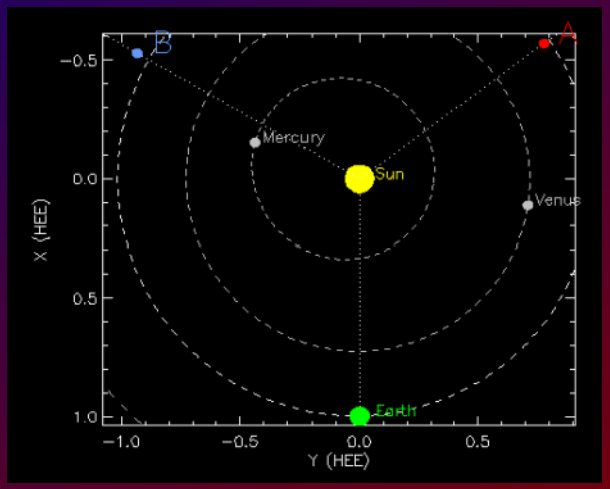
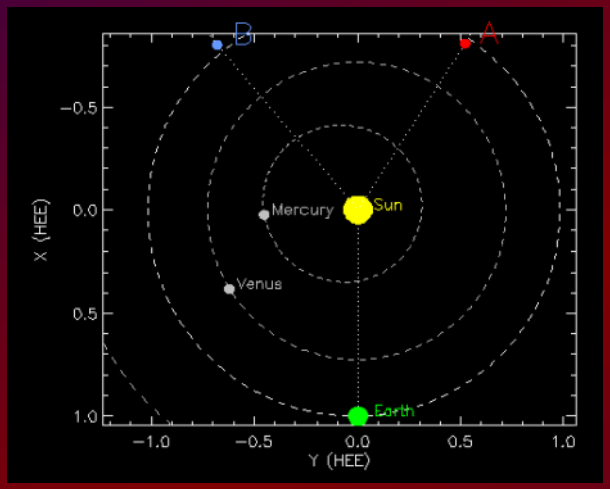
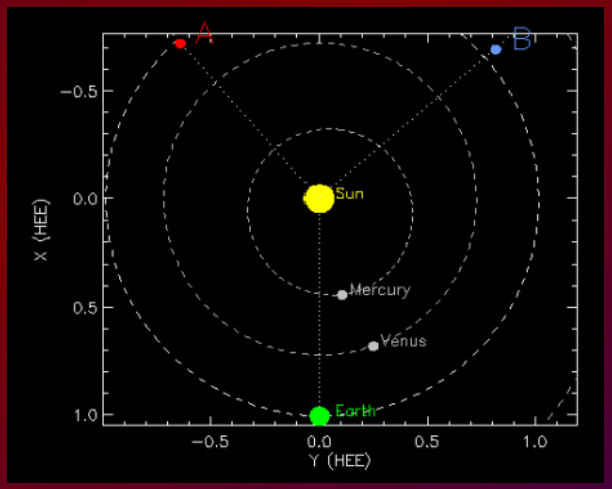






Sicherstellung des Empfangs von STEREO A/B

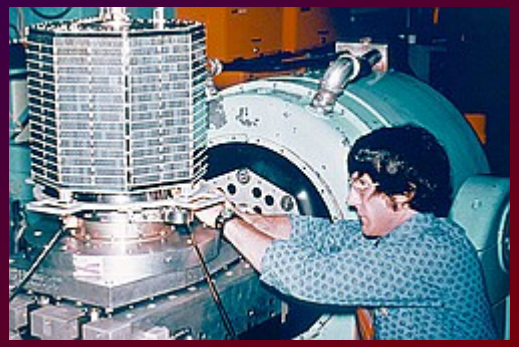
Projektabschluss-Präsentation

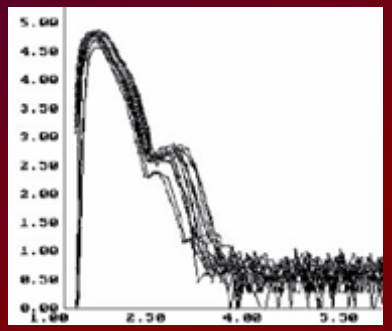
Mario Lorenz, DL5MLO
dl5mlo@amsat-dl.org

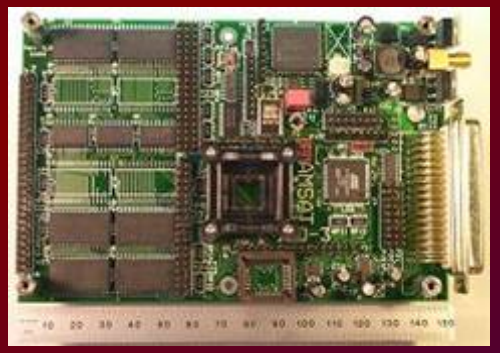
Gliederung

- AMSAT DL – Wer sind wir?
- Sternwarte Bochum – ein Rundgang
- Die STEREO-Sonden der NASA
- Projektziele und deren Erreichung
  - Neue Empfangssoftware
  - Modernisierung Empfangsanlage
  - SDR-Technik
- Projektverlauf / Besondere Ereignisse
- Ausblick

AMSAT-Deutschland







Entstehung der AMSAT

- 1960 „Project OSCAR“ in den USA

  Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio

- 1969 Gründung der AMSAT in Nordamerika als „non-profit“ Organisation (Washington, DC)

  Radio Amateur Satellite Corporation

- 1973 Gründung der AMSAT-Deutschland als eigenständiger und gemeinnütziger Verein, mit Sitz in Marburg.
  - Gründungsmitglied und langjähriger Vorsitzender Prof. Dr. Karl Meinzer, später Leiter des „ZEL“ (Zentrales Entwicklungslabor) und Honorarprofessor an der Universität Stuttgart, Institut für Raumfahrtsysteme
  - Nutzung des ZEL in enger Zusammenarbeit mit der Universität Marburg

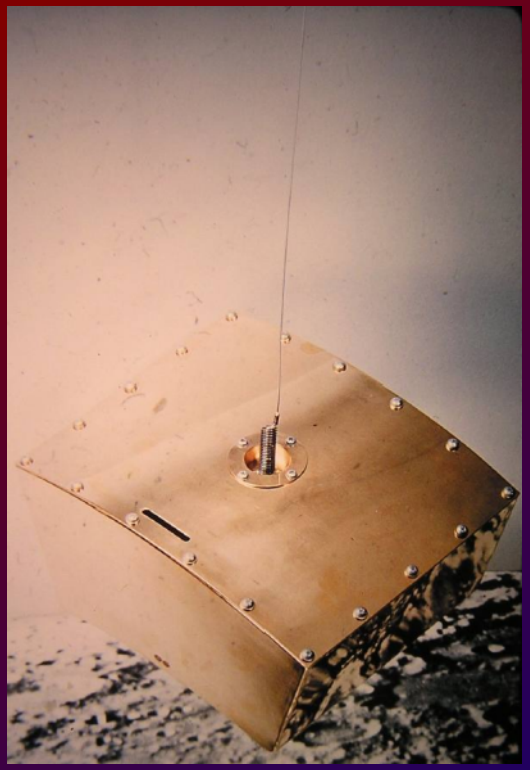
Ziele der AMSAT

- Förderung von Wissenschaft und Forschung.
- Erstellung und Betrieb von Weltraumsatellitensystemen und hochfliegenden Nachrichtensystemen zur Durchführung nachrichten- und raumfahrtwissenschaftlicher Forschung.
- Entwicklung neuer Übertragungstechniken in der Satellitenkommunikation und deren wissenschaftliche Erprobung unter Beteiligung der Funkamateure im Weltraum.
- Forschung und Weiterbildung, speziell junger Menschen.

OSCAR 1 – Der erste Amateurfunksatellit

OSCAR-1 (12. Dezember 1961, Project OSCAR)

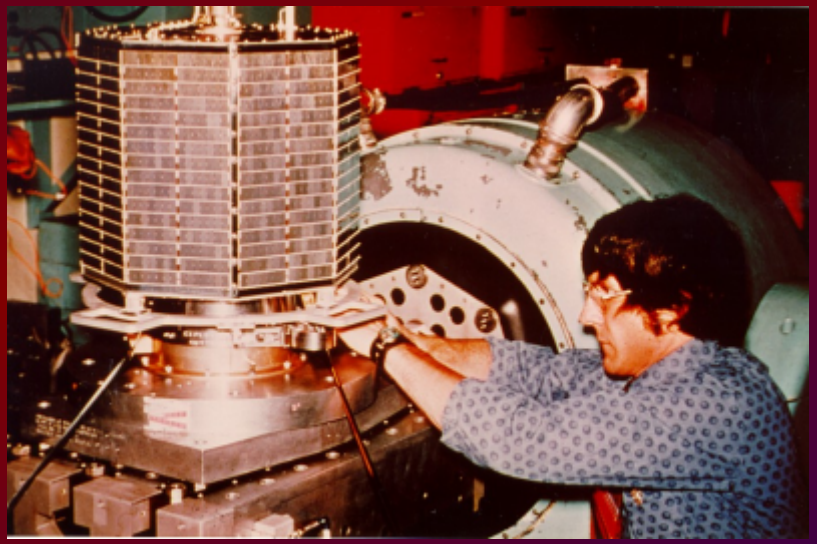
Größe ..... 30 x 25 x 12 cm
Masse ..... 4.5 kg
Trägersystem ..... Thor-Agena
(als Ballast mit Discoverer-36)
Sendefrequenz ..... 144.983 MHz
Sendeleistung ..... 140 mW
Telemetrie ..... HI in Morse Code, Temperatur (speed)
Antennen ..... single monopole
Bahnhöhe ..... 211 km / 372 km
Inklination ..... 81°
Stromversorgung.... Nickel-Cadmium
Lebensdauer ..... 22 Tage (nach 50 Tagen verglüht)



4 Jahre nach SPUTNIK-1

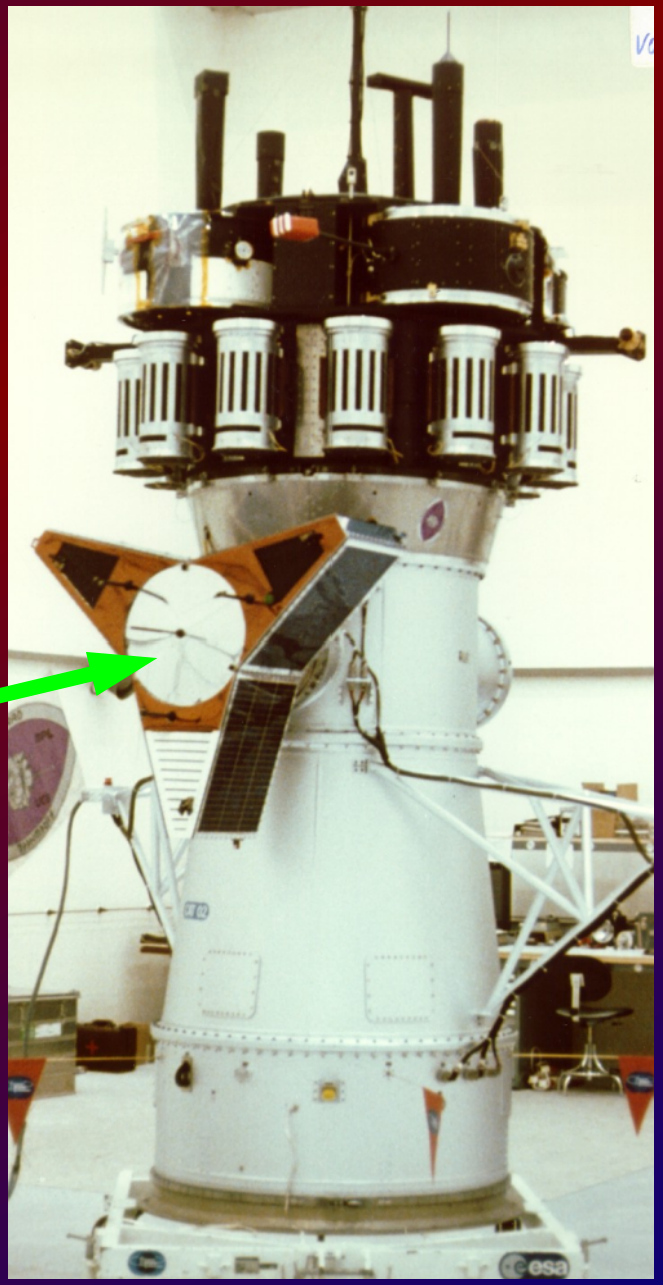
AMSAT OSCAR 7

- Erste Mitwirkung der AMSAT-DL 1974
- Mode-B Transponder: 432 MHz Uplink, 145 MHz Downlink, HELAPS
- Verstummte nach 6 Jahren aufgrund Kurzschluß der Batterie
- Seit 2002 wieder in Betrieb: Kurzschluß brach auf, Satellit operationell, wenn im Sonnenlicht.
- Somit ältester noch funktionierender Amateurfunksatellit



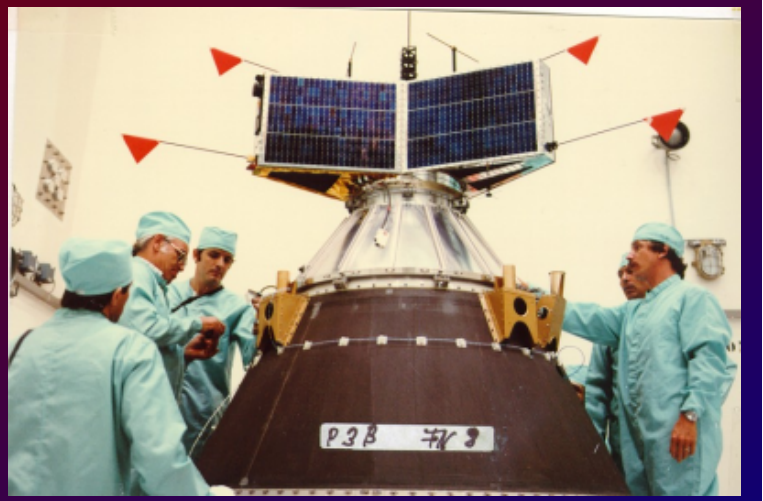
AMSAT P3-A

- 2.ter Versuchsstart der Ariane-1 (Flight L-02) am 23. Mai 1980
  - Maximale Nutzlast: 1850 kg to GTO
  - Fehlstart aufgrund Ausfall einer Treibstoff-Turbopumpe der ersten Raketenstufe.
- Nutzlasten:
  - Firewheel (1080 kg, deutscher Forschungssatellit, MPI Lindau)
  - Fire A,B,C, D Sub-Satelliten (á 50 kg)
  - AMSAT P3-A (OSCAR-9)
- Erster Amateurfunksatellit unter Projektleitung der AMSAT-DL:
  - 50 Watt Lineartransponder (UHF/VHF) 435 MHz → 146 MHz
  - Star-13C Feststofftriebwerk (Apogäum Kick-Motor)
  - COSMAC-1802 with 16 kB RAM (erster freiprogrammierbarer Bordcomputer)



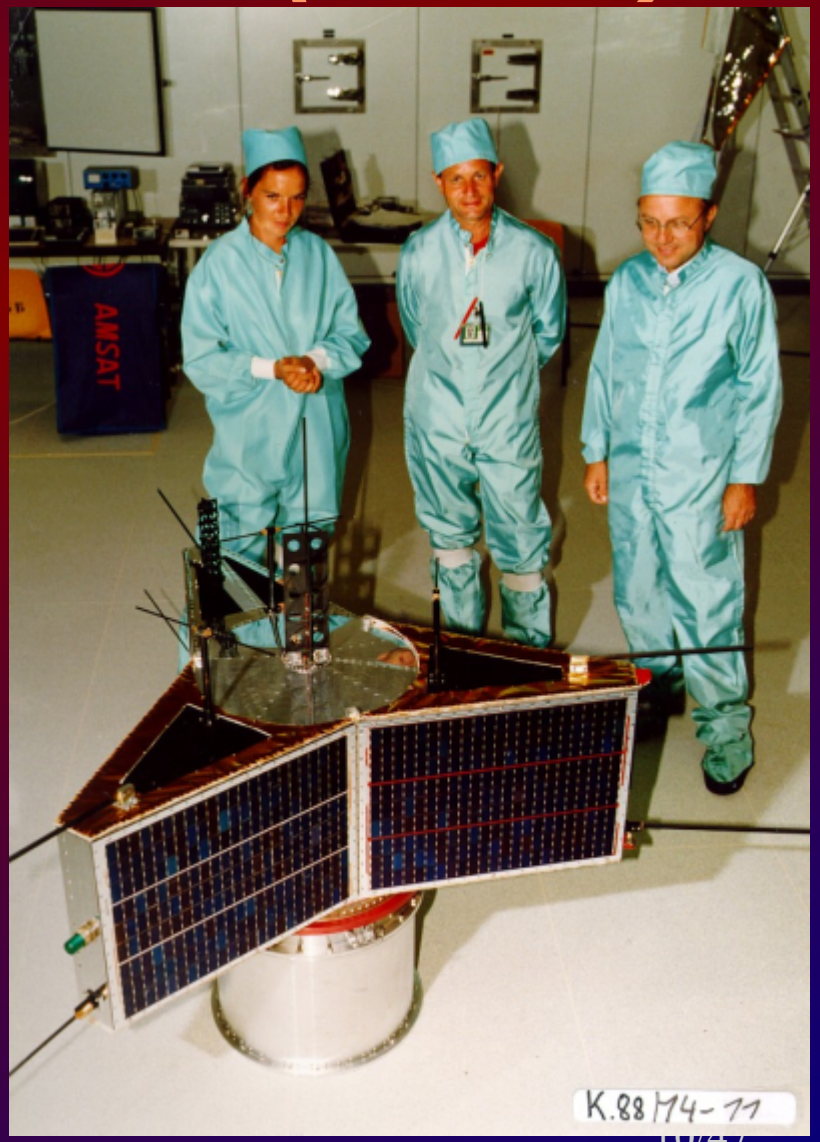
OSCAR 10 (P3-B)

- Start mit dem 6.ten Flug einer Ariane-1 (Flug L-06) am 16. Juni 1983
- Nutzlasten:
  - Primär ECS-1 (1158 kg)
  - Sekundär AMSAT OSCAR-10 (P3-B)
- Zweiter Satellit unter AMSAT-DL Projektleitung:
  - 50 Watt Lineartransponder (UHF/VHF) 435 MHz → 146 MHz (150 kHz, ~50 simultane Verbindungen).
  - 50 Watt Lineartransponder (SHF/UHF) 1296 MHz → 435 MHz (800 kHz, ~300 simultane Verbindungen).
  - 400 N Flüssigkeitstriebwerk von MBB.
  - COSMAC-1802 Bordcomputer mit 16 kB RAM



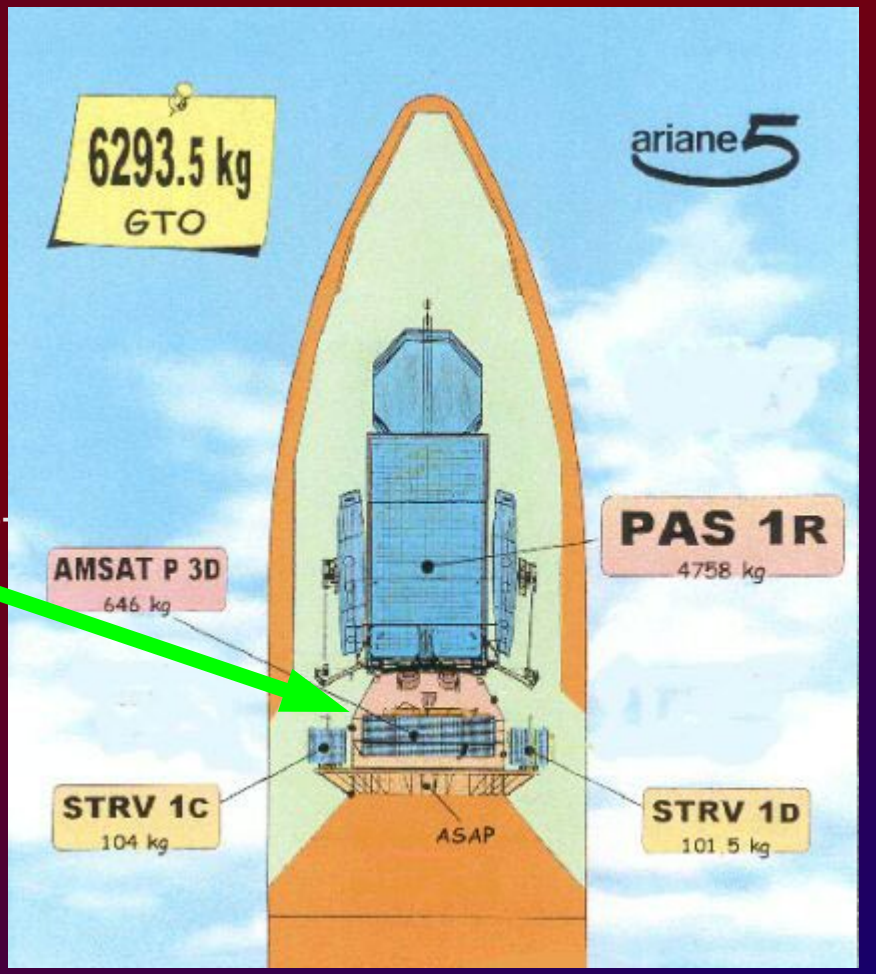
AMSAT OSCAR 13 (P3-C)

- P3-C: Start 1988 mit Ariane 401
- 3 Linear-Transponder:
  - Mode-B: 70cm / 2m
  - Mode-L: 23cm / 70cm
  - Mode-S: 70cm+23cm / 13cm
- 1 Digital-Transponder:
  - fliegende Mailbox (eMail, AX-25 Protokoll)
- 8 Jahre erfolgreicher Betrieb im Orbit
- Verglühte im Jahr 1996 aufgrund bis dahin wenig bekannter Resonanzen der Bahnmechanik mit anderen Himmelskörpern.



OSCAR-40 (P3-D)

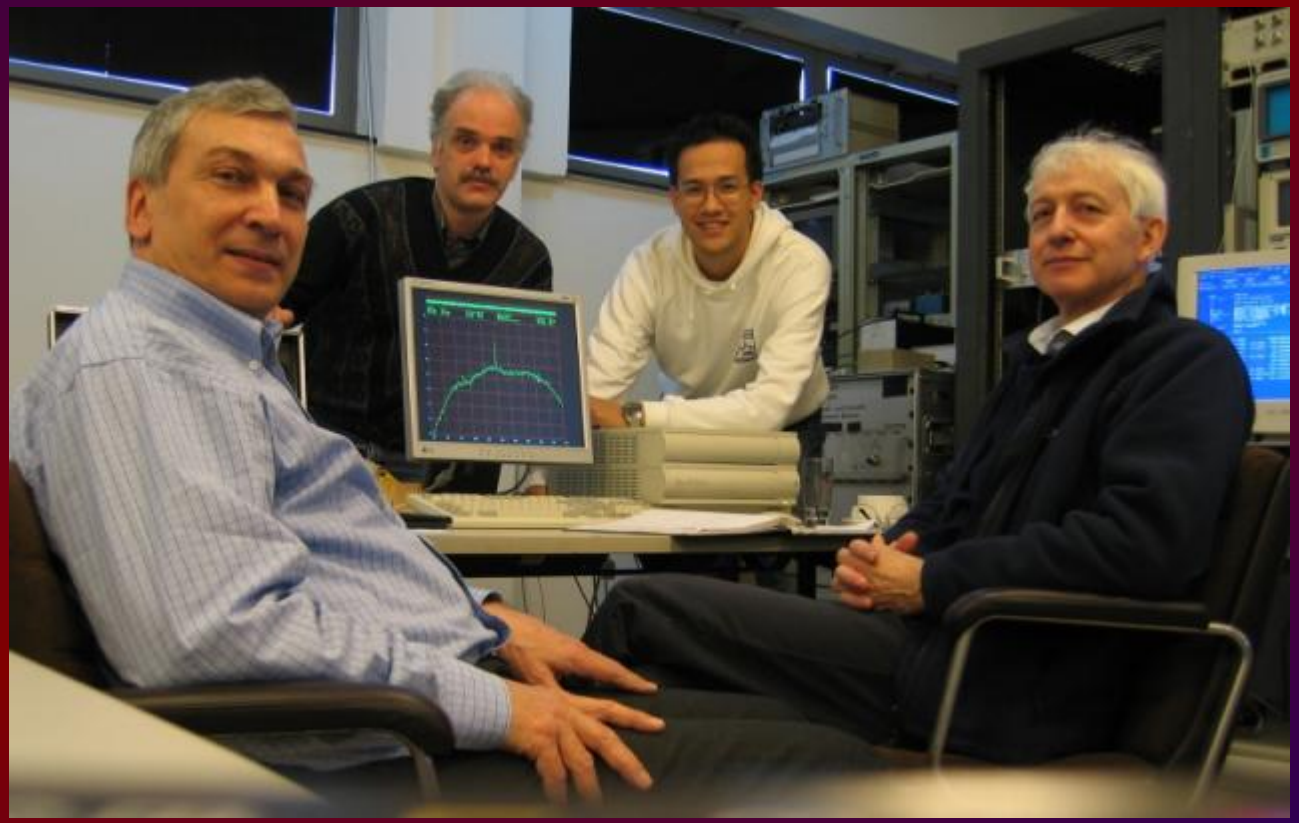
- Start mit Ariane-507 am 16. November 2000
  - Schwerster Start einer Ariane-Rakete mit 4 Satelliten an Bord.
  - Qualifizierung ASAP-5 und SBS
- Nutzlasten:
  - Primär PAS-1R for Panamsat
  - STRV-1C und -1D for DERA
  - Sekundär AMSAT OSCAR-40 (P3-D)
- Vierter Satellit unter AMSAT-DL Projektleitung:
  - 200W Hochleistungs-Transponder (VHF, UHF, L, S, C, X, K band)
  - 400N Triebwerk von EADS-ST
  - 750W Arcjet Plasmatriebwerk
  - GPS für Fluglage und Navigation
  - Magnetisch gelagerte Drallräder für 3-Axen Fluglagestabilisierung



big ears !!!

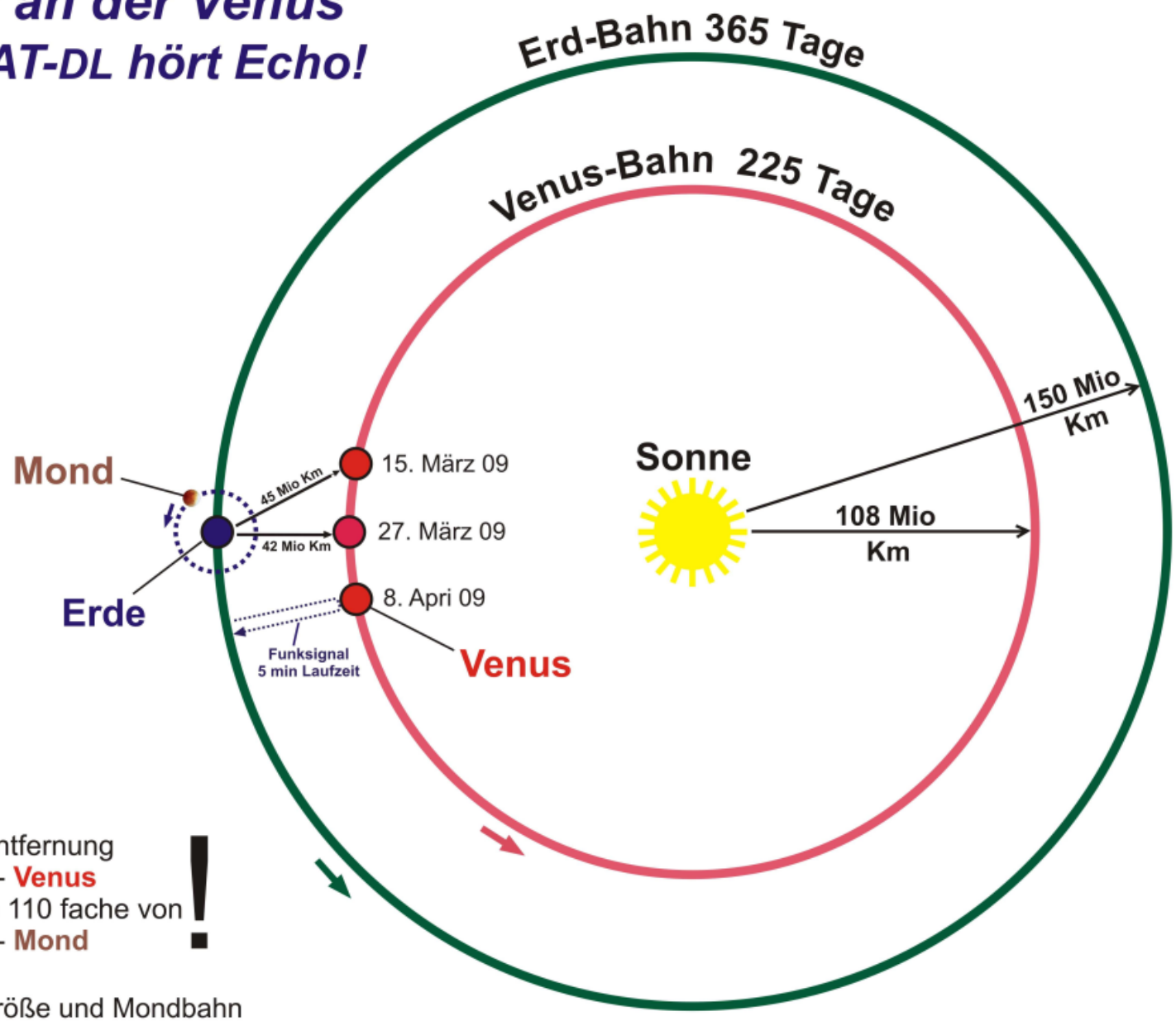
Space probe VOYAGER 1 successfully received (31.3.2006)

distance ~14.7 billion km



Freddy de Guchteneire ON6UG, Hartmut Paesler DL1YDD, Achim Vollhardt DH2VA/HB9DUN, James Miller G3RUH

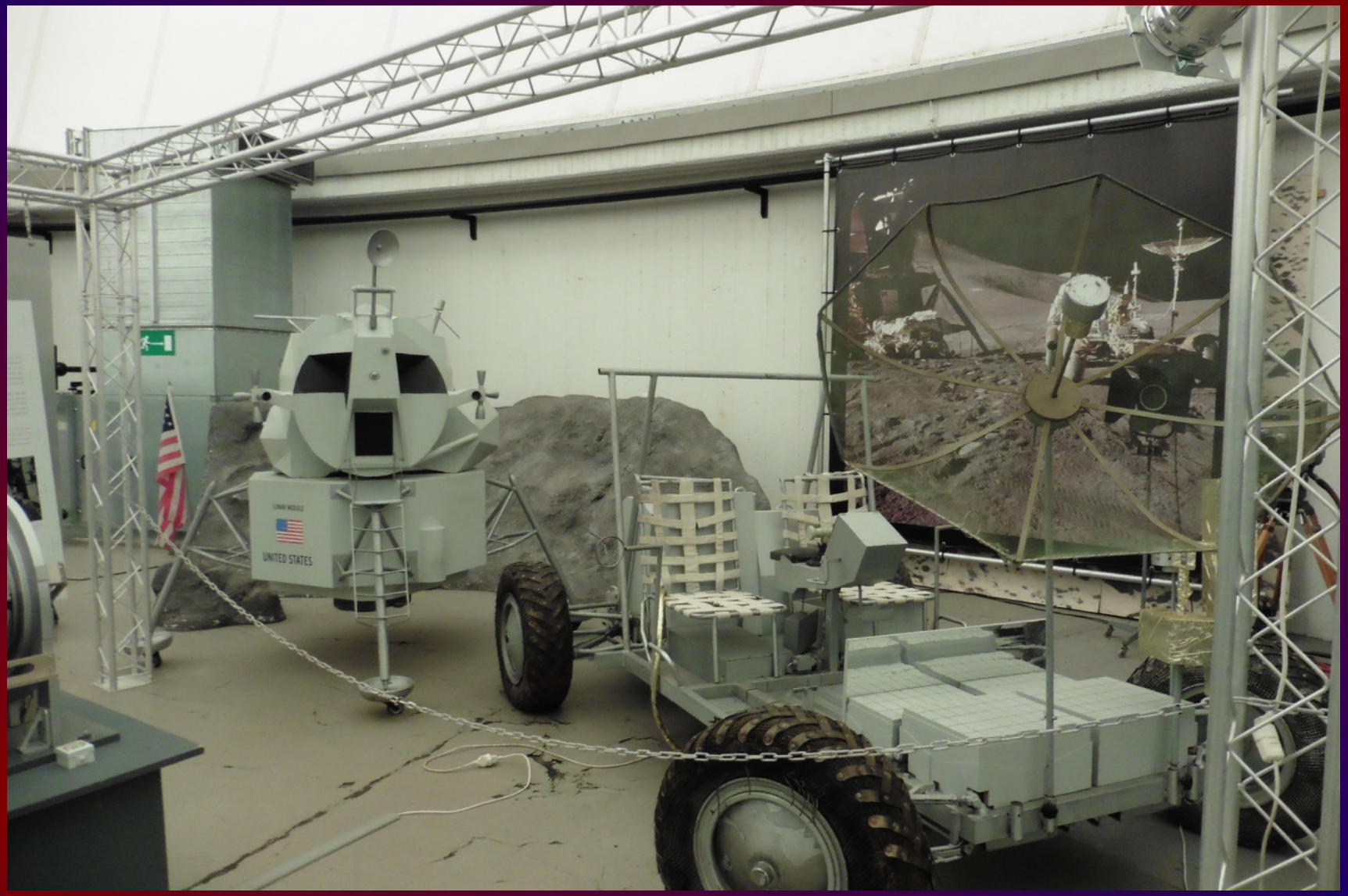
Ohr an der Venus
AMSAT-DL hört Echo!

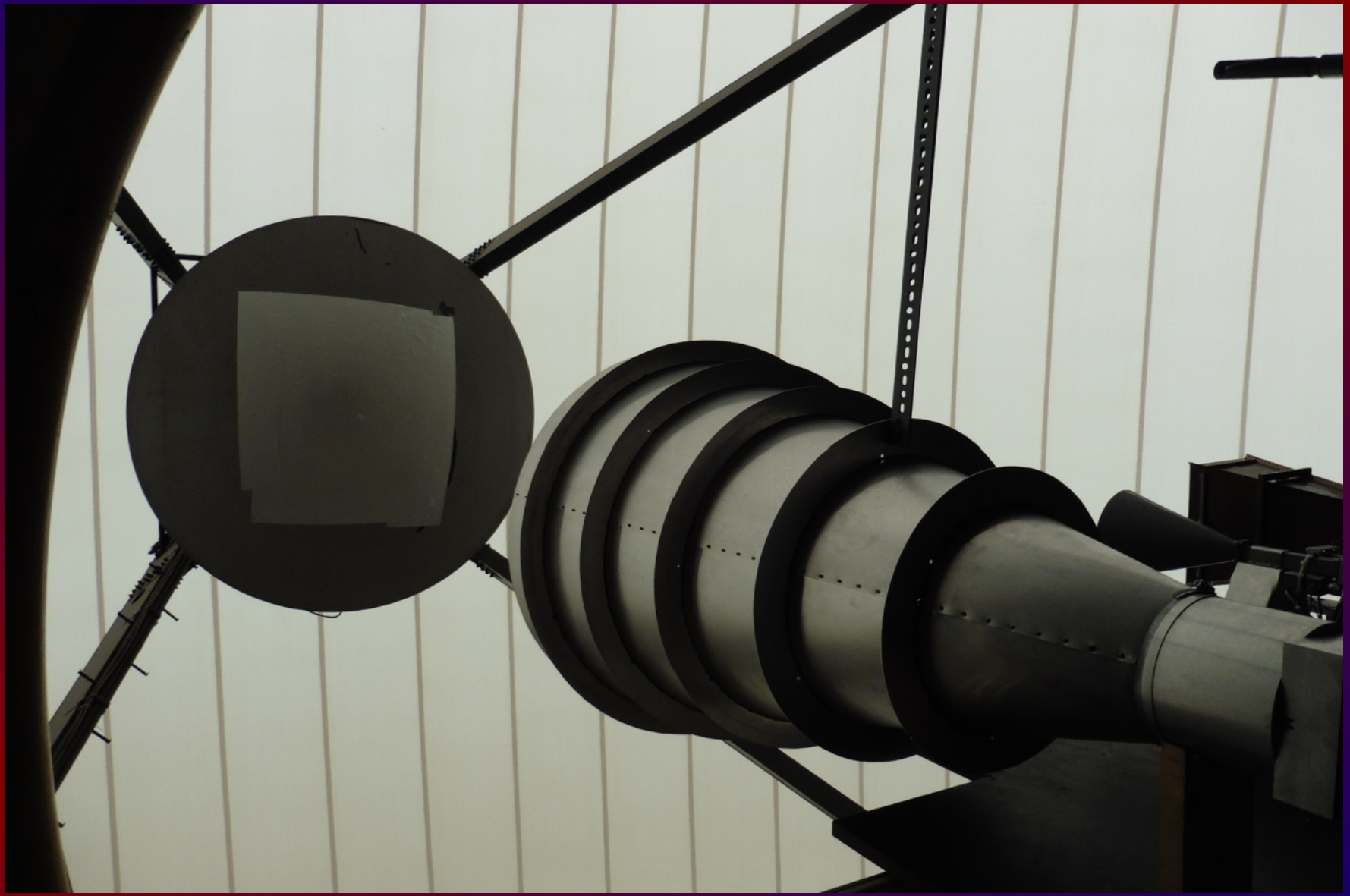


! Die Entfernung
Erde - Venus
ist die 110 fache von
Erde - Mond !

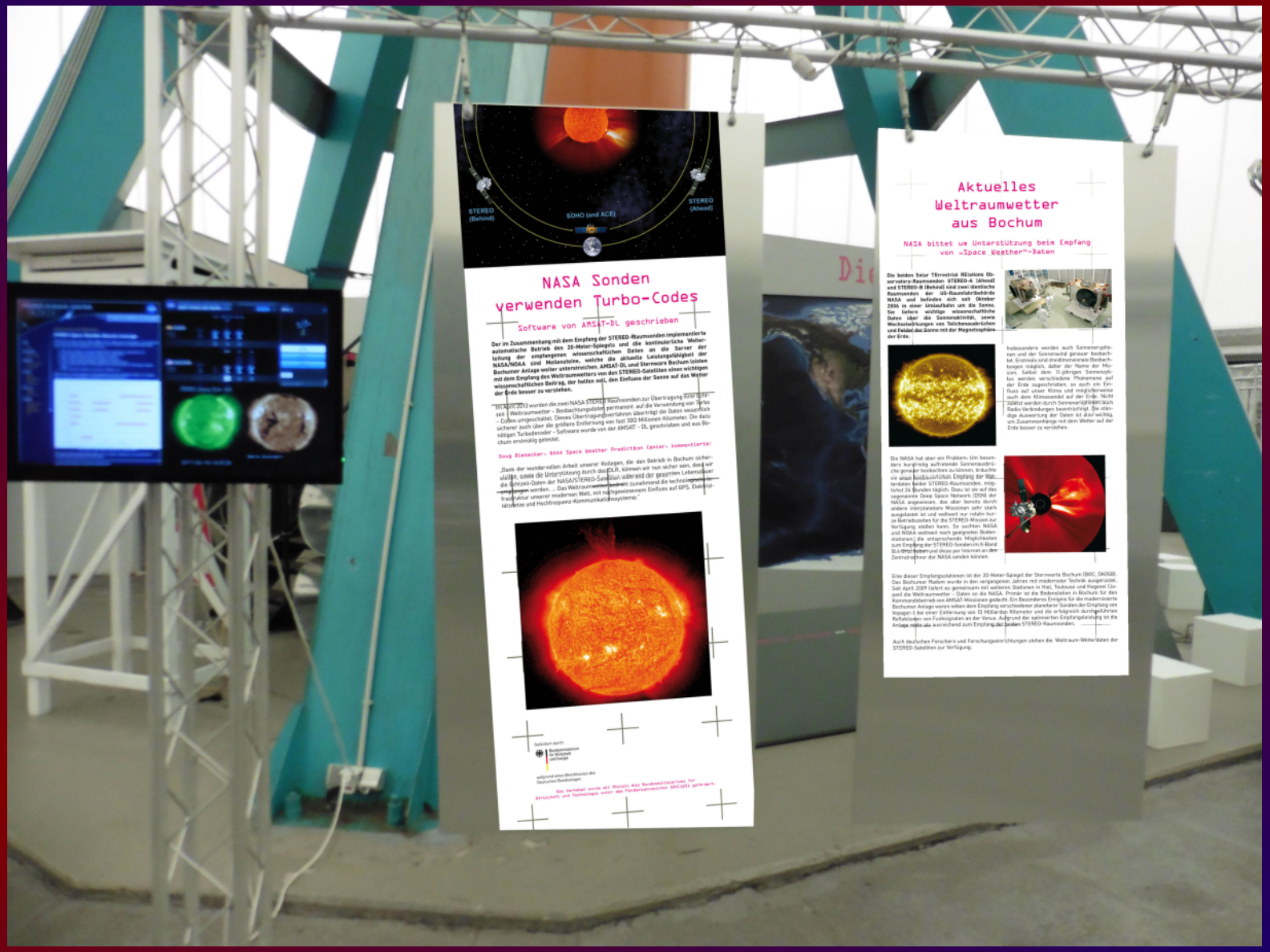
Planetengröße und Mondbahn
können nicht maßstäblich dargestellt werden.

10.03.2009 WG


UNITED STATES



HDSDR [default] version 2.70
LO B 8443.528.076
Tune 8443.527.795
FreqMgr
ExtIO
Volume
Level
S-units
Squelch
AM
ECSS
FM
LSB
USB
CW
DRM
Waterfall
Spectrum
RBW 19.1 Hz
Zoom
Avg
Speed
Soundcard [F5]
Bandwidth [F6]
Options [F7]
Help / Update [F1]
Full Screen [F11]
Stop [F2]
Minimize [F3]
Exit [F4]
NR
NB RF
NB IF
AFC
RF+17
Mute
AGC Off
Notch
ANotch
IF+0
CW ZAP
CW Peak
CWFullBw
Despread
05.04.2017 11:07:49
CPU HDSDR: 9%
CPU Total: 16%
CW Pitch = 700 Hz
RBW 0.4 Hz

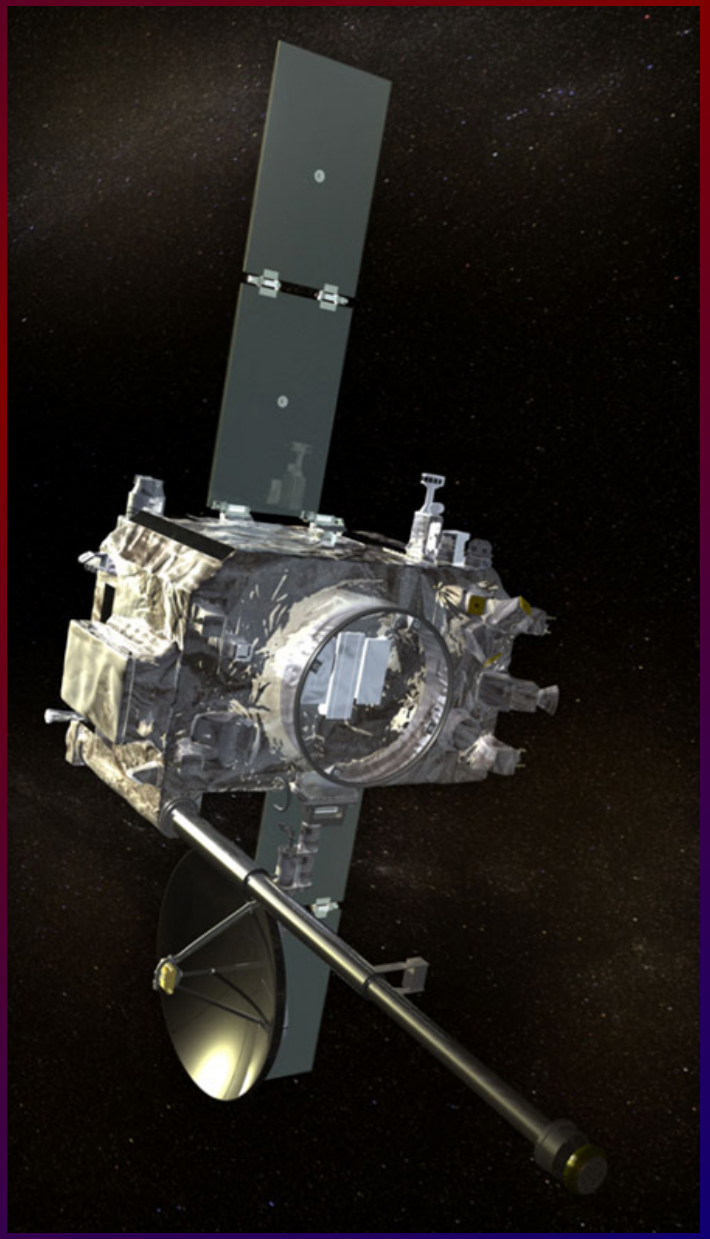

STEREO (Behind)
SOHO (and ACE)
STEREO (Ahead)
NASA Sonden verwenden Turbo-Codes
Software von AMSAT-DL geschrieben
Aktuelles Weltraumwetter aus Bochum
NASA bittet um Unterstützung beim Empfang von „Space Weather"-Daten

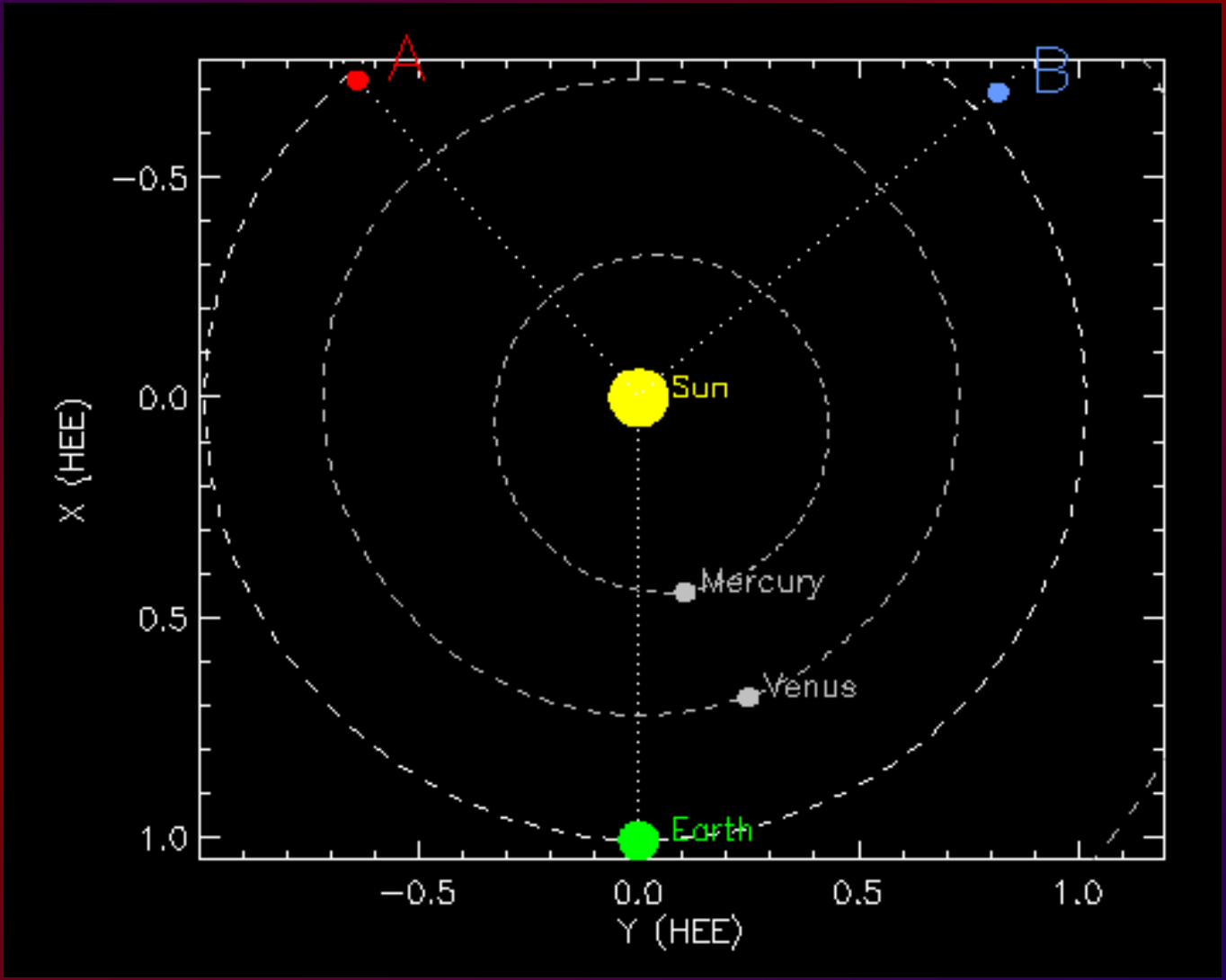
LUGPLATZ
RETEN
BOTEN
AIRFIELD
SPASSING

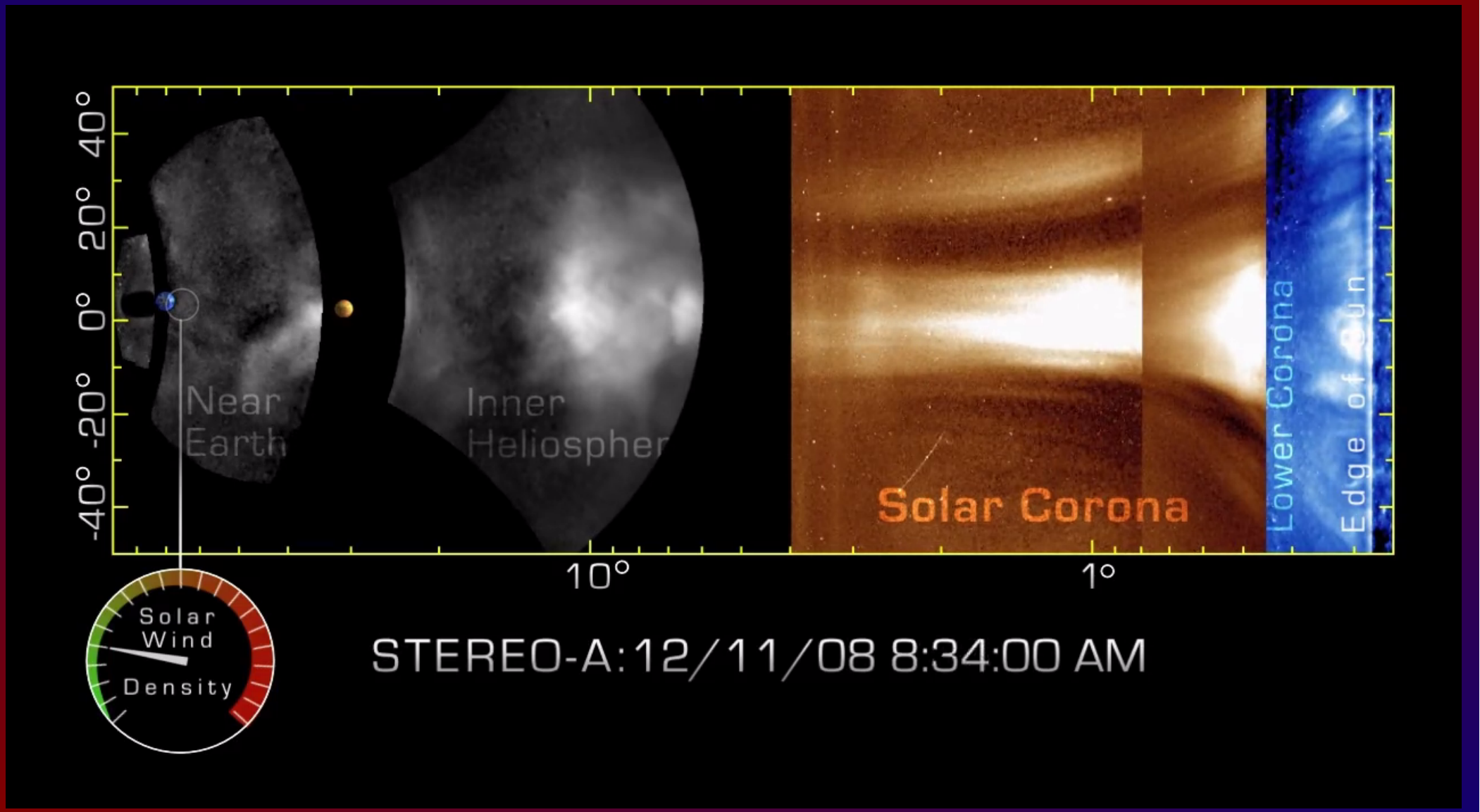
STEREO

- Solar TErrestrial Relations Observatory
- Gestartet 26.10.2006
- Auf Umlaufbahn um Sonne
- STEREO-A (Ahead)
- STEREO-B (Behind) (…eigentlich schon nicht mehr)
- 620kg Masse
- 475 W elektrische Leistung

- Sun-360 in 2011
- Conjunction 2015




A
B
Sun
Mercury
Venus
Earth
−0.5
0.0
0.5
1.0
X (HEE)
−0.5
0.0
0.5
1.0
Y (HEE)


40°
20°
0°
-20°
-40°
Near Earth
Inner Heliosphere
Solar Corona
Lower Corona
Edge of Sun
10°
1°
Solar Wind
Density
STEREO-A:12/11/08 8:34:00 AM

STEREO

- DSN (Deep Space Network) mode
  - Große Datenmengen (720 kbps)
  - wenn DSN verfügbar (nicht 24h)

- Space Weather Beacon Mode
  - Empfang mit kleineren Antennen
  - z.B. 20m-Antenne Sternwarte Bochum, 633 bps

DSN 70m Madrid (Foto: NASA)

Sternwarte Bochum, 20m

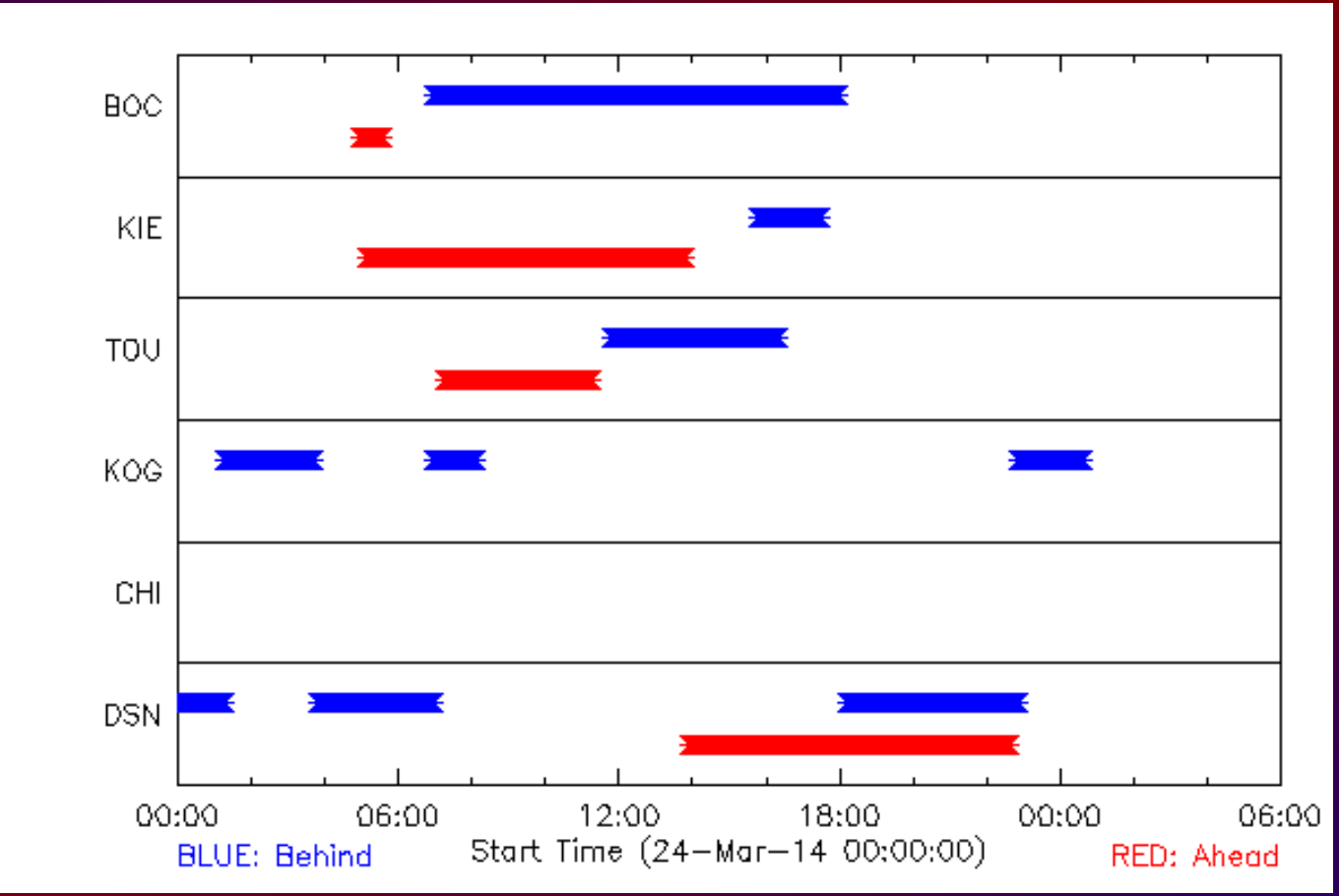
STEREO – Beacon Network

- BOC (DL) AMSAT-DL/Sternwarte Bochum
- KIE (DL) Kiel, DL0SHF
- TOU (F) CNES Toulouse
- KOG(JA) NICT Koganei
- KSWC(KR) Südkorea

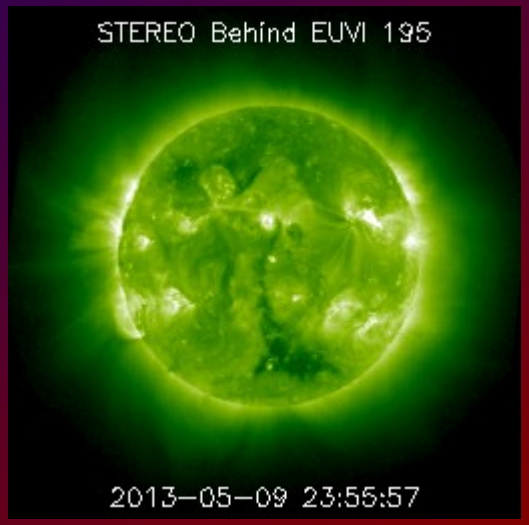
DL0SHF Kiel, 7m

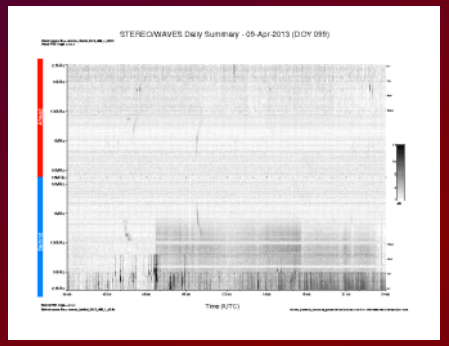
CNES Toulouse, 9m

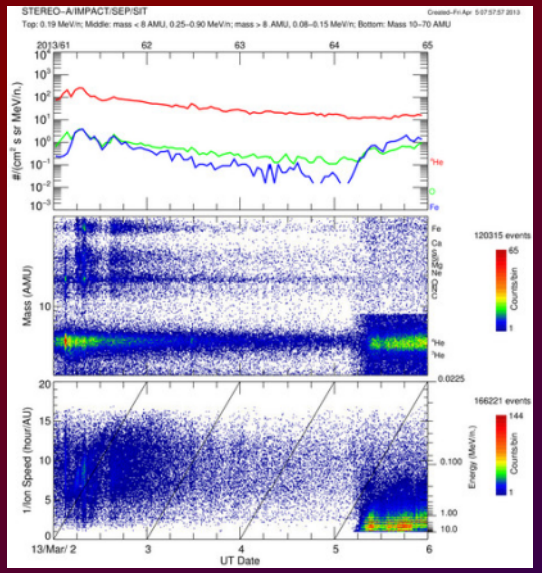
Meist nahe 24h Abdeckung

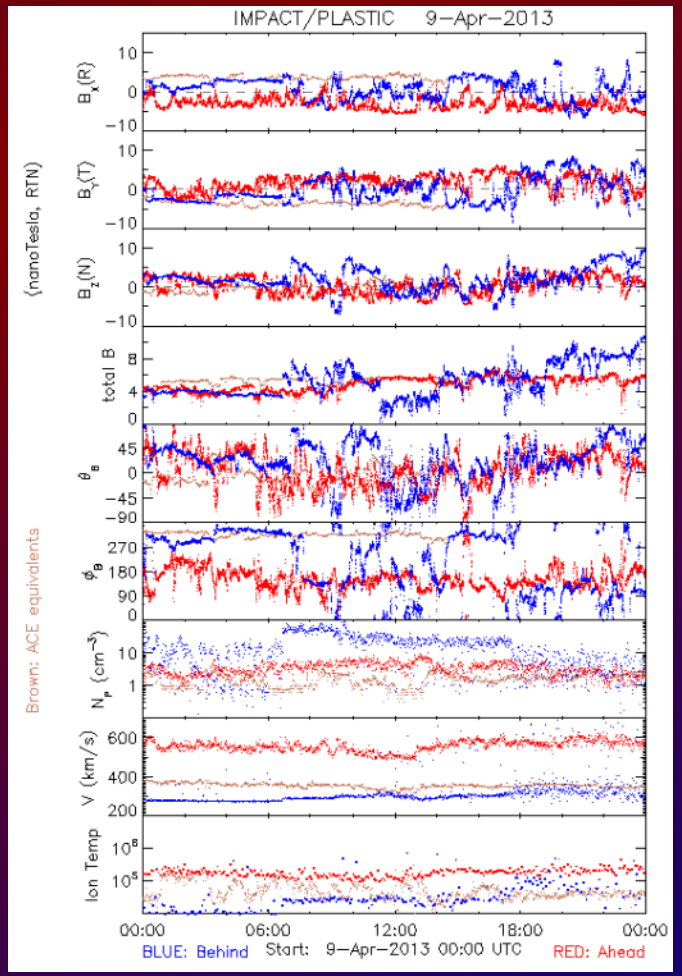


Empfangene Daten









Daten stehen frei zur Verfügung und werden auch von deutschen Forschungs-einrichtungen intensiv genutzt

Trotz steigender Entfernung: die Daten müssen fließen...

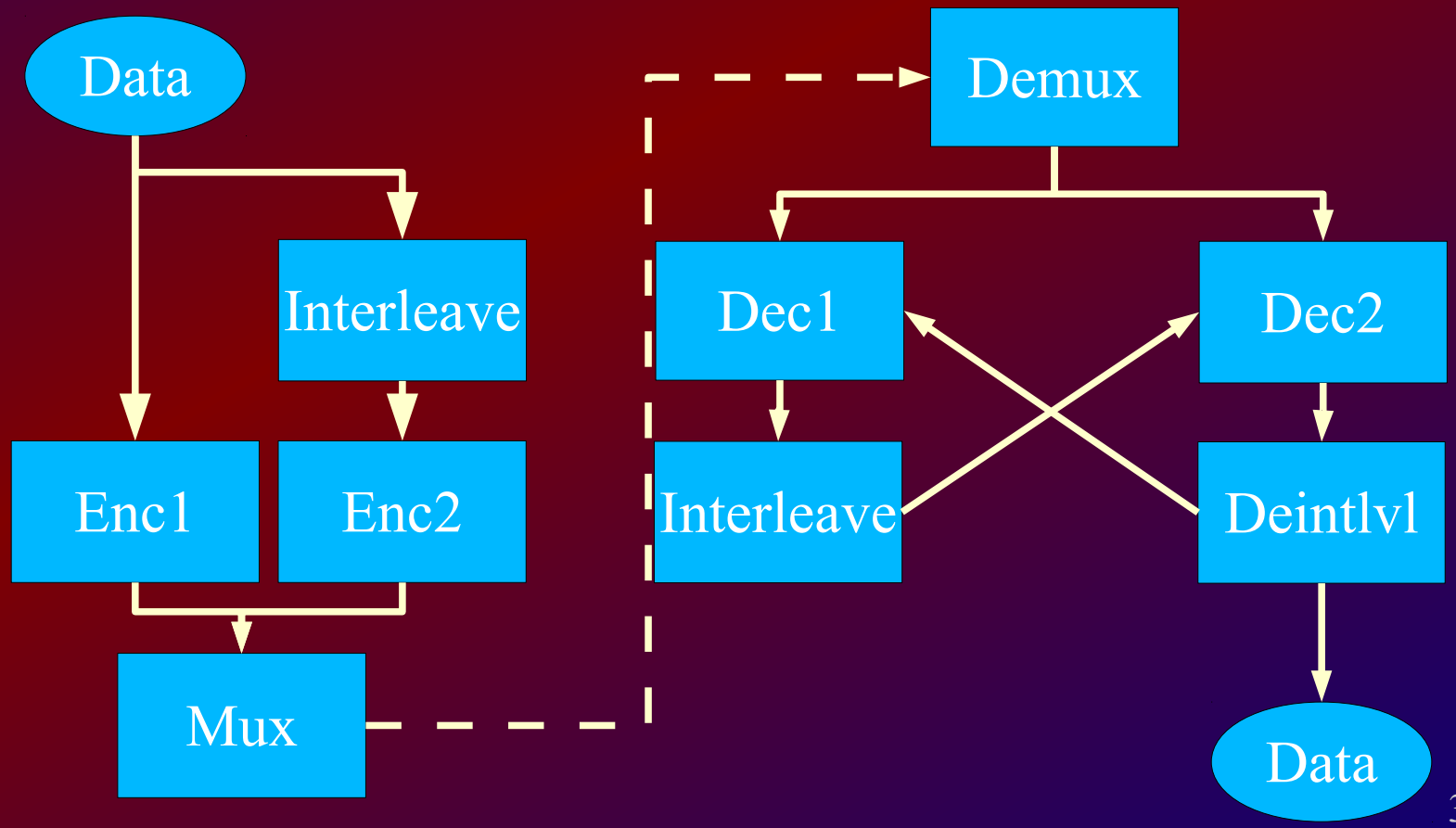
- CHI (G) Chibolton – 5m Spiegel
  - zu klein – nicht mehr in Betrieb
- KOG (JA) Koganei – 12m Spiegel
  - ok
- KIE (DL) Kiel – 7m Spiegel
  - Link grenzwertig
- TOU (F) Toulouse – 9m Dish
  - Link grenzwertig
- BOC (DL) Bochum – 20m Dish
  - Link OK, aber muss gewartet werden

Förderprojekt seit 2012

Projektziele

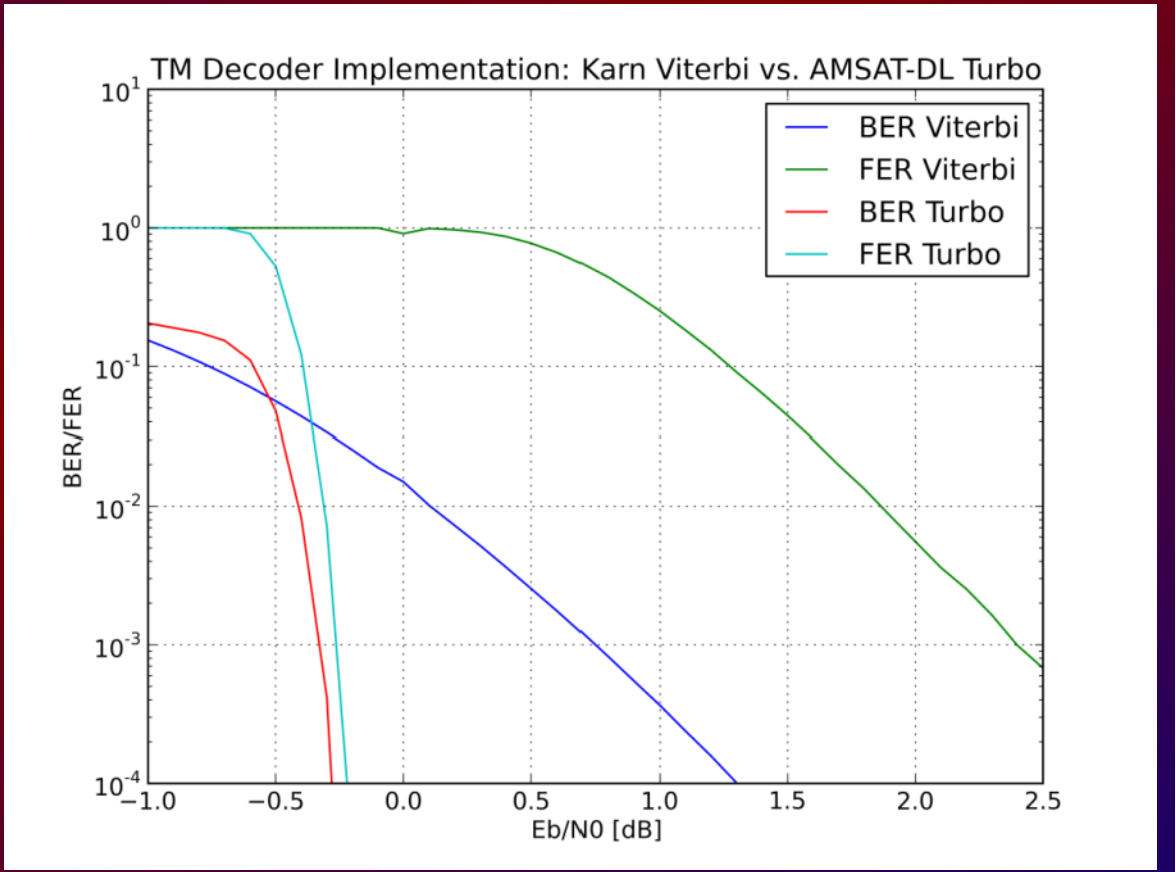
- Dazu: Neue Empfangssoftware - Einsatz von Turbocodes nach CCSDS-Standard
- Modernisierung der Empfangsanlage in Bochum – Verwendung
  von Software-Defined-Radio-Technologie
- Breitbandigere Erfassung des Signals
- Verbesserte Symboltaktrückgewinnung
- Kombination des Empfangs mit anderen Bodenstationen
- Sicherstellen des Empfangs der STEREO-Daten bis 2015 (Solar Conjunction) – Originaler Förderzeitraum

Implementierung von Turbocodes in Empfangssoftware-System



Ergebnisse

- Software
  - geschrieben
  - simuliert
  - getestet
  - an STEREO getestet



- ca. 2 dB Gewinn

→ Ausreichend um Empfang bis auf weiteres (solare Konjunktion) zu ermöglichen

Transfer an andere Bodenstationen Umstellung der STEREO-Telemetrie

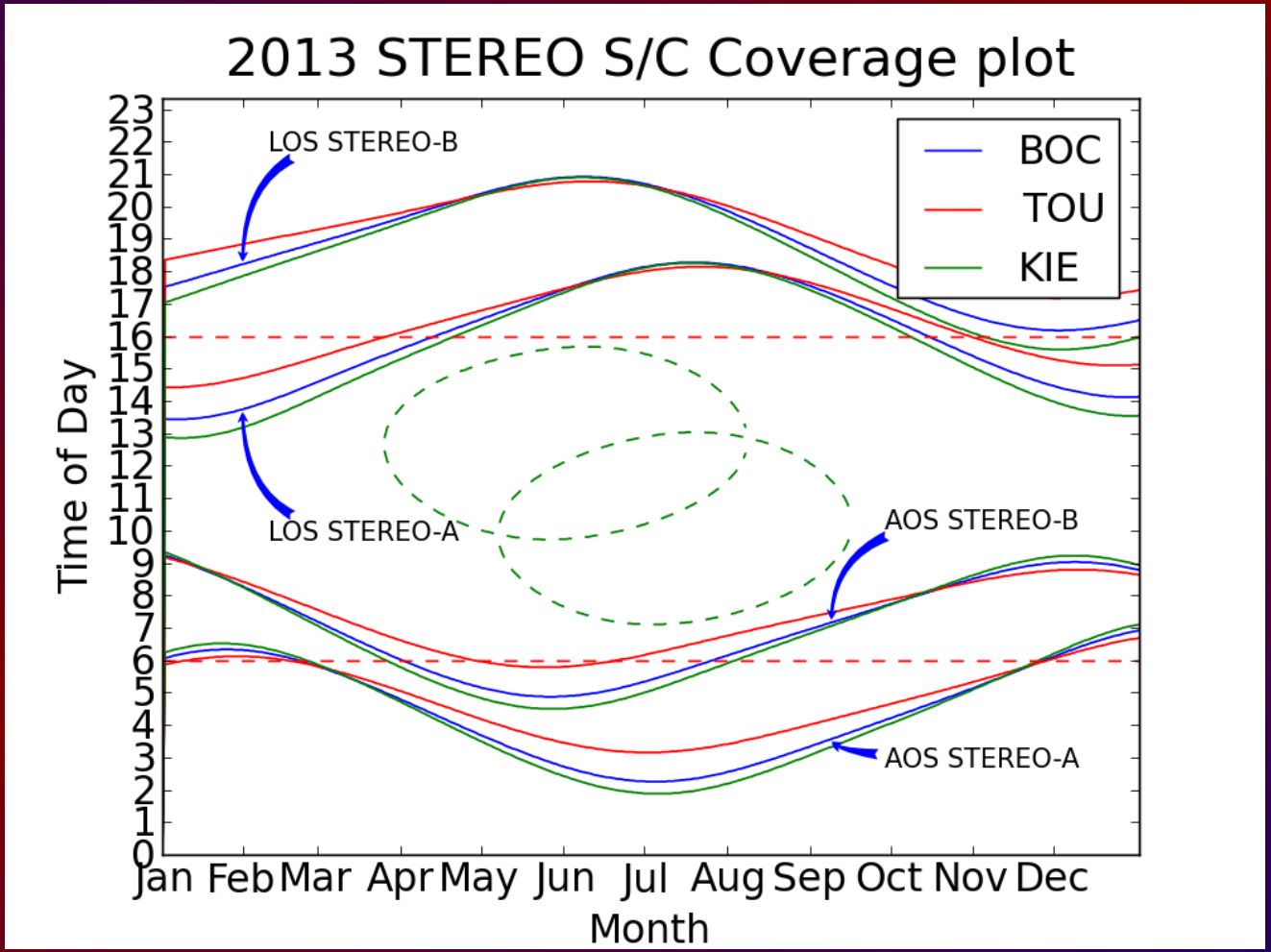
- Tests mit STEREO-A und STEREO-B am 3. und 4. Oktober 2012
- NASA schaltet – für unsere Tests – STEREO-A und STEREO-B auf TurboCode
- Tests in Bochum und Kiel erfolgreich

- Weitere Tests Feb/März 2013 mit CNES und NICT

- **Seit 2. 4. 2013 sendet STEREO mit Turbocodes und der AMSAT-DL-Empfangssoftware im Regelbetrieb**

B.Ratti, M. Thiry, M. Lorenz: “STEREO Mission: Cryogenic LNA and Turbocode” , in Proc. ESA TTC 2013, Darmstadt

Bessere Abdeckung durch bessere Planung



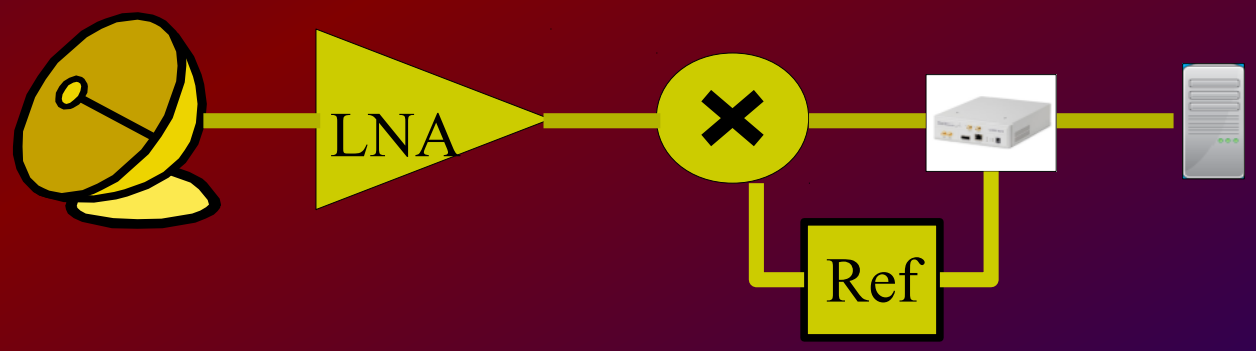
Modernisierung Empfangsanlage

- Neue Kabel zum Fokusraum (22dB → 7 dB Dämpfung)
- SDR-Empfänger (USRP-Basis)
- Neue Rechner zur Dekodierung
- Verbesserte 10MHz-Referenz
- Messtechnik

SDR-basierte Empfänger

- Doppler-Nachführung mittels NASA SPICE-Bibliothek
- Gegenüber analoger Technik ~ 0.2 dB Gewinn
- Verbesserte Taktrückgewinnung ~0.2 dB Gewinn

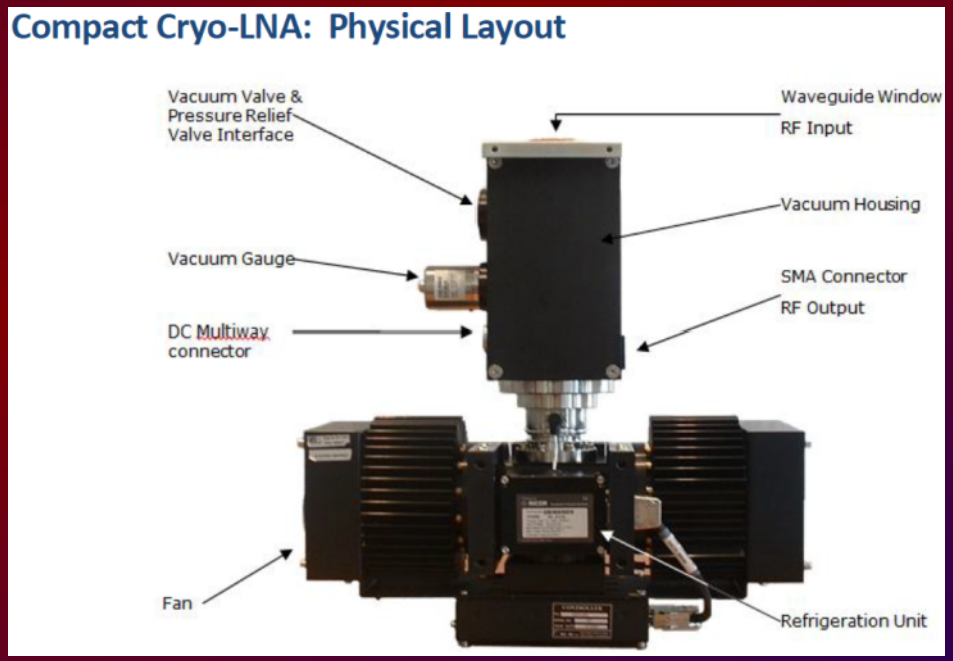
- Empfängerkopplung zwischen mehreren Antennen: Aufwand/Nutzen



- M.Lorenz: “Across the Solar System - using SDRs for real long-distance communication”, SDRA2017 (accepted)

Lösung CNES

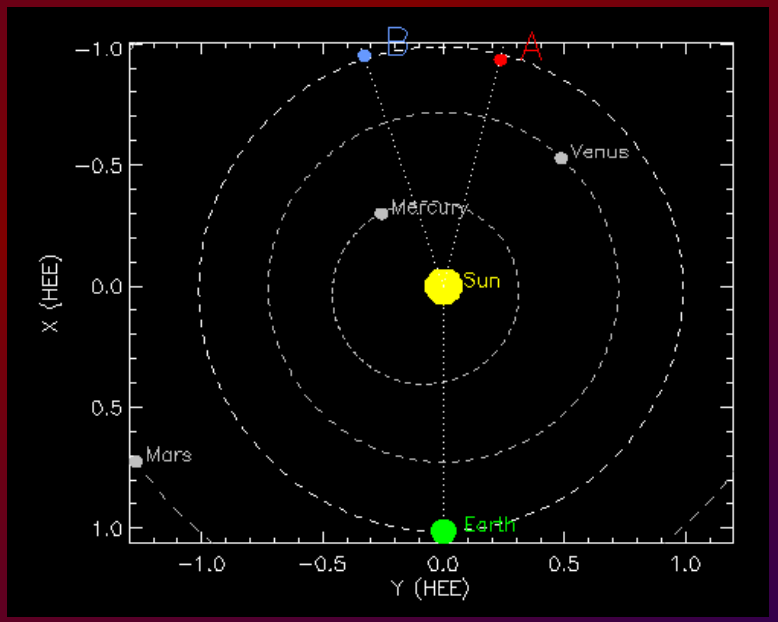
Installation Cryo-LNA (Callisto-Space)

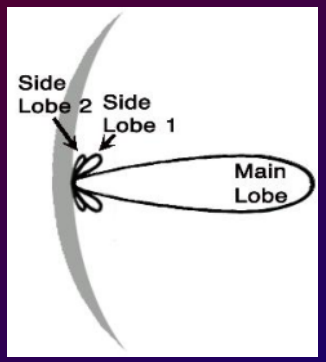


G/T Improvement ~3dB

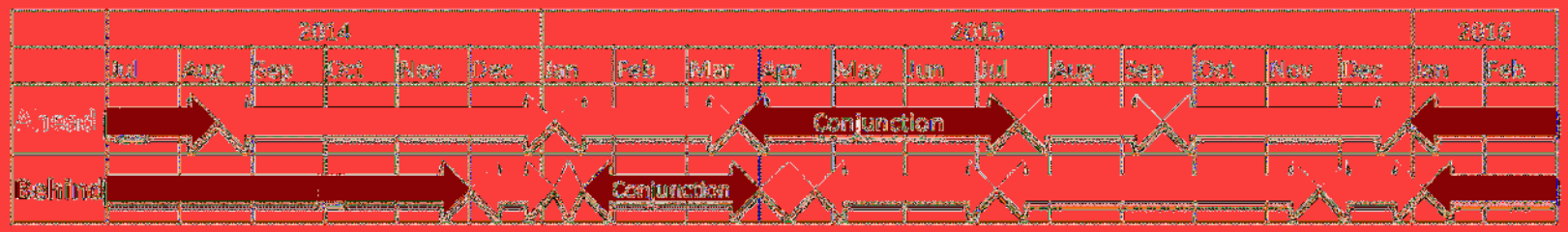
2014: Sonden in Sonnennähe

- 2015: Sonden hinter Sonne
- Problem:
  Feedhorn-Temperatur beider Sonden stieg stark an, da HGA in Richtung Sonne
- Lösung:
  Gezieltes Depointing.
  Verwendung einer Sidelobe Richtung Erde
- Empfang der Spaceweather-Beacons nicht mehr möglich





STEREO SOLAR CONJUNCTION SCHEDULE



Event	kbps	Ahead	Behind
Instrument Off (Spacecraft Test)	0	6-Jul-2014	28-Sep-14
Nominal Science	120	15-Jul-2014	6-Oct-2014
HGA on 1st Side Lobe	7.4	20-Aug-2014	1-Dec-2014
HGA on 2nd Side Lobe	1.7	5-Jan-2015	6-Jan-2015
Instrument Off	0	20-Mar-2015	20-Jan-2015
HGA on 2nd Side Lobe	1.7	14-Jul-2015	30-Mar-2015
HGA on 1st Side Lobe	7.4	24-Sep-2015	25-Apr-2015
HGA on 2nd Side Lobe (Behind Only)	1.7	NA	8-Jul-2015
HGA on 1st Side Lobe (Behind Only)	7.4	NA	20-Nov-2015
Instrument Recommissioning	120	31-Dec-2015	5-Jan-2016

25-Feb-2015 : all dates subject to change (SPACECRAFT HEALTH IS PRIORITY ONE)

1. Okt. 2014: STEREO Behind: Loss of Communication

- Test des Command-Loss-Timers
- Nach Auslösen:
  Verlust der Telemetrie
- 3 Telemetrie-Pakete empfangen: X-Axis-Gyro-Fehler
- Vermutung: Autonome Triebwerkszündung um vermeintlichen Lagefehler zu korrigieren → Verlust der Kontrolle
- Kommunikation aufgrund der Sonnennähe und großen Distanz schwierig

- Frühherbst 2016: Kontakt zu Sonde hergestellt. Soweit feststellbar in gutem Zustand. Sonde rotiert. Triebwerkszündung nicht erfolgreich → Kontakt mit Sonde vorerst wieder verloren

Auswirkungen auf Projekt

- Kein Empfang 2014-2015 aufgrund Abschaltung/Depointing seitens NASA
  - Damit Verlust des technisch besonders anspruchsvollen Zeitraums in Sonnennähe

    → Verlängerung der Projektlaufzeit bis 2016 beantragt und genehmigt

- Kein Empfang von STEREO-B seit 2014

Mittelplanung / -Abfluss

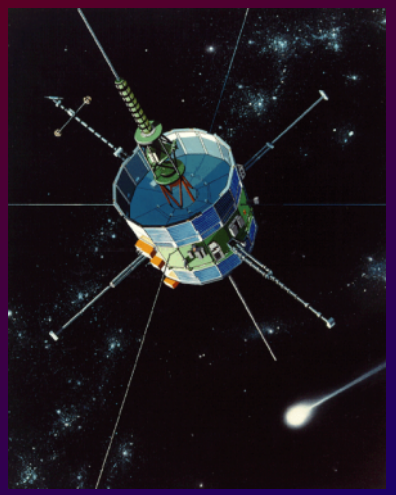
- Ersparnisse erzielt durch:
  - Schülerkräfte (Differenz zu Plan durch geringer Abgaben)
  - Einsparungen im Invest durch Erwerb von Gebrauchtgeräten

- Mittel wurden (nach Beantragung und Genehmigung) eingesetzt um Projekt zunächst bis 2016, dann bis Mitte 2017 zu verlängern und so den Zeitraum des Datenempfangs verlängert

Weitere Verwertung der Projektergebnisse

- Teile der Software wiederverwendet in Kiel (DL0SHF) zum Empfang von ACE (auf Bitten der Universität Kiel) – Daten werden dort für Forschung und ein EU-Weltraumwetter-Warnsystem eingesetzt

- Teile der Software, des Know-Hows und der Technik 2014 zur Kommunikation mit ISEE-3/ICE verwendet



Zusammenfassung

- Neue Empfangssoftware erstellt, getestet und weltweit ausgerollt
  Geänderte Planung der Datenverfügbarkeit während der Konjunktion seitens NASA. Kontaktverlust mit STEREO-B durch NASA.
  Seit 2012 kontinuierlicher Empfang der SpaceWeather-Daten in Bochum
- Keine nennenswerten technischen Ausfälle
- Dank Empfangssoftware auch kontinuierlicher Empfang in Kiel sowie in weiteren Stationen

- Bochum lieferte 2016 mehr Echtzeit-Spaceweather-Daten als das DSN

Veröffentlichungen:

- B.Ratti, M. Thiry, M. Lorenz: “STEREO Mission: Cryogenic LNA and Turbocode” , in Proc. ESA TTC 2013, Darmstadt
- M. Lorenz: Empfang von STEREO A/B an der Sternwarte Bochum – Ein Beitrag von Funkamateuren zur Erforschung des Weltraumwetters, Vortrag, HamRadio Friedrichshafen 2015
- M.Lorenz: “SDR-Empfang – quer durchs Sonnensystem”, Vortrag, Chemnitzer Linux-Tage 2017
- M.Lorenz: “Across the Solar System - using SDRs for real long-distance communication”, SDRA2017 (accepted)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen ?

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 50OC1201 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt beim Autor.