

Das SSETI Projekt an der Universität Stuttgart

ÜBER SSETI

Die Student Space Exploration and Technology Initiative (SSETI) wurde im Jahr 2000 von der Europäischen Raumfahrtagentur (ESA) mit dem Ziel gegründet, ein Netzwerk zwischen Studenten, Universitäten und der Industrie zu bilden. Im Rahmen dieses Netzwerkes werden von den Studenten Satelliten konstruiert, gebaut und letztendlich betrieben. Diese praktischen Erfahrungen in Raumfahrtprojekten kommen der Industrie über zukünftige qualifizierte Mitarbeiter zu Gute. Desweiteren findet ein Wissens- und Erfahrungstransfer auf eine neue Generation statt, durch den auch die transeuropäische Zusammenarbeit gefördert wird.

Über die SSETI Association, eine von beteiligten Studenten gegründete Organisation nach französischem Recht, arbeiten momentan ca. 400 Studenten aus 11 europäischen Ländern an drei Raumfahrtprojekten. 24 unterschiedliche Teams von 23 Universitäten sind beteiligt.

Die ESA kommt für die Startkosten der Satelliten auf, während die Studenten ihre Ausgaben hauptsächlich über Sponsoren und andere Fördermittel selbst finanzieren müssen. Ohne die Unterstützung der Industrie wären die Satellitenprojekte daher nicht durchführbar. Aufgrund der räumlichen Trennung der Studententeams erfolgt die Kommunikation untereinander über Internet, Chat, Telekonferenzen, Newsgroups und Email. Dafür und für den Datenaustausch über FTP ist eine eigene Infrastruktur mit entsprechenden

Kapazitäten eingerichtet worden. In regelmäßigen Abständen werden bei der ESA Projektworkshops gehalten, bei denen Vertreter aller beteiligten Teams zusammenkommen und die weiteren notwendigen Schritte der jeweiligen Projekte planen.



Bild 1: Teilnehmende Universitäten der SSET Initiative

An der Universität Stuttgart sind durchschnittlich etwa 20 Studenten der Luft- und Raumfahrttechnik aktiv, seit dem Jahr 2000 arbeiteten insgesamt etwa 100 Studenten an der Initiative mit. Fachlich unterstützt wird das Team durch die Fakultät Luft- und Raumfahrttechnik und Geodäsie sowie durch Experten von der ESA und aus der Industrie.

SSETI MISSIONEN

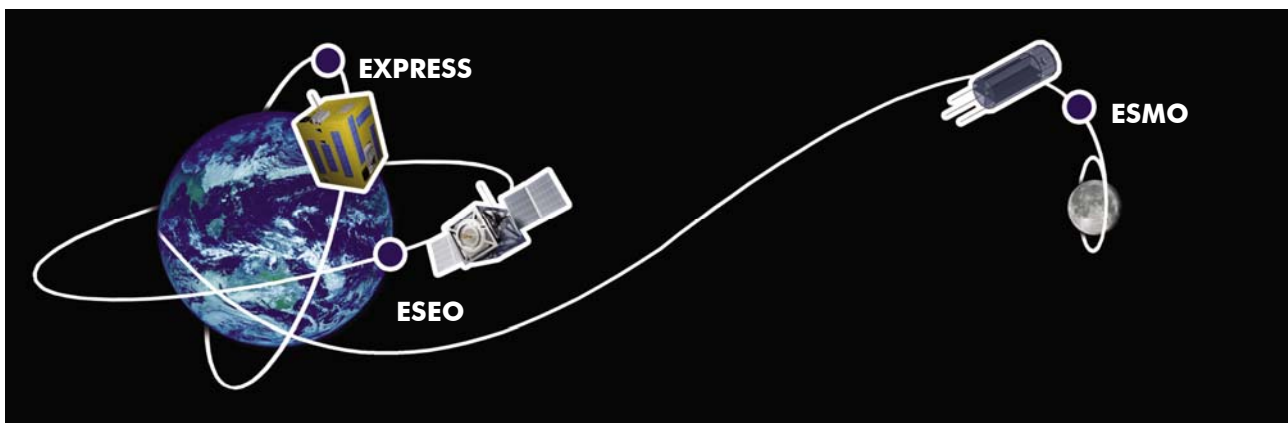


Bild 2: Überblick über die geplanten SSETI Missionen: EXPRESS, ESEO, ESMO

Momentan wird innerhalb der Initiative an drei Projekten gearbeitet, die sich mit dem Bau und Betrieb unterschiedlicher Satelliten befassen, wobei die dabei anfallenden Tätigkeiten ausschließlich von Studenten durchgeführt werden. Unterstützt werden die Studenten bei allgemeinen Fragen zum einen von Experten bei der ESA, zum anderen durch die jeweiligen Universitäten.

EXPRESS

Als erste Mission war der European Student Earth Orbiter (ESEO) geplant, welcher mit einem Gewicht von 120kg als Mikro-Satellit der ASAP5 Klasse für einen Start mit der Ariane 5 ausgelegt wurde. Im Laufe der Entwicklung zeigten sich Schwierigkeiten bei der Koordination der 24 europäischen Teams, außerdem warfen verschiedene Hardwaredetails neue Fragen auf. Deshalb wurde die auf ESEO basierende „low cost, quick launch“ Mission EXPRESS begonnen, um bereits vorhandene Hardware im Orbit zu qualifizieren sowie als zusätzliche Missionsziele die Zusammenarbeit mit der Amateurfunkervereinigung AMSAT durch einen Radiotransponder zu verstärken, 3 Picosatelliten (Cubesats) auszusetzen und Fotos der Erde aufzunehmen.

ESEO

Der European Student Earth Orbiter (ESEO) wird momentan konstruiert und ausgelegt; der Start ist für das Frühjahr 2008 vorgesehen. In den nächsten Monaten werden die Details verfeinert und erste Testmodelle einzelner Komponenten entstehen.

ESMO

Das dritte Projekt, der European Student Moon Orbiter (ESMO), ist zum aktuellen Zeitpunkt noch eine reine Machbarkeitsstudie. Bei Express und ESEO handelt es sich um Erdsatelliten, ESMO soll in einen Mondorbit gelangen. Das Antriebssystem wird für diese Mission von entscheidender Bedeutung sein.

Die Erkenntnisse und Erfahrungen die beim Bau von EXPRESS gemacht wurden, werden im Design von ESEO berücksichtigt, ebenso soll dies in Hinblick auf ESMO geschehen.

Die einzelnen Satelliten-Subsysteme sind unter den teilnehmenden Teams aufgeteilt, das Team an der Universität Stuttgart ist für die Antriebssysteme der Satelliten verantwortlich.

	SSETI EXPRESS	ESEO	ESMO
Masse	62 kg	ca. 120 kg	ca. 300 kg
Abmaße	60 x 60 x 65 cm ³	60 x 60 x 71 cm ³	max. Ø150 x 150 cm ³
Start	27. Oktober 2005	Ende 2008	2010 – 2012
Missionsziele	<ul style="list-style-type: none"> • Start und Aussetzen von drei CubeSats • Systemtests und Technologieerprobung • Bilder der Erde • Radiotransponder 	<ul style="list-style-type: none"> • Hochauflösende Bilder der Erde • Technologieerprobung • Strahlungsmessung im Van Allen Belt • Weitere wissenschaftliche Nutzlast 	<ul style="list-style-type: none"> • Erreichen einer stabilen Mondumlaufbahn • Bilder des Mondes • Weitere wissenschaftliche Nutzlast
Launcher	Cosmos 3M	Ariane 5 geplant	Ariane 5 geplant
Orbit	Niedriger Erdorbit (LEO), polar, sonnensynchron	Hochelliptischer Erdorbit (GTO)	Mondorbit
Aufgaben des Stuttgarter Teams	<ul style="list-style-type: none"> • Lageregelungssystem als Nutzlast 	<ul style="list-style-type: none"> • Operationelles Lageregelungssystem • Orbitantrieb mit Schubvektorsteuerung 	<ul style="list-style-type: none"> • Operationelles Lageregelungssystem • Hauptantrieb für Mondtransfer

SSETI EXPRESS

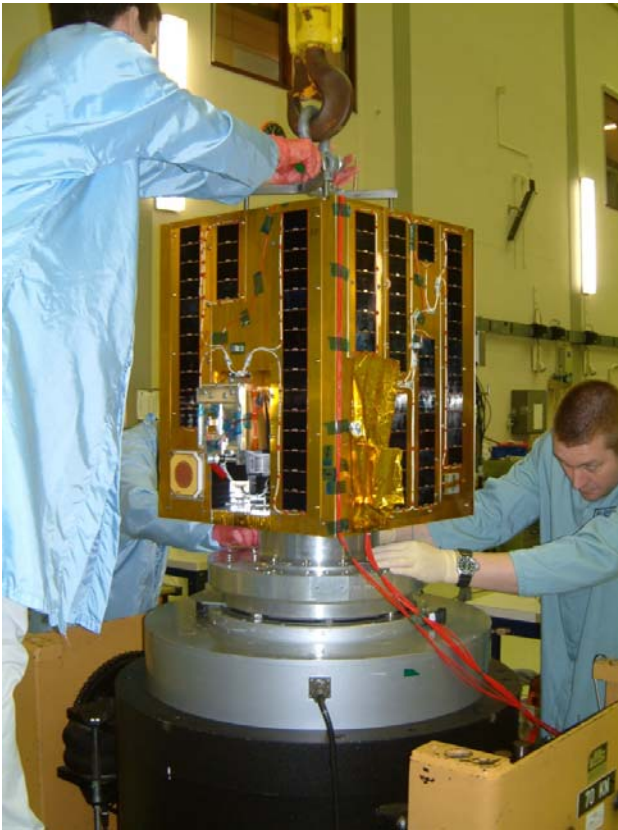


Bild 3: Der fertig integrierte SSETI EXPRESS Satellit bei Vibrationstest beim ESTEC in Holland

Der EXPRESS Satellit ist etwa $60 \times 60 \times 65 \text{ cm}^3$ groß, hat ein Gewicht von 62kg und wurde am 27. Oktober 2005 mit einer russischen Trägerrakete COSMOS-3M auf einen sonnensynchronen Orbit (Höhe 686km, Inklination $98,3^\circ$) gebracht. Mit an Bord ist auch das Lageregelungssystem (Attitude Control System - ACS) des Stuttgarter Teams, welches im Rahmen einer zweiwöchigen Testkampagne im Orbit qualifiziert werden soll.

Das Design des Antriebssystems

Das entworfene Antriebssystem, in der Konfiguration als Nutzlast der EXPRESS Mission, ist nur für die Qualifikation des Lageregelungssystems geplant. SSETI Express verfügt darüber hinaus über ein operationelles Lageregelungssystem, welches mit Magnetometern und Magnetspulen arbeitet. Bei einem Ausfall des Kaltgassystems kann der Satellit damit jederzeit in eine sichere Fluglage gebracht werden. Dieses System wird vom dänischen Team bereitgestellt.

Die wichtigsten Aspekte des Designs für ein von Studenten gebautes Antriebssystem sind Kosten, Sicherheit und ein möglichst einfacher technischer

Ansatz. Aufgrund der Sicherheitsrisiken ist es für Studenten unmöglich ein System zu verwenden, welches mit giftigen Treibstoffen operiert. Auch elektrische Antriebe, welche aufgrund ihres hohen Strombedarfs große Solarzellen benötigen, widersprechen dem Wunsch nach einem einfachen System.

Da das Projekt vollständig von Sponsoren finanziert wird, müssen alle Komponenten außerdem preiswert und zuverlässig sein. Davon ausgehend entschieden sich die Stuttgarter Studenten ein Kaltgasantriebssystem zu verwenden, welches gasförmigen Stickstoff als Treibstoff verwendet.

Um die Kosten zu reduzieren, wurden so wenig weltraumqualifizierte Teile wie möglich eingesetzt. Ein Beispiel dafür ist der Tank, welcher den Treibstoff mit einem Druck von 300bar bereitstellt. Normalerweise sind derartige Tanks in Titanausführung sehr teuer, da sie zahlreiche Belastungstests überstehen müssen und trotzdem noch sehr leicht sein sollen. Die Studenten entschieden sich dafür, eine leichte, komplett aus Kohlefaser gefertigte Atemgasflasche einzusetzen, welche durch ihren Einsatz bei der Feuerwehr bereits vorqualifiziert war.

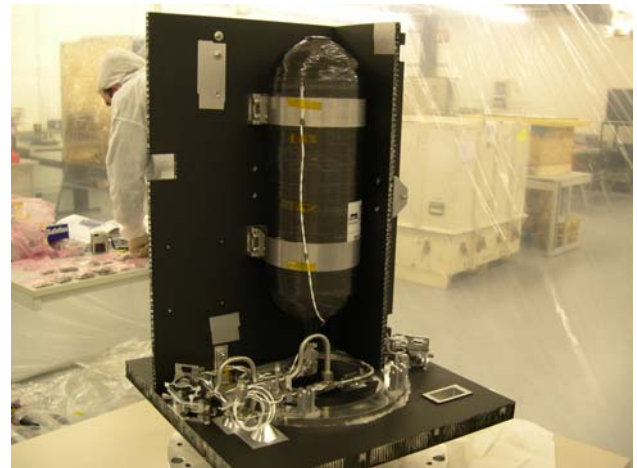


Bild 4: Der Tank und das Rohrleitungssystem bei der Integration in die Hauptstruktur in Stuttgart

Um den Druck bis zum gewünschten Arbeitsbereich der Düsen zu regulieren, wird das sogenannte Propellant Management System (PMS) verwendet. Zur Erhöhung der Genauigkeit erfolgt die Regelung dabei über zwei Drucklevel. Um den Druck in allen drei Bereichen kontrollieren zu können wurden drei Drucksensoren eingebaut. Desweiteren gibt es zwei Ventile mit denen der

Tank gefüllt bzw. das Antriebssystem getestet werden kann. Aus Sicherheitsgründen wurde außerdem ein pyrotechnisches Ventil eingebaut, welches den Hochdruckbereich während der Startphase sichert. Im Falle eines Fehlers im Düsenbereich kann die Treibstoffzufuhr mit einem weiteren Sicherheitsventil abgeschaltet werden.

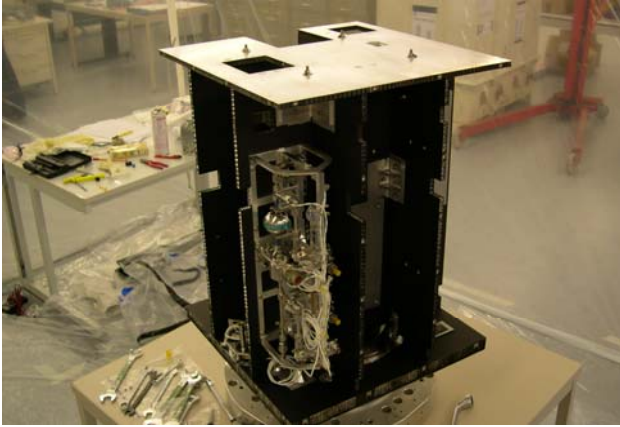


Bild 5: Die Hauptstruktur des SSETI EXPRESS Satelliten mit vollständig integriertem Antriebssystem aus Stuttgart

Nach dem PMS wird der Treibstoff durch Edelstahlleitungen zu den zwei ACS Düseneinheiten (ACS Cluster) gefördert. Jede Düseneinheit besteht dabei aus zwei Düsen, welche in einem Winkel von 90° zueinander angeordnet sind. Durch die ACS Cluster ist eine Lageregelung des Satelliten um alle drei Achsen möglich. Da die Düsenventile sehr klein sein müssen, wurden an dieser Stelle Ventile aus der Medizintechnik eingesetzt.

Zusammenbau, Integration und Test

Aufgrund der großen Vorarbeit, welche bereits im Rahmen der Arbeit an ESEO geleistet wurde, konnte das Design für das Lageregelungssystem an Bord von EXPRESS bereits drei Monate nach dem Kick-Off Meeting fertiggestellt werden.

Nach anfänglichen Problemen bei der Sponsorsuche konnten im Juni die ersten Teile bestellt werden. Alle Sonderanfertigungen (die Befestigung für den Tank, die Struktur des PMS und der ACS Cluster, etc.) wurden parallel dazu in den Werkstätten von Universität und Sponsoren - teils von den Studenten selbst - hergestellt. Danach begann parallel der Zusammenbau aller Subsysteme. Eine der ersten Aufgaben war dabei das Elektronenstrahlschweißen einzelner PMS Bauteile, welches speziell bei der Arbeit am pyrotechnischen Ventil eine große Herausforderung darstellte. Neben diesen Tätigkeiten

wurden zahlreiche Tests einzelner Komponenten (Tieftemperaturtest, Schubmessung, etc.) erfolgreich durchgeführt.

Im Rahmen eines Workshops mit dem Team der Universität EPFL Lausanne wurde das Zusammenspiel des Antriebssystems mit der Steuerelektronik getestet.

Für den abschließenden Vibrationstest mit einem bedruckten Tank, gesponsert und durchgeführt von der Industrieanlagen Betriebsgesellschaft mbH (IABG), wurde die Primärstruktur des Satelliten nach Stuttgart gebracht und das Antriebssystem eingebaut. Der Einbau erfolgte in einem von den Studenten gebauten Reinraumzelt, um Verunreinigungen des Satelliten auszuschließen. Dank der Hilfe des System Engineering Teams konnte die Integration in nur drei Tagen abgeschlossen werden, wobei nach jedem Schritt zahlreiche Funktionstests durchgeführt wurden. Nach dem Vibrationstest konnten dann die letzten fehlenden Kabel und Stecker entsprechend der Vorgaben eingebaut werden. Schließlich wurde der Satellit mit vorintegriertem Antriebssystem zur Endintegration der restlichen Systeme zur ESA verschifft.

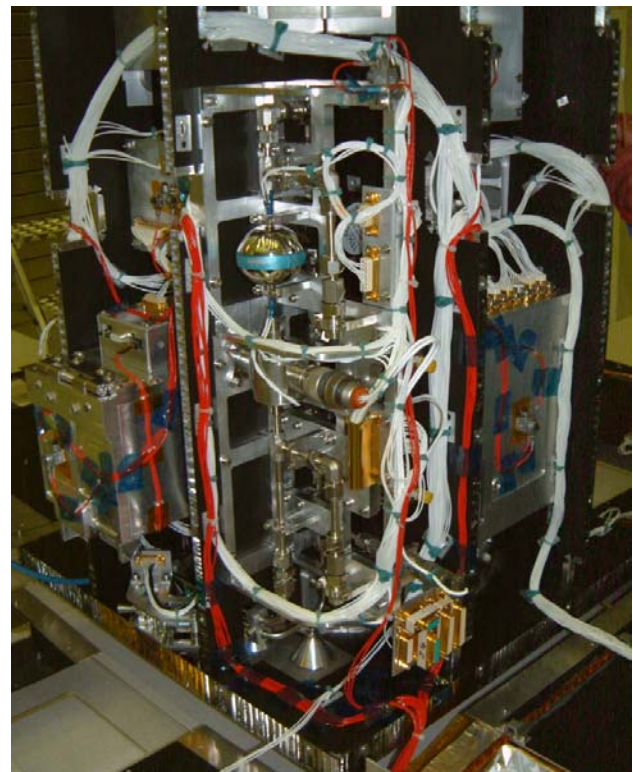


Bild 6: Die Treibstoffregelungseinheit (PMS) des Stuttgarter Antriebssystems beim Vibrationstest bei der IABG in München

Betrieb des Antriebs

Das Antriebssystem und die Steuerelektronik werden durch den Mission Control Computer in Aalborg (Dänemark) gesteuert. Dazu wird sich während der Betriebsphase des Satelliten (nominell ca. 2 Monate) zeitweise ein Mitglied des Propulsion Teams in Aalborg befinden, um die Telemetriedaten auszuwerten und Kommandos an die Steuerelektronik vorzubereiten.

Etwa eine Woche nach dem Start wird das Antriebssystem als erste der Nutzlasten aktiviert und in einem ausführlichen Testprogramm im Orbit auf seine Funktionalität und Leistungsfähigkeit überprüft. Im Anschluss wird es testweise die Lageregelung des Satelliten übernehmen, um zusätzliche Aufnahmen mit der Kamera zu ermöglichen.

SSETI ESEO

Der European Student Earth Orbiter wird einen ähnlichen Aufbau wie EXPRESS besitzen. Die Komplexität des Gesamtsystems wird höher als bei Express liegen - beim Antrieb beispielsweise wird neben dem Lageregelungssystem auch ein Orbitantrieb vorhanden sein. Weiterhin werden ausklappbare Solarflächen zusätzliche elektrische Leistung bringen, die für wissenschaftliche Experimente genutzt wird. Diese Experimente werden ebenfalls von Studententeams des SSETI Projektes

Das Design wurde an einigen Stellen aufgrund von bei EXPRESS gewonnenen Erfahrungen verändert, so zum Beispiel die Hauptstruktur des Satelliten.



Bild 7: Animation von ESEO über der Erde

Die Missionsziele von ESEO bestehen aus dem erfolgreichen Betrieb des Satelliten, der Aufnahme von höher auflösenden Fotos der Erde als bei EXPRESS, sowie aus dem Betrieb der zusätzlichen wissenschaftlichen Nutzlast.

Das Design des Antriebssystems

Das Kaltgasantriebssystem aus Stuttgart wird bei ESEO als einziges Lageregelungssystem verwendet werden und somit zu jeder Zeit der Mission die

korrekte Ausrichtung des Satelliten steuern. Erkenntnisse aus EXPRESS tragen deshalb entscheidend zur Qualifikation dieses Systems bei.

ESEO wird im Gegensatz zu EXPRESS neben der exakten Ausrichtung im Raum durch das Lageregelungssystem auch die Orbithöhe über den Gebrauch des Hauptantriebes in einem gewissen Rahmen anpassen können. Dabei entstehende Störmomente, welche durch den Abstand des Satellitenschwerpunktes zur Schubachse des Hauptantriebes verursacht werden, können entweder durch das Reaktionskontrollsystem ausgeglichen werden, oder aber durch eine schwenkbare Schubdüse von Anfang an vermieden werden. Das System, welches bei ESEO das Schwenken der Schubdüse ermöglicht, wird als Schubvektorsteuerung bezeichnet und ist im Einsatz auf Kleinsatelliten bisher einzigartig. Bei einem Ausfall kann das aus Redundanzaspekten mitgeführte Reaktionskontrollsystem die Störmomente ausgleichen.

Das Prinzip der Druckregelung von den Tanks zu den Düsen wird dem bei EXPRESS verwendeten sehr ähnlich sein, allerdings sind drei unterschiedliche Ausgangsdrücke zu erreichen, wodurch die Komplexität im Vergleich zu EXPRESS deutlich steigt.

Durch den Hauptantrieb steigt die benötigte Treibstoffmenge stark an, weswegen bei ESEO drei Kohlefasertanks verwendet werden.

Zeitplanung

Das detaillierte Design von ESEO wird im Dezember 2005 abgeschlossen sein, daran anschließend folgt 2006/2007 die Testphase, bei der einzelne Komponenten und Subsysteme gebaut sowie im Systemverband auf ihre Funktion hin überprüft werden. Sich daraus ergebende

Designänderungen werden anschließend implementiert. Der Bau des Flugmodells erstreckt sich über das Jahr 2007; bis zum Start Ende 2008 sind Qualifikations- und Verifikationstests des gesamten Systems geplant.

Für das Stuttgarter Team bedeutet dies, dass ab Oktober 2005 die Hardwarebeschaffung beginnen wird, während dann ab Dezember parallel Tests auf Komponentenebene anfangen.

AUSBLICK

Nachdem im Oktober 2005 die EXPRESS Mission gestartet wurde, wird im Dezember ein ESEO-Workshop stattfinden, auf dem das detaillierte Design des gesamten Satelliten festgelegt wird. Daran anschließend kann mit der Fertigung der ersten Komponenten begonnen werden.

Für den European Student Moon Orbiter als Steigerung zu ESEO hat bereits Anfang Oktober ein erster Workshop in Saragossa stattgefunden, auf dem Missionsziele und Grundideen festgehalten wurden. Parallel zur Fertigung von ESEO soll dann die Planung von ESMO vorangetrieben werden, wobei durch das vorhan-

dene Netzwerk zwischen Industrie und Studenten sowie durch die gewonnenen Erkenntnisse aus bisherigen Projekten der Bau komplexerer Systeme, die für einen Mondsatelliten nötig sind, erst möglich wird.

Allgemein soll auch zukünftigen Studenten die einzigartige Möglichkeit zur Mitarbeit in einem Raumfahrtprojekt und damit das Sammeln von Praxiserfahrung im Studium ermöglicht werden. Dies stellt eine herausragende Zusatzqualifikation für den weiteren Berufsweg im Raumfahrtsektor dar.

KONTAKT

Postanschrift

SSETI Propulsion Team
Institut für Raumfahrtsysteme
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 31
D-70550 Stuttgart

Teamleitung

Nils Harmsen
Tel: 0163 / 795 2878
Fax: 0711 / 685 3596
Mail: harmsen@sseti.de
Web: www.sseti.de