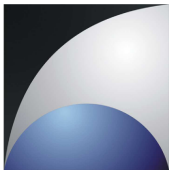




Technische  
Universität  
Braunschweig

Institut für  
Raumfahrtssysteme



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

Institut für Raumfahrtssysteme

Ole Scholz

25. 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

<b>1. Einleitung</b>	<b>6</b>
1.1. Motivation . . . . .	7
1.2. Ziele der Arbeit . . . . .	9
1.3. Struktur der Arbeit . . . . .	9
<b>2. Grundlagen</b>	<b>10</b>
2.1. Grid Fins als Steuerelement von Flugkörpern im Hyperschall . . . . .	10
2.2. Wiedereintrittsbedingungen . . . . .	10
2.3. Das Air-Launchsystem Valkyrie . . . . .	10
<b>3. Modellentwurf</b>	<b>11</b>
3.1. Systemanforderungen . . . . .	11
3.2. Gitterdesign . . . . .	11
3.3. Aktuatorik . . . . .	11
3.4. Erster Demonstrator . . . . .	11
3.5. CAD-Modell . . . . .	11
<b>4. Systemanalyse</b>	<b>12</b>
4.1. FEM-Analyse . . . . .	12
4.2. Betriebssimulation . . . . .	12
4.3. Systembewertung . . . . .	12
4.4. Fazit . . . . .	12
<b>5. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>13</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>14</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>14</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>16</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>17</b>
<b>A. Projektmanagement</b>	<b>18</b>
A.1. Work Breakdown Structure . . . . .	18
A.2. Zeitplan . . . . .	20
A.3. Work Package Description . . . . .	22

# 1. Einleitung

In den letzten Jahrzehnten konnten sich einige private Unternehmen erfolgreich in der Raumfahrt etablieren. Hierbei wird diese New Space Szene hauptsächlich von großen US-Firmen wie SpaceX, Virgin Galactic, Blue Origin dominiert, um nur ein paar zu nennen. Viele mehr versuchen auch noch weiterhin in dieser sich rasant entwickelnden Branche Fuß zu fassen. 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 Belastung wirtschaftlich. So müssen sich mehrere Kunden einen Start teilen und sind somit sowohl in Bezug auf die Umlaufbahn als auch den Starttermin eingeschränkt. 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 flexibel die individuelle Ansprüche kleiner Satelliten, sogenannter CubeSats, zu berücksichtigen.

Ein weiteres Potenzial die Kosten zu senken bietet die Bergung und Wiederverwendung von Raketenstufen und Nutzlastverkleidung. Auch wenn sich ältere Projekte, wie das Space Shuttle, als nicht rentabel herausgestellt haben, können neuere Konzepte mehr Erfolge verbuchen. Ein modernes Beispiel bieten die erste Stufe der Falcon 9 oder auch die Booster der Falcon Heavy von SpaceX. Nach einem Reentry Burn, um bei dem Wiedereintritt in die Atmosphäre nicht zerstört zu werden, und eine Flugphase in der die Raketensegmente aerodynamisch zu einem Landeplatz gesteuert werden, kommt es zu einer erneuten Zündung der Triebwerken. Dadurch wird die Geschwindigkeit weit genug abgebremst, dass ein unversehrtes Aufsetzen möglich ist[1]. Rocket Lab verfolgt einen anderen Einsatz. Bei ihrer Electron Rakete soll die erste Stufe erst mit einem Ballute in den Unterschall und dann mit einem konventionellen Fallschirm weiter abgebremst werden. Dann kann diese entweder aus dem Wasser geborgen oder sogar direkt in der Luft von einem Hubschrauber eingefangen werden[2]. 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, da sie der komplizierte Teil, die aktive Landung, wegfällt.

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 hier 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

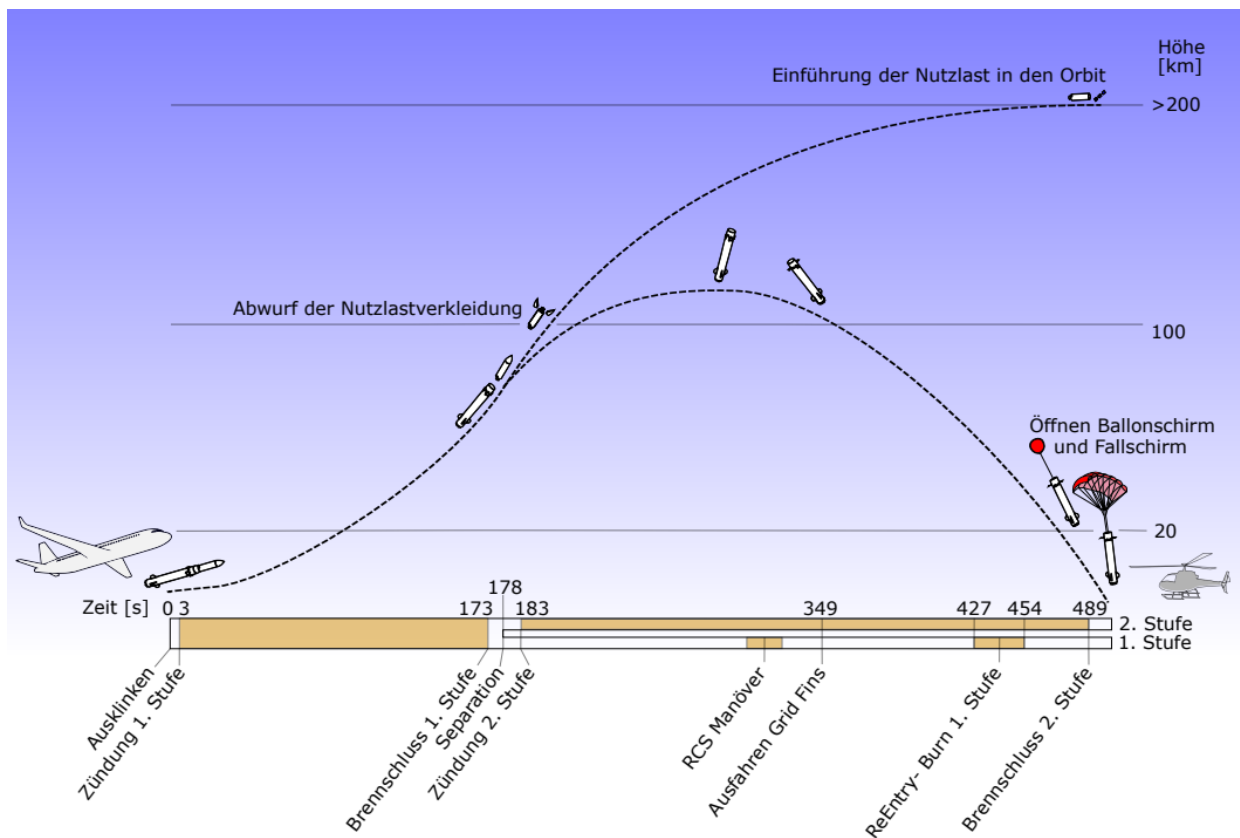


Abbildung 1.1.: Ablauf einer Valkyrie-Mission[4]

AirLaunch-Trägerrakete, die als Microlauncher kleine CubeSat aus Deutschland heraus in den LEO bringen soll[3]. Mit AirLaunch werden Raketen betitelt, 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[4] und ist somit über dem Wettergeschehen der Troposphäre. Eine hohe Wirtschaftlichkeit soll durch eine wiederverwendbare Erststufe gewährleistet werden. Beim Wiedereintritt soll sich diese, zusätzlich zu einer aerodynamischen Flugphase wie bei der Falcon 9, wie die Electron soweit in den Unterschall abbremsen, dass sich ein Fallschirm öffnen kann. Somit ist es dann möglich, dass ein Hubschrauber die Raketenstufe aus der Luft heraus auffängt und sicher an Land bringt.

## 1.1. Motivation

Für eine erfolgreiche Bergung der Erststufe der Valkyrie ist die aerodynamische Steuerung während der Flugphase von großer Bedeutung. So kann das Raketensegment sicher dorthin gelenkt werden, wo der Helikopter sie auch rechtzeitig erreichen kann, bevor diese ins Wasser fällt. Stati-

sche Stabilität im Flug herrscht immer dann, wenn der Druckpunkt hinter dem Schwerpunkt des Flugobjekts liegt. Beim Start sorgen hierfür vier Finards am unteren Ende der Rakete. Im Apogäum führt die Erststufe eine  $180^\circ$ -Drehung um die eigene Achse durch, sodass die Triebwerke nach vorne zeigen. Dadurch haben nun die Finards einen negativen Effekt auf die 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 ausklappbare Grid Fins (dt. Gitterflossen) verwendet werden.



Abbildung 1.2.: Grid Fins am CRS-5 Falcon 9 Booster, Quelle: SpaceX

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, wie zum Beispiel am Bug eines Flugzeuges. Ein geringes Moment um das Steuergelenk, so wie gute Auftriebserzeugung über einen großen Bereich von Anstellwinkeln und Machzahlen[5], 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 ballistische 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 Nutze gemacht, indem sie als Drag Breaks genutzt werden. Auch SpaceX bedient sich dieser Technologie, um die Falcon 9 sicher zur Landeplattform zu steuern[6].

Somit bieten es sich auch für die Valkyrie an, Grid Fins zu verwenden. Selbst bei den extremen Bedingungen des Wiedereintritts bieten sie Stabilität und Steuerbarkeit. Zusätzlich können sie auch



dazu beitragen, die dabei auftretenden Geschwindigkeiten weiter zu verringern. All das ohne beim Start und 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 natürlich auch hier 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. Zu diesem Zweck soll am Ende dieser Arbeit ein CAD-Modell stehen, mit welchem sich ein 3D-Druck anfertigen lässt. Bei der Minimierung der Kosten sei trotzdem noch darauf zu achten, dass eine ausreichende Lebensdauer mehrere Missionen zulässt, um auch dem Aspekt der Wiederverwendbarkeit zur Genüge zu kommen.

## 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

- [1] SpaceX. Falcon User's Guide. [https://www.spacex.com/media/Falcon\\_Users\\_Guide\\_082020.pdf](https://www.spacex.com/media/Falcon_Users_Guide_082020.pdf), 2020. Zugriff: 25.04.2021.
- [2] Rocket lab launches electron flight 8. company previews first stage recovery. <https://www.nasaspaceflight.com/2019/08/rocket-lab-electron-flight-8-towards-first-stage-recovery>, 2019. Zugriff: 25.04.2021.
- [3] GAIA Aerospace. Valkyire, Die erste wiederverwendbare AirLaunch-Rakete. <https://www.gaia-aerospace.com/research/>. Zugriff: 25.04.2021.
- [4] Ina Barz. Untersuchung effizienter Algorithmen zur Trajektorienoptimierung von AirLaunch-Raketen. Studienarbeit, TU Braunschweig, April 2021.
- [5] Salman Munawa. Analysis of Grid Fins as Efficient Control Surface in Comparison to Conventional Planar Fins. In *27th international congress of the aeronautical sciences*, 2009.
- [6] M. Tripathi, M.M. Sucheendran, and A. Misra. Effect of aspect ratio variation on subsonic aerodynamics of cascade type grid fin at different gap-to-chord ratios. *The Aeronautical Journal*, 124(1274):472–498, 2020.

# Abbildungsverzeichnis

1.1.	Ablauf einer Valkyrie-Mission[4]	7
1.2.	Grid Fins am CRS-5 Falcon 9 Booster, Quelle: SpaceX	8

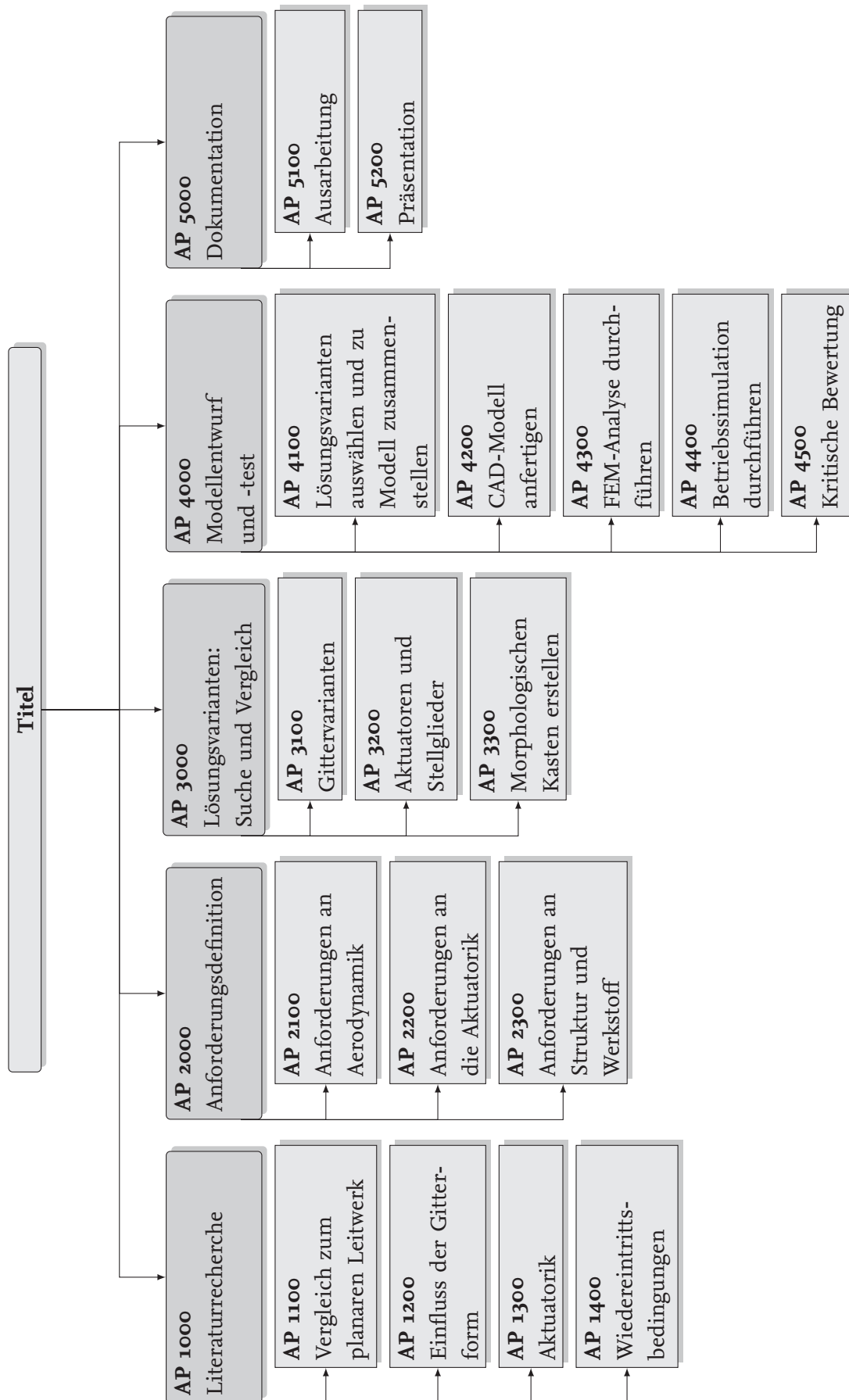
# **Tabellenverzeichnis**



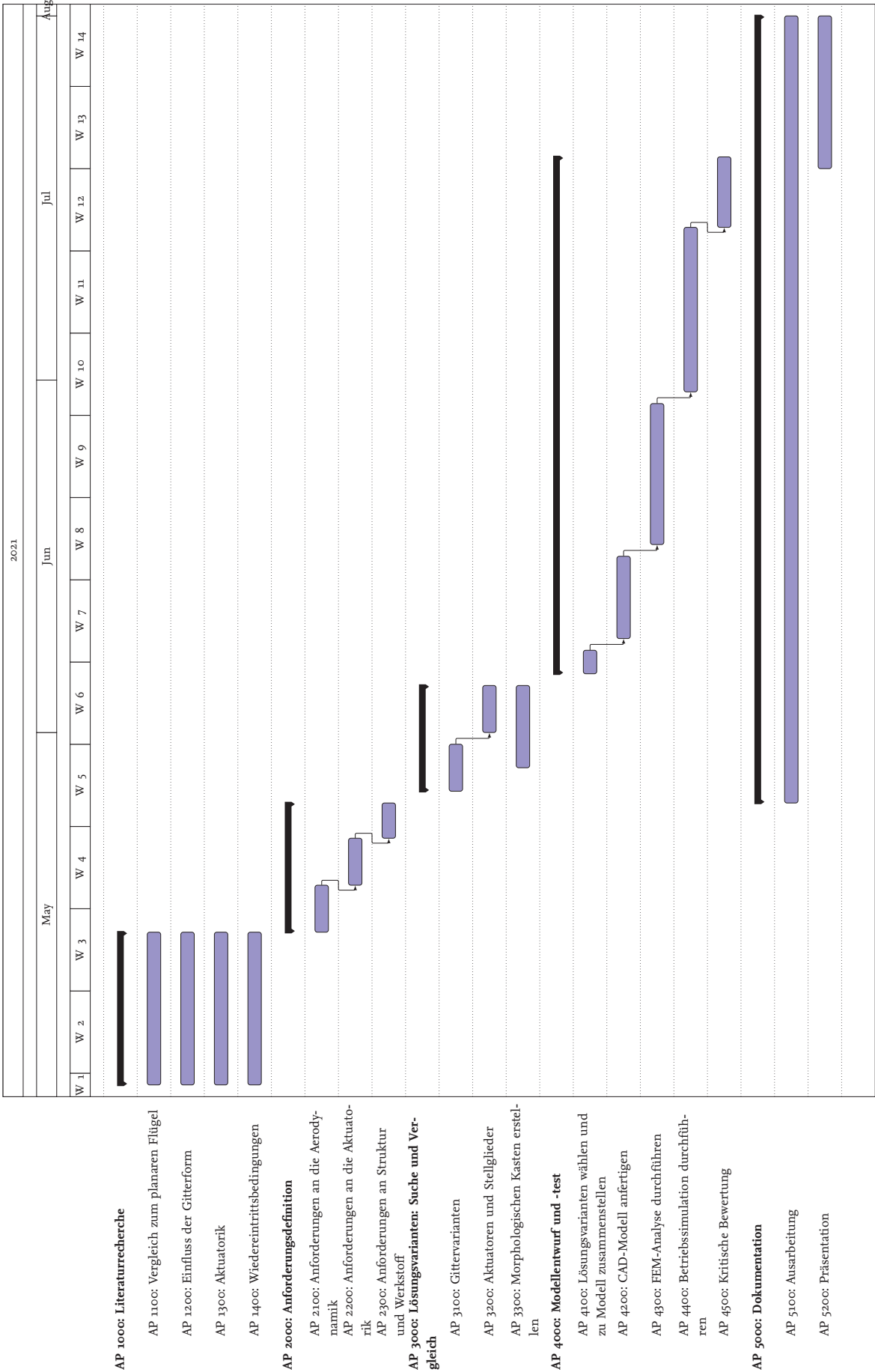
# Symbolverzeichnis

# **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 <sub>0</sub>	
Ende	T <sub>0</sub> +2 Wochen	Dauer: 2 Wochen
Bearbeiter	Ole Scholz	
<b>Ziele:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Kenntnisse über Vor- und Nachteile von Grid Fins im Vergleich zu planaren Leitwerken bezüglich<ul style="list-style-type: none"><li>- Aerodynamik, bei unterschiedlichen Anströmungsbedingungen</li><li>- Strukturmechanische Eigenschaften</li><li>- Allgemeine Unterschiede</li></ul></li></ul>		
<b>Input:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Literatur zum Vergleich der beiden</li></ul>		
<b>Schnittstellen zu anderen APs:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• AP 2200 zur Bestimmung aerodynamischen Einflüsse</li></ul>		
<b>Aufgaben:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Literatur zur Thematik lesen</li></ul>		
<b>Ergebnisse:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Vor- und Nachteile von Grid Fins kennen</li><li>• Wissen, wo und wie sie entsprechend ihrer Eigenschaften einzusetzen sind</li></ul>		

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

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



		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	
<b>Ziele:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Kenntnisse zu den Bedingungen beim Wiedereintritt</li></ul>		
<b>Input:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Literatur zum Wiedereintritt</li></ul>		
<b>Schnittstellen zu anderen APs:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• AP 2100 Aerodynamische Einflüsse des Wiedereintritts</li><li>• AP 2300 Strukturmechanische Einflüsse des Wiedereintritts</li></ul>		
<b>Aufgaben:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Literatur zur Thematik lesen</li></ul>		
<b>Ergebnisse:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Kenntnisse zu Bedingungen beim Wiedereintritt</li></ul>		

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

