
Pflichtenheft

**Entkoppelschwenkarmsystem
für die Augasonic³ Höhenfor-
schungsrakete**

Bremen, 2024

Inhalt

Inhalt I

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einführung	1
1.1 Veranlassung	1
1.2 Zielsetzung	1
1.3 Verwendungsumfeld	1
1.4 Wesentliche Aufgaben	2
1.5 Eckdaten des Projektes	2
2 Istzustand	4
3 Aufgabenstellung	6
3.1 Kurzbeschreibung Aufgabenstellung	6
3.2 Anforderungen	6
4 Projektabwicklung	10
4.1 Projektorganisation	10
4.2 Projektdurchführung	10
4.3 Dokumentation	10
5 Lösungsvorschläge	11
5.1 Lösungsbeschreibung	11
5.2 Strukturplan	12
5.3 Einzelfunktionen	13
5.3.1 Lagendefinition	13
5.3.2 Beschreibung der oberen und unteren Schnittstellen Umsetzung	13
5.3.3 Schwenken ermöglichen	15
5.3.4 Automatisierung des Rückschwenkprozesses und Entkoppeln	15

5.3.5	Tankprozessüberwachung und Startgewichtsbestimmung	17
5.3.6	Kamerasystem	18
5.3.7	Versatzausgleich.....	18
5.3.8	Leistungsmanagement.....	19
5.3.9	Hauptventilöffner	20
5.3.10	Umsetzungen weiterer Anforderungen	20

Anlagen 24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Strukturplan des Entkoppelschwenkarm, mit den untergeordneten Teilprojekten beziehungsweise Arbeitsaufgaben.....	12
Abbildung 2 Möglicher Aufbau der oberen Schnittstelle, ohne Gehäuse.....	14
Abbildung 3 Lagendefinition	15
Abbildung 4 Schemenhafte Darstellung des unteren Schwenkarmes mit Bauteilanordnung	16
Abbildung 5 Symbolische Darstellung des Schwenkmechanismus.....	16
Abbildung 6 Symbolische Darstellung des Entkopplungsmechanismus.....	17
Abbildung 7 Messanordnung. 1) Verformungsmesser; 2 starre Strebe; 3 Aufnahme an Rakete.....	18
Abbildung 8 Versatzausgleich durch modifizierte kardanische Aufhängung	19
Abbildung 9 Kabelclips	20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Termine	2
Tabelle 2 Verantwortlichkeiten	3
Tabelle 3 Kostenrahmen	3
Tabelle 4 Anforderungsliste	6

Abkürzungsverzeichnis

DLR	Deutsches Luft- und Raumfahrtzentrum
VDI	Verbund Deutscher Ingenieure
CAD	Computer Aided Design
STERN	Studentische Experimental-Raketen

1 Einführung

1.1 Veranlassung

Im Zuge des Entwicklungsprojektes „STERN“ soll eine Höhenforschungsrakete von der Hochschule Bremen entwickelt werden. Diese Rakete, die „AquaSonic³“, besteht aus mehreren Subsystemen, unter anderem aus dem für dieses Dokument relevanten „Entkoppelschwenkarm“. Dieser wird während der Startvorbereitung benötigt, um die Rakete mit dem Oxidator zu betanken, die Datenkommunikation zu ermöglichen und das raketeninterne Energieversorgungssystem zu laden. Dabei soll der Schwenkarm für die am DLR-Stützpunkt in Esrange befindliche Raketenabschussrampe konzipiert werden. Des Weiteren sollen die bisher verwendeten Schwenksysteme der AquaSonic 1 & 2 nicht verwendet werden.

Aus sicherheitstechnischen Aspekten muss das System dabei über Fernzugriff automatisch entkoppelt und von der Rakete weg geschwenkt werden können. Zur Umsetzung soll ein modularer Aufbau für spätere Raketenversionen umgesetzt werden. Weiterhin gilt, da es sich um ein DLR-Förderprojekt handelt, dass auch die von der DLR gelisteten Anforderungen erfüllt werden.

1.2 Zielsetzung

Entwickelt werden soll ein funktionssicherer Entkoppelschwenkarm, der die Fehler der vorherigen Systeme eliminiert und so eine einfachere und zuverlässigere Lösung bietet. Außerdem soll das System um weitere Elemente im Vergleich zu den Vorgängerversionen ergänzt werden, um beispielsweise eine Überwachung der Rakete während der Startvorbereitungen zu ermöglichen. Zur Verifizierung der oben genannten Kriterien soll das System mittels Prüfstandsaufbauten überprüft werden.

1.3 Verwendungsumfeld

Die Hochschule Bremen mit ihren verschiedenen Fakultäten ist besonders für das Institut für Luft- und Raumfahrttechnik (IAT) bekannt. In Kooperation mit dem DLR werden hier studentische Forschungsprojekte ermöglicht, wie zum Beispiel das „STERN“-Projekt, bei dem erste Erfahrungen im Bereich der Raumfahrttechnik gesammelt werden können. Im Rahmen dieses Projekts wird die Höhenforschungsrakete „AquaSonic³“ entwickelt.

Generell wird hier an der Erforschung und Entwicklung von Luft- und Raumfahrtssystemen gearbeitet, wofür zahlreiche Labore zur Verfügung stehen.

Das Subsystem „Entkoppelschwenkarm“ ist ein essentielles Element, um einen erfolgreichen Raketenstart der „AquaSonic³“ zu gewährleisten. Dabei muss das System in der Lage sein, auch unter schwierigen Bedingungen die drei Meter lange Rakete mit Treibstoff, Daten und Energie zu versorgen und kurz vor dem Start die Rakete freizugeben, so dass weder die Flugkurve noch die Raketenhülle beeinflusst werden. Der geplante Start ist für März 2025 im schwedischen Esrange vorgesehen, wodurch wetterbedingte Einflussfaktoren berücksichtigt werden müssen. Der Transport erfolgt per Flugzeug.

1.4 Wesentliche Aufgaben

Für eine erfolgreiche Startvorbereitung muss das Subsystem „Entkoppelschwenkarm“ Hauptaufgaben erfüllen und die korrekte Umsetzung prüfen. So muss die Hauptaufgabe der Betankung mit dem Oxidationsmittel N_2O_2 über eine Tankschnittstelle erfolgen und durch einen Gewichtsmesser verifiziert werden. Der Ladevorgang des in der Rakete befindlichen Akkumulators wird auf Basis des Induktionsprinzips umgesetzt und durch die Kommunikationsschnittstelle verifiziert. Außerdem soll die Raketenlage vor dem Start überprüft und der Startvorgang mittels Kameras überwacht werden. So kann auch das korrekte Entkoppeln der Tankanschlusskupplung und der Schwenkvorgang verifiziert werden, da erst dann eine Startfreigabe erteilt werden kann.

1.5 Eckdaten des Projektes

Tabelle 1 Termine

Datum	Bezeichnung
15.04.2024	Vorstellen der Kernkomponenten mit Freigabeerteilung
03.05.2024	Vorstellen des Finalen Gesamtentwurfs mit Freigabeerteilung
03.05.2024	Zwischenprüfung der Sicherheitsrelevanten Komponenten
22.07.2024	Funktionsfähiges und Erprobtes Gesamtsystem + Endabnahme

03.2025	Raketenstart
---------	--------------

Tabelle 2 Verantwortlichkeiten

Name	Bezeichnung
Lein	Pflege Pflichtenheft
	Planung
	Durchführung/ Realisierung
	Fertigung und Montage

Tabelle 3 Kostenrahmen

Kostenhöhe	Bezeichnung
≤1000€	Materialkosten (Vorgabe Auftraggeber)
1000€	Materialkosten (Auftragnehmer)
30000€	Entwicklungskosten (Vorgabe Auftraggeber)
22000€	Entwicklungskosten (Auftraggeber)

2 Istzustand

In den vergangenen Forschungsprojekten zur „AquaSonic“-Reihe wurden Schwenkarmsysteme eingesetzt, die aus zwei Armen bestanden. Diese Arme waren übereinander positioniert. Sie wurden manuell an die Rakete herangeführt und automatisch über einen zentralen Aktuator nach Beendigung der Startvorbereitung weggeführt. Dabei fand über den unteren Arm der Betankungsprozess statt, bei dem mittels eines zweiten Aktuators und eines mechanischen Gestänges die Entkopplung vom Tankanschluss erfolgte. Die Ankopplung musste aus Sicherheitsgründen manuell erfolgen. Nach erfolgreichem Entkoppeln wurde der Aktuator gegen Wiederausfahren mechanisch gesperrt. Der obere Arm stellte mittels Kabel die Datenkommunikation bereit und versorgte das raketeninterne Energiesystem während der Startvorbereitung mit Energie. Des Weiteren fand ein Ladeprozess des in der Rakete verbauten Akkus statt. Das Startgewicht sowie die Treibstoffmassen wurden durch eine Kraftmessdose ermittelt. Als Aktuatoren wurden Pneumatikzylinder (Datenblatt siehe Anhang) eingesetzt. Die Druckversorgung wurde über das externe Betankungsaggregat bereitgestellt.

3 Aufgabenstellung

3.1 Kurzbeschreibung Aufgabenstellung

Entwickelt werden soll ein Entkoppelschwenkarmsystem für die Startvorbereitungen der „Aquasonic³⁴“- Höhenforschungsrakete. Dabei müssen die Hauptaufgaben:

- Betankung
- Datenkommunikation
- Startgewichtsbestimmung
- Kabelloses Laden des in der Rakete befindlichen Energiespeichers
- Öffnen des Kugelventils am Tank und
- Vorsehen eines Kamerasystem zur Überwachung

erfüllt werden.

3.2 Anforderungen

Tabelle 4 Anforderungsliste

Bezeichnung	Kennzeichen	Anforderung	Forde- rungskri- terium Pflicht/ Wunsch
Gesamtsystem	G01	Betriebssicher im Bereich von -20 bis 30°C	P
	G02	6 Schnittstellen: <ul style="list-style-type: none"> - Datenkommunikation - Betankung - Induktionsladung - Gewichtsmesser - Kamerasystem (2 IP Kameras) - HV-Öffner 	P
	G03	Anzahl Hauptelemente: <ul style="list-style-type: none"> - 1x Gesamtsystem - Min. 2x Schwenkbarer Arm - 1x Aufnahme Gewichtsmesser 	P

Bezeichnung	Kennzeichen	Anforderung	Forde- rungskri- terium Pflicht/ Wunsch
		<ul style="list-style-type: none"> - 2x Aufnahme Kamera - 1x G02 - 1x N_2O_2 Leitung - 5x Spannungsversorgung 	
	G04	Schwenkbewegung ermöglichen	P
	G05	Statische Auslegung	P
	G06	Biegesteife Arme (Verformung $\leq 1\text{mm}$)	P
	G07	Leitungsführung- und Management	W
	G08	Zu Verwendende Materialien: Item24© Komponenten Al- Legierungen Stahl	P
	G09	Verwendung der zur Verfügung gestellten Aktuatoren	P
	G10	Sicherung vor Fehlaktivierung der Aktuatoren (mechanisch sperren)	P
	G11	Befestigung an Startrampe	P
	G12	Befestigung des Gesamtsystems an Startrampe durch Klemmen	W
	G13	Abmaße rampenseitig $x \leq 200\text{mm}$ (nochmal abklären)	P
	G1	Modulare Bauweise	P
	G15	Gesamtgewicht ohne Aktuatoren $m \leq 5\text{ kg}$	W
	G16	Wartungsfrei	W
	G17	Einfache Endmontage (Positionierungselemente vorsehen)	W
	G18	Transportsicherungen	W

Bezeichnung	Kennzeichen	Anforderung	Forde- rungskri- terium Pflicht/ Wunsch
	G19	Ruckausgleich der Aktuatoren vorsehen	P
	G20	Minimale Eigenfertigung	W
	G21	Maximale Kosten (siehe 1.5)	P
	G22	Nachweis der Funktionsfähigkeit am Prüfstand	P
Unterer Arm + Schnittstelle	U01	Automatische Entkopplung	P
	U02	Automatisierte Rückschwenkung	P
	U03	$D \leq 40\text{mm}$	P
	U04	Horizontaler und Vertikaler Versatzausgleich ($\pm 3\text{mm}$ um Nulllage)	P
	U05	100 Fehlerfreie Entkopplungen am Stück (Verifikation mittels Prüfstandes)	P
	U06	SERTO© Kupplung verwenden (bereitgestellt)	P
	U07	Aufnahme der Kupplung und Schlauchsystem	P
Obere Arm + Schnittstelle	O01	Abstand s zu Raketenhülle $0 \leq s \leq 1\text{mm}$	W
	O02	Schutz der Elektronik vor Witterung	P
	O03	Kraftfreiheit zur Raketenhülle wünschenswert (aber in jeden Fall: $F \leq 20\text{N}$)	W
	O04	Gleitreibung bei Raketenstart	W
	O05	Aufnahme und Fixierung der Induktivladespule	P
	O06	Breite kleiner als minimaler Finnenabstand	P
	O07	Aufnahme und Fixierung des IR-Transmitters	P

Aufgabenstellung

Bezeichnung	Kennzeichen	Anforderung	Forde- rungskri- terium Pflicht/ Wunsch
HV-Öffner	H01	$D \leq ???$	P
	H02	Verifikation der Funktionsfähigkeit mittels Prüfstandes	P

4 Projektentwicklung

4.1 Projektorganisation

Die personelle Planung sowie die Zuständigkeiten sind in Tabelle 2 ersichtlich. Die Realisierung des Projektes wird in den Gebäuden und Räumen der Hochschule Bremen durchgeführt. Die Arbeitszeiten entsprechen den üblichen Branchenarbeitszeiten (37,5 Stunden pro Woche).

4.2 Projektdurchführung

Die geplanten Aktivitäten sowie die Meilensteine sind im Anhang unter „Arbeitsplan“ ersichtlich. Freigabeerteilungen werden entsprechend zu den in der VDI 2221 und VDI 2222 vorgeschlagenen Phasenabschnitten geplant und durchgeführt. Die Planung der Termine obliegt der oben genannten verantwortlichen Person. Die Kosten- und Qualitätsüberwachung obliegen in erster Linie der oben genannten verantwortlichen Person, sind jedoch in regelmäßigen Terminen in ein Fachkollegium bzw. interdisziplinäres Team, gemäß VDI 2221 und VDI 2222, zu verifizieren. Der Auftraggeber wird an den oben genannten Terminen über den aktuellen Stand in Kenntnis gesetzt.

4.3 Dokumentation

Folgende Dokumente sind zu erstellen:

- Projektlaufplan
- CAD-Daten
- Technische Zeichnungen
- Rechnungsnachweise
- Stücklisten
- Bestelllisten
- Montageanleitung
- Dynamisches Pflichtenheft mit Versionierung

5 Lösungsvorschläge

5.1 Lösungsbeschreibung

Die obengenannte Aufgabe, die alle in „Anforderungen“ genannten Anforderungen umfasst, wird nach den Regeln des methodischen Konstruierens (VDI 2221, 2222) bearbeitet. Allgemein wird in Anlehnung an die zuvor verwendeten Entkoppelschwenkarmsysteme, wie sie unter Punkt 2 beschrieben wurden, ein System entwickelt. Ein Zwei-Arm-System wird angestrebt, welches die benötigten Aktuatoren und Schnittstellen bereitstellt. Im nachfolgenden Abschnitt werden die geforderten Funktionen beschrieben, und eine kurze Beschreibung zu einem möglichen Lösungsansatz präsentiert, der zur Verdeutlichung der Funktionalität dient.

5.2 Strukturplan



Abbildung 1 Strukturplan des Entkoppelschwenkarm, mit den untergeordneten Teilprojekten beziehungsweise Arbeitsaufgaben.

Wie Abbildung 1 zeigt, besteht die konstruktive Herausforderung, ohne Betrachtung näherer Details, in der Realisierung der Forderungen G02 und G03. Diese sollen grundsätzlich umgesetzt werden, ausgehend von der Befestigung an der Startrampe über die farblich hinterlegten Elemente der Abbildung 1. Diese repräsentieren Teilprojekte. Wesentliche Arbeitsaufgaben der jeweiligen Teilprojekte sind darunter ersichtlich.

5.3 Einzelfunktionen

Die wesentlichen Funktionen zur Aufgaben Erfüllung werden im nun folgenden Teil vorgestellt. Dabei lauten die Hauptfunktionen:

- Lage/ Position sicherstellen
- Betankung ermöglichen
- Datenaustausch ermöglichen
- Versorgen des Energiespeichers
- Schwenken ermöglichen
- Momente aufnehmen
- Automatisierung des Schwenkprozesses ermöglichen
- Automatische Entkopplung ermöglichen
- Startgewicht bestimmen
- Videoüberwachung bereitstellen
- Zerstörung verhindern
- Versatzausgleich nach Lagenwechsel

5.3.1 Lagendefinition

Die Grundvoraussetzung für die Erfüllung der Aufgabe bzw. der Funktionalität des Systems besteht darin, die Positionierung und Fixierung der weiteren Elemente sicherzustellen, da eine räumliche Entfernung zu überbrücken ist. Dafür muss gemäß G11 eine Befestigung an der Startrampe vorgesehen werden. Diese soll nach G12 die Lage durch eine Klemmverbindung sicherstellen, sodass die potenzielle Energie der Arme bzw. der weiteren Elemente an der Rakete gespeichert werden kann. Abbildung 3 zeigt diese Funktionalität auf. Dabei repräsentiert 1 den oberen Anschlusspunkt für die weiteren Elemente und 2 den unteren Anschlusspunkt. Die Energie wird dabei durch Klemmen an der gelben Abschussrampe gespeichert.

Um die Anschlusspunkte bzw. Schnittstellen an der Rakete fluchtend zu erreichen, muss gemäß G06 eine ausreichende Steifigkeit gewährleistet werden. Diese soll durch eine geeignete Profilwahl sichergestellt werden und wird durch G08 mitbestimmt. Gegebenenfalls sind Zusatzelemente einzuplanen, die auftretende Momente aufnehmen und leiten können. Beispielsweise erfüllt Element 7 in Abbildung 5 diese Funktion, aber auch Element 5 aus Abbildung 4 genügt dieser Bedingung.

5.3.2 Beschreibung der oberen und unteren Schnittstellen Umsetzung

Die Umsetzung der Schnittstellen und Bauteile gemäß G02 und G03 erfordert besondere Aufmerksamkeit. Insbesondere die obere Schnittstelle, die für Datenkommunikation und Ladevorgang während der Startvorbereitungen benötigt wird, muss gemäß O02, O03 und

O04 vor Witterungseinflüssen geschützt werden. Gleichzeitig soll die Rakete während des Starts an dieser Schnittstelle reibungslos abgleiten, ohne dabei unnötige Kräfte auf die Raketenhülle zu übertragen. Um Forderung O02 zu erfüllen, wird ein Gehäuse entworfen, das auch die Montage am oberen Arm ermöglicht. Dieses Gehäuse wird an die Hauptträgerplatte angepasst, die ihrerseits die Form der Rakete berücksichtigt. Dabei muss auch O05 und O06 berücksichtigt werden, wodurch die zulässige Breite limitiert wird und eine Fixierung der Induktivladespule einzuplanen ist.

Das Abgleiten an der Raketenhülle bei minimalen Belastungen kann durch geeignete Bauteile wie Federstifte mit Kugelpopf realisiert werden. Die Wahl dieser Elemente beeinflusst auch die Belastung, die durch die Schnittstelle auf die Rakete übertragen wird, und trägt dazu bei, dass O04 erfüllt ist. Weiter wird damit auch O01 gewährleistet. Die Aufnahme des Infrarot-Transmitters wird ebenfalls auf die Grundplatte geplant, wodurch auch O07 berücksichtigt wurde.

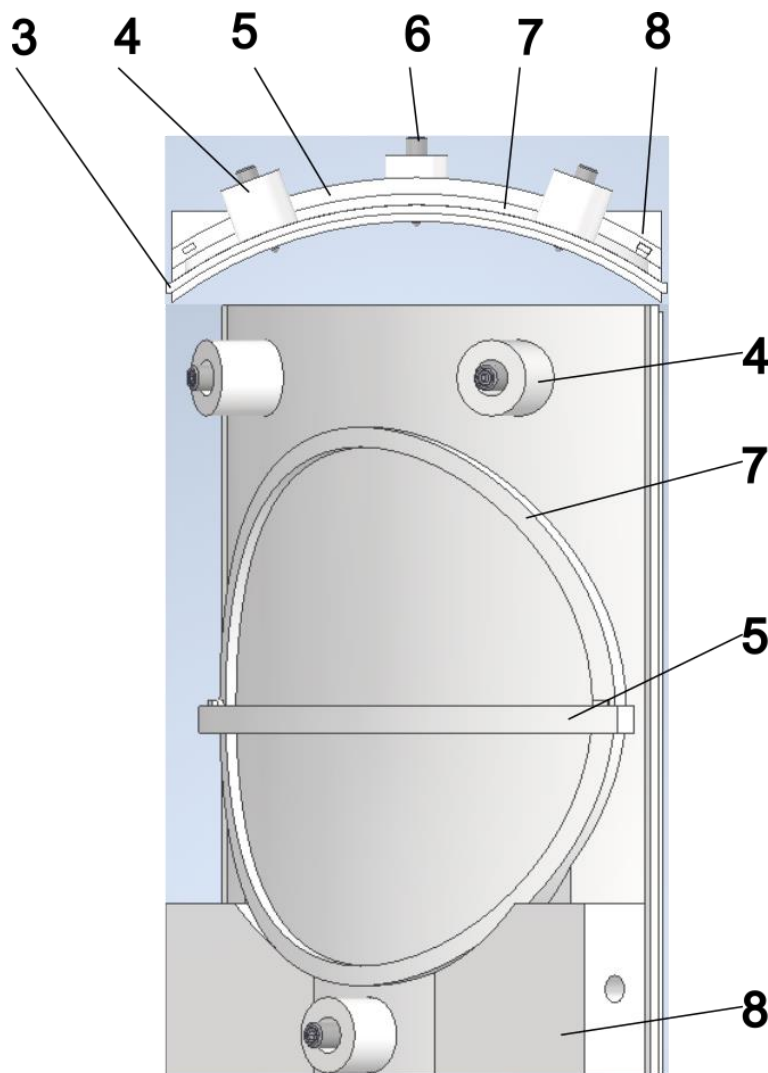


Abbildung 2 Möglicher Aufbau der oberen Schnittstelle, ohne Gehäuse

Die untere Schnittstelle, die hauptsächlich für die Betankung verantwortlich ist, wird durch die bereitgestellte Kupplung (U06) und das Schlauchsystem realisiert. Weitere Anforderungen in Bezug auf die untere Schnittstelle werden separat beschrieben – siehe dazu Abschnitt 5.3.4 und 5.3.7.

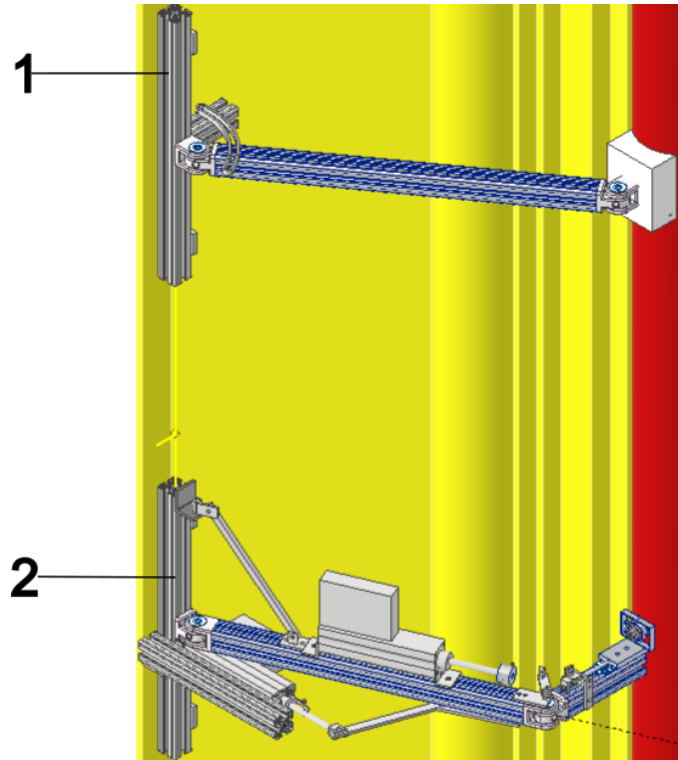


Abbildung 3 Lagendefinition

5.3.3 Schwenken ermöglichen

Das Umformen potenzieller Energie in kinetische Energie mit damit verbundener „Massenleitung“ ist eine weitere essenzielle Anforderung an das System. Die Teilsysteme (Arme) müssen eine Bewegung ermöglichen (G04), um Beschädigungen an der Rakete zu verhindern. Konkret handelt es sich dabei um das Heran- und Zurückschwenken des unteren Arms. Aber auch der obere Arm muss dieser Forderung genügen, um eine Beschädigung der Raketenhülle bei ihrer Positionierung an der Startrampe zu vermeiden.

5.3.4 Automatisierung des Rückschwenkprozesses und Entkoppeln

Sicherheitstechnisch bedingt darf kein manueller Rückschwenkprozess bei einer startbereiten Rakete durchgeführt werden. Daher ist die Integration einer Rückschwenkautomatik in das System erforderlich. Dieser Prozess wird durch U01 und U02 gefordert und soll mittels G09 ausgeführt werden. Somit ist durch G09 die Erzeugung bzw. Speicherung der dafür notwendigen Energie vorgegeben.

Die Umformung der linearen Bewegung in eine rotatorische Bewegung wird über ein Bindeglied realisiert, wie es symbolhaft als Element 10 in Abbildung 5 dargestellt ist. Dieses Element leitet die Energie an den Träger (Element 3 in Abbildung 4) weiter. Dabei muss zwischen oder in diesem Element die Zusatzfunktion der Forderung G19 integriert werden, was beispielsweise über einen Abgleitprozess umsetzbar ist.

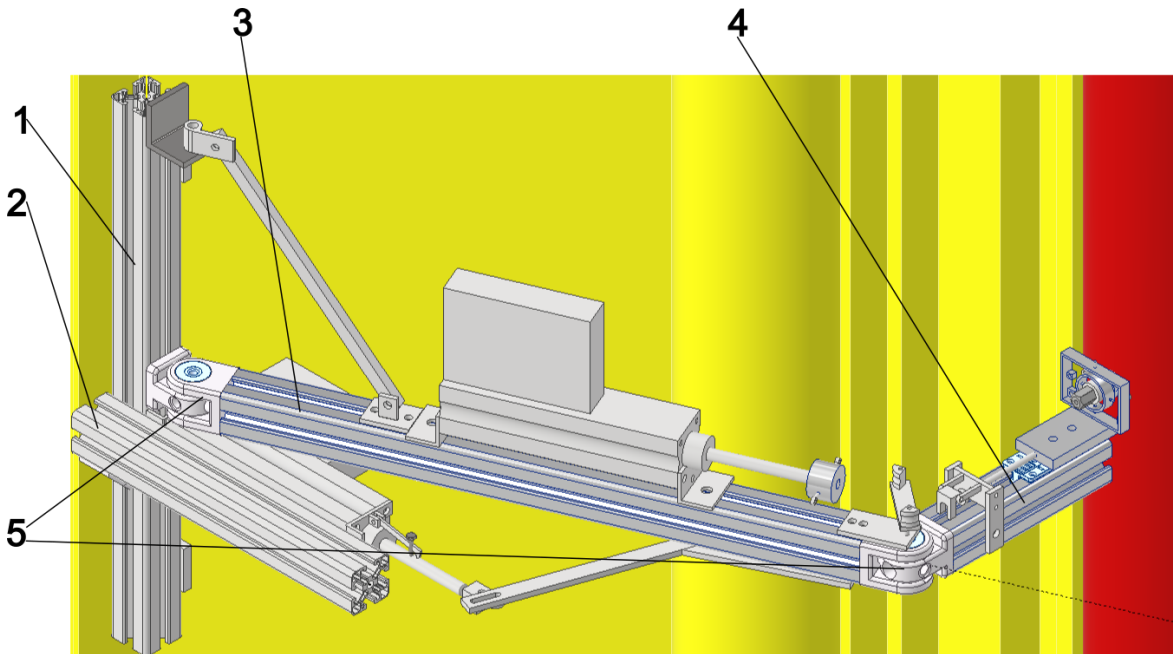


Abbildung 4 Schematische Darstellung des unteren Schwenkarmes mit Bauteilanordnung

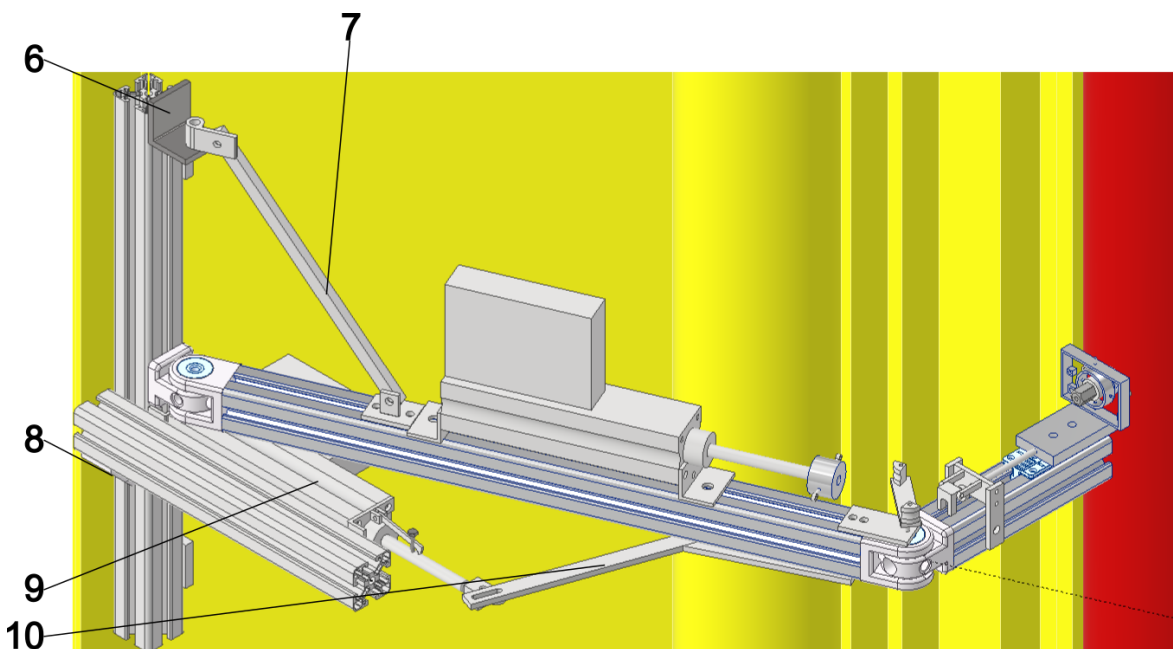


Abbildung 5 Symbolische Darstellung des Schwenkmechanismus

Die Funktionalität U01 soll ebenfalls durch die Nutzung eines bereitgestellten Aktuators realisiert werden, der als Energiequelle fungiert. Hier ist keine Wandlung der

Bewegungsart, sondern eine Leitung notwendig, um die ebenfalls bereitgestellte Kuppung (U06) zu öffnen. Jedoch ist zur Aufnahme der resultierenden Kraft eine Gegenkraft notwendig, die durch einen Speicher aufgenommen werden muss, was ebenfalls eine Leitung bedingt. Diese Funktionalität ist symbolisch in Abbildung 6 dargestellt. Die maximalen Abmaße der Kupplungsaufnahme (14 Abbildung 6) mit ihren Subelementen (U07) wird durch U03 bestimmt und berücksichtigt.

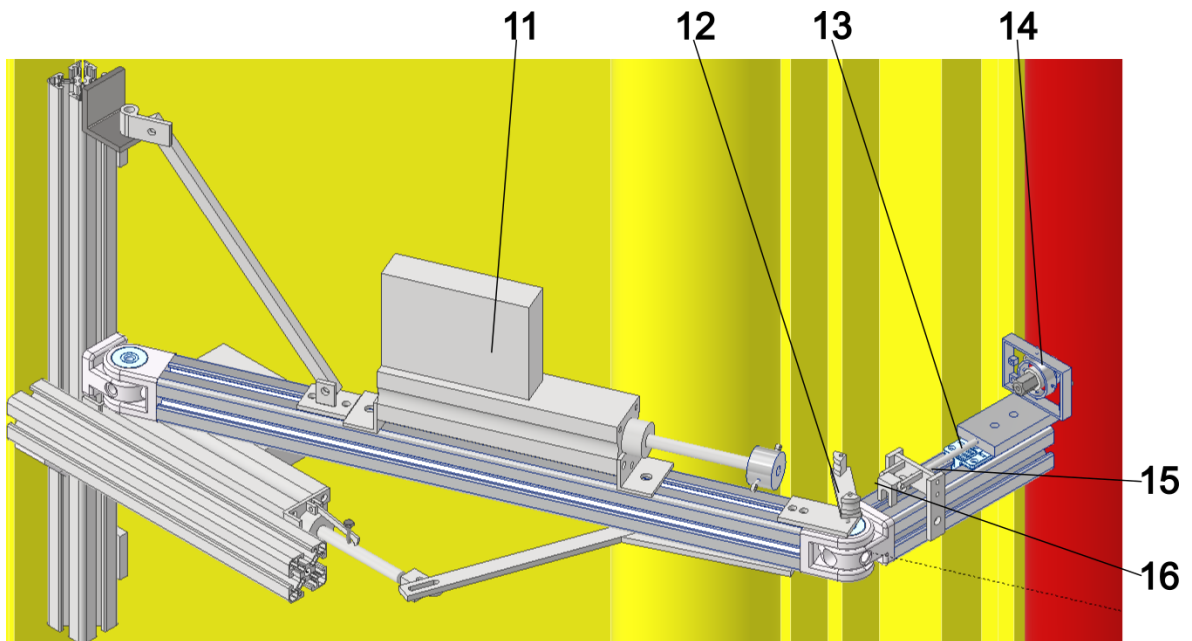


Abbildung 6 Symbolische Darstellung des Entkopplungsmechanismus

5.3.5 Tankprozessüberwachung und Startgewichtsbestimmung

Um die unter G02 gelistete Forderung der Startgewichtsbestimmung zu realisieren, soll ein Messsystem an das untere Trägerprofil angebracht werden. Das Messprinzip basiert auf dem Prinzip einer Kraftmessdose, bei der die Verformung mittels Dehnmessstreifen bestimmt und anschließend rückgerechnet wird. Um die dafür benötigte Verformung zu erreichen, wird der an der Rakete vorgesehene Aufnahmepunkt mit einem starren Element verbunden, das drehend gelagert ist. Das andere Ende wird mit dem Messsystem verknüpft. Eine mögliche Anordnung ist in Abbildung 7 dargestellt.

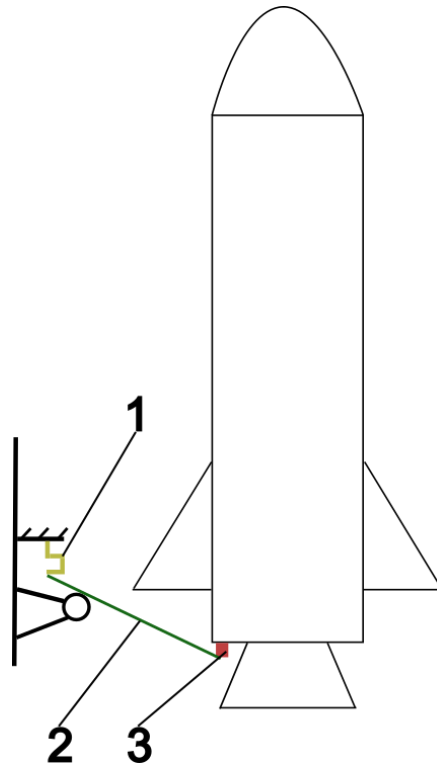


Abbildung 7 Messanordnung. 1) Verformungsmesser; 2 starre Strebe; 3 Aufnahme an Rakete

5.3.6 Kamerasystem

Für die Überwachung des Systems während der Startvorbereitung soll gemäß G02 ein Kamerasystem zum Einsatz kommen. Dieses System besteht aus zwei IP-Kameras. Zur Befestigung dieser Kameras werden Aufnahmesysteme (G03) entwickelt, die den Einsatz sowohl an der Startrampe als auch an den Armen ermöglichen. Die Übertragung erfolgt bedingt durch die geforderte Systemart über WLAN. Die Spannungsversorgung erfolgt über den Zentralen Verteiler.

5.3.7 Versatzausgleich

Da die Rakete in der horizontalen Lage an die Startrampe montiert wird, ist ein Schwenkschritt notwendig, um die von der DLR vergebenen Abschusswinkel einzuhalten. Dabei erfolgt die Kopplung bzw. Ausrichtung der Schwenkarme auch in der Horizontalen. Bei dem Aufrichtschritt kam es bei Vorgängerversionen oft zu Relativbewegungen zwischen Rakete und Rampe, was für Spannungen an und in den Schwenkarmen sorgte. Um diese Problematik in der geplanten Version vorzubeugen, soll gemäß U04 ein Versatzausgleichssystem integriert werden. Dies soll durch eine kinematische Kette mit Nulllagen-Definition umgesetzt werden. Eine Möglichkeit ist in Abbildung 8 in Form einer modifizierten kardanischen Aufhängung dargestellt. Um diese für die Sicherheit und den Erfolg

wesentliche Funktion zu garantieren soll gemäß U05 ein Prüfstandversuch durchlaufen werden, in dem 100 erfolgreiche Entkopplungen ohne Fehler auftreten.

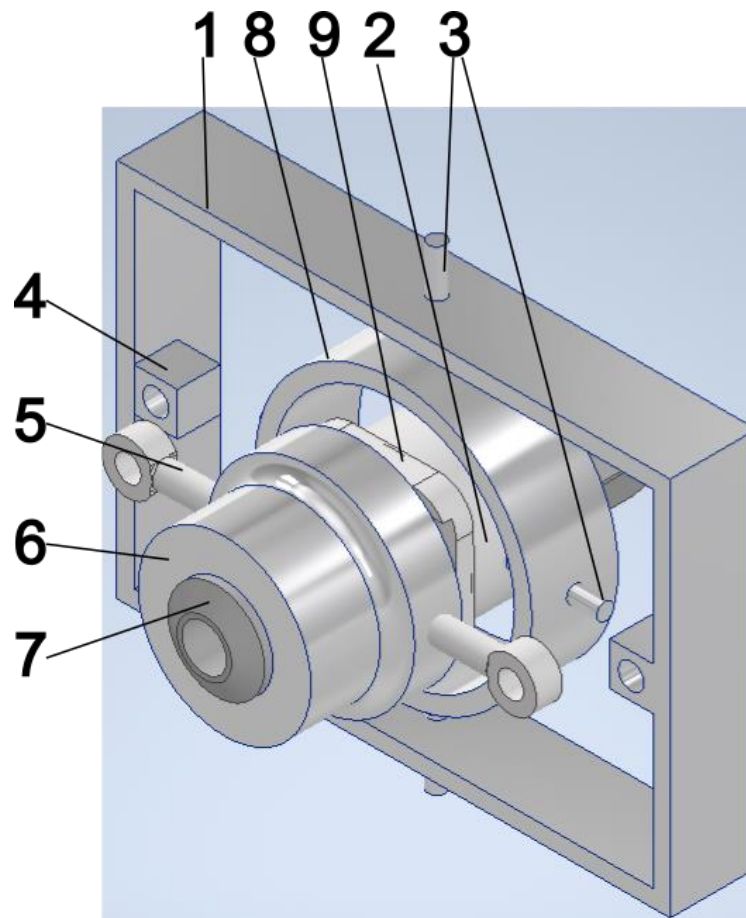


Abbildung 8 Versatzausgleich durch modifizierte kardanische Aufhängung

5.3.8 Leitungsmanagement

Um die Forderung G07 zu erfüllen, soll eine Leitungs- und Kabelmanagementsystem an den Armen und Komponenten integriert werden. Dies wird durch Kabelclips umgesetzt, welche mittels 3D-Druck gefertigt werden. Die Funktionalität und ein grobes Grobdesign sind in Abbildung 9 dargestellt.

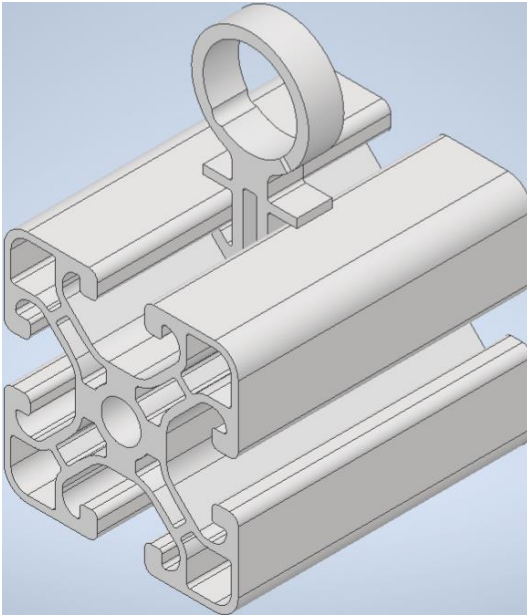


Abbildung 9 Kabelclips

5.3.9 Hauptventilöffner

Der Hauptventilöffner ist ein Bauteil, welches eine Drehbewegung ermöglichen soll. Dies wird durch eine Mechanik umgesetzt, welche die Bewegung eines Aktuators überträgt oder wandelt. Der Aktuator wird dabei entweder auf einen bestehenden Arm montiert oder aber durch einen zusätzlichen stationären Arm positioniert. Die konkrete Umsetzung ist bisher nicht planbar, da die Raketeninterne Lage des Hauptventil noch nicht final festgelegt wurde. Im Späteren Verlauf und mit Fertigstellung der ersten Raketenhülle, muss auch hier (H02) die Funktionsfähigkeit bestätigt werden.

5.3.10 Umsetzungen weiterer Anforderungen

Eine weitere wichtige Forderung besteht darin, dass System in Versagensfall der Steuerungselemente vor Zerstörung zu schützen. Dafür wurden die Aktuatoren beziehungsweise die durch diese angetriebenen Arme als größtes Risiko erkannt. Demnach, wird nach G10 eine Sicherung gegen wiederausfahrt in den Aktuator Weg integriert, welche als mechanische Sperre arbeiten wird. Ein mögliches Beispiel dieser Umsetzung stellt eine einfache Hackensicherung dar, welche beim Erreichen der Aktuator Endlage durch die Schwerkraft einrastet.

Allgemeinere Anforderungen, wie G13, G14 und G15 ergeben sich aus dem Konstruktionsprozess und werden im Zuge dessen ständig evaluiert.

G16 und G17 werden angestrebt und während des Prozesses evaluiert.

Lösungsvorschläge

Die Forderung einer Transportsicherung (G18) soll anhand der Modularen Bauweise (G14) und einen mittels 3D-Druck gefertigten Organisationssystem umgesetzt werden.

In Hinblick auf die Kosten werden G20 und G21 berücksichtigt.

Nach erfolgreichem Entwickeln wird ein Prototyp gefertigt, der gemäß G22 mittels Prüfstandes auf Funktionalität geprüft wird. Dabei wird auch G01 verifiziert.

Versionsnummer.: 1

Kenntnisnahme Auftraggeber:

Datum:_____ **Unterschrift**_____

Kenntnisnahme Auftragnehmer:

Datum:_____ **Unterschrift**_____

Anlagen



[Arbeitsplan_Vorlage.v1](#)

Metal Work ISO 15552 serie 3.pdf (Befehlszeile)