

# On Orbit Servicing - Verlängerter Arm des Menschen

- Inspektion und Wartung von langlebigen Raumfahrzeugen
- Reparatur von havarierten Raumfahrzeugen
- Aufbau und Betrieb von Raumstationen

## Gegenwart

### Manned On-Orbit Servicing

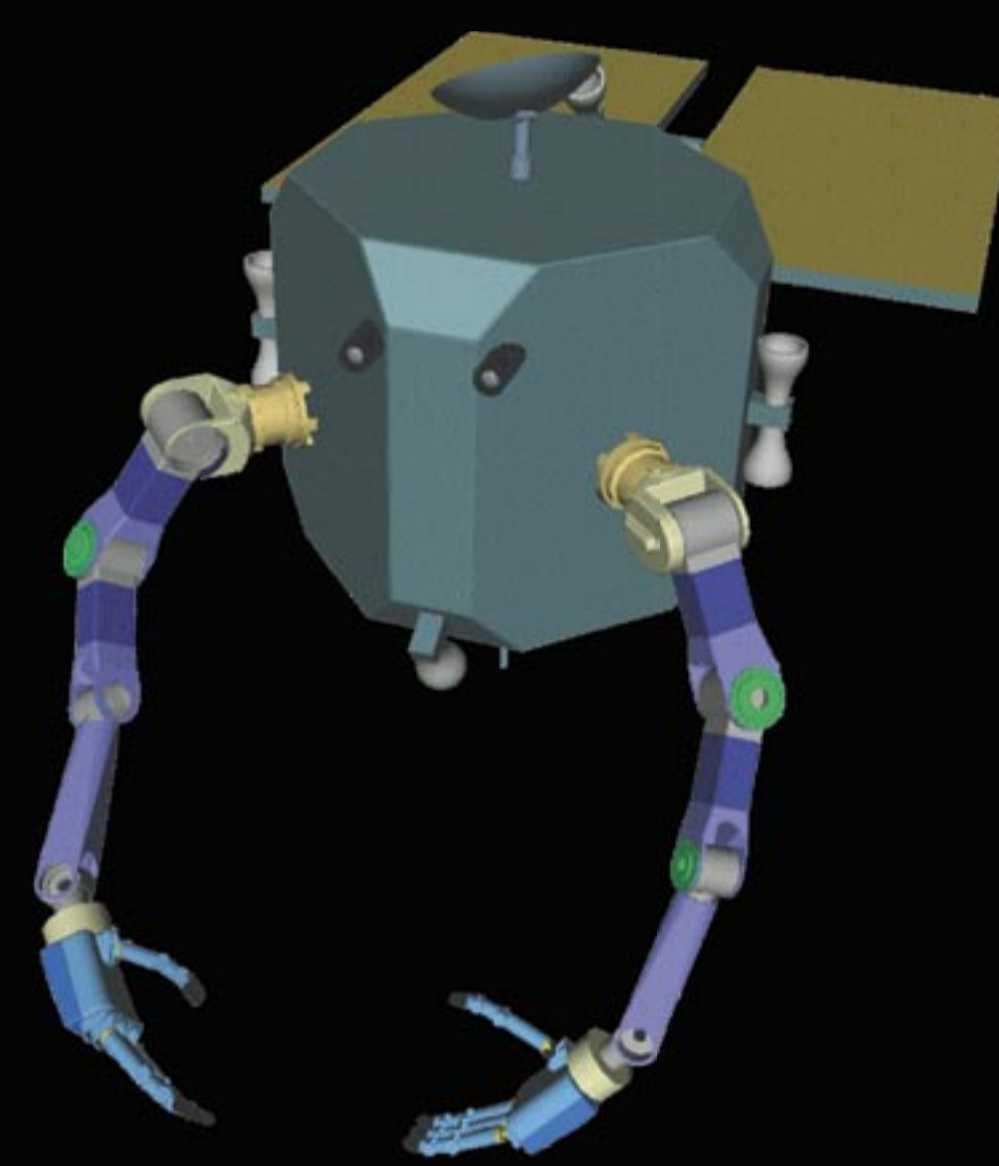
Manned On-Orbit Servicing bedeutet bemannt durchgeführte Wartungs- oder Reparaturarbeiten in der Umlaufbahn. Verbunden damit sind

- großer Aufwand
- hohe Kosten

und werden daher selten durchgeführt.



Wartungsarbeiten am Hubble-Teleskop



Telepräsenz-Link

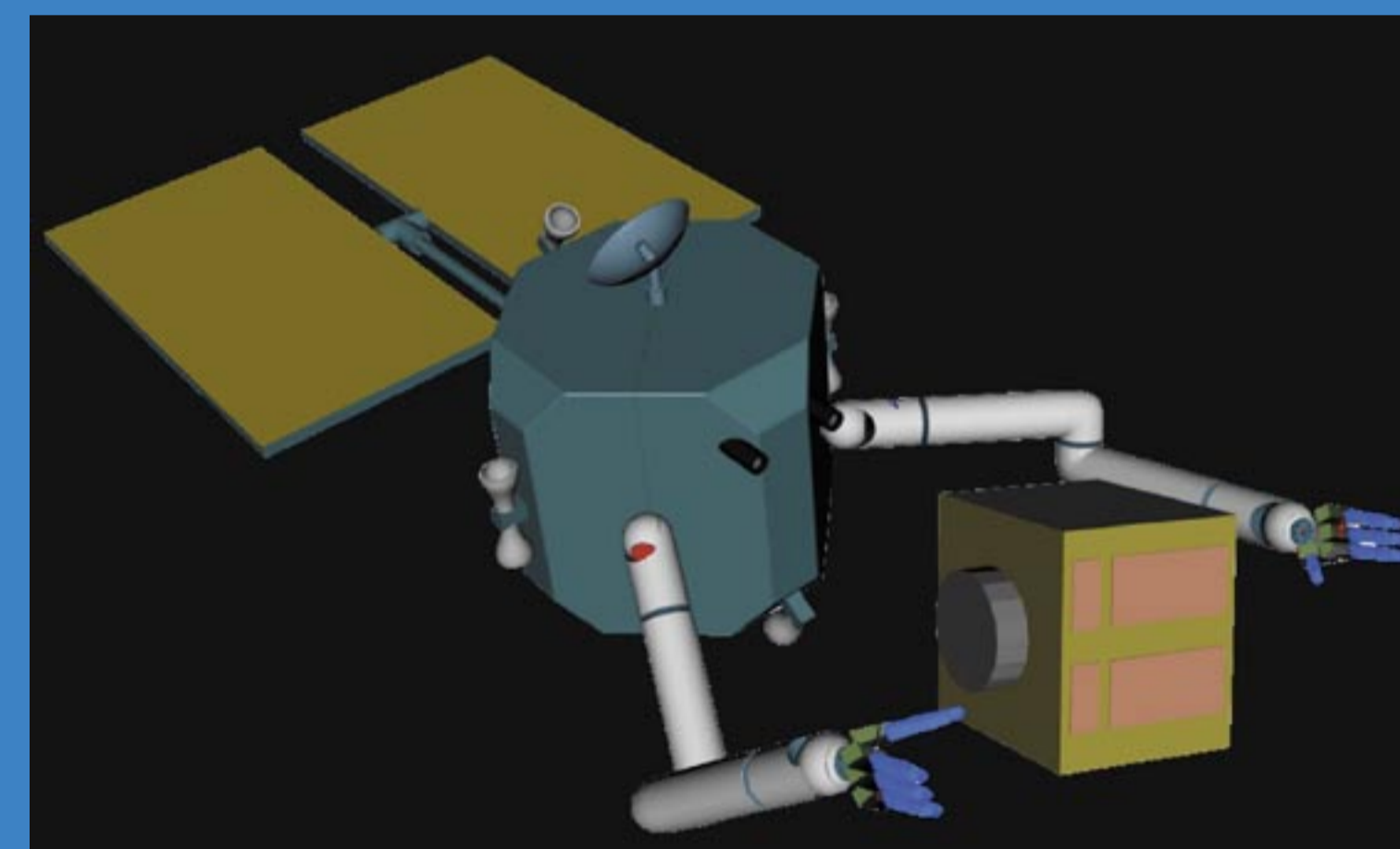
## Zukunft

### Robonaut

Integrierter "humanoider" Service-Satellit, mit

- Stereo-Augen
- feinfühligen Armen und Händen
- freie Bewegung im Weltraum

Entstehung eines HVA-Raumes im Weltraum - Telepräsenste Steuerung durch Bediener am Boden

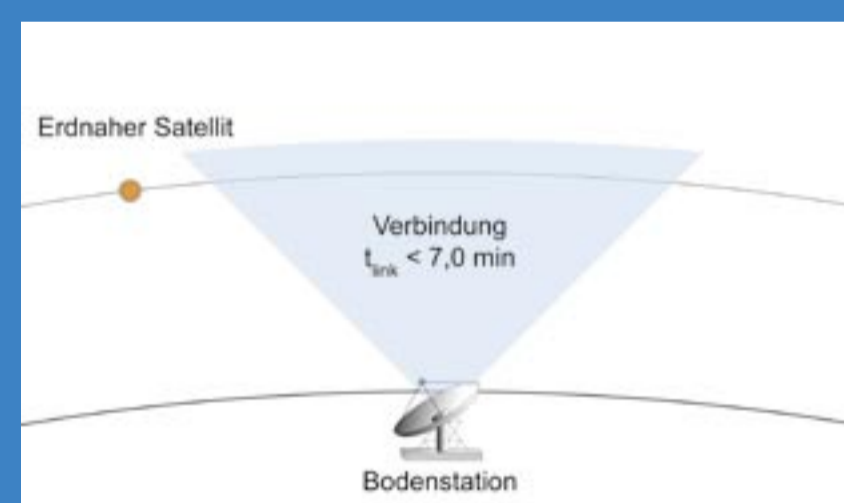


Robonaut - Künstlerische Darstellung

### Kommunikation

**Signallaufzeit:** Bei derzeitigen Missionen beträgt die Roundtrip-Verzögerungszeit in der direkten Interaktion ca. 6,0 bis 7,0 Sekunden (vgl. ROTEX, GETEX). Die Ursachen liegen im Wesentlichen bei den Rechner-Ketten (Delay) und der Protokollkonvertierung.

**Direkte Sicht:** Bei Verwendung einer direkten Funkverbindung ist die Interaktion mit dem Raumfahrzeug aufgrund der kurzen Sichtbarkeit niedrig-fliegender Satelliten zeitlich sehr begrenzt (< 7,0 min).

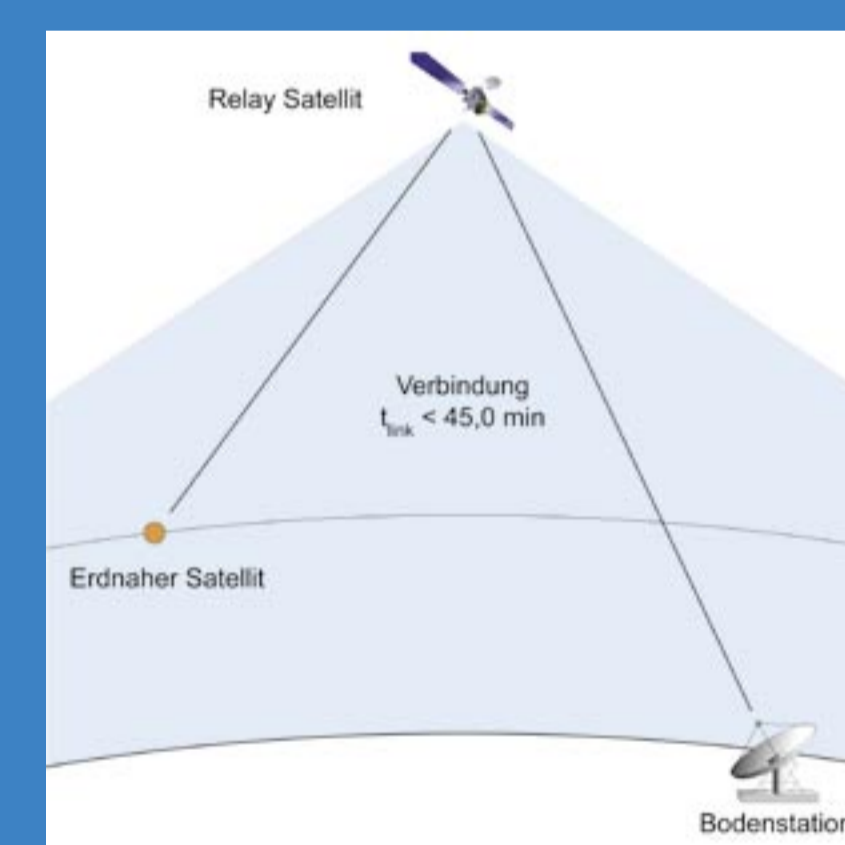


Die Durchführung einer Serviceanwendung während eines solchen Sichtfensters ist nur kaum möglich.

### Schnelle Kommunikation

**Systemtotzeit:** Durch die Reduzierung der Boden-segmente und geeignete Protokollanpassungen (CCSDS-Standard) an die Anforderungen der Telepräsenz wird eine Verringerung der Systemtotzeit erreicht.

**Relay-Satellit:** Die Verwendung eines Relay-Satelliten für Telepräsenz Anwendungen erhöht die Verbindungszeit zum Service-Satelliten auf bis zu 60% der möglichen Gesamtverbindungszeit. Eine Kombination von mehr als einem Relay-Satelliten kann dabei die Kontaktzeit sogar auf bis zu 100% der Orbitdauer erhöhen.



### Klassische Operatorstation

- Akkustische und visuelle Interaktion mit dem Astronauten
- Überwachung der Housekeeping-Daten
- Generierung und Überwachung von Ablaufprozeduren
- evtl. modellbasierte Simulation und Fernprogrammierung (ROTEX)



### Multimodale Operatorstation

Die verschiedenen Modalitäten des HVA-Arbeitsraumes werden dem Bediener auf intuitive Weise durch geeignete technische Geräte dargestellt. Das Ziel ist eine möglichst wirklichkeitsnahe Immersion in die entfernte Umgebung.

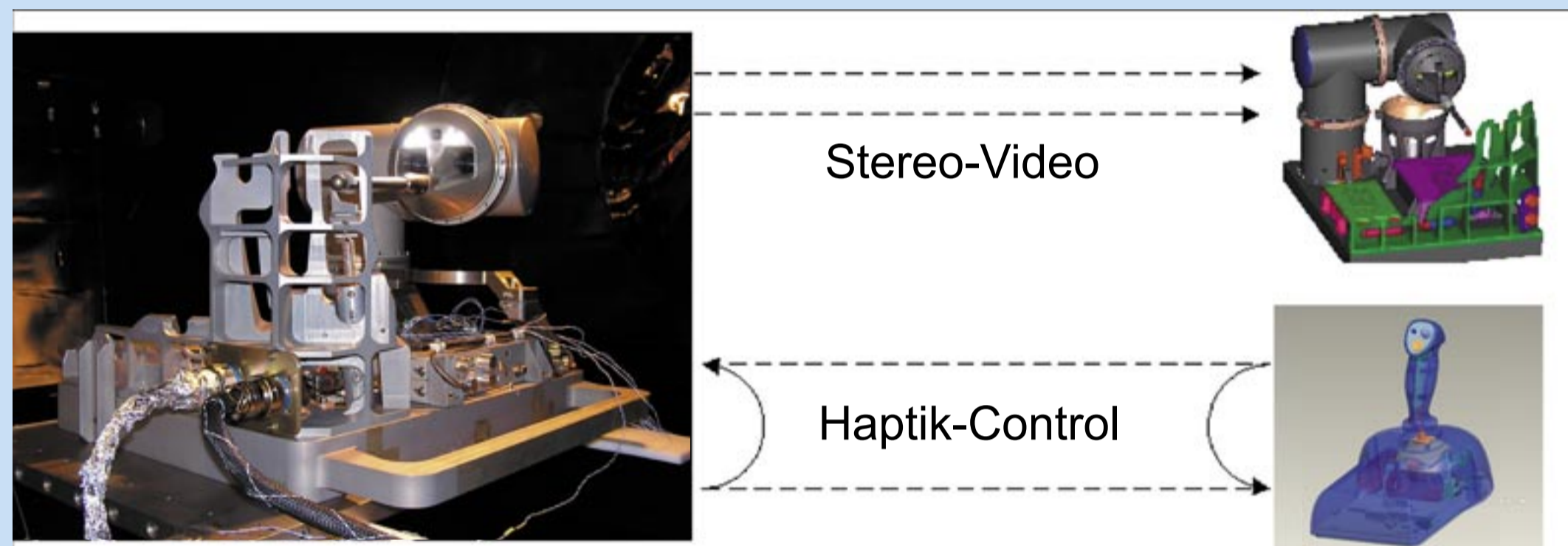
### DLR

#### ROKVISS

Roboter-Komponenten-Verifikation auf der ISS

2005: Telepräzente Fernsteuerung eines Roboters im Orbit

- Verifikation neuartiger Leichtbau-Robotergelenke
- Verifikation von TP B3 (Handcontroller) und TP C6 (Verbindungsmanagement)
- multimodale Teleexploration auf der Basis einer direkten Funkverbindung zur ISS
- Kontaktkräfte werden auf den DLR-Force-Feedback-Joystick am Boden übertragen
- Bilder der Stereokamera werden an der Bodenstation dargestellt
- Operator beobachtet und spürt die direkte Interaktion



#### Canadarm – SPDM

Aktuell

- Kooperation des DLR mit der Canadian Space Agency (CSA)
- Fernsteuerung des kanadischen Weltraum-Roboters

#### GETEX

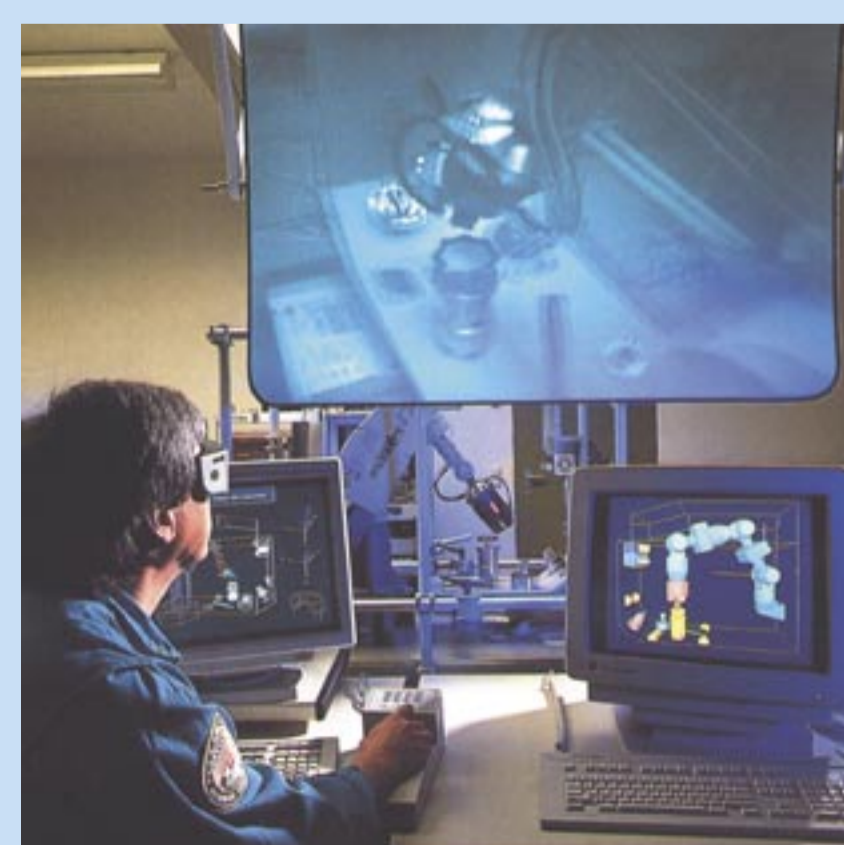
The German-Japanese Cooperation on ETS VII  
1999: Erste Fernsteuerung eines „Freifliegers“



#### ROTEX

ROboter Technology EXperiment

1993: Erste Fernsteuerung eines Roboters im Weltall



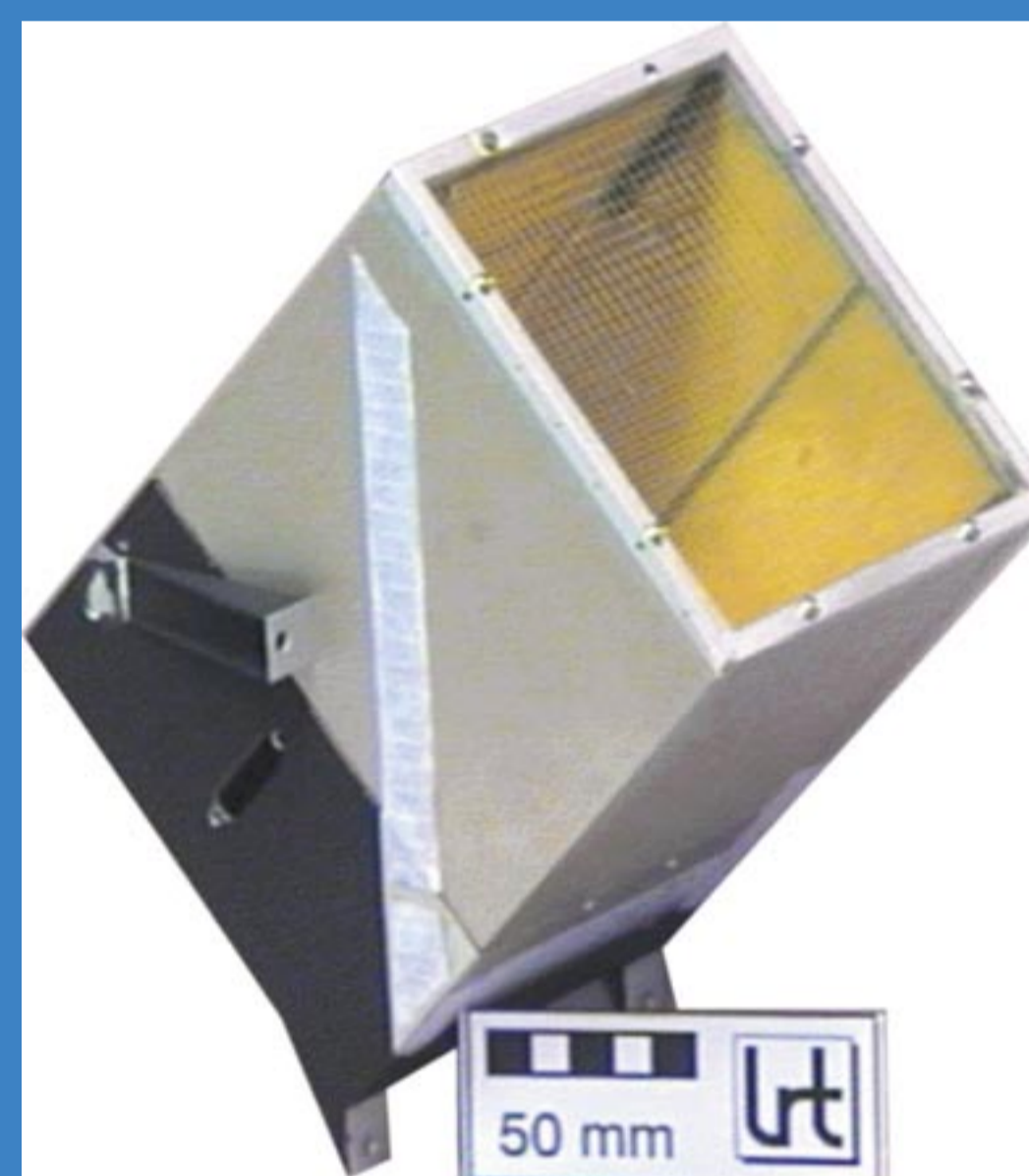
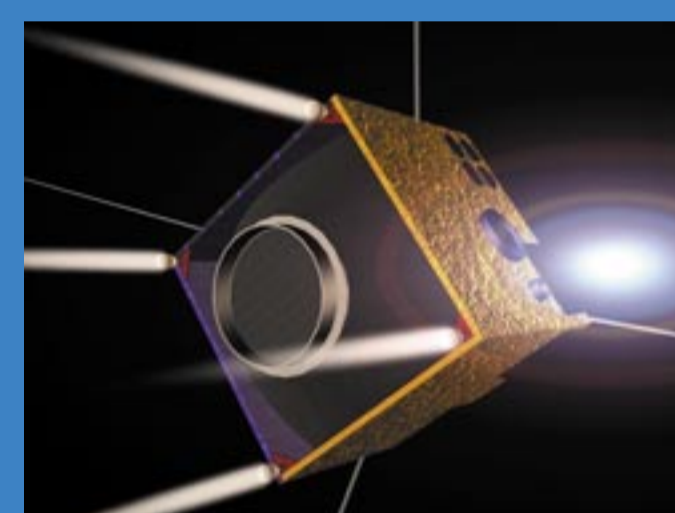
### LRT

#### LunarSat

Projekt: 1996-2000

Mit LunarSat war das LRT an einem von der ESA gefördertem internationalen Raumfahrtprojekt beteiligt. Auf der Basis eines Mikro-Mond-Orbiters, der 120kg-Klasse, hochauflösende Bilder vom Mondsüdpol liefern sollte.

Das LRT hatte bei diesem Projekt die Systemführerschaft.



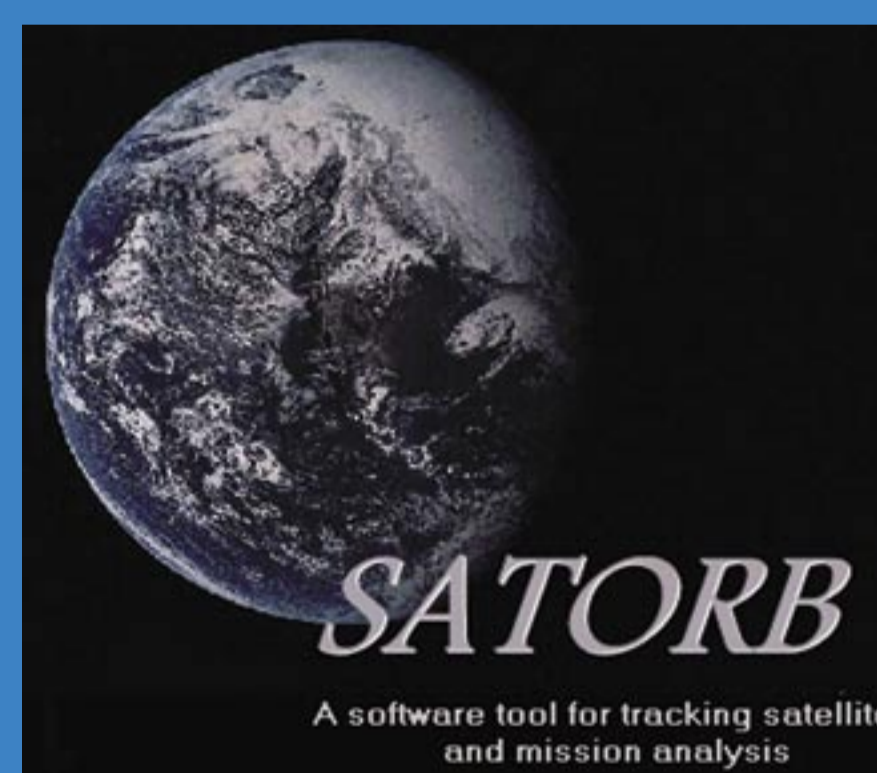
#### MDC

Aktuell seit 1998

Der Mars Dust Counter MDC ist ein Experiment zur Erforschung des interplanetaren, interstellaren und zirkumplanetaren Staubs. Anwendung fand er zum Beispiel auf den Satelliten HITEN und NOZOMI.



Die niedrigen zur Verfügung stehenden Datenraten erforderten die Implementierung von speziellen Komprimierungsalgorithmen (Wavelet-Transformation und Filterung)



#### SATORB

Aktuell seit WS 2003/04

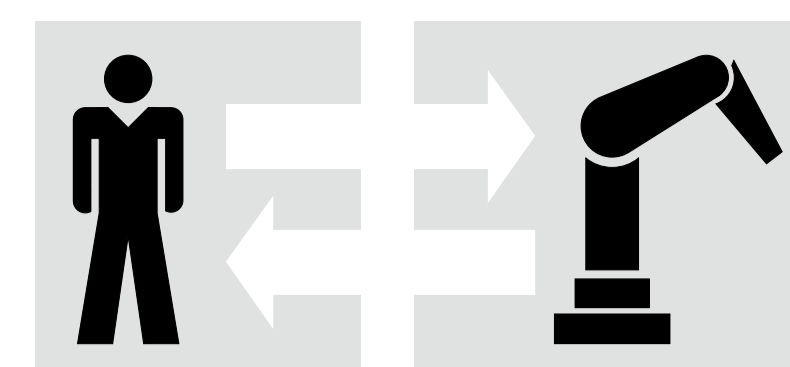
Softwareentwicklung, in Zusammenarbeit Sup'Aéro in Toulouse, für die Missionsanalyse (Link Budgets, ISL, Orbitbahnen) von Satelliten und Konstellationen.

#### SYSTEST

Aktuell seit 2001

Mit der europäischen Industrie entwickelte neue Methodik für die Validierung und Verifizierung von Systemen im Projektlebenszyklus (z. B. Raumfahrzeuge)





# Konzept: HVA-Arbeitsraum im Weltraum

### Definition Integrierter HVA-Arbeitsraum im Weltraum

- Haptik:** Transparente haptische Teleinteraktion ist die Grundkomponente für eine intuitive und feinfühligte Wartung oder Reparatur im Weltall.
- Video:** Die Stereobilder ermöglichen die Orientierung im Raum. Zusätzliche Ansichten werden durch „Virtuelle Kameras“ generiert.
- Akustik:** Die Übertragung von Körperschall ist für die Erkennung von Kollisionen im nicht-sichtbaren und nicht-spürbaren Bereich wichtig und erhöht dadurch die Immersion des Bedieners.

### Problem: Store & Forward Betrieb

- > lange Totzeiten oder kurze Kontaktzeiten
- > direkte Interaktion nur bedingt/eingeschränkt möglich

### Ansatz:

- > Relay-Satelliten im GEO (maximale Kontaktzeit)
- > Protokoll- und Systemanpassung (minimale Totzeit)

### Ziel:

**Aufbau eines HVA-Referenzsystems für das On-Orbit Servicing**

### Erfahrungen von ROKVISS

Diese dienen als Grundlage für die Ableitung von Systemanforderungen eines HVA-Arbeitsraumes im Weltraum und ermöglichen die Definition einer geeigneten System-Schnittstelle (End-To-End-Connectivity) zwischen dem Kommunikationskanal und der HVA-Anwendung.

Das DLR befasst sich mit der Integration und Anbindung der vom LRT bereitgestellten telepräsenzfähigen Kommunikationsverbindung an eine prototypische Raumfahrtanwendung aus dem Bereich des On-Orbit-Servicing.

## Aufgabenverteilung nach dem OSI/ISO Modell

<b>Application Layer</b>	<p><b>Freifliegender HVA-Arbeitsraum</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition eines prototypischen HVA-Arbeitsraumes für das OOS</li> <li>• Spezifikation logischer Signalflüsse</li> <li>• Definition von Deskriptoren zur flexiblen Systemkonfiguration</li> </ul>	<p><b>DLR</b></p>  <p><b>LRT</b></p>
<b>Transport Layer</b>	<p><b>Logischen Datenverbindungen</b></p> <p>Die Signalflüsse der verschiedenen Subsysteme, die zwischen der Flugeinheit, dem Teleoperator und der Bodenstation am Boden bereitzustellen sind. Aus Sicht der Telepräsenzanzwendung stellen die Informationskanäle den logischen Signalfuß zwischen dem Teleoperator auf der Flugeinheit und der Operator-Station am Boden dar.</p>	
<b>Network Layer</b>	<p><b>Telepresence Stream Control Layer</b></p> <p>Dieser ist für das Multiplexing der verschiedenen logischen Datenkanäle auf die bereitgestellten Transportkanäle des Up- und Downlinks verantwortlich. Geeignete Multiplex-Verfahren sind zu konzipieren, wobei die spezifischen Anforderungen der einzelnen logischen Datenkanäle ausschlaggebend sind, mit welcher Übertragungsfrequenz und in welcher Reihenfolge die Daten über die beiden Transportkanäle ausgetauscht werden.</p>	
<b>Data Link Layer</b>	<p><b>CCSDS – Protokollanalyse</b></p> <p>Die Analyse nach dem Gesichtspunkt von SICHEREN und SCHNELLEN Daten zählt zu den ersten Schritten in der Realisierung eines HVA-Raumes im Weltraum.</p> <p><b>Protokollanpassung</b></p> <p>Lange Totzeiten resultieren aus der Vielzahl an unterschiedlichen Protokollen und die für die Verbindung benötigten Recheneinheiten.</p>	
<b>Physical Layer</b>	<p><b>Antennennachführung des mobilen HVA-Arbeitsraumes</b></p> <p>Sie wird für die Aufrechterhaltung der Funkverbindung zum geostationärem Relay-Satelliten benötigt, um Änderungen in Position und Lage während des Telepräsenzbetriebes auszugleichen.</p>	

# Aufbau eines HVA-Arbeitsraumes für OOS

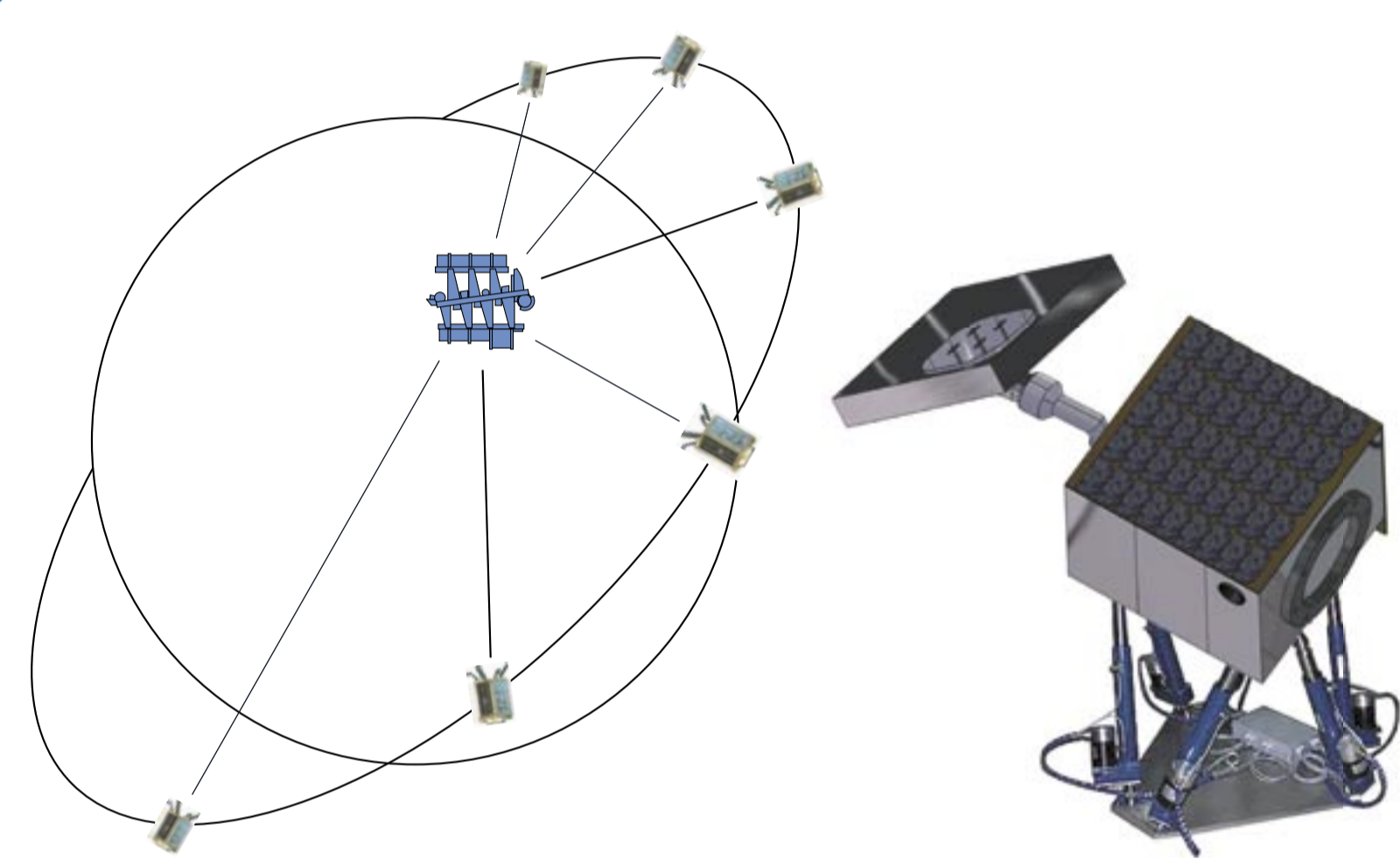
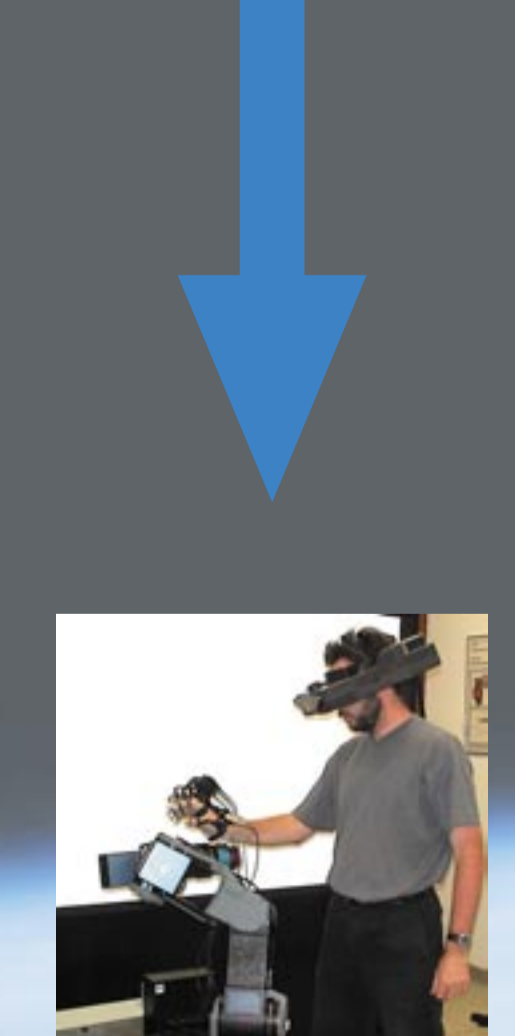
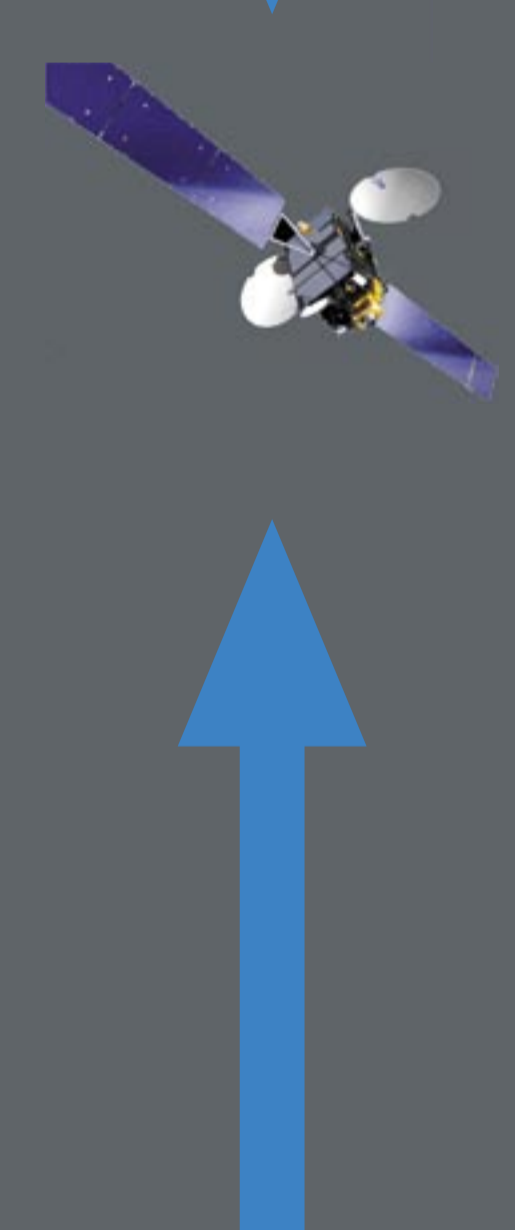
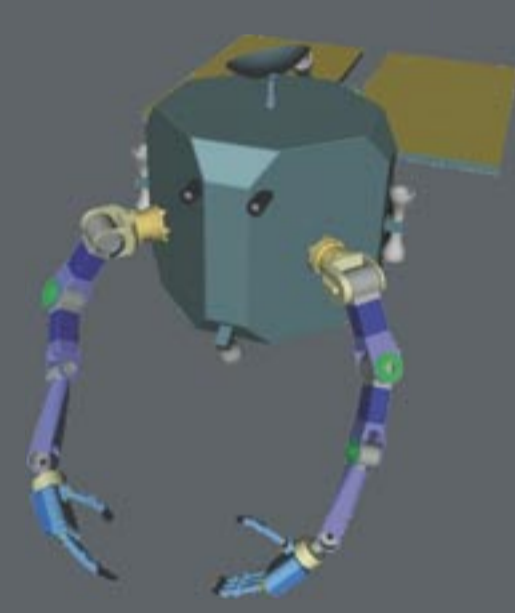
### Mission: Telepräzentes On-Orbit-Servicing

Das angestrebte Ziel ist die Entwicklung von Techniken, die telepräzentes On-Orbit-Servicing ermöglichen. Grundvoraussetzung für dieses Missionsszenario ist die Telepräsenz, das heißt die Verwendung eines Relay-Satelliten zur Sicherstellung der dauerhaften Verbindung zwischen dem Operator und dem jeweiligen Raumfahrzeug. On-Orbit-Servicing wiederum ist die Wartung und Reparatur von Raumfahrzeugen in der erdnahen Umlaufbahn unter Verwendung eines von der Erde aus gesteuerten Serviceroboters, dem Robonauten.

Um das beschriebene Ziel erreichen zu können, wurden zwei Haupt-Design-Kriterien identifiziert:

- (1) **Die Antennennachführung**, notwendig für die Aufrechterhaltung der Verbindung zum Relay-Satelliten, und
- (2) **die Verifikation der Kommunikationsverbindung**, besonders die Sicherstellung von geringer Roundtrip Time (unter 0,6 Sek.), genügender Bandbreite und Unterstützung unterschiedlicher Datenformate.

Auf Grund der speziellen Missionsbedingungen in der Erdumlaufbahn ist nötig die beiden oben aufgeführten Kriterien jeweils mit Hilfe eines eigenen Demonstrators nachzuweisen.



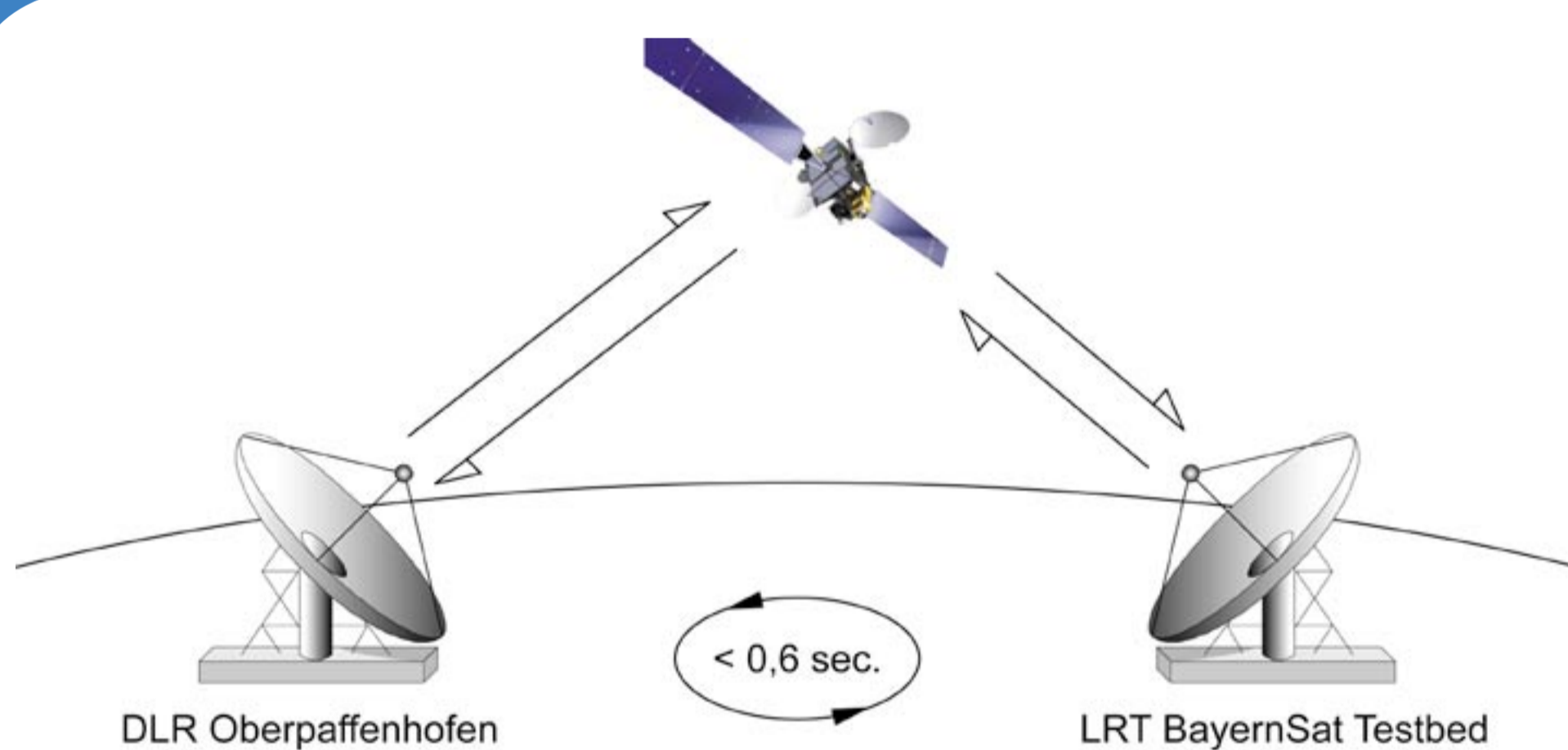
### Demonstrator 1: Verifikation einer stabilen Funkverbindung

#### Szenario

- Service-Satellit (LEO) auf der Erde ist auf einem Hexapod montiert
- Hexapod regelt die Lage des Satelliten und deren Änderung im Orbit
- AMSAT-Satellit im LEO simuliert die Relativ-Bewegung zum Relay-Satelliten

#### Ziel

- Demonstration der Antennennachführungstechnologie



### Demonstrator 2: Aufbau eines Integrierten HVA-Arbeitsraumes

#### HVA-Arbeitsraum für die Raumfahrt

- Vision: Integrierter „humanoider“ Service-Satellit
- Sensorielle Fähigkeiten: Haptik, Optik, Akustik
- Basis: Intelligenten Leichtbau-Robotergelenke und flexible Greifwerkzeuge

#### Szenario

- Prototypische Inspektions- und Reparaturaufgabe
- Funkverbindung zwischen Operator und Teleoperator
- haptisch-audio-visuelle Teleexploration/-manipulation

#### Stabile Funkverbindung

- Anpassung des Testbed-Aufbaus (Demonstrator 1)

#### Ziel

- Aufbau und Evaluierung des integrierten HVA-Arbeitsraumes für das telepräzente On-Orbit-Servicing

