

# ARV

## Advanced Reentry Vehicle – Interior Concept

Autoren: Prof. Dipl. Designer Werner Granzeier,  
Bengt Brötzmann, Benjamin Hinz, René Waldheuer

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (Dept. F+F)



Bild 1

### Einführung

Durch die Außerdienststellung des Amerikanischen Space Shuttles, ergibt sich eine komplett neue Versorgungssituation der Internationalen Raumstation ISS. Solange das Space Shuttle im Einsatz war, gab es für den Mannschaftstransport kein Problem. Mit vier Flügen pro Jahr versorgte das

Space Shuttle die ISS mit ungefähr 37t Fracht und beförderte pro Start 6-7 Personen zur ISS. Zusätzlich waren noch vier Progress Transporter mit 8.8t Treibstoff und einmal pro Jahr ein ATV/HTV gestartet. Zusammen ergab dies eine Versorgungskapazität von bis zu 60 t pro Jahr.

Durch den Ausmusterungsbeschluss des Space Shuttles ergibt sich eine Versorgungslücke. Eine der ersten Maßnahmen war es ein System zur Wasserdestillation zu entwickeln und im Tranquility Verbindungsknoten zu installieren. Es liefert anders als das russische System auch Sauerstoff. Dadurch sinkt der Bedarf an Wasser und zusätzlichen Gasen um 2.8 t pro Jahr.

Die ESA geht ab Erreichen der vollen Crewstärke von einem jährlichen Bedarf von 32 t Versorgungsgütern aus. Progress, HTV und ATV werden aber nur maximal 22.4 t pro Jahr liefern können. Da die Zahl der Progresstransporter zugunsten doppelt so vieler Sojus Raumschiffe abnehmen wird (da die ISS-Besatzung sich auf sechs Personen verdoppelt und nur drei Personen in der Sojus-Kapsel Platz finden) wird der Servicebedarf sogar noch größer.



**Bild 2:** Space Shuttle mit geöffneter Frachtlücke

Ein weiteres Problem ist die Rückführung von Fracht und Experimenten zur Erde. Da der große Frachtraum des Space Shuttle nicht mehr zu Verfügung steht, treten zusätzliche Probleme auf.

Die Sojus-Kapsel ist zurzeit der einzige Transporter mit einem Hitzeschild für den Wiedereintritt in die Erdatmosphäre. Außerdem kann die Sojus-Kapsel nur 30-50 kg Fracht wieder zur Erde zurück zu bringen. Dies bedeutet, dass eine Vielzahl von Experimenten nicht durchgeführt werden können, da es kaum eine Möglichkeit gibt, sie wieder zur Erde zurück zu bringen.

Unter Berücksichtigung dieser neuen Situation ist es nun naheliegend, dass andere Nationen daran interessiert sind diese Versorgungslücke zu schließen. Da die Versorgungslücke mindestens bis 2015 bestehen wird und die Indienststellung eines neuen Transporters bis dahin andauern wird.



**Bild 3:** Platz in einer Sojus-Kapsel

Hinzu kommt, dass die Sojus in den 60er Jahren entwickelt wurde und sich seitdem an dem Grunddesign nichts geändert hat. Es wurden lediglich einzelne Systeme durch neue ersetzt, aber das Gesamtkonzept ist stets das gleiche geblieben. Deswegen ist es sinnvoll ein neues Transportsystem zu entwickeln, das den heutigen Ansprüchen und Anforderungen gerecht wird.

Die ESA erkannte dieses Problem und beauftragte EADS Astrium im Jahre 2008 damit eine Studie über ein bemanntes Transportsystem zu erstellen, welches in der Lage ist wieder zur Erde zurück zu kehren. Diese Studie wurde zu Beginn ARV (= Advanced Re-Entry Vehicle) genannt.

2009 beauftragte EADS Astrium die Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (Dept. F+F) mit der Vorentwicklung des ARV Interiors als Ergonomie und Design Projekt und dem Bau eines Mock Up im Maßstab 1:1. Unter Leitung von Prof. W. Granzeier entstand die Projektgruppe „Space Interior“. Die Studenten definierten das ergonomische Design-Konzept für das „Leben und Arbeiten im schwerelosen Raum“ und erarbeiteten erste Entwürfe. Das Ziel war die Ergonomie und das Design des ARV an die physiologischen und psychologischen Bedürfnisse der Astronauten und Passagiere anzupassen und nicht den Menschen an das System!

Mit der Unterstützung von Kooperationspartnern bauten die Studenten schließlich das ARV Mock Up im Maßstab 1:1 und setzen die vielen Ideen in die Praxis um. An dem Mock Up wurden dann viele Untersuchungen in den Bereichen Sitzergonomie, Licht mit Farbvarianten, Bauteildefinition und Funktionen, Farben, Oberflächen, Ein- und Ausstieg, Position der Flight Displays, Griffpositionen, u.v.m. durchgeführt.



**Bild 4:** ARV und ISS

## 2.1 Ergonomie- Design Kriterien für Raumkapseln

- Ergonomischer Höchststandart für alle MMS (Mensch-Maschine-Schnittstellen) unter Berücksichtigung der Wahrnehmungsgewohnheiten, Verhaltensweisen sowie Sicherheits-Bedürfnisse ist die fundamentale Voraussetzung.
- Klare und eindeutige Informationen der Bedien-Funktion, der Notfall Informationen und Crew Informationen ist unabdingbar.
- Besondere Designkriterien und Ansprüche werden an Form, Flächen, Farben und optimierte Produktgrafik in allen Bereichen gestellt.
- Höchste Designqualität durch Betreuung der Entwicklung, Konstruktion und Produktion aller Details vom ersten Entwurf bis zum fertigen Mock Up.
- Höchster Standard für Akustik und Klimaführung als Ergänzung zum Designfaktor Passagierkomfort in der Kabine.

### 3. Ergonomie und Funktionskonzept

Innerhalb des Gestaltungsprozesses im General Layout einer Kabine werden aufgrund der technischen, funktionalen und ergonomischen Bedingungen, Vorschriften und Bauanordnungen die Positionen der Nutzungsfunktionen geplant. Insbesondere das Cockpit als Arbeitsumfeld, sowie die Kabine als Lebensraum müssen bestmöglich auf die menschlichen Bedürfnisse zu geschnitten werden. Die Sitze und die Sitzposition der Crew müssen trotz der besonderen Anforderungen beim Start, dem Wiedereintritt in die Erdatmosphäre und der Landung jederzeit eine effiziente und fehlerfreie Arbeitsausführung ermöglichen. Für das Boarding und Deboarding der Raumkapsel sind Zugangsuntersuchungen am Mock Up erforderlich, da die Crew vor allem nach der Landung beim Verlassen der Kapsel Hilfe benötigt.

Der Einfluss auf die Menschlichen Faktoren für das „Leben und Arbeiten im Schwerelosen Raum“ wird im „Human Integration Design Handbook“ der NASA genauer beschrieben.

### 4. Kabinenlayout und Positionen

Nach Definition aller Parameter, Kriterien, Vorschriften und Kundenwünschen werden erste Designkonzepte visualisiert. Im ersten Entwurf wurde eine Kabine für eine drei Mann Besatzung untersucht. Die Sitze sind nebeneinander auf einer Ebene mit gleicher Blickrichtung positioniert. Von den beiden äußeren Sitzen aus wird die Raumkapsel

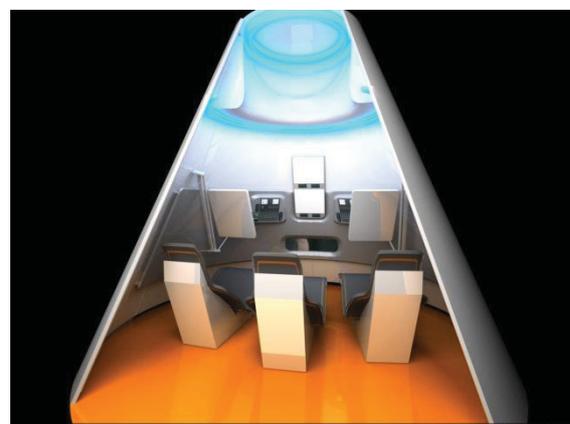
gesteuert. Der mittlere Sitz bekommt aus Gewichts- und Platzgründen keine eigene Instrumente- und Steuerungseinheit.



**Bild 5:** Catia V5 Model des ARV

Auf dem mittleren Sitz wird zudem vorrangig ein Wissenschaftler oder Tourist mitreisen der nicht aktiv in das Fluggeschehen eingreifen wird. Der Flug als solches, sowie das Docking an die ISS geschehen vollautomatisch.

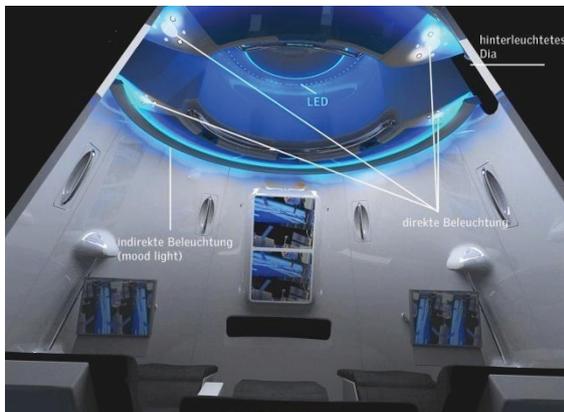
Die manuelle Steuerung durch die Crew erfolgt nur bei einem Ausfall des „Autopiloten“. Die Aufgabe der Crew ist es in erster Line die Systeme zu überwachen und diese ggf. zu korrigieren.



**Bild 6:** Entwurf ARV-Raumkapsel

## 5. Licht und Raumwahrnehmung im Schwerelos Raum

Um einen möglichst angenehmen Flug für die Astronauten und Weltraumtouristen zu gewährleisten ist es unabdingbar das Umfeld der Kapsel so angenehm und komfortabel wie möglich zu gestalten. Durch die bewusste und unterbewusste Wahrnehmung des Menschen in seinem Lebensraum spielt das Lichtkonzept eine entscheidende Rolle bei der Empfindung und der Wahrnehmung seiner Umgebung.



**Bild 7:** Beleuchtungsentwurf

Durch die Lichtkonzeption im Inneren der Kapsel, wird mit Hilfe der Licht Emittierenden Dioden (RGB-LED) ein Wahrnehmungsfeld geschaffen, was einen positiven Physiologischen und Psychologischen Effekt auf den Menschen hat. Durch diese Einflussnahme auf das bewusste und unbewusste Empfinden des Menschen können in einzelnen Phasen solcher Weltraummissionen bestimmte Stimmungen und persönliche Wahrnehmungen positiv beeinflusst und gesteuert werden. Diese positive Beeinflussung macht in gesonderten Bereichen Sinn. Zum einen während der Startphase bei der ein rötlicher Teil im Sichtbaren Lichtspektrum überwiegt

und unbewusst eine erhöhte Aufmerksamkeit der Crew bewirkt.



**Bild 8:** Rotlichtbeispiel im Mock Up

Zum anderen während der Flugphase bei der ein überwiegend bläuliches Lichtspektrum zum Einsatz kommt. Dies sorgt dafür, dass sich die Crewmitglieder nach der Startphase schneller Entspannen und somit einem geringeren Stress ausgesetzt sind.



**Bild 9:** Blaulichtbeispiel im Mock Up

Zur Andockphase wird wieder ein Rötliches Lichtspektrum zum Einsatz kommen um nochmal die Aufmerksamkeit auf das letzte Manöver zu Fokussieren. Durch diese LEDs ist es möglich den gesamten RGB-Farbraum (8-Bit) wiederzugeben. Zudem hat die Crew direkten Einfluss auf die Farbgestaltung ihres Umfeldes.

Ein weiterer Vorteil ist die Verwendung von speziellen UV-LEDs die ein kaltweißes, tageslichtähnliches Licht (5500-6000 Kelvin) erzeugen.



**Bild 10:** Tageslichtbeispiel im Mock Up

Diese UV-LEDs sorgen dafür dass auch ohne direktes Sonnenlicht in der Haut des Menschen das durch die Nahrung vorhandene Vitamin D<sub>2</sub>/D<sub>3</sub> zu dem für den Knochenbau wichtigem Vitamin D synthetisiert wird. Die Vitamine werden den Astronauten mit der Nahrung zwar auch künstlich zugeführt, trotzdem sollte die natürliche Vitaminproduktion nicht außer acht gelassen werden. Desweiteren sorgen diese RGB-LEDs in Kombination mit UV-LEDs für die Bildung von Glückshormonen, den sogenannten Endorphinen im Körper. Diese Endorphine bewirken einen Stressabbau und können zu Glückszuständen führen. Diese Art des Glückszustandes kann allerdings unterschiedlich ausfallen und hängt stark vom jeweiligen Menschen ab. Zusätzlich führt diese Art des Lichtkonzeptes zu weiteren positiven Aspekten, die Depressionen durch Lichtmangel vorbeugen. Da so ein Flug zur Internationalen Raumstation (ISS) bis zu maximal 120 Stunden dauern kann, ist die Belastung der Crew auf

wenigen Kubikmetern zu leben und zu arbeiten eine enorme Herausforderung und sollte daher so angenehm wie möglich gestaltet werden.

### 6.1. Nutzungsidee CrewTransporter

Die primäre Aufgabe des Advanced Reentry Vehicle als Crewversion ist es die ISS-Besatzungen, wissenschaftliche Experimente und lebensnotwendige Versorgungsgüter von Kourou<sup>1</sup> aus zur ISS zu transportieren, und nach ihrem Einsatz auf der ISS wieder sicher zurück auf die Erde zu bringen. Dabei ist der Wiedereintritt in die Erdatmosphäre, bei dem die Raumkapsel nicht verglühen soll, die größte technische Herausforderung.



**Bild 11:** ARV mit Servicemodule

### 6.2. Nutzungsidee CargoTransporter

Vor der Indienststellung des ARV als Crewversion wird es eine Cargoversion geben die die Versorgung der ISS mit den für den täglichen Betrieb notwendigen Versorgungsgütern wie Treibstoff, Sauerstoff, Nahrung, Frischwasser und Ersatzteilen sicherstellt.

<sup>1</sup> *Raketenstartplatz in Französisch-Guayana*

Der Unterschied zu dem bereits mehrfach eingesetzten Automated Transfer Vehicle (ATV) ist dass die ARV Cargoversion ein wiederverwendbarer Weltraumfrachter ist, der beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre nicht verglüht. Somit wird es wieder möglich sein wissenschaftliche Experimente und teure technische Geräte nach ihrer Zeit auf der ISS wieder zurück zur Erde zu bringen.

Die Reentry Cargoversion wird zudem als erweiterte Testplattform für den Hitzeschild dienen, um für den bemannten Erstflug der ARV Crewversion genügend Daten für den Wiedereintritt zu sammeln.

### 6.3. Nutzungsidee Weltraumtourismus

Langfristig gesehen bietet sich die Möglichkeit die ARV Raumkapsel auch für den immer beliebter werdenden Weltraumtourismus einzusetzen. Bei der Sojus Raumkapsel wird dies bereits solventen Zivilisten angeboten und garantiert mit einem Ticketpreis von derzeit 30 Millionen US-Dollar Exklusivität. Somit gibt es auch für die Zeit nach der Außerdienststellung der ISS eine finanziell lukrative Verwendung für die ARV Raumkapsel. Um den zukünftigen Weltraumtouristen einen möglichst komfortablen Aufenthalt im Weltraum anzubieten müssen bereits bestehende Ergonomie und Design Standards aus der zivilen Luftfahrt übernommen und für die Besonderheiten im schwerelosen Raum optimiert werden. Das Design muss den wachsenden Ansprüchen der multimillionen

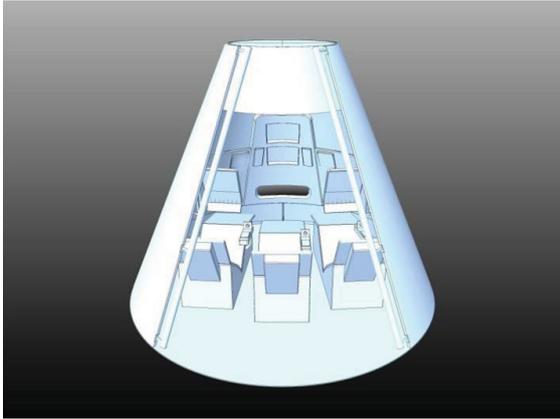
schweren Passagiere genügen und sollte nicht den Eindruck einer fliegenden Konservendose hinterlassen.



**Bild 12:** ARV Mock Up

### 7.1. ARV Mock Up

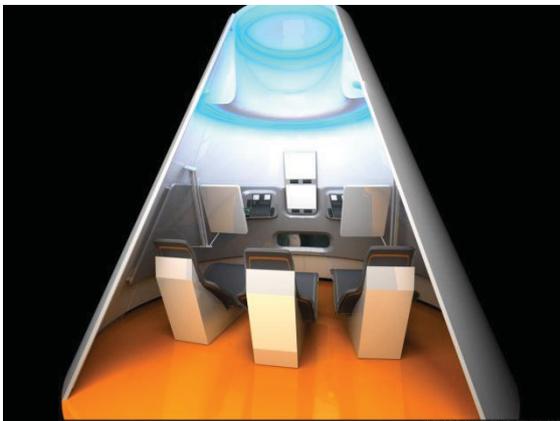
Das Mock Up wurde durch die Studentengruppe „Space Interior“ des Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau der HAW Hamburg geplant, konstruiert und anschließend in Zusammenarbeit mit einer Tischlerei gebaut. Die Erstellung des Mock Up wurde in 8 wöchiger Arbeitsphase erstellt und gefertigt. Im Laufe der Herstellung wurden alle Aspekte und Gesichtspunkte aus Ergonomie und Design berücksichtigt und wurden eins zu eins an dem Mock Up angewandt. Die zahlreichen Vorschläge und Ideen die sich während der Vorbereitungsphase der Studentengruppe ergaben, wurden indem Mock Up umgesetzt. Bevor das Mock Up in die Bauphase ging, wurden alle Ergebnisse der Studenten gesammelt und in einem Konstruktionsprogramm dargestellt. Aus den gewonnen Konstruktionsdaten wurde dann anschließend ein Rendering erstellt.



**Bild13:** Erster Entwurf



**Bild 16:** Verschalung der Wände



**Bild 14:** Rendering des Mock Up



**Bild 17:** RGB-Beleuchtung

Nachdem die ganzen Verschalungsarbeiten abgeschlossen waren, konnte das Lichtsystem eingebaut werden.

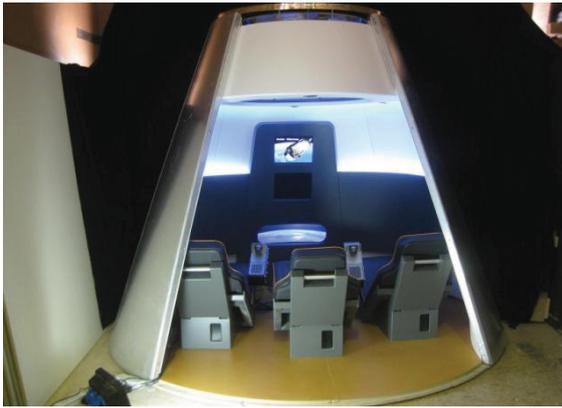


**Bild 15:** Aluminiumhülle des Mock Up

Nachdem die Aluminiumhülle vorbereitet wurde, konnte mit dem Innenausbau begonnen werden.



**Bild 18:** Einbau und Position der Sitze



**Bild 19:** Mock Up mit Flight Computer

Als letztes wurde der Flight Computer eingebaut, der mit jedem Sitz verbunden ist. Von dem Sitz aus kann dann das Simulationsprogramm zum Andocken an die ISS gesteuert werden.



**Bild 20:** Mock Up mit Servicemodul

## 7.2. ARV Mock Up auf der Paris Airshow 2009

Im Juni 2009 wurde das fertige ARV Mock Up auf dem EADS Messestand in Le Bourget zum ersten Mal der Öffentlichkeit präsentiert. Die Studenten erhielten von den vielen Fachbesuchern ein durchweg positives Feedback zu ihrer Arbeit und bekamen u.a. durch Thomas Reiter neue Anregungen und Ideen für die weitere Entwicklung der ARV Kabine.



**Bild 21:** ARV Mock Up auf dem EADS Messestand in Le Bourget 2009

## 7.3. ARV Mock Up auf der Aircraft Interiors Expo (AIX) 2010 in Hamburg

Im Mai 2010 feierte das ARV Mock Up auf der AIX seine Deutschlandpremiere. Die Studenten der „Space Interiors Projektgruppe“ präsentierten auf ihrem Messestand dem Fachpublikum, Vertretern aus Politik und Wirtschaft, sowie der Presse ihr Projekt. Im Laufe der Ausstellung lobte das Fachpublikum das innovative und ansprechende Design des ARV.



**Bild 22:** ARV auf der AIX 2010

#### 7.4. ARV Mock Up auf der ILA 2010 in Berlin

Auf der ILA 2010 wurde das Mock Up auf dem Messestand der Metropolregion Hamburg ausgestellt. Das ARV konnten mit seinem voll funktionsfähigen „Flight und Docking Simulator“ vor allem viele junge Besucher für die bemannte Raumfahrt begeistern.



**Bild 23:** ARV Mock Up auf der ILA

#### 8. Ergonomie und Design in der Raumfahrt

Aus den Erfahrungen die dieses Projekt vermittelte, wurde schnell klar, dass es in dem Bereich der Raumfahrt bis heute üblich ist, dass der Mensch sich an das System anpassen muss. Dieses begründet sich sicherlich noch aus den Anfängen der Raumfahrt, als es üblich war, dass die Missionen nur wenige Stunden oder ein paar Tage dauerten. Aber mit dem Fortschritt der Technik und Technologien im Raumfahrtbereich, wurden die Missionen immer länger und aufwendiger. An den Konzepten für die Unterbringung und das Arbeiten des

Astronauten im schwerelosen Raum hat sich im Gegensatz zur Technik nicht allzu viel geändert. In erster Linie spielen Leichtbau und Maximale Raumausnutzung die größte Rolle. Dennoch ist es möglich Ergonomie und Design mit Kosten und Nutzen in Einklang zu bringen, sodass eine optimale Ausnutzung des Raumes gewährleistet ist, aber trotzdem noch ein verträglicher Komfort und ein nutzvolles Arbeitsumfeld gewährleistet wird.

Durch die gute Zusammenarbeit zwischen EADS Astrium und der HAW Hamburg im Rahmen dieses Projektes, ist eine weiterführende Kooperation entstanden, die bis heute anhält. Derzeit ist die HAW Projektgruppe mit der weiteren Entwicklung der ARV Kabine im Rahmen der Machbarkeitsstudie (Phase A) beauftragt.

Quellenangaben:

- Fotos und Renderings ohne Angaben vom Verfasser und iDS Hamburg
- Foto 21: Show News Paris Airshow
- Foto 22: Hamburger Abendblatt
- Bild 1,4,5,11: EADS Astrium
- Bild 2: NASA
- Bild 3: S.P. Korolev RSC Energia
- Human Integration Design Handbook, NASA
- Studienfach Ergonomie und Design an der HAW Hamburg

Copyright 8/2011: Prof. Werner Granzeier, Bengt Brötzmann, Benjamin Hinz, René Waldheuer