

Sachbericht – Teil 1: Kurzbericht

zum Projekt
50WS2310

gefördert durch die DLR-Raumfahrtagentur

mit dem Titel

**„Workshop zur Untersuchung bemannter
Raumfahrzeugkonzepte für zukünftige Post-ISS Szenarien“**

im Zeitraum

01.04.2023 - 30.09.2023

Tharshan Maheswaran, M.Sc.

Prof. Dr.-Ing. Gisela Detrell

Prof. Dr. rer. nat. Reinhold Ewald

IRS-24-eIB-005

March 2024

Universität Stuttgart Institut für Raumfahrtssysteme	Sachbericht – Teil 1: Kurzbericht FKZ 50WS2310 – Workshop zur Untersuchung bemannter Raumfahrzeugkonzepte für zukünftige Post-ISS Szenarien	März 2024 Seite 2 / 3
---	---	--------------------------

1. Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand, an dem angeknüpft wurde

Die Internationale Raumstation (ISS) ist derzeit eine einzigartige und wichtige Plattform für die europäische und deutsche Forschung, aber wird jedoch nach vielen Jahren des Betriebs in den kommenden Tagen das Ende ihrer Nutzungsdauer erreichen. Jetzt ist es an der Zeit, einen Blick auf die Zeit nach der ISS zu werfen und die Möglichkeiten im niedrigen Erdbit und darüber hinaus zu untersuchen. Das beantragte Vorhaben soll eine Untersuchung von Konzepten zu bemannten Raumfahrtssystemen liefern, um beim Entscheidungsprozess über zukünftige Szenarien beizutragen. Alleinstellungsmerkmal der Untersuchung wird der Space Station Design Workshop 2023 (SSDW23) sein. Im Rahmen des SSDW23 sollen an der Universität Stuttgart innovative Konzeptansätze für die Zukunft der bemannten Raumfahrt erarbeitet werden, die die deutsche Schwerpunktsetzung und internationale Rahmenbedingungen widerspiegeln. Damit sollen unabhängige, frische Denkansätze aus der jungen Generation und dem Forschungsumfeld der Universitäten generiert und für die zukünftige Planung dem DLR zur Verfügung gestellt werden.

Die ursprüngliche Aufgabenstellung umfasst folgende Zielsetzung eine bemannten Plattform in der Erdumlaufbahn als eine dauerhafte Basis als Nachfolger der ISS zu ermöglichen und ein Testgelände für wissenschaftliche sowie kommerzielle Anwendungen zu schaffen. Die Infrastruktur des Konzepts soll groß angelegte, hauptsächlich vollautomatisierte Fertigungs- und Montagekapazitäten ermöglichen, die von einer permanenten Besatzung von mindestens 10 Astronauten überwacht werden, um Weltraum-Megastrukturen zu schaffen. Die beabsichtigten Weltraumoperationen der bemannten Plattform sollen die effiziente und nachhaltige Nutzung terrestrischer Ressourcen sowie potenzieller Weltraumressourcen ermöglichen, um essentielle Kreisläufe teilweise zur Erdunabhängigkeit zu schließen und die Produktion modularer, groß angelegter, im Weltraum befindlicher Strukturen zu ermöglichen. Das Konzept soll Möglichkeiten zur Förderung der Internationale Zusammenarbeit bieten sowie die Beteiligung aufstrebender Raumfahrtagenturen und insbesondere öffentlich-privater Partnerschaften ermöglichen.

2. Ablauf des Vorhabens

Das Institut für Raumfahrtssysteme stellte zwei Forscher zur Verfügung, die im Januar mit der Planung des SSDW 2023 begonnen haben. Die Vorbereitungen, begonnen im April bis zum Ende des Workshops im Juli, erforderten intensive Unterstützung durch studentische Hilfskräfte. Nach dem Workshop folgte eine Nachbereitungsphase, in der die Durchführung und Ergebnisse ausgewertet wurden. Der Arbeitsplan wurde in die folgenden vier Phasen unterteilt:

- **Phase 0: Planung (4 Monate)**
 - Einholen von Sponsoren und Experten
 - Werbung und Bewerbung
- **Phase 1: Vorbereitung (4 Monate)**
 - Festlegung der Zielstellung der Systemuntersuchung
 - Spezifikation und Vorbereitung der Softwarewerkzeuge
 - Auswahl der Teilnehmer und Organisation von Unterkünften
 - Bereitstellung und Testung der IT-Infrastruktur
- **Phase 2: Workshop (9 Tage)**
 - Anleitung und Betreuung der Teilnehmer
 - Kontrolle des Zeitplans und Bereitstellung des Rahmenprogramms
 - Präsentation der Ergebnisse und Bewertung durch eine Jury

Universität Stuttgart Institut für Raumfahrtssysteme	Sachbericht – Teil 1: Kurzbericht FKZ 50WS2310 – Workshop zur Untersuchung bemannter Raumfahrzeugkonzepte für zukünftige Post-ISS Szenarien	März 2024 Seite 3 / 3
---	---	--------------------------

- **Phase 3: Projektabschluss (2 Monate)**
 - Bewertung der Ergebnisse und Gesamtentwicklung des Workshops
 - Ziel: Ausbau der Expertise des Instituts in Systemuntersuchungen und Verbesserung der Qualität zukünftiger Workshops.

3. Wesentliche Ergebnisse

Im Rahmen des Vorhabens haben die beiden Teams zwei individuelle Konzepte ausgelegt, die unterschiedliche Zielsetzungen verfolgen.

Team Red präsentiert ihr Design AstroGate als innovativen Nachfolger der ISS. Das vorgeschlagene Konzept soll eine Testplattform für wissenschaftliche sowie kommerzielle Anwendungen bieten. Daher sollte das Konzept die Infrastruktur für groß angelegte, hauptsächlich vollautomatisierte Fertigungs- und Montagefähigkeiten bereitstellen, die die Überwachung von Weltraum-Megastrukturen durch eine dauerhafte Besatzung von mindestens 10 Astronauten ermöglichen. Weitere sekundäre Missionsziele umfassen einen höheren Grad an Unabhängigkeit von terrestrischen Ressourcen durch zusätzliche Fähigkeiten zur Herstellung und Montage von groß angelegten Strukturen sowie eine künstliche Schwerkraftanlage, die als Wohn- und Wissenschaftsmodul dient. AstroGate ist das komfortable Weltraumtor mit kommerziellen Produktionsfähigkeiten für einzigartige Produkte mit hoher Nachfrage auf der Erde und einer groß angelegten Fertigungseinrichtung, um eine neue Ära der Weltraumforschung mit Mega-Komponenten zu ermöglichen.

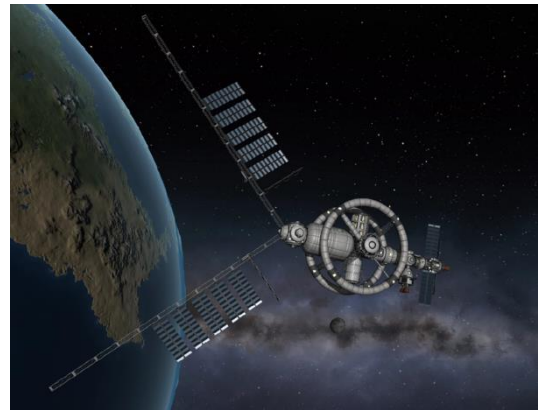


Abbildung 1: AstroGate Station.

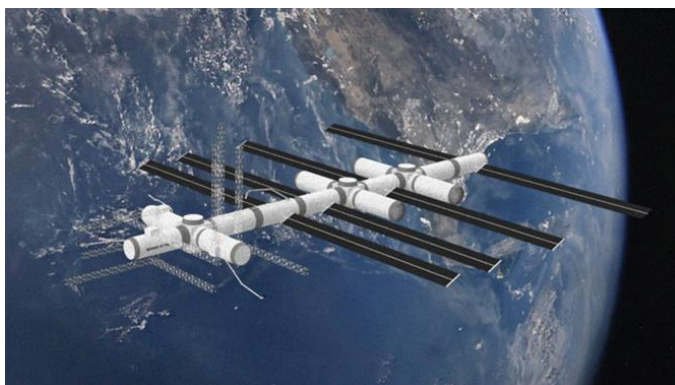
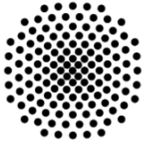


Abbildung 2: Cultura Station.

Team Blue präsentiert das Design CULTURA als innovativen Nachfolger der Internationalen Raumstation (ISS). Die Mission zielt darauf ab, Megastrukturen im Erdorbit zu produzieren, wobei ein spezieller Konstruktionsbereich für vielfältige metallische Strukturen zur Verfügung, um darauf aufbauend Großkonstruktionen im Weltraum montieren zu können. Als Geschäftsfall wurde ein weltraumbasiertes Solarkraftwerk analysiert, wobei CULTURA als Lösung für die steigende Nachfrage nach elektrischer und nachhaltiger Energie betrachtet wird. Das Projekt gliedert sich in

vier Phasen, beginnend mit dem Aufbau der Raumstation, bestehend aus dem Kernmodul, dem Wohnmodul, der Luftschleuse, dem ISMA-Modul, den Solarmodulen und den Radiatoren. In den folgenden Phasen werden multidisziplinäre Module hinzugefügt, und schließlich wird ein Gewächshaus installiert.



Sachbericht – Teil 2: Detailbericht

zum Projekt
50WS2310

gefördert durch die DLR-Raumfahrtagentur

mit dem Titel

**„Workshop zur Untersuchung bemannter
Raumfahrzeugkonzepte für zukünftige Post-ISS Szenarien“**

im Zeitraum

01.04.2023 - 30.09.2023

Tharshan Maheswaran, M.Sc.

Prof. Dr.-Ing. Gisela Detrell

Prof. Dr. rer. nat. Reinhold Ewald

IRS-24-eIB-005

March 2024

Universität Stuttgart Institut für Raumfahrtsysteme	Sachbericht – Teil 2: Detailbericht FKZ 50WS2310 – Workshop zur Untersuchung bemannter Raumfahrzeugkonzepte für zukünftige Post-ISS Szenarien	März 2024 Seite 2 / 19
--	---	---------------------------

Kurzfassung

Die Internationale Raumstation (ISS) ist derzeit eine einzigartige und wichtige Plattform für die europäische und deutsche Forschung, aber wird jedoch nach vielen Jahren des Betriebs in den kommenden Tagen das Ende ihrer Nutzungsdauer erreichen. Jetzt ist es an der Zeit, einen Blick auf die Zeit nach der ISS zu werfen und die Möglichkeiten im niedrigen Erdorbit und darüber hinaus zu untersuchen. Das vorliegende Vorhaben soll eine Untersuchung von Konzepten zu bemannten Raumfahrtsystemen liefern, um beim Entscheidungsprozess über zukünftige Szenarien beizutragen. Alleinstellungsmerkmal der Untersuchung wird der Space Station Design Workshop 2023 (SSDW23) sein. Im Rahmen des SSDW23 sollen an der Universität Stuttgart innovative Konzeptansätze für die Zukunft der bemannten Raumfahrt erarbeitet werden, die die deutsche Schwerpunktsetzung und internationale Rahmenbedingungen widerspiegeln. Damit sollen unabhängige, frische Denkansätze aus der jungen Generation und dem Forschungsumfeld der Universitäten generiert und für die zukünftige Planung dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) zur Verfügung gestellt werden.

Der Space Station Design Workshop (SSDW), initiiert vom Institut für Raumfahrtsysteme (IRS) der Universität Stuttgart, ist ein internationaler und interdisziplinärer Workshop, der sich an Studierende und Absolventen sowie an junge Berufsanfänger*innen richtet. Der Workshop wurde 1996 ins Leben gerufen und findet seitdem, abgesehen von kleineren Unterbrechungen, jedes Jahr statt. Etwa 40 Teilnehmer werden in zwei Teams eingeteilt, die innerhalb von sechs Tagen ein erstes Konzept für eine Raumstation entwerfen sollen. Ziel des Workshops ist es, kreative Lösungsansätze von jungen und frischen Köpfen zu erhalten, aber auch den Teilnehmern die Möglichkeit zu geben, praxisnah und mit professioneller Softwareausstattung zu erlernen, wie ein interdisziplinäres und internationales Projektumfeld funktioniert. Das IRS stellt für die gesamte Woche eine intensive Beratung und eine Vielzahl an Hilfsmitteln zur Verfügung: interne/externe Experten für die inkludierten Fachgebiete, eine software-basierte simultane Designinfrastruktur sowie andere proprietäre Software, die zusätzlich für den Workshop freigeschaltet wird. Um die Konzeptionierung in kurzer Zeit zu ermöglichen, wird der gesamte Prozess von den Mitarbeitern des IRS durch unterstützende Beratung begleitet. Diese Anleitung sollte jedoch die Kreativität und das "unkonventionelle Denken" der Teilnehmer nicht beeinträchtigen. Die Erfahrungen aus früheren Ausgaben des Workshops und die daraus abgeleiteten „Lessons Learned“ tragen dazu bei, diesen Beratungsprozess Jahr für Jahr zu verbessern.

Inhaltsverzeichnis

1.	Motivation	4
2.	Planung und Ablauf des Vorhabens	5
3.	Erzielte Ergebnisse.....	8
4.	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	17
5.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	17
6.	Voraussichtlicher Nutzen.....	18
7.	Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderer Stelle.....	18
8.	Veröffentlichung der Ergebnisse	19

Abkürzungen

AOCS	Attitude and Orbit Control System
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
EBAM	Electron Beam Additive Manufacturing
ESA	European Space Agency
EVA	Extravehicular Activity
IBDM	Internal Berthing and Docking Mechanism
IRS	Institut für Raumfahrtssysteme
ISMA	In-Space Manufacturing & Assembly
ISM	In-Space Manufacturing
ISPR	International Standard Payload Rack
ISS	International Space Station
LEO	Low-Earth Orbit
LSMF	Large-Scale Manufacturing Facility
MSS	Mobile Servicing System
SSDW	Space Station Design Workshop
SSDW23	Space Station Design Workshop 2023
TRL	Technology Readiness Level

Universität Stuttgart Institut für Raumfahrtssysteme	Sachbericht – Teil 2: Detailbericht FKZ 50WS2310 – Workshop zur Untersuchung bemannter Raumfahrzeugkonzepte für zukünftige Post-ISS Szenarien	März 2024 Seite 4 / 19
---	---	---------------------------

1. Motivation

Der Raumfahrtsektor befindet sich heute in einer spannenden Entwicklung. Die Internationale Raumstation (ISS) ist fertiggestellt und hat ihr volles Potenzial erreicht. Seit dem Baubeginn der ISS im Jahr 1998 hat sich die Raumfahrtlandschaft dramatisch verändert. Die weitgehend positiven Entwicklungen in den Raumfahrtprogrammen mehrerer Länder (z. B. China oder die Vereinigten Arabischen Emirate) zeigen, dass weltweit ein großes Interesse an der bemannten Raumfahrt besteht. Darüber hinaus hat der private Sektor für die bemannte Raumfahrt an Bedeutung gewonnen und wird dies in den kommenden Jahren sicherlich noch mehr beitragen, da kommerzielle Dienstleistungen ein Schlüsselement für Raumfahrtmissionen sein werden.

Die größere Anzahl von Akteuren und die vielfältigen Aktivitäten im Weltraum eröffnen eine Vielzahl von Möglichkeiten und unterschiedlichen Missionen. Jede dieser Missionen ist je nach Komplexität der einzelnen wissenschaftlichen Fragestellung und der technischen Umsetzung mit einem erheblichen Aufwand verbunden, der in der Regel kaum von einer Nation allein bewältigt werden kann. Deshalb ist eine internationale Zusammenarbeit notwendig. Die Beiträge der Kooperationspartner richten sich nach deren Kompetenzen, Interessen und finanziellen Möglichkeiten. Das bedeutet, dass europäische oder deutsche Beiträge mit der deutschen Raumfahrtstrategie und mit den Kompetenzen der Deutschen Forschungsgemeinschaft sowie der Raumfahrtindustrie kompatibel sein müssen.

Bevor eine Entscheidung über einen definierten Beitrag getroffen wird, sollten die Experten aus Wissenschaft, Agenturen und Industrie zusammenkommen, um Ideen zu finden und zu analysieren, Missionskonzepte zu entwerfen und deren Machbarkeit zu bewerten. Eine Systemuntersuchung kann einen ersten Überblick über viele Konzepte und Ideen geben, sie miteinander vergleichen und die am besten geeignete Lösung finden. Damit bestimmen diese Untersuchungen auch maßgeblich die später entstehenden Kosten. Am Institut für Raumfahrtssysteme (IRS) der Universität Stuttgart wurden und werden hochqualitative Systemuntersuchungen durchgeführt. Die Integration von Studierenden und jungen Absolventen in die Systemuntersuchungen durch den Space Station Design Workshop (SSDW) hat sich in der Vergangenheit als sehr wertvoll erwiesen. Durch die internationale Ausrichtung der Teilnehmer wird außerdem garantiert, dass vielfältige Denkweisen und Ansichten berücksichtigt werden, wie es in der heutigen Raumfahrtindustrie unerlässlich ist.

Der SSDW unterstützt die beschriebene Vorgehensweise in drei Punkten.

1. Er dient der Ideenfindung. Beispielsweise besteht bei Konzeptentwürfen seitens der Industrie die Gefahr, dass der Umfang an berücksichtigten Ideen durch zu konservatives Denken oder durch Firmeninteressen von vornherein eingeschränkt wird. Vorschläge von Studierenden und jungen Absolventen zeichnen sich jedoch meist durch einen hohen Grad an Innovation aus.
2. Er kann sowohl neuartige als auch konservative Konzeptentwürfe liefern, die zur Evaluation bereits vorhandener Entwürfe dienen können.
3. Er dient der Ausbildung einer neuen Generation oben genannter Experten. Ein Schwerpunkt der Ausbildung liegt im Systems Engineering, also dem interdisziplinären

Ansatz, komplexe technische Systeme in großen Projekten zu entwickeln und zu realisieren.

Die Motivation für eine Untersuchung von Post-ISS Szenarien ergibt sich somit nicht nur aus der Suche nach einem Nachfolger, sondern auch aus den zahlreichen, neuen Möglichkeiten und Akteuren in der Raumfahrtindustrie. Diese Untersuchung soll die aktuelle Situation in der bemannten Raumfahrt analysieren und unter Berücksichtigung der geplanten Vorhaben bzw. Raumfahrtprogramme sowie nationaler Interessen eine qualitative Empfehlung für das zukünftige Vorgehen bieten.

2. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben gliederte sich in vier Phasen in denen die im Folgenden definierten Arbeitspakete (AP) bearbeitet wurden. Die erste und größte Phase diente der Planung und Vorbereitung des SSDWs, welcher die zweite Phase darstellte. In der dritten Phase wurde das Vorhaben abgeschlossen, d.h. der Workshop wurde evaluiert, die Ergebnisse veröffentlicht und der Abschlussbericht verfasst.

	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.
Phase 0 Planung									
AP 0.1 Sponsoren & Experten									
AP 0.2 Werbung und Bewerbung Zeit									
Phase 1: Vorbereitung									
AP 1.1 Planung									
AP 1.2 Software & Dokumente									
AP 1.3 Teilnehmer Auswahl									
AP 1.4 IT									
Phase 2: Workshop									
AP 2 Workshopdurchführung									
Phase 3: Abschluss									
AP 3.1. Lessons Learned									
AP 3.2. Projektabschluss									

Abbildung 1: SSDW 2023 Projektzeitplan.

Phase 0: Planung (4 Monate)

AP 0.1 Sponsoren & Experten

Parallel zur Planung wurden potentielle Sponsoren geworben und Experten eingeladen. Aufgrund der genehmigten Vorhabensförderung war eine Durchführung des Workshops ohne weitere Sponsorenbeiträge möglich. Lediglich die feierliche Abschlussveranstaltung wurde losgelöst von der hier beantragten Förderung durch Sponsoren finanziert. Experten aus Agenturen, Industrie und Forschung haben den SSDW kurzzeitig beispielsweise als Gastdozent bereichern können und standen während der gesamten Woche als Berater zu Verfügung. Die

Universität Stuttgart Institut für Raumfahrtssysteme	Sachbericht – Teil 2: Detailbericht FKZ 50WS2310 – Workshop zur Untersuchung bemannter Raumfahrzeugkonzepte für zukünftige Post-ISS Szenarien	März 2024 Seite 6 / 19
---	---	---------------------------

Experten bildeten zudem die Jury, die die Abschlussberichte der beiden Teams gelesen und das Siegerteam ernannt haben.

AP 0.2 Werbung und Bewerbungszeitraum

Es wurden (digitale) Flyer entworfen und insbesondere die SSDW-Homepage aktualisiert mit dem Ziel ist, den Workshop an möglichst vielen Instituten weltweit zu bewerben. Der Bewerbungszeitraum wurde beginnend im März bis Anfang Mai verlängert, um insbesondere eine größere Überschneidung mit der Vorlesungszeit an der Universität Stuttgart zu erzielen.

Phase 1: Vorbereitung (4 Monate)

AP 1.1 Planung

Die erste Phase begann mit der Festlegung der Zielstellung der Systemuntersuchung, d.h. mit der Festlegung, ob Konzeptentwürfe beispielsweise für eine Raumstation für Mikrogravitationsforschung im erdnahen Raum oder bemannte Explorationsmissionen mit Fokus auf In-Space Manufacturing & Assembly (ISMA) erarbeitet werden. Basierend auf den Ergebnissen des Mission Definition Meetings wurde in Absprache mit dem DLR -Raumfahrtmanagement die Zielsetzung der Untersuchung festgelegt. Daraufhin wurden das Mission Statement und die Aufgabenstellung für den SSDW ausformuliert sowie die Ausschreibung vorbereitet.

AP 1.2 Software & Dokumente

Basierend auf den Vorgaben durch die Zielstellung der Systemuntersuchung wurden die Aufgabenbereiche der Teilnehmer festgelegt und die dazugehörigen Softwarewerkzeuge spezifiziert. Die Softwarewerkzeuge wurden aktualisiert und insbesondere für deren Einsatz während des SSDW vorbereitet. Zudem wurden einzelne Softwarewerkzeuge modifiziert, um einem ungeübten Teilnehmer die Anwendung während des SSDWs zu erleichtern. In jedem Fall wurden Handbücher und Anleitungen für jedes Softwarewerkzeug und für jeden Aufgabenbereich erstellt. Insbesondere war die Aufbereitung der neuen Modellierungsumgebung in SYNERA zeitintensiv.

AP 1.3 Teilnehmer Auswahl

Das AP umfasste zudem das Bearbeiten der eingereichten Bewerbungen, das Zusammenstellen der zwei Teams und die Kommunikation mit den Bewerbern und Teilnehmern des SSDW. Unter den 158 Bewerbungen waren 34 Nationen aller Kontinente und eine große Bandbreite verschiedener Disziplinen vertreten. Im Mai 2023 wurden die Teilnehmer sowie die Teamaufstellungen festgelegt und daraufhin offiziell eingeladen. Darüber hinaus wurden Unterkünfte organisiert und bei der Reiseplanung assistiert.

AP 1.4 IT

Unterstützende IT wie Server, Netzwerke, Drucker und Beamer wurden vom IRS gestellt, und wurden entsprechend eingerichtet. Eine Woche vor dem eigentlichen Workshop wurde eine Generalprobe, in der die komplette Infrastruktur in einem realistischen Szenario getestet wurde, durchgeführt, sodass finale Anpassungen durchgeführt werden konnten. Neben den Räumen, in

Universität Stuttgart Institut für Raumfahrtssysteme	Sachbericht – Teil 2: Detailbericht FKZ 50WS2310 – Workshop zur Untersuchung bemannter Raumfahrzeugkonzepte für zukünftige Post-ISS Szenarien	März 2024 Seite 7 / 19
---	---	---------------------------

denen sich die zwei Teams aufgehalten haben, wurde ein weiterer Raum für Mitarbeiter und Berater eingerichtet.

Phase 2: Workshop (9 Tage)

Die zweite Phase umfasste den Workshop sowie die Tage davor und danach, die zum Auf- bzw. Abbau (wobei wieder verstärkt auf studentische Hilfskräfte zurückgegriffen wurde) der gesamten Infrastruktur dienen. Das AP dieser Phase beinhaltete neben der Anleitung und Betreuung der Teilnehmer auch die Kontrolle und Durchsetzung des Zeitplans, sowie das Bereitstellen des Rahmenprogramms und der Verpflegung. Die Teilnehmer wurden empfangen und miteinander bzw. mit der Arbeitsumgebung vertraut gemacht. Es wurden Vorträge zu Motivation, Zielstellung und Vorgehensweise gehalten. Die Arbeit der Teams wurde verfolgt und protokolliert. Zu festgelegten Zeitpunkten wurden Fortschrittsbesprechungen (z.B. preliminary requirement review, preliminary design review) mit den Teams durchgeführt. Am vorletzten Arbeitstag haben die Teams ihre schriftliche Dokumentation abgegeben und am letzten Arbeitstag abschließend die Ergebnisse öffentlich präsentiert, mit dem Ziel, den „Kunden“ von ihren Konzepten zu überzeugen. Die Ergebnisse der beiden Teams wurden nach festen Kriterien von der Jury an dem Tag bewertet. Zuletzt wurde die Evaluierung des SSDWs durchgeführt. Der Workshop endete am letzten Tag mit einer feierlichen Abschlussveranstaltung.

Phase 3: Projektabschluss (2 Monate)

In der dritten und letzten Phase wurde das Projekt abgeschlossen. Die Ergebnisse der Evaluation wurden analysiert und dokumentiert, mit dem Ziel, insbesondere die Lehre zum Raumstationsentwurf und Systems Engineering am IRS zu optimieren und die Qualität zukünftiger SSDWs weiter zu steigern. Zuletzt wurden alle für den Projektabschluss erforderlichen Unterlagen erstellt.

3. Erzielte Ergebnisse

Das Gesamtziel des Vorhabens ist das Sammeln von Ideen aus dem universitären Raum und die Generierung von Missions- bzw. Systemkonzepten. Diese wurde im Rahmen des SSDW23 in Form von zwei unterschiedlichen Konzepten entwickelt.

3.1. Konzept 1 – AstroGate

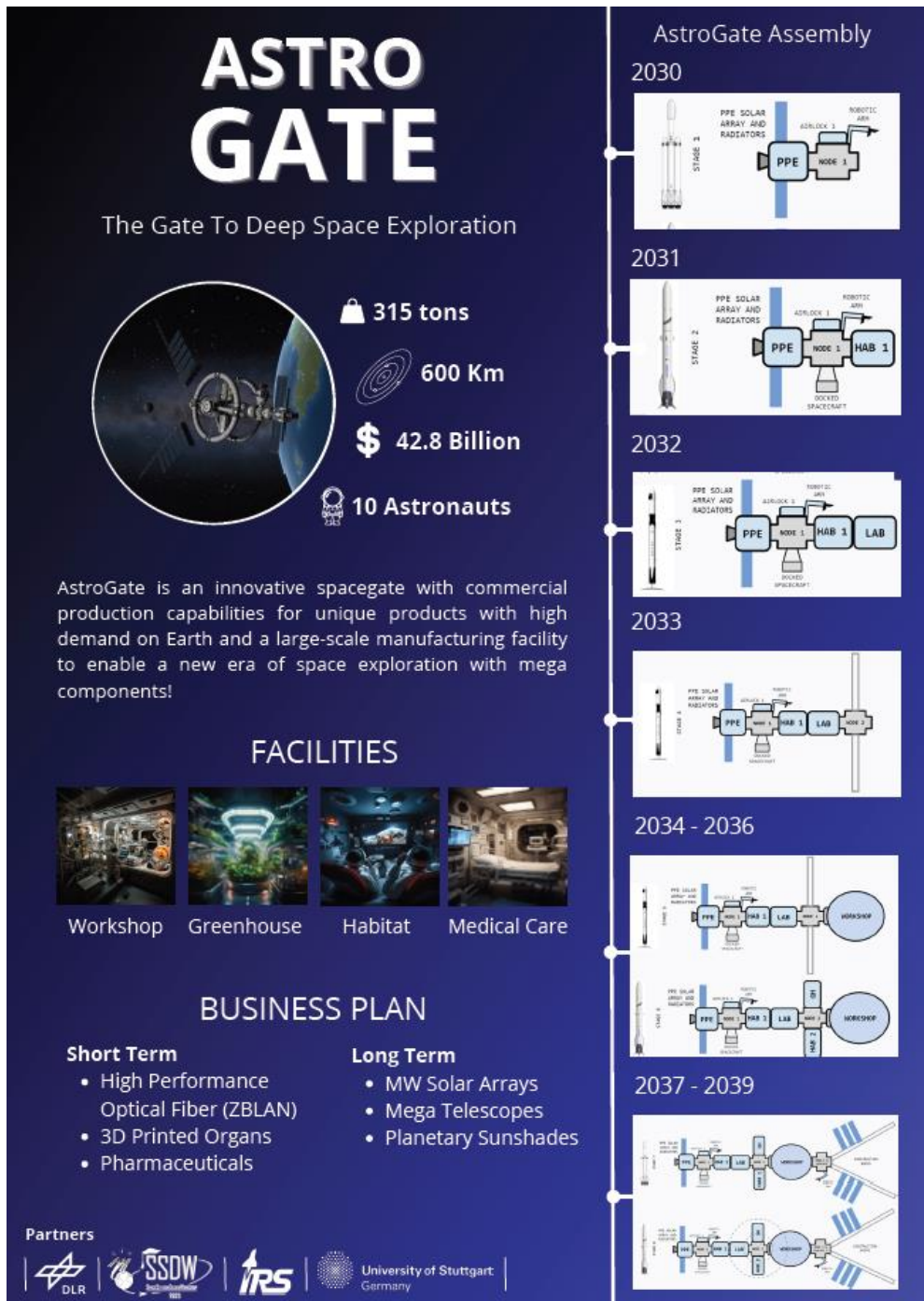


Abbildung 2: Konzeptübersicht AstroGate.

GESCHÄFTSMODELL

In absehbarer Zukunft plant AstroGate, innovative Produkte für die Erde zu produzieren, um Kosten zu decken. Die Einrichtung bietet eine Hochdruckwerkstatt mit diversen Fertigungsmöglichkeiten für kommerzielle Unternehmen. Diese können die besondere Schwerelosigkeitsumgebung nutzen, um Produkte herzustellen, die ausschließlich im Weltraum produziert werden können. Der benötigte Rohstoff wird von der Erde aus gestartet, verarbeitet und dann zur Erde zurückgebracht, um vermarktet zu werden. Potenzielle Produkte umfassen Hochleistungslichtwellenleiter, 3D-gedruckte Organe und Pharmazeutika.

Langfristig wird die Produktion fortgesetzt, um die nächste Ära der Weltraumforschung zu ermöglichen. Durch die Bereitstellung von beispiellosen Mega-Komponenten werden lang ersehnte Visionen der Menschheit Realität. Diese Mega-Komponenten werden in Bezug auf ihre Dimension beträchtlich sein, jedoch nicht in Bezug auf ihre Masse. AstroGate ist in der Anfangsphase nicht auf Weltraumressourcen angewiesen, kann aber später integriert werden. Potenzielle Kunden umfassen große Raumfahrtagenturen sowie kommerzielle Unternehmen. Mögliche Anwendungsfälle umfassen MW-Solaranlagen, Mega-Teleskope und planetare Sonnenschirme. Neben der Entwicklung von Technologien und Produkten für die Weltraumfertigung soll AstroGate auch wissenschaftliche Experimente für Bildungseinrichtungen ermöglichen.

PROJEKTPLAN

Die Raumstation wird über einen Zeitraum von einem Jahrzehnt hinweg in aufeinanderfolgenden Phasen (siehe Abbildung) zusammengebaut, beginnend im Jahr 2031.

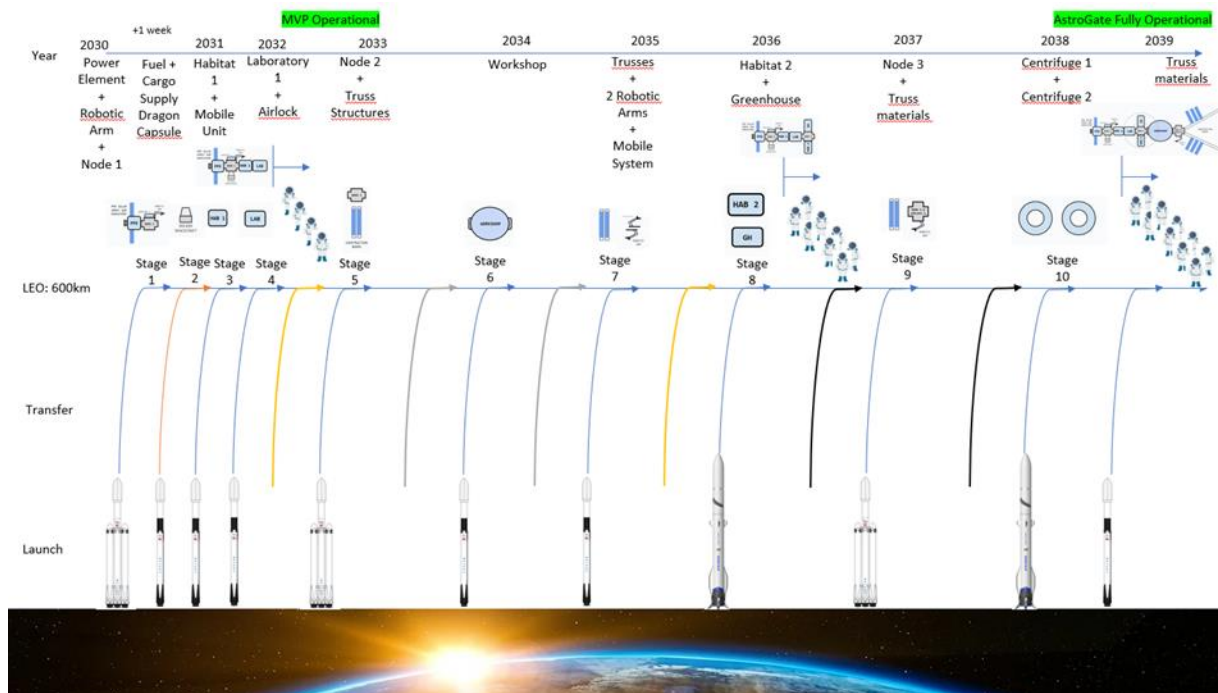


Abbildung 3: AstroGate Bat Chart.

Universität Stuttgart Institut für Raumfahrtssysteme	Sachbericht – Teil 2: Detailbericht FKZ 50WS2310 – Workshop zur Untersuchung bemannter Raumfahrzeugkonzepte für zukünftige Post-ISS Szenarien	März 2024 Seite 10 / 19
---	---	----------------------------

Die ersten Phasen umfassen das Energieelement (PPE), die Kommunikationsantenne, Modul 1 mit der primären EVA-Schleuse und den ersten Roboterarm. In den nachfolgenden Phasen sind Habitat 1, Labor 1, Modul 2 mit Konstruktionsauslegern und das Werkstattmodul für die Herstellung einzigartiger Produkte vorgesehen. Weitere Ergänzungen beinhalten Hab 2 und das Gewächshaus, was den Wohnraum für insgesamt 10 Personen erweitert. Modul 3 führt Luftschleusen, erweiterte Konstruktionsausleger und zwei Zentrifugen für künstliche Schwerkraft ein. Nach Abschluss der Basismodule können weitere Module hinzugefügt und Verbesserungen vorgenommen werden. Detaillierte Startzeitpläne, Modulspezifikationen und andere relevante Informationen werden in den entsprechenden Abschnitten bereitgestellt.

MISSIONSANALYSE

Die Raumstation wird mehrere Betriebsmodi implementieren, um einen sicheren Betrieb während spezifischer Szenarien zu gewährleisten: Normalbetrieb, Docking-Betrieb, Montage-Betrieb, Wartungsmodus, Forschungsmodus, ISMA-Modus, Notfallmodus, Bereitschaftsmodus, Trainingsmodus. Die Höhe von 600 km für die Umlaufbahn von AstroGate wurde ausgewählt, um das erhöhte Risiko von Kollisionen mit Weltraummüll zu vermeiden, das gemäß den aktuellen Daten der European Space Agency (ESA) oberhalb von 600 km konzentrierter ist. Eine kreisförmige Umlaufbahn ist aufgrund der Komplexität häufiger Rendezvous-/Dockingszenarien während der Mission von AstroGate (z. B. Stationsmontage, Frachtversorgung usw.) erforderlich. Darüber hinaus erhöht sie nicht die Komplexität des Missionsablaufs hinsichtlich der dynamischen Anforderungen (z. B. thermische Belastungen, Beleuchtungs-/Eklipsenzeit). Die Bahnneigung wurde mit 46° gewählt, um die häufigsten und zugänglichsten Startplätze, einschließlich Baikonur, aufzunehmen. Für ein End-of-Life-Szenario in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts muss die Umlaufbahn der Station auf eine Höhe verringert werden, die hoch genug ist, damit die Station in die Atmosphäre der Erde eintauchen kann. Das erforderliche Delta-v von 280 m/s erfordert die Entwicklung eines derzeit nicht verfügbaren Antriebssystems. Die Ausrichtung der Station wird durch die Verwendung von chemischen Triebwerken, Steuerungsmomentgyros und Reaktionsrädern kontrolliert. Zusätzlich zu fortgeschritteneren Lageregelungssystemen können auch fortgeschrittenere Triebwerke, die noch effizienter sind, eingesetzt werden.

IN-SPACE MANUFACTURING AND ASSEMBLY (ISMA)

Für die ISMA-Werkstatt wird das gesamte benötigte Ausgangsmaterial mit dedizierten Nachschubmissionen von der Erde aus gestartet. Da die Werkstatt nur wirklich hochwertige Produkte herstellen wird, machen die Start- und Rückführungskosten des Materials nur einen kleinen Bruchteil dessen aus, wofür das Endprodukt schließlich verkauft wird. Mit unserer anfänglichen ZBLAN-Produktion zum Beispiel, die einen Endpreis von 6 Millionen US-Dollar pro Kilogramm hat, würden selbst die aktuellen Start- und Deorbitierungskosten kein Problem für den angedachten Geschäftsfall darstellen. In der groß angelegten Fertigungseinrichtung wird AstroGate Mega-Komponenten produzieren, die aus empfindlichen Leichtbaustrukturen bestehen, die ausschließlich in und für die Schwerelosigkeitsumgebung entwickelt wurden. Während sich das Weltraumökosystem in Zukunft weiterentwickelt, könnten Anbieter entstehen, die Ausgangsmaterialien anbieten, die vom Mond oder von Asteroiden stammen. Eine vollständige Unabhängigkeit von der Erde ist jedoch unwahrscheinlich.

Universität Stuttgart Institut für Raumfahrtssysteme	Sachbericht – Teil 2: Detailbericht FKZ 50WS2310 – Workshop zur Untersuchung bemannter Raumfahrzeugkonzepte für zukünftige Post-ISS Szenarien	März 2024 Seite 11 / 19
---	---	----------------------------

Schlüsseltechnologien für groß angelegte Leichtbaustrukturen sind 3D-Druck und Wickeltechniken wie sie beim Trusselator demonstriert wurden. Für Langzeitmissionen wird AstroGate die Einrichtung erweitern, um den Bau großer Strukturen zu ermöglichen. Die Idee besteht darin, Komponenten herzustellen, die erheblich von einer vergrößerten Größe profitieren, wie MW-Solararrays, gigantische Teleskope und größere Antennen für die Tiefenweltraumforschung. Diese Mega-Komponenten werden an der Station zur Abholung durch Kunden bereitgestellt. Sobald integriert, setzt der Kunde seine Reise zu seinem Ziel fort.

Die ISMA-Einrichtungen sind in eine innere Werkstatt und eine äußere groß angelegte Fertigungseinrichtung (LSMF) unterteilt. Die innere Werkstatt wird den Großteil der Leistung mit 75 kW nutzen, im Vergleich zu den 25 kW, die für die groß angelegte Fertigungseinrichtung benötigt werden. Die LSMF besteht aus mehreren großen Maschinen, die über 5 Tonnen zum Massenbudget beitragen. Die innere Werkstatt wird mehrere Reihen spezialisierter Maschinen für kommerzielle Zwecke sowie Mehrzweckmaschinen für die bedarfsorientierte Fertigung beherbergen. Ein dedizierter Bereich wird zum Lagern von Ausgangsmaterial und fertigen Produkten zwischen den Nachschubmissionen verwendet. Zusätzlich stehen der inneren Werkstatt der angedockten Nachschubtransporter, die sich in der Nähe des Werkstattbereichs befinden, zur Verfügung. Der LSMF-Bereich am Rumpf ist für die Lagerung von Ausgangsmaterial reserviert. Diese Bereiche können von den Robotergriffen für eine erhöhte Automatisierung erreicht werden. Die innere Werkstatt verfügt über eine große Reinraumfläche für die roboterunterstützte Integration und Montage von ISM-Satelliten und bedarfsorientierten Ersatzteilen für Reparatur- und Wartungsarbeiten an der Station. Die erforderlichen Teile können entweder im Orbit hergestellt oder bei Bedarf von der Erde geliefert werden. Die montierten Teile können durch eine dedizierte Schleuse für ISM-Prozesse nach außen an der Station transportiert werden.

Die äußere LSMF besteht aus zwei langen Traversen an der Vorderseite der Station. Sie stehen senkrecht zueinander und überspannen einen rechteckigen Arbeitsbereich, in dem große zweidimensionale Strukturen hergestellt werden. Dafür werden größere additive Fertigungsmaschinen entlang einer Traverse die Struktur extrudieren, die von dieser gestützt wird. Größere Flächen können durch die Herstellung mehrerer Reihen und deren Verbindung miteinander abgedeckt werden. Große Strukturen, die in naher Zukunft benötigt werden, sind größtenteils flach ($\sim 2D$). Der Vorteil der Herstellung flacher Strukturen besteht darin, dass der Querschnitt der Station während der Fertigung nicht verändert wird, was wichtig ist hinsichtlich atmosphärischer Strömungswiderstände und Lageregelung in niedriger Erdumlaufbahn (LEO). Die LSMF kann jedoch an große Strukturen in drei Dimensionen angepasst werden, wenn sie ausreichend unterstützt werden. Die Traversen beherbergen auch Schienen für Roboterarme, die bis zu 20 Meter in den Arbeitsbereich reichen können. Da die großen Strukturen von den Traversen nach außen hin konstruiert werden, ist es für Fertigungszwecke nicht erforderlich, dass die Roboterarme bis in den gesamten Arbeitsbereich reichen können. Darüber hinaus kann das innere Arbeitsvolumen je nach Bedarf durch das Anbringen identischer Werkstattmodule an den Traversen, die sich vom zentralen Knoten erstrecken, erhöht werden. Dies ermöglicht es AstroGate, auf die Kundennachfrage zu reagieren und flexibel auf zukünftige Anforderungen zu reagieren. Die äußere Fertigung ist hauptsächlich automatisiert, kann aber durch

Außenbordeinsätze (EVA) durch eine Schleuse unterstützt werden, die sich in der Nähe des zentralen Knotens an der Schnittstelle der Ausleger befindet.

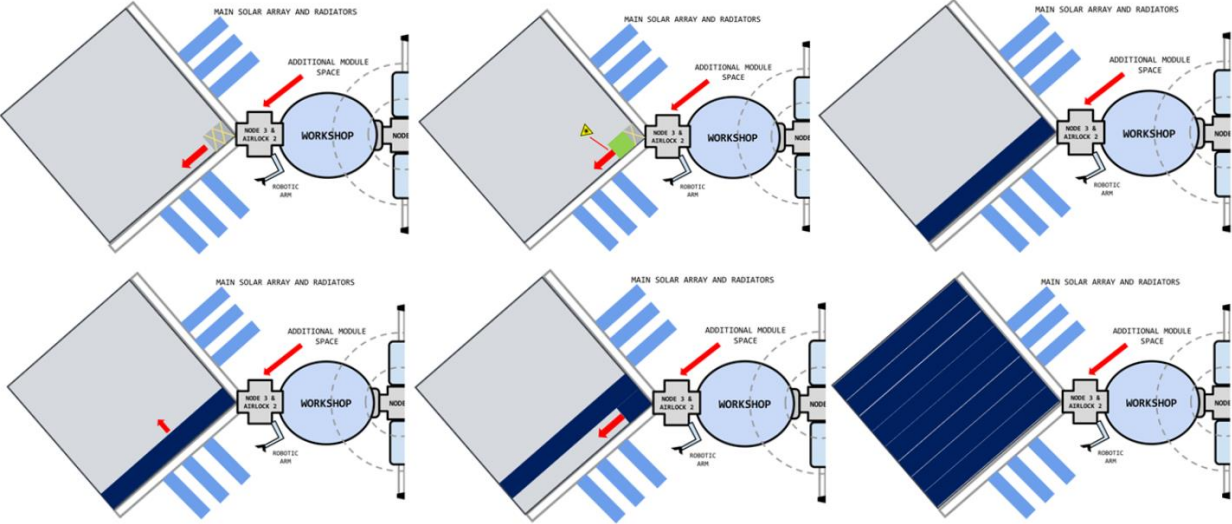


Abbildung 4: Beispielhafter Herstellungsprozess für große zweidimensionale Strukturen.

DESIGN & ARCHITEKTUR

Die Raumstation AstroGate durchläuft mehrere Startphasen, insbesondere für die bewohnbaren Module, die bestimmte Aspekte des Gesamtdesigns der Station verändern werden. Während das Design der Station modular und flexibel sein wird, besteht ihr Hauptmerkmal darin, dass sie an die verschiedenen Sinne der Astronauten angepasst wird (Lichter, Geräusche, Gerüche und andere menschliche Eigenschaften stehen im Mittelpunkt des Designs der Raumbereiche der Station). In Phase 1 wird der Raum HAB1 recht begrenzt und vorübergehend sein. Die Produktionskosten für das erste Modul werden minimal gehalten. Kabinen werden im ersten Modul und ähnlich wie bei der ISS sein.

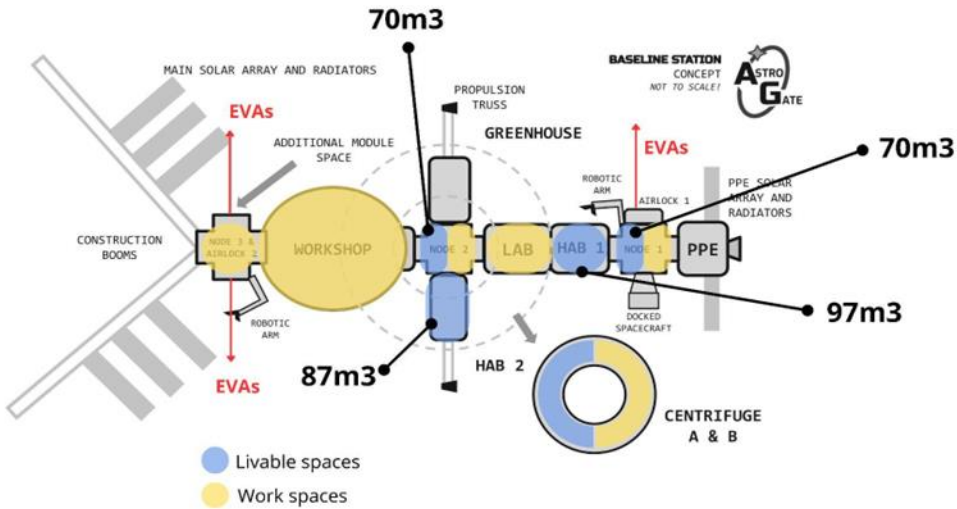


Abbildung 5: Überblick über die Aufteilung der Wohn- und Arbeitsbereiche.

In Phase 2, sobald der Rest der Station installiert und neue Wohnbereiche entworfen wurden, wird HAB1 zu einem Testlabor für menschliche Faktoren. Diese Umgebung ermöglicht es, neue Technologien zu testen, die für Missionen in den tiefen Weltraum nützlich sein könnten.

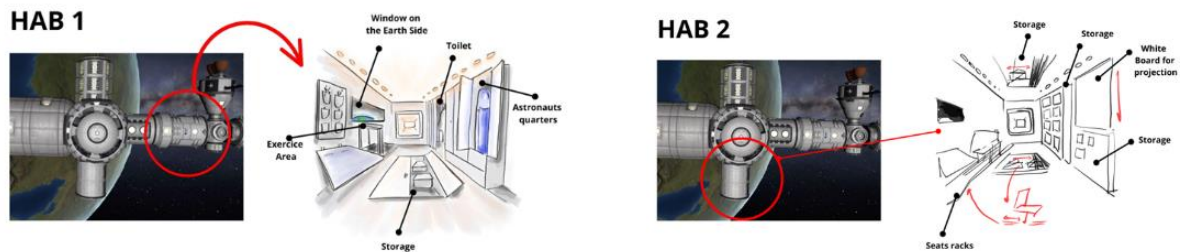


Abbildung 6: Raumaufteilung der Habitatstrukturen HAB1 und HAB2.

Experimente, die die Sinne betreffen, werden auch das Herzstück dieses Moduls sein. Es wird mit Geräten ausgestattet sein, die Architekten, Designer und andere Fachleute dazu befähigen, Hypothesen, Prototypen oder Projekte auf der Grundlage der Sinne des menschlichen Körpers und des Körpers im Allgemeinen zu testen (Testen verschiedener Grade von Helligkeit, Farben, Gerüchen). Ziel wird es sein, Hypothesen zu testen wie: Könnten irdische Gerüche, die in der Station verbreitet werden, den Stress der Astronauten verringern oder im Gegenteil Heimweh verstärken?

Die Werkstatt von HAB2 wird verschiedene 3D-Drucker enthalten und mehr Platz für die Astronauten bieten, um miteinander zu interagieren. In Phase 2, wenn die Zentrifugen installiert sind, wird HAB2 weiterhin als Gemeinschaftsbereich für die Passagiere der Station dienen.

Die Zentrifugen sollen private Bereiche für die Astronauten, eine Küche und Pflanzen aufweisen. Alles, was den Zentrifugen hinzugefügt wird, wird auf irgendeine Weise (Boden, Wand, Decke) befestigt, um jegliches Risiko im Falle eines Problems mit der Rotation der Zentrifugen und damit einer Rückkehr zur Schwerelosigkeit zu vermeiden.



Abbildung 7: Artistische Abbildungen von HAB1 und HAB2.

3.2. Konzept 2 – CULTURA

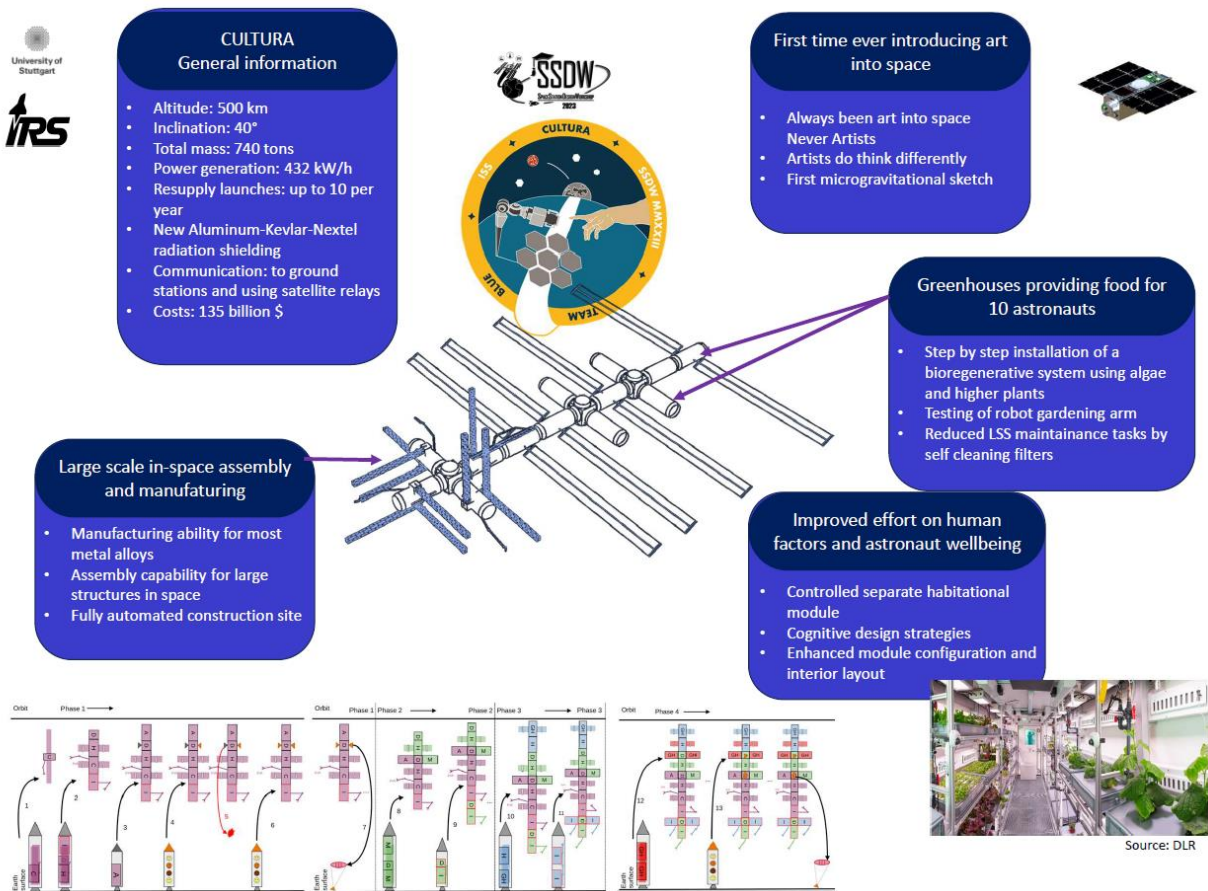


Abbildung 8: Konzeptübersicht CULTURA.

GESCHÄFTSMODELL

Die Mission von CULTURA besteht darin, in der Umlaufbahn der Erde Megastrukturen herzustellen, indem ein innovativer Baubereich für vielfältige metallische Strukturen geschaffen und groß angelegte Konstruktionen im Weltraum montiert werden. Ein zentrales Geschäftsfeld dieser Mission ist die Entwicklung einer Weltraum-Solarenergieanlage, die als Lösung für den wachsenden Bedarf an elektrischer Energie und nachhaltiger Energie dienen soll.

Der Geschäftsplan von CULTURA identifiziert potenzielle Kunden für diese futuristische Weltraumstation, darunter große Weltraumstrukturen wie Teleskope, Sternschirme, Lebensräume, Fahrzeuge, Solarmodule, Solarsegel und Hitzeschilde. Ebenso werden 3D-gedruckte Mikrogravitations- und Vakuumkomponenten für die Erde angeboten, darunter Präzisionsinstrumente, Luft- und Raumfahrtkomponenten, Verbrennungsmotoren, Reaktoren und Turbinen. Mikrogravitationswissenschaft und Experimente umfassen verschiedene Bereiche wie Pharmazeutika, Materialwissenschaften, Technologiedemonstrationen, Weltraumfertigung, Halbleiter, Forschung am Menschen, Erd- und Weltraumwissenschaften sowie Supercomputing. Zusätzlich werden Erdumlaufende Plattformen für Kundenmodule sowie Kunst- und Kulturprojekte wie Outreach und Bildungsprogramme sowie Künstlerresidenzen angeboten.

PROJEKTPLAN

Die Gesamtlebensdauer der Mission beträgt 50 Jahre, wobei der erste Start für das Jahr 2028 geplant ist. Das Projekt ist in vier Phasen unterteilt. In der ersten Phase besteht die Raumstation aus dem Kernmodul, dem Wohnmodul, der Luftschleuse, dem ISMA-Modul, den Solarmodulen und den Kühlsystemen. Phase zwei fügt multidisziplinäre Module hinzu, und Phase vier umfasst ein Gewächshaus.

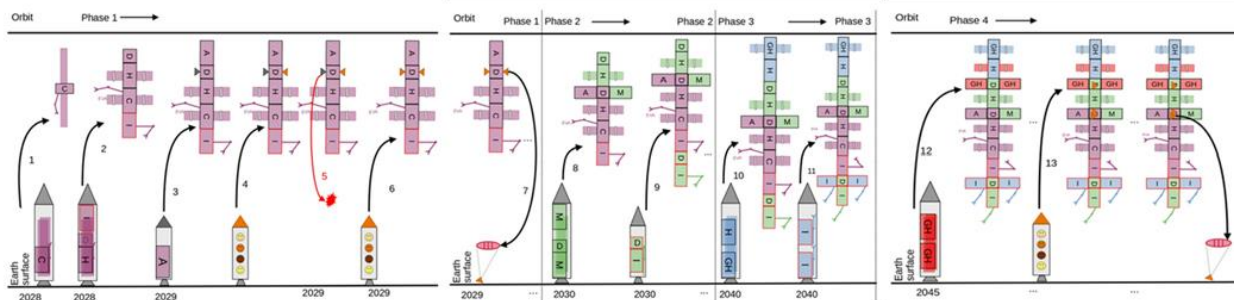


Abbildung 9: CULTURA Projektplan.

A = Airlock, C = Core Module, D = Docking Port, GH = Greenhouse, H = Habitat Module, I = ISMA Module, M = Multidisciplinary Module, Grey triangle = payload delivery, Orange triangle = crew arrival.

MISSIONSANALYSE

Die Raumstation wird sich in einer kreisförmigen Umlaufbahn befinden, was eine konstante Geschwindigkeit und Höhe für eine verbesserte Manövrierfähigkeit ermöglicht ($e=0$, $i=40^\circ$). Für einfache Nachschuboperationen wurde eine niedrige Erdumlaufbahn ausgewählt. Aufgrund der höchsten Menge an Weltraumschrott, der zwischen 700 und 800 km Höhe auftritt, wird der Höhenbereich von CULTURA deutlich unterhalb dieses Schwellenwerts festgelegt, um das Risiko von Kollisionen zu minimieren. Nach Berücksichtigung von Einflüssen durch atmosphärische Reibung, Strahlung, Antriebsanforderungen und Kommunikation wird die endgültige Umlaufbahnhöhe auf 500 km festgelegt.

IN-SPACE MANUFACTURING AND ASSEMBLY (ISMA)

Die In-Space Manufacturing and Assembly Facility wird in der Lage sein, groß angelegte Strukturen direkt in der Umlaufbahn herzustellen und diese sowie Teile, die auf der Erde hergestellt wurden, zu integrieren.

Die Auswahl der Metallmaterialien für Weltraum-Megastrukturen erfolgte nach einem Abwägungsprozess. Die ISMA-Einrichtung soll Elektronenstrahl-Additivfertigungssysteme (EBAM) nutzen, die auf einem derzeit von COSM in den USA entwickelten Design basieren. Dieses System verwendet einen Strahl relativistischer Elektronen, um Metallspulen zu schmelzen und eine zusammenhängende Metalleinheit zu erzeugen. Durch die Verwendung verschiedener Metalle wie Titan, Stahl, Aluminium, Kupfer, Inconel und Wolfram kann dieser Prozess eine Vielzahl von Formen und Teilen herstellen. Es wird geschätzt, dass pro Stunde 10 kg Material gedruckt oder pro Stunde 1 m³ Tragstruktur hergestellt werden können. Der Technologiereifegrad (TRL) für dieses System wird auf 5 geschätzt.

Universität Stuttgart Institut für Raumfahrtssysteme	Sachbericht – Teil 2: Detailbericht FKZ 50WS2310 – Workshop zur Untersuchung bemannter Raumfahrzeugkonzepte für zukünftige Post-ISS Szenarien	März 2024 Seite 16 / 19
---	---	----------------------------

Das System muss in der Lage sein, sich automatisch mit dem Roboterarm in Kombination mit einem großen Roboterarm zu befestigen und zu lösen. Der Roboterarm wird in Form und Funktion nahezu identisch mit dem CanadArm 2 sein, der derzeit auf der ISS implementiert ist. Mit einer Greifweite von 17,6 m und 7 Freiheitsgraden kann jeder Arm über 116 Tonnen Material handhaben. Jede Roboterhand wird in Form und Funktion nahezu identisch mit dem Dextre-Modul sein, das sich derzeit an Bord der ISS befindet und mit dem CanadArm 2 arbeitet. Jede Roboterhand wird 3,5 m lange "Finger" mit anpassbaren Schnittstellen zu verschiedenen Endeffektoren wie Elektronenstrahl-Schweißinstrumenten haben. Ähnlich dem Mobile Servicing System (MSS) an Bord der ISS wird die Roboterhand in der Lage sein, sich zu verbinden und als Erweiterung des Roboterarms zu fungieren, wenn Montagearbeiten außerhalb des Hauptmoduls ISMA erfolgen müssen. Die Roboteroperationen werden durch Kameras am Roboterarm überwacht und überprüft. Für die Montage im Orbit werden zwei Methoden gewählt: Elektronenstrahlschweißen und Befestigungselemente (TRL 7, bereits im Weltraum getestet). Das ISMA-Modul wird in der Lage sein, selbst hergestellte Strukturen sowie auf der Erde hergestellte Strukturen zusammenzubauen und eine nahtlose Integration von Komponenten aus erd- und weltraumgefertigten Komponenten zu ermöglichen.

Das ISMA-Modul wird in der Lage sein, selbst hergestellte Strukturen sowie auf der Erde hergestellte Strukturen zu montieren, was eine nahtlose Integration von Komponenten aus irdischen und weltraumbasierten Komponenten ermöglicht. Zukünftige Technologien, wie zum Beispiel Endeffektoren zur Verbindung von Kabeln, können während des Betriebs dem ISMA-Modul hinzugefügt werden.

Zu Beginn des Betriebs muss das Herstellungsmaterial in Form einer Metalldrahtspule von der Erde geliefert werden. In der weit entfernten Zukunft können verschiedene Lieferketten, einschließlich in-weltraumbasierter Ressourcen wie Metalle, die aus lunarem Regolith extrahiert werden, in Betracht gezogen werden. Für die erste Betriebsphase der Station sind die Technologien zur Gewinnung von Rohregolith, Extraktion des Metalls und Verarbeitung eines Metallkabels, das auf einer Spule gespeichert und zur Weltraumstation in der Erdumlaufbahn transportiert wird, noch nicht weit genug entwickelt und werden daher nicht berücksichtigt.

Das ISMA-System wird in der Lage sein, Megastrukturen zu schaffen, die weit größer sind als die Station selbst. Alle Megastrukturen erfordern ihre eigene Lage- und Bahnregelungssysteme (AOCS), da sie nicht mehr von den Roboterarmen bewegt werden können. Es muss sichergestellt werden, dass die Positions- und Lageregelungssysteme im Orbit so lange angebracht und betriebsbereit sind, wie die Struktur noch leicht durch das Robotersystem bewegt werden kann. Dies beseitigt die Notwendigkeit eines Zwischen-Orbitpositionierungssystems während des Herstellungsprozesses.

DESIGN & STRUKTUR

Das Internal Berthing and Docking Mechanism (IBDM), entwickelt von der ESA, dient als flexibler und vielseitiger Docking-Mechanismus für zukünftige Missionen, einschließlich potenzieller Verwendung auf zukünftigen Raumstationen. Die Subsysteme sollen ihre Systeme mithilfe von Rippen montieren. Das zylindrische bewohnbare Volumen ist mit rechteckigen "Räumen" und

Subsystemregalen um den "Raum" herum gestaltet. Cultura soll eine aktualisierte Version des internationalen Standard-Payload-Racks (ISPR) umfassen, das auf der ISS implementiert ist.

Manöver zur Vermeidung von Kollisionen können nicht jede potenzielle Kollision mit Weltraummüll abdecken, daher muss eine Toleranz für Zusammenstöße mit den druckbeaufschlagten Modulen durch die Verwendung von Whipple-Schutzschilden und gepanzerten Paneelen festgelegt werden. Alle bewohnbaren Module erhalten einen Schutz aus Kevlar, Aluminium, Nextel und Stahl. Die Zusammensetzung und Dicke der Schilde variieren je nach Position, Exposition, Flugrichtung und kritischen Anforderungen.

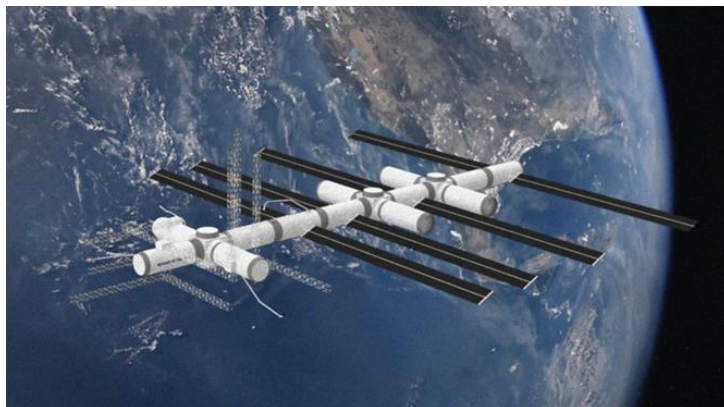


Abbildung 10: Artistische Darstellung der CULTURA Station.

Die endgültigen Massenbudgets wurden im Synera-Modell durchgeführt, das für dieses Projekt implementiert wurde und für weitere Analysen angepasst werden kann. Die Raumstation soll ein umwelt-, sozial- und wirtschaftsfreundliches Design aufweisen. Die Hauptkonzepte zur Erreichung dieses Ziels sind: das anpassbare Raster, interaktive Lichtpaneele, abnehmbare Sensorpaneele und LED-Streifen im 24-Stunden-Zyklus. Das anpassbare Raster soll den unterschiedlichen Bedürfnissen jedes Besatzungsmitglieds gerecht werden und verschiedene Szenarien im Inneren ermöglichen. Eine Wand des Innenrasters soll aus interaktiven Lichttafeln bestehen, um sich an die durchgeführte Aktivität anzupassen und als Wecker mit Tageslichtsimulation zu fungieren.

4. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der Großteil der Zuwendung wurde für die Unterbringung sowie Verpflegung der Workshop-Teilnehmer (ca. 14.000 Euro) ausgegeben. Im Laufe des Vorhabens wurden etwas mehr Arbeiten als geplant von den Mitarbeitern auf studentische Hilfskräfte (ca. 10.250 Euro) übertragen. Durch die Einsparungen bei der Unterbringung und Reisekosten der Experten (ca. 3.000 Euro), konnten die zusätzlichen Personalkosten entsprechend umgewidmet werden. Der Rest der Zuwendung (ca. 3.000 Euro) floss in Materialien, die bei den Vorbereitungen und Durchführung der Workshops verbraucht wurden.

5. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Zu Beginn des Vorhabens mussten die Zielstellung der Untersuchung und die Aufgabenstellung für den SSDW genau definiert werden. Hierzu mussten neue, innovative Ideen aus dem universitären Raum gesammelt und priorisiert werden. Um diese Inhalte zu erarbeiten, war ein digitale Mission Definition Meeting mit relevanten Experten notwendig.

Die Untersuchung zukünftiger bemannter Raumfahrzeugkonzepte sollte von Studierenden der Hochschulen und jungen Absolventen im Rahmen des SSDW durchgeführt werden. Die

Universität Stuttgart Institut für Raumfahrtssysteme	Sachbericht – Teil 2: Detailbericht FKZ 50WS2310 – Workshop zur Untersuchung bemannter Raumfahrzeugkonzepte für zukünftige Post-ISS Szenarien	März 2024 Seite 18 / 19
---	---	----------------------------

geleisteten Arbeiten umfassen daher zum Großteil die Vorbereitung und Durchführung des Workshops selbst. Um zwei kompetente, interdisziplinäre und internationale Teams an SSDW-Teilnehmern zusammenstellen zu können, mussten Werbematerialien und Internetpräsenzen erstellt und vermittelt werden. Anschließend mussten die große Anzahl an Bewerbungen bearbeitet und Teilnehmer ausgesucht werden. Parallel mussten Experten eingeladen und in die Vorbereitungsmaßnahmen eingebunden werden. Den Gästen wurde bei der Organisation der Reisen und Unterkünfte geholfen. Ein erheblicher Anteil der Vorbereitungsmaßnahmen umfasste das Einrichten der IT-Infrastruktur und der dazugehörigen Software Tools, wobei verstärkt studentische Hilfskräfte zum Einsatz kamen. Nicht zuletzt mussten Unterlagen erstellt werden, die den SSDW-Teilnehmern halfen, in der knappen Arbeitszeit des einwöchigen Workshops effektiv und zielgerichtet zu arbeiten.

Die voraussichtlichen Veröffentlichungen der entwickelten Konzepte auf dem IAC in Mailand wird einen initialen Schritt darstellen, um das Potenzial der entwickelten Konzepte einem internationalen Fachpublikum vorzustellen. Weiterführende Veröffentlichungen sind geplant, um die Erfahrungen mit der erweiterten Methodik für eine vernetzte Modellierungsumgebung vorzustellen.

6. Voraussichtlicher Nutzen

Die Ergebnisse der Untersuchung lassen sich sehr gut in die Strategien der Raumfahrtagenturen und Nichtregierungsorganisationen einsortieren. Hervorzuheben sind hierbei geplante robotische und bemannte Missionen zum Mond und zu eingefangenen Asteroiden, die von einer (zeitweise) bemannten Raumstation in der Nähe des Mondes profitieren würden. Europäische bzw. deutsche Beiträge könnten aus Disziplinen wie Lebenserhaltung, Robotik, Transport und Kommunikation stammen.

Die im Rahmen des Vorhabens am Institut für Raumfahrtssysteme entstandenen Kenntnisse und Strukturen ermöglichen es, qualitativ hochwertige Untersuchungen zu (bemannten) Raumfahrzeugkonzepten durchzuführen, die mit von der Industrie durchgeführten Untersuchungen konkurrieren könnten. Dabei sind Zusammenarbeiten mit anderen Einrichtungen sehr gut möglich und sogar gewünscht.

Die Kenntnisse und Strukturen wirken sich zudem positiv auf die wissenschaftlich/technische Ausbildung der Studierenden (der Universität Stuttgart) aus. Insbesondere die MCDF steht nun zukünftigen Space Station Design Workshops und anderen Lehrveranstaltungen am IRS zur Verfügung.

7. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderer Stelle

Durch den Einsatz des Software Tools „Synera“ konnte die Firma Synera GmbH Einblicke in die Nutzung des Tools für eine gesamtseinheitliche Systemstudie gewinnen sowie potentielle Erweiterungen für kollaboratives Arbeiten identifizieren.

Universität Stuttgart Institut für Raumfahrtssysteme	Sachbericht – Teil 2: Detailbericht FKZ 50WS2310 – Workshop zur Untersuchung bemannter Raumfahrzeugkonzepte für zukünftige Post-ISS Szenarien	März 2024 Seite 19 / 19
---	---	----------------------------

8. Veröffentlichung der Ergebnisse

Die Teilergebnisse des Vorhabens im Rahmen der Teamkonzepte werden voraussichtlich im Oktober 2024 auf dem IAC in Mailand veröffentlicht. Des Weiteren ist eine Veröffentlichung der entwickelten Methodik für die gesamtheitlichen Modellierung im Rahmen der SECESA Konferenz 2024 in Straßburg geplant.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung (Publikation)
3. Titel Workshop zur Untersuchung bemannter Raumfahrzeugkonzepte für zukünftige Post-ISS Szenarien (Space Station Design Workshop 2023)	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Prof. Dr. rer. nat. Reinhold Ewald Prof. Dr.-Ing. Gisela Detrell M.Sc. Tharshan Maheswaran	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.09.2023
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation Document Control Sheet
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Universität Stuttgart - Fakultät 6 Luft- und Raumfahrttechnik und Geodäsie - Institut für Raumfahrtsysteme	9. Ber.-Nr. Durchführende Institution IRS-24-eIB-005
	10. Förderkennzeichen 50WS2310
	11. Seitenzahl 21
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) BMWK	13. Literaturangaben 0
	14. Tabellen 0
	15. Abbildungen 19
16. DOI (Digital Object Identifier)	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrttechnik e.V.	
18. Kurzfassung Im Rahmen des Space Station Design Workshops 2023 betrachten wir die Zeit nach der ISS und die Möglichkeiten der bemannten Raumfahrt im niedrigen Erdorbit. Das beantragte Vorhaben soll eine Untersuchung von Konzepten zu bemannten Raumfahrtsystemen liefern. Damit sollen unabhängige, frische Denkansätze aus der jungen Generation und dem Forschungsumfeld der Universitäten generiert und für die zukünftige Planung dem DLR zur Verfügung gestellt werden. Der Space Station Design Workshop (SSDW), initiiert vom Institut für Raumfahrtsysteme (IRS) der Universität Stuttgart, ist ein internationaler und interdisziplinärer Workshop, der sich an Studierende und Absolventen sowie an junge Berufsanfänger*innen richtet. Der Workshop wurde 1996 ins Leben gerufen und findet seitdem, abgesehen von kleineren Unterbrechungen, jedes Jahr statt. Etwa 40 Teilnehmer werden in zwei Teams eingeteilt, die innerhalb von sechs Tagen ein erstes Konzept für eine Raumstation entwerfen sollen. Ziel des Workshops ist es, kreative Lösungsansätze zu erhalten, aber auch den Teilnehmern die Möglichkeit zu geben, praxisnah und mit professioneller Softwareausstattung zu erlernen, wie ein interdisziplinäres und internationales Projektumfeld funktioniert. Das IRS stellt für die gesamte Woche eine intensive Beratung und eine Vielzahl an Hilfsmitteln zur Verfügung: interne/externe Experten für die inkludierten Fachgebiete, eine software-basierte simultane Designinfrastruktur sowie andere proprietäre Software, die zusätzlich für den Workshop freigeschaltet wird. Um die Konzeptionierung in kurzer Zeit zu ermöglichen, wird der gesamte Prozess von den Mitarbeitern des IRS durch unterstützende Beratung begleitet. Diese Anleitung sollte jedoch die Kreativität und das "unkonventionelle Denken" der Teilnehmer nicht beeinträchtigen. Die Erfahrungen aus früheren Ausgaben des Workshops und die daraus abgeleiteten „Lessons Learned“ tragen dazu bei, diesen Beratungsprozess Jahr für Jahr zu verbessern.	
19. Schlagwörter Bemannte Raumfahrt, Exploration, In-Space Manufacturing and Assembly, Raumstation, Post-ISS	
20. Verlag	21. Preis

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 2291726-4

Document control sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Veröffentlichung (Publikation)	
3. title Workshop to investigate manned spacecraft concepts for future post-ISS scenarios (Space Station Design Workshop 2023)		
4. author(s) (family name, first name(s)) Prof. Dr. rer. nat. Reinhold Ewald Prof. Dr.-Ing. Gisela Detrell M.Sc. Tharshan Maheswaran	5. end of project 30.09.2023	
	6. publication date	
	7. form of publication Dissertation	
8. performing organization(s) name, address Universität Stuttgart - Fakultät 6 Luft- und Raumfahrttechnik und Geodäsie - Institut für Raumfahrtsysteme	9. originators report no. IRS-24-eIB-005	
	10. reference no. 50WS2310	
	11. no. of pages 21	
12. sponsoring agency (name, address) BMWK	13. no. of references 0	
	14. no. of tables 0	
	15. no. of figures 19	
16. DOI (Digital Object Identifier)		
17. presented at (title, place, date) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.		
18. abstract As part of the Space Station Design Workshop 2023, we will look at the time after the ISS and the possibilities of manned space travel in low Earth orbit. The proposed project is intended to investigate concepts for manned space systems. The aim is to generate independent, new approaches from the young generation and the university research environment and make them available to DLR for future planning. The Space Station Design Workshop (SSDW), initiated by the Institute for Space Systems (IRS) at the University of Stuttgart, is an international and interdisciplinary workshop aimed at students and graduates as well as young career starters. The workshop was launched in 1996 and has taken place every year since then, apart from minor interruptions. Around 40 participants will be divided into two teams that will design an initial concept for a space station within six days. The aim of the workshop is to obtain creative solutions, but also to give participants the opportunity to learn practically and with professional software equipment how an interdisciplinary and international project environment works. The IRS provides intensive advice and a variety of resources for the entire week: internal/external experts in the included specialist areas, a software-based simultaneous design infrastructure and other proprietary software that will also be activated for the workshop. In order to enable conception in a short time, the entire process is accompanied by supportive advice from IRS employees. However, this guidance should not hinder participants' creativity and "out-of-the-box thinking." The experiences from previous editions of the workshop and the "lessons learned" derived from them help to improve this consultation process year after year.		
19. keywords Manned spaceflight, exploration, in-space manufacturing and assembly, space station, post-ISS		
20. publisher	21. price	

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 2291728-7