



Zur Erlangung des Grades  
eines  
Bachelor of Engineering (B. Eng.)  
von Herrn Alexander Vollrath

vorgelegte Abschlussarbeit: Bachelorarbeit

Thema: Erarbeitung einer mobilen technischen Lösung zur flexiblen und platzsparenden Lagerung von Fairings für den Airbus A380

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing Wolf-Dietrich Knoll

Zweitprüfer: Dipl.-Ing Wolfgang Hussel

# I Inhaltsverzeichnis

II Abbildungsverzeichnis	Seite 4
III Tabellenverzeichnis	Seite 7
1. Ausgangssituation	Seite 8
1.1 Die Firma EFW	Seite 8
1.1.1 Geschichte	Seite 8
1.1.2 Gegenwart	Seite 9
1.2 Aufgabenstellung	Seite 11
1.2.1 Vorstellung	Seite 11
1.2.2 Begründung/Notwendigkeit	Seite 12
1.3 A380-Fairings – Beschreibung, Aufbau und Dokumentation	Seite 15
2. Herangehensweise zur Lösungsfindung	Seite 19
2.1 Angewandte Methode	Seite 19
2.2 Auswahl der zu beachtenden Anforderungen	Seite 20
2.3 Ranking der Anforderungen	Seite 24
3. Lösungsvarianten	Seite 25
3.1 Aluminiumwagenkonstruktion	Seite 25
3.2 Stahlwagenkonstruktion	Seite 26
3.3 Hydraulik-Hebewagen	Seite 27
4. Variantenvergleich	Seite 29
3.4 Wertungen der Varianten hinsichtlich der Anforderungen	Seite 29
3.5 Wahl der bevorzugten Variante	Seite 29

5. Technischer Entwurf	Seite 30
5.1 Konstruktionsprozess	Seite 30
5.1.1 Erster Entwurf	Seite 30
5.1.2 Neue Zielsetzungen	Seite 36
5.1.3 Detaillierte Beschreibung des finalen Konzepts	Seite 38
5.2 Festigkeitsberechnungen	Seite 57
5.3 Technische Zeichnung	Seite 61
5.4 Endprodukt	Seite 62
5.5 Ausblick	Seite 63
6. Zusammenfassung	Seite 65

## II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	A330 P2F (Prototyp)	Seite 10
Abbildung 2:	Bisherige Lagerung der Fairings	Seite 13
Abbildung 3:	Wingdock und Fairings	Seite 14
Abbildung 4:	Struktur der Flap Track Fairings	Seite 17
Abbildung 5:	Variante eins – Aluminiumwagen	Seite 25
Abbildung 6:	Variante zwei – Stahlwagen	Seite 26
Abbildung 7:	Variante drei – Hydraulikwagen	Seite 27
Abbildung 8:	Grundrahmen und Querschnitt des Hohlprofils	Seite 30
Abbildung 9:	Schweißnähte am Rahmen	Seite 31
Abbildung 10:	Stützen mit Anschweißplatten	Seite 31
Abbildung 11:	Verbindung Träger-Stütze	Seite 32
Abbildung 12:	Anschweißplatte für ein Rad	Seite 33
Abbildung 13:	Subsystem Gabelstaplertaschen (grün dargestellt)	Seite 33
Abbildung 14:	Winkel und weitere Querbalken	Seite 34

Abbildung 15:	Erster Entwurf des großen Wagens	Seite 35
Abbildung 16:	Steckverbindung zweier kleiner Wagen	Seite 37
Abbildung 17:	Fester Teil vom Gelenk	Seite 40
Abbildung 18:	Ablageflächen für Stützen	Seite 43
Abbildung 19:	Stützen zum Stapeln der Wagen	Seite 44
Abbildung 20:	Ecke des unteren Teils des kleinen Wagens	Seite 45
Abbildung 21:	Hauptkomponente des großen Wagens und des kleinen Wagens (von links nach rechts)	Seite 46
Abbildung 22:	Schweißgruppe der beweglichen Stützen	Seite 46
Abbildung 23:	Eingeschweißte Rundteile	Seite 47
Abbildung 24:	Der Träger	Seite 49
Abbildung 25:	Anordnung der beiden Einzelteile des Trägers	Seite 49
Abbildung 26:	Lenkrollen mit Doppelstopp	Seite 50
Abbildung 27:	Gelenkverbindung	Seite 51
Abbildung 28:	Maßbezeichnungen einer Passschraube	Seite 51
Abbildung 29:	Steckbolzen mit Axialsicherung	Seite 53
Abbildung 30:	CATIA-Modell des Sperrbolzens	Seite 53

Abbildung 31:	Das Halteseil	Seite 54
Abbildung 32:	Gelenk	Seite 54
Abbildung 33:	Verbindungsstelle Stütze – Träger aus der Nähe betrachtet	Seite 55
Abbildung 34:	Gestapelte Wagen	Seite 55
Abbildung 35:	Netz, in der Ebene liegend	Seite 57
Abbildung 36:	Großer Transportwagen für A380 Fairings	Seite 62
Abbildung 37:	Wingdock, als CATIA-Product dargestellt	Seite 63
Abbildung 38:	Lösungsansatz eines möglichen Aufbaus zur Fairingspeicherung	Seite 64
Abbildung 39:	Wagen mit grob skizziertem Fairing	Seite 65

### III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Abmessungen und Gewicht der A380 Flap Track Fairings	Seite 16
Tabelle 2:	Beispiel zum paarweisen Vergleich	Seite 19
Tabelle 3:	Erfüllungsgrad beispielhafter Varianten	Seite 20
Tabelle 4:	Ermittlung der Wichtung der gegebenen Anforderungen	Seite 24
Tabelle 5:	Merkmale der Varianten, zusammengefasst	Seite 28
Tabelle 6:	Bewertung der konkreten Varianten	Seite 29

# 1. Ausgangssituation

## 1.1 Die Firma EFW

### 1.1.1 Geschichte:

1955 begann am Standort Dresden der Flugzeugbau. Hierbei wurden international anerkannte Experten von bedeutenden deutschen Luftfahrtindustriefirmen wie Junkers, Siebel, Heinkel oder Arado zu einem beeindruckenden Team zusammengeführt. Der Standort des Unternehmens befindet sich auf dem Gelände der ehemaligen Luftkriegsschule „Sachsen/Schlesien“. Der Einstieg in den Flugzeugbau erfolgte durch die Serienfertigung des sowjetischen Verkehrsflugzeugs „Iljuschon 14“ (IL 14P). Mit den fünfziger Jahren begann das Zeitalter der Düsenverkehrsflugzeuge. Die damalige DDR beauftragte die Firma mit dem Bau der vierstrahligen „152“. Im Bereich Aerodynamik und Systemtechnik konnte dieses erste deutsche Düsenverkehrsflugzeug von keinem anderen der damaligen Zeit übertroffen werden. Aufgrund mangelnder wirtschaftlicher Effizienz, fehlenden Absatzmöglichkeiten in den Westen und der geringen Nachfrage aus anderen sozialistischen Ländern nahm der Flugzeugbau in der DDR im Jahre 1961 ein rasches Ende.

Die ingenieurstechnische Leistung wird dabei aber kaum in den Schatten gestellt. Das erste deutsche Düsenverkehrsflugzeug, welches hier am Standort Dresden entwickelt wurde, stellt einen Meilenstein in der Geschichte der deutschen Luftfahrt dar. Später gingen die Montagehallen in den Besitz der am 01. Oktober 1961 gegründeten VEB Flugzeugwerft über. Hauptaufgabe des Betriebs war nun die Instandsetzung der Flugzeuge der NVA und des Warschauer Pakts. Von 1961 bis 1990 wurden mehr als 2000 russische Jagdflugzeuge der MiG-Serie gewartet, dazu außerdem 300 Hubschrauber. Im Frühjahr 1989 kam es zu den ersten Kontakten mit Airbus, die nach dem Fall der Mauer. Am 27. April 1990 erfolgte die Gründung der heutigen Elbe Flugzeugwerke GmbH. 2000 wurde EADS alleiniger Gesellschafter, seit Februar 2013 hat EFW zwei Anteilseigner: Airbus Group (65%) und ST Aerospace (35%). Am 4. Juli 1996 rollte zum ersten Mal ein Airbus in die Halle 222 von EFW. Vier Monate später wurde der erste in Dresden umgerüstete Airbus, ein A310-200F, an den US-Kunden FedEx übergeben. Seitdem werden hier Flugzeuge der Typen A300 und A310 umgerüstet und auf Wunsch auch gewartet. /1/



### 1.1.2 Gegenwart:

St Aerospace hält seit 2015 die Mehrheit mit 55%, Airbus bleibt natürlich mit 45% weiterhin ein wichtiger Partner.

Heute lassen sich die Geschäftsfelder der EFW grob in 4 Punkte unterteilen. Das erste ist die Umrüstung von gebrauchten Passagierflugzeugen zu Frachtflugzeugen. Diese Passagiermaschinen haben etwa die Hälfte ihrer Lebensdauer hinter sich, wenn sie in die Hallen der EFW ankommen, um ein zweites Leben zu erhalten.

Eine weitere wichtige Aufgabe ist die Wartung und Reparatur von Flugzeugen der gesamten Airbus-Familie. Außerdem entwickelt und produziert EFW ebene, faserverstärkte Leichtbaukomponenten aus Glas- und Kohlefasermaterial, sogenannte Sandwichpaneele, für die Innenausstattung sämtlicher Airbus-Modelle. Als letztes bietet EFW noch Engineering-Dienstleistungen rund um Entwicklung und Zulassung an.

Der jährliche Umsatz von EFW beträgt etwa 180 Mio. €. Beschäftigt werden hier ca. 1100 Mitarbeiter.

Der Geschäftsführer ist Dr. Andreas Sperl. /2/

Heute gibt es drei große Abteilungsebenen bei EFW:

T (= Tools) → Umrüstung und Wartung

K (= Components) → Komponentenanfertigung, Engineering

A (= Administration) → Finanzen und Verwaltung

In diese drei Abteilungen fallen alle weiteren Unterabteilungen bis auf die Qualitätssicherung Q (= Quality Management), da diese sich nicht von den anderen Abteilungen bei der Arbeit beeinflussen lassen, sondern eigenständig kontrollieren soll.

EFW befindet sich unmittelbar am Dresdner Flughafen. Wenn neue Flugzeuge in die Hallen von EFW rollen oder gegebenenfalls die vorhanden auf andere Stellplätze gezogen werden müssen, erfolgt dies über das gleich anliegende Rollfeld des Flughafens. Dies wird natürlich mit den dort zuständigen Leuten vorher abgestimmt. Hierzu gibt es Sicherheitstore, die nur zu diesem Zweck geöffnet werden. Auch dürfen nur bestimmte EFW-Mitarbeiter das Flughafenareal betreten. Aufgrund von Platzmangel auf dem Firmengrundstück werden Flugzeuge von Kunden auch zeitweise auf dem Flughafengelände untergebracht.

Das Umrüstprogramm befasst sich zurzeit noch mit einigen Maschinen vom Typ A300-600. Kunde hierbei ist die chinesische Fluggesellschaft UniTop, die diese Maschinen von der Fluggesellschaft Chinese Eastern Airlines aufgekauft hat. Diese Modelle werden aber seit fast 10 Jahren gar nicht mehr produziert, weswegen sie sowohl im zivilen als auch im Frachttransport bald vollständig von der Bildfläche verschwinden werden.



Abbildung 1: A330 P2F (Prototyp) [1]

Deswegen rutscht nun der A330 in das Umrüstprogramm nach. Der erste Prototyp befindet sich schon in Halle 222 auf Stellplatz 6. Schritt eins der Umrüstung, der Ausbau der Innenausstattung, ist auch schon im vollen Gange. Da es sich um den Prototyp handelt, kommen folglich noch viele Probleme zu Tage. An dieser Stelle ist es also wichtig Erfahrungen am neuen Typ zu sammeln. Dabei wäre es optimal, wenn nach der ersten Umrüstung regelmäßig neue A330 in die Hallen der EFW einrollen. Dazu kommt noch die neue Halle, die sich derzeit im Aufbau befindet. Diese wird sich das gleiche Gate zur Start- und Landebahn des Flughafens mit einem Stellplatz von Halle 222 teilen. Im Vergleich zu fast allen Stellplätzen in zuletzt genannter Halle, soll

die neue in der Lage sein, den A330 zu umfassen. In weiterer Zukunft sind hier außerdem zwei weitere Stellplätze geplant, die die neue Halle dann erweitern werden.

Im Bereich Wartung sind zurzeit zwei Maschinen von DHL in den Hallen der EFW. (Stand September 2016)

## **1.2 Aufgabenstellung**

### **1.2.1 Vorstellung**

Mit einer Länge von 73m und einer Flügelspannweite von 80m ist der A380 bekanntermaßen der weltgrößte Verkehrsflugzeug. Die Höhe der Maschine ist mit etwa 24m mit der eines achtstöckigen Gebäudes zu vergleichen. Der A380 trägt als erste Verkehrsmaschine zwei Passagierkabinen, eine über der anderen. Mit bis zu 550 Passagieren erreicht dieses Flugzeug beim Start ein maximales Gesamtgewicht von 560 Tonnen. Der A380 fällt in die Gruppe der vierstrahligen Flugzeuge, sprich an jedem Flügel befinden sich zwei Triebwerke. Diese sorgen für eine Höchstgeschwindigkeit von knapp über 1.000km/h, die normale Reisegeschwindigkeit dabei entspricht 900km/h. Aber auch der schnelle A380 muss sich gelegentlich mit geringeren Geschwindigkeiten durch die Luft bewegen. Dies trifft zum Beispiel für die Landung bzw. dem Abheben der Maschine zu, welches zwar relativ zeitgeringe Phasen sind, dafür aber eine gewaltige Rolle während eines Fluges einnehmen. Hier kommen verschiedenste Flugzeugteile zum Einsatz, unter ihnen auch die sogenannten „Flaps“. Diese bewegen sich auf Schienen, den „Tracks“. Letztere befinden sich unter Abdeckungen. Eine Aufgabe der EFW GmbH ist es Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten am Airbus-Modell A380 durchzuführen. Dazu gehört u.a. die Inspektion und Bearbeitung von den erwähnten Abdeckungen unter den Flügeln, den sogenannten „Fairings“, die dafür abgebaut werden müssen. Da die Fairings bezüglich ihrer Abmessungen verhältnismäßig groß sind, benötigt man dafür viel Platz. Aufgabe der Bachelorarbeit ist es deshalb, eine platzsparende und der Prozessfolge angepasste Ablage- und Bearbeitungsmöglichkeit zu finden

## **Schwerpunkte:**

- Erfassung und Dokumentation der verschiedenen Fairings am A380
- Analyse des Istzustandes und Variantenvergleich zur Lösungsfindung unter Berücksichtigung der ergonomischen Anforderungen, insbesondere Arbeitshaltung und Zugänglichkeit in Zusammenarbeit mit der Produktion
- Technische Beschreibung der in der Lösungsfindung ermittelten Vorzugsvariante
- Konstruktiver Entwurf eines mobilen Ablagegestells für die Fairings des A380 entsprechend der Vorzugsvariante incl. der erforderlichen Fertigungsunterlagen (Zeichnungssatz mit Stückliste)
- Ermittlung der statischen Tragfähigkeit der neuentwickelten Ablagevorrichtung
- Ausarbeitung einer Lösung für den Hebe- und Zwischenablageprozess der Fairings am A380-Wingdock

### **1.2.2 Begründung/Notwendigkeit**

Mit der angepeilten Lösung des gestellten Problems soll also ein bereits bestehender und während der Wartung des A380 wichtiger Vorgang optimiert werden. Hauptsächlich soll dies durch die Erstellung eines Hilfsmittels, also eines Fertigungsmittels geschehen. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der Ermöglichung einer geeigneten Lagerung der Teile, sowie der erleichterte Transport und die Gewährleistung einer angenehmen Untersuchung der Fairings mit den gegebenenfalls anschließend daran zu verrichtenden Arbeiten. Bis jetzt wurden die Fairings nach ihrer Abnahme vom Flieger immer unter den Wingdocks am Boden gelagert, natürlich auf gedämpfter Unterlage wie beispielsweise Luftpolsterfolie.



Abbildung 2: Bisherige Lagerung der Fairings [1]

Das Ganze führt aber zu einem recht unflexiblen Ergebnis, da so die Teile Platz wegnehmen, der nicht anders genutzt werden kann und die einzelnen Teile auch nicht effektiv bewegt werden können. Auch ein Arbeiten mit den Teilen kann so nur erschwert stattfinden. Die Fairings nehmen zwar nur einen kleinen Teil der gesamten Arbeitszeit an den Flügelbereich des A380 ein, blockieren aber den gewählten Lagerungsplatz über die gesamte Wartungszeit des A380. Die Abdeckungen werden nämlich meist vor dem Aufbau der Wingdocks unter den Flügeln entnommen, da man so noch leichter an sie herankommt und somit gehört dieser Vorgang zu einem der ersten Arbeitsschritte im Projekt A380-Wartung. Während weiterführende Arbeiten an den Flügeln durchgeführt werden, liegen sie dann nur da und werden erst am Ende wieder an die Flügel montiert.



**Abbildung 3: Wingdock und Fairings [1]**

Verstärkend kommt hier noch das Platzproblem hinzu. Die einzige Halle auf dem EFW-Gelände, die groß genug ist, den A380 aufzunehmen, ist die Halle 285. Aber auch obwohl sie groß genug ist den A380 zu beherbergen, ist der Platz am Boden dennoch sehr beschränkt. Den meisten Platz nimmt der Flieger natürlich selbst ein, aber auch alle Vorrichtungen, Werkzeuge usw. sorgen hier für einen regelrechten Platzmangel. Gerade bei den Fairings steht hier der Platz, den sie einnehmen, zu der Zeit, an denen sie direkt an dem Wartungsprozess der Maschine teilhaben, in keinem guten Verhältnis. Abhilfe dafür sollen die Wingdocks selbst sorgen. Genauer gesagt soll eine Möglichkeit gefunden werden, die Fairings unter den Wingdock zu hängen um somit Platz am Boden zu gewinnen. Das sollte idealerweise so geschehen, dass sie in keiner Weise mehr als Hindernis auffallen können. Das mobile Lagern, welches einen einfachen Transport der Fairings durch die Halle garantiert und gleichzeitig für eine bequeme Ausgangsposition der Abdeckung sorgt, um die entsprechenden Inspektionen und Vorrichtungen durchführen zu können, ist mit einer wagenähnlichen Konstruktion zu bewerkstelligen. Die Priorität liegt hierbei definitiv auf dem Wagen, der am meisten Zeit in Anspruch nehmen wird.

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass die alte Vorgehensweise zu ineffektiv und unhandlich bei der Abarbeitung der einzelnen Fairings ist und der Platz hier nicht optimal ausgenutzt wird bzw. zu viel Platz für die Fairings zur Verfügung gestellt wird, der somit nicht mehr anderweitig nutzbar ist. Eine Lösung soll gefunden werden, die genau hier Abhilfe schafft, weniger Platz verbraucht und gleichzeitig Transport und Arbeitsverhalten mit den Abdeckungen verbessert.

### **1.3 A380-Fairings – Beschreibung, Aufbau und Dokumentation**

Der Begriff „Fairing“ bedeutet übersetzt „Verkleidung“. Allgemein betrachtet wird die gesamte Hülle des Flugzeugs als Fairing bezeichnet bzw. hat jedes Flugzeug verschiedene Typen von Fairings. Die Fairings um die es bei dieser Aufgabe geht sind die Flap Track Fairings. Diesen Namen haben sie aus der simplen Gegebenheit, dass sie sich an den Flap Tracks am Flügel des Flugzeugs befinden. Ein A380 hat insgesamt zehn solcher Abdeckungen, fünf an jedem Flügel. Die fünf Fairings pro Flügel sind nicht identisch, unterscheiden sich also in Abmaßen und Gewicht und haben auch Abweichungen in der Form zueinander. Dies gilt besonders für den äußeren, also den letzten, dieser Abdeckungen am Flügel, da dieser direkt am Triebwerkpylon anschließt. Die größeren Fairings befinden sich näher am Flugzeugrumpf, während die kleineren weiter außen unter dem Flügel hängen.

Jeder Flap Track Fairing besteht aus zwei Teilen. Der vordere Teil kann auch als fixierter Fairing gesehen werden, da er steif mit dem Flügel verbunden ist. Die hintere Sektion, der bewegliche Fairing, dagegen ist mit dem Track und dem Flap selbst verbunden. Bei Vorgängen wie dem Landen des Flugzeugs ist die Abdeckung um den Drehpunkt am Flap Track gedreht, und zwar vom Flap wegzeigend, um somit genug Platz für den Flap zu erzeugen, damit dieser Positionen einnehmen kann, die sich von seiner Ausgangslage um bis zu 33 Grad unterscheiden. Begründet in der getrennten Ausführung von fixiertem und beweglichem Fairing und der Tatsache, dass diese beiden Teile unterschiedlich an die umliegende Flugzeugstruktur angebracht sind, war es notwendig diese Teile so räumlich anpassbar wie möglich zu gestalten, damit Lücken am Gesamtsystem Flap Track Fairing vermieden werden können, die bei unterschiedlichsten Einstellungen je nach Manöver und ausgesetztem Luftstrom entstehen können. Die Abdeckung muss also eine gewisse Abdichtung zur Umgebung besitzen. Zwischen Fairing und Flügel kommen hier zusätzliche Dichtungen ins Spiel,

die teilweise verstellbar angebracht sind. Dies führt zu großer und wichtiger Luftwiderstandssenkung. Die Teilung des Fairings ist also vor allem sinnvoll, da es die Funktion an den Flaps voraussetzt und zusätzlich wird so die Wartung am Boden einfacher, da der längste Fairing mit allen Teilen insgesamt 11m lang wäre und die Handhabung mit so einem gewaltigen Flugzeugteil zu umständlich wäre.

<b>Description</b>	<b>Length</b>	<b>Height</b>	<b>Width min</b>	<b>Width max</b>	<b>Weight LH/RH</b>	<b>Weight Tail Cone</b>
Bezeichnung	Länge	Höhe	Breite min	Breite max	Gewicht LH/RH	Gewicht Tail Cone
Mid Fairing 2 RH/LH	4100 mm	1450 mm	600 mm	950 mm	112 Kg	-
Mid Fairing 3 RH/LH	3800 mm	1300 mm	530 mm	850 mm	124,65 Kg	27,2 Kg
Mid Fairing 4 RH/LH	4000 mm	1400 mm	600 mm	900 mm	-	-
Mid Fairing 5 RH/LH	3200 mm	1150 mm	800 mm	830 mm	68,8 Kg	33,9 Kg
Mid Fairing 6 RH/LH	2750 mm	960 mm	800 mm	820 mm	133 Kg	41,6 Kg

**Tabelle 1: Abmessungen und Gewicht der A380 Flap Track Fairings**

Fehlende Größen in der Tabelle konnten zu der Zeit nicht nachgemessen werden, da der nächste A380 erst Ende September 2016 in die Halle 285 eingewickelt ist. Allerdings sind diese Größen ausreichend. Wichtig sind hier vor allem die maximalen Dimensionen bzw. das größte Gewicht, das auf solch einen Flap Track Fairing zutreffen kann. Diese Maxima bilden die Größen nach denen sich bei der Erstellung der mobilen technischen Lösung, sowie bei der Hebevorrichtung, gerichtet werden müssen. Es ist anzunehmen, dass diese Maximalwerte in der oben aufgezeigten Tabelle zu finden sind. Der Fairing selbst lässt sich in insgesamt drei Einzelteile zerlegen. Der feste und der bewegliche Teil bilden die beiden Hauptteile, allerdings lässt sich vom beweglichen Fairing noch der sogenannte Tail Cone entfernen, also das kleine Stück, am hinteren Ende. In dieser Betrachtung ist vor allem der Mid Fairing, also der große Teil vom beweglichen Stück des Fairings von Bedeutung, da er das größte Volumen und somit auch die größte Masse besitzt.





Abbildung 4: Struktur der Flap Track Fairings [2]

In Abbildung 4 sind also von vorne nach hinten erst der am Flügel befestigte starre Teil des Fairings zu erkennen gefolgt von dem beweglichen Teil, von dem außerdem der kleine Tail Cone am Ende noch abmontiert werden kann.

Entwicklungspartner von Airbus bei der Konzipierung und Erstellung der Flap Track Fairings am A380 war das Unternehmen FISCHER ADVANCED COMPOSITE COMPONENTS AG, kurz FACC. Bei den Flügeln und somit auch bei den Fairings mussten die zuständigen Ingenieure Kompromisse eingehen. Zum einen soll hier eine große Auftriebskraft, vor allem bei Start und Landung, erreicht werden, gleichzeitig soll aber auch der Luftwiderstand während des Flugs so gering wie möglich gehalten werden. Um das zu erreichen, sind die Flaps an der Hinterkante der Flügel während dem Rollen, dem Anflug, sowie Start und Landung ausgefahren. Form und Bereich des Flügels lassen sich somit je nach Situation ändern. Auf dem ersten Blick sieht ein solcher Flap Track Fairing wie eine simple, aerodynamisch ausgelegte Abdeckung aus. Aber diese enthält etliche Systeme, die für einige Flugprozesse wichtig sind. Als Beispiel ist hier das Reserve-Stromaggregat zu nennen, welches sich im Falle von Stromausfall an Bord des Fliegers aus der Abdeckung öffnet und so elektrische Energie durch den vorhandenen Luftstrom erzeugt. Aber auch Kraftstoffabflussleitungen, ein Kühlsystem für die Hydraulik, die die Flaps bewegt, und sogar Kameras, die dem Piloten im Cockpit die Möglichkeit bieten das äußere Hauptfahrwerk der Maschine im Blick zu haben und folglich ein erleichtertes Manövrieren auf dem Rollfeld zu erreichen. Für all diese Komponenten muss in den Flap Track Fairings genug Platz geschaffen werden. Des Weiteren müssen die Abdeckungen leicht anzubringen und abzunehmen sein, um Wartungsprozesse effektiver gestalten zu können, sowohl an der Außenhaut

selbst, als auch an den darunterliegenden Systemen. Auch die Struktur muss schlicht genug sein, um ein ungehindertes Untersuchen gewährleisten zu können. Zusammen mit der optimal für Aerodynamik ausgelegten Form, den Gewichtsbeschränkungen und der benötigten Steifigkeit des Flugzeugteils selbst bilden sie die Faktoren, die die zuständigen Ingenieure zu dem konstruktiven Ergebnis der Flap Track Fairings gebracht hat, wie sie heute am A380 auffindbar sind.

Der Airbus A380 hat pro Flügel sechs Flap Tracks, von FACC wurden für diese fünf Fairings entwickelt. Der innerste Flap Track befindet sich im Belly Fairing, also im Fairing an der Unterseite des Rumpfes vom Flugzeug.

Die Außenhaut bei Flugzeugen besteht normalerweise aus einer Aluminiumlegierung und aus Faserwerkstoffen (Glasfaser, Kohlefaser). Im Flugzeuginnern befindet sich letzteres auch in der Form von Paneelen, die zum Hauptteil die Innenausstattung bilden. Beim A380 gibt es eine Vielzahl an Materialien, die verbaut sind. Ein erhöhter Fokus wurde hier auch auf eben genannte Faserwerkstoffe gesetzt, die beim A380 für etwa 30% Gewichtseinsparungen, sowie für 40% Einsparungen in den Kosten für eines der größten und fortschrittlichsten Flieger sorgen. Bei der Werkstoffwahl für den Flap Track Fairing war vor allem die zu erreichende Steifigkeit bei den gegebenen enormen Dimensionen der Abdeckungen ein ausschlaggebender Faktor, da der größte Fairing, wenn er nicht zerlegt wird, etwa 11m lang ist. Gleichzeitig musste natürlich auch darauf geachtet werden, dass das Gewicht so gering wie möglich gehalten wird. Als Ergebnis wurde bei den Fairings des A380 auf das konventionelle glasfaserverstärkte Material verzichtet und stattdessen kam hier CFRP (carbon fiber reinforced plastics), also kohlefaserverstärkter Kunststoff, bei allen Fairings zum Einsatz. Da diese Zusammensetzung der Materialien das erste Mal in der Art am A380 geschah, kann hier von einer technischen Innovation im Flugzeugbau gesprochen werden. Dazu kann auch noch gesagt werden, dass die maximale Deformation des Flugzeugteils während des Reisens mit Reisegeschwindigkeit durch speziell geschichtete Komponenten auf 35mm begrenzt werden konnte. Um die aerodynamischen Anforderung zu erfüllen ist der Fairing nicht nur schlank und glatt ausgeführt, auch die Seitenwände sind gekrümmt. Neben dem CFRP kommt hier zusätzlich zum ersten Mal an strukturellen Komponenten das Kevlar-Wabenmaterial N636 zur Anwendung. Alles in allem können durch die neuen Materialien bis zu 40 kg eingespart werden. /3/

## 2. Herangehensweise zur Lösungsfindung

### 2.1 Angewandte Methode

Aus der Aufgabenstellung heraus werden nun Anforderungen erarbeitet, die die Vorrichtung am Ende erfüllen soll. Die genannten Anforderungen müssen davor aber untereinander gewichtet werden. Das heißt nachdem alle Anforderungen gefunden worden sind, die für das gestellte Problem in Betracht gezogen werden können, muss eine Rangfolge zwischen ihnen festgelegt werden. Schließlich müssen die wichtigsten Kriterien auch mehr Einfluss auf das entstehende Endprodukt nehmen, als die unwichtigeren. Für diese Unterscheidung wird ein paarweiser Vergleich durchgeführt. Hier werden die jeweiligen Kriterien gegenübergestellt um anschließend entscheiden zu können ob in dieser Problemstellung mehr auf Kriterium A oder B geachtet werden muss. Zwischen zwei Anforderungen gibt es also drei mögliche Entscheidungen:

- Kriterium A ist wichtiger als Kriterium B
- Kriterium B ist wichtiger als Kriterium A
- Beide Kriterien sind (in etwa) gleich wichtig

Dabei wird das wichtigere Kriterium immer mit der Zahl „2“ und das unwichtigere mit der Zahl „0“ gekennzeichnet. Bei gleicher Relevanz bekommen beide Kriterien eine „1“.

Nachdem jede Anforderung mit jeder verglichen wurde, werden je Anforderung alle Werte addiert. Somit hat nun jedes Kriterium einen bestimmten Gesamtwert. Das Kriterium mit dem höchsten Wert hat die Wichtung 1, also 100%. Alle weiteren Wichtungen ergeben sich bei der Division des jeweiligen Wertes durch den Wert der Anforderung mit der Wichtung 1.

Beispiel:

		<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>	<b>Summe</b>	<b>Wichtung</b>
<u>Kriterium</u>	<b>a</b>	1	2	2	2	2	9	$9/9 = 1,00$
	<b>b</b>	0	1	2	0	1	4	$4/9 = 0,44$
	<b>c</b>	0	0	1	0	2	3	$3/9 = 0,33$
	<b>d</b>	0	2	2	1	2	7	$7/9 = 0,77$
	<b>e</b>	0	1	0	0	1	2	$2/9 = 0,22$

Tabelle 2: Beispiel zum paarweisen Vergleich

Nachdem einige Lösungsvarianten abgeleitet wurden, kann nun mithilfe der gewichteten Kriterien eine Bewertung der Konzepte durchgeführt werden. Hierbei wird pro Anforderung eine Zahl zwischen „0“ bis „9“ angegeben, die den Erfüllungsgrad der Variante für das jeweilige Merkmal beschreibt. Dabei steht „9“ für „die Anforderung ist vollständig erfüllt“ und die „0“ für „Anforderung ist nicht erfüllt“. Die „10“ entspricht hier dem Optimum und sollte für die Konzepte nicht verwendet werden.

Anschließend kann das Ergebnis einer Variante mit folgender Formel bestimmt werden:

$$EG_{ges} = EG_1 \cdot w_1 + EG_2 \cdot w_2 + \dots + EG_n \cdot w_n$$

Für das Optimum bedeutet das:  $10 \cdot (w_1 + w_2 + \dots + w_n)$

Beispiel:

		Erfüllungsgrad-Lösungsvarianten		
Kriterium	Wichtung	EG-Variante x	EG-Variante y	Optimum
a	1	7	9	10
b	0,44	6	1	10
c	0,33	3	5	10
d	0,77	8	3	10
e	0,22	9	7	10
	Ergebnis	18,77	14,94	<b>27,6</b>

Tabelle 3: Erfüllungsgrad beispielhafter Varianten

Mithilfe des Ergebnisses lässt sich nun erkennen, wie gut die einzelnen Varianten bezüglich aller Anforderungen sind.

Hierbei handelt es sich natürlich um subjektive Bewertungen. Deswegen ist es außerhalb des Beispiels nicht nötig so genau zu sein, es reicht, wenn auf ganze Zahlen auf-/abgerundet wird.

## 2.2 Auswahl der zu beachtenden Anforderungen

Aus der Aufgabenstellung, d.h. der geforderten Leistung und der Notwendigkeit dieser ergeben sich verschiedene Anforderungen, die die gewählte Lösung dann am Ende so gut es geht erfüllen soll. Für das vorliegende Problem ergeben sich folgende zu berücksichtigende Anforderungen:

[1] geringer Platzverbrauch:

In der Halle 285, in der sämtliche von EFW zu bearbeitende A380- Modelle landen, ist der Platz sehr begrenzt. Neben dem riesigen A380 nehmen vor allem die Wingdocks viel Platz ein. Außerdem fallen viele Fertigungsmittel hier einfach größer aus, als bei anderen Flugzeugtypen. In der einzigen Halle, die für den A380 genutzt werden kann, sind jetzt schon sehr viele Geräte und Vorrichtungen gelagert. Ohne die Wichtung dieser Anforderung bis jetzt betrachtet zu haben, lässt sich hier also schon vermuten, dass es sich hierbei um eine der Wichtigsten handeln wird.

[2] Witterungsbeständigkeit:

Die entstehende Apparatur wird primär und im Normalfall unter einem Dach in der Halle zur Anwendung kommen oder dort, wenn zu dem jeweiligen Zeitpunkt nicht benötigt, gelagert sein. Sollte es nun platzbedingt z.B. durch das in die Halle Herein- oder Herausrollen des A380, zu Umräumarbeiten kommen, die es zur Folge haben bestimmte Fertigungsmittel zeitweise rauszustellen, könnten hier im Notfall auch Planen oder sonstige Abdeckungsmittel zum Einsatz kommen

[3] geringer Wartungsaufwand:

Dies ist ein durchaus wichtiges Kriterium, vor allem auch da es mit der Lebensdauer des Produktes Hand in Hand geht. Allerdings kommt die mobile Bearbeitungs- und Ablagemöglichkeit nur für die begrenzte Anzahl von zehn Fairings der jeweiligen Maschine zum Einsatz und wird somit auch oft unbenutzt irgendwo in der Halle gelagert sein. Deswegen werden z.B. mögliche Verschleißerscheinungen definitiv nicht allzu schnell auftreten.

[4] Gewährleistung der Sicherheit:

Sicherheit sollte auf jeden Fall immer vorgehen. Gerade wenn mit großen Flugzeugteilen wie den Fairings hantiert wird. Gerade bei benötigten Hebeprozessen ist besondere Vorsicht geboten. Bei einem Unfall werden hier nicht nur teure Teile beschädigt, es könnten auch Menschen Schaden nehmen.

[5] geringe Bereitstellungszeit:

Hiermit ist die Zeit gemeint, die nötig ist um die jeweilige Konstruktion einsatzbereit zu bekommen. Zum Beispiel muss es vor Anwendung erst wieder zusammengebaut

werden, wenn es bei der Lagerung in kompaktere Einzelgruppen zerlegt wird oder vielleicht müssen bestimmte Komponenten vorher auf Funktion geprüft werden. Auch der Wartungsaspekt spielt hier also eine Rolle.

[6] gute Handlichkeit:

Wie gut kann der Werker mit dem Gerät umgehen? Lässt es sich einfach und angenehm bewegen? Ist es ohne Probleme möglich an den Fairing zu gelangen um mögliche Arbeiten an ihn durchzuführen?

[7] geringes Gewicht:

Gerade wenn es um Beweglichkeit geht, ist natürlich ein geringes Gewicht gefordert. Mit einem geringen Gewicht steigt meist die Effizienz, während die Kosten minimiert werden können.

[8] geringe Herstellungskosten:

Die Herstellungskosten sind immer so gering wie möglich zu halten, das heißt alles was über den geforderten Anforderungen hinausgeht, wäre hier verschwendetes Kapital. Allerdings wird die Lösung keine Massenfertigung werden, vielmehr handelt es sich um Einzelstücke, geplant sind nur vier bis sechs Endprodukte. Geldeinsparungen sind gut, fallen hier somit aber kaum ins Gewicht und werden gegenüber den anderen Anforderungen folglich eine untergeordnete Rolle einnehmen.

[9] hohe Lebensdauer:

Im Idealfall sollte das Produkt eine quasi unbegrenzte Lebensdauer besitzen. Gerade weil es nicht regelmäßig zum Einsatz kommt, sondern wahrscheinlich nur ein paar Mal im Jahr.

[10] Zeiteffizienz

Wie effizient wird die Zeit während der Bearbeitung der einzelnen Fairings genutzt? Können vielleicht mehrere Fairings parallel auf einzelnen Wagen abgearbeitet werden?

#### [11] Einfachheit der Vorrichtung

Je komplexer das Endprodukt ist, desto mehr Kosten fallen an und desto schwerer wird es sein. Außerdem können auch Handlichkeit und Platzverbrauch darunter leiden.

#### [12] geringe Betriebskosten

Entstehen weitere Kosten beim Einsatz der Konstruktion neben den Lohnkosten der Werker?

#### [13] Umweltverträglichkeit

Auch auf Nachhaltigkeit und Umweltschutz ist in der Regel zu achten. Allerdings hat das kaum Bedeutung, da hier nicht mit umweltbelastenden Mitteln oder Schadstoffen gearbeitet wird.

Allgemein wird hier auch gerne in funktionale und betriebliche Anforderungen unterschieden.

Weitere Randbedingungen sind hier kaum verlangt. Da es sich hierbei nur um eine von vielen Arbeiten während der Wartung eines A380 handelt und die Abarbeitung der Fairings auch nur einen kleinen Prozentanteil der Gesamtarbeitszeit an einem solch großen Flugzeug in Anspruch nimmt, ist es nicht nötig den Vorgang zeitlich einzugrenzen. Mit mehreren geplanten Wagen und mehreren zugeteilten Werkern können außerdem parallel verschiedene Fairings bearbeitet werden. Zusätzlich ist auch noch einmal klar hervorzuheben, dass in dieser Arbeit lediglich das Gerät für die Bearbeitungen bzw. Lagerungen der Flap Track Fairings konzipiert wird, nicht aber die gesamten Arbeiten und Vorgänge, die sich um die Fairings drehen, umrissen werden. Denn hier gibt es sicher auch von der Ausgangssituation der einrollenden A380-Typen Unterschiede. Somit kann an dieser Stelle keine zeitliche Bedingung aufgestellt werden.

Allerdings können einige Zusatzwünsche beachtet werden. Zum einen ist das Anbringen von Gabelstaplertaschen, wenn möglich und bei entsprechender Struktur, gewünscht. Gerade wenn z.B. das FEMI von der Werkstatt in die Halle oder zwischen den Hallen bewegt werden muss, ist das von Vorteil. Zum anderen wäre es im Rahmen des Platzsparens nützlich, wenn die Wagen stapelbar wären. Auch dafür könnten die Gabelstaplertaschen genutzt werden.

## 2.3 Ranking der Anforderungen

Kriterium	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	Σ	Wichtigkeit in %
[1]	1	2	2	0	2	2	2	2	1	2	1	2	2	21	84
[2]	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	2	6	24
[3]	0	2	1	0	1	0	0	2	0	1	1	1	2	11	44
[4]	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	25	100
[5]	0	1	1	0	1	0	0	2	0	1	1	2	2	11	44
[6]	0	2	2	0	2	1	2	2	0	2	2	2	2	19	76
[7]	0	2	2	0	2	0	1	2	0	2	1	2	2	16	64
[8]	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	12
[9]	1	2	2	0	2	2	2	2	1	2	2	2	2	22	88
[10]	0	2	1	0	1	0	0	2	0	1	0	1	2	10	40
[11]	1	2	1	0	1	0	1	2	0	2	1	1	2	14	56
[12]	0	1	1	0	0	0	0	2	0	1	1	1	2	9	36
[13]	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	8

Tabelle 4: Ermittlung der Wichtigkeit der gegebenen Anforderungen

2 - wichtiger als...

1 - genauso wichtig wie...

0 – weniger wichtig als...

Wie vorher schon angenommen sind die drei wichtigsten Anforderungen somit die Gewährleistung der Sicherheit, die möglichst hohe Lebensdauer und der ebenfalls gering zu haltende Platzverbrauch. Keine Rolle spielen vor allem die Herstellungskosten, was einfach an der Anzahl der geplanten Exemplare der Vorrichtung liegt, sowie die Umweltverträglichkeit, da begründet in Anwendung und daraus resultierendem möglichen Aufbau hier keine Gefährdung besteht. Neben den Top 3 Kriterien ist noch die darauffolgende, die gute Handlichkeit, mit einer hohen Wichtigkeit zu nennen. Es wäre natürlich nicht zweckmäßig, wenn die Werker während des Einsatzes Probleme mit dem Gerät hätten bzw. der Umgang damit nur mühselig wäre. Dies steht dann auch direkt im Zusammenhang mit der Einfachheit der Vorrichtung und der leichten Ausführung dieser. Weitere Möglichkeiten die Anforderungen, wie Zeiteffizienz oder die Wartung verbessern, sind erst einmal zweitrangig zu betrachten.



### 3. Lösungsvarianten

#### 3.1 Aluminiumwagenkonstruktion

Variante eins ist ein Wagen, der komplett aus Aluminium besteht und für die Lagerung und den Transport in der Halle benutzt wird.

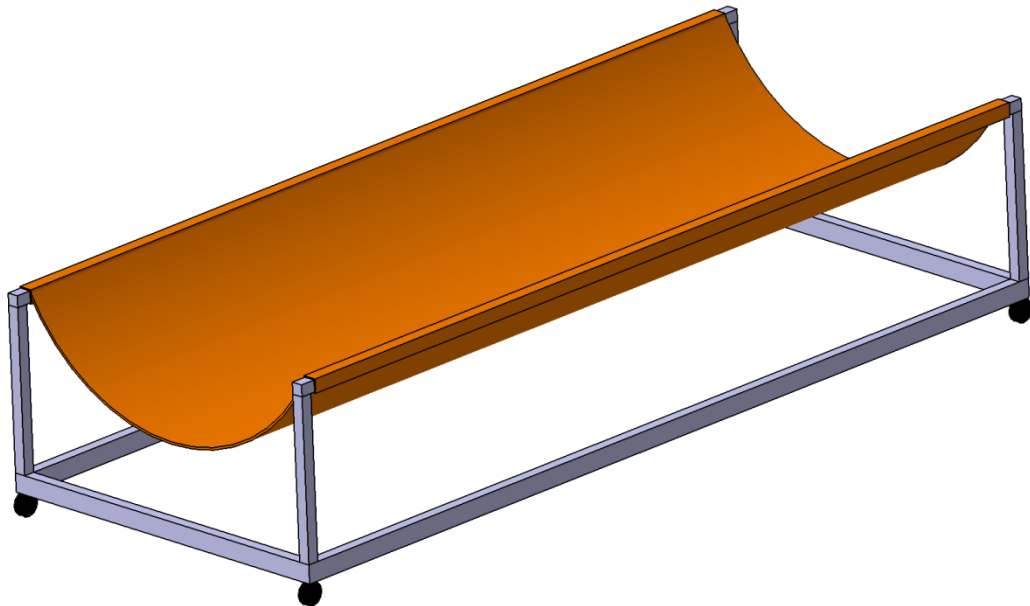


Abbildung 5: Variante eins – Aluminiumwagen [4]

Im Flugzeugbau, ist Aluminium ein gerne verwendetes Material. Es würde das geringe Gewicht und somit die Handlichkeit der Konstruktion gewährleisten. Der Fairing selbst sitzt dabei auf einem Netz aus Gurtbändern, damit er zum einen federnd liegt, um Schäden durch Stöße vermeiden zu können, aber auch damit er von den Werkern beliebig um die Längsachse gedreht/ausrichtet werden kann. Der Wagen wird in zwei Größen ausgeführt sein, damit alle fünf Arten der Flap Tracks vom A380 optimal umfasst werden können. Die beiden Wagen unterscheiden sich hierbei also hauptsächlich durch die Bemessungen in Breite und Länge, in der vertikalen Achse sind beide auf eine bequeme Arbeitshöhe von ca. 1m auszulegen. Der Hebeprozess bei der Zwischenspeicherung der Flap Track Fairings an den wird hier getrennt betrachtet werden und benötigt deswegen eine vom Wagen getrennte Lösung, eine technische Konstruktion in Form eines Hebegeschirrs. Dieses sollte aus sicherheitsrelevanten Gründen aus Stahl bestehen. Dieser ganze Vorgang bzw. Das Flugzeugteil sollte dabei auch genug abgesichert sein, damit das Bauteil im schlimmsten Fall nicht aus mehreren

Metern abstürzt, Schaden anrichtet und/oder Menschen gefährdet. Das Anheben könnte manuell über eine Handseilwinde erfolgen.

### 3.2 Stahlwagenkonstruktion

Bei der zweiten Option handelt es sich ebenfalls um einen Wagen, der viel mit dem aus der ersten Variante gemeinsam hat. Das heißt auch hier besteht eine seiner Hauptaufgaben darin für Transport und Lagerung am Hallenboden zu sorgen. Allerdings wird hier auf eine weitere Vorrichtung als Hebegeschirr für den Hebeprozess unter den Wingdock verzichtet, der Wagen liegt quasi schon in dieser. Diese Aufgabe wird zusätzlich von der Wagenkonstruktion erledigt, und zwar lässt sich der obere Teil des Wagens für diesen Zweck separieren, sodass Gestell inklusive Räder am Boden bleiben und nur der obere Rahmen samt Netz und Fairing angehoben wird.

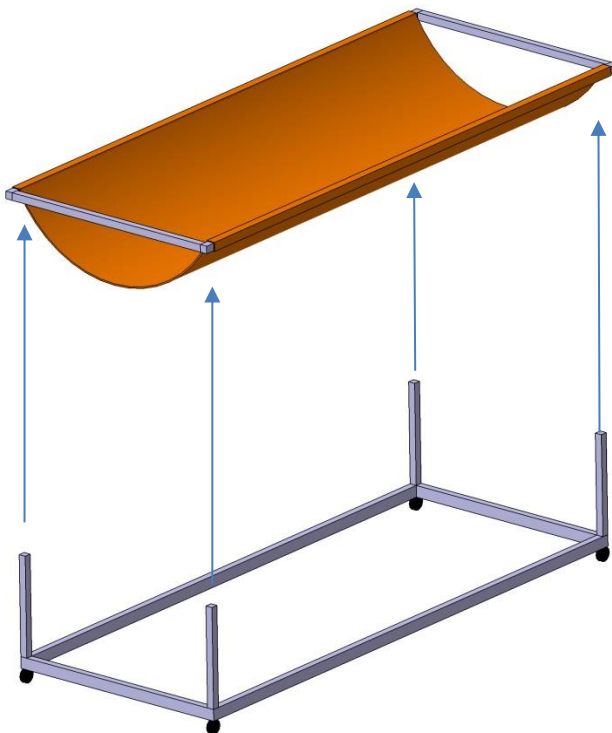


Abbildung 6: Variante zwei – Stahlwagen [4]

Zu beachten ist hierbei, dass der obere Teil im Vergleich zu Variante eins etwas anders aussehen muss, um nicht durchzuhängen, dass der Abstand also zwischen den beiden Trägerstangen gleichbleibt bzw. sie in ihrer Position verharren, und gleichzeitig, um zu verhindern, dass der Fairing in Längsrichtung rausfallen könnte. Wichtiger aber ist, dass die ganze Konstruktion hier aus sicherheitstechnischen Gründen aus Stahl bestehen müsste, wodurch der Wagen natürlich an Handlichkeit verliert.

### 3.3 Hydraulik-Hebewagen

Als drittes käme noch eine Art hydraulische oder elektrische Hebebühne infrage. Auch hier wäre sozusagen Transport und Hebeprozess in einem Gerät vereint. Auf der Bühne würde sich dann ebenfalls ein Netz mit dem jeweiligen Fairing befinden und sie sollte zusätzlich auch Platz für einen oder zwei Werker bieten. Die ganze Vorrichtung wäre dann automatisch bedienbar und für genannte Transport- und Hebeprozesse wären keine manuellen Arbeiten mehr zu verrichten. Neben dem Geländer sorgt hier die Werker, die während des Hebeprozesses mit auf der Bühne stehen, zusätzlich für die Sicherung des Fairings, sodass Unfälle leicht vermieden werden können. Von den drei Varianten ist dies sicher die Komplexeste. Vorbild hierfür wäre zum Beispiel eine Scherenarbeitsbühne

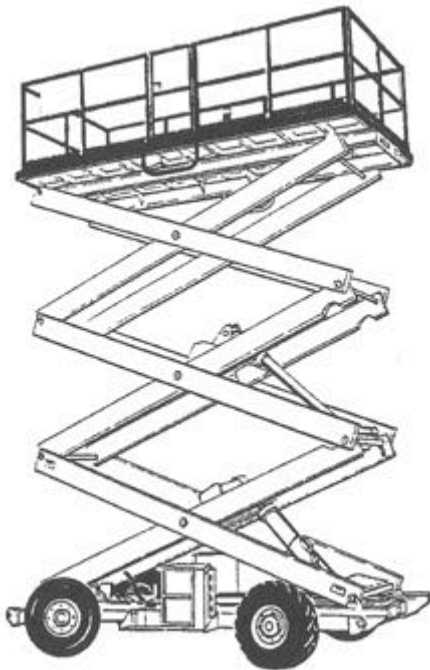


Abbildung 7: Variante drei – Hydraulikwagen [4]

Hier wäre eine stationäre Aufhängung unter dem Wingdock notwendig. Der Wagen könnte dann soweit ausgefahren werden, dass der Fairing dort eingehängt werden kann.

Unterscheidungsmerkmale in Funktion der Varianten:

Merkmale	Lösungsvarianten		
	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Grundgerüst	Wagengestell, Fairing in Querrichtung gesichert	Wagengestell mit integriertem Hebgeschirr, Fairing beidseitig gesichert	Hydraulik- Hebewagen
Material	Aluminium	Baustahl	
Bedienung	manuell		elektrisch
Führung	Räder mit Kunststoffbelag		Räder mit Reifen
Lagerung Fairing	Im Netz		
Heben	per Seil		per Hydraulik

Tabelle 5: Merkmale der Varianten, zusammengefasst

## 4. Variantenvergleich

### 4.1 Wertungen der Varianten hinsichtlich der Anforderungen

Kriterien	Wichtung	EG-Lösungsvarianten			Optimum
		EG-Variante 1	EG-Variante 2	EG-Variante 3	
[1]	0,84	7	8	2	10
[2]	0,24	5	5	2	10
[3]	0,44	7	7	3	10
[4]	1,00	8	8	8	10
[5]	0,44	8	8	3	10
[6]	0,76	9	6	2	10
[7]	0,64	9	5	1	10
[8]	0,12	7	7	2	10
[9]	0,88	8	8	7	10
[10]	0,40	6	7	3	10
[11]	0,56	7	7	2	10
[12]	0,36	5	5	5	10
[13]	0,08	8	8	3	10
	Ergebnis	<b>50,9</b>	47,3	25,7	67,6

Tabelle 6: Bewertung der konkreten Varianten

### 4.2 Wahl der bevorzugten Variante

Schlussendlich ist es also Variante eins, die Aluminiumwagenkonstruktion, geworden. Diese wird nun im weiteren Verlauf der Bachelorarbeit konzipiert. Dabei spielen die aufgestellten Anforderungen natürlich weiterhin eine wichtige Rolle. Ziel muss es sein, den Anforderungen, vor allem den höher gewichteten, so optimal wie möglich nachzukommen. Mit dem Erfüllungsgrad soll hauptsächlich das Potenzial der einzelnen Ideen eingeschätzt werden, die Umsetzung ist hier aber am Ende entscheidend.

## 5. Technischer Entwurf

### 5.1 Konstruktionsprozess

#### 5.1.1 Erster Entwurf

Zu allererst wird der große Wagen, d. h. der Wagen, der die größeren Fairings tragen soll, konzipiert. Der Wagen muss somit länger als 4,1m und breiter als 1,45m sein, sowie die maximale Höhe von 1,45m aufnehmen können, ohne dass die Gefahr besteht, dass der Fairing herausfallen könnte. Zwischen Höhe und Breite ist immer der größere Wert entscheidend, da der Fairing auf dem Netz auch um seine Längsachse gedreht werden können soll. Für den Rahmen des Wagens sollen Aluminium-Hohlprofile verwendet werden. Um genau zu sein, handelt es sich hier um die Aluminiumlegierung AlMgSi0,5 F22 (nach DIN9713-3.3206.71). Dabei ist natürlich der Querschnitt, also Abmessungen und Wandstärke, so zu wählen, dass mit genügend Sicherheit einer Verformung unter Last vorgebeugt wird. In Abbildung 8 lässt sich erkennen, wie sich der Rahmen zusammensetzt.

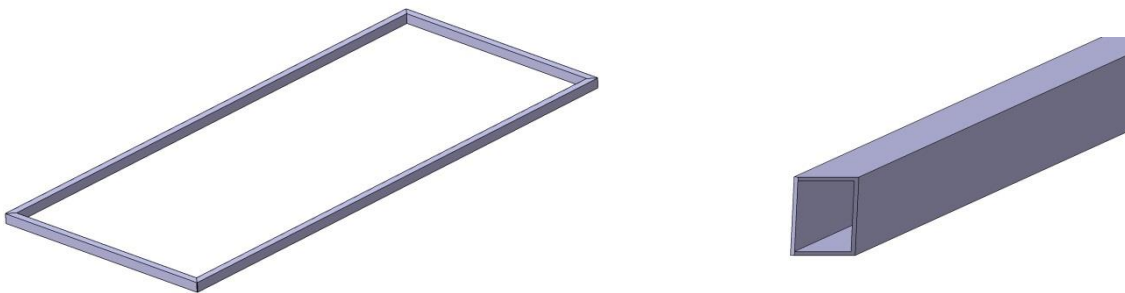


Abbildung 8: Grundrahmen und Querschnitt des Hohlprofils [3]

Verbunden werden die Hohlprofile durch je zwei Kehlnähte an den Ecken des Rahmens, auch zu sehen in Abbildung 9.

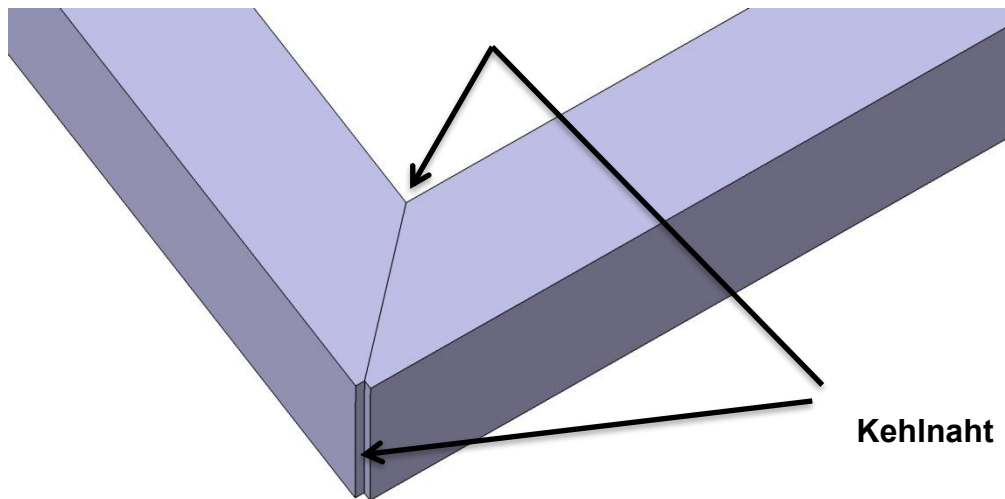


Abbildung 9: Schweißnähte am Rahmen [3]

Als nächstes werden auf den Rahmen Stützen geschweißt, die für die Erzeugung der erforderlichen Höhe nötig sind. Bei der Schweißverbindung handelt es sich wieder um zwei gegenüberliegende Kehlnähte. Auf diese Stützen soll dann der Träger für das Netz kommen, in das der Fairing gelegt wird. Da dieser ziemlich lang ist, werden pro Seite vier Stützen gebraucht.

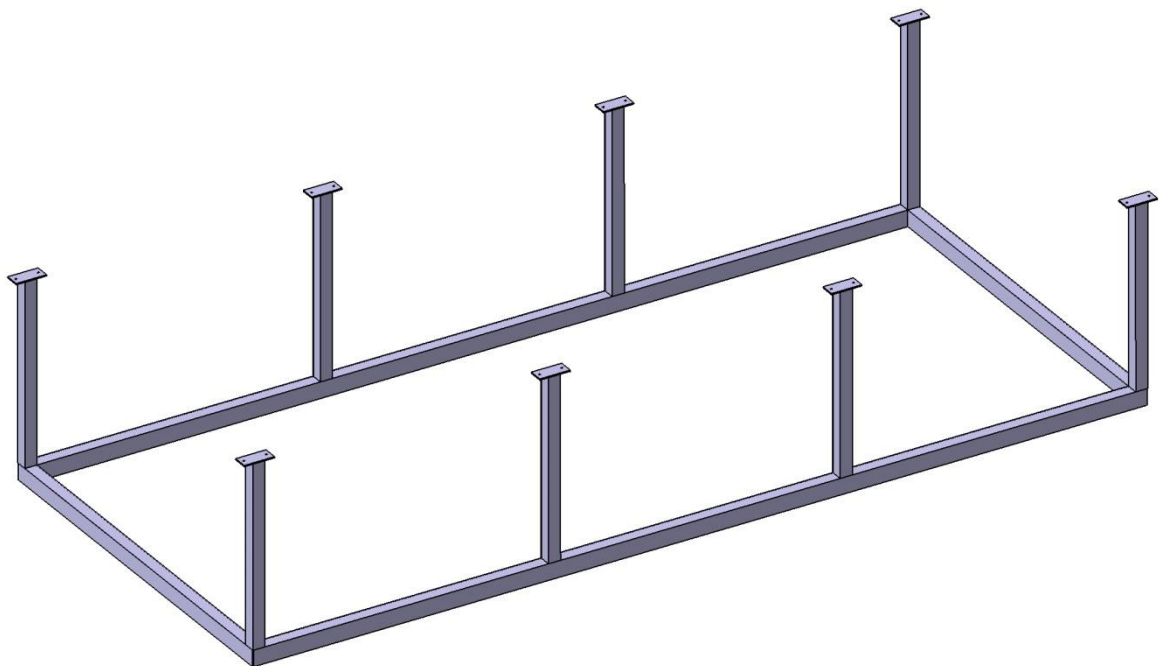


Abbildung 10: Stützen mit Anschweißplatten [3]

Die Schnittstellen zum Träger bilden die Anschweißplatten auf den Stützen. Diese haben je zwei Bohrungen. An die Platte wird der Träger dann über angeschweißte U-Profile geschraubt. An jeden der zwei Träger sind somit vier solcher Profile

angeschweißt. Im U-Profil sind somit auch je zwei Löcher. Die Verbindung sieht also schlussendlich aus wie in Abbildung 11 gezeigt wird.

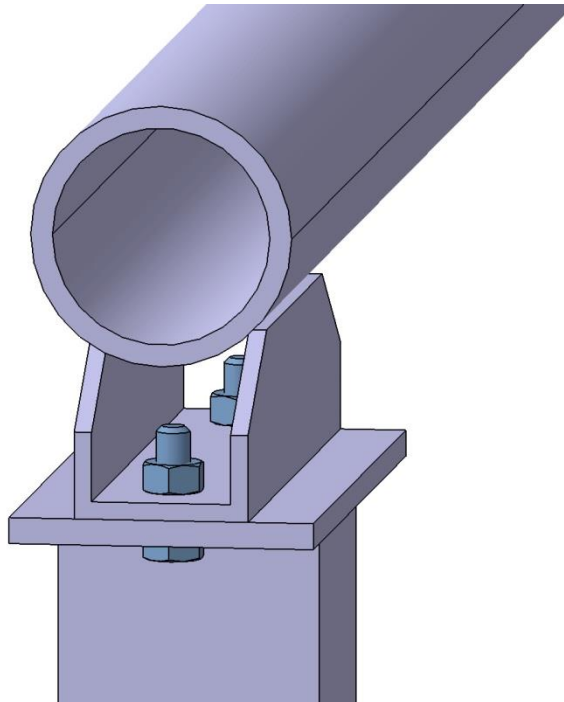


Abbildung 11: Verbindung Träger-Stütze [3]

Hier besteht eine lösbare Verbindung, die es ermöglicht, das Netz leicht auf den Träger zu schieben bzw. es bei Bedarf ohne Probleme auszutauschen. Für die Verbindung kommen Sechskantschrauben und -mutter zum Einsatz. Wie in Abbildung 11 auch zu erkennen ist, ist der Träger selbst ein Rohr. Ein Vierkanthohlprofil wird hier vermieden, da die Lasche des Netzes so nicht auf einer Kante sitzt, die es im Belastungsfall und auf Dauer schädigen könnte.

Um die Mobilität zu garantieren, werden am Wagen Räder angebracht. Die Schnittstellen hierfür sind an der Unterseite der Ecken des Rahmens angeschweißte Platten, die jeweils vier Bohrungen. Dies kann wie in Abbildung 12 aussehen.



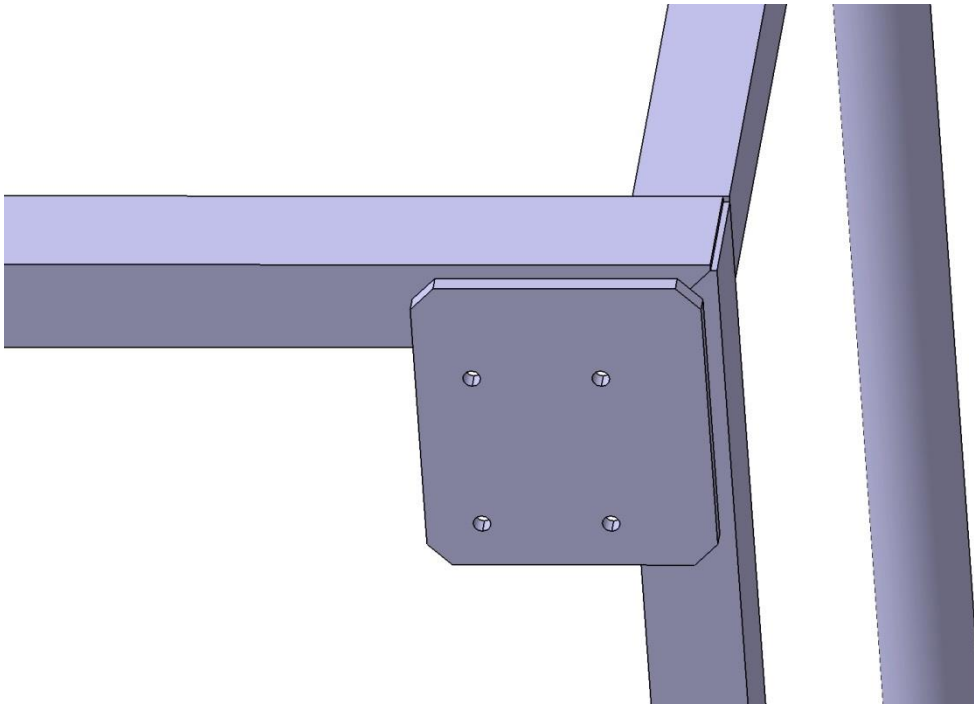


Abbildung 12: Anschweißplatte für ein Rad [3]

Zum angenehmeren Schweißen sind die Bleche an den Ecken mit Fasen versehen. Die entsprechenden Räder werden an die Platten mit Innensechskantschrauben und dazugehöriger Mutter lösbar befestigt. Als Räder werden hier Kunststoffrollen verwendet, die einen Doppelstopp besitzen, um den Wagen fixieren zu können.

Unter dem Grundrahmen sollen sich außerdem die zusätzlich gewünschten Gabelstaplertaschen befinden. Diese sind nicht nur zum Transport nützlich, sondern verbessern außerdem die Stabilität des Wagens.

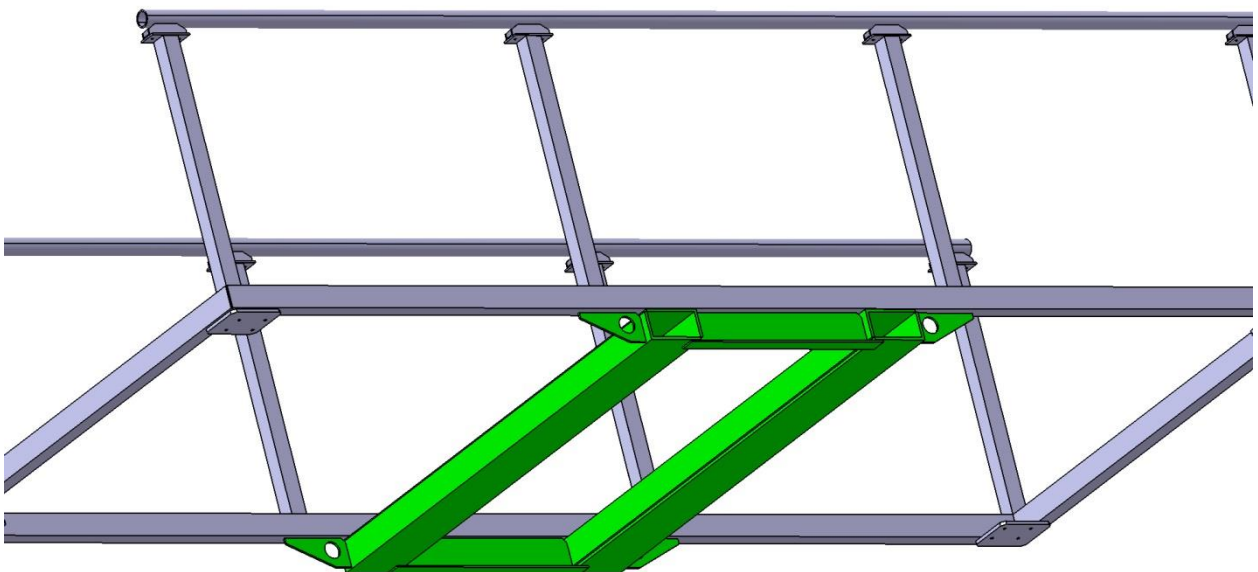


Abbildung 13: Subsystem Gabelstaplertaschen (grün dargestellt) [3]

Die Taschen selbst bestehen je aus zwei zusammengeschweißten L-Profilen. Der Abstand zwischen den beiden Taschen muss natürlich auf den Gabelstapler abgestimmt sein. Zusätzlich sind hier noch weitere Bleche, wie in Bild 13 zu sehen, angeschweißt, die wichtig sind um die Stabilität der Taschen zu gewährleisten. Die Kraft, die der Gabelstapler auf die Taschen, gerade bei ruckartigen Bewegungen, ausübt, ist nicht zu unterschätzen und da das verwendete Material Aluminium ist, können schnell Schäden entstehen. Das große Blech, das direkt zwischen den Gabelstaplertaschen verläuft, hat an den Ecken noch Fasen um Platz für die Kehlnähte der Taschen zu sichern. Des Weiteren werden hier noch vier Winkel mit je einer Bohrung angeschweißt. Diese haben lediglich die Funktion der zusätzlichen Sicherung durch ein Seil, wenn der Wagen zum Beispiel auf einem Fahrzeug gelagert werden muss. Somit können ungewollte Bewegungen während des Transports, die wieder zu Verformungen am Wagen führen können, vermieden werden. Ob das im Betrieb wirklich gebraucht ist, lässt sich aber jetzt noch nicht sagen.

Durch den im Netz liegenden Fairing wird ein Biegemoment auf die Stützen und Schweißnähte ausgeübt. Dies muss auch bei der Konstruktion berücksichtigt werden und deshalb werden hier zusätzlich Winkel zur Stabilisierung angebracht.

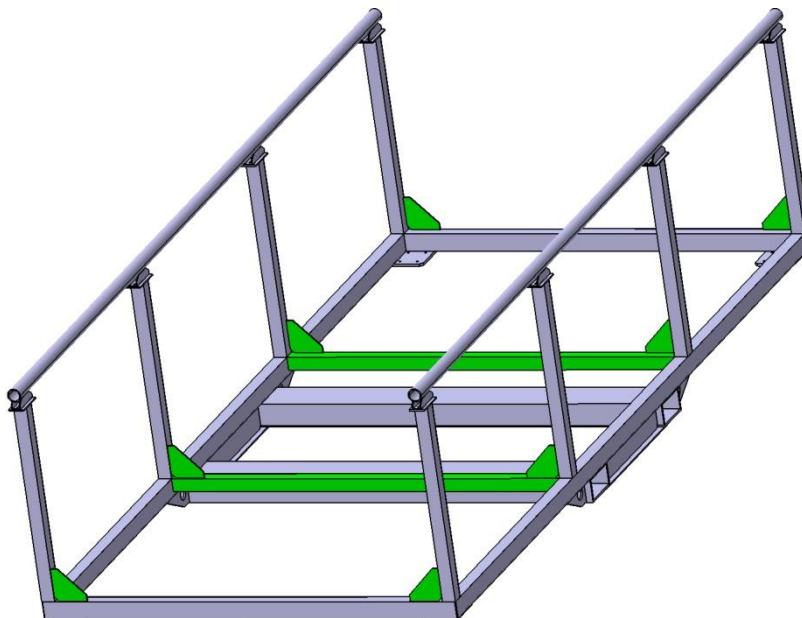


Abbildung 14: Winkel und weitere Querbalken [3]

Zwischen den vier Stützen, die sich in der Mitte befinden, müssen dafür zusätzlich zwei Balken zwischen je zwei Stützen, die sich auf einer Höhe befinden, angeschweißt

werden. In Abbildung 14 sind sowohl die zwei Querbalken, als auch die Winkel, wieder grün hervorgehoben.

Das Netz als Auflagefläche für den Fairing hängt zwischen den Rohrträgern. Mit Schlaufen wird es also auf die Rohre aufgeschoben. Dabei ist es wichtig, dass der Durchmesser der Schlaufen groß genug ist um ein einfaches Aufschieben über Rohrdurchmesser und dem angeschweißten U-Profil ermöglichen zu können. Das Netz selbst ist ein genähtes Gurtbandnetz.

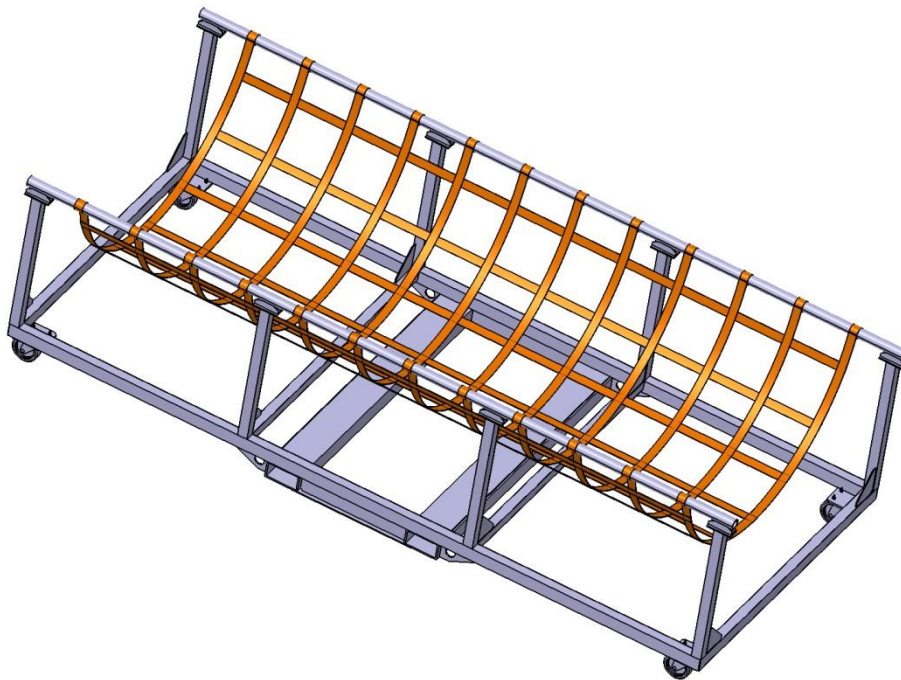


Abbildung 15: Erster Entwurf des großen Wagens [3]

Damit ergibt sich das Gesamtbild des ersten Prototyps, wie es in Abbildung 15 zu sehen ist. Der kleine Wagen unterscheidet sich äußerlich nur in den Abmaßen der Einzelteile vom Großen. Die gewählten Profile bleiben aber gleich, da der schwerste Fairing einer der Kleineren ist und Qualität und Sicherheit immer noch höher einzustufen ist als die Kosten. Des Weiteren ist es auch einfacher, wenn weniger unterschiedliche Ausgangsteile verwendet werden, da so Fehler vermieden werden können. Ansonsten liegt der Unterschied zwischen den beiden Wagentypen hauptsächlich nur in den Längen der verwendeten Hohlprofilbalken/-trägern sowie im anzufertigenden Netz.

### 5.1.2 Neue Zielsetzungen

Der Prototyp erfüllt die Hauptaufgabe des Lagerns und Transportierens der Fairings. Sie werden vollständig umfasst und es ist möglich an ihnen Arbeiten zu verrichten. Allerdings ist das noch keine zufriedenstellende Lösung. Gerade nach Absprache mit den entsprechenden Werkern und Verantwortlichen in der Halle 285, also vor Ort des geplanten Einsatzbereichs des zu erstellenden Geräts, wurde noch einmal klar, dass der geringe vorhandene Platz eines der Hauptprobleme ist. Am Ende des Gesprächs standen folgende Ergebnisse fest:

a) pro Flügel des A380 sollen drei Wagen zur Verfügung stehen. Zwei kleine für die zwei kleineren Fairings an einem Flügel (Mid Fairing 5 RH/LH, Mid Fairing 6 RH/LH) und ein großer für die Abarbeitung der drei verbleibenden Fairings (Mid Fairing 2 RH/LH, Mid Fairing 3 RH/LH, Mid Fairing 4 RH/LH)

b) bei „Nichteinsatz“ soll es möglich sein, die Wagen aufeinander stapeln zu können. Ein solcher Stapel soll also aus einem großen und zwei kleinen Wagen bestehen. Der Stapel sollte natürlich so klein wie möglich gehalten werden um keine Gefahr darzustellen.

c) zur Zwischenspeicherung stehen weiterhin die Wingdocks zur Verfügung. Präzise gesagt sollen zumindest die kürzeren Fairings quer unter das Dock gehängt werden sollen. Zusätzlich zu den Netzen in denen je ein Fairing hängt soll außerdem ein größeres Netz unter zwei Fairings als zusätzliche Absicherung angebracht werden. Bei Versagen eines Netzes würde der Fairing dann noch vom Sicherheitsnetz getragen werden, um zu verhindern, dass der Fairing direkt auf den Boden fällt oder eine sonstige Gefahr darstellt. Der Mechanismus muss natürlich so angebracht werden, dass der unter dem Wingdock gelagerte Fairing mindestens 2m über dem Boden hängt, um kein Hindernis für die Werker zu sein. Dieses Mindestmaß gilt also vor allem für das große Sicherheitsnetz.

Der Fokus muss nun zunächst auf der Stapelbarkeit der Wagen liegen. Zu beachten ist hierbei, dass die Wagen im gestapelten Zustand nicht einfach nur aufeinanderliegen, sondern auch in Längs- und Querrichtung gesichert sind, dass der Stapel nicht in sich zusammenfallen kann. Vorzugsweise wäre dies in der Struktur der Wagen umzusetzen, sprich durch ein gegenseitiges Ineinandergreifen an den geplanten Schnittstellen kann hier ein Formschluss realisiert werden. Für das Aufeinanderstapeln kann der

Gabelstapler zum Einsatz kommen. Die Höhe des Stapels sollte auch auf ein Minimum gehalten werden, deswegen können die drei Wagen nicht einfach über ihrer jeweiligen Gesamthöhe aufeinanderliegen.

Es gibt zwei Ansätze, um die Wagen stapelbar machen zu können. Bei der ersten Variante würden die Stützen der kleinen Wagen unterbrochen werden um sie mithilfe von kleineren Hohlprofilen, die in die Teilstützen von jeweils einen der kleinen Wagen geschweißt werden, ineinanderstecken zu können. Das sähe dann wie in Abbildung 16 dargestellt aus.

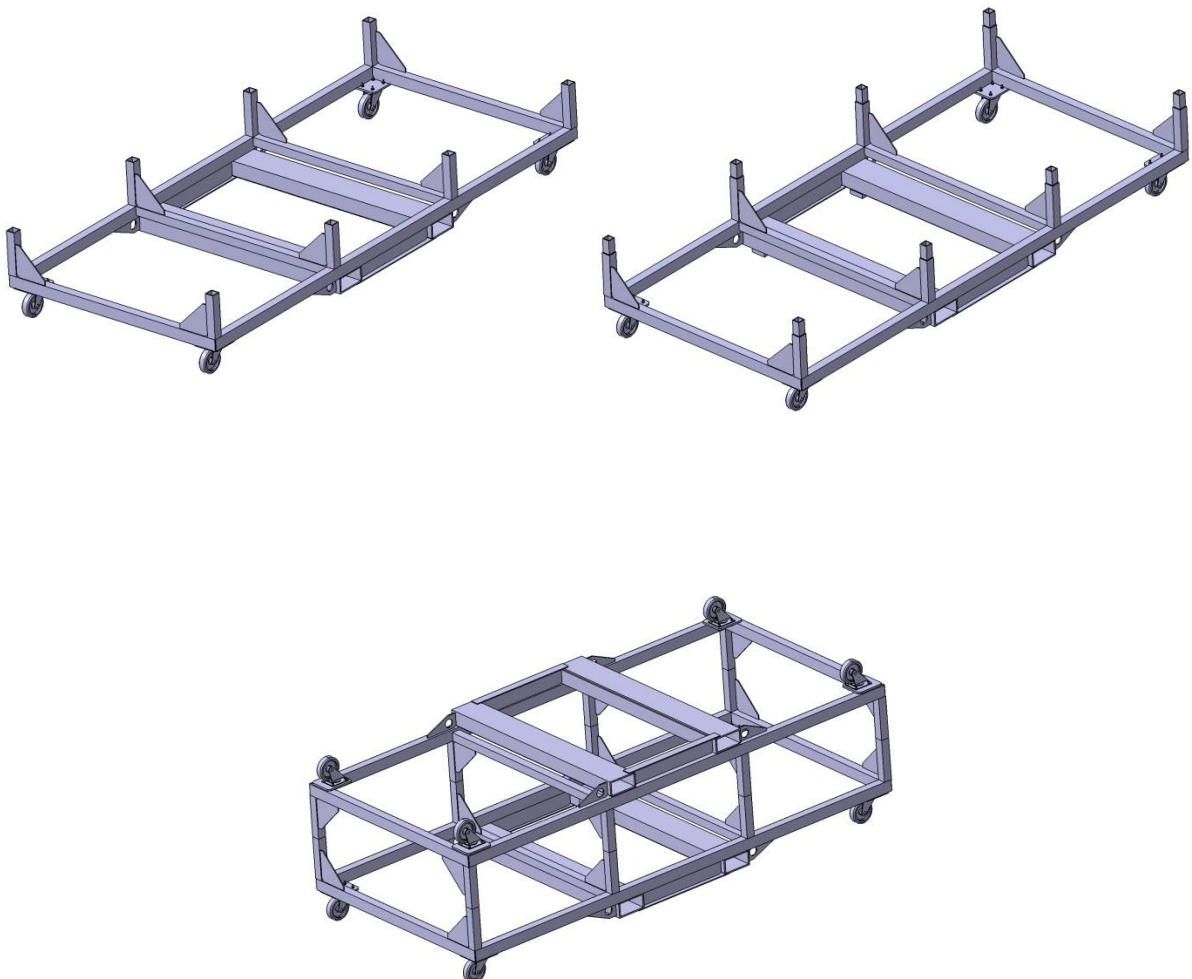


Abbildung 16: Steckverbindung zweier kleiner Wagen [3]

Theoretisch wäre diese Methode für die kleinen Wagen möglich, praktisch aber eher ungünstig. Es gäbe hier an jeder Stütze eine Schnittstelle zwischen den beiden Vorrichtungen, was somit acht Stück wären. Wenn nun bei einen Wagen Mängel

auftreten, er sich zum Beispiel mit der Zeit verformt, könnte es durchaus passieren, dass die Wagen schon nicht mehr aufeinanderpassen. Der Unterschied zwischen den Breiten der quadratischen Hohlprofile dürfte einerseits nicht zu klein sein, um genügend Spiel zu liefern, sodass eben angedeutete Verformungen kein Problem für die Stapelbarkeit werden, andererseits dürfte das Spiel aber auch nicht zu groß sein, da sonst die Schweißverbindung zwischen den beiden Hohlprofilen nicht zu Stande kommen könnte. Ist der Abstand zwischen der Innenseite vom größeren Hohlprofil und der Außenseite vom kleineren Hohlprofil zu groß, kann hier keine Naht mehr gezogen werden. Dazu kommen die vielen losen Teile, die hier bei der Stapelung entstehen. Damit sind die ganzen Enden der Stützen samt Schrauben, Muttern und auch dem Rohrträger gemeint, welche das Netz tragen. Ein jeweiliges Wechseln zwischen einsatzbereiten und nicht genutzten Wagen würde hier zusätzlich Zeit in Anspruch nehmen und im alltäglichen Betrieb könnten dabei außerdem leicht Teile verloren gehen. Da die kleinen Wagen hier auch nicht mehr identisch wären und sowohl in der Produktion als auch in der Handhabung kleine Unterschiede gemacht werden müssen, steigt folglich auch die Komplexität des Gesamtsystems Fairingabarbeitung an einem Flügel des A380. Ein weiteres Problem wäre die Schnittstelle zwischen dem unteren kleinen Wagen und dem noch gar nicht betrachteten großen Wagen, welcher den Stapel abschließen soll. Die einzige Chance hier wäre auf die Gabelstaplertaschen zu gehen, Bemessungen in der Breite bei kleinem und großem Wagen gleich sind. All diese Faktoren führen dazu, diese Idee schnell wieder zu verwerfen.

Eine andere Variante stellt sich hier als deutlich sinnvoller heraus. Bei dieser werden die Stützen der Wagen einfach mithilfe eines Gelenkes klappbar gestaltet. Vorteil hierbei ist, dass auf diese Weise keine losen Teile entstehen. Somit fällt auch der Montage- und Demontageprozess dieser Teile weg.

### **5.1.3 Detaillierte Beschreibung des finalen Konzepts**

Aus diesen Ansätzen heraus entstand nun das Konzept des finalen Produktes, welches die Anforderungen erfüllt und später auch in der Werkstatt auf dem EFW-Gelände gefertigt werden soll. Der Wagen setzt sich aus drei unterschiedlichen anzufertigenden Hauptkomponenten zusammen. Beim Rest handelt es sich um Kleinteile, hauptsächlich Normteile, die nur zur Montage der eigentlichen Komponenten gebraucht werden bzw. aus Katalogen bestellt werden.

## Erste Baugruppe – Basis des Wagens

Die erste Komponente bildet die Basis der Wagen. Das verwendete Hohlprofil für den hier verbauten Rahmen hat sowohl für den kleinen, als auch den großen Wagen die Maße 80mm x 60mm mit einer Wandstärke von 4mm. Der Rahmen des großen Wagens nimmt hierbei eine Fläche von 4420mm x 1920mm ein, die des kleinen Wagens beträgt 3520mm x 1620mm. Der große Wagen ist also 90cm länger und 30cm breiter als der kleine Wagen. Diese Abmaße sorgen für eine vollständige Umfassung des Fairings auf dem Wagen, d.h. die Abdeckung vom Flügel ragt nicht aus dem Grundriss des Wagens hinaus. Außerdem ist somit auch gewährleistet, dass selbst der größte Fairing ohne große Mühe auf dem Netz um seine Längsachse gedreht werden kann, ohne an die Teile des Wagens zu stoßen. Der Grundrahmen ist mit den Abmaßen etwas überdimensioniert ausgelegt, die Sicherheit  $s$  liegt hier deutlich über 2, die Wagen sollen aber am besten ewig halten und da er das Grundgerüst bildet, haben die Werker ein sichereres Gefühl bei der Handhabung des Wagens. Gewichtseinsparungen sind hier kaum von Bedeutung, da das Material AlMgSi0,5 F22 als Hohlprofil ausgeführt schon für ein ziemlich geringes Gewicht sorgt. Wie im ersten Entwurf werden die Rechteckrohre in einem Winkel von  $45^\circ$  an beiden Enden jeweils abgeschnitten und zusätzlich parallel zum Querschnitt noch 4mm an beiden Enden weggenommen, um wie in Abbildung 9 gezeigt an jeder Ecke des Rahmens je zwei Kehlnähte mit einer Dicke von 4mm schweißen zu können. Dies gilt wieder sowohl für den kleinen, als auch für den großen Wagen.

Auf dem Rahmen sitzen nun für beide Wagenarten je acht Stützen, vier davon auf den jeweiligen Ecken. Für den großen Wagen besteht der Abstand zwischen einer Eckstütze und der nächstgelegenen Stütze auf dem längeren Rahmenprofil 1400mm, beim kleinen Wagen sind es nur 1100mm. Zwischen den mittleren Stützen des Längsprofils ist somit jeweils ein 20mm kleinerer Abstand zu messen, also für den großen Wagen 1380mm und für den kleinen 1080mm. Die Hohlprofile haben für beide Wagenausführungen die Abmaße 60mm x 60mm und eine Wanddicke von 4mm. Die Stücke, die an den Rahmen anschließen, sind auf 170mm geschnitten. Geschweißt werden auch diese je mit Kehlnähten mit einer Dicke von 4mm. An diese Stützteile schließen nun die Gelenke an.

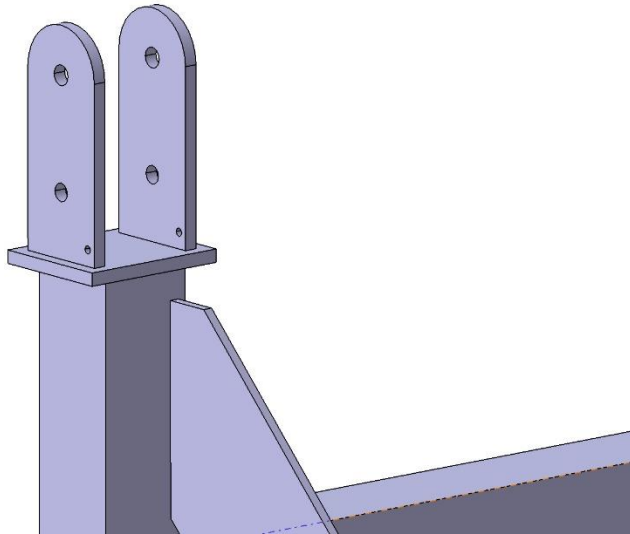


Abbildung 17: Fester Teil vom Gelenk [3]

Für das Gelenk muss als erstes je eine Platte à 8mm Stärke und mit den Abmaßen 94mm x 76mm an das offene Ende des Hohlprofils der Stützenansätze mittig aufgeschweißt werden. Die entsprechenden Kehlnähte hierfür sind 4mm dick und werden umlaufend aufgetragen. Erste Anlaufstelle für die Auswahl der Materialien, die zur Erstellung der geplanten FEMIs von Nöten sind, ist das Lager. Mithilfe von SAP kann überprüft werden, welche Rohteile aus Aluminium im Lager von EFW vorhanden sind oder zumindest in der Liste aufgezeichnet werden. Sobald eine bestimmte Sorte verbraucht ist, verschwindet sie natürlich nicht gänzlich aus der Liste. Die Menge an Rohteilen wird stets mitprotokolliert und wenn nicht mehr genug vorhanden ist, um einen neuen Auftrag auszuführen, ist es die Aufgabe des Einkaufs entsprechende Angebote einzuholen und neues Material in Bestellung zu geben. Für die Anschweißplatte kommt aus dem Lager nur ein vorhandenes Flachteil in Frage, welches die Abmessungen 100mm x 100mm x 8mm besitzt, um es so zurechtschneiden zu können, dass letztendlich das geforderte Teil mit den geforderten Maßen entsteht. Das Rohteil ist nach DIN 1770 - 3.3206.71 ausgelegt, somit besteht es aus der gleichen Aluminiumlegierung, wie die Hohlprofile. Anders sieht es da aber bei den beiden Laschen aus, die nun senkrecht auf die Platte geschweißt werden. Die verwendete Platte aus dem Lager hierfür ist nach DIN 1783 - 3.3457.07 ausgelegt. Hinter 3.3457.07 steckt die Aluminiumlegierung AlMg4,5Mn F27. Bei den Aluminiumlegierungen ist vor allem das Element Magnesium wichtig, da es günstig für die Schweißbarkeit des Materials ist. Die Laschen sind wie die Platte 8mm dick und haben die Abmessungen 140mm x 60mm. Zusätzlich haben sie je zwei Bohrungen.



Eine ist 11,2mm groß und befindet sich 40mm über der Unterkante der Lasche entlang der gedachten Mittellinie. Auf der Achse dieser Bohrung wird sich der Drehpunkt des Gelenks befinden. Die andere Bohrung wird 110mm von der Unterkante entfernt angesetzt und befindet sich ebenfalls auf der hypothetischen Mittellinie. Der Durchmesser hier entspricht 12,5mm. Diese Bohrung ist für die Einrastfunktion der Stütze bei Einsatz des Wagens wichtig. Zwischen den beiden Laschen ist ein Abstand von 61mm festgelegt. Beim Anschweißen der Laschen kann bloß eine mit einer umlaufenden Kehlnaht von 4mm Dicke angebracht werden. Da der Abstand zwischen den beiden Teilen beim Anbringen der zweiten Lasche zu klein ist, kann diese nur Enden umschweißt angebracht werden, d.h. die Schweißnaht wird nur so langgezogen, wie es für den Schweißer möglich ist. Die genaue Anordnung der Platte und der zwei Laschen, die zusammen den festen Teil des Gelenks bilden, ist in Abbildung 17 zu erkennen.

Weiterhin sind an der großen Hauptkomponente die Gabelstaplertaschen verbaut. Diese sind auf den entsprechenden Gabelstapler zugeschnitten und sind deshalb beim großen und beim kleinen Wagen nahezu identisch ausgelegt, nur über die Breite des Wagens sind für den großen Wagen auch längere Zuschnitte als bei dem kleinen nötig. Die Anordnung der einzelnen Elemente besteht weiterhin wie in Abbildung 13 gezeigt. Die Taschen haben einen Abstand von 680mm zueinander. Selbst bestehen sie aus zwei zusammengeschweißten L-Profilen nach DIN 1771 - 3.3206.71 und haben die Abmaße 200mm x 100mm x 10mm. Die Kehlnähte sind 8mm dick, werden aber nicht über die gesamte Länge gezogen werden, da die Profilmanschetten eine Länge von 1910mm für den großen Wagen und 1610mm für den kleinen Wagen umfassen und somit für beide eine Naht von über 3m gezogen werden müsste. Das ist natürlich nicht sinnvoll. Deswegen ist es günstiger hier Unterbrechungen in die laufende Naht einzubauen. Die Länge der Taschen ist je 10mm kleiner als die Gesamtbreite des Rahmens. Dadurch ist ein Abstand von 5mm auf jeder Seite von Außenkante der Gabelstaplertasche bis zu Außenkante des Rahmens vorhanden, was eine umlaufende Kehlnaht von 5mm Dicke ermöglicht um die Taschen mit dem Rahmen zu verbinden. Zur Unterstützung der Gabelstaplertaschen werden folgende weitere Bleche verschweißt:

- 2 Platten nach DIN 1783 - 3.3547.07 mit einer Dicke von 8mm und den Abmaßen 680mm x 110mm

- 2 Platten nach DIN 1783 - 3.3547.07 mit einer Dicke von 6mm und den Abmaßen 770mm x 60mm
- 4 Platten nach DIN 1783 - 3.3547.07 mit einer Dicke von 8mm und den Abmaßen 240mm x 105mm

Die genauen Maße für die Anbringung dieser Platten sind im separaten Zeichnungsanhang nachzuvollziehen. Diese Bleche verstärken die Gabelstaplertaschen, da beim Umgang mit dem Gabelstapler leicht, gerade bei ruckartigen Bewegungen, Strukturen aufreißen könnten. Aluminium ist schließlich im Vergleich zu Stahl ein deutlich weicherer Baustoff.

Die Gabelstaplertaschen bringen zusätzlich auch mehr Stabilität in den Rahmen.

Für die Räder, die unter den Rahmen müssen, um das Gerät mobil zu machen, wird eine auf sie abgestimmte Schnittstelle benötigt. Hierfür werden in den Ecken mit je 10mm Abstand zu den Außenkanten vier Platten mit einer Dicke von 12mm und den Abmaßen 200mm x 180mm angeschweißt. Dieses Element ist in der Art, wie auch in Abbildung 12 zu sehen ist, vom ersten Entwurf aus erhalten geblieben. Die Kehlnähte sind 4mm dick und werden an allen Berührungskanten zwischen Rahmen und Platte gezogen. Außerdem haben die Platten an den Ecken vier Fasen à 15mm x 45°. Die vier Bohrungen sind in den Abständen an das verwendete Rad angepasst. Sie haben einen Durchmesser von 11mm.

Für den großen Wagen sieht die große Schweißkonstruktion, die die erste Hauptkomponente bildet wie in Abbildung 18 aus.

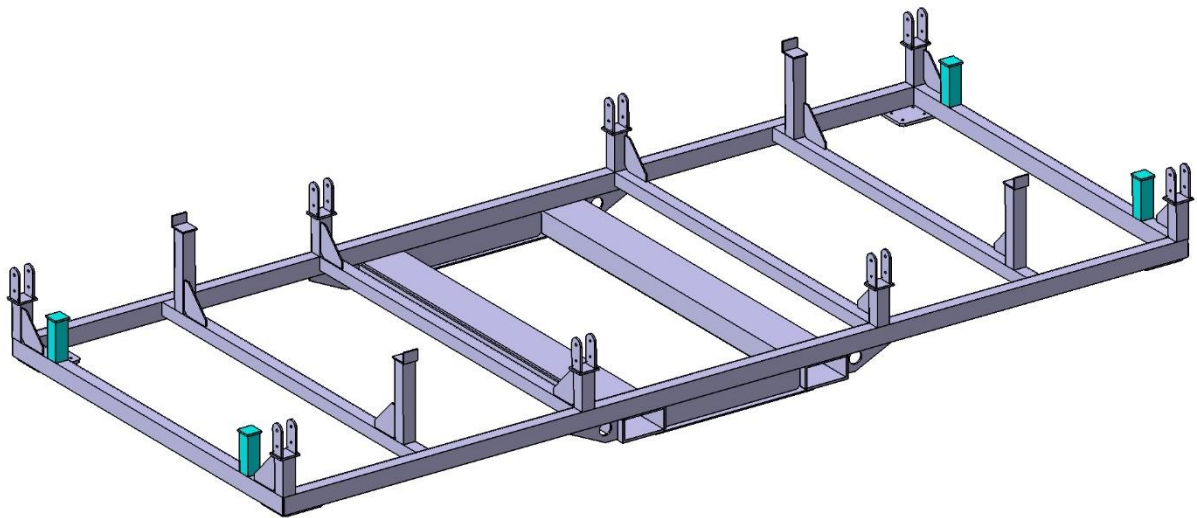


Abbildung 18: Ablageflächen für Stützen [3]

Die Teile, die in Bild 18 blau dargestellt sind, sind die Ablageflächen für den eingeklappten oberen Teil, wenn die Wagen nicht in Benutzung sind und somit aufeinandergestapelt werden können. Hier kommt wieder das identische Hohlprofil wie für die Stützenansätze zum Einsatz. Auch beim Anschweißen werden darum identische Werte wie bei den acht Stützteilen vorgegeben. Die Länge der einzelnen Zuschnitte beträgt hier 180mm, was auf die eingeklappten Stützen abgestimmt ist, die in einem Winkel von  $90^\circ$  verschieden zu ihrem Einsatzzustand im eingeklappten Zustand aufliegen sollen. Das entspricht also dem Wechsel von der Vertikalen in die Horizontale. Die auf die Hohlprofile aufgeschweißte Platte ist 8mm dick und nach DIN 1783 - 3.3547.07 ausgelegt. Die Platte ist auf 70mm x 70mm zurechtgeschnitten und wird mittig auf die Profile aufgeschweißt. Die Dicke der umlaufenden Kehlnaht entspricht hier 3mm.

Wie in Abbildung 19 außerdem zu erkennen ist bzw. in Abbildung 19 grün markiert dargestellt ist, sind noch vier weitere Stützen verbaut, an denen ein einzelner L-Profil-Zuschnitt anschließt.

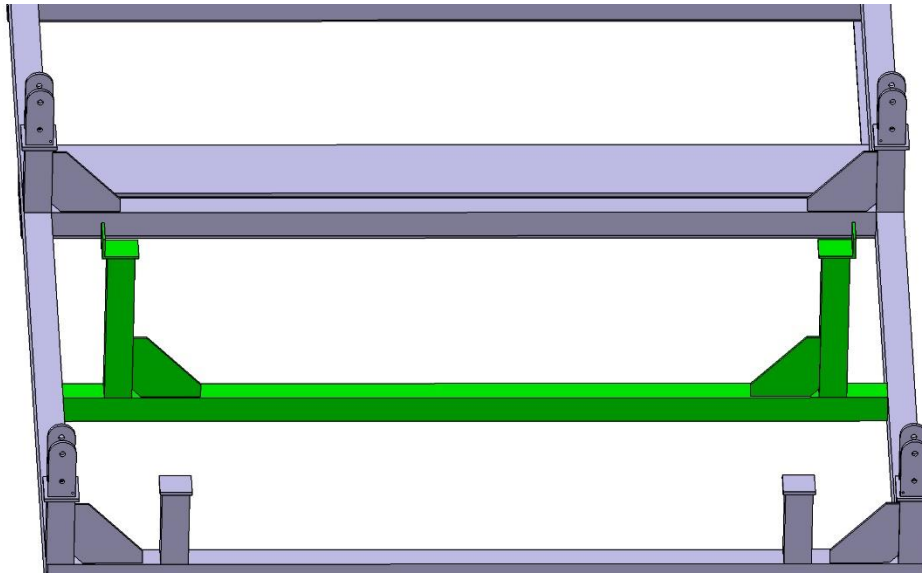


Abbildung 19: Stützen zum Stapeln der Wagen [3]

Diese sind für die Funktion des Stapelns der Wagen gedacht. Hier muss außerdem zwischen dem großen und dem kleinen Wagen unterschieden werden. Bei dem großen sitzen die Stützen nicht auf dem äußeren Rahmen, sondern auf zusätzlich eingeschweißte Querbalken um den Abstand zwischen zwei gegenüberliegenden Stützen so anpassen zu können, dass sie an das Außenquernaß des kleinen Wagens, den 1620mm, anschließen können. Das verwendete Hohlprofil ist identisch mit den der anderen vertikal sitzenden Stützen, die Teile haben eine Länge von 360mm beim großen Wagen, während sie beim kleinen Wagen 450mm lang sein müssen. Nötig sind die Maße um den Höhenunterschied bis zum angepeilten Punkt am Rahmen des darüber gestapelten Wagens zu überwinden. Beim Schweißen wird ebenfalls wie bei den anderen geradegeschnittenen Profilen vorgegangen. Das angeschweißte L-Profil ist nach DIN 1771 - 3.3206.71 ausgelegt und hat die Abmessungen 80mm x 50mm x 6mm. Es ist auf eine Länge von 70mm geschnitten und mittig auf den Pfeiler, wie in der technischen Zeichnung im Anhang gezeigt, angebracht. Beim kleinen Wagen sind diese Streben direkt auf dem Rahmen geschweißt, da sie beim Stapel bloß einen weiteren kleinen Wagen tragen, der logischerweise den identischen Grundrahmen besitzt.

Als letztes sind für diese große Schweißgruppe nur noch die Winkel zu erwähnen, die für Stabilität sorgen sollen und die Stützen gerade gegen die Biegebeanspruchung im betrieblichen Umgang mit ihnen absichern sollen. An einigen Stützen müssen dafür auch noch weitere Querhohlprofile in den Rahmen geschweißt werden. Bis auf die äußeren des Rahmens, haben alle Querprofile die Abmessungen 60mm x 60mm mit der Wandstärke von 4mm. Die Winkel sind nach DIN 1783 ausgelegt, das Material ist AlMg4,5Mn F27 und die Bemessungen betragen 150mm x 150mm. Die Platten, aus

denen diese Winkel geschnitten werden, haben die Maße 2500mm x 1250mm und eine Dicke von 6mm. Die Winkel werden jeweils von beiden Seiten an die Kanten des entsprechenden Hohlprofils per Kehlnaht mit 3mm Dicke angeschweißt. Dabei ist zu beachten, dass die Winkel nicht mittig auf die Oberfläche des Hohlprofils, sondern mit einem Abstand von 5mm zu dessen Ecke angeschweißt wird, da so keine Biegung wirkt, die das Profil schädigt bzw. verformt. Abgeleitete Kräfte lösen somit quasi nur Druckspannungen an den vertikalen Wänden des Hohlprofils aus.

Obwohl sich der kleine und der große Wagen vom Aufbau sehr ähnlich sind, ist allerdings noch ein kleiner Unterschied zu benennen.

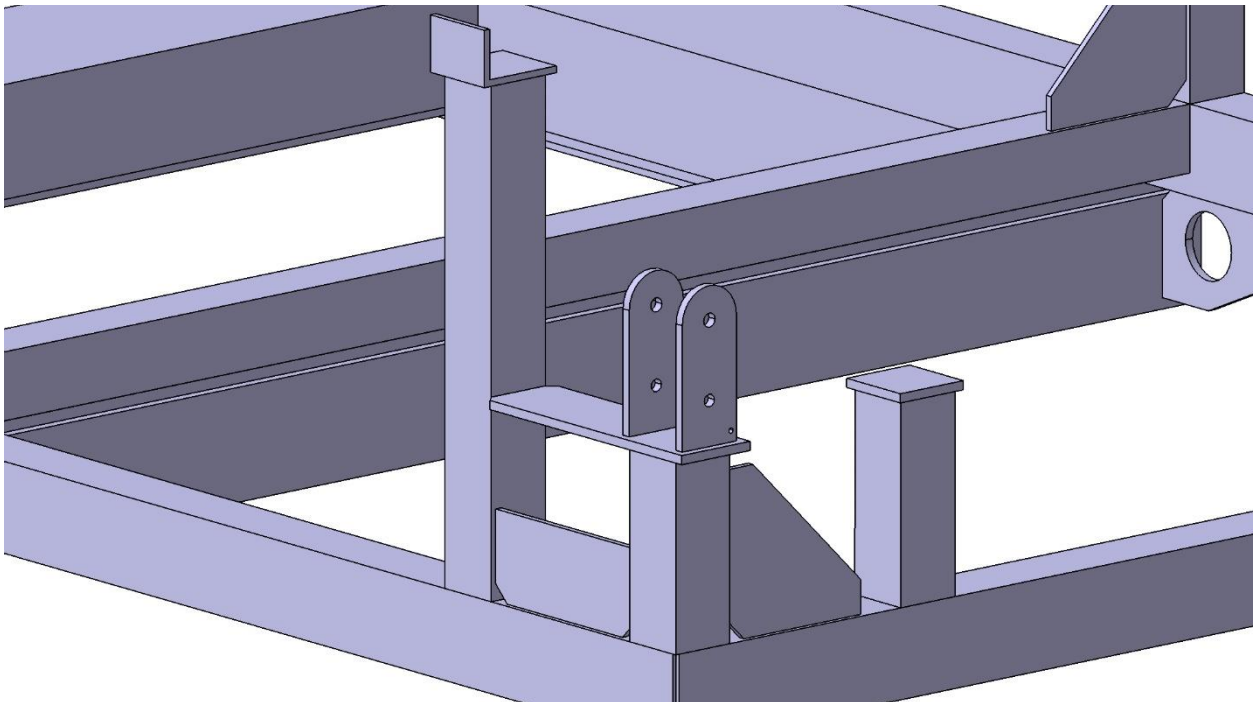


Abbildung 20: Ecke des unteren Teils des kleinen Wagens [3]

Wie in Abbildung 20 zu sehen ist, wird aufgrund der Tatsache, dass sich die Stapelstütze auf dem Rahmen befindet und gleichzeitig auch keinen allzu großen Abstand von der Eckstütze aufweist, kein weiterer Querbalken für diese Stützen in den Rahmen befestigt. Dafür wird mithilfe einer Platte eine Verbindung zwischen den Streben hergestellt. Als Rohmaterial wird hier die selbe Platte wie für die anderen Winkel verwendet, die Abmessungen sind hier lediglich 180mm x 80mm. Das Schweißen folgt ebenfalls dem gleichen Prinzip. Zu weiteren Stabilisation bietet es sich hier auch an die Platten vom festen Gelenkteil an den Eckstützen zusätzlich bis an die Kante des anderen Profils zu ziehen. Somit kann Material eingespart werden und der Wagen ist trotzdem genug abgesichert.

Die Fasen in sämtlichen Winkeln haben die Bemessungen 15mm x 45° und werden geschnitten um Platz für bereits bestehende Schweißnähte zwischen den Profilen zu schaffen.

Wie die beiden Hauptschweißgruppen also letztendlich aussehen, ist in Abbildung 21 zu sehen.

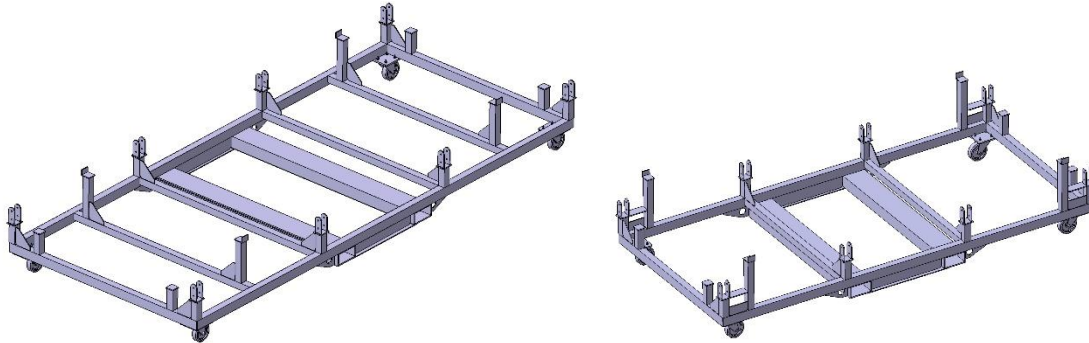


Abbildung 21: Hauptkomponente des großen Wagens und des kleinen Wagens (von links nach rechts) [3]

### Zweite Baugruppe - Stütze

Die zweite Komponente der jeweiligen Wagenarten ist deutlich weniger komplex als die erste. Es handelt sich hierbei um die acht Stützegegenstände, die durch das Gelenk beweglich gelagert sind.

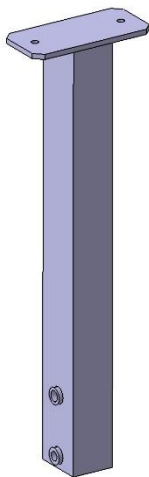
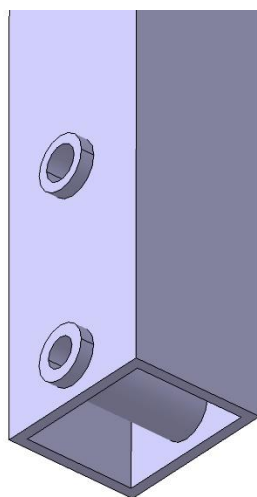


Abbildung 22: Schweißgruppe der beweglichen Stützen [3]

Wie diese Stücke der Streben aussehen, ist in Abbildung 22 zu sehen. Hierbei unterscheiden sich kleiner und großer Wagen nur im Längenmaß des geschnittenen Hohlprofils. Dieses beträgt 497mm für den kleinen und 300mm mehr, als 797mm für den großen Wagen. Die Maße des Hohlprofils an sich sind nicht mit den Stützansätzen aus der anderen Schweißgruppe identisch. Mit den Bemessungen von 60mm x 50mm statt 60mm x 60mm ist hier also eine Verjüngung der Stütze nach oben zu erkennen.

Das gewählte kleinere Maß ist für das Gelenk wichtig, welches die Schnittstelle zwischen der Wagenbasis und diesen längeren Stützteilen bildet.

Wie bei den Gelenklaschen muss auch in die Profilwände gebohrt werden, damit die gewählten Verbindungselemente, also Schrauben und Bolzen, hier durchgeschoben werden können. Zur Entlastung der Außenwände der Stützen werden hier Rundteile in die Bohrungen geschoben und festgeschweißt. Damit wird vor allem einer hohen Flächenpressung entgegengewirkt. Diese Rundteile haben dann die für die Funktion des Gelenks prägnanten Bohrungen, deren Durchmesser also die entsprechendem Maße besitzen, damit die Schrauben und Bolzen eingeschoben werden können und dort mit wenig Spiel sitzen. Die Bohrungen in den Wänden der Streben haben je beide einen Durchmesser von etwas mehr als 20mm. Bei der Fertigung wird also so gebohrt, dass gerade genug Platz ist, um die Rundteile, die nach DIN 1798 ausgelegt sind und selbst einen Durchmesser von 20mm haben, bequem durch die Löcher schieben zu können. Das verwendete Material ist hier wieder nach DIN 1725 bestimmt. Die Aluminiumlegierung, die sich unter der gewählten Nummer 3.2315.72 verbirgt und so im Lager vorzufinden ist, ist AlMgSi1 F30. Diese Rundteile haben eine Länge von 60mm, so dass sie mittig positioniert aus beiden Wänden der Stütze mit 5mm überstehen. Per umlaufender Kehlnaht, mit einer Dicke von 4mm, werden sie dann an das Profil angeschweißt. Das Ganze ist in Abbildung 23 zusehen. Die untere Bohrung in der Strebe befindet sich nur 15mm von der unteren Kante entfernt, Der Abstand zwischen den Bohrungen beträgt ca. 70mm.



**Abbildung 23: Eingeschweißte Rundteile [3]**

Das Loch im Rundteil hat einen Durchmesser von 11,2mm. Hier wird der Drehpunkt des Gelenks sitzen. Bei dem anderen Rundteil ist die Bohrung aufgrund des später

einzusetzenden Bolzens etwas größer. Der Durchmesser der Bohrung beträgt 13mm. An dieser Stelle kann die Stütze fixiert werden, wenn der Wagen in Gebrauch ist. Genaueres darüber wird im Abschnitt Gelenk erklärt (siehe S. 51).

Als letztes gehört zu dieser Baugruppe noch eine angeschweißte Platte am anderen Ende der Stütze. Diese ist wichtig für die Schnittstellenverbindung zwischen Strebe und dem Träger, der das Netz führt und die letzte Baugruppe des Wagens bildet. Die Platte ist, wie schon einige Elemente aus der ersten Baugruppe, aus einer DIN 1783 Platte, mit den Bemessungen 1250mm x 2500mm und der Dicke von 6mm, geschnitten. Der Zuschnitt hat die Maße 150mm x 70mm. Auf der gedachten Mittellinie parallel zur Richtung der längeren Kante befinden sich zwei Bohrungen, je eine 20mm von den zwei Außenkanten entfernt. Diese haben einen Durchmesser von 8,5mm. Zusätzlich hat die Platte an allen Ecken Fasen mit dem Maßen 10mm x 45°. Dies dient lediglich der Sicherheit, da die Ecken zum Teil vom Wagen abstehen und somit immer die Gefahr besteht, dass Verletzungen bei Unachtsamkeit entstehen können. Die Kehlnähte, mit denen die Platten angeschweißt werden sind 4mm dick und umlaufend. Pro Wagen, egal ob groß oder klein, werden je acht Exemplare dieser Baugruppe benötigt.

Die gesamte Stütze, also vom unteren Ende des Stützenansatzes über Gelenk bis zum oberen Ende des Stützenhohlprofils, die zuletzt erwähnte Anschweißplatte somit ausgeschlossen, hat für den großen Wagen eine Gesamtlänge von 1000mm, sprich 1m, und für den kleinen Wagen eine von 700mm.

### Dritte Baugruppe – Träger

Wie auch im ersten Entwurf bereits grob umschrieben, handelt es sich beim Hauptträger der Last, die der Fairing mit seinem Eigengewicht auf den Wagen ausübt, um eine Rohrstange. Diese ist nach DIN 1795 ausgelegt, besteht aus der gleichen Aluminiumlegierung, wie die anderen Hohlprofile, die für den Wagen verwendet wurden, nämlich AlMgSi0,5 F22 und hat einen Durchmesser von 60mm, sowie eine Wandstärke von 5mm. Die Rohrstange ist das längste Bauteil der Wagen. Beim kleinen Wagen ist sie 3610mm lang, beim großen sogar 4510mm. Bereits angesprochen wurde, dass ein Rohr im Gegensatz zum Vierkantprofil den Vorteil hat, dass durch fehlende Kanten das Netz geschont wird, was der Langlebigkeit zugutekommt. In Abbildung 24 ist die vollständige dritte Baugruppe zu erkennen.



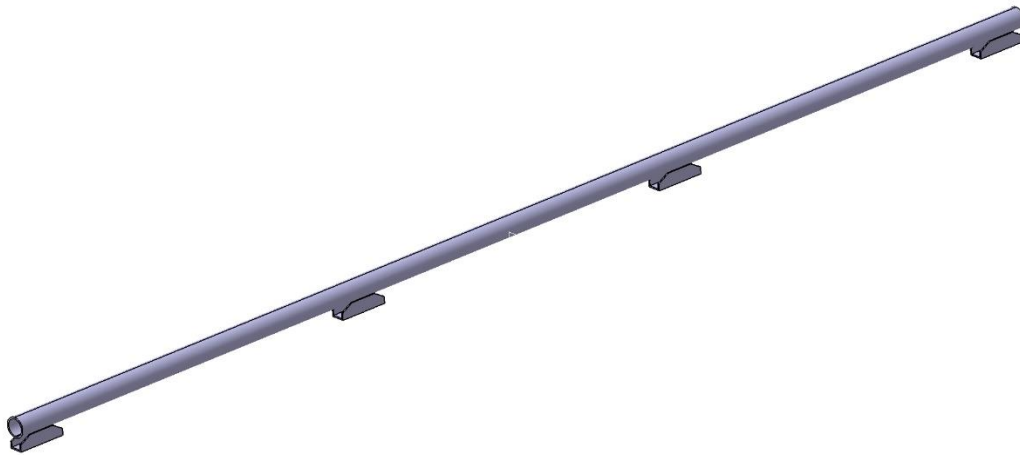


Abbildung 24: Der Träger [3]

An ein Rohr werden je 4 U-Profile mit den Bemessungen 40mm x 40mm x 4mm x 4mm angeschweißt. Diese sind nach DIN 9713 ausgelegt und haben eine Länge von 150mm. Sie werden mit der offenen Seite an die Oberfläche des Rohrs platziert und an den sich berührenden Kanten je mit einer 4mm dicken Kehlnaht mit diesem verbunden. In Abbildung 25 ist die Verbindung im Querschnitt zu sehen.

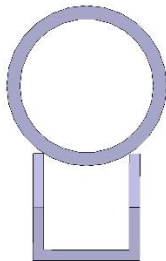


Abbildung 25: Anordnung der beiden Einzelteile des Trägers [3]

Benötigt werden diese U-Profile für die Schnittstelle zwischen dem Rohr und der Stütze. Sie bilden somit das Gegenstück zu der Anschweißplatte aus der zweiten Baugruppe. Deshalb sind auch hier je zwei Bohrungen mit dem gleichen Durchmesser, also 8,5mm, und dem gleichen Abstand zwischen den Bohrungen im U-Profil nötig. Der Abstand zwischen den einzelnen U-Stücken ist so gewählt, dass nach der Montage auf die Stützen diese mittig auf die Streben positioniert sind. Pro Wagen sind zwei Stück dieser Baugruppe gefordert.

## Schnittstellen

Nun müssen noch die einzelnen Verbindungen zwischen den beschriebenen Bauteilen betrachtet werden.

### Rad – Basis

Die Räder, die bei allen Wagen benutzt werden sind aus dem Hauptkatalog von der Firma KAISER+KRAFT vom Mai 2015 ausgewählt. Es handelt sich hierbei um Polyurethan-Lenkrollen mit Doppelstopp, wie auch in Abbildung 26 gezeigt. Somit ist der Wagen mobil, kann aber jederzeit und einfach fixiert werden, wenn dies erforderlich ist. Eine Rolle hat einen Durchmesser von 160mm und ist 50mm breit. Der große Durchmesser sorgt für einen angenehmen Rollkomfort. Es läuft auf einer Alu-Felge. Die maximale Tragkraft beträgt 300kg pro Rad bei einer Laufgeschwindigkeit von 4km/h.



Abbildung 26: Lenkrollen mit Doppelstopp [5]

Bei vier Rädern am Wagen wären das 1200kg, was viel mehr ist, als im konkreten Fall überhaupt benötigt wird. Falls dennoch ein Rad ausfällt, kann der Wagen somit trotzdem noch auf drei Rädern bewegt werden, um z.B. zur Werkstatt transportiert werden zu können.

Die Abstände der einzelnen Bohrungen der Anschweißplatte für die Räder am Wagen und deren Durchmesser sind also durch die vom Hersteller bestellten Lenkrollen vordefiniert. Da die Löcher in der Gehäuseplatte einen Durchmesser von 11mm haben, gilt das auch für die Bohrungen an der Platte vom Wagen. Die benötigten Schrauben sind somit M10-Zylinderschrauben mit Innensechskant nach ISO 4762. Der Innensechskant wurde hier dem Außensechskant vorgezogen, da die Montage somit deutlich leichter ausfällt, da einige Schrauben für einen Schraubenschlüssel schwer zugänglich sind. Mit einem Sechskantschraubendreher sollte dies aber kein Problem darstellen. Die Festigkeitsklasse ist 8.8 und der Schaft ist 35mm lang. Für die angewandte Schrauben-Mutter-Verbindung werden davon für alle vier Räder insgesamt 16 Stück pro Wagen benötigt. Dazu kommen noch 16 M10-Sechskantmutter nach ISO 4032.

## Gelenk

Das zuvor schon häufig erwähnte Gelenk bildet also die Schnittstelle zwischen der Basis und den Wagenstützen. Gleichzeitig macht es den Wagen einklappbar. Das ist vor allem nützlich, wenn die Wagen nicht gebraucht werden und so leichter aufeinandergestapelt werden können. Die Funktion des Gelenks ist in Abbildung 27 zu sehen.

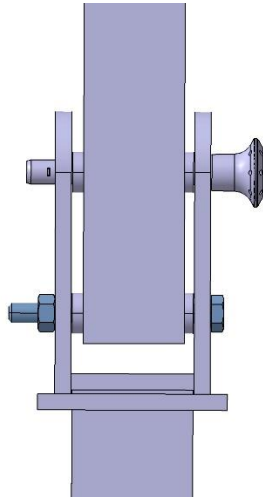


Abbildung 27: Gelenkverbindung [3]

Die Drehachse bildet die Gerade der Mittelpunkte der unteren Bohrungen. Hier wird pro Gelenk eine M10-Sechskant-Passschraube nach DIN 609 gebraucht.

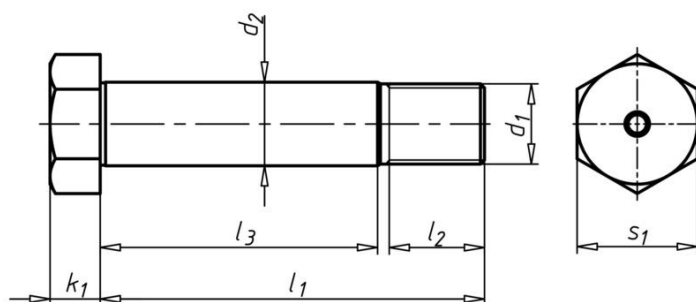


Abbildung 28: Maßbezeichnungen einer Passschraube [6]

Bei einer M10- Sechskant-Passschraube ist  $d_2$ , also der Durchmesser vom Passschaft, 11mm groß. Deswegen sind die Bohrungen in den Laschen und dem Hohlprofil einige Zehntel Millimeter größer, in der technischen Zeichnung sind 11,2mm notiert. Da die einzelnen Baugruppen und Elemente nicht einfach nur in der Werkstatt hergestellt

werden, sondern dort auch der Montageprozess stattfindet, kann dies leicht angepasst werden. Wenn die Bohrungen somit noch nicht ausreichend bemessen sind, um den Schaft der Schrauben bequem einführen zu können, kann hier nachgebessert werden. Bei der Länge  $l_1$  ist 100mm gewählt, da laut Norm dadurch die Länge  $l_3$  genau 77mm sind. Das ist genau der Abstand, der zwischen den beiden äußeren Seiten der Laschen vorliegt. Also sprich von der Oberfläche, an der Schraubenkopf und Lasche sich berühren, zu der Oberfläche, an der sich Mutter und Lasche berühren. Dieses Mindestmaß von 77mm ist wichtig, damit der das Gewinde nicht in den Bohrungen aufliegt, sondern die Kräfte nur durch den Passschaft geleitet werden. Wofür die verschiedenen Maße stehen ist auch in Abbildung 28 anschaulich zu sehen. Da die Schraube-Mutter-Verbindung an der Drehachse nach der Montage nicht mehr gelöst werden muss, wird hier keine normale Sechskantmutter, sondern eine selbstsichernde M10-Sechskantmutter nach ISO 7042 verwendet. Somit wird selbst einem allmählichen Lockern der Mutter im längeren Betrieb des Wagens vorgebeugt.

Zur Fixierung der Stützen in ihrer ausgestreckten und einsatzbereiten Position sind nun die anderen Bohrungen in den Stützwänden und den Laschen wichtig. Hier kommt ein Bolzen zur Anwendung. Genauer beschrieben handelt es sich um einen Steckbolzen mit Axialsicherung in Form einer Sperrklinke nach GN Norm 114.2 aus dem GANTER GRIFF Katalog. Vor allem wenn der Bolzen oft und einfach montiert und demontiert werden muss, ist dieser Bolzen sinnvoll. Per Knopfdruck lassen sich die Klinken über eine zusammengeschobene Feder einziehen. Dies ist auf folgendem Bild, Abbildung 29, nachvollziehbar.

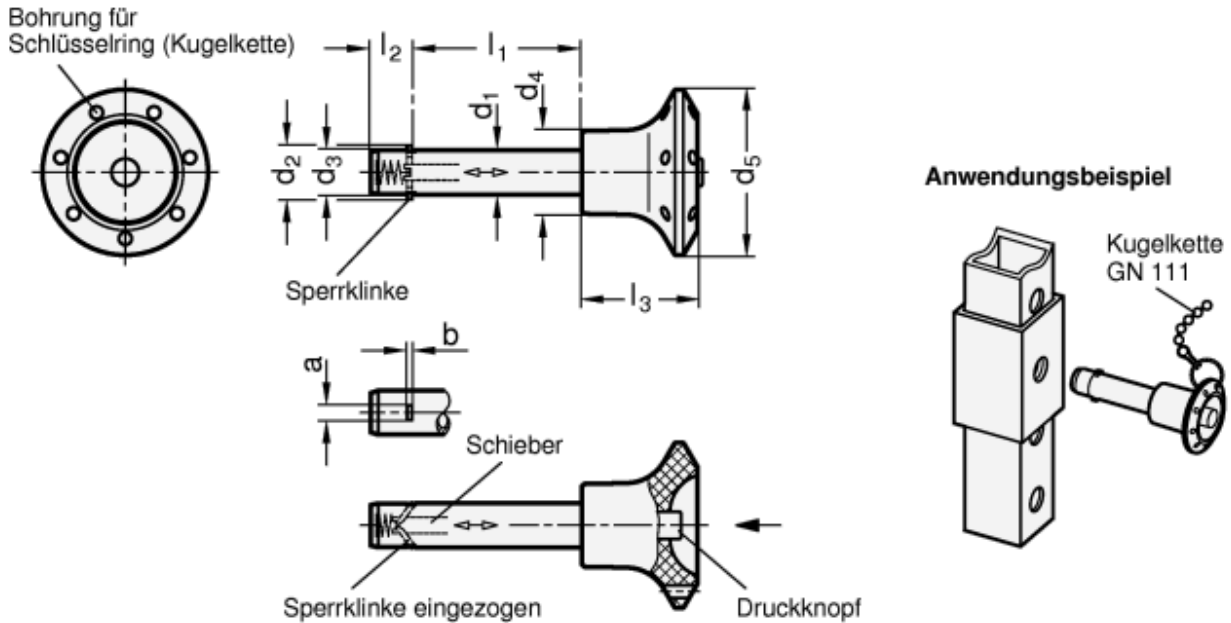


Abbildung 29: Steckbolzen mit Axialsicherung [7]

Die Wahl viel hier auf die Ausführung mit  $d_1 = 12\text{mm}$ , da es der einzige ist, bei dem  $l_1$  mit 80mm Länge ausreicht. Schließlich muss zwischen Kopf und Klinke ein Abstand von mindestens 77mm sein. Somit erklärt sich, warum die Bohrungen in der Vorrichtung alle auf einen Durchmesser von 13mm gesetzt werden mussten.

Von der GANTER GRIFF Seite [www.ganter-griff.de](http://www.ganter-griff.de) kann man sich zusätzlich die 3D-Modelle der meisten Artikel zuschicken lassen. Für den Steckbolzen ist das entsprechende Beispiel in Bild 30 zu sehen.

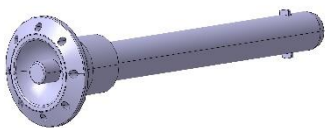


Abbildung 30: CATIA-Modell des Sperrbolzens [3]

Zusätzlich sind im Kopf des Sperrbolzens kleine Löcher vorhanden. Wie ebenfalls in Abbildung 29 zu sehen, können diese für Schlüsselringe benutzt werden um sicherzustellen, dass sie nicht verloren gehen. Dies ist auch in der Konstruktion des Fairingwagens von Vorteil, da die Bolzen als loses Zubehör schnell verloren gehen könnten.

Deswegen wird ein weiterer Artikel aus dem GANTER GRIFF Katalog, ein Halteseil, verwendet. Es ist unter der GN Norm 111.2 verzeichnet. Dieses Seil hat an jedem Ende einen Schlüsselring, es handelt sich also um Form A. Die genaue Bestellnummer des geforderten Artikels lautet GN111.2-150-14-A. Das Seil hat also eine Länge von

150mm, die Ringe einen Durchmesser von 14mm. Der genaue Aufbau ist in Abbildung 31 zu finden.

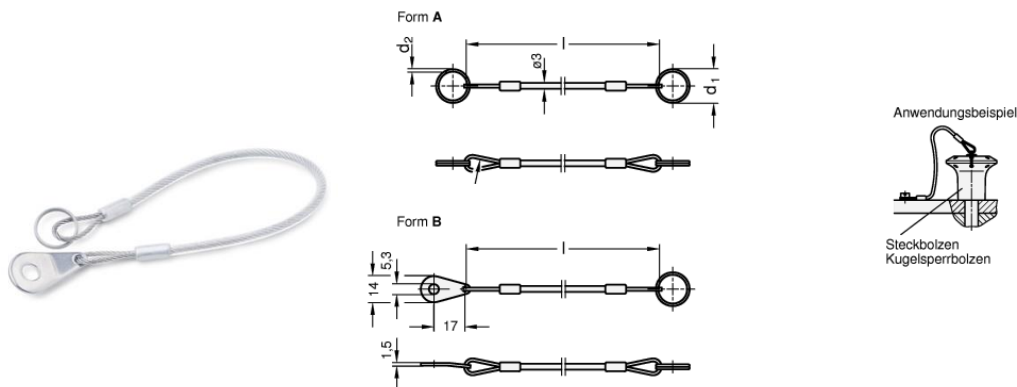


Abbildung 31: Das Halteseil [8]

In jeder der Laschen befindet sich in der unteren Ecke eine kleine Bohrung. Hier wird das Halteseil mit dem Wagen verankert. In Abbildung 32 ist das Loch zu sehen.

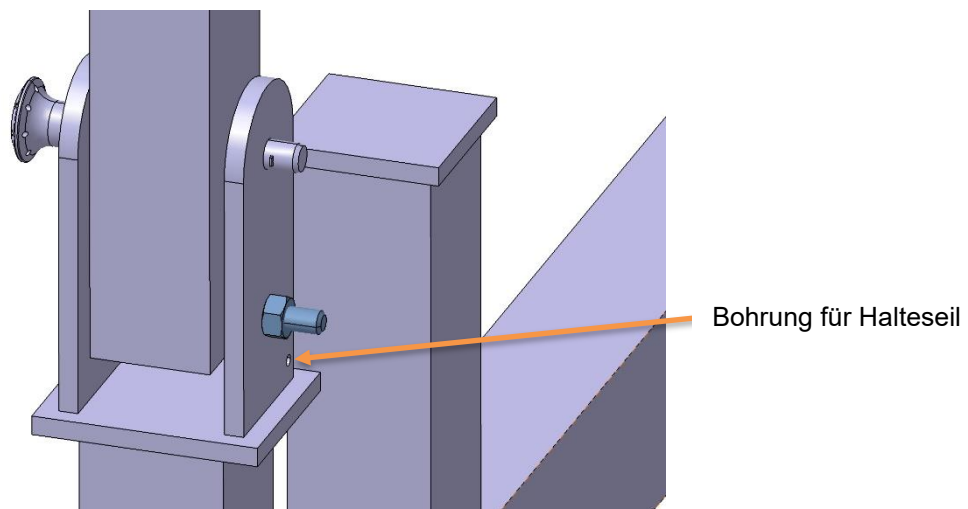


Abbildung 32: Gelenk [3]

Um Beschädigungen am Seil zu vermeiden, sollte die Lasche immer so angeschweißt werden, dass das Loch nicht zur Außenkante des Wagens sitzt. Ansonsten kann es schnell passieren, dass z.B. ein vorbeilaufender Werker es unbeabsichtigt abreißt.

Neben dem Netz sind die Schrauben und Bolzen die einzigen Teile am Wagen, die nicht aus Aluminium, sondern aus Stahl sind. Da hier die Last auf acht Stützen verteilt wird und das Flugzeugteil mit unter 150kg Gewicht nicht sehr schwer ist, besteht hier definitiv keine Bruchgefahr.

### Stütze – Träger

Die Verbindung zwischen den Trägerrohren und den Stützstreben ist weitgehend aus dem ersten Entwurf erhalten geblieben. Die Bohrungen in den Platten und U-Profilen

haben alle einen Durchmesser von 8,5mm. Die Schrauben, die zum Einsatz kommen sollen, sind M8 - Sechskantschrauben nach ISO 4017. Die dazugehörigen Muttern sind M8-Sechskantmuttern nach ISO 4032. Wie in Abbildung 33 noch einmal zu sehen ist, sind die einzigen Unterschiede zu der Idee im ersten Entwurf die Fasen an den Platten und die Länge der Schrauben, welche 20mm beträgt.

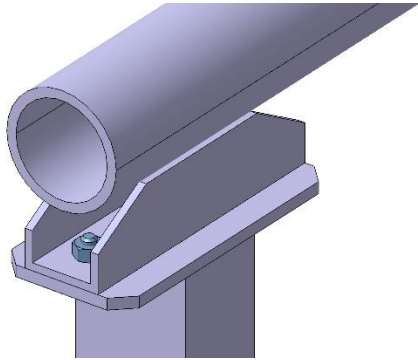


Abbildung 33: Verbindungsstelle Stütze – Träger aus der Nähe betrachtet [3]

### Stapel

Wie genau nun der Stapel aus den drei nicht benötigten Wagen aussieht, ist in Abbildung 34 zu erkennen.

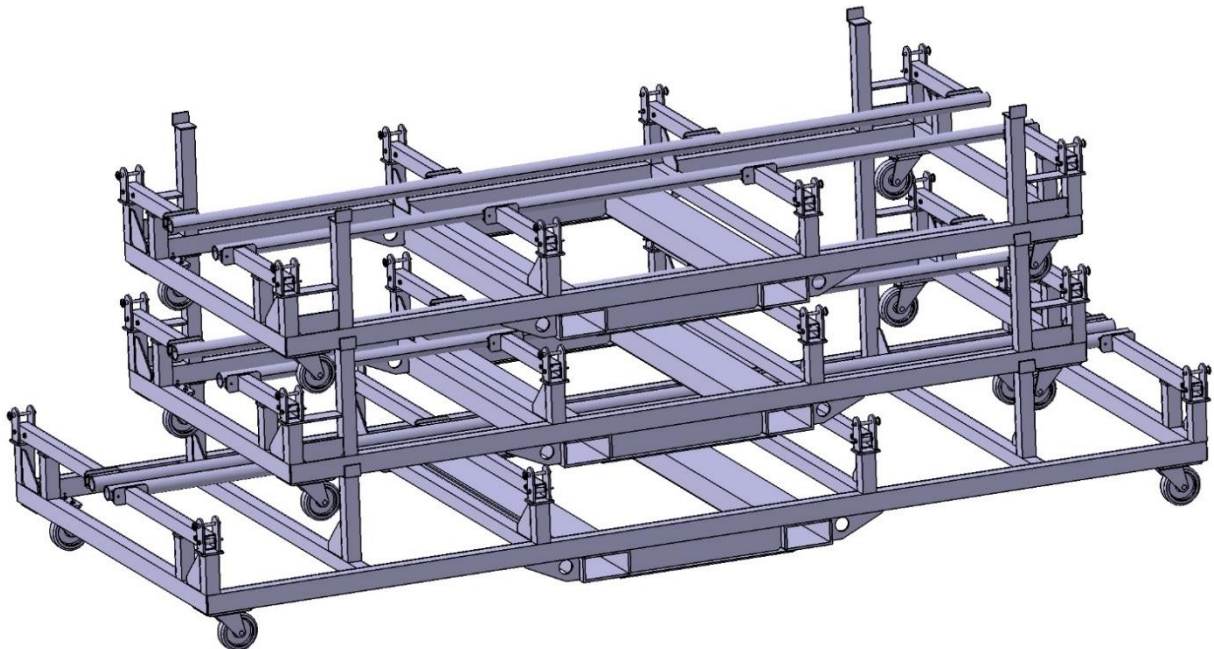


Abbildung 34: Gestapelte Wagen [3]

Bei mittlerer Positionierung der Wagen übereinander greifen die Stapelstützen also jeweils am Rahmen des darüber liegenden Wagens an. Die L-Profile sind so angebracht, dass auf jeder Seite 6mm Spiel ist. Die Sicherung in Querrichtung der Geräte erfolgt dabei durch Formschluss zwischen L-Profil und dem langen

Rahmenträger, in Längsrichtung ist es der Formschluss zwischen den Anschweißplatten vom Rad und selbigen L-Profilen der Stützen.

Bis zu zwei Stück dieser Stapel werden also in Halle 285 der Firma EFW in Zukunft zu finden sein. Das wird in dieser Form vor allem dann der Fall sein, wenn kein Flugzeug vom Typ A380 in der Halle steht. Ansonsten sind diese drei Wagen nämlich für fünf Fairings an einem Flügel gedacht. Mindestens einer davon wird nicht unter dem Dock zwischengespeichert werden können. Wahrscheinlich wird also der große Wagen nahezu während der gesamten Arbeiten am Flieger im Einsatz bleiben und den größten der Fairings tragen. Durch das einfache Stapeln auf den Stützen können in dem Fall aber zumindest die kleinen Wagen gestapelt werden.

### Netz

Das Netz, auf welches der Fairing gelegt wird, ist der letzte Bestandteil des Wagens. Es besteht sowohl beim kleinen, als auch beim großen Wagen aus Gurtbändern, die so z.B. auch zur Ladungssicherung bei LKWs oder ähnlichem Anwendung finden. Bei beiden Wagentypen setzt sich das Netz aus sieben Längsbändern und zwölf Querbändern mit Schlaufen an beiden Enden zusammen. Die Längsbänder sind beim großen Wagen allerdings 3900mm lang, beim kleinen dagegen 3240mm. Auch die Querbänder haben eine unterschiedliche Länge. Ausgebreitet auf einer Ebene haben die Mittelpunkte zweier Schlaufen eines Bandes einen Abstand von 2420mm beim großen und 2040mm beim kleinen Wagen. Alle Bänder sind dabei 50mm breit und 3mm dick, was für den verwendeten Zweck wieder großzügig gewählt ist. Die Maschenweite unterscheidet sich jedoch bei den beiden unterschiedlich großen Wagenausführungen. Beim Großen ist sie auf 300mm x 300mm und beim Kleinen auf 240mm x 240mm bemessen. Alle Maschen an einem Netz sind dabei identisch. Bei der Wahl dieser Größen ist es wichtig darauf zu achten, dass die Last am Ende möglichst gleichmäßig verteilt ist und an den Stellen, an denen der Rohrträger mit den U-Profilen verschweißt ist, bei mittlerer Positionierung des Netzes auf den zwei Trägern, später keine Gurtschleife liegen würde. In Abbildung 35 ist das Netz in der ausgebreiteten Form zu sehen.



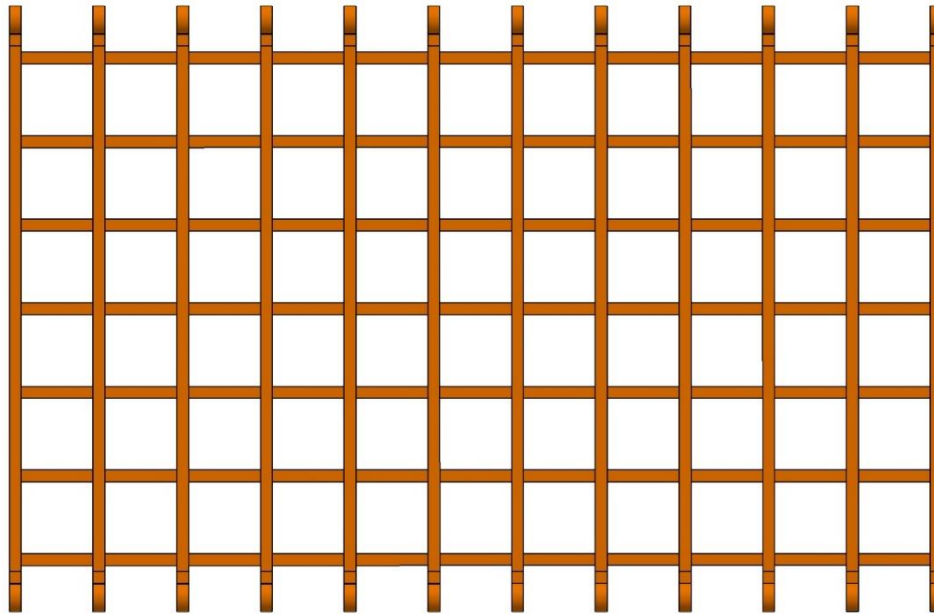


Abbildung 35: Netz, in der Ebene liegend [3]

Die Schlaufen haben einen Innendurchmesser von 110mm. Dieser ist nötig, um diese bequem über den Rohrdurchmesser mit angeschweißtem U-Profil schieben zu können. Danach muss das Netz auch nicht mehr abgenommen werden, es sei denn, es würde beschädigt werden.

Zum Stand September 2016 lag auch schon ein Angebot von der Firma WIEDENMANN, deren Angebotspalette unter anderem die Hebertechnik und die Ladungssicherung abdeckt, vor. Für diese sechs Netze, also für die zwei großen und die vier kleinen, würde die Fertigung etwa 3000€ betragen. Da es sich hier nicht um Lagerartikel handelt, sondern die Netze speziell angefertigt werden müssen, ist dieser Preis als vernünftig zu bewerten.

## 5.2 Festigkeitsberechnungen

Die gefährdetste Stelle am Wagen ist das Rundrohr, da hier die Gewichtskraft durch das Netz direkt einwirkt. Da von der in der Aufgabenstellung genannten Vorrichtung nur sechs Exemplare gefordert sind und deren Lebensdauer auf ein Maximum gebracht werden soll, sind hier Qualität und Sicherheit deutlich bedeutsamer als Kostenminimierung. Deswegen sollte die Sicherheit  $s$  immer mindestens 2 betragen.

Wenn davon ausgegangen wird, dass die gesamte Gewichtskraft über den Schwerpunkt des Fairings auf das Rohr einfließen würde, dann würde die größtmögliche Kraft auf die Biegeträger wirken, wenn der Schwerpunkt des schwersten Fairings mittig über die Länge des Trägers platziert wäre. In diesem Fall sähe die

Berechnung für die Dimensionierung des netztragenden Rohres beim **großen Wagen** wie folgt aus:

Geg:  $m_f = 125\text{kg}$   
 $l = 680\text{mm}$  (Hebelarm entspricht dem kürzesten Abstand zweier Schweißnähte benachbarter U-Profile an einem Rohrbalken)  
 $\sigma_{zul} = 88\text{N/mm}^2$  /4, S.4/  
 $s = 2$

Lös:

$$\sigma_B = \frac{M_B \cdot s}{W_{el} \cdot 2} = \frac{F_g \cdot l \cdot s}{W_{el} \cdot 2} = \frac{m_f \cdot g \cdot l \cdot s}{W_{el} \cdot 2} \leq \sigma_{zul}$$

$$W_{el} \geq \frac{m_f \cdot g \cdot l \cdot s}{\sigma_{zul} \cdot 2} = \frac{125\text{kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 680\text{mm} \cdot 2}{88 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 2}$$

$$W_{el} \geq 9659,1\text{mm}^3 \approx 9,66\text{cm}^3$$

Das gewählte Rundprofil muss also so bemessen sein, dass das elastische Widerstandsmoment größer gleich dem berechneten  $W_{el} = 9,66\text{cm}^3$  ist, um die Sicherheit von 2 nicht zu unterschreiten. Mit einem  $W_{el} = 10,98\text{cm}^3$  fiel die Wahl auf das zuvor schon im Konstruktionsprozess beschriebene 60mm x 5mm große Hohlprofil. /4, S.19/

Als nächstes muss geschaut werden, ob dieses Profil auch für den **kleinen Wagen** verwendet werden kann:

Geg:  $m_f = 133\text{kg}$   
 $l = 530\text{mm}$   
 $\sigma_{zul} = 88\text{N/mm}^2$  /4, S.4/  
 $s = 2$

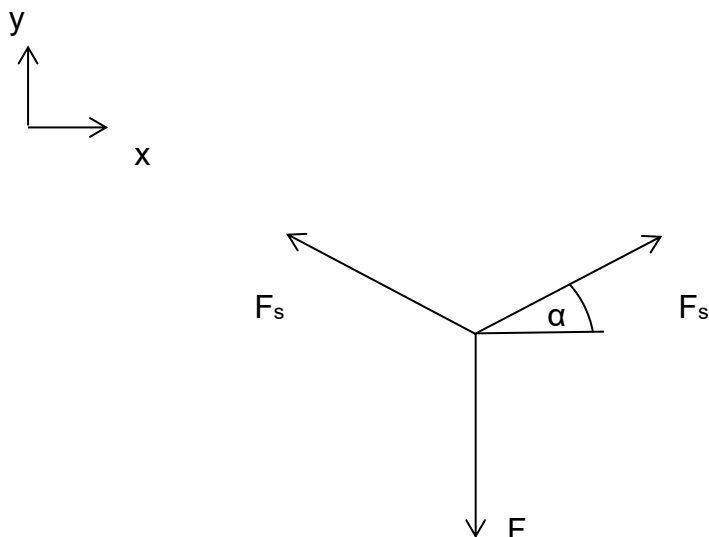
Lös:

$$W_{el} \geq \frac{m_f \cdot g \cdot l \cdot s}{\sigma_{zul} \cdot 2} = \frac{133\text{kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 530\text{mm} \cdot 2}{88 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 2}$$

$$W_{el} \geq 8010,2\text{mm}^3 \approx 8,01\text{cm}^3 \leq 10,98\text{cm}^3$$

Auf dem kleinen Wagen liegt zwar der schwerste der Flügelabdeckungen, allerdings sind die Hebelarme deutlich kleiner, weswegen kein Problem darin besteht, das gleiche Profil zu verwenden.

Außerdem ist es notwendig die Stützen zu betrachten, da auch auf diese ein Biegemoment einwirkt, wenn sich der Flap Track Fairing im Netz befindet. Da die Streben beim großen Wagen am längsten sind, ist die Dimensionierung bevorzugt an ihm durchzuführen. Die Kraft, die an den Stützen ein Biegemoment bedingt, ist allerdings nicht die gesamte Gewichtskraft des Fairings, sondern nur der Anteil, der in horizontaler Richtung und über die Gurte in den Wagen eingeleitet wird. Ein Freischnitt ist da nützlich:



Geg:  $m_F = 125\text{kg}$

$l \approx 1070\text{mm}$  (Abstand zwischen Kraffteinfluss vom Netz in den Wagen und der Stelle, an der Stütze auf Rahmen geschweißt ist)

$$\sigma_{zul} = 15,690\text{N/mm}^2 \text{ /4, S.23/}$$

$$s = 2$$

$$n = 4 \quad (\text{Anzahl der Stützen pro Seite})$$

$$a = 1260\text{mm} \quad (\text{halbe Breite des Netzes})$$

$$b = 900\text{mm} \quad (\text{Absoluter Abstand zwischen dem Punkt, an dem der Fairingschwerpunkt sitzt und Stütze = halber Abstand zwischen zwei sich gegenüberliegenden Stützen})$$

Die Größen für a und b wurden großzügig geschätzt, was für diese Berechnung völlig ausreichend ist. Der genaue Wert ist vom tatsächlichen Unterschied des Durchmessers von Schlaufe und Rohr, sowie den Bemessungen des Fairings auf dem Netz abhängig, da diese Größen die präzise Krümmung des Netzes im Raum beeinflussen.

Lös:

$$\cos \alpha = \frac{b}{a} \rightarrow \alpha = \arccos \frac{b}{a} = \arccos \frac{900\text{mm}}{1260\text{mm}} = 44,4^\circ$$

$$\sum F_{iy} = 0 = F - 2 \cdot F_s \cdot \sin \alpha$$

$$F_s = \frac{F}{2 \cdot \sin \alpha} = \frac{m_F \cdot g}{2 \cdot \sin \alpha} = \frac{125\text{kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2 \cdot \sin 44,4^\circ}$$

$$F_s = 893,3\text{N}$$

$$F_{sx} = F_s \cdot \cos \alpha = 893,3\text{N} \cdot \cos 44,4^\circ = 638,2\text{N}$$

$$W_{el} = \frac{F_{sx} \cdot l \cdot s}{\sigma_{zul} \cdot n} = \frac{638,2\text{N} \cdot 1070\text{mm} \cdot 2}{88 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 4}$$

$$W_{el} = 3880\text{mm}^3 = 3,88\text{cm}^3 \leq 15,69\text{cm}^3$$

An dem Ergebnis lässt sich gut erkennen, dass durch die zusätzlichen Stützen, die für den Rohrträger nötig sind um die Hebelarme gering zu halten, für genug Stabilität gesorgt ist. Die Gefahr einer Verformung an den Stützen ist durch diese Verteilung nicht mehr gegeben und der Rest des Wagens ist somit gegen sämtliche Verformungen, bei richtiger Anwendung, abgesichert.

### 5.3 Technische Zeichnung

Nach der vollständigen Erfassung des Wagens und dessen Einzelteile im CATIA, d.h. der Erstellung aller Parts und Products, sowie den dazugehörigen Dimensionierungen der Teile unter Zuhilfenahme der durchgeführten Festigkeitsberechnungen, war die für den Fertigungsprozess nötige Technische Zeichnung der Wagen anzufertigen. Dazu gehören auch die Stücklisten aus denen herauszulesen ist, wieviel und welches Material benötigt wird. Diese Technischen Zeichnungen sind in dem zu dieser Bachelorarbeit gehörenden Anhang in Form einer A4-Sammelmappe zu finden. Hier sind zwei Zeichensätze vorhanden, einer für den kleinen Wagen und einer für den großen. Jeder Satz umfasst genau drei A3-Blätter. Auf dem ersten Blatt ist jeweils die isometrische Ansicht der Wagen im zusammengebauten Zustand zu sehen, auf den beiden verbleibenden befinden sich die einzelnen Baugruppen. Von großer Bedeutung ist die Zeichnungsnummer der Wagen. Hierbei handelt es sich um die HTZ-Nummer, die nach einem bestimmten Schema von Airbus aufgestellt ist. Damit lässt sich die Konstruktion nicht nur konkret durch eine Nummer bestimmen, sondern es lässt sich somit auch zuordnen, ob es sich z.B. um ein Werkzeug oder doch um eine Vorrichtung handelt und an welchem Teil des Flugzeuges sie Anwendung findet.

In den Stücklisten sind neben den einzelnen Rohmaterialien und den Bemessungen der davon gebrauchten Formen noch Identifikationsnummern zu sehen. Dabei handelt es sich um ein firmeninternes Zuordnungssystem, damit jedes Material, dass sich in dem Lager befindet oder befunden hat protokolliert werden kann. Des Weiteren befinden sich auf den Seiten mit den einzelnen Baugruppen in der oberen rechten Ecke Schweißstempel, in diesem Fall für das Schweißen von Aluminium. Dieser muss am Ende vom Schweißingenieur unterschrieben werden, nachdem dieser die Zeichnung kontrolliert hat. Er prüft vor allem, ob die Schweißnähte, die in der Zeichnung eingetragen sind, auch praktisch in der Form realisierbar sind.

Die Technische Zeichnung befindet sich im separatem Anhang, der zu dieser Bachelorarbeit gehört. Dort ist der Aufbau des Wagens noch einmal komplett nachvollziehbar.

## 5.4 Endprodukt

Setzt man alle Einzelteile zusammen, ergibt sich das, in Abbildung 36 zu sehendes, Gesamtbild des Fairingwagens.

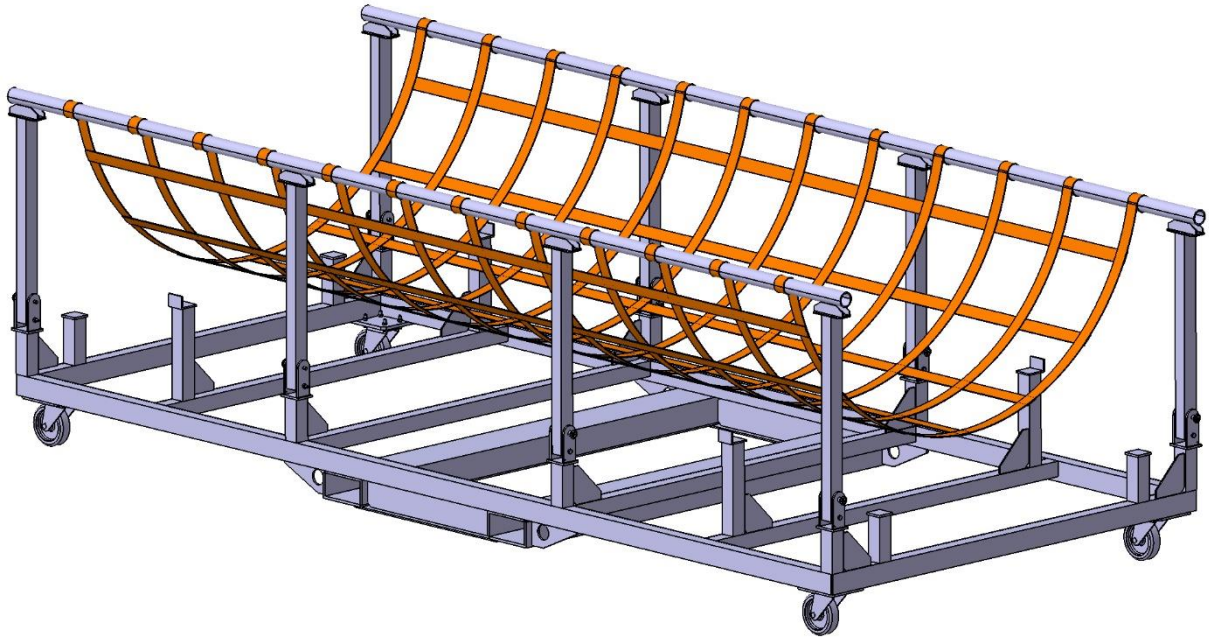


Abbildung 36: Großer Transportwagen für A380 Fairings [3]

An dieser Stelle, also in Abbildung 36, ist gezielt noch einmal der große Wagen abgebildet. Bei der Konstruktion gibt es bei diesem nämlich ein Problem, was beim kleinen nicht auftritt, die Höhe des Wagens. Natürlich muss der Wagen etwas höher sein, als der kleine, was einfach in den Maßen der Fairings, die ihnen zugeteilt sind, begründet ist. Allerdings müsste deswegen der Unterschied zum kleinen Wagen nicht 300mm betragen, da wären schon 200mm ausreichend. Allerdings sind die Stapelstützen beim großen Wagen auf einem zusätzlich benötigten Querbalken etwas in die Rahmenflächen und somit in den Arbeitsbereich des Netzes gerutscht. Um trotzdem gewährleisten zu können, dass der Fairing auf dem Netz gedreht und bewegt werden kann ohne irgendwo anstoßen zu müssen, ist dieser Stützenmaß nötig. Das Netz dürfte dafür nicht beliebig verkleinert werden, da es schon so dimensioniert ist, dass der größte Fairing in der Mitte seiner Höhe auf einem Level mit dem Rohrträger liegt, um zu verhindern, dass er leicht über diese Träger kippen könnte.

Ansonsten hat der große Wagen in etwa ein Gesamtgewicht von 30kg und der kleine eins von ca. 25kg, was der Leichtbauweise mit Aluminiumhohlprofilen zu verdanken ist.

Die Wagen haben in etwa folgende Grundbemessungen:

Großer Wagen: 4420mm x 1920mm x 1350mm

Kleiner Wagen: 3520mm x 1620mm x 1050mm

## 5.5 Ausblick

Der nächste Schritt wäre nun für die Zwischenspeicherung der Fairings unter den Wingdocks eine elegante Lösung zu finden. Während des größten Teils der Bearbeitungszeit dieser gesamten Aufgabenstellung war kein Flugzeug in der Halle 285 untergebracht, sprich von Juni 2016 bis zur zweiten Hälfte des Septembers 2016. Erst danach wurde ein weiterer A380 aus Frankreich in die Hallen der EFW gerollt. Auch benötigte Daten zu dem Wingdock, um den es bei der Zwischenlagerung gehen soll, waren erst um diesen Zeitpunkt herum vorhanden. In Abbildung 37 ist die CATIA-Datei dieses Gerüsts zu sehen. Die Rede ist hier von den Maßen am Dock, die gebraucht werden um eine genaue Lösung konstruieren zu können.

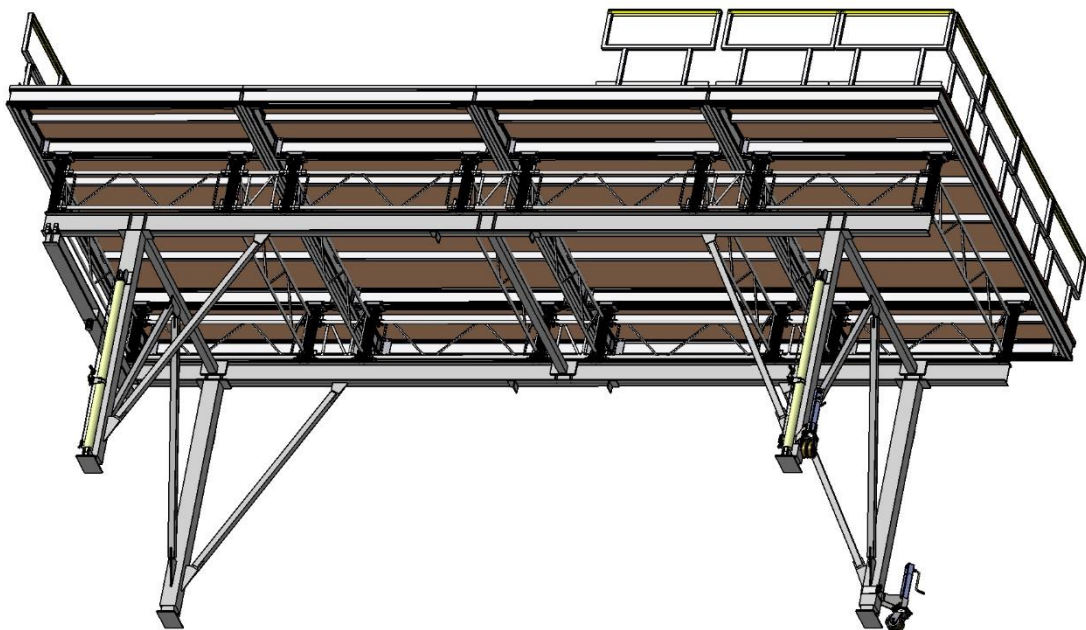


Abbildung 37: Wingdock, als CATIA-Product dargestellt [3]

Bei der Speicherung der Fairings unter dem Dock ist eine gewisse Mindesthöhe von etwa 2m einzuhalten, um garantieren zu können, dass niemand anstößt und keine Verletzungen entstehen. Allerdings war bis zum Zeitpunkt der Anbringung dieser

Gerüste am Flugzeug Ende September nicht ersichtlich, wie hoch der Wingdock nun ist, wenn er ausgefahren ist. Davor stand er natürlich nur eingefahren in der Halle.

Ein grobes Konzept einer möglichen Lösung ist in Abbildung 38 skizziert. Es können also bis zu vier Fairings gleichzeitig unter dem Dock hängen. Dabei braucht jede Abdeckung ihre eigene Konstruktion zum Heben und Senken. In diesem Fall funktioniert es über je zwei Handseilwinden, die an den Stützen des Gerüsts befestigt werden. Es müssen also je zwei Werker gleichzeitig arbeiten. Über Ablenkrollen würde der Faring über die Seile gezogen werden können. Die Fairings selbst hängen in Netzen, welches sich an einem Hebegeschirr befindet. Die Netze sind natürlich größer, als die, die in den Wagen hängen. Die Netze müssen diesmal so strukturiert sein, dass sie nicht nur in einer Achsrichtung ein Herausfallen des Fairings verhindern. Unter zwei Fairings befindet sich noch das zusätzliche große Absicherungsnetz, das dafür da ist, um den Faring aufzufangen, wenn ein Element der Hebekonstruktion versagt.

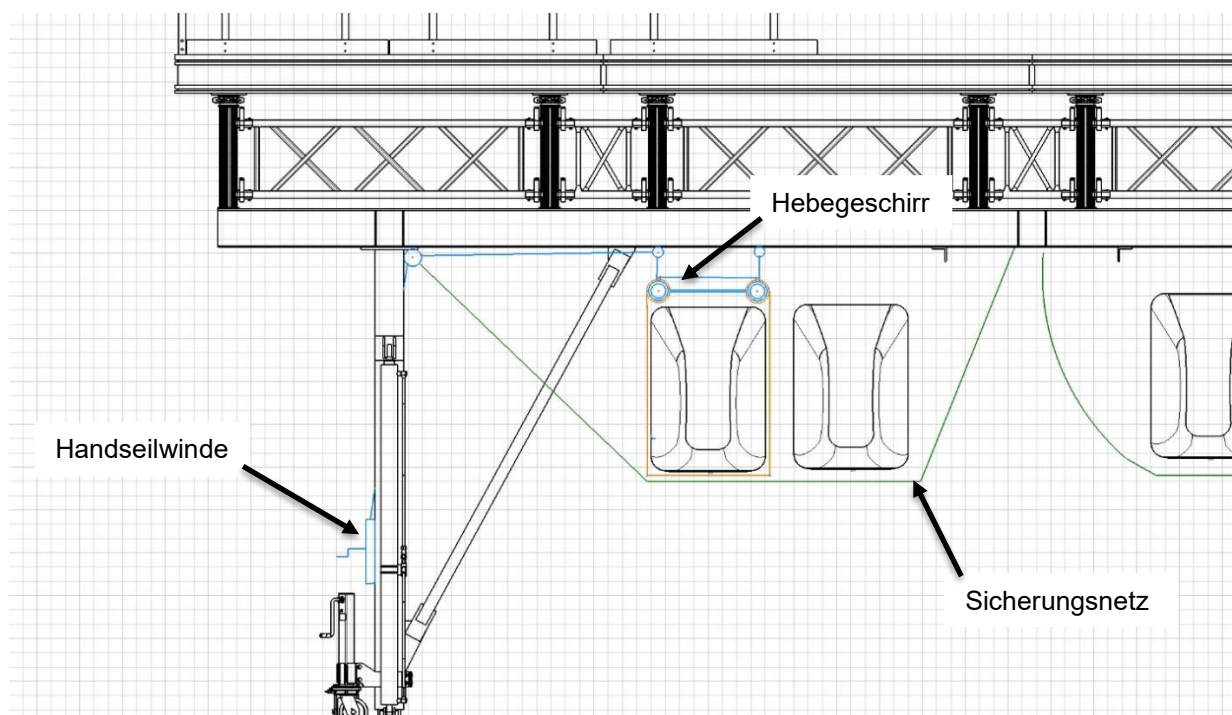


Abbildung 38: Lösungsansatz eines möglichen Aufbaus zur Fairingspeicherung [3]



## 6. Zusammenfassung

Nun liegen also die finalen Konzepte der zwei Fairingwagen vor. Die Fertigung dieser soll auch schnellstmöglich über die Bühne laufen, da sich seit Ende September wieder regelmäßig A380-Flugzeuge in der Halle 285 befinden werden. In Abbildung 39 ist die Funktion der Apparatur noch einmal mit skizzierten Fairing aufgezigt.

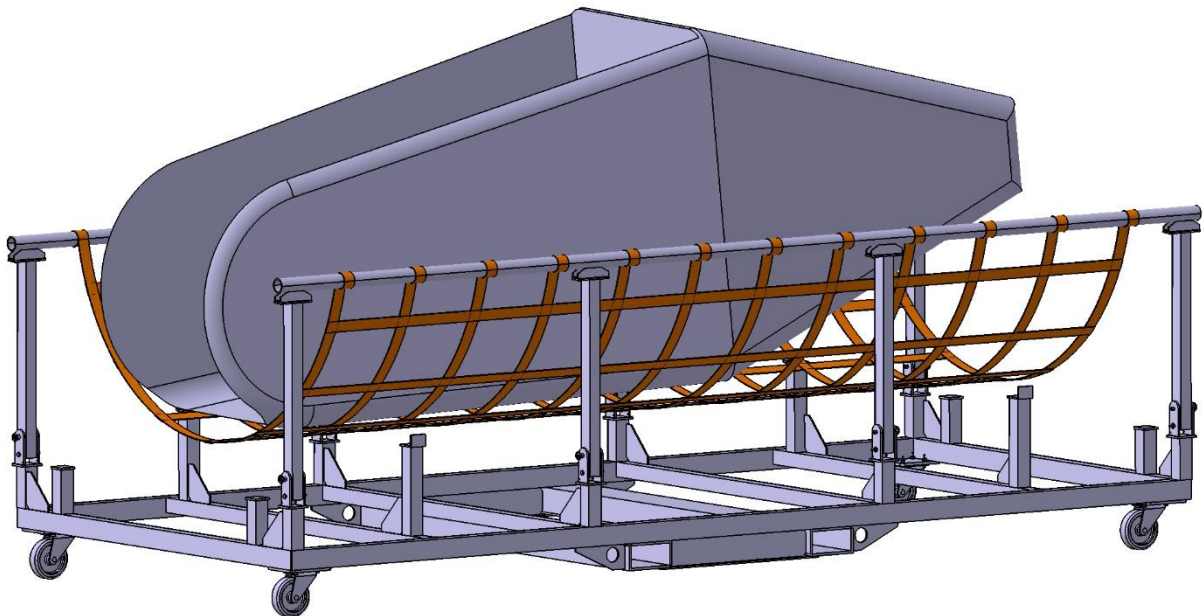


Abbildung 39: Wagen mit grob skizzierten Fairing [3]

Bei den konstruierten Wagen handelt es sich also um eine mobile Lösung, die es ermöglicht ihn in der Halle bewegen zu können und durch die lose Lagerung im Netz ein angenehmeres Arbeiten garantiert.

Zudem erfüllt der Wagen die gestellten Forderungen. Er ist stabil und mit hohen Sicherheiten dimensioniert, hat bei korrektem Arbeitsverhalten eine dementsprechend hohe Lebensdauer vor sich. Durch Aluminiummaterialien mit dünnen Wandstärken ist er mit höchstens 30kg sehr leicht, was für eine gute Handlichkeit sorgt. Zuletzt wurde auch der mangelnde Platz berücksichtigt, denn wenn die Wagen nicht benötigt werden, können sie zu einem Stapel geformt werden, der drei Wagen auf die etwaige Größe von einem großen Wagen bringt.

Der erste Schritt wäre damit getan, was jetzt noch fehlt ist der Mechanismus für die Zwischenspeicherung der Fairings unter dem Wingdock.

## Literaturverzeichnis

/1/ – elbeflugzeugwerke.com → Our History

/2/ – elbeflugzeugwerke.com → Facts & Figures

/3/ - FACC Customer Magazine 15, Juli 2004, S. 4-7

/4/ - [http://alu-am-bau.ch/wp-content/uploads/2014/03/05\\_Bau\\_Spannungsnachweise.pdf](http://alu-am-bau.ch/wp-content/uploads/2014/03/05_Bau_Spannungsnachweise.pdf)

## Bildquellen

[1] - Mit dem firmeninternen Fotoapparat selbstaufgenommenes Bild

[2] -

[http://www.facc.com/var/em\\_plain\\_site/storage/images/medien/bilder/aerostructures/aerostructures4/2704-1-ger-DE/Aerostructures4\\_lightbox.jpg](http://www.facc.com/var/em_plain_site/storage/images/medien/bilder/aerostructures/aerostructures4/2704-1-ger-DE/Aerostructures4_lightbox.jpg)

[3] - Mit der Fotofunktion von CATIA selbstaufgenommenes Bild

[4] - <http://www.steinbaudeko.de/uploads/pics/scherenbuehne.gif>

[5] - <https://www.kaiserkraft.de/raeder-und-rollen/universalrollen/polyurethan-reifen-auf-alu-felge/p/M76058/?articleNumber=760533>

[6] - <https://eshop.wuerth.de/Produktkategorien/DIN-609-Stahl-8.8-blank/14013511220201.cyid/1401.cgid/de/DE/EUR/>

[7] - <https://www.ganter-griff.de/de/produkte/3.1-Rasten-Arretieren-Sperren-mit-Bolzen-und-Kugeln/GN-114.2-Steckbolzen-mit-Axialsicherung-Stahl>

[8] - <https://www.ganter-griff.de/de/produkte/3.2-Befestigen-Positionieren-Nivellieren-mit-Schraub-Klemm-und-Auflageelementen/GN-111.2-Halteseile-mit-Schluesselringen-oder-einem-Schluesselring-und-einer-Befestigungslasche>

**Erklärung:**

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Dresden, den 20.10.2016

---

Unterschrift