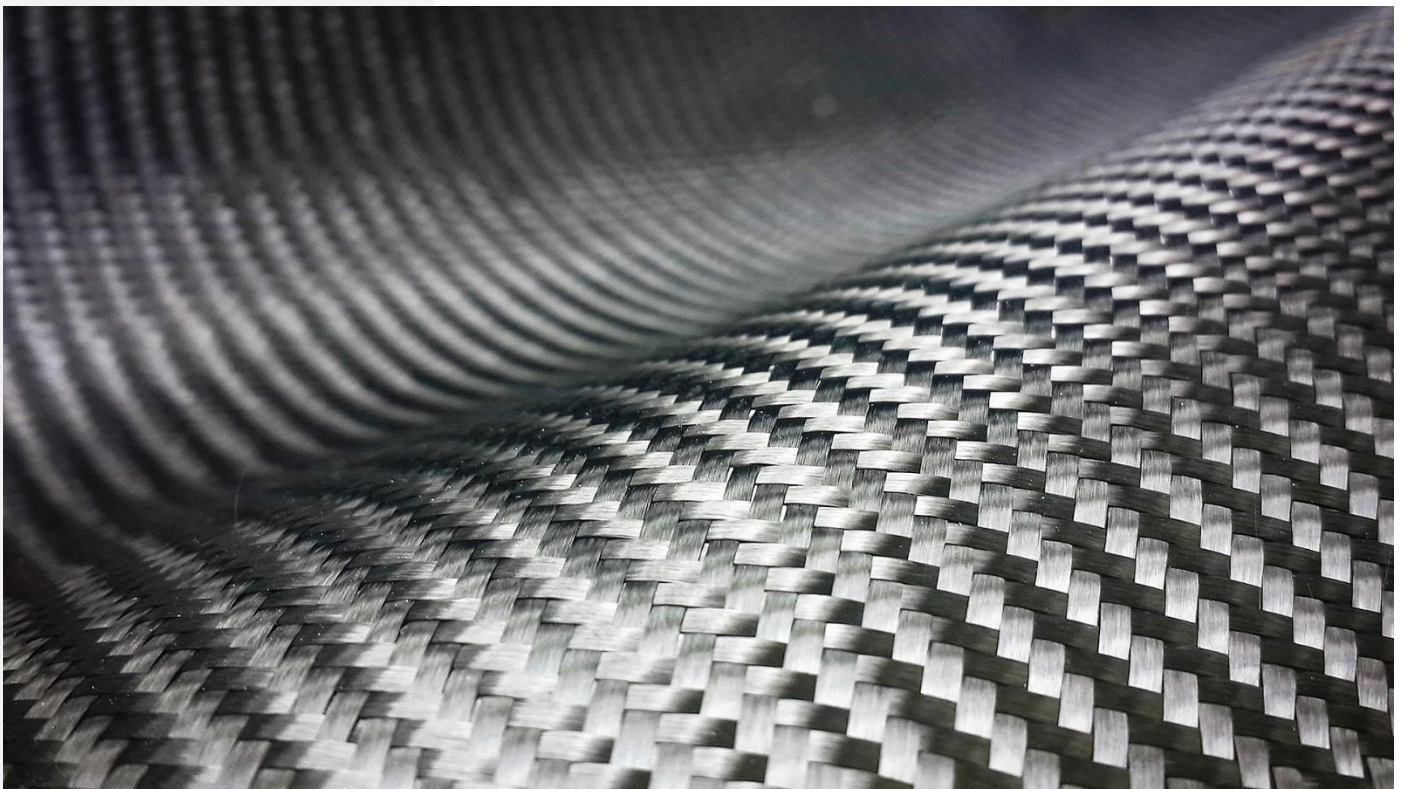


# Leichtbau & Faserverbundwerkstoffe

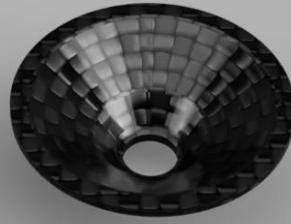
2022-2025



Portfolio  
**David** Scheidt

2022

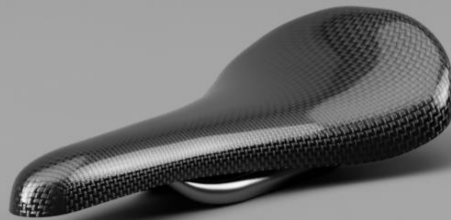
01



Top Cap

2022-2024

02



Sattel

2024 - jetzt

03



Flaschenhalter

2025 - jetzt

04



Aero Bars



Neben meinem Studium des Bauingenieurwesens habe ich über die Kombination meiner Hobbys 3D-Druck und Rennradfahren meine Leidenschaft für Faserverbundwerkstoffe entdeckt.

Durch die Teilnahme an Kursen des Lehrstuhls für Carbon Composites sowie des Lehrstuhls für Leichtbau und Produktentwicklung habe ich mir ein fundiertes Verständnis der klassischen Laminattheorie, wichtiger Versagenskriterien (z. B. Tsai-Wu, Hashin) sowie konstruktiver Ansätze und methodischer Vorgehensweisen angeeignet. Dieses Wissen konnte ich anschließend im Rahmen mehrerer Praktika an beiden Lehrstühlen vertiefen und durch die praktische Umsetzung weiter festigen.

Basierend auf meinen Erfahrungen im konstruktiven Ingenieurbau, insbesondere im Brückenbau, konnte ich so mein Fachwissen sowohl theoretisch als auch praktisch über meine Vertiefungsrichtung hinaus gezielt erweitern.

Dieses Portfolio gibt einen Einblick in eine Auswahl meiner Projekte, von meinen ersten Schritten im Bereich der Faserverbundwerkstoffe (01 Top Cap) bis hin zu aktuellen Arbeiten (03 Bottle Cage, 04 Aero Bars). Es zeigt meine Motivation, meinen Fortschritt und meine Begeisterung für innovative Leichtbaukonzepte und vermittelt zugleich einen Überblick über meinen aktuellen Wissensstand.

David Schlecht

<b>Außerfachliche Studienfächer</b>	<b>Schwerpunkte</b>	<b>Arbeitsaufwand</b>	<b>Note</b>
Fertigungstechnologien für Composite-Bauteile	Konzeptionierung, Entwurf und Bau von Sportgeräten (Surfboard, Sattel, Hockey Stick)	4-Ects (120 Stunden)	1,0
Auslegung und Bauweisen von Composite Strukturen	Klassisch Laminattheorie Bruchkriterien (Tsai-Wu, Puck, Hashin) Sandwich Strukturen Klebe- & Schraubverbindungen	5-Ects (150 Stunden)	1,0
Leichtbau	Plattentheorie, Fachwerkstrukturen, Strukturoptimierung	5-Ects (150 Stunden)	2,3
Fertigungsverfahren für Composite-Bauteile	VARI, V-RTM, RTM, Flechten Matrix Verarbeitung, Gewebearten	5-Ects (150 Stunden)	2,0
Praktikum Faserverbundwerkstoffe	Optimierung eines 50cm langen Trägers für einen 3-Punkt Biegeversuch; Maximalgewicht 250g	4-Ects (120 Stunden)	1,7
Einführung in die Werkstoffe und Fertigungstechnologien von Carbon Composites	Grundlagen zu Materialeigenschaften, Gewebearten, Matrix-Systemen & Verarbeitungstechnologien	5-Ects (150 Stunden)	1,7
Material Modelling	Strukturmechanische Grundlagen für Verbundwerkstoffe & Wabenstrukturen und Schaumstoffe	3-Ects (90 Stunden)	2,3



# 01 Top Cap

Da die Vorbaukappe eines Fahrrads ausschließlich zur Vorspannung der Lager im Steuersatz dient und keine hohen strukturellen Anforderungen erfüllen muss, bot sie sich als ideales Einstiegsprojekt in den Bereich Verbundwerkstoffe an.

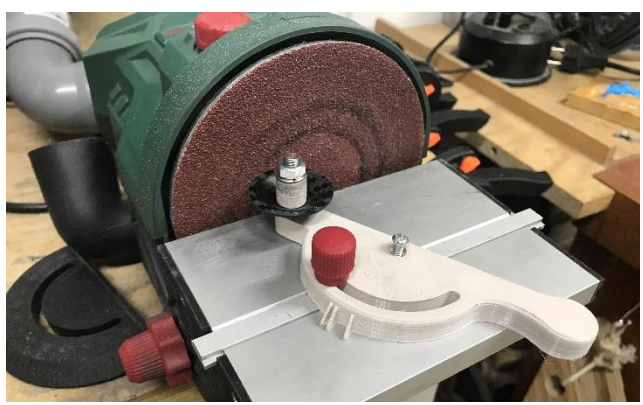
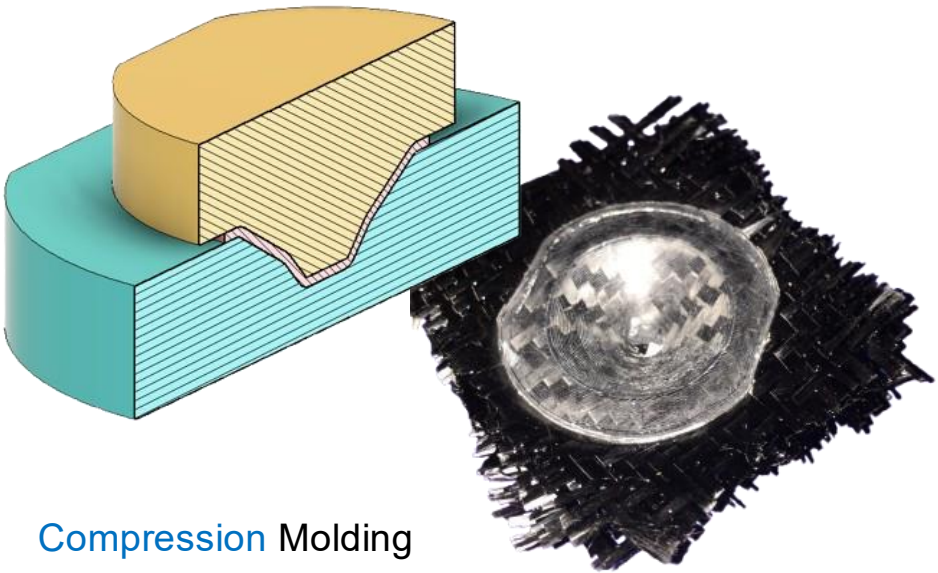
Die erste Version wurde im „Wet-Layup“-Verfahren gefertigt, erwies sich jedoch aufgrund kleiner Radien und schwacher Vakuum-Erzeugung als nicht praktikabel. In der nächsten Iteration kam daher „Compression-Molding“ zum Einsatz. Mithilfe eines PVA-basierten Trennmittels konnten so neben einer deutlich besseren Oberflächenqualität auch eine höhere Maßhaltigkeit erzielt werden (vgl. Bild 2).

Durch Tests verschiedener Laminat Aufbauten wurde ein Lay-Up bestehend aus acht einzelnen Lagen (45 / 0 / -45 / 0)s entwickelt, das die durch die Vorbauschaube aufgebrachten Kräfte von bis zu 5 Nm zuverlässig überträgt.

Für die finale Bearbeitung wurden eine Bohrschablone und eine Schleifvorrichtung (siehe Bild 3) eingesetzt, die reproduzierbare Ergebnisse und eine präzise Nachbearbeitung ermöglichen.

Gegenüber einer vergleichbaren Aluminium-Ahead-Kappe konnte so etwa 7 g Gewicht eingespart werden.

Gewicht	1,88 g
Lagenaufbau	(45 / 0 / -45 / 0) <sub>s</sub>
Kosten	Ca. 40 €
Ersparnis	9 g / 79 %
Arbeitszeit	Ca. 15 h



Auswahl verschiedener Vorbau-Kappen Iterationen (1. links; 5. unten rechts)





# 02 Sattel

Ziel dieses Projekts war es, mein Rennrad auf unter 5 kg Gesamtgewicht zu optimieren. Das größte Einsparpotenzial lag in der bisherigen Kombination aus Sattel (Fizik Antares) und Stütze (Thomson Elite) mit 254 g.

Als Referenz hinsichtlich optimalem Gewicht diente der Tune Komm-Vor Sattel, welcher vom Hersteller mit einem Gewicht von nur 90 g angegeben wird. Auf Basis von Ansichts- und Draufsichten aus dem Internet wurde dieser in Fusion 360 mithilfe von Freiformflächen detailgetreu nachmodelliert.

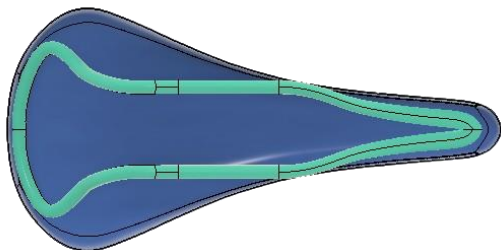
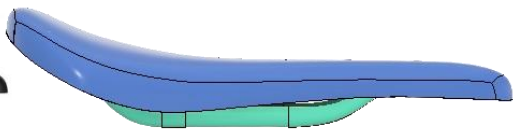
Da der Sattel als maßgeschneiderte Lösung für meine Anforderungen konzipiert war, entstand früh die Idee, die Sattelschale fest mit der Sattelstütze zu verbinden. Zwar entfällt dadurch die Möglichkeit, Winkel und Abstand zum Lenker individuell einzustellen, jedoch ist dies bei meiner bereits bekannten Sitzposition unkritisch. So entstand das Konzept einer integrierten Sattel-Stützen-Einheit.

Für die konstruktive Umsetzung diente der Aufbau eines Flugzeugflügels als Vorbild: Eine innere Struktur aus Spanten und Rippen wird dabei von einer tragenden Schale umschlossen. Ein Steg unterhalb der Sattelschale kann simultan als Anbindung an die Sattelstütze und Abrag der Lasten aus der Sattelschale verwendet werden. Hierfür wird die Stütze selbst geschlitzt und der Steg anschließend eingeklebt.



Tune Komm-Vor

CAD-Model

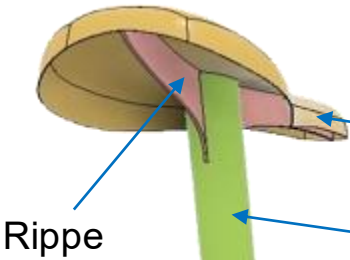
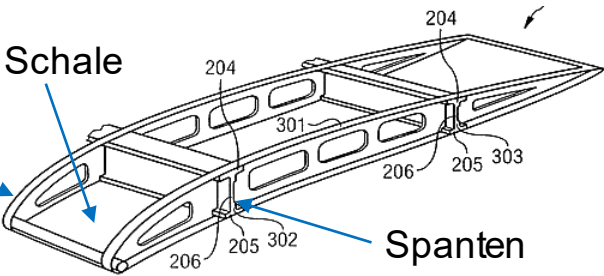


Flügel Querschnitt

Schale

Rippe

Spanten



Sattelschale

Sattelstütze

Rahmen Modell



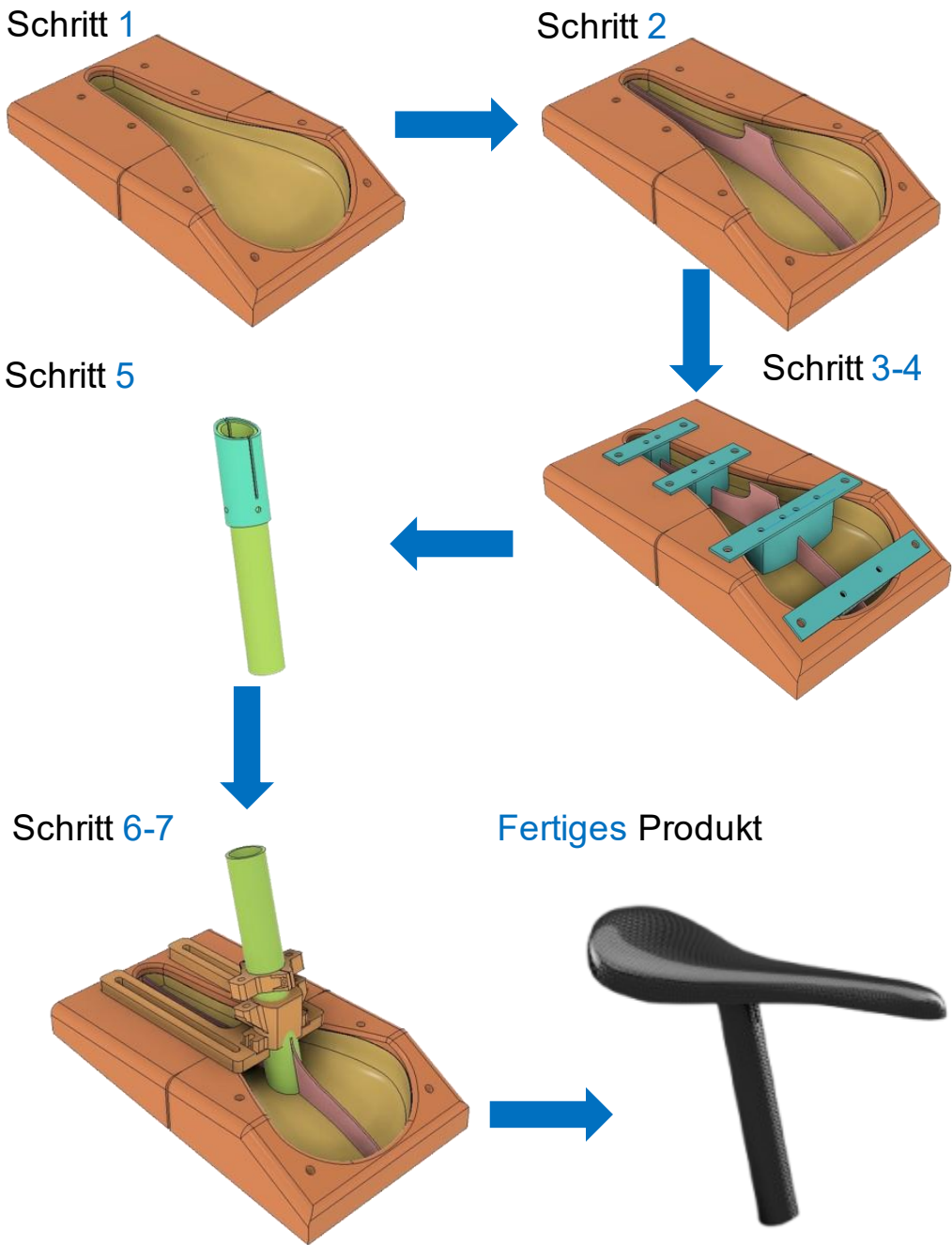
Um einen positionsgenauen Zusammenbau zu garantieren, wurde zunächst die aktuelle Position des Fahrers auf einen originalen Tune-Sattel adaptiert und mit Hilfe eines Lasersystems vermessen. Anhand der Abstände relativ zum Rahmen und der Geometrietabelle des Rahmens konnten die absoluten Maße ermittelt werden.

Mithilfe dieser Daten wurde anschließend das CAD-Modell finalisiert und modulare Lehren zum Verkleben der Rippe und der Sattelstütze entworfen. Durch die modulare Gestaltung der Klebelehren ist es zukünftig möglich, den Winkel und Abstand der Sattelstütze zur Sattelaußenkante benutzerdefiniert und parametrisch im CAD-Modell zu adaptieren. Das System bleibt somit auch für andere Fahrer individualisierbar.

Der Produktionsablauf ergibt sich abschließend wie folgt:

1. Sattelschale über Harzinfusion herstellen (45 / -45 / 0 / -45 / 45)
2. Zuschnitt der Sattelschale und der Rippe (1,8 mm CFK- Plattenmaterial; CNC gesteuerter Zuschnitt)
3. Verklebung der Rippe
4. Verstärkung der Rippe an der Klebung (Fillet)
5. Schlitzen der Sattelstütze
6. Verkleben der Sattelstütze
7. Verstärkung zwischen Rippe, Sattelstütze und Schale (Wet-Layup)

Gewicht	131 g
Lagenaufbau	(45/-45/0/-45/45)
Kosten	Ca. 120 €
Ersparnis	123 g / 48 %
Arbeitszeit	Ca. 150 h







Zweiteiliges Formteil  
für die Sattelschale

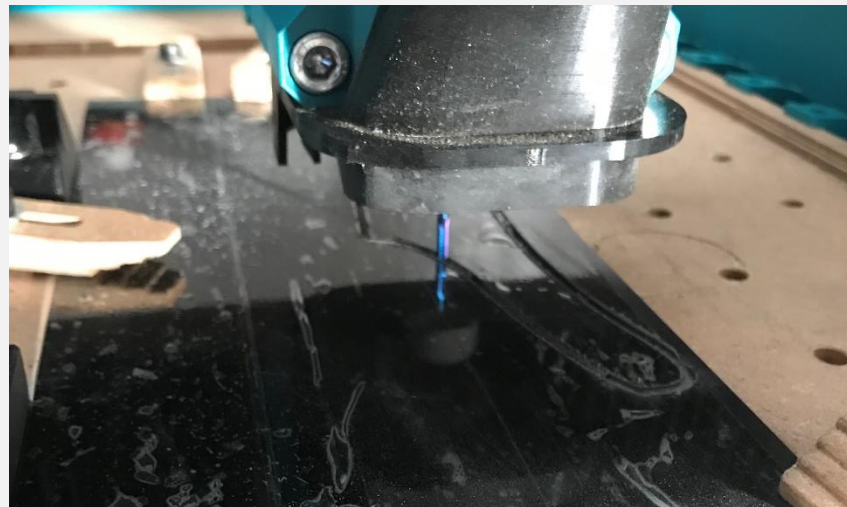
Gedruckt in PLA und  
bearbeitet mit  
Schleifpapier (bis zu  
600er Körnung)



Sattelschale nach dem ersten Zuschnitt

Unbehandelte Oberfläche nach dem Entformen

Trennmittel auf PVA-Basis verwendet



Zuschnitt der Rippe auf meiner  
selbstgebauten CNC mittels  
mehrschneidigem Hartmetall-  
Schafffräser

Schlitzen einer vorhandenen  
Sattelstütze mithilfe einer 3D-  
gedruckten Vorlage und Vorrichtung  
auf der Tischkreissäge







Vorrichtungsaufbau für die endgültige Verklebung der Rippe

Form dient als Referenzfläche

Verklebung für Sattelstütze an der Rippe

Druckring um die Sattelstütze; Generierung von Anpressdruck zwischen Strinseite der Sattelstütze und Sattelschale



Verstärkung der Klebeverbindung durch biaxiales Gewebe in Kombination mit Rovings (Filets)

Nasslaminat mit Vakuumsack, Breather - Gewebe und Abreißgewebe

Endgewicht der fertigen Sattel-Sattelstützen-Kombination 131,04 g



# 03 Flaschenhalter

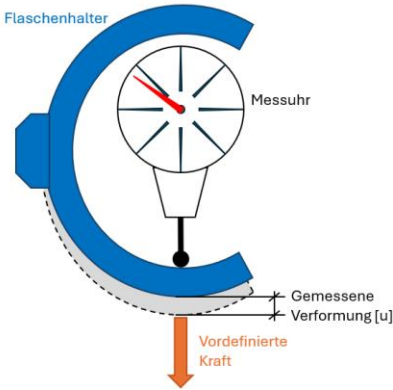
Da die vorherigen Projekte gezeigt haben, dass vorwiegend filigrane Arbeiten das beste Verhältnis aus Verständnis neuer Techniken zu Kosten bietet sollte die Wahl auf ein kleineres Projekt fallen.

Hierfür wurde zunächst anhand eines bestehenden Flaschenhalters die Steifigkeit (K) und Klemmkraft (F<sub>clamping</sub>) jeweils eines der „Arme“ des Halters ermittelt.

Um für das neue Flaschenhaltersystem die Klemmkraft beizubehalten, während das Gewicht reduziert wird muss die Steifigkeit des Querschnitts für gleichbleibende Klemmkraft erhöht werden. Statt eines Flachen Profils wird daher ein rundes Holprofil gewählt.

Der Durchmesser des benötigten Profils kann anhand eines einfachen Ersatzsystems mit der Länge „l“ berechnet werden. Der Durchmesser der Röhre wird zu 3 mm bei einer Vorverformung von 5 mm berechnet. Auf Grund des geringen Durchmessers, welcher die Herstellbarkeit stark erschwert wird der Durchmesser auf 5 mm erhöht. Die rückgerechnete Vorverformung beträgt demnach nur noch 1 mm je Seite.

Dieser Wert gibt an wie viel der Arm des Flaschenhalters innerhalb des Entwurfs in Richtung der Flasche verformt werden muss um die Flasche mit der angestrebten Kraft von ca. 6 N je Arm zu halten.



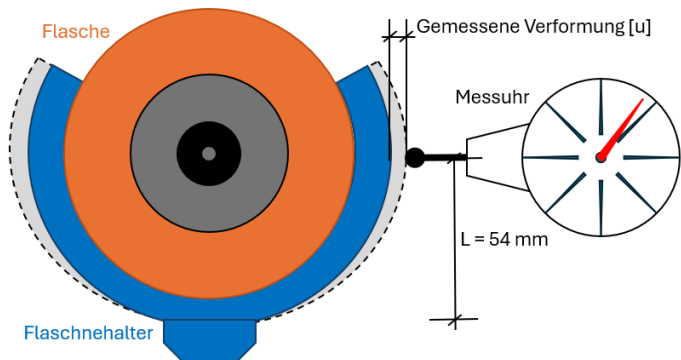
Berechnung der auf die Flasche wirkenden Klemmkraft

$$K_{Bottle\ Cage} = \frac{F}{u} = \frac{6,18\ N}{2,24\ mm} = 2,76\ N/mm$$

Testaufbau zur Ermittlung der Steifigkeit eines vorhandenen Flaschenhalters (siehe unten)

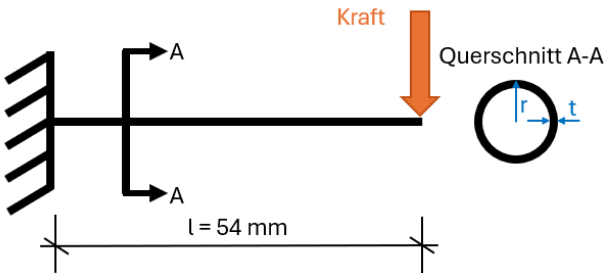


Force	Deflection
2,1 N	0,75 mm
4,2 N	1,51 mm
6,2 N	2,24 mm



$$F_{clamping} = K_{Bottle\ Cage} * u = 2,76 \frac{N}{mm} * 2,4\ mm = 6,6\ N$$

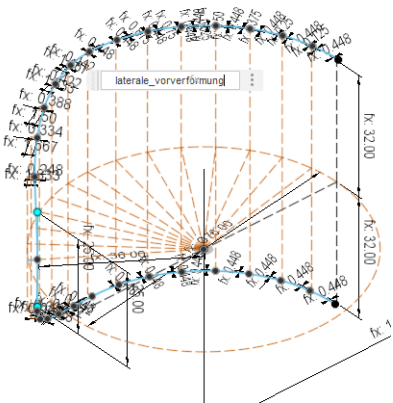
$$u = 5mm = \frac{6,62\ N * 54^3mm}{3 * 42500 \frac{N}{mm^2} * \frac{\pi * (r^4 - (r - t)^4)}{4}} \rightarrow r = 1,47\ mm$$



Durchmesser der Röhre ermittelt mit berechneter Laminatsteifigkeit von 42500 N/mm2 und dem Prinzip der virtuellen Verschiebungen für das gegebene System mit einer maximalen Vorverformung von 5 mm pro Seite

Aus fertigungstechnischen Gründen wurde der Rohrdurchmesser auf 5 mm angepasst. Um die Klemmkraft auf die Flasche konstant zu halten, wird die Vorverformung auf 1 mm pro Seite reduziert.

Die Abbildung zeigt die parametrische Zeichnung der Röhre, angepasst an die erforderliche Vorverformung.





Damit zukünftig Anpassungen bezüglich der Haltekraft vornehmen zu können, wurde ein komplexes parametrisches Modell der Arme erstellt, welches die Vorverformung als Eingangsgröße berücksichtigt.

Zusätzlich zu den Röhren werden verbindungsknoten entsprechend des Lochabstands der Flaschenhalter-Verschraubung von 65 mm entworfen. Diese arretieren den Flaschenhalter am Rahmen und fixieren die Flasche in axialer Richtung.

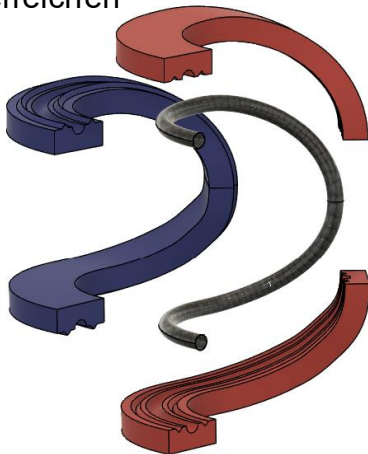
Als Herstellungsmethode wird hier erneut auf „Compression Molding“ zurückgegriffen. Die filigranen Bauteile (1g bzw. 1,5 g) können durch anschließende Nachbearbeitung (Bohrung und Senkung) in die finale Form gebracht werden.

Zum aktuellen Zeitpunkt sind die Anschlusspunkte als einfacher Rohling fertiggestellt. Erste Versuche zur Herstellung der äußerst filigranen Hohlprofile liefern allerdings bereits jetzt vielversprechende Ergebnisse. Ziel ist es das Projekt bis Ende 2025 abzuschließen.

Gewicht	5,7 g
Lagenaufbau	Gewebeschnlauch (1-lagig)
Kosten	Ca. 80 €
Ersparnis	15 g / 72 %
Arbeitszeit	bis jetzt 100 h



Hohlrohre, die mithilfe einer Negativ-Form und einer aufblasbaren Silikonblase im Inneren des Rohrs hergestellt werden, um eine Wandstärke von etwa 0,2 mm für die Rohre zu erreichen



Unterer Anschluss



[1,5 g]

Röhre

[1,1 g]

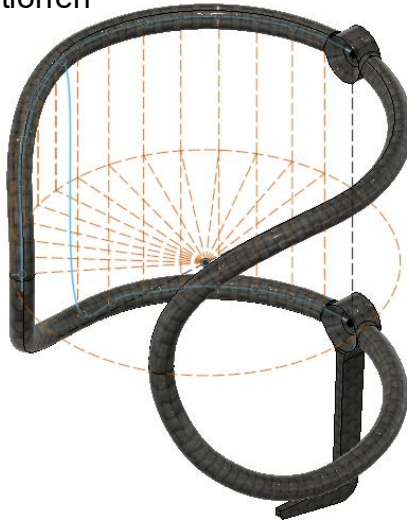


Oberer Anschluss



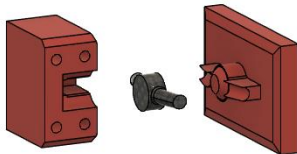
[1,0 g]

Parametrische Skizze zum Anpassen von Klemmkraft und Durchmesser für zukünftige Iterationen

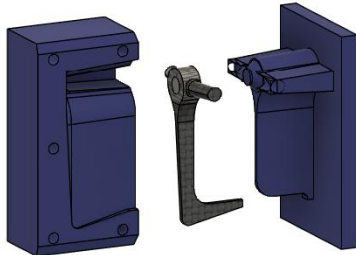


Formpressen des oberen und unteren Anschlusses

Oberer Anschluss:



Unterer Anschluss:



# 04 Aero Bars

Abschließend möchte ich mein aktuelles Projekt aus der Zusammenarbeit mit dem „Lehrstuhl für Leichtbau und Produktentwicklung“ vorstellen.

Im Rahmen einer Forschungsarbeit zu Modulen Fahrradrahmen wurde meinem Projektpartner und mir die Möglichkeit gegeben, einen aerodynamisch optimierte Zeitfahr-Auflieger zu fertigen.

Zunächst wurde hierzu ein parametrisches Modell des Aufliegers entworfen und verschiedene Varianten aus PLA gedruckt um die Geometrie für mit Anatomien zu testen.

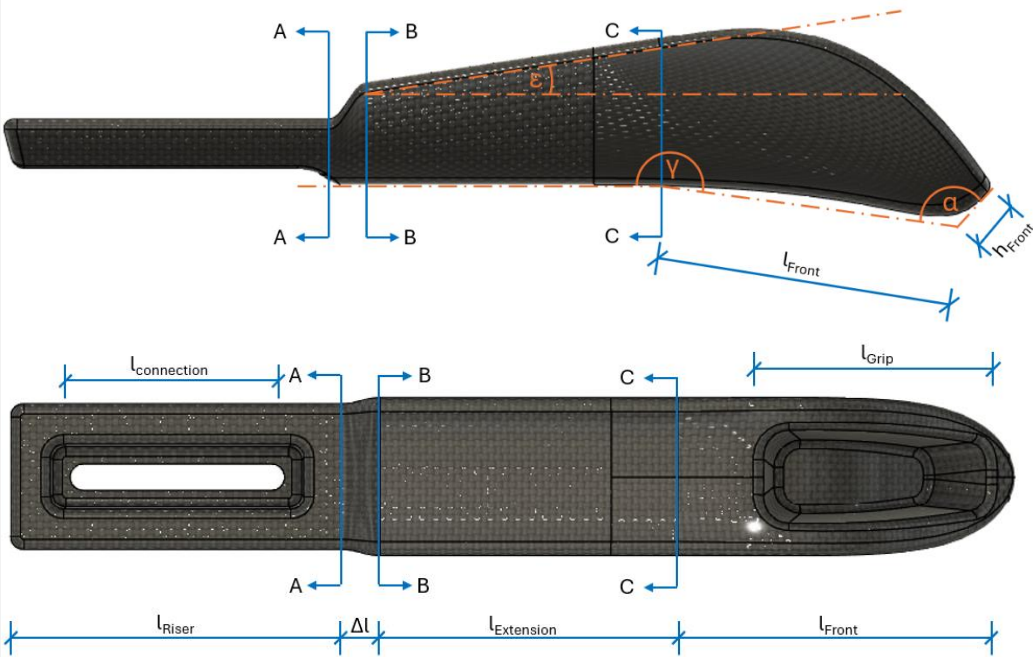
Um den Auflieger möglichst flexibel auf verschiedene Fahrer einstellen zu können, sind sowohl der Griffesatz als auch das Pad austauschbar und individuell justierbar.

Nach erfolgreicher Formfindung konnte die finale Form für die Herstellung konstruiert werden.

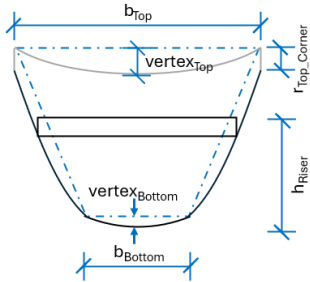
Ziel ist es die Auflieger im Pre-Preg Verfahren zu laminieren und durch einen innerhalb der Form eingelegten Vakuumsack zu konsolidieren.

Für den Auflieger kommt dabei eine zweiteilige Form zum Einsatz, welche mit Harzkanal und Verschraubung versehen wurde um das Ausschalen zu erleichtern. Die unten gezeigte Verjüngungs-Analyse gibt Aufschluss über die Plausibilität der Entformung des fertigen Körpers.

Die gezeigten Darstellungen spiegeln den aktuellen Projektstand wieder. Der Abschluss dieses Projekts ist bis Ende August 2025 geplant.



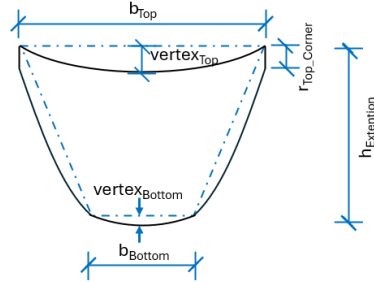
Querschnitt A-A



Armpad



Querschnitt B-B & C-C



Austauschbarer Griff (3D-gedruckt)



Aero Bar



Verjüngungsanalyse beider Formen für Aero Bar und Armpolster, wobei mehrere Armpolster in einer Form in Serie gefertigt werden können

