

# Laser Kommunikation im Weltraum



R. Holzner

# Inhalt



# Warum Laser ?

## Vorteile der Laser Technologie :

**Kleine „Antennen“: Teleskope**

**Kleines Gewicht**

**Weniger Versorgungsleistung**

**Kleiner Platzbedarf**

**Grosse Bandbreite (Datenrate)**

**Gute Abhörsicherheit**

**Geringe gegenseitige Störungen**

**und externe Störsicherheit**

## Laser <-> RF

10 cm <-> 1m Durchmesser

30 kg <-> 60 kg

200 W <-> 400 W

0.4 m<sup>3</sup> <-> 1.0 m<sup>3</sup>

10 GHz <-> 300 MHz

100 m <-> 100 km „foot print“

1 Hauptstrahl <-> Seitenkeulen

# Warum Laser ? II

**Nachteile der Laser Technologie :**      **Laser <-> RF**

**Pointing**

100 m <-> 100 km

**Neue Technologie**

10 y <-> 50 y

„psychologische Widerstände“ in der  
RF community

**Behinderung durch Wolken**

vorallem bei grossen Datenraten

**Teure Entwicklung**

**Reinheitsanforderungen**

# Begriffe, Konzepte

## Satelliten Bahnen

LEO Low Earth Orbit  
MEO Medium Earth Orbit  
GEO Geosynchronous Orbit  
Deep Space

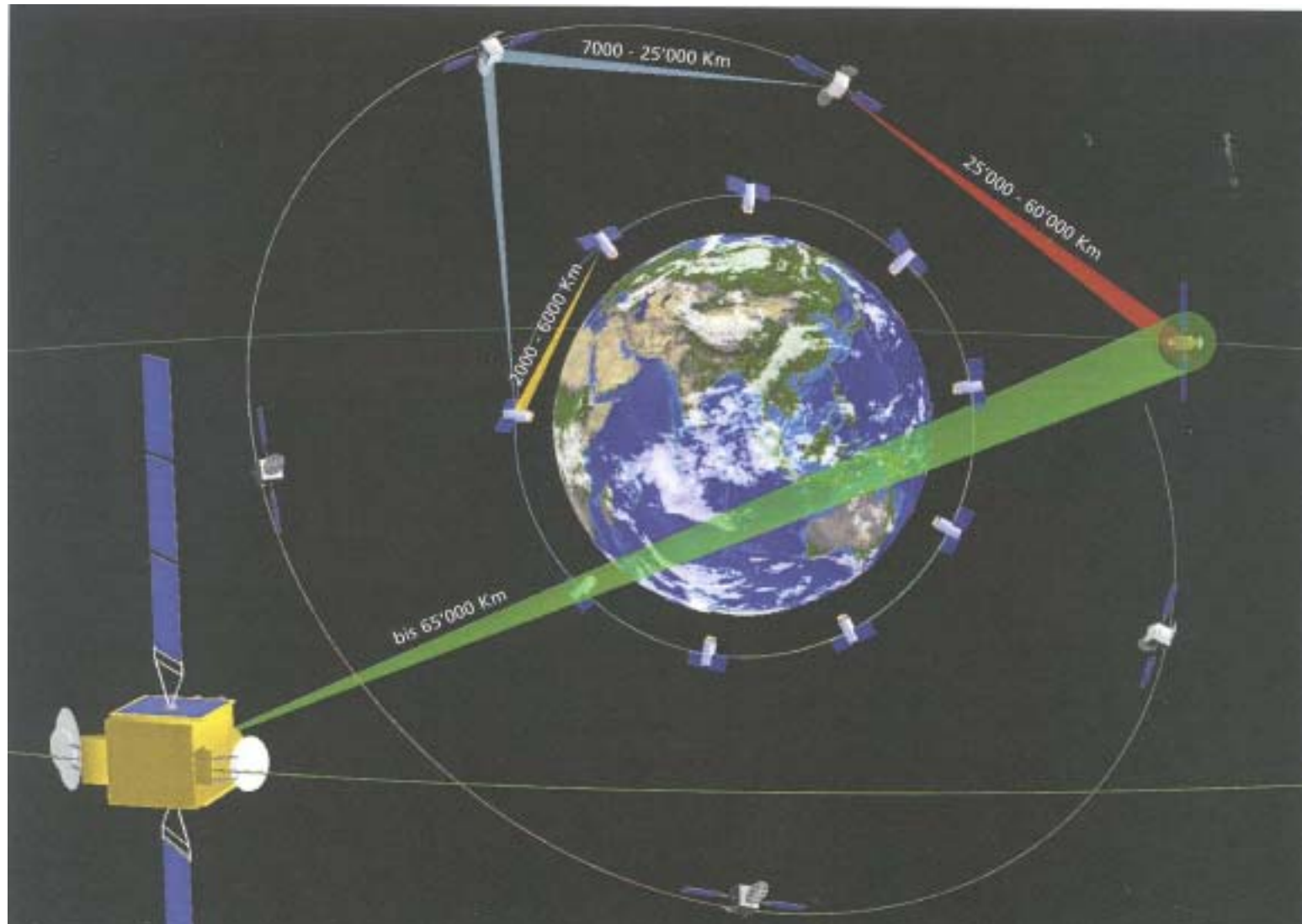
## Cross Link

Verbindung zwischen Satelliten  
Pointing : gegenseitige Lokalisierung  
Acquisition : Verbindungsaufnahme  
Tracking : Verbindung halten  
Communication : Daten übermitteln  
Ranging : gegenseitige Vermessung

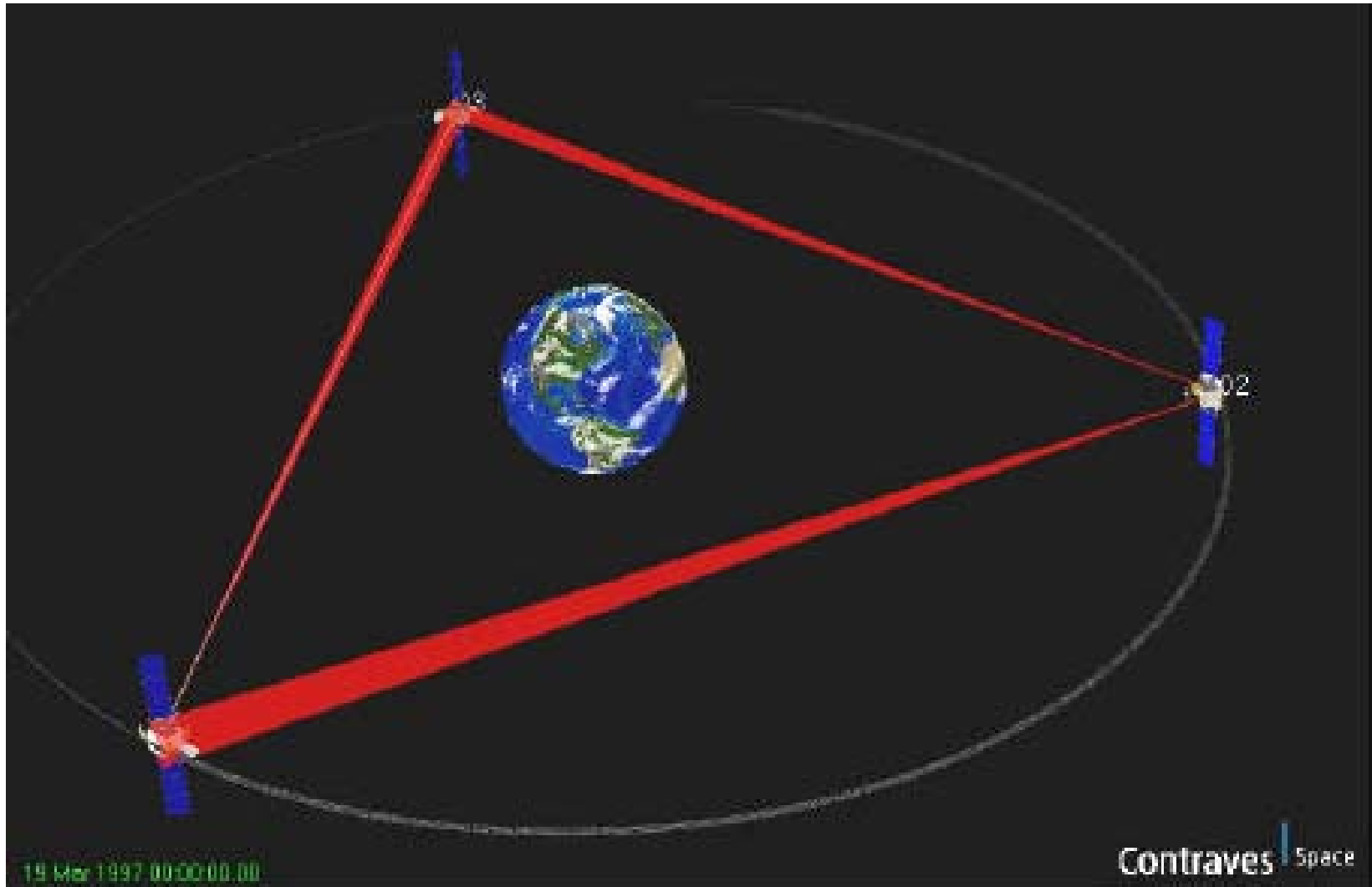
## Verbindungsart

Direct modulation : ein/aus schalten des Laserstrahls  
Phase or Frequency shift keying (PSK,FSK) : Phasen  
oder Frequenzmodulation meist in Verbindung mit  
kohärenter Detektion (homodyne, heterodyne  
detection)

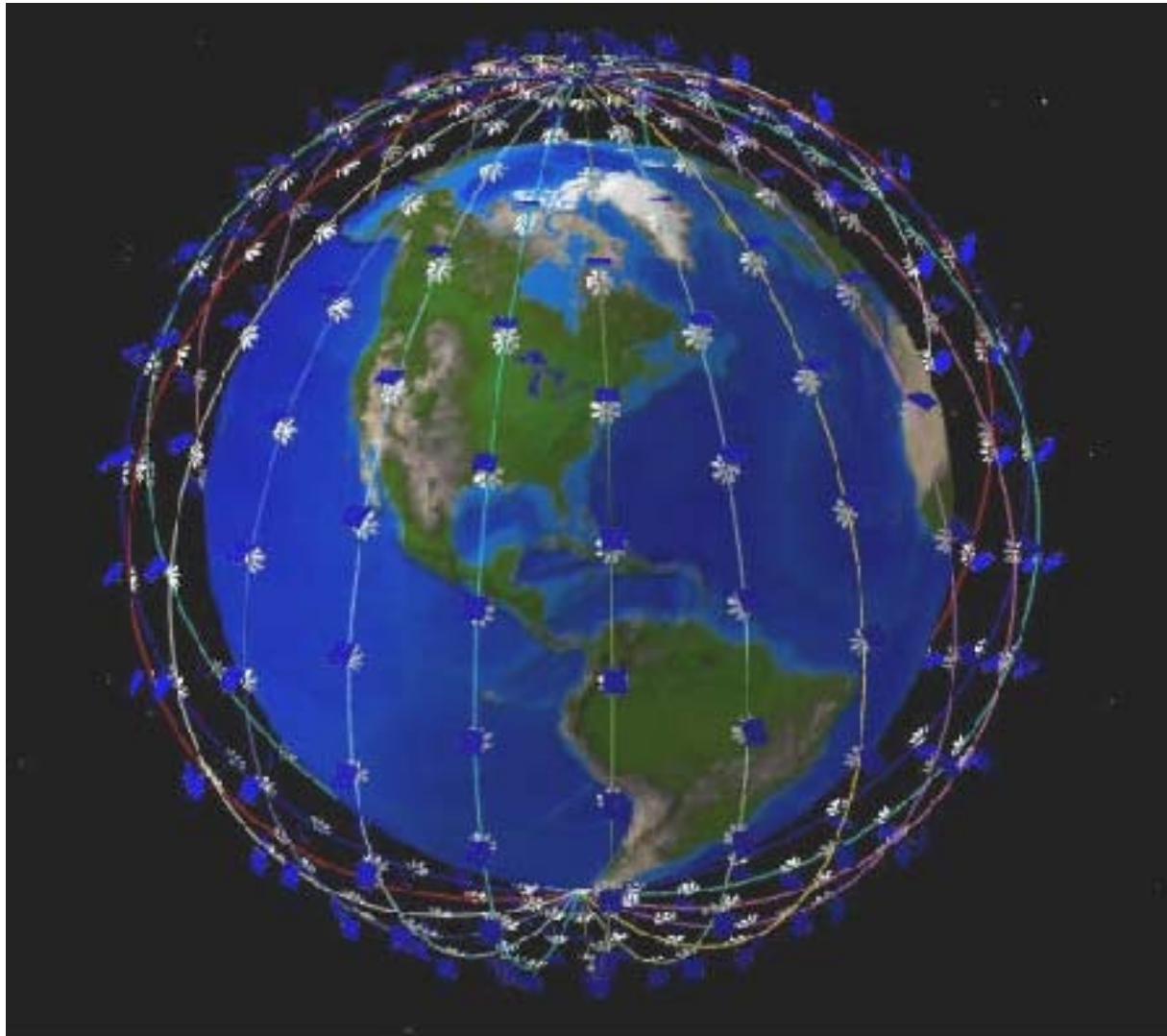
# Satelliten Orbits



# GEO



# LEO





# Begriffe, Konzepte II

## Verbindungsqualität

Bit error rate : Anteil „falsch“ interpretierter übertragener Bits ( $10^{-9}$  ist gut)

## Architektur

Aufbau des Satellitenkommunikationssystems , „Standorte“, „Umfeld“

## Frequenzen

L-Band	1-2 GHz (z.B. Iridium Telefon uplink)
X-Band	8 GHz
Ka Band	20-30 GHz
	19.40-19.60 GHz ( down link )
	23.18-23.38 GHz ( cross link )
	29.10-29.30 GHz ( up link )
EHF	>60 GHz (Extremly High Frequencies)
Laser	28‘1760 GHz (Nd:YAG $\lambda = 1064$ nm )

# „Standorte“

## Deep space

ausserhalb des Sonnensystems  
innerhalb des Sonnensystems

## GEO

Fernsehsatelliten, Intelsat, Internet Backbone,  
Telefonie, ISLFE

## MEO

Versorgung polarer Regionen, russische Molniya

## LEO

ISS, GPS, Meteosat, Iridium, Teledesic, SROIL  
Telefonie, Internet Backbone

## Flugzeuge

Telefonie, Relais für optische Links

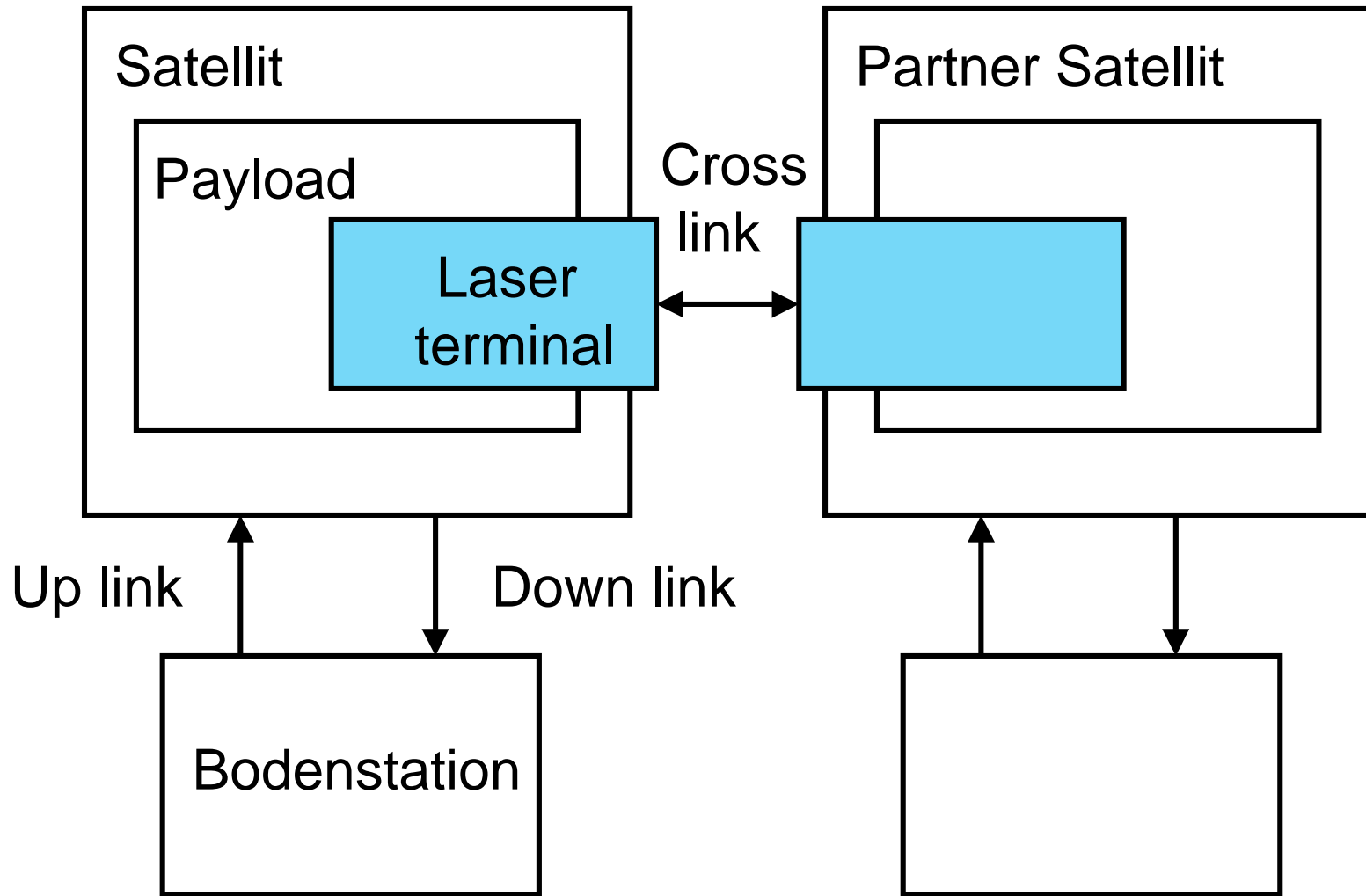
## Erdoberfläche

Bodenstationen, Schiffe, Telefonie, Fernsehen,  
direkte private Satellitenverbindungen

## U-Boote

Militär, Forschung

# „Umfeld“



# „Umfeld II“

## **Besitzer**

des Satelliten (Intelsat, Fernsehnetze-  
besitzer, Iridium Inc., Eutelsat, Eurasiasat, ...)

## **Betreiber**

des Kommunikationsnetzes (ALCATEL, IntelSat,  
Fernsehnetzebesitzer), Anbieter der Dienstleistung

## **Operateur**

hält den Satelliten in der Umlaufbahn (ESA, NASA,  
SNOC Satellite and Network Operators Center)

## **Hersteller**

der Satellitenstruktur, Einbau der Nutzlast  
(verschiedener Firmen) und Einbau des Satelliten in  
die Trägerrakete (ALCATEL, Astrium, Hughes +  
Boeing Satellite Systems, General Electric)

# „Umfeld III“

## „Starter“

Verantwortung für den Start der Trägerrakete, z.B. von Arianespace (CNES Centre National d'Etudes Spatiales in Kourou)

## Benutzer

Konsument der Dienstleistung (Privatperson, Telefonieunternehmen, Militär, Forschungseinrichtungen)

# Betrieb im Weltraum

## Lebensdauer

Lagerung am Boden, Integration des Satelliten und Einbau auf der Trägerrakete, Start, Transfer zum operationellen Orbit, operationeller Betrieb, ähnlich wie in optischen Unterseekabeln, keine Reparaturmöglichkeiten, Redundanzkonzepte

## Mechanische Belastung

Transporte am Boden, Start, Mikrovibrationen und Bahnkorrekturen während des operationellen Betriebes

## Thermische Belastung

Transporte und Lagerung am Boden, Unterschiede zwischen Sonnen-zugewandter und -abgewandter Seite

# Betrieb im Weltraum II

## Radioaktive Strahlung

Abhängig vom Orbit, Protonen, Neutronen, Elektronen, Gamma- und Röntgenstrahlung

## Funktion im Vakuum

Thermisches Verhalten ändert, Brechungsindex ist leicht verändert, Verhalten während Druckabfall beim Start

## Kontamination Ausgasen

Vor allem in der Nähe optischer Elemente müssen Materialien mit extrem kleiner Ausgasrate verwendet werden, Kleber, Materialschwund

## Funktion bei Schwerelosigkeit

Veränderte statische Belastungen -> dejustierung optischer Komponenten, zirkulation von Flüssigkeiten

## Minimierung von Gewicht, Volumen, Energiekonsum und Wärmedissipation

teures Startgewicht, begrenzte Kollektor- und Radiatorflächen, begrenzter Platz auf Plattform

# Betrieb im Weltraum III

## **Magnetische Momente**

können im Erdmagnetfeld Kräfte auf den Satelliten ausüben

## **Kommunikation mit Sonne, Mond, Sterne, Erde als Störquellen**

Filter, Anpassung von Blenden

## **Qualifikation**

ESA Vorschriften, Vorschriften von Kunden, Problematik z.B. des Nachweises von Lebensdauer, Zuverlässigkeit etc.

## **Dokumentation**

Zurückverfolgbarkeit von Komponenten, Materialien und Prozessen

## **Teamarbeit**

Enge Kontakte zu Lieferanten und Herstellern, dynamische Planung, permanente Anpassungen



# Geschichte

- 1965** erste Experimente um hohe Datenraten (1Gbit/s) zu erzielen (USA)
- 1975** CO<sub>2</sub> Laser für „near earth applications“ (NASA)
- 1976** Nd:YAG Laser für „inter satellite laser communication“ (U.S. Air Force)
- 1978** Nd:YAG Laser : SFTS (Space Flight Test System) für 1Gbit/s Satellit -> Erde, Knappe Mittel -> AFTS (Airborne Flight Test System)  
[Flashlamp pumping](#)  
(U.S. Air Force, White Sands, Mexico und McDonell)
- 1982** Nd:YAG Laser : Laser Crosslink Subsystem (LCS) für geosynchrone Satelliten, [Diode Laser pumping](#)  
(McDonell Douglas), 1993 beendet kurz vor Vollendung wegen programmatischer Schwierigkeiten, Erfolgreiche Qualifikation von Teilen

# Geschichte II

- 1985** **ATLCS** „Advanced technology laser communication system“, **FSK** Frequency Shift Keyed, heterodyne detection, 220 Mbits/s heruntergestuft zur „laboratory demonstration“ nach Mittelkürzung der NASA **ACTS** (Adv. Commun. Technology Satellite) Mission (Massach. Inst. of Techn. Lincoln Laboratory)
- 1986** Vergleich zwischen Laser und 60 GHz RF Technologie für „cross links“ im Rahmen des **SDI** Strategic Defense Initiative -> Laser klar besser
- 1987** Entwicklung eines Laser basierten „cross link“ für das SDI Program **BSTS** Boost Surveillance and Tracking System mit GaAs Technologie, 1992 umgewandelt in **FEWS** Follow-on Early Warning System und schliesslich abgebrochen wegen Geldmangel und weltpolitischer Entwicklung-> vorläufiges Ende der amerikanischen Laser Kommunikations Programme

# Geschichte III

- 1991** **SILEX** Semiconductor laser Inter-satellite Link Experiment, 50 Mbit/s zwischen **SPOT IV** Satellite pour l'observation de la terre (Frankreich, Start : 22 März 1998) mit dem optischen Terminal **PASTEL** Pasager Telecom auf LEO und **ARTEMIS** Advanced Relay and Technology Mission, Start: Juni 2001) mit **OPALE** Optical Payload for Inter Satellite Link Experiment Terminal auf GEO Bahn, single mode GaAs Diodenlaser, avalanche photodetector, acquisition and tracking mit CCD array detectors (ESA, Astrium <- Matra Marconi Space)
- 1992** Rekord für „ deep space optical communication“ : **GOPEX** Galileo Optical Experiment  
längster Laser link zwischen Erde und dem 6 Mio km entfernten Galileo Satelliten mit einem gepulsten grünen Laser, Empfangen mit CCD Kamera (**JPL** Jet Propulsion Laboratories)

# Geschichte IV

- 1995** LCE Laser Communication Experiment integriert auf dem Satelliten OICETS IV Optical Inter-satellite Connection Engineering Test Satellite, (Japan), Link zur Erde, möglicherweise Kombination mit SILEX
- 1995** ARTES Advanced Research in Telecommunications Systems lanciert von ESA, -> SROIL, ISLFE
- 1996** LISA Laser Interferometer Space Antenna zur Detektion von Gravitationswellen im  $10^{-4}$  -  $10^{-1}$  Hz Bereich (ESA, NASA)

# Geschichte V

**1997** **DARWIN** Data Acquisition and Ranging with Interferometric Nulling „Space“- Analogon zum **VLT** Very Large Telescope in Peru basierend auf der phasenkorrelierten Kombination mehrerer Teleskope , „nulling interferometry“ (ESA, NASA) :

- „To detect Earth-like planets circling nearby stars and to set constraints on the possibility of life as we know it on these planets“
- „To provide imaging in the 4 - 30 micron band that is several times better than expected of the NASA based **NGST** Next Generation Space Telescope “

# Technologie

**Contraves Space AG**

Kurze Vorstellung der Firma

**SROIL / ISLFE**

Short Range Optical Inter-Satellite Link  
Inter Satellite Link Front Ends

**Prinzipieller Aufbau**

Schema, Modell

**Ausgewählte Details**

Laser Subsystem  
Tests

# Contraves Space AG

## Bedeutende Ereignisse

- 1964** Beginn Raumfahrt-Aktivitäten bei Contraves mit dem Forschungssatelliten ESRO-1
- 1974** Entwicklungsauftrag der ESA für die Nutzlastverkleidung der europäischen Trägerrakete Ariane-1 - erfolgreicher Start 1979
- 1986** Kommerzieller Einsatz von Ariane 4
- 1999** Gründung der Contraves Space AG  
100 % im Besitz der Unaxis Holding

# Contraves Space AG

## Wichtigste Kunden

### Arianespace / Frankreich

Weltweite Transportdienste von Satelliten ins All  
Startgelände in französisch Guayana, 138 Starts

### Programme der ESA

grosse europäische Raumfahrtfirmen als  
Hauptauftragnehmer Satelliten Strukturen  
für 17 ESA Missionen

### Internationale Raumfahrtagenturen oder Raumfahrtfirmen (Europa und USA)



# Contraves Space AG

## Major Products



**Payload Fairings**

**Scientific Instrument**



**Spacecraft Structures**

**Optical Communications**



**Optical Ground Station**



**High Precision Mechanisms**

# International Space Station



# Automated Transfer Vehicle

## Struktur Antriebsmodul bei CSAG



# Technologie Projekte

**SILEX**

Semiconductor laser Inter-satellite Link Experiment

**Artemis**

Advanced Relay and Technology Mission

**SROIL**

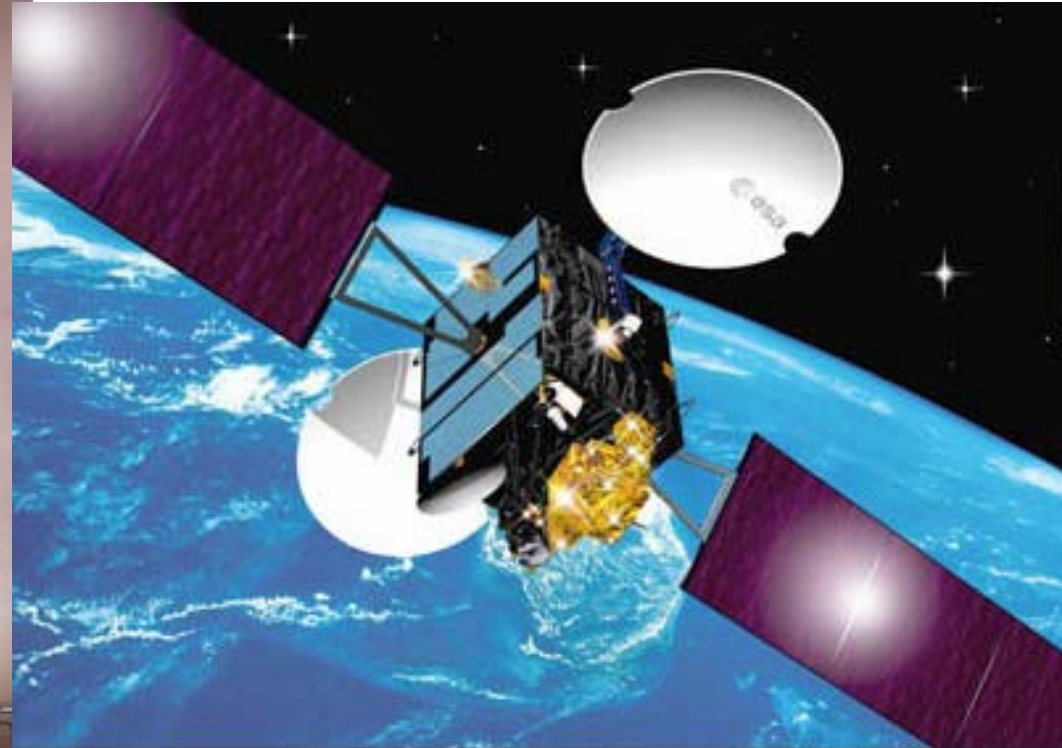
Short Range Optical Inter-Satellite Link

**ISLFE**

Inter Satellite Link Front Ends



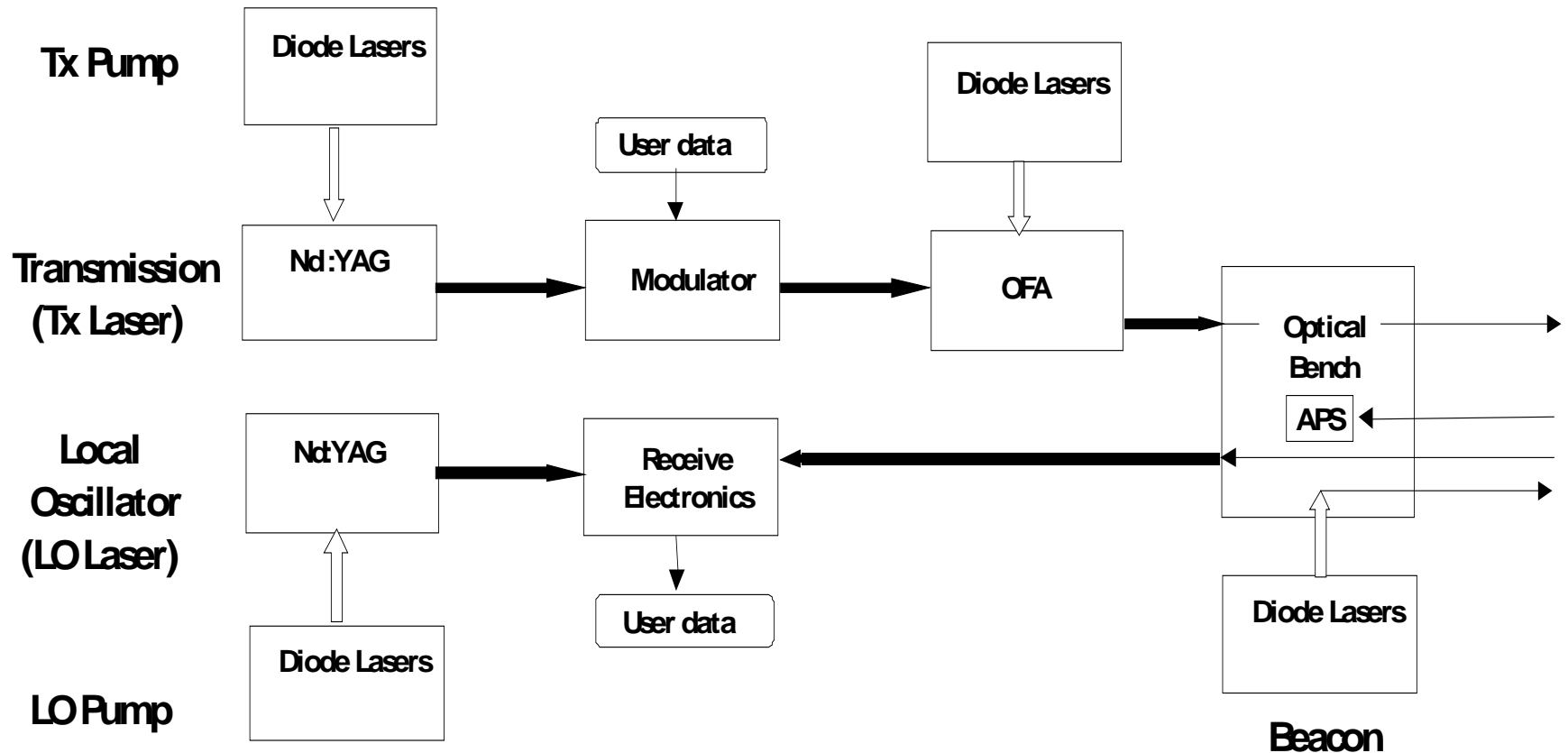
# Artemis



# SROIL



# Laser Sub-System



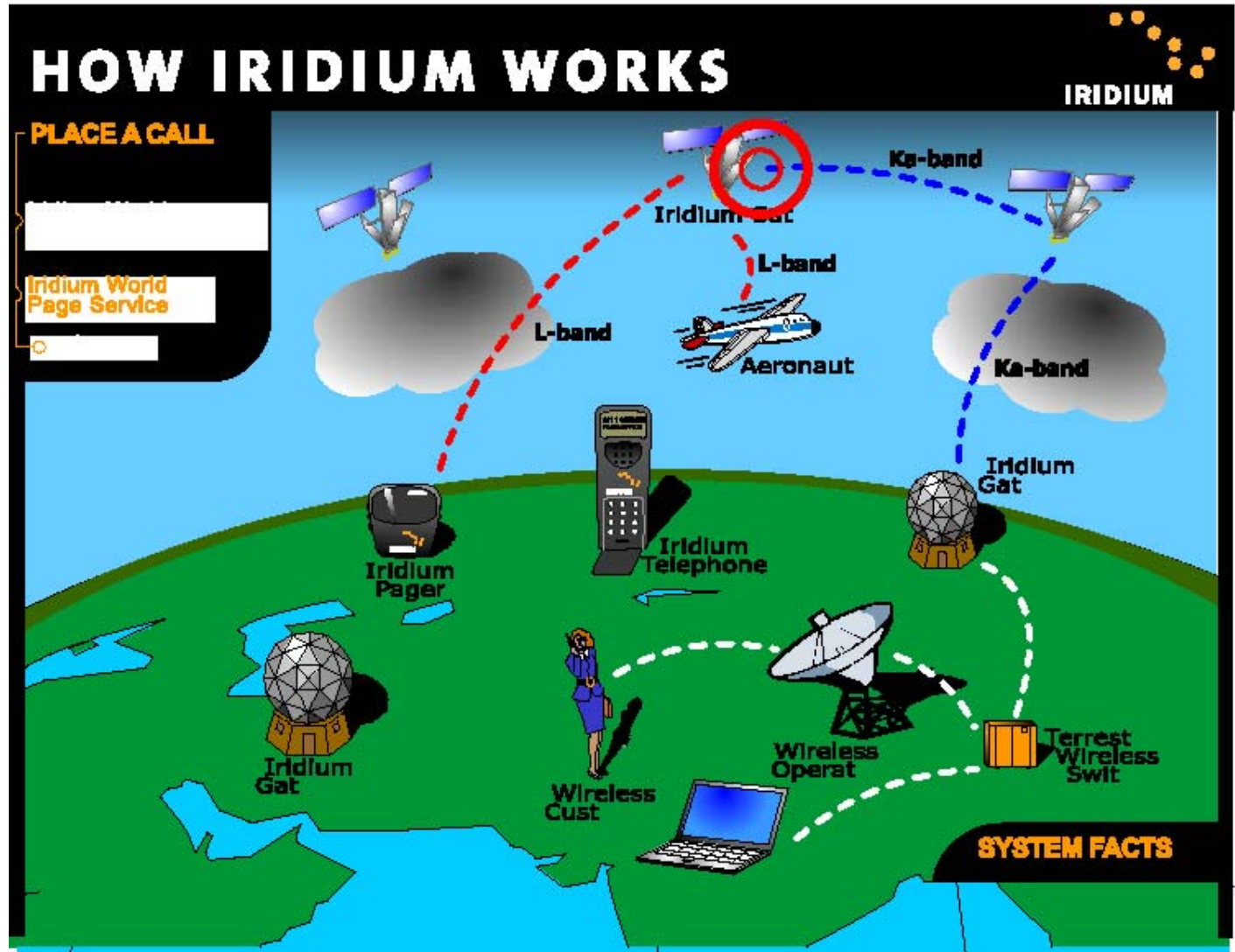
# Kommerzielle Projekte

**Iridium**            Element mit 77 Elektronen,  
(66 : Dysprosium „schlechter Weg“)

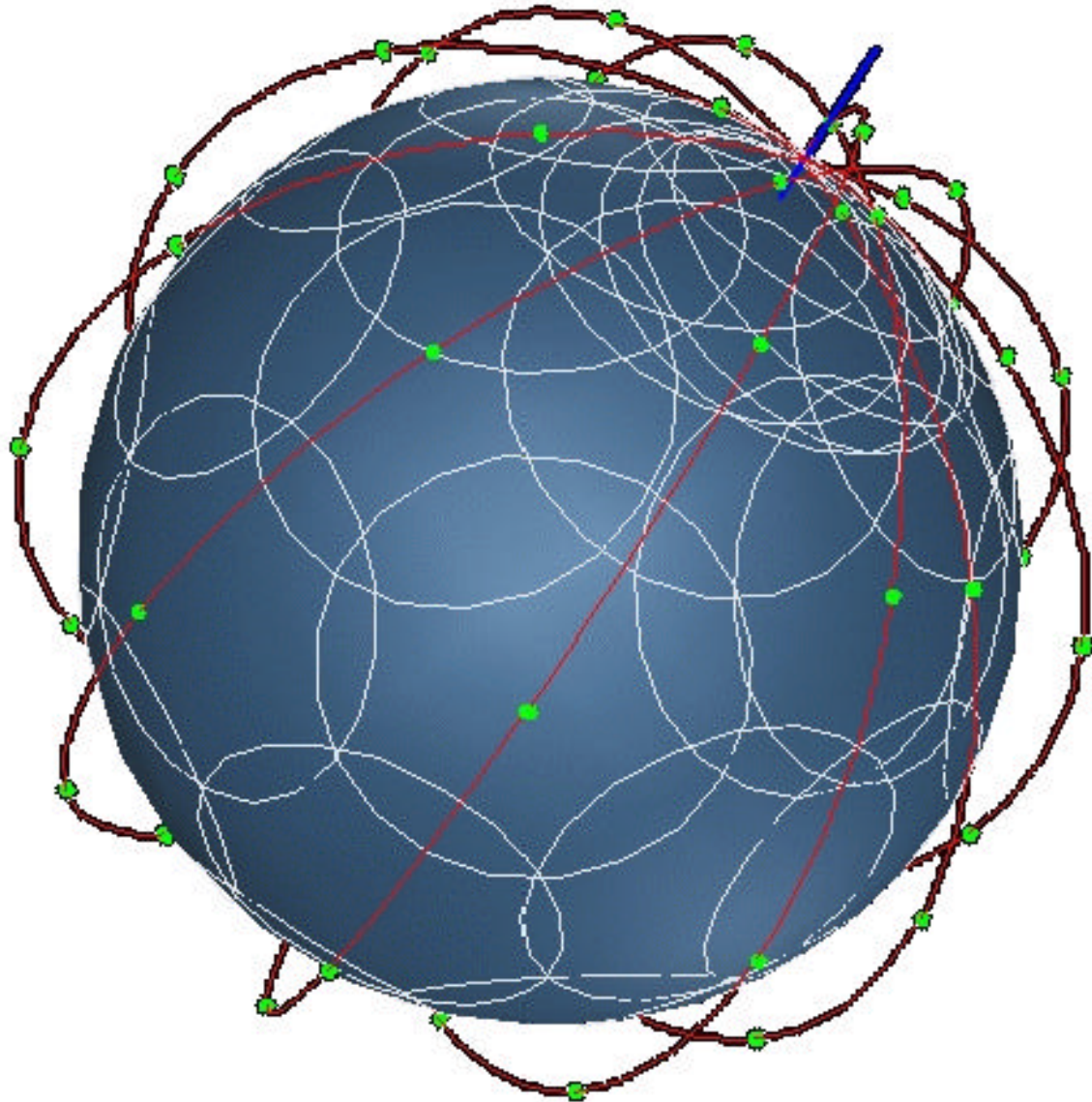
**Teledesic**        “Internet in the Sky“



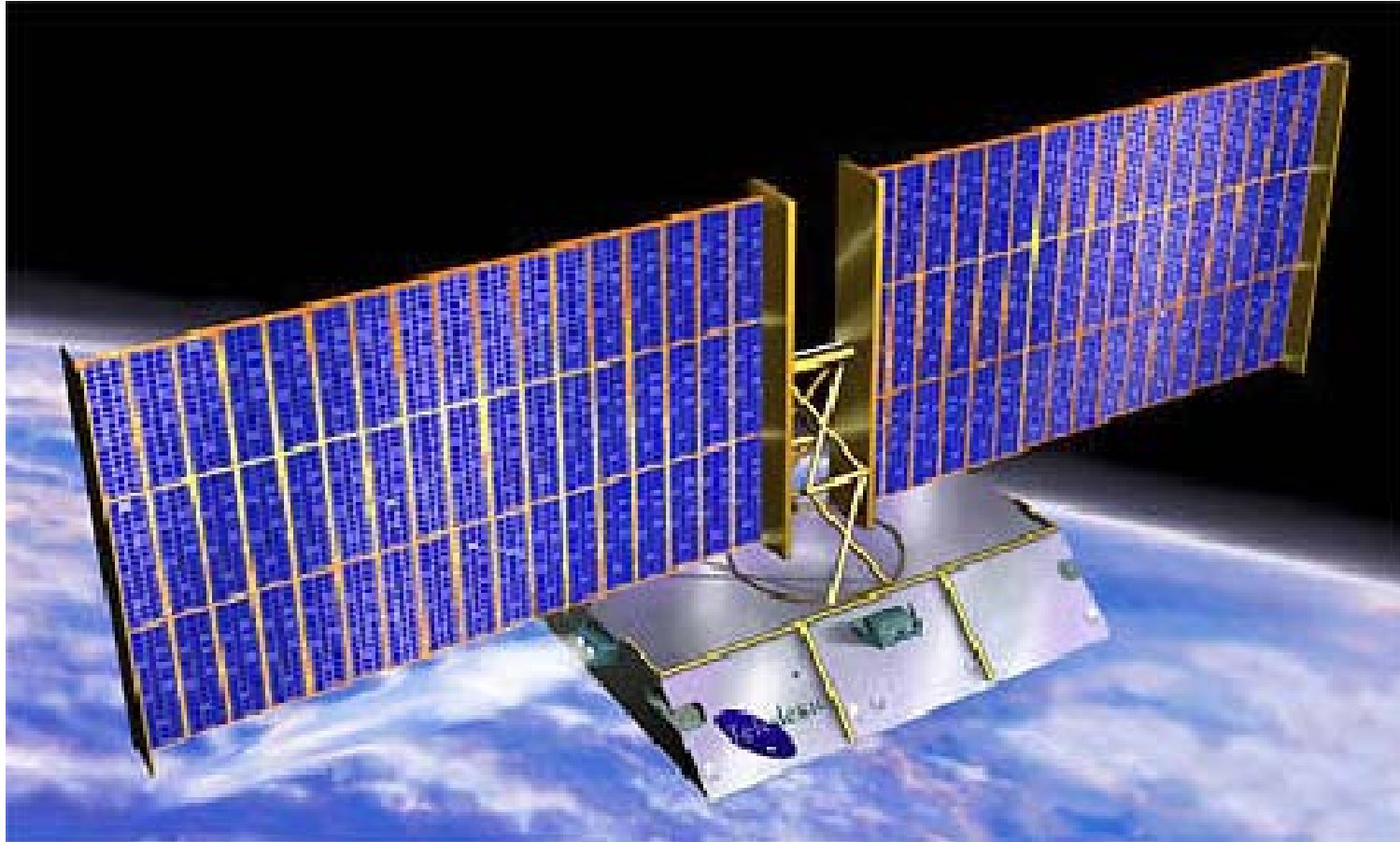
# Iridium



# Iridium

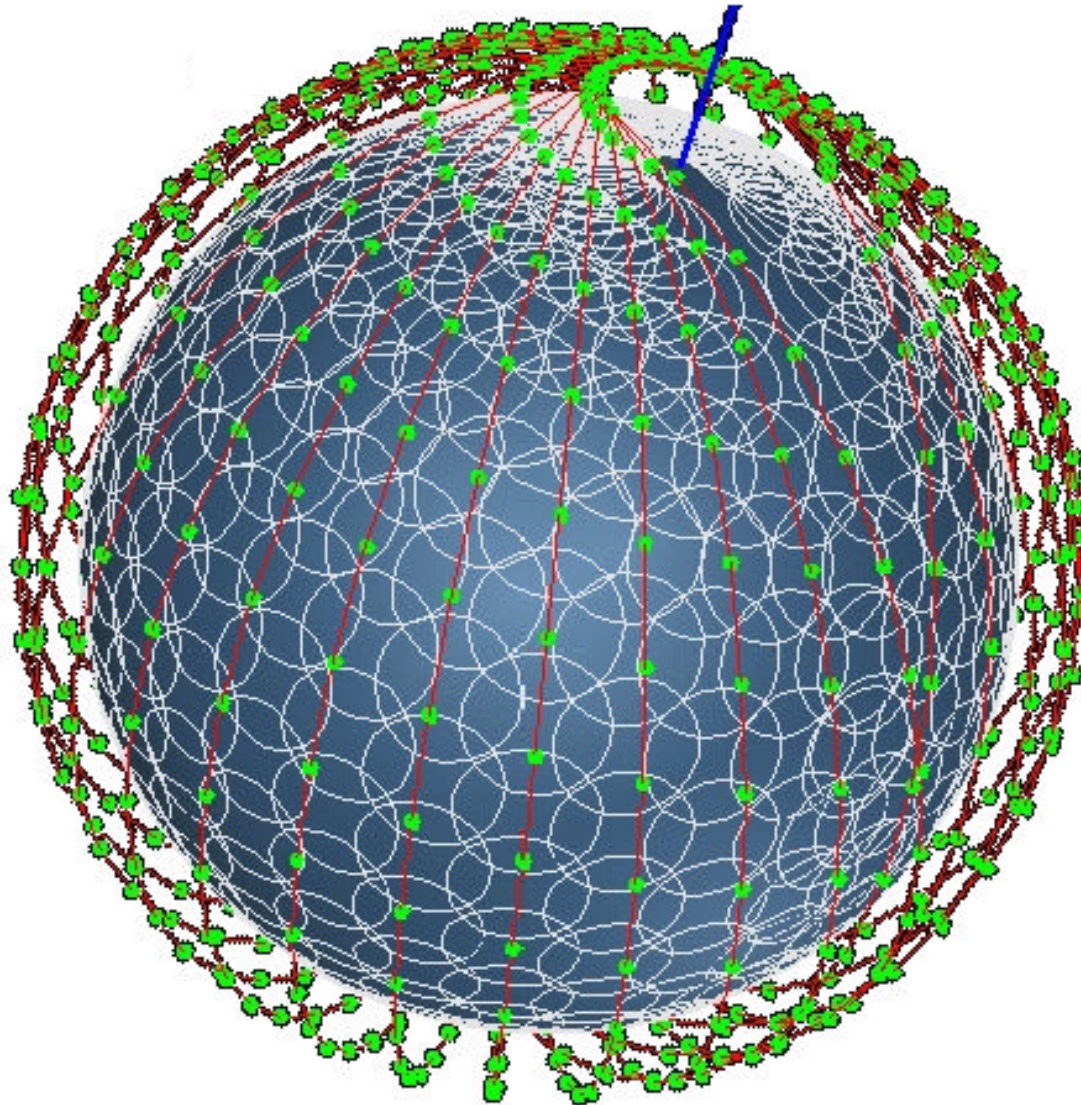


# Teledesic





# Teledesic II



# Wissenschaftliche Projekte

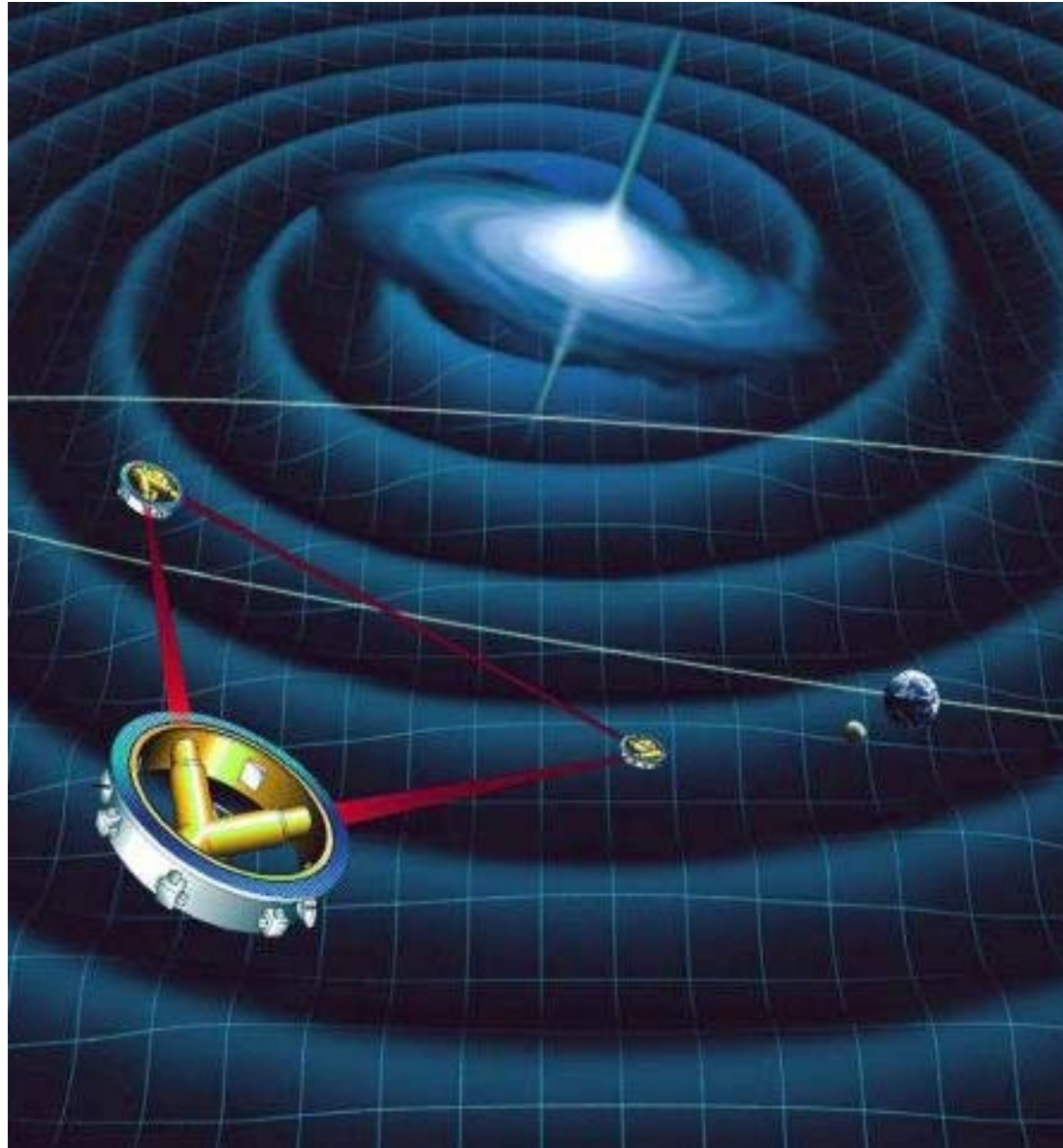
**LISA**

Laser Interferometric Space Antenna

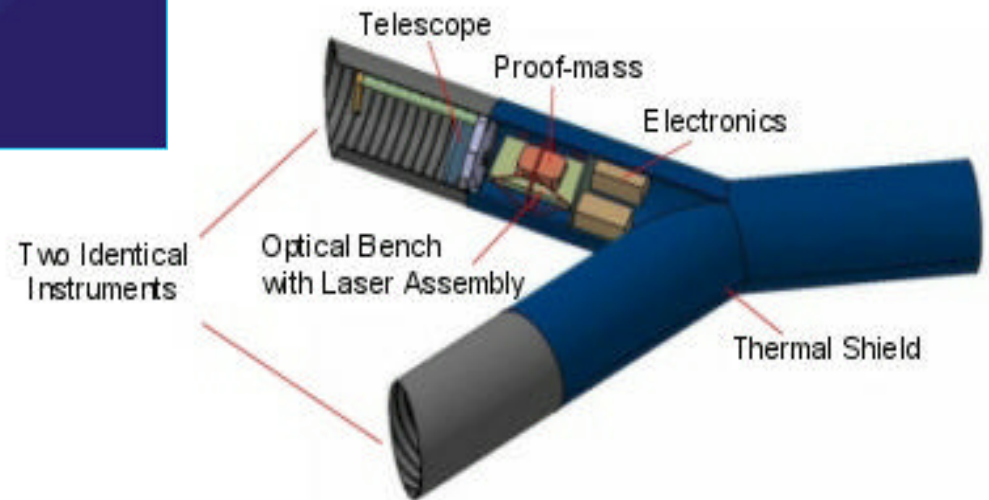
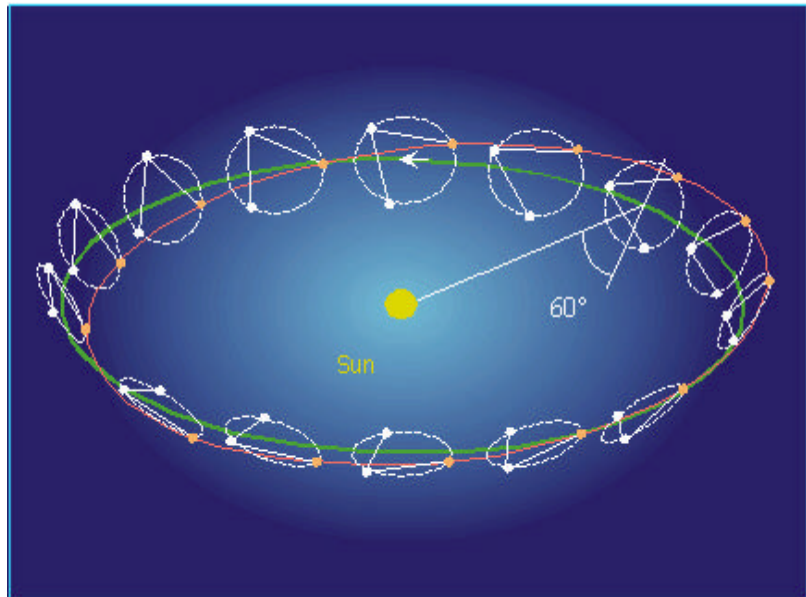
**DARWIN**

Data Acquisition and Ranging with  
Interferometric Nulling

# LISA



# LISA II





# DARWIN

