

## MACTRA Dresdner Visionen für die bemannte Erforschung des Jupiter-Systems

K. Boehm; M. Fruhnert; F. Haase; M. Koßagk; R. Nowosielski; O. Przybilski  
TU Dresden, 01062 Dresden, Deutschland

### Zusammenfassung

#### ***Was bringt mir am Mond und am Mars bei bemannten Missionen einen Erkenntniszuwachs, der hunderte Milliarden Euro rechtfertigen würde?***

Alle Voraussetzungen für einen bemannten Flug zum Mond und längeres Verweilen vor Ort sind seit 1969 gelöst. Das gleiche gilt für den Mars. Es gibt vom Standpunkt des Technikers, des Mediziners, des Psychologen u.s.w. kein einziges überwindbares Hindernis, um nicht sofort eine bemannte interplanetare Expedition durchzuführen. Die Raumflugtechnik, auch für eine Tiefraummission (Wohn-Module, Abschirmung, Lander, Roboter...), ist im breiten Bereich vorhanden bzw. können schnell adaptiert werden; die Kommunikation über weite Strecken funktioniert. Warum also am Mond oder Mars „so viel Geld“ ausgeben? Es bringt wissenschaftlich definitiv NICHTS! Der Grund müsste schon ein anderes „herausragendes Ziel“ sein...

Eine regelmäßige Vorlesungsreihe unter raumfahrtinteressierten Studenten an der TU Dresden bringt es an den Tag: Die jungen Leute stellen sich den Herausforderungen von Morgen in **Visionen**, die sie mittragen würden. Nicht der Mond oder der Mars stehen im Fokus ihrer Interessen, sondern Jupiter und Saturn sind die Planeten, die es zu untersuchen gibt!

In mehreren studentischen Arbeiten an der TU Dresden wurde und wird das von Dr. Przybilski so benannte interplanetare Raumflugsystem MACTRA (**M**anned **C**allisto **T**Ransfer vehicle) für eine bemannte Jupitermission ausgelegt. Dabei wird davon ausgegangen, dass das Flugsystem am Jupiter verbleibt und die 9 internationalen „Kallistonauten“ vorerst nicht zur Erde zurückkehren. Sogar ein neues Trägersystem auf Basis von Ariane 5-Systemen für 40 t Nutzlast auf LEO ist layoutet worden.

Im Bearbeitungsverlauf wurde bestimmt, welche grundlegenden Mindestanforderungen am Flugsystem zu erwarten sind. Es war von einer 1000-Tagesmission auszugehen. Dabei sollte die interplanetare Reisezeit Erde-Jupiter 500 Tage betragen und weitere 500 „Verpflegungstage“ sind dafür angedacht, auf Kallisto eine funktionierende Selbstversorgung zu installieren. Gleichzeitig würde diese zweite Hälfte „Überlebensfracht“ als Notbedarf fungieren, sollte das Einbremsen in den Jupiterorbit nicht ausgeführt werden können und man zur Erde zurückfliegen müsste.

#### **1. KALLISTO**

Entdeckt wurde der Jupitermond Kallisto am 7. Januar 1610 von Galileo Galilei und bekam seinem Namen kurz nach seiner Entdeckung von Simon Marius, einem deutschen Astronomen. Die Atmosphäre mit einem Druck von  $< 10^{-6}$  Pa besteht aus einer dünnen Schicht Kohlendioxid und die Oberfläche ist von einer Vielzahl von Kratern überzogen, welche von hellen Ringen umgeben sind, was ein klares Zeichen für Wasser, beziehungsweise Eis ist. Weitere magnetische Messungen der Raumsonde Galileo ergaben, dass die mit Staub verschmutzte, sichtbare Oberfläche auf einer Eisschicht liegt, die etwa eine Dicke von 200 km aufweist und dass sich unter dieser Eisschicht ein etwa 10 km tiefer Ozean aus flüssigem Salzwasser befindet. Das Innere des Mondes selbst besteht aus etwa 60 Prozent silikatischem Gestein und 40 Prozent Wassereis, wobei mit zunehmender Tiefe der Anteil des Silikats steigt [1].

#### **2. MISSIONSZIELE**

Der Grund dieser Mission liegt darin, dass Kallisto durch seine Atmosphäre, Geologie und

gebundenen Rotation der Menschheit die Voraussetzung für den Bau eines Vorpostens auf einem anderen Himmelskörper bietet. Dadurch entstehen für die Wissenschaft viele neue Wege, sich weiter zu entwickeln, wie z.B. einen weiter als den Mars entfernten Himmelskörper zu erforschen und dort unter anderen Umweltbedingungen nicht nur Experimente durchzuführen. Zudem bieten der Jupiter und seine Monde der Wissenschaft eine hohe Anzahl von neuen unbekanntem Welten, die sich von der altbekannten wichtigen Gesteinsuntersuchung stark abgrenzen. Ergebnisse dieser Forschungen im Jupitersystem könnten neuartige Technologien bzgl. der Herstellung neuer Werkstoffe und Erkenntnisse über eine Kolonisation im Weltall bringen.

Der Bau eines Teleskops, welches mit einem irdischen synchronisiert werden kann, ermöglicht mittels mathematischer Überlagerung einen virtuellen Spiegel-durchmesser von 4 bis 6 AE je nach Planetenkonstellation. Dies ermöglicht es noch wesentlich tiefer in das All zu schauen. Weitere Missionsziele lauten wie folgt:

- Kallisto als Observationsplattform nutzen, um Jupiters in Echtzeit zu erforschen.
- Studien über den Effekt der Eisumwelt von Kallisto auf Materialien.
- Entwicklung von neuen Energiesystemen (Generatoren, Speichersysteme und Verteilung).
- Entdeckung und Überwachung extrasolarer Planeten.
- Nutzung der Ressourcen auf Kallisto.
- Geologische Struktur von Kallisto und weiteren Jupitermonden eruieren.

Um die Missionsziele zu erfüllen, werden verschiedene Arten von Hardware benötigt.

Angefangen von den Trägersystemen, welche die Nutzlast von der Oberfläche der Erde in den Orbit, bis hin zu den technischen Instrumenten, die für das Überleben der Mannschaft auf Kallisto und für die Forschung im Jupitersystem benötigt werden [1].

### 3. AKTIVITÄTEN AUF KALLISTO

Die grundlegenden Arbeiten garantieren den Erhalt der technischen Einrichtungen für das Überleben der Mannschaft und für die Erfüllung der Missionsziele, da es aufgrund der hohen Entfernung zur Erde keine Zeit für Fehler im System oder bei den Tätigkeiten, bezüglich den Forschungsarbeiten geben darf. Somit steht die Errichtung einer autarken Infrastruktur im Vordergrund [1].

#### 3.1. Erkundung des Gebietes und Aufbau der Infrastruktur

Die Relevanz für die Erkundung beruht auf den von Wissenschaftlern unbelegten Theorien bzgl. der Messdaten von den Sonden Voyager 1 und 2 und Galileo über Kallisto. Das bedeutet, dass nur Annahmen über die Struktur gemacht worden sind und es unbekannt ist, ob es noch Precursor Missions geben wird, die den Mond vor Beginn der bemannten Landemission mit landefähigen unbemannten Sonden erkunden. Hierbei wird von der Prüfung der Oberflächenstruktur, atmosphärischen Bedingungen und magnetosphärischer Strahlung des Jupiters ausgegangen, um die Landung, die Inbetriebnahme der weiteren Module und den Schutz der Mannschaft zu gewähren. Erst nachdem die Erkundung des Gebietes für den Vorposten erfolgreich stattfand, kann sich die Mannschaft um die Sicherung der Landeeinheit und den Aufbau der Infrastruktur kümmern.

Während der Errichtung der Infrastruktur müssen gründliche Soft- und Hardwarechecks der Subsysteme durchgeführt werden, da solare Strahlung und Einschläge von Mikrometeoriten während des interplanetaren Fluges die Module beschädigt haben könnten.

Erst danach stehen das Entladen der Ausrüstung und das Vorbereiten von Wissenschaftlichen Experimenten an [1].

#### 3.2. Oberflächenarbeiten

Während der Zeit auf Kallisto ist es das Ziel, eine ununterbrochene Erforschung des Jupitersystems zu gewähren, welche von den technischen Einrichtungen und von zusätzlichen Arbeiten, die aufgrund der hohen Entfernung zur Erde entstehen, abhängig ist. Hierbei wird von den täglichen Arbeiten nach dem Aufbau und Inbetriebnahme des Vorpostens ausgegangen. Dabei werden die täglichen Arbeiten außerhalb der Module für den Erhalt der technischen Systeme und die Durchführung von Experimenten, sowie Erkundungsmissionen betrachtet. Außerdem gehört die Pflege der Gesundheit zu den täglichen Arbeiten der Mannschaft. Dazu gehören die täglichen Hygienemaßnahmen, Gesundheitschecks und ein Trainingsplan, um die Abnahme der Knochen- und Muskelmasse zu begrenzen [1].

#### 3.3. Außenarbeiten

Bei den Außenarbeiten handelt sich hauptsächlich um die Erkundung des Gebietes außerhalb des Vorpostens, wobei die Observation der Geologie, z.B. für die Umplatzierung des Vorpostens, aufgrund von optimaleren Umweltbedingungen und das Sammeln von Proben für wissenschaftliche Zwecke, da Materialwissenschaften und Erforschung der Eisoberfläche eine wichtige Rolle spielen.

Um die Zeit der Außenarbeiten außerhalb des Vorpostens aufgrund der tiefen Temperaturen, die den Außenanzügen schaden könnten, zu verkürzen, könnten sogenannte Außenlager errichtet werden. Diese könnten als zusätzliches bewegliches Modul oder als aufblasbares Zelt mit nach Kallisto transportiert werden.

Weiterhin steht der kontinuierliche Ausbau des Außenpostens durch Nachschubflüge und neue Module von der Erde im Mittelpunkt. Dazu gehören die Selbstversorgungsanlagen, auch bekannt als ISRU-Anlagen (**In-Situ Resource Utilization**), welche für den Fall von MACTRA notwendige Materialien für die Lebenserhaltung oder Treibstoffe durch die Konvertierung des Eises auf Kallisto liefert, da von einer Selbstversorgung ausgegangen wird. Demgemäß muss das Eis abgebaut und zur ISRU-Anlage transportiert sowie die hergestellten Stoffe weiter an die Mannschaftsquartiere oder an Container zur Lagerung befördert werden. Diese Tätigkeit kann z.B. von Rovern oder von der Mannschaft selbst ausgeübt werden [1].

**4. ERFORSCHUNG ANDERER MONDE**

Bei der Forschung außerhalb des Vorpostens handelt es sich primär um die Belegung der durch die Messwerte der Sonden Voyager 1 und 2 und Galileo aufgestellten Theorien über Jupiters galileische Monde Io, Ganymed und Europa (siehe TAB 1) und sekundär die Erforschung des Ringsystems und der anderen kleinen Körper (Amalthea-Gruppe, Himalia-Gruppe, Pasiphae-Gruppe, Ananke-Gruppe und Carme-Gruppe) am Jupiter. Beim Betrachten der Eigenschaften und der erkannten Gefahren ist zu sehen, dass eine bemannte Erkundung der Körper im Jupitersystem, aufgrund des Abstands zueinander und der zusätzlichen Umweltbedingungen außer Frage steht. Daher werden Sonden mit Messsystemen, Bohreinheiten und U-Boote geschickt, welche vom Vorposten aus in Echtzeit gesteuert werden können [1].

Körper	aufgestellte Theorien	Missionsziele
Io	mögliche 50 km dicke unbekannte Magmaschicht unter Oberfläche	Beweis der Magmaschicht und Analyse des unbekanntes Lavagesteins
Ganymed	geringe Anomalien im Schwerfeld	Grund für die geringen Anomalien
Europa	möglicher Ozean unter der Eisschicht	Beweis für einen Ozean und Analyse, ob sich Leben im Ozean befindet

TAB 1. Aufgestellte Theorien über Io, Ganymed und Europa.

**5. ERFORSCHUNG DES JUPITERS**

Einen großen Bearbeitungsschwerpunkt wird der Jupiter einnehmen. Man könnte mit hunderten kleiner Forschungssonden ihn und sein direktes Umfeld detailliert mit speziell ausgelegten Kleinstsatelliten bis hin zu atmosphärischen Eintauchkörpern analysieren. Hier wird an die Klasse der nano- und Picosatelliten gedacht. Diese können aufgrund ihrer Kompaktheit in größerer Stückzahl günstig gebaut werden und somit ein Netz von Messstationen bilden, mit der das Jupiterwetter und damit auch das Irdische besser verstanden werden kann. Diese Satelliten können auch an Bollons durch die Jupiteratmosphäre schweben. Und somit Dichte, Windgeschwindigkeit, elektrische Ladung und die chemische Zusammensetzung

in unterschiedlichen Atmosphärenschichten messen.

Weiterhin gilt es die Phasenübergänge vom gasförmigen zum flüssigen und wenn möglich zum molekularen und metallischen Wasserstoff zu erkunden [1].

**6. CREW**

Die Festlegung der Größe der Crew ist elementar für alle weiteren Überlegungen MACTRA betreffend, da die Deckung deren Bedarfs je nach Zuordnung einen erheblichen Anteil an der Gesamtmasse des Habitats beziehungsweise der Nutzlast trägt. Für das Projekt Mars-500 wurde eine sechsköpfige Besatzung zusammengestellt. Desgleichen soll die Besatzung sowohl der Nautilus als auch von HOPE aus sechs Personen bestehen. Diesen Überlegungen liegt zu Grunde, dass die zum Transport der Besatzung zur Verfügung stehenden Trägersysteme (zum Beispiel Sojus Kapsel oder Shenzhou) im Allgemeinen immer drei Astronauten befördern können. Für eine optimale Ausnutzung der Transportsysteme wäre folglich eine Crew bestehend aus sechs oder neun Astronauten optimal. Aus Sicht der Entscheidungsfindung in einem Notfall ist eine sechsköpfige Crew jedoch ungünstig, da es im Falle einer wichtigen Abstimmung in einer Notsituation zu einer 50-50-Entscheidung kommen kann. Daher besteht die Crew aus neun Astronauten. Diese können im Dreischichtsystem Arbeiten, Entspannen und Schlafen.

Ein Projekt der Größe von MACTRA kann eher von einer Staatengemeinschaft durchgeführt werden. Daher wird vorgeschlagen, die Crew aus Teilnehmern aller Kontinente zusammenzustellen, um alle Erdteile an der Mission zu beteiligen. Dabei sollte die Crew nur aus Männern bestehen, um aus Sicht der Gruppenpsychologie Spannungen zu vermeiden. Das Alter wird hierbei zwischen 35 und 60 Jahren betragen [2].

**6.1. Bedarf**

Um zu überleben, muss jeder Mensch einen gewissen Grundbedarf an zuzuführenden Stoffen decken. Dazu gehören Sauerstoff, Wasser und Nahrung. Darüber hinaus ist es wichtig zu verstehen, dass der Mensch, um gesund zu bleiben, diese Stoffe in bestimmten Mengen sowie Mischungsverhältnissen mit anderen Stoffen benötigt. Befindet sich eine Person über einen längeren Zeitraum in einer lebensfeindlichen Umgebung, wie zum Beispiel im Weltall, müssen auch andere Bedarfsformen bedacht werden. Dazu gehören Beschäftigung, Strahlenschutz, Bewegungsmöglichkeiten und ein Mindestmaß an Bewegungsvolumen [2].

### 6.2. Lebenserhaltungssystem

Die wichtigste Anforderung an das Lebenserhaltungssystem von MACTRA ist die Herstellung möglichst geschlossener Stoffkreisläufe und größtmöglicher Synergismen zur Minimierung des Nachschubbedarfs, der sich in erhöhter Transportmasse äußert. Laut Hallman und Ley ist schon eine Senkung des Nachschubbedarfs um 55 % möglich, indem Abwasser wiederverwendet wird. Weitere rund 25 % werden mit der regenerativen Filterung von Kohlendioxid und der Rückgewinnung von Sauerstoff erlangt. Daher sollten für MACTRA sowohl im Wasser- als auch im Luftmanagement optimierte regenerative Systeme verwendet werden. Dieser Kreislauf wird in BILD 1 dargestellt.

Obwohl empfohlen wird, sogenannte Salatmaschinen oder auch Algenreaktoren in das Lebenserhaltungssystem zu integrieren und dadurch neben Sauerstoff und Trinkwasser auch Nahrung zu produzieren, soll aus Sicherheitsgründen der Grundbedarf an Nahrung in vollem Umfang mitgenommen werden (siehe TAB 1) [2].

Stoff	Gesamtmasse [t]
O <sub>2</sub>	7,56
H <sub>2</sub> O	31,95
H <sub>2</sub> O Waschen	61,2
Nahrung	5,76

TAB 1. Grundbedarf für eine 1000 Tägige Mission einer neunköpfigen Crew.

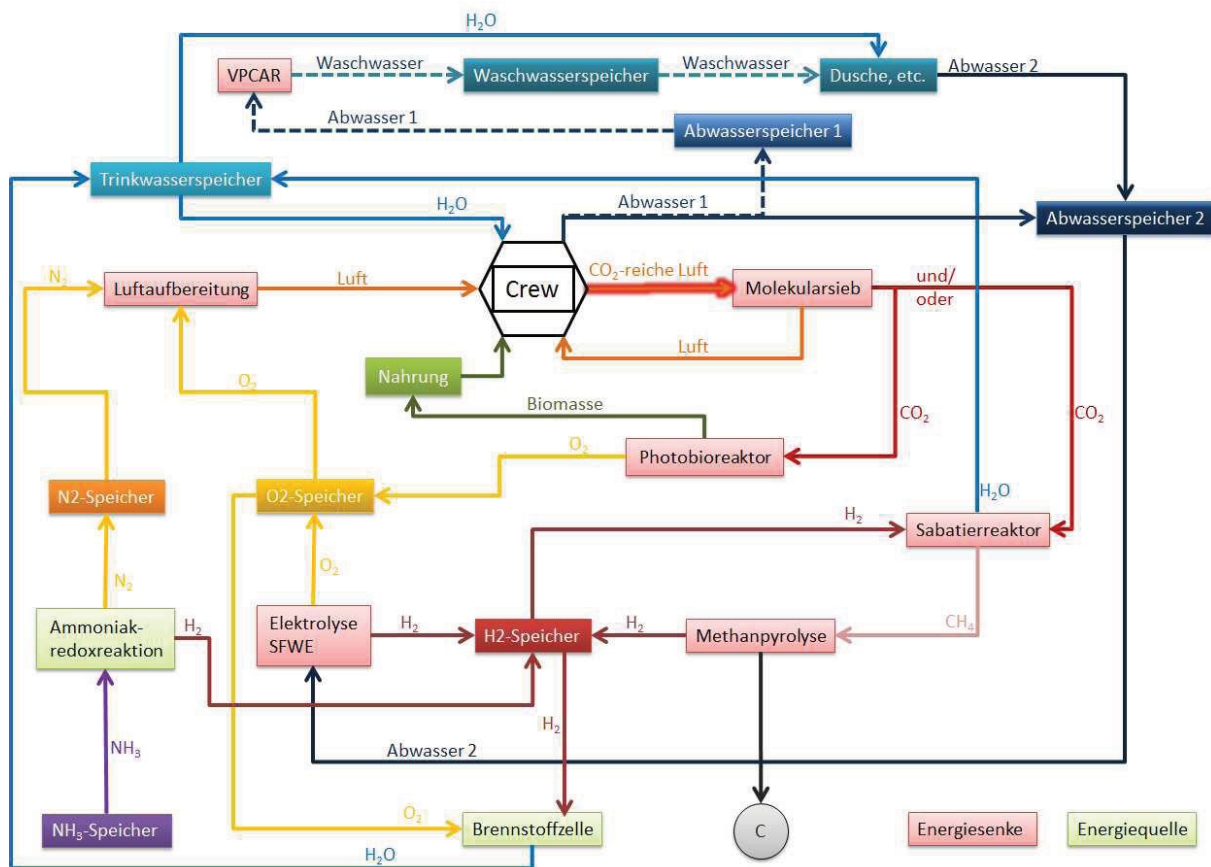


BILD 1. Stoffkreislauf des ECLSS (Eviromental Control and LiveSupport Subsystem) von MACTRA.

### 6.3. Strahlungsschutz

Da sich MACTRA außerhalb des Strahlungsgürtels sowohl der Erde als auch des Jupiters befindet, können die Strahlenschäden durch Elektronen und Protonen vernachlässigt werden. Der hauptsächliche Schutz gegen Protonen solarer Strahlung und gegen die kosmische Strahlung wird durch die Habitatsaußenhülle gewährleistet. Das Habitat BA2100 von Biegelow besteht aus einem leichten Kern aus einer Aluminium-

Kohlenfaser-Verbindung. Dieser Kern ist von einer aufblasbaren Außenhaut umgeben, welche während des Starts zusammengefaltet werden kann. Dadurch kann im Weltraum dreimal mehr Volumen und Lagerkapazität bei gleicher Masse und gleichen Kosten bereitstellen als bei einem konventionellen Aluminiummodul. Die Außenhaut besteht aus mehreren Schichten, welche den Schutz vor Mikrometeoriten und Weltraumschrott, die thermische Kontrolle, die mechanische Stabilität und den Schutz vor

Weltraumstrahlung gewährleisten. Dieses Habitat soll nach R.T. Biegelow einen doppelt so starken Strahlungsschutz wie der der ISS besitzen. Weiterer Strahlungsschutz wird durch die Lagerung des benötigten Wassers in Taschen in der Außenhaut des 1200 m<sup>3</sup> großen Moduls gewährleistet. Ein Start der Mission während einer niedrigen Sonnenaktivität reduziert das Strahlenrisiko weiter [2].

#### 6.4. Konfiguration und Schwerkraftherzeugung

MACTRA entsteht in Modulbauweise, weil es insgesamt wesentlich mehr Masse besitzt, die auch künftige Trägersysteme nicht bereitstellen können. Wie in BILD 2 zu

sehen, könnte das Habitat von MACTRA aus dem Biegelow Konzeptmodul BA2100 bestehen. Weitere Raketenstarts sind auch notwendig, um die Struktur sowie Tanks und weitere Subsysteme, wie zum Beispiel das Energieversorgungssystem zu transportieren. Das Habitat rotiert in einem Abstand von maximal 31,3 m um die Längsachse des Raumschiffes. Dadurch wird in dem Habitat eine künstliche Schwerkraft erzeugt. Als Gegengewicht fungiert ein Tank mit einem Anteil (100 bis 200 t) des Treibstoffs, der für den möglicherweise eintretenden Rückflug eingeplant ist. Die Rotation führt zusätzlich zu einer Drallstabilisierung des Raumfahrzeugs im Raum, wodurch eine aufwendige 3-Achsen-Stabilisierung umgangen werden kann [2].

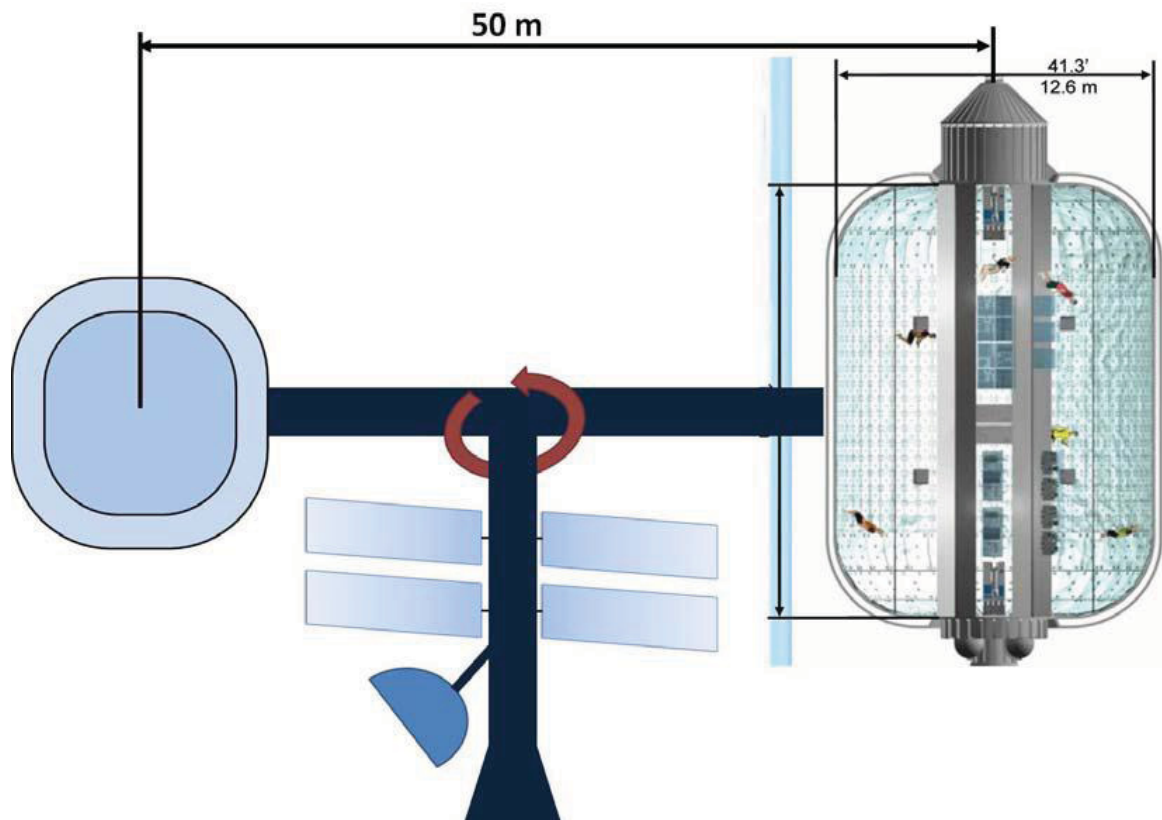


BILD 2. Mögliche Kernkonfiguration von MACTRA.

### 7. ENERGIESYSTEM

Elektrische Energie ist für das Aufrechterhalten aller Subsysteme eines jeden Raumfahrzeugs unerlässlich. Ein Ausfall dieses Systems hat schwerwiegende Folgen für die Crew und das Raumfahrzeug. Daher muss dieses System redundant ausgelegt werden und Notstromversorgungen für die wichtigsten Systeme eingerichtet werden [3].

#### 7.1. Energiebedarf

Um den Energiebedarf von MACTRA zu ermitteln, wurde auf bekannte Systeme zurückgegriffen, so hat die ISS einen

kontinuierlichen Strombedarf von 110 kW bei einer Mannschafsstärke von sechs Astronauten, wobei 50 kW auf die Nutzlast entfallen. Dieser Wert wurde für neun Astronauten extrapoliert und durch den zusätzlichen Leistungsbedarf der wissenschaftlichen Nutzlasten und des Kommunikationssystems ergänzt. Dadurch wurde ein Energiebedarf von 94 kW ermittelt.

#### 7.2. Energieerzeugung und Speicherung

Dieser Grundbedarf wird über regenerative Alkalische Brennstoffzellen auch während der circa 200 stündigen Schattenphasen auf der

Kallistooberfläche gedeckt. Hierbei entfallen auf das gesamte Speichersystem 18,5 t, wobei 8 t an Wasser an jeden Tag mittels Elektrolyse aufgespalten und in der Nacht wieder „verbrannt“ werden. Dafür muss am 200 Stunden wehrenden Tag eine elektrische Leistung von etwa 360 kW bereitgestellt werden. Dies geschieht mittels Solar-konzentratoren. Da heutige Laborsolar-konzentratoren Spitzenwirkungsgrade von 43,5% aufweisen, die Effektivitätssteigerung bei 0,9%/Jahr liegt und ihr maximaler theoretischer Wirkungsgrad bei circa 86% liegt, wird davon ausgegangen, das bis 2050 eine Konvertierungswirkungsgrad von 65% erreicht werden kann. Da auf Kallisto nur ein 1/27 der Sonnenintensität der Erde herrscht, bündeln Konzentratorspiegel das Licht. Dabei entsteht eine Sonnenintensität von etwa 360 Sonnen auf der Solarzelle. Es werden drei Konzentratorspiegel benötigt, die insgesamt eine effektive Fläche von 24916,8 m<sup>2</sup> besitzen. Die zwei Hauptspiegel werden während der Transferphase und im jeweiligen Orbit genutzt. Da aber auf Kallisto die Schattenphasen wesentlich länger sind, als im Orbit, muss ein zusätzlicher kleinerer Solarkonzentrator aufgestellt werden (siehe BILD 3) [3].

### 7.3. Spiegeltechnologie und Erweiterungskonzepte

Die Spiegel basieren auf dem Antennenkonzept heutiger Kommunikationssatelliten, die ihre leichtgewichtigen Antennen schirmartig aufspannen können. Hierbei werden die Metallnetze durch metallisierte Kapton oder Mylarfolien ersetzt. Dies ermöglicht Flächengewichte im Bereich von 1,2 bis 4,5 kg/m<sup>2</sup>. Die bisher größte Antenne des ICO G1 Kommunikationssatelliten besitzt einen Durchmesser von 12 m, doch sollte es möglich sein, Antennen/Spiegel von 103,8 m Durchmesser zu fertigen. Während der Beschleunigungsphasen werden die Spiegel zusammengefaltet und auf Brennstoffzellenbetrieb umgeschaltet, um die Spiegel vor den hohen mechanischen Belastungen zu schützen. Der komplette Spiegel Konzentratoraufbau besitzt eine Masse von circa 37,2 t. Für weitere Nachfolgemissionen können Sauerstoff- und Wasserstofftanks eingespart, da stattdessen Kavernen in das Kallistoeis geschmolzen werden. Hier kann weiteres Druckgas für die Brennstoffzellen gespeichert werden. Es müssen nur noch neue Solarkonzentratoren und Regenerative Brennstoffzellenmodule zum Kallisto transferiert werden [3].

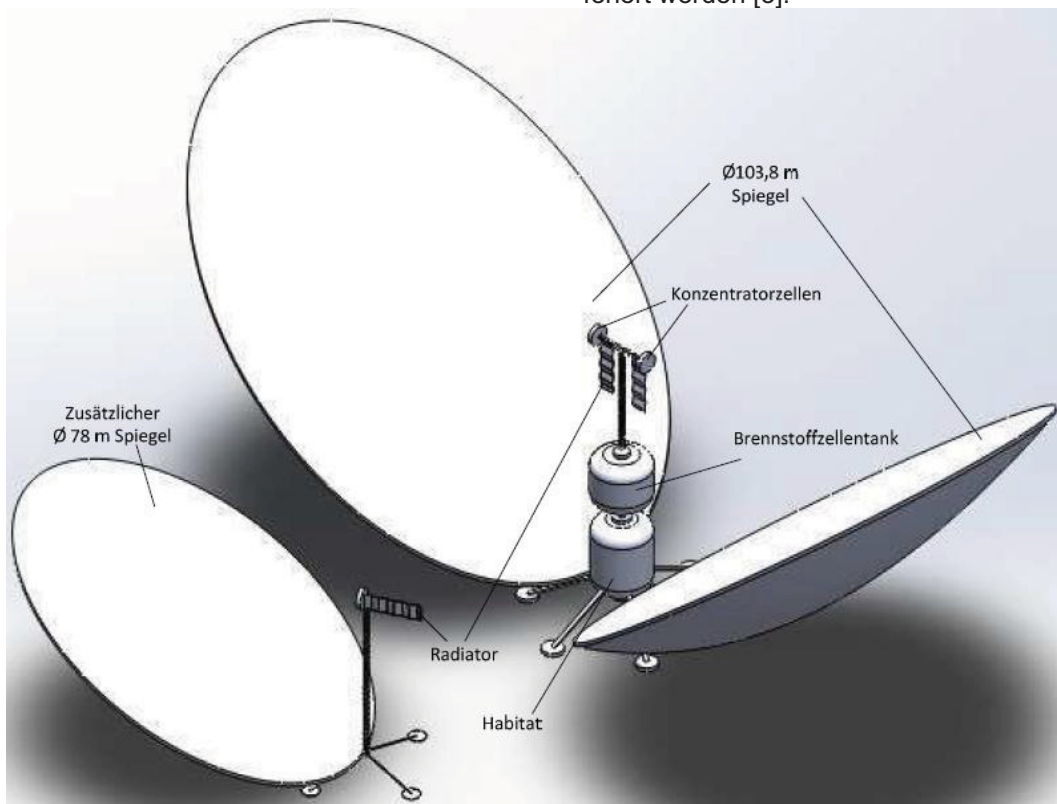


BILD 3. Das Erscheinungsbild einer möglichen Kallistostation wird durch die Spiegel des Solarkonzentrators dominiert.

## 8. KOMMUNIKATIONSSYSTEM

Die Spiegel des Energiesystems werden gleichzeitig als Antennen genutzt, um mit der Erde zu kommunizieren. Die Kommunikation mit Raumfahrzeugen, welche Planeten erkunden, könnte durch das DSN (Deep Space Network) der NASA durchgeführt werden. Hierfür stehen mehrere Antennenkomplexe in Goldstone (Kalifornien), in Madrid (Spanien) und in Canberra (Australien) zur Verfügung. Dabei besitzt jeder Komplex eine 70 m Antenne und mehrere 34 m Antennen. Bei Tiefraummissionen wird eine maximale Datentransferrate  $R$  von 6 Mbit unterstützt. Die Signale, benötigen hierbei je nach Erde – Jupiterkonstellation 30 bis 50 Minuten [3].

## 9. ANTRIEBSSYSTEM

### 9.1 Startorbit

MACTRA startet aus einem niedrigen Erdborbit ( $h = 200$  km). Der Aufbau des Raumfahrzeuges kann in der Nähe einer Raumstation erfolgen. Nachträgliche Reparaturarbeiten im Orbit sind somit leichter und einfacher zu erledigen. Die Raumfahrer können von der bereits funktionierenden Station aus operieren und haben auch Ersatzteile sowie ausreichend Nahrung ganz in ihrer Nähe. Nachdem das Raumfahrzeug fertig gestellt ist, kann die Besatzung von der Raumstation aus einsteigen [4].

### 9.2. Treibstoffgemisch

Oberstufen heutiger Trägersysteme verwenden Flüssigwasserstoff und -sauerstoff. Diese Kombination erzeugt hohe Austrittsgeschwindigkeiten und ist nicht giftig. Im Zuge der Weiterentwicklung der Technik ist eine Verbesserung von 4,7 km/s auf 5 km/s möglich. Die Exploration der Planeten erfolgt vorwiegend auf der Grundlage des Vorhandenseins von Wasser. Die Verwendung von Wasserstoff und Sauerstoff hat also den Vorteil, dass das System auf solchen interplanetaren „Tankstellen“ aufgefüllt werden kann. Mit elektrischen Triebwerken kann eine Reisezeit von 500 Tagen nicht erreicht werden [4].

### 9.3. Transfer: Erde- Kallisto

Der Aufbruch zum Jupitersystem wird durch einen etwa 50 min Minuten andauernde Triebwerkszündung eingeleitet. Dabei sind acht Triebwerke radial um ein zentrales Triebwerk angeordnet. Die hohe Anzahl bietet eine Redundanz der Funktionsfähigkeit des Antriebes. Jedes dieser Triebwerke besitzt einen Massendurchsatz von 200 kg/s, wodurch jeweils 100 t Schub erzeugt werden. Nach dem Brennmanöver werden die leeren Tankstrukturen, sowie vier der Triebwerke abgeworfen, um Masse zu sparen.

Im Jupitersystem wird zunächst ein Orbit um den Planeten angestrebt, der in etwa der Kallistobahn entspricht. Da MACTRA zu schnell ist, als das Jupiter es halten könnte, müssen die Triebwerke für ca. 13 min brennen, um das Raumfahrzeug abzubremesen. Vom Jupiterorbit wird dann weiterhin auf eine Umlaufbahn um Kallisto eingeschwenkt. Insgesamt ergibt sich somit ein Antriebsbedarf von rund 16 km/s für den Transfer aus dem Erdborbit in den Kallistorbit. Dafür sind circa 6200 t Treibstoff notwendig. Dies entspricht sieben Space Shuttle Außentanks [4].

## 10. TRÄGERSYSTEM

Das Trägersystem, welches die Komponenten für den Zusammenbau von MACTRA in einen 200 km Kreisorbit bringen soll könnte vorrangig auf Ariane 5 Komponenten basieren. Der Gedanke, Teile eines etablierten Trägersystems wiederzuverwerten, ist nicht neu. So gab es in der Vergangenheit bspw. eine Vielzahl von Entwürfen auf Basis des STS (Space Transportation System), das umgangssprachlich auch „Space Shuttle“ genannte System der NASA.

Das neue Trägersystem wird seriell in drei Stufen aufgebaut. Dabei wird die bekannte kryogene Hauptstufe EPC durch eine Feststoffstufe ersetzt, die auf der Technologie der Ariane 5 Booster EAP aufbaut. Die Ariane-Serie und ihre angestrebten Weiterentwicklungen dienen hierbei als Ausgangspunkt, da so sichergestellt ist, dass unter Verwendung bewährter Technologien auch weiterhin die Produktions- sowie Innovationsressourcen europäischer Unternehmen einbezogen bleiben. So werden außerdem kostenintensive Umstrukturierungsmaßnahmen vermieden. Zudem wird ein unter Umständen teurer, bzw. in politisch instabilen Zeiten risikobehafteter Technologiezukauf aus dem außereuropäischen Ausland vermieden [5].

### 10.1. Erste und Zweite Stufe

Die erste und zweite Stufe des Trägersystems bestehen aus EAP 248 Feststoff-Boostern. Hierbei repräsentieren die umliegenden sechs Booster die erste Stufe und der mittlere Booster die Zweite. Diese wird erst nach Ausbrennen der ersten Stufe gezündet. Der Bau dieser neuen Booster, welche technologisch auf der ersten Stufe der Vega basieren, wurde noch nicht bestätigt, doch werden sie betrachtet, da die Vega-Stufe P80FW ihren Jungfernflug erfolgreich absolviert hat. Ein besonders großer Vorteil bei der Verwendung von Feststoff-Boostern ist der einfache Aufbau und die sehr gut beherrschte Technologie. Hieraus ergeben sich zudem auch entsprechende Kostenvorteile im Vergleich mit komplexen Kryogen-Triebwerken. Auch ist die

Zuverlässigkeit von Feststoff-Boostern durch den sehr einfachen Aufbau gut. Das geringere Strukturmasseverhältnis und die neue Treibstoffkombination HTPB 1912 bewirken einen höheren spezifischen Impuls. Das geringe Strukturmasseverhältnis wird durch einen konsequenten Leichtbau ermöglicht, der auf verschiedenen Neuerungen basiert. So werden z.B. die Boosterhülle und die Schubdüse aus Verbundwerkstoffen gefertigt [5].

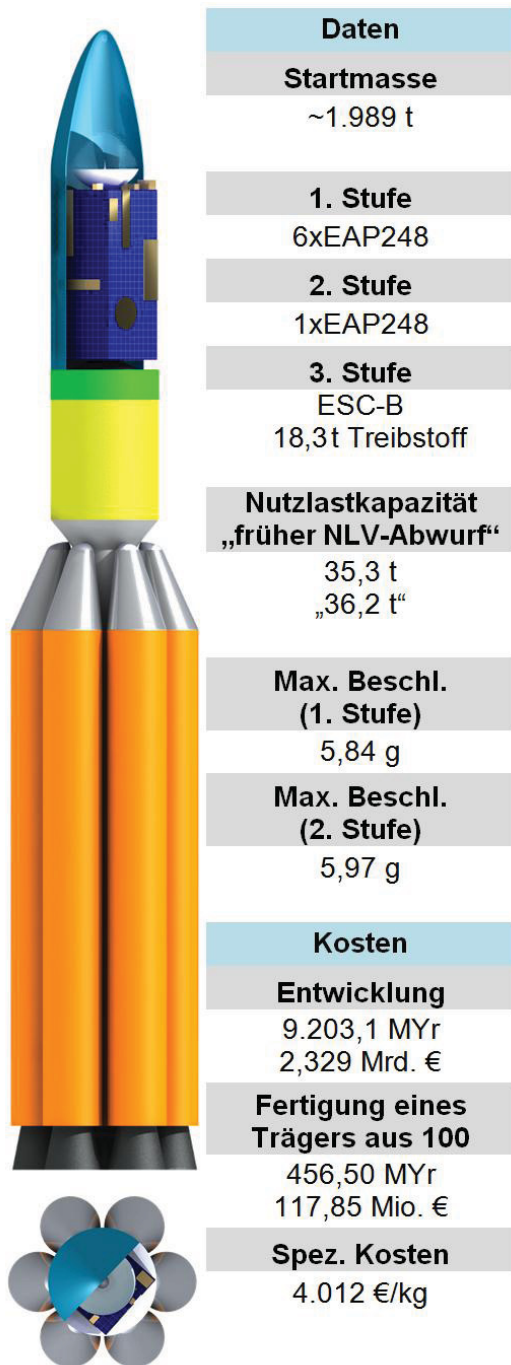


BILD 4. Eine Ariane mit 36 t (Jahr 2012) bzw. 41 t (Jahr 2050) Nutzlast.

## 10.2. Dritte Stufe

Die dritte Stufe besteht aus der kryogenen Oberstufe ESC-B mit ihrem schubstarken Vinci Triebwerk. Diese geht aus dem aktuellen ESA Programm zur Einführung der Ariane 5 ME (**M**idlife **E**volution) hervor, welche 2016 enden soll. Das Vinci Triebwerk arbeitet im Hauptstromverfahren und besitzt eine ausfahrbare Schubdüse. Wiederzündbarkeit und Treibstoffanpassungen sind noch zwei wichtige Leistungsmerkmale, die die Leistungsfähigkeit dieser Oberstufe erhöhen.

## 10.3. Weitere Optimierungen

Der Startplatz in Kourou bietet neben einer maximal niedrigen Inklination von  $5,2^\circ$  den Vorteil, dass durch die Erdrotation dem Trägersystem 463 m/s zum mitgegeben werden. Zusätzlich lässt sich die Nutzlastkapazität erhöhen, wenn die 20 m lange Nutzlastverkleidung höhenoptimal abgeworfen wird.

Es wird binnen der nächsten zehn Jahre mit einer Erhöhung des spezifischen Impulses fester Treibstoffe um mindestens 10 s gerechnet. Eine solche Treibstoffverbesserung würde zu einer effektiven Nutzlastmasse in Höhe von circa 41 t führen und somit einen Anstieg von etwa 16% bedeuten. Für das Jahr 2050 rechnet man, durch die Verwendung der zur Zeit noch in der Entwicklung befindlichen HEDM (**H**igh **E**nergy **D**ensity **M**atter) Treibstoffe, mit einem spezifischen Impuls von ca. 400 s [5].

## 11. QUELLEN

- [1] Boehm, J.K.: Großer Beleg: *Auslegung der Landeeinheit für eine bemannte Jupitermission*. TU Dresden, 2012
- [2] Haase, F.: Interdisziplinäre Projektarbeit: *Auslegung der Raumflugsystems für eine bemannte Jupitermission*. TU Dresden, 2012
- [3] Koßagk M.: Großer Beleg: *Auslegung der Energieversorgung für eine bemannte Jupitermission*. TU Dresden, 2012
- [4] Fruhnert M.; Nutzlastenbeleg: *Auslegung der Antriebseinheiten für eine bemannte Jupitermission*. TU Dresden, 2012
- [5] Nowosielski, R.: Diplomarbeit: *Entwurf einer vorrangig auf Feststofftreibstoffe ausgerichteten Trägerkonfiguration der Ariane 5 als kostengünstige Variante für Nutzlasten größer 20 t in LEO*. TU Dresden, 2012