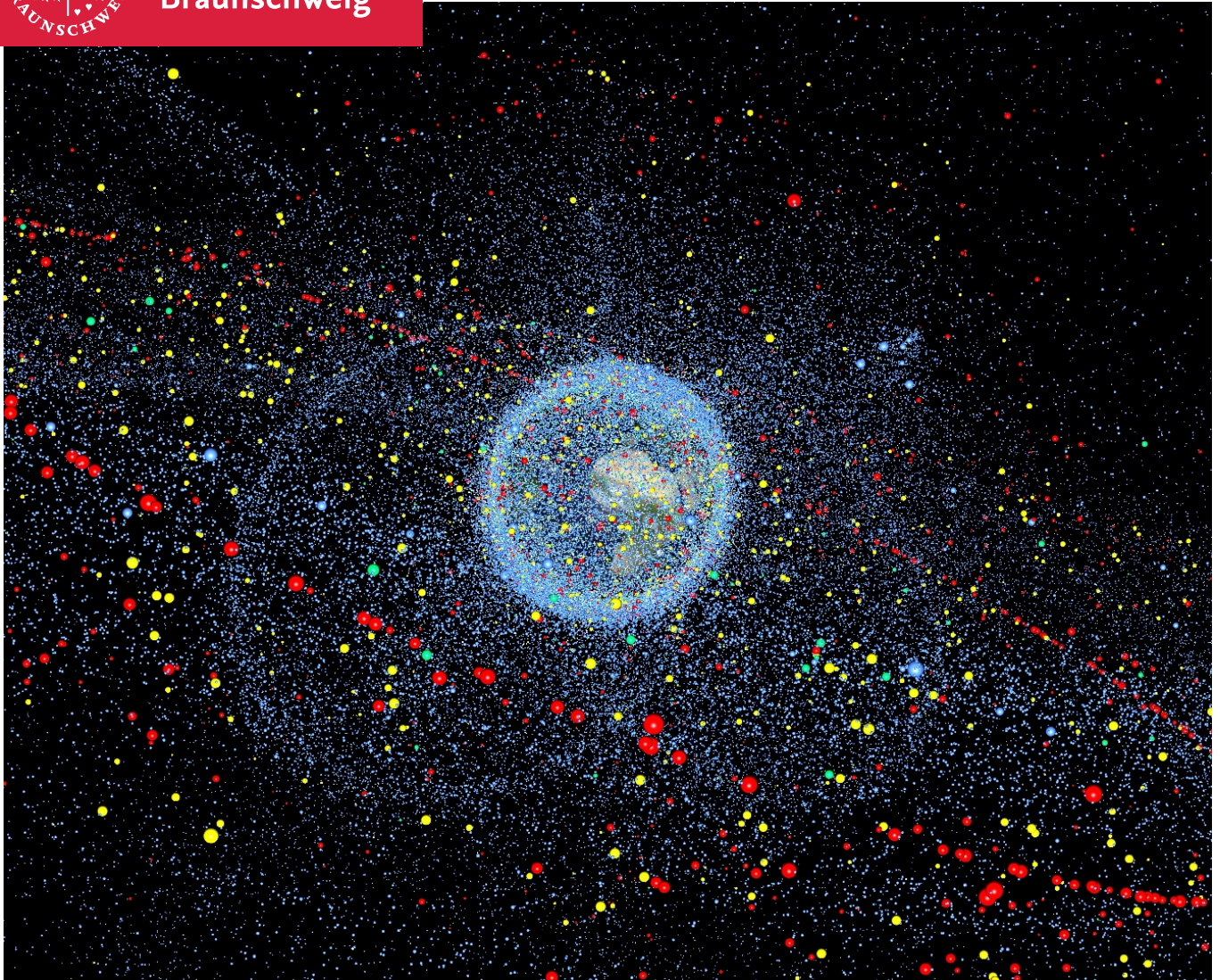
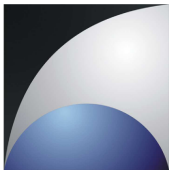




Technische
Universität
Braunschweig

Institut für
Raumfahrtssysteme



R XXXX X (beim Betreuer beantragen!) Auslegung einer Grid Fin Aktuatorik für wiederverwendbare Raketen

Institut für Raumfahrtssysteme

Ole Scholz

22. April 2021

Aufgabenstellung

Die Originalaufgabenstellung ist bei Studienarbeiten dem ungebundenen Institutsexemplar beizufügen, bei Bachelor-, Master- und Diplomarbeiten dem gebundenen Exemplar zur Vorlage bei der Fakultät. Die Aufgabenstellung bei Bachelor-, Master- und Diplomarbeiten wird vom Fachbereich ausgegeben (bei CSE-Masterarbeit vom CSE Office), dieser registriert den Beginn und die Abgabe der Arbeit und stempelt diese Angaben auf das letzte Blatt der Original-Aufgabenstellung.

Eine Diplom-, Studien-, Bachelor- bzw. Masterarbeit soll zeigen, dass man in der Lage ist, in begrenzter Frist eine Aufgabe nach wissenschaftlichen Methoden selbständig zu bearbeiten.

Die Aufgabenstellung kann Literaturhinweise enthalten, die als Einstieg in die Aufgabe gedacht sind. Es wird erwartet, daß weitere Literatur selbständig gesammelt wird (Bibliotheken der TU, des Instituts, etc.).

Wichtig: Schriftverkehr mit Dritten bei Nennung des die Arbeit betreuenden Instituts bedarf der vorherigen Genehmigung.

In der Abgabeverision dann dieses Blatt entfernen und an dieser Stelle durch die Aufgabenstellung ersetzen!

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die nachfolgende Arbeit selbständig und nur unter Zuhilfenahme der angegebenen Literatur angefertigt habe.

Datum, Unterschrift

Übersicht

Die Übersicht enthält kurz gefasste Angaben über die Zielsetzung, die angewandten Methoden und die gewonnenen Ergebnisse. Sie soll das Wesentliche aus dem Inhalt der Arbeit in wenigen Sätzen zusammenfassen und ist der eigentlichen Arbeit voranzustellen (höchstens 1/2 bis 1 Seite). Sie soll also nicht lediglich die Aufgabenstellung wiedergeben.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	6
1.1. Motivation	7
1.2. Ziele der Arbeit	7
1.3. Struktur der Arbeit	7
2. Grundlagen	9
2.1. Grid Fins als Steuerelement von Flugkörpern im Hyperschall	9
2.2. Wiedereintrittsbedingungen	9
2.3. Das Air-Launchsystem Valkyrie	9
3. Modellentwurf	10
3.1. Systemanforderungen	10
3.2. Gitterdesign	10
3.3. Aktuatorik	10
3.4. Erster Demonstrator	10
3.5. CAD-Modell	10
4. Systemanalyse	11
4.1. FEM-Analyse	11
4.2. Betriebssimulation	11
4.3. Systembewertung	11
4.4. Fazit	11
5. Zusammenfassung und Ausblick	12
Literaturverzeichnis	13
Abbildungsverzeichnis	13
Tabellenverzeichnis	15
Symbolverzeichnis	16
A. Projektmanagement	17
A.1. Work Breakdown Structure	17
A.2. Zeitplan	19
A.3. Work Package Description	21

1. Einleitung

In den letzten Jahrzehnten kam es immer wieder zu Schlagzeilen in den Medien, die von privaten Weltraumunternehmen berichten. Hierbei wird diese New Space Szene hauptsächlich von großen US-Firmen wie SpaceX, Virgin Galactic, Blue Origin dominiert, um nur ein paar zu nennen. Bei so viel Konkurrenz sind Kosten ein wichtiger Faktor. Firmen wie SpaceX versuchen möglichst wirtschaftlich zu werden, indem sie immer größere Raketen bauen, die höhere Lasten auf einmal ins Weltall bringen können. So soll das Starship mehr als 100t in den Low Earth Orbit (LEO) bringen können. Das bringt aber auch einige Nachteile mit sich. Ein Start so großer Raketen ist nur mit sehr viel Beladung wirtschaftlich. So müssen sich mehrere Kunden einen Start teilen und haben somit sowohl in Bezug auf die Umlaufbahn noch den Starttermin Kompromisse einzugehen. Gerade für einzelne, kleinere Satelliten ist das nicht ideal. Dies führt zur Ergründung eines weiten Bereiches der New Space Branche, den Microlaunchern. Mit ihren relativ kleinen Nutzlasten bieten sie die Möglichkeit individuelle Ansprüche kleiner Satelliten zu berücksichtigen.

Ein weiteres Potenzial die Kosten zu senken bietet die Bergung und Wiederverwendung von Raketenstufen und Nutzlastverkleidung. Schon den 70er-Jahren wurde in den USA das Space Shuttle entwickelt, welches mittels aerodynamischen Auftriebs wie ein Flugzeug landen konnte. Auf Grund von zu hohen Instandhaltungskosten wurde das Projekt jedoch nach 30 Jahren eingestellt. Modernere Beispiele bietet zum Beispiel die erste Stufe der Falcon 9 von SpaceX. Diese lässt sich wieder landen, indem durch ein erneutes Zünden der Triebwerke die Geschwindigkeit so weit abgebremst wird, dass sie sanft aufsetzt. Rocket Lab verfolgt einen anderen Einsatz. Bei ihrer Electron Rakete soll die erste Stufe mit einem Fallschirm abgebremst und dann von einem Hubschrauber mittels Skyhook eingefangen werden. Dieses Prinzip konnte das neuseeländische Raumfahrtunternehmen auch schon erfolgreich testen. Auch wenn diese Methode auf Grund des Bedarfs einer dichten Atmosphäre nur auf der Erde Anwendung findet und nur vergleichsweise kleine Raketenstufen von einem Hubschrauber getragen werden können, ist sie dank einer leichten Implementierung für simple Systeme vorzuziehen.

Nun stellt sich die Frage, warum Europa und somit auch Deutschland, als eigentlich technologisch fortgeschrittener Standort, in dieser Branche nur spärlich vertreten ist. Ein großes Problem stellt ihr die Wetterlage dar. Gerade im Norden Europas gehören Gewitter das ganze Jahr über zum Alltag und besonders im Herbst und Winter kann starker Wind und schwerer Schneefall potenziellen Starts im Wege stehen. Das begrenzt stark die Kapazität von Spaceports. Ein weiterer Nachteil des Standorts Europa ist die hohe Bevölkerungsdichte. Gerade im Westen ist somit kaum ein Start möglich, der genug Abstand zu besiedeltem Gebiet hält. Wegen der Erdrotation wird nach Osten gestartet, sodass auch Starts an der Küste zum Atlantik keine gute Option bieten.

Als Antwort auf diese Probleme entwickelt die German Association for Intercontinental Astronautics e.V. (GAIA Aerospace) das Valkyrie System. Hierbei handelt es sich um eine zweistufige AirLaunch-Trägerrakete, die als Microlauncher kleine CubeSat Satelliten aus Deutschland heraus in den LEO bringen soll. Als AirLaunch werden Raketen bezeichnet, die im Gegensatz zu klassischen Systemen nicht vertikal von der Erdoberfläche starten, sondern an einem Flugzeug befestigt

in höhere Luftschichten gebracht werden und dort nach dem Ausklinken aus der Halterung erst die Triebwerke zünden. Somit lässt sich sowohl das Problem des besiedelten Gebietes, indem die Trägerrakete zum Beispiel über die Nordsee gebracht wird, als auch die meisten störenden Wetterbedingungen umgehen. Die Valkyrie wird auf eine Höhe von 11 Kilometern gebracht und ist somit über dem Wettergeschehen der Troposphäre. Eine hohe Wirtschaftlichkeit soll durch eine wiederverwendbare Erststufe gewährleistet werden. Beim Wiedereintritt soll sich diese soweit in den Unterschall abbremsen, dass sich ein Fallschirm öffnen kann. Somit ist es dann möglich, dass ein Hubschrauber die Raketenstufe mit einem Skyhook auffängt und sicher an Land bringt.

1.1. Motivation

Um eine erfolgreiche Bergung der Erststufe der Valkyrie zu gewährleisten, muss das Raketensegment einen gewissen Grad an Steuerbarkeit aufweisen. Für genügend Stabilität beim Start sorgen vier Finards am unteren Ende der Rakete, die den Druckpunkt hinter dem Schwerpunkt halten. Im Apogäum führt die Erststufe eine 180° -Drehung um die eigene Achse durch, sodass die Triebwerke nach vorne zeigen. Dadurch haben nun die Finards einen negativen Effekt auf die statische Stabilität und versuchen die Raketenstufe wieder zurück zu drehen. Um den entgegen zu wirken sollen am oberen Ende zusätzlich ein weiteres Quartett an Steuerflächen angebracht werden. Damit diese beim Start nicht ebenso eine negative Wirkung zeigen, soll hier sogenannte Grid Fins, auch Gitterflossen genannt, verwendet werden.

Grid Fins sind unkonventionelle Steuerelemente, die im Gegensatz zu ihrem planaren Gegenstück nicht parallel zur Strömung, sondern senkrecht dazu ausgerichtet sind. Sie bestehen aus einem dünnen äußeren Rahmen mit einer inneren Gitterstruktur. Die Möglichkeit sie einzuklappen hilft hier nicht nur ihre unerwünschte Wirkung bei Start zu umgehen, sondern erlaubt auch einen einfacheren Transport. Ein geringes Moment um das Steuergelenk, so wie gute Auftriebserzeugung über einen großen Bereich von Anstellwinkeln und Machzahlen, machen Grid Fins zu attraktiven Steuerelementen von Flugkörpern bei hohen Machzahlen. Seit ihrer Entwicklung in den späten 50er-Jahren in der ehemaligen Sowjetunion, wurden sie in vielen ballistischen Raketen, wie zum Beispiel die Adder AA-12, SS-12 oder auch von der USA bei der Massive Ordnance Air Blast (MOAB) verwendet. Einen großen Nachteil der Grid Fins, ihren hohen Widerstand, hat sich das Launch Escape Vehicle der Soyuz zu Nutzen gemacht, indem sie als Drag Breaks genutzt werden. Auch SpaceX bedient sich dieser Technologie, um die Falcon 9 sicher zur Landeplattform zu steuern.

Somit bieten es sich auch für die Valkyrie an, Grid Fins zu verwenden. Selbst bei den extremen Bedingungen beim Wiedereintritt bieten sie Stabilität und Steuerbarkeit. Zusätzlich können sie auch dazu beitragen, die dabei auftretenden Geschwindigkeiten weiter zu verringern. All das ohne beim Start und beim Transport ein störender Faktor zu sein oder viel Masse und Leistung für ihre Aktuatorik zu benötigen.

1.2. Ziele der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist es, ein Grid Fin Modell samt der zugehörigen Aktuatorik zu entwickeln, dass den Ansprüchen einer wiederverwendbaren Erststufe eines AirLauncher-Systems gerecht wird.

Hierbei wird konkret das Fallbeispiel der Valkyrie zur Hand genommen.

Der wichtigste Punkt ist hierbei die Stabilität und Steuerbarkeit während des Wiedereintritts. Wie bei jedem Projekt der Raumfahrt ist hierbei natürlich auch auf eine Minimierung des Gewichts zu achten. Damit dieser Grid Fin für einen Microlauncher in Frage kommt, ist auch auf einen günstigen Preis zu achten. In dieser Arbeit wird zu diesen Zwecken besonders auf eine Fertigung durch additive Verfahren wert gelegt. Bei der Minimierung der Kosten sei trotzdem noch darauf zu achten, dass eine ausreichende Lebensdauer mehrere Missionen zulässt. Am Ende dieser Arbeit steht ein CAD-Modell, dass all diesen Anforderungen gerecht wird und bereit für den 3D-Druck ist.

1.3. Struktur der Arbeit

Im nächsten Kapitel werden zunächst die für diese Arbeit notwendigen Grundlagen dargelegt. Zu Beginn wird auf die Eigenschaften von Grid Fins eingegangen, sowohl in Bezug auf ihr aerodynamisches Verhalten, als auch unter Betrachtung ihrer Vor- und Nachteile gegenüber konventionellen planaren Steuerflächen. Als nächstes werden dann die Wiedereintrittsbedingungen bei einer sub-orbitalen Flugbahn am Beispiel des AirLaunch-Systems Valkyrie erläutert.

Nachdem die Grundlagen geklärt sind, werden in Kapitel 3 die Anforderungen an das System definiert. Unter Berücksichtigung dieser folgt eine Vorstellung verschiedener Teillösungen für die einzelnen Elemente von Steuerflächen und Aktuatorik. Auf Basis eines Morphologischen Kastens, in dem diese Teillösungen zusammengetragen werden, wird begründet ein erster Demonstrator entworfen und in einem CAD-Programm erstellt.

Daraufhin wird dieses Modell in Kapitel 4 mittels einer Finiten Elementen Berechnung auf Stabilität und Festigkeit untersucht und mit einer Betriebssimulation in Matlab auf eine genügende Leitungsfähigkeit im Betrieb geprüft. Auf Grund dieser Simulationen wird das Modell verbessert und anschließend kritisch bewertet. Zuletzt werden noch einmal alle Ergebnisse zusammengefasst und ein Ausblick auf eine mögliche weitere Vorgehensweise gegeben.

2. Grundlagen

- 2.1. Grid Fins als Steuerelement von Flugkörpern im Hyperschall**
- 2.2. Wiedereintrittsbedingungen**
- 2.3. Das Air-Launchsystem Valkyrie**

3. Modellentwurf

3.1. Systemanforderungen

3.2. Gitterdesign

3.3. Aktuatorik

3.4. Erster Demonstrator

Morphologischer Kasten
Dann begründete Auswahl

3.5. CAD-Modell

4. Systemanalyse

4.1. FEM-Analyse

4.2. Betriebssimulation

4.3. Systembewertung

4.4. Fazit

5. Zusammenfassung und Ausblick

In der Zusammenfassung (mindestens 1,5 Seiten) sollen die theoretische Herleitung und die wesentlichen Ergebnisse so aufgelistet werden, dass sie ohne Kenntnis der vorherigen Abhandlung verständlich sind. Dabei wird in der Vergangenheit geschrieben und die wichtigsten Ergebnisse der Arbeit wiedergegeben.

Literaturverzeichnis

Autor, X., Zweitautor, Y., 2012. Titel. Name des Journals.

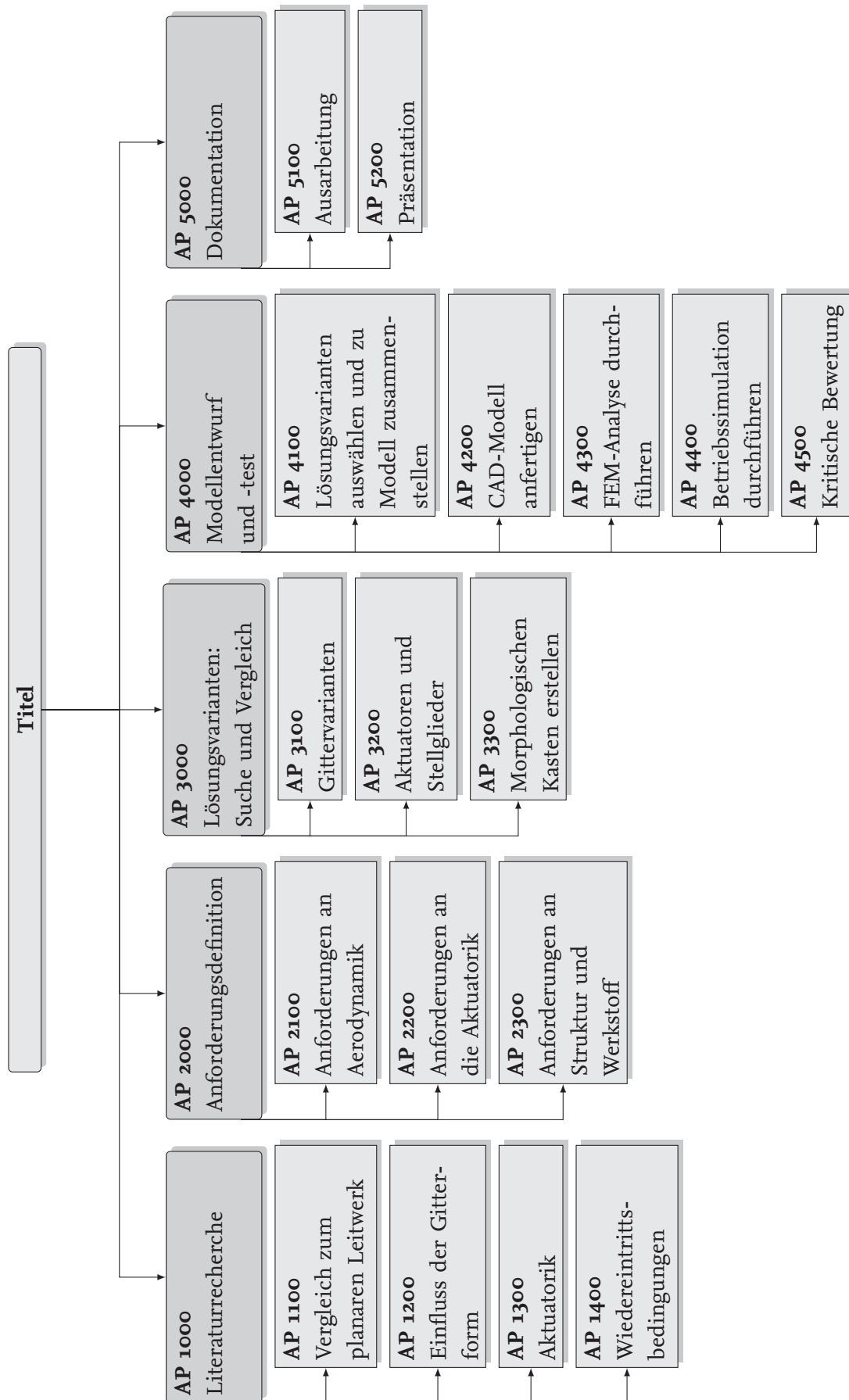
Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

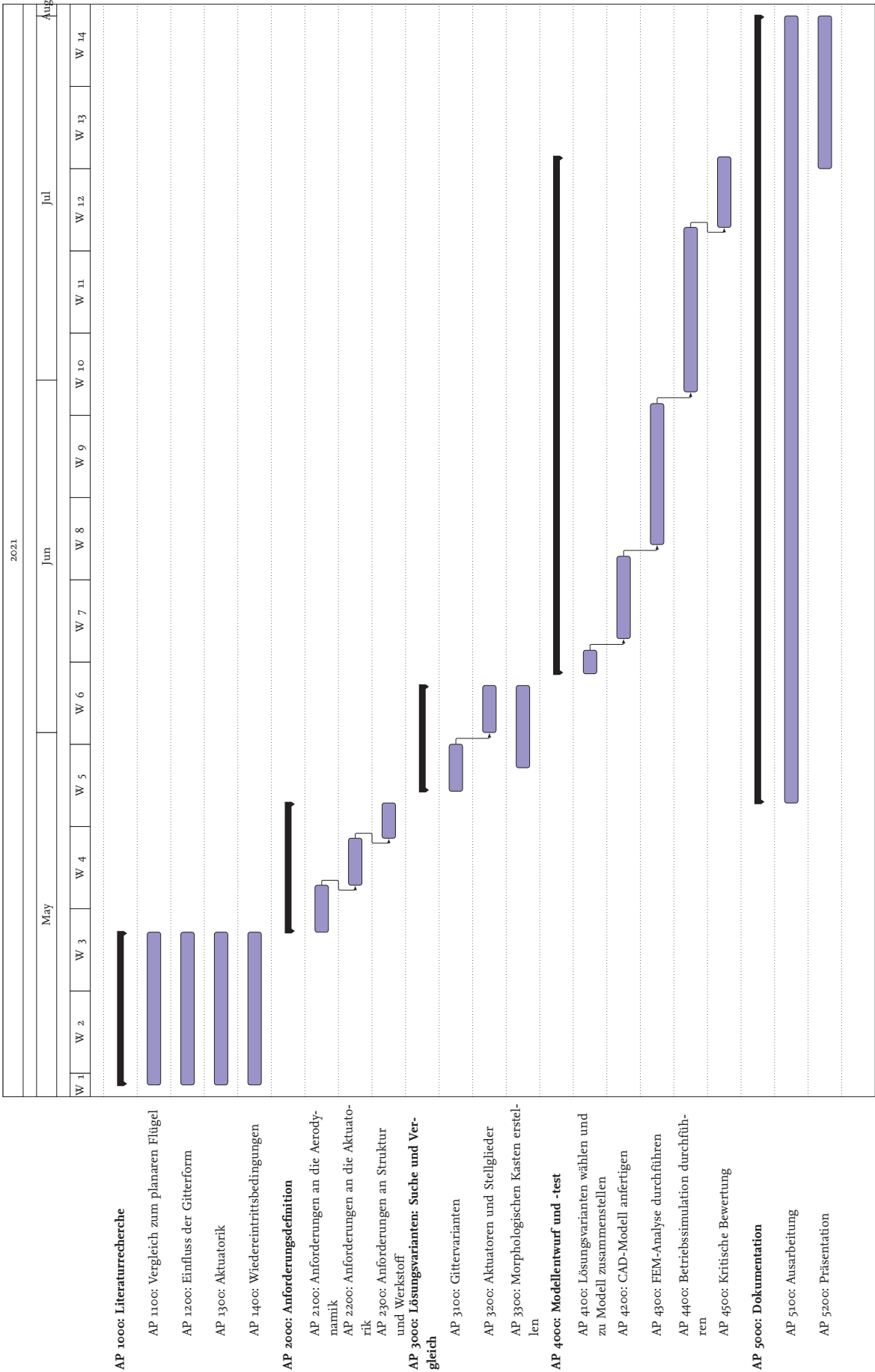
Symbolverzeichnis

A. Projektmanagement

A.1. Work Breakdown Structure



A.2. Zeitplan



A.3. Work Package Description

		AP 1100
Titel	Vergleich zum planaren Leitwerk	Seite: 1 von 1
Verantwortlicher	Ole Scholz	Version: 1.0
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T ₀	
Ende	T ₀ +2 Wochen	Dauer: 2 Wochen
Bearbeiter	Ole Scholz	
Ziele: <ul style="list-style-type: none">• Kenntnisse über Vor- und Nachteile von Grid Fins im Vergleich zu planaren Leitwerken bezüglich<ul style="list-style-type: none">- Aerodynamik, bei unterschiedlichen Anströmungsbedingungen- Strukturmechanische Eigenschaften- Allgemeine Unterschiede		
Input: <ul style="list-style-type: none">• Literatur zum Vergleich der beiden		
Schnittstellen zu anderen APs: <ul style="list-style-type: none">• AP 2200 zur Bestimmung aerodynamischen Einflüsse		
Aufgaben: <ul style="list-style-type: none">• Literatur zur Thematik lesen		
Ergebnisse: <ul style="list-style-type: none">• Vor- und Nachteile von Grid Fins kennen• Wissen, wo und wie sie entsprechend ihrer Eigenschaften einzusetzen sind		

		AP 1200
Titel	Einfluss der Gitterform	Seite: 1 von 1
Verantwortlicher	Ole Scholz	Version: 1.0
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T ₀	
Ende	T ₀ +2 Wochen	Dauer: 2 Wochen
Bearbeiter	Ole Scholz	
Ziele: <ul style="list-style-type: none">• Kenntnisse über verschiedene Gitterformen und ihren Einfluss auf das aerodynamische Verhalten und die Struktur		
Input: <ul style="list-style-type: none">• Literatur zu den verschiedenen Formen		
Schnittstellen zu anderen APs: <ul style="list-style-type: none">• AP 2200 zur Berücksichtigung der Gitterform auf die Aerodynamik• AP 2300 zum Einfluss der Gitterform auf die Struktur		
Aufgaben: <ul style="list-style-type: none">• Literatur zur Thematik lesen		
Ergebnisse: <ul style="list-style-type: none">• Vor- und Nachteile unterschiedlicher Gitterformen kennen		

		AP 1300
Titel	Aktuatorik	Seite: 1 von 1
Verantwortlicher	Ole Scholz	Version: 1.0
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T ₀	
Ende	T ₀ +2 Wochen	Dauer: 2 Wochen
Bearbeiter	Ole Scholz	
Ziele: <ul style="list-style-type: none">• Kenntnisse über Aktuatoren zur Steuerung der Grid Fins		
Input: <ul style="list-style-type: none">• Literatur zur Aktuatorik• Kataloge von Herstellern		
Schnittstellen zu anderen APs: <ul style="list-style-type: none">• AP 3200 zur Auswahl stehende Aktuatoren		
Aufgaben: <ul style="list-style-type: none">• Literatur zur Thematik lesen• sich bei Herstellern informieren		
Ergebnisse: <ul style="list-style-type: none">• Überblick über mögliche Aktuatorik		

		AP 1400
Titel	Wiedereintrittsbedingungen	Seite: 1 von 1
Verantwortlicher	Ole Scholz	Version: 1.0
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T ₀	
Ende	T ₀ +2 Wochen	Dauer: 2 Wochen
Bearbeiter	Ole Scholz	
Ziele: <ul style="list-style-type: none">• Kenntnisse zu den Bedingungen beim Wiedereintritt		
Input: <ul style="list-style-type: none">• Literatur zum Wiedereintritt		
Schnittstellen zu anderen APs: <ul style="list-style-type: none">• AP 2100 Aerodynamische Einflüsse des Wiedereintritts• AP 2300 Strukturmechanische Einflüsse des Wiedereintritts		
Aufgaben: <ul style="list-style-type: none">• Literatur zur Thematik lesen		
Ergebnisse: <ul style="list-style-type: none">• Kenntnisse zu Bedingungen beim Wiedereintritt		

		AP 2100
Titel	Anforderungen an die Aerodynamik	Seite: 1 von 1
Verantwortlicher	Ole Scholz	Version: 1.0
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T ₀ +2 Wochen	
Ende	T ₀ +2,5 Wochen	Dauer: 0,5 Wochen
Bearbeiter	Ole Scholz	
Ziele: <ul style="list-style-type: none">• Sammlung aller aerodynamischen Anforderungen an die Grid Fins		
Input: <ul style="list-style-type: none">• Vorgaben aus Gespräch mit Betreuer		
Schnittstellen zu anderen APs: <ul style="list-style-type: none">• AP 2200 Aerodynamische Kräfte bestimmen Leistung des Aktuators• AP 2200 Aerodynamische Kräfte bestimmen Belastung der Konstruktion		
Aufgaben: <ul style="list-style-type: none">• Aerodynamische Anforderungen definieren• Ggf. nach Wichtigkeit sortieren und in Pflicht und Wunschbedingungen einteilen		
Ergebnisse: <ul style="list-style-type: none">• Liste aerodynamischer Anforderungen		

		AP 2200
Titel	Anforderungen an die Aktuatorik	Seite: 1 von 1
Verantwortlicher	Ole Scholz	Version: 1.0
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T ₀ +2,5 Wochen	
Ende	T ₀ +3 Wochen	Dauer: 0,5 Wochen
Bearbeiter	Ole Scholz	

Ziele:

- Sammlung aller Anforderungen an die Aktuatorik der Grid Fins

Input:

- Vorgaben aus Gespräch mit Betreuer
- Kennwerte der Aktuatorik aus Verwendungsbeispielen von Grid Fins als Orientierungswerte

Schnittstellen zu anderen APs:

- **AP 4400** Anforderungen müssen in Betriebssimulation erfüllt werden

Aufgaben:

- Anforderungen an Aktuatorik definieren
- Ggf. nach Wichtigkeit sortieren und in Pflicht und Wunschbedingungen einteilen

Ergebnisse:

- Liste der Anforderungen an die Aktuatorik

		AP 2300
Titel	Anforderungen an Struktur und Werkstoff	Seite: 1 von 1
Verantwortlicher	Ole Scholz	Version: 1.0
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T ₀ +3 Wochen	
Ende	T ₀ +3,5 Wochen	Dauer: 0,5 Wochen
Bearbeiter	Ole Scholz	
<p>Ziele:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sammlung aller Anforderungen an die Struktur und dem Werkstoff im Bezug auf die Festigkeit und thermische Belastbarkeit <p>Input:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Angaben von 3D-Druck-Anbietern • AP 1400 <p>Schnittstellen zu anderen APs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • AP 4100 Anforderungen müssen vom Modell erfüllt werden • AP 1400 Wiedereintrittsbedingungen müssen ausgehalten werden <p>Aufgaben:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Anforderungen Werkstoff und Struktur definieren • Ggf. nach Wichtigkeit sortieren und in Pflicht und Wunschbedingungen einteilen <p>Ergebnisse:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Liste der Anforderungen an Werkstoff und Struktur 		

		AP 3100
Titel	Gittervarianten	Seite: 1 von 1
Verantwortlicher	Ole Scholz	Version: 1.0
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T ₀ +3,5 Wochen	
Ende	T ₀ +4 Wochen	Dauer: 0,5 Wochen
Bearbeiter	Ole Scholz	
Ziele: <ul style="list-style-type: none">• Überblick über die verschiedenen Gittervarianten und ihre Unterschiede haben		
Input: <ul style="list-style-type: none">• Bisher verwendete Gittervarianten in der Raketentechnik		
Schnittstellen zu anderen APs: <ul style="list-style-type: none">• AP 3400 Varianten in Morphologischen Kasten eintragen		
Aufgaben: <ul style="list-style-type: none">• Gittervarianten sammeln• Unterschiede untersuchen		
Ergebnisse: <ul style="list-style-type: none">• Liste von Gittervarianten		

		AP 3200
Titel	Aktuatoren und Stellglieder	Seite: 1 von 1
Verantwortlicher	Ole Scholz	Version: 1.0
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T ₀ +4 Wochen	
Ende	T ₀ +4,5 Wochen	Dauer: 0,5 Wochen
Bearbeiter	Ole Scholz	
Ziele: <ul style="list-style-type: none">• Überblick über die verschiedenen Aktuatoren und Stellglieder so wie ihre Unterschiede haben		
Input: <ul style="list-style-type: none">• Bisher verwendete Steuervarianten für Grid Fins		
Schnittstellen zu anderen APs: <ul style="list-style-type: none">• AP 3400 Varianten in Morphologischen Kasten eintragen		
Aufgaben: <ul style="list-style-type: none">• Akuatoren- und Stellgliedervarianten sammeln• Unterschiede untersuchen		
Ergebnisse: <ul style="list-style-type: none">• Liste von Aktuatoren und Stellgliedern		

		AP 3300
Titel	Morphologischen Kasten erstellen	Seite: 1 von 1
Verantwortlicher	Ole Scholz	Version: 1.0
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T ₀ +4 Wochen	
Ende	T ₀ +5 Wochen	Dauer: 1 Woche
Bearbeiter	Ole Scholz	
Ziele: <ul style="list-style-type: none">• Überblick über alle Lösungsvarianten haben		
Input: <ul style="list-style-type: none">• Lösungsvarianten aus den APs 3100, 3200, 3300		
Schnittstellen zu anderen APs: <ul style="list-style-type: none">• AP 4100 Modell mit Lösungsvarianten aus Morphologischen Kasten zusammen stellen		
Aufgaben: <ul style="list-style-type: none">• Aus den vorher erarbeiteten Lösungsvarianten Morphologischen Kasten erstellen		
Ergebnisse: <ul style="list-style-type: none">• Morphologischer Kasten		

		AP 4100
Titel	Lösungsvarianten auswählen und zu Modell zusammen stellen	Seite: 1 von 1
Verantwortlicher	Ole Scholz	Version: 1.0
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T ₀ +5 Wochen	
Ende	T ₀ +5,5 Wochen	Dauer: 0,5 Wochen
Bearbeiter	Ole Scholz	
<p>Ziele:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vollständiges Modell für eine spätere Fertigung <p>Input:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Morphologischer Kasten aus AP 3400 • In AP 2000 definierte Anforderungen <p>Schnittstellen zu anderen APs:</p> <ul style="list-style-type: none"> • AP 2000 definierte Anforderungen erfüllen • AP 3400 Lösungsvarianten aus Morphologischen Kasten auswählen • AP 4200 gewählte Lösungsvarianten ins CAD-Modell einbauen • AP 4400 in Betriebssimulation einbinden <p>Aufgaben:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nicht anforderungsgerechte Lösungsvarianten ausschließen • Beste und kombinierbare Varianten auswählen • Gewählte Lösungen zu einem Modell zusammen fassen <p>Ergebnisse:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prototyp 		

		AP 4200
Titel	CAD-Modell anfertigen	Seite: 1 von 1
Verantwortlicher	Ole Scholz	Version: 1.0
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T ₀ +5,5 Wochen	
Ende	T ₀ +6,5 Wochen	Dauer: 1 Woche
Bearbeiter	Ole Scholz	
Ziele: <ul style="list-style-type: none">• CAD-Modell für<ul style="list-style-type: none">-Import in FEM-Programm-Fertigung mit 3D-Drucker		
Input: <ul style="list-style-type: none">• Modell aus AP 4100		
Schnittstellen zu anderen APs: <ul style="list-style-type: none">• AP 4100 CAD-Modell aus gewählten Teillösungen erstellen• AP 4300 CAD-Modell in FEM-Programm importieren		
Aufgaben: <ul style="list-style-type: none">• Vorher gewähltes Modell in CAD-Programm implementieren		
Ergebnisse: <ul style="list-style-type: none">• CAD-Modell		

		AP 4300
Titel	FEM-Analyse durchführen	Seite: 1 von 1
Verantwortlicher	Ole Scholz	Version: 1.0
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T ₀ +6,5 Wochen	
Ende	T ₀ +8,5 Wochen	Dauer: 2 Wochen
Bearbeiter	Ole Scholz	
Ziele: <ul style="list-style-type: none">• Strukturelle Optimierung des Modells• Numerische Bestätigung der Festigkeit einer optimierten Konstruktion		
Input: <ul style="list-style-type: none">• CAD-Modell aus AP 4200		
Schnittstellen zu anderen APs: <ul style="list-style-type: none">• AP 4200 CAD-Modell analysieren und anpassen		
Aufgaben: <ul style="list-style-type: none">• Beanspruchung unter Last untersuchen• Über-/unterbeanspruchte Teile der Konstruktion lokalisieren• CAD-Modell rekursiv anpassen und erneut testen		
Ergebnisse: <ul style="list-style-type: none">• Für Festigkeit optimiertes und überprüftes Modell		

		AP 4400
Titel	Betriebssimulation durchführen	Seite: 1 von 1
Verantwortlicher	Ole Scholz	Version: 1.0
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T ₀ +8,5 Wochen	
Ende	T ₀ +10,5 Wochen	Dauer: 2 Wochen
Bearbeiter	Ole Scholz	
Ziele: <ul style="list-style-type: none">• Bestätigung der anforderungsgerechten Auslegung der Aktuatorik		
Input: <ul style="list-style-type: none">• Anforderungen aus AP 2200• Modell aus AP 4100		
Schnittstellen zu anderen APs: <ul style="list-style-type: none">• AP 2200 Erfüllung der Anforderungen• AP 4100 Analyse des Modells		
Aufgaben: <ul style="list-style-type: none">• Verhalten der Steuerung unter Betriebsbedingungen mittels Matlab/Simulink untersuchen• Erfüllung der Anforderungen überprüfen• Eventuelle Anpassung der Aktuatorik		
Ergebnisse: <ul style="list-style-type: none">• Angemessen und überprüfte Aktuatorik der Grid Fins		

		AP 4500
Titel	Kritische Bewertung	Seite: 1 von 1
Verantwortlicher	Ole Scholz	Version: 1.0
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T ₀ +10,5 Wochen	
Ende	T ₀ +11,5 Wochen	Dauer: 1 Woche
Bearbeiter	Ole Scholz	
Ziele: <ul style="list-style-type: none">● Kritische Auseinandersetzung mit den Ergebnissen der Arbeit		
Input: <ul style="list-style-type: none">● Anforderungen aus AP 2000● Simulationsergebnisse von AP 4300 und AP 4400		
Schnittstellen zu anderen APs: <ul style="list-style-type: none">● AP 4300, AP 4400 Simulationsergebnisse im Abgleich mit:● AP 2000 Anforderungen		
Aufgaben: <ul style="list-style-type: none">● Kritische Einschätzung der Ergebnisse● Eventuelle Fehler und Verbesserungsmöglichkeiten der Grid Fins aufzeigen		
Ergebnisse: <ul style="list-style-type: none">● Bewertung des Modells		

		AP 5100
Titel	Ausarbeitung	Seite: 1 von 1
Verantwortlicher	Ole Scholz	Version: 1.0
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T ₀ +3,5 Wochen	
Ende	T ₀ +13 Wochen	Dauer: 9,5 Wochen
Bearbeiter	Ole Scholz	
Ziele: <ul style="list-style-type: none">• Vollständige Dokumentation der Vorgehensweise und Ergebnisse		
Input: <ul style="list-style-type: none">• APs 1000, 2000, 3000, 4000		
Schnittstellen zu anderen APs: <ul style="list-style-type: none">• Ausarbeitung umfasst alle vorherigen APs		
Aufgaben: <ul style="list-style-type: none">• Alle Arbeitsschritte und Gedankengängen in fachlich korrekter Form schriftlich festhalten		
Ergebnisse: <ul style="list-style-type: none">• PDF-Dokument mit dem gesamten Inhalt dieser Arbeit		

		AP 5200
Titel	Präsentation	Seite: 1 von 1
Verantwortlicher	Ole Scholz	Version: 1.0
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T ₀ +11 Wochen	
Ende	T ₀ +13 Wochen	Dauer: 2 Wochen
Bearbeiter	Ole Scholz	
Ziele: <ul style="list-style-type: none">• Vorstellung der Arbeitsergebnisse		
Input: <ul style="list-style-type: none">• APs 2000, 3000, 4000		
Schnittstellen zu anderen APs: <ul style="list-style-type: none">• über die Inhalte der APs 2000, 3000, 4000		
Aufgaben: <ul style="list-style-type: none">• PowerPoint-Präsentation• Präsentation über gesamte Arbeit halten		
Ergebnisse: <ul style="list-style-type: none">• Mit Poster unterstützte verbale Vorstellung der Arbeitsergebnisse		

		AP 1200
Titel	Titel des Arbeitspakets	Seite: X von Y
Verantwortlicher	Dein Name	Version: 1.1
		Datum: DD.MM.YYYY
Beginn	T_0	
Ende	$T_0 + X$ Wochen	Dauer: X Wochen
Bearbeiter	Dein Name	
<p>Ziele:</p> <ul style="list-style-type: none">• Ziel 1• Ziel 2• ... <p>Input:</p> <ul style="list-style-type: none">• Input 1• ... <p>Schnittstellen zu anderen APs:</p> <ul style="list-style-type: none">• AP XXXX Beschreibung• AP <p>Aufgaben:</p> <ul style="list-style-type: none">• Aufgabe 1• ... <p>Ergebnisse:</p> <ul style="list-style-type: none">• Ergebnis 1• ...		

