

Vorlesungsreihe

ASTRONOMIE

FH Astros
Wintersemester 2015



Die FH Astronomen – der gemeinsame Schreibtisch

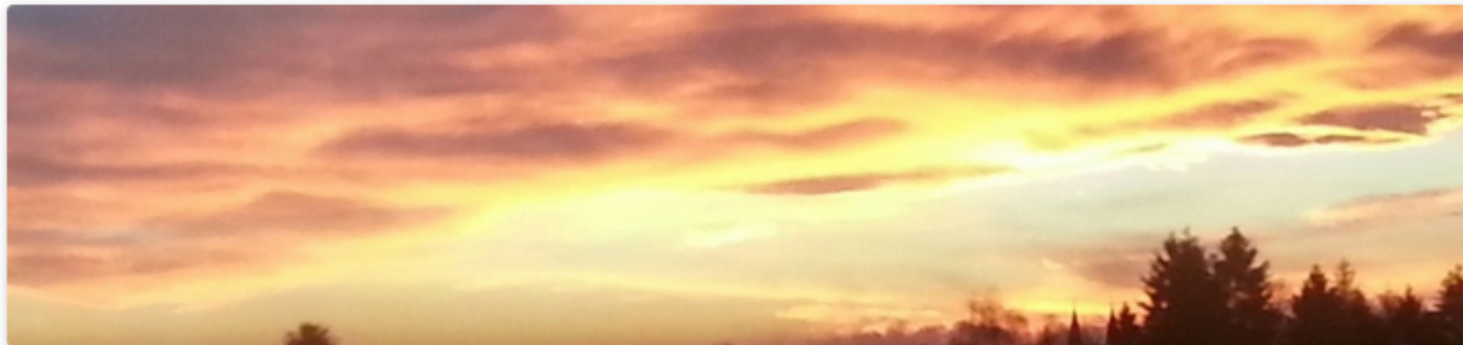
Wir bewohnen den Elfenbeinturm zu unserer gedankenverlorenen Erbauung.

STARTSEITE

NEUES

ÜBER

IMPRESSUM



FHAstros.wordpress.com

Vorlesungsreihe

ASTRONOMIE

FH Astros
Wintersemester 2015



12. Oktober 2015 – 18:00 Uhr, FH Wels, A1

Kommunikation mit Raumfahrzeugen / Funktechnik (Kurt Niel)

16. November 2015 – 18:00 Uhr, FH Wels, A1

Space Robotics – Projects on ISS (in English)

(Atsushi Ueta, JAXA – Japan Aerospace Exploration Agency)

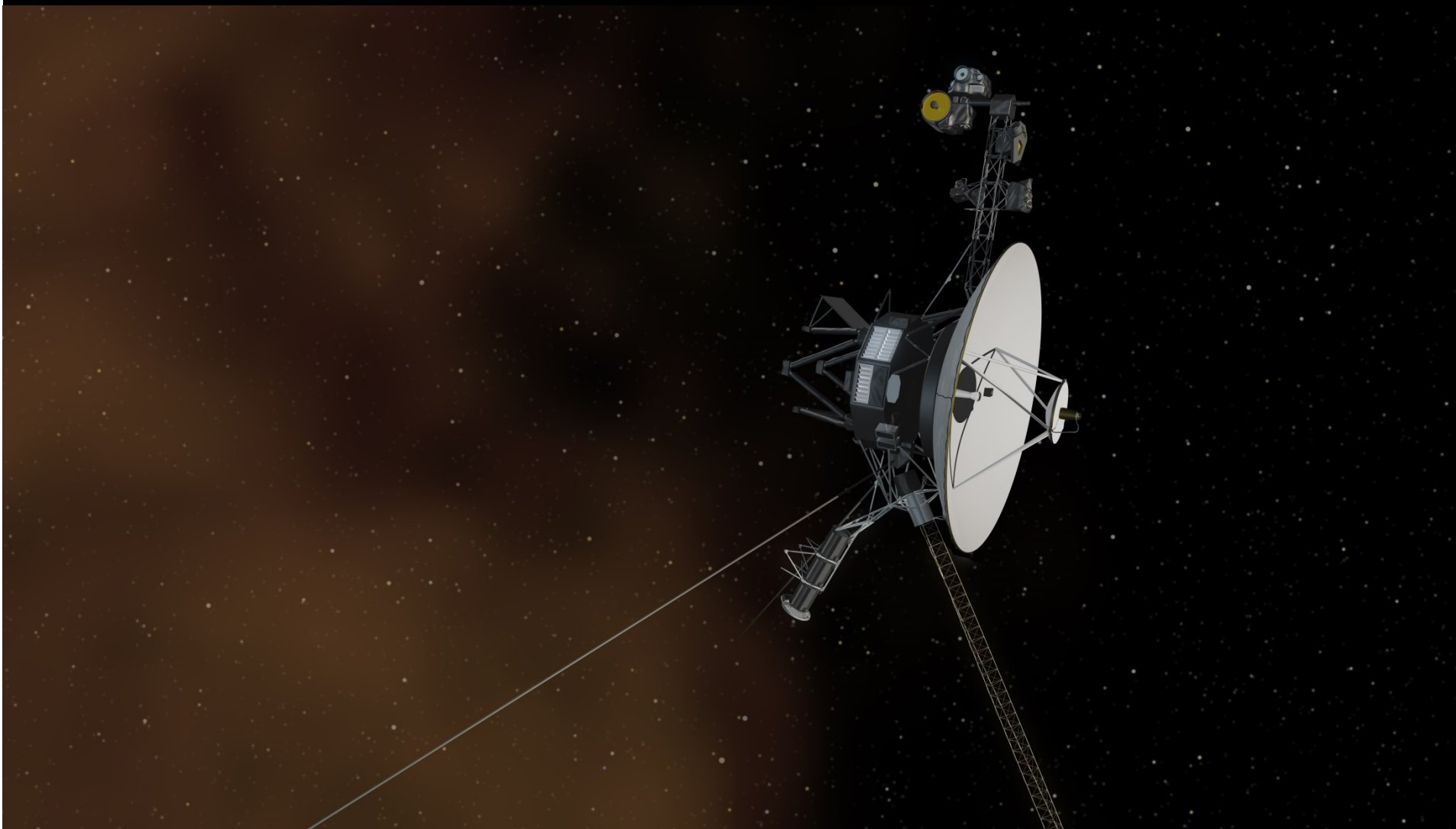
14. Dezember 2015 – 18:00 Uhr, FH Wels, A1

Astronomische Navigation (Wolfgang Steiner)

25. Jänner 2016 – 18:00 Uhr, FH Wels, A1

Entwicklung der Transportraketen ab Sputnik bis Space X

(Eugen Reichl, EADS – European Aeronautic Defence and Space Company)



VOYAGER 1, 2 Start 1977; jetzt am Rand Sonnensystem (133 AU¹⁾ – c 17:28:36 h)

Technische Daten (Funk via Deep Space Network DSN)

- Gewicht 835 - 733 kg (leichter wg. Treibstoffverbrauch)
- Energieversorgung Radioisotop Thermoelektrischer Generator (3 Stk.) - 315 W
- Antenne 3,7 m High Gain Parabolspiegel
- Sendeleistung 6,6 W – 18 W

Übertragungskanal:

- Uplink S-Band (2,7 – 3,5 GHz) - 16 b/s
- Downlink X-Band (8,4 – 8,5 GHz) - 160 b/s normal / **1,4 kb/s high-rate**

Bsp. Plasma Wave Subsystem PWS

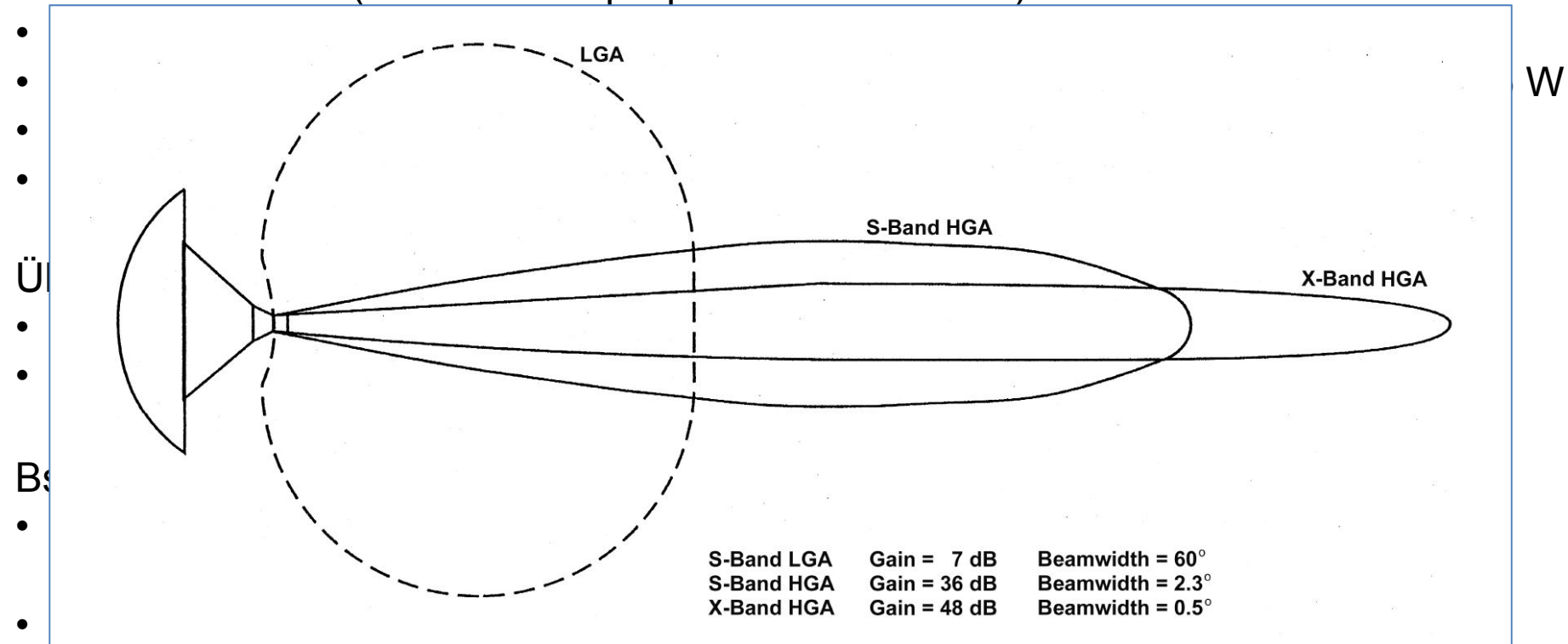
- Aufzeichnung je Woche 48 s PWS-Signal
mit 115,2 kb/s auf Digial Tape Recorder DTR
- diese Daten werden alle 6 Monate über 70 m DSN empfangen

Bsp. Bildübertragung

- Auflösung (SW-Kamera mit Filterrad) je Kanal
895 x 848 Pixel = 758 960 Byte → **Übertragungsdauer 1:15 h je Kanal**

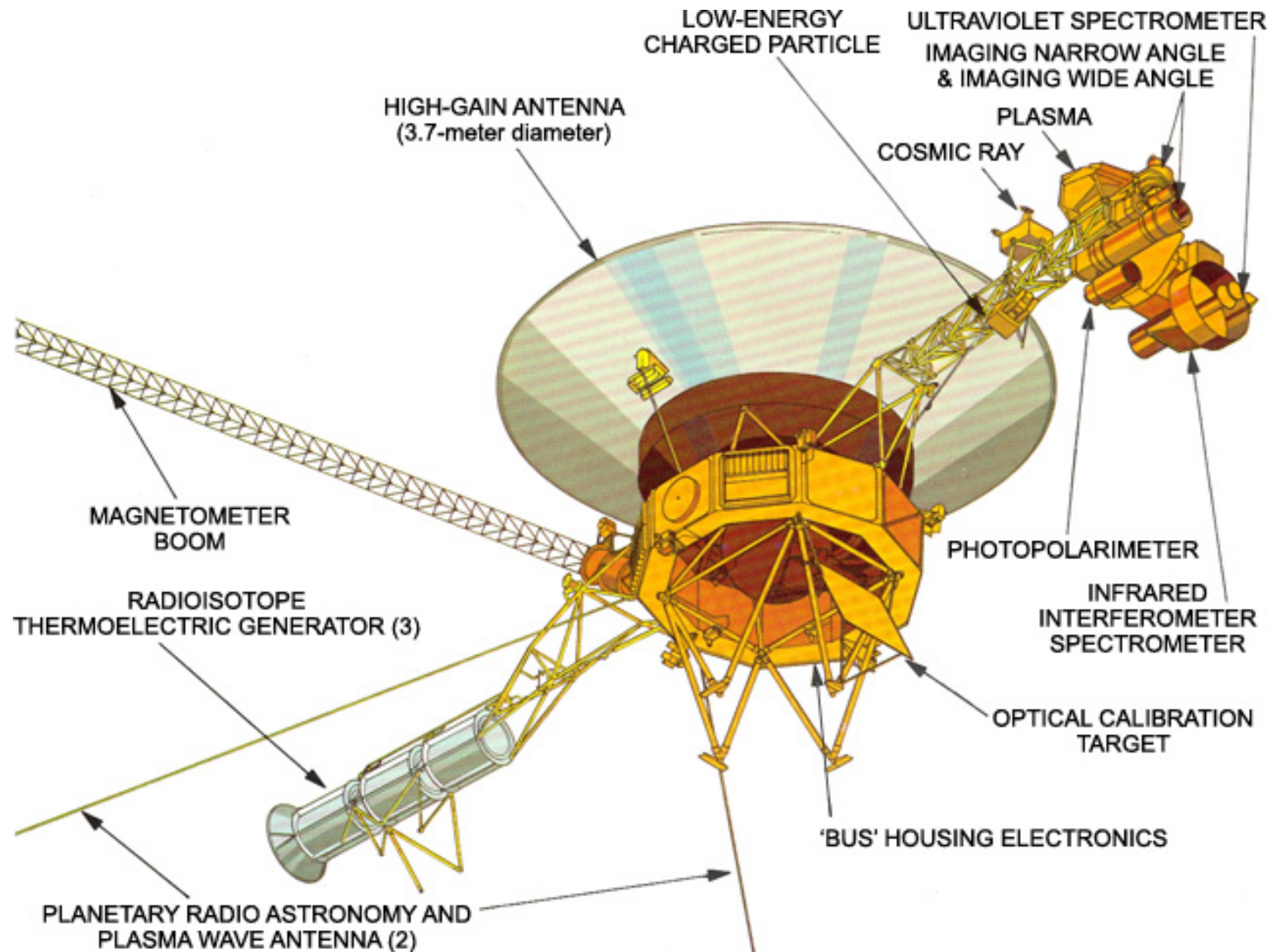
VOYAGER 1, 2 Start 1977; jetzt am Rand Sonnensystem (133 AU¹⁾ – c 17:28:36 h)

Technische Daten (Funk via Deep Space Network DSN)



Bsp. Bildübertragung

- Auflösung (SW-Kamera mit Filterrad) je Kanal
895 x 848 Pixel = 758 960 Byte → **Übertragungsdauer 1:15 h je Kanal**



GRUNDBEGRIFFE NACHRICHTENTECHNIK

- Freiraumdämpfung
- Antennengewinn
- Signal-/Rauschverhältnis
- Bitfehler vs. Signal-/Rauschverhältnis
- Empfängerrauschen

$$S_{dB} = 10 \cdot \log S$$

$$P_{dBm} = 10 \cdot \log P_{mW}$$

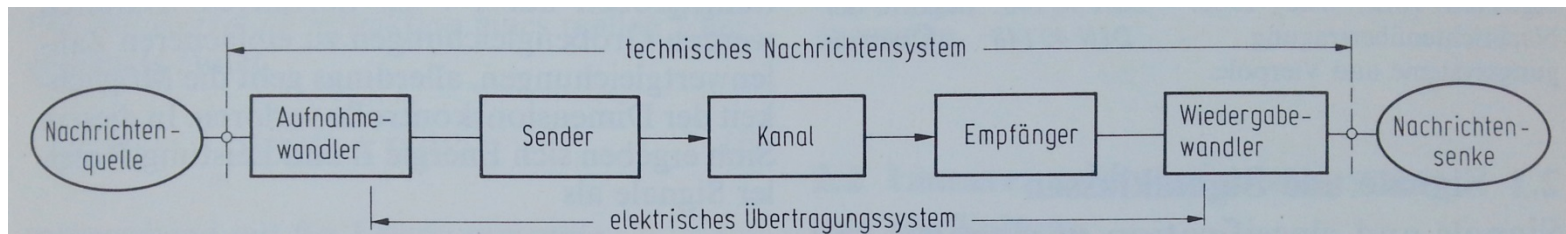


Bild 1. Allgemeines Schema einer Nachrichtenübertragung

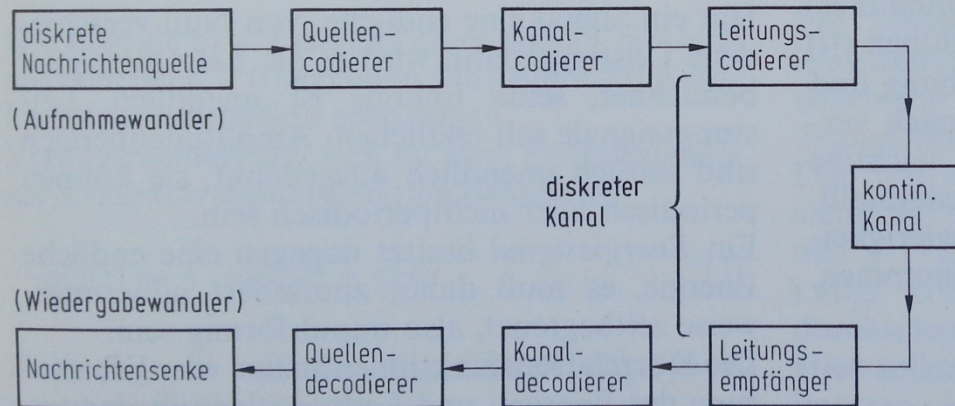


Bild 2. Schema eines digitalen Übertragungssystems

1) Empfangsleistung (isotrop)

$$P_{ri} = S \cdot A_w = \frac{P_{ti}}{4\pi r^2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

P_{ri} .. Empfangsleistung isotrop [W]
 S .. Strahlungsleistungsdichte [W/m²]
 A_w .. wirksame Antennenfläche
 P_{ti} .. Sendeleistung isotrop [W]
 r .. Entfernung Sender > Empfänger [m]
 λ .. Wellenlänge [m]

2) Freiraumdämpfung *Space Loss* (isotrope Antennen)

$$F_i = \frac{P_{ti}}{P_{ri}} = \left(\frac{4\pi r \cdot f}{c} \right)^2$$

F_i .. Freiraumdämpfung [1]
 P_{ti} .. Sendeleistung isotrop [W]
 P_{ri} .. Empfangsleistung isotrop [W]
 r .. Entfernung Sender > Empfänger [m]
 f .. Sendefrequenz [Hz]
 c .. Lichtgeschwindigkeit [m/s]

$$F_{i,dB} = 10 \log(F_i)$$

$$F_{i,dB} = 20 \log(r) + 20 \log(f) - 147,55$$

Verbindung	Frequenz	Entfernung	Freiraumdämpfung isotrop
TV-Satellit	S-Band – 3 GHz	36 000 km	193 dB
Rosetta	S-Band – 3 GHz	1,4 AU = 214 Mio km	269 dB
Voyager	S-Band – 3 GHz	48,6 AU = 7 290 Mio km	296 dB
Voyager	X-Band – 8 GHz	48,6 AU = 7 290 Mio km	308 dB
Voyager	S-Band – 3 GHz	133,0 AU = 20 000 Mio km	308 dB

3) Friis-Übertragungs-
gleichung

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2$$

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{G_t G_r}{F_i}$$

P_t .. Sendeleistung [W]
 P_r .. Empfangsleistung [W]
 G_t .. Antennengewinn Sender
 G_r .. Antennengewinn Empfänger
 r .. Entfernung Sender > Empfänger [m]
 λ .. Wellenlänge [m]

4) Antennengewinn
Parabolantenne

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot A \cdot \eta_{eff}$$
$$G = \left(\pi \frac{d}{\lambda} \right)^2 \cdot \eta_{eff}$$

G .. Antennengewinn
 λ .. Wellenlänge [m]
 A .. Antennenfläche [m²]
 d .. Antennendurchmesser [m]
 η_{eff} .. Wirkungsgrad 0,8..0,99 [1]

5) Empfangsleistung

$$P_{r,dBm} = P_{t,dBm} + G_{t,dB} + G_{r,dB} - F_{i,dB}$$

6) Empfangsleistungsabstand zur Leistungsdichte des Empfängerrauschens N_0

$$P_{r,dBm}/N_0 = P_{r,dBm} - N_0$$

... Maß für „Brauchbarkeit“ des Empfangssignals

7) Übertragungsrate (Shannon-Hartley)

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

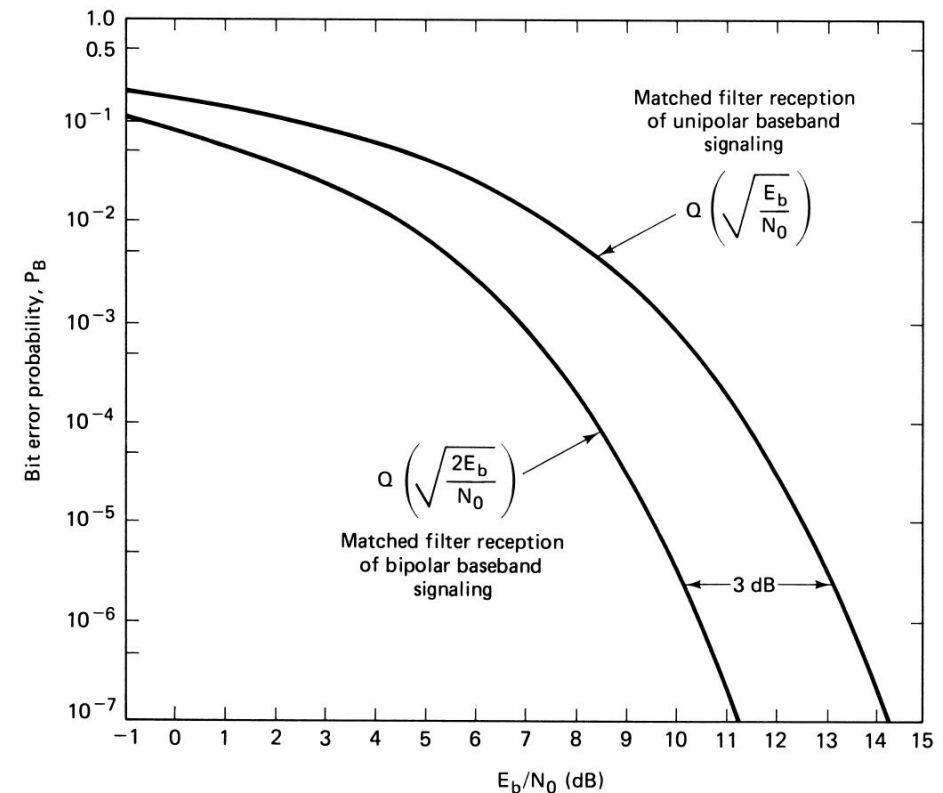
C .. Ideale Übertragungsrate [bps]
B .. Bandbreite [Hz]
S .. Singnalleistung [W] od. $[\sqrt{V}]$
N .. Rauschleistung [W] od. $[\sqrt{V}]$
S/N .. Signal-/Rauschverhältnis [1]

8) Bitfehlerhäufigkeit = Maß für Qualität der Übertragung in einem Kanal (Anzahl Fehler pro Zeiteinheit) - Messung

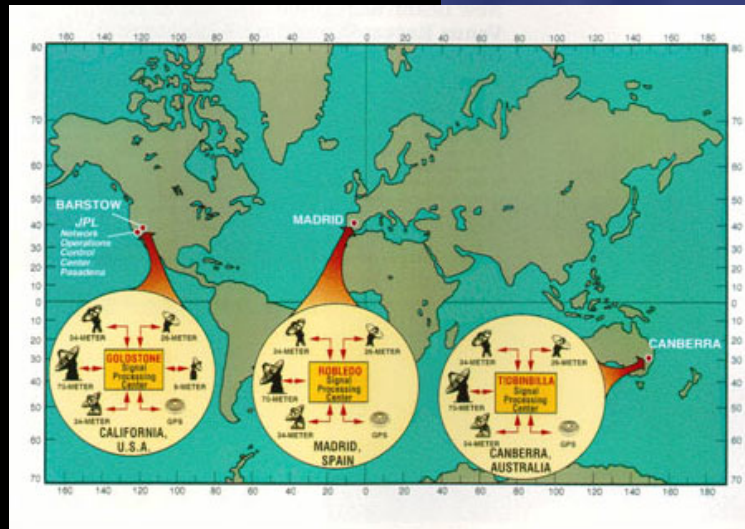
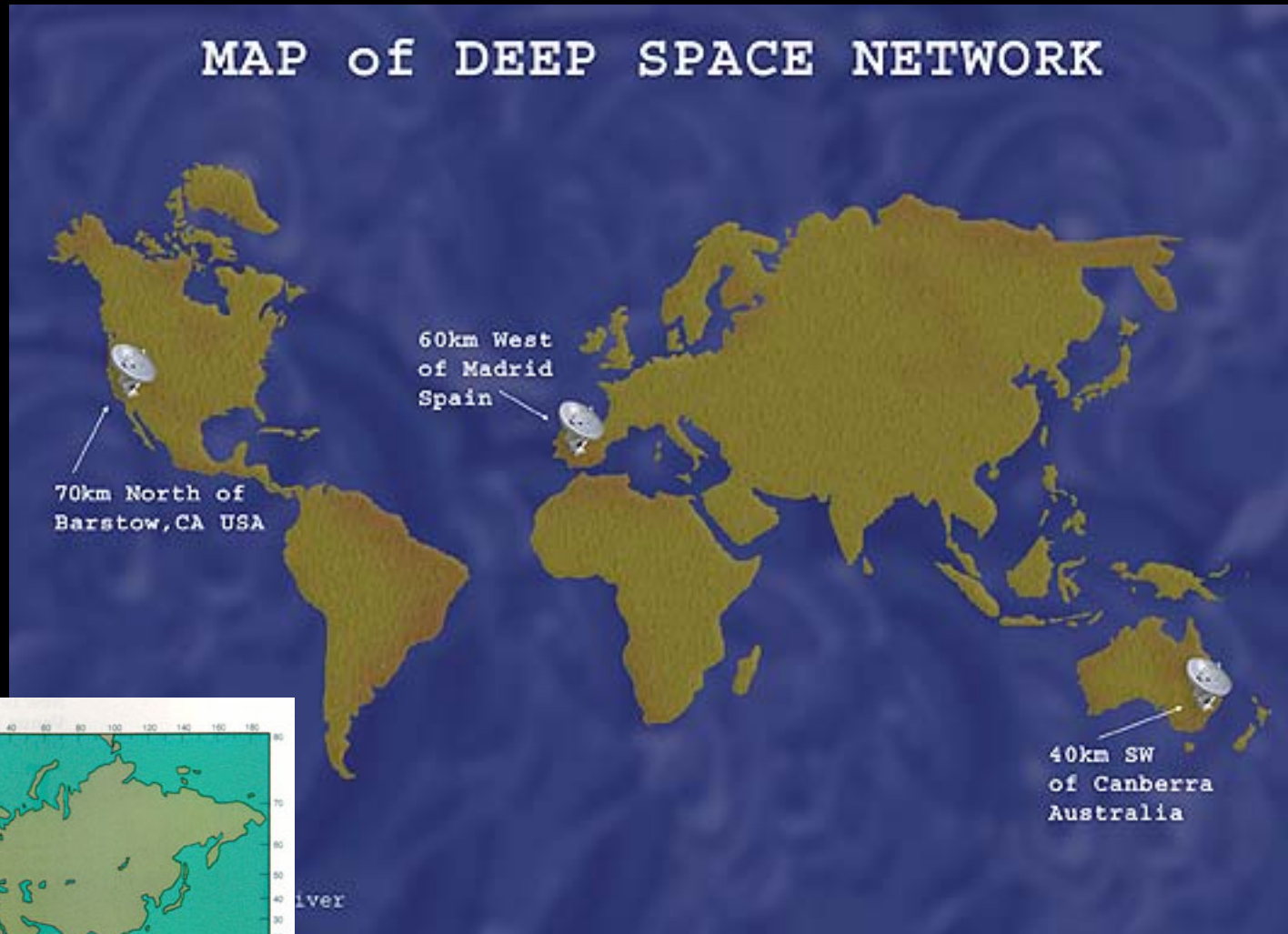
9) Bitfehlerwahrscheinlichkeit (Wahrscheinlichkeit für Auftreten eines Bitfehlers) - Rechnung

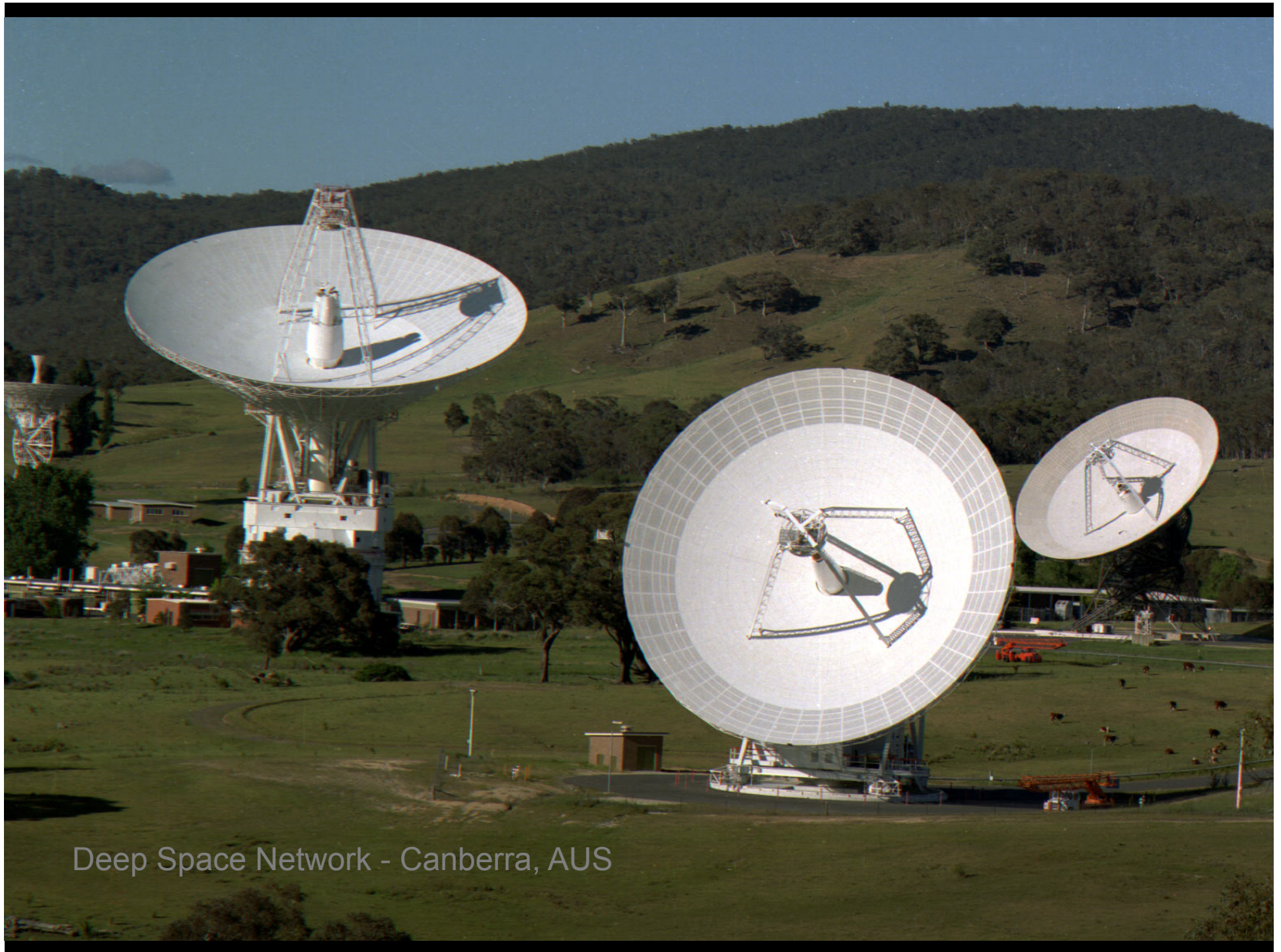
P_B .. Bit error probability
 E_b .. Energie für Informationsbit
 N_0 .. Spektrale Rauschleistungsdichte

... Hinweis darauf, dass mit zunehmendem Empfangsleistungsabstand zum Empfängerrauschen die Bitfehlerwahrscheinlichkeit abnimmt.



MAP of DEEP SPACE NETWORK





Deep Space Network - Canberra, AUS

LEISTUNGSBILANZ

(„Descanso“-Dokument)

- Erde → Sonde
2,1 GHz

Table 5-2. Voyager 2 uplink carrier design control table.

STUNGSBILANZ

scanso“-Dokument)

erde → Sonde

,1 GHz

Voy 2 (JSX), 70m/18 kW/12 Hz, 0 dB Rng, 0 dB Cmd, Clr Wthr

X-Band TWT LP, HGA/NLC, 160 bps Coded, 2-Way Radio Losses

Spacecraft 2

Time in Mission 96/001/00/00

Station 43

Time from Epoch 35065 00:00

Design

Fav Tol

Adv Tol

Mean

Variance

Transmitter Parameters

1) RF Power, dBm

Power Output = 18.0 kW

Transmit Circuit Loss, dB

Durchmesser 70 m

2) Antenna Gain, dBi

Elev Angle = 58.01 deg

3) Pointing Loss, dB

Path Parameters

4) Space Loss, dB

Freq = 2113.31 MHz

Range = 7.273+09 km

= 48.62 AU

5) Atmospheric Attenuation, dB

Receiver Parameters

6) Polarization Loss, dB

Durchmesser 3,7 m

7) Antenna Gain, dBi

8) Pointing Error, dB

Limit Cycle, deg

Angular Errors, deg

9) Rec Circuit Loss, dB

Empfängerrauschen

10) Noise Spec Dens, dBm/Hz

Operating Temp, K

Hot Body Noise, K

Nötiger Abstand für Bitfehlersicherheit

11) Carr Thr Noise, BW, dB-Hz

Power Summary

12) Rcvd Power, P_r , dBm

(1+2+3+4+5+6+7+8+9)

13) Rcvd P_r/N_0 , dB-Hz (12-10)

14) Ranging Suppression, dB

15) Command Suppression, dB

16) Carr Pwr/Tot Pwr, dB (14-15)

17) Rcvd Carr Pwr, dBm (12+16)

Verbleibender Sicherheitsabstand

18) Carr SNR in 2BLO, dB (17-10-11)

2.0S = 0.80

Kurt.Niel@fh-wels.at - 12.10.2015

LEISTUNGSBILANZ

(„Descanso“-Dokument)

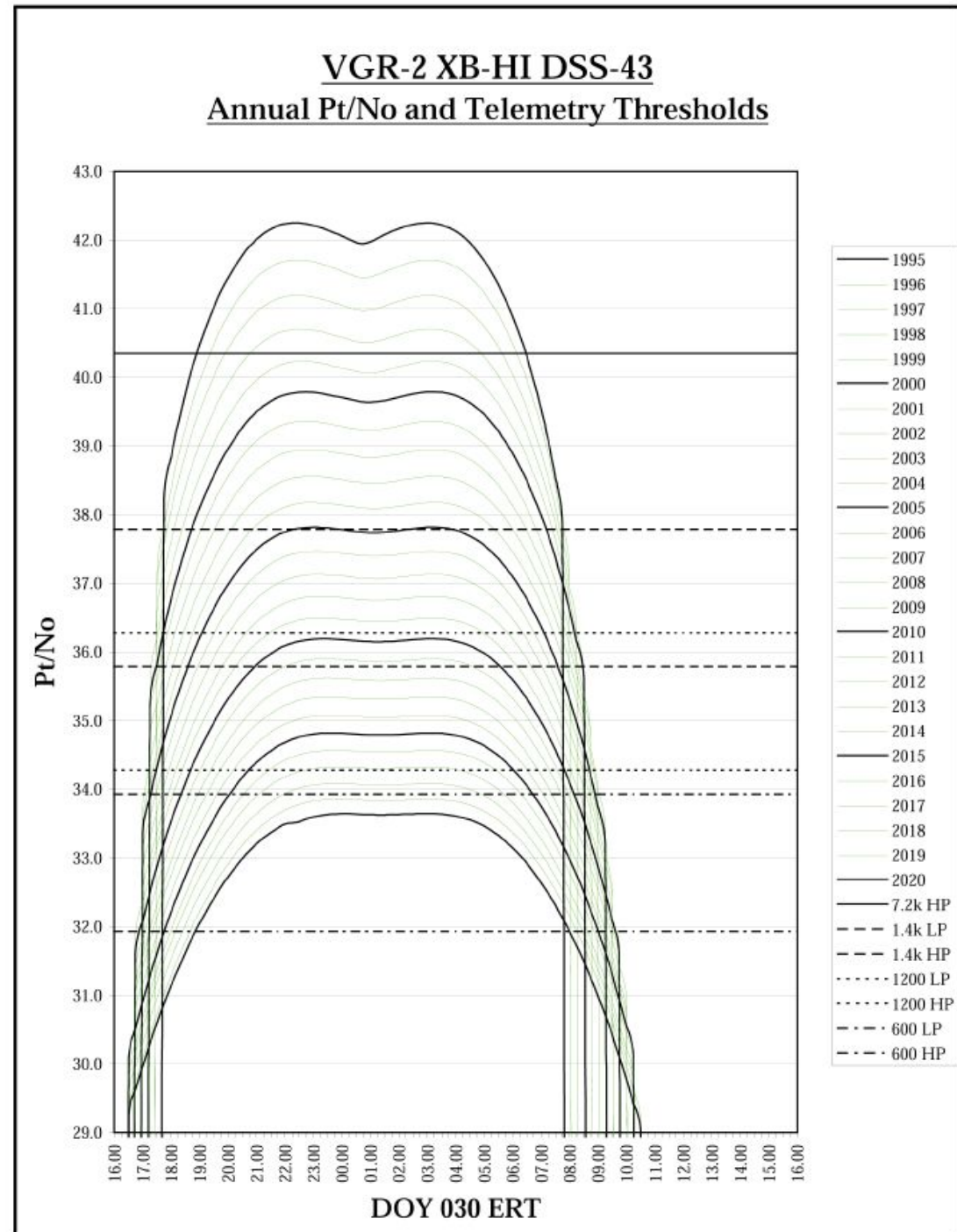
- Sonde → Erde
8,4 GHz

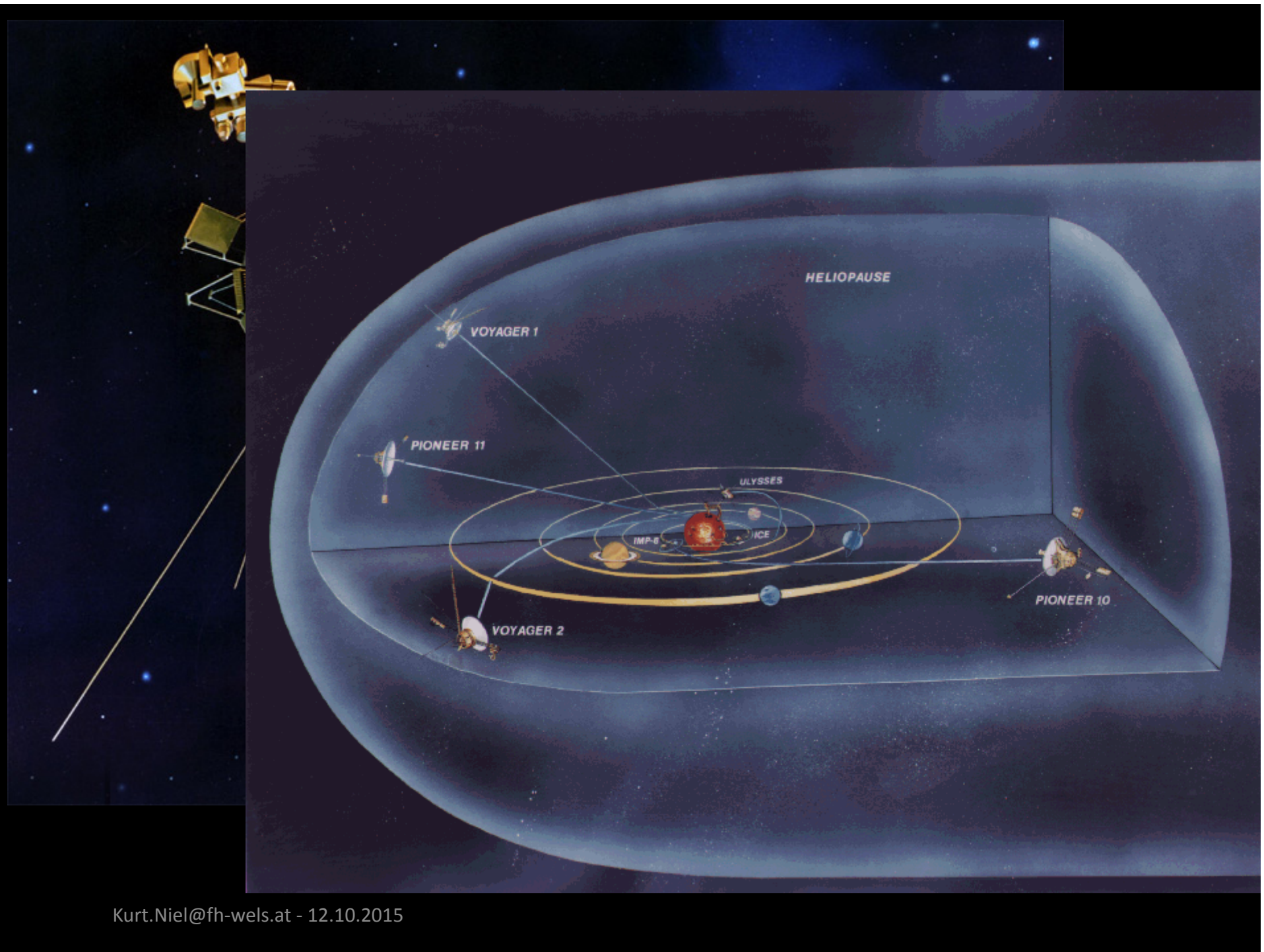
Table 5-3. Voyager 2 downlink carrier design control table.

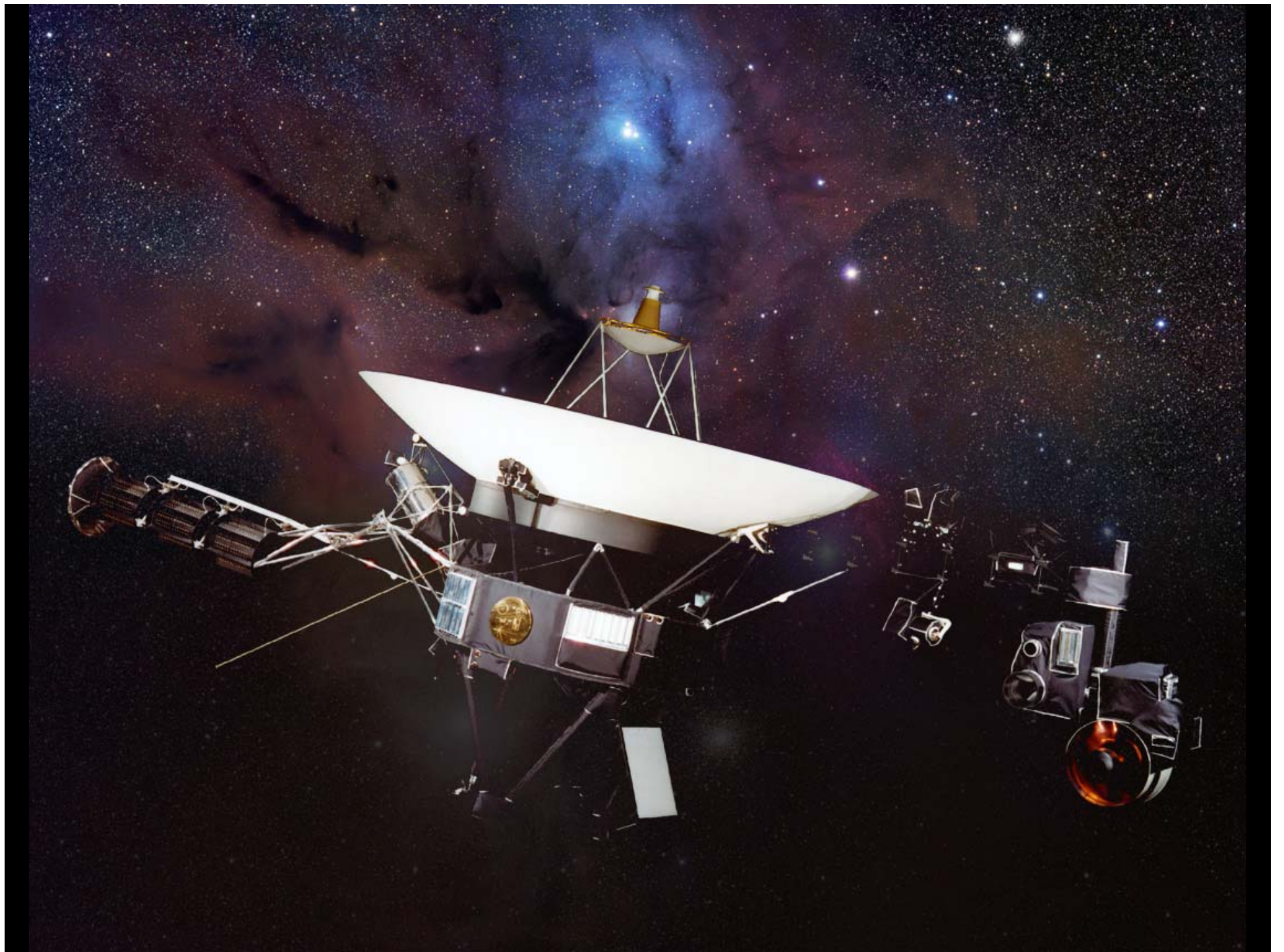
Voy 2 (JSX), 70m/18 kW/12 Hz, 0 dB Rng, 0 dB Cmd, Clr Wthr X-Band TWT LP, HGA/NLC, 160 bps Coded, 2-Way Radio Losses						
Spacecraft 2 Time in Mission 96/001/00/00		Station 43 Time from Epoch 35065 00:00				
	Design	Fav Tol	Adv Tol	Mean	Variance	
Transmitter Parameters						
1) RF Power to Antenna, dBm				40.9	0.04	
12.3 W Transmitter Power, dBm	40.90	0.50	-0.50	40.9	0.04	
Transmit Circuit Loss, dB	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	
2) Antenna Circuit Loss, dB	0.00	0.30	0.00	0.0	0.00	
Durchmesser 3.7 m 3) Antenna Gain, dBi	48.20	0.26	-0.26	48.2	0.01	
4) Pointing Error, dB	-0.10	0.10	-0.10	-0.1	0.00	
Limit Cycle, deg	0.05	-0.05	0.00			
Angular Errors, deg	0.00	0.00	0.00			
Path Parameters						
5) Space Loss, dB	-308.19			-308.2	0.00	
Freq = 8415.00 MHz						
Range = 7.273+09 km						
= 48.62 AU						
6) Atmospheric Attenuation, dB	-0.04	0.00	0.00	0.0	0.00	
Receiver Parameters						
7) Polarization Loss, dB	-0.08	0.08	-0.11			
Durchmesser 70 m 8) Antenna Gain, dBi	74.01	0.60	-0.60	73.7	0.14	
9) Pointing Loss, dB	-0.20	0.20	-0.20			
Empfängerrauschen 10) Noise Spec Dens, dBm/Hz	-185.35	-0.97	0.80	-185.4	0.09	
Total System Noise Temp, K	21.12	-4.24	4.24			
Receiver Temperature, K	13.20	-3.00	3.00			
Ground Contribution, K	2.88	-3.00	3.00			
Galactic Contribution, K	2.68	0.00	0.00			
Atmospheric Contrib, K	2.36	0.00	0.00			
Hot Body Noise, K	0.00	0.00	0.00			
Elev Angle = 58.01 deg						
Nötiger Abstand für Bitfehlersicherheit 11) Carr Thr Noise, BW, dB-Hz	14.77	-0.46	0.41	14.8	0.03	
Power Summary						
12) Rcvd Power, P_r , dBm				-145.5	0.19	
(1+2+3+4+5+6+7+8+9)						
13) Rcvd P_r/N_0 , dB-Hz (12-10)				39.9	0.28	
14) Ranging Suppression, dB	-0.22	0.05	0.05	-0.2	0.00	
15) Telemetry Suppression, dB	-6.02	0.16	-0.17	-6.0	0.00	
16) Carr Pwr/Tot Pwr, dB (14+15)				-6.2	0.00	
17) Rcvd Carr Pwr, dBm (12+16)				-151.7	0.20	
Verbleibender Sicherheitsabstand 18) Carr SNR in 2BLO, dB (17-10-11)				19.0	0.31	
				2.0S =	1.10	

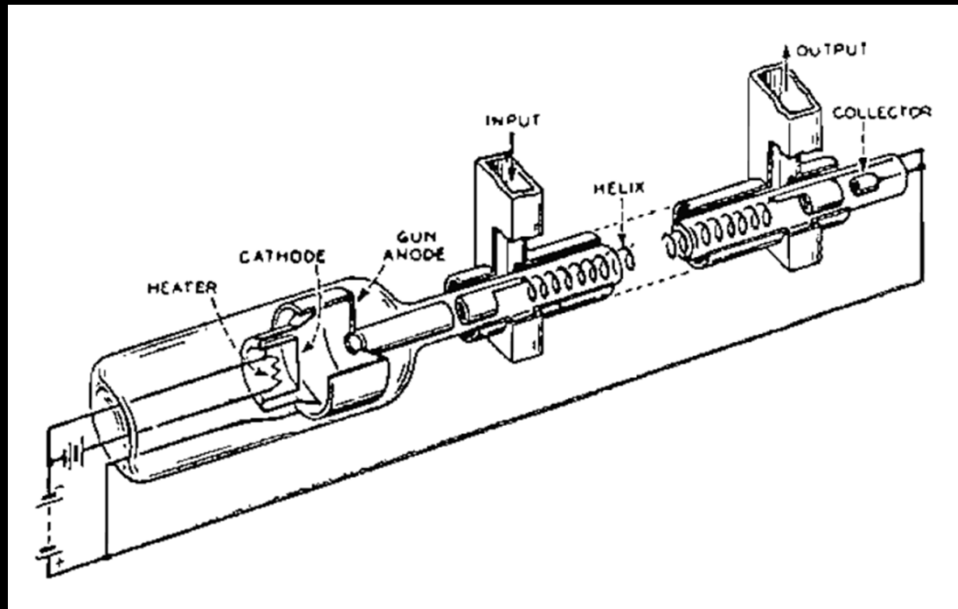
LANGZEITPROGNOSE 1995 bis 2020

- Downlink
- Signal wird mit zunehmender Entfernung schwächer
- Übertragungssicherheit für immer geringere Übertragungsraten gegeben









Wanderfeldröhre TWTA
Travelling Wave Tube Amplifier
 Endverstärker für Sendesignal
 S-/X-Band



**MARINER (11-12) JUPITER /SATURN
VOYAGER 1 & 2**

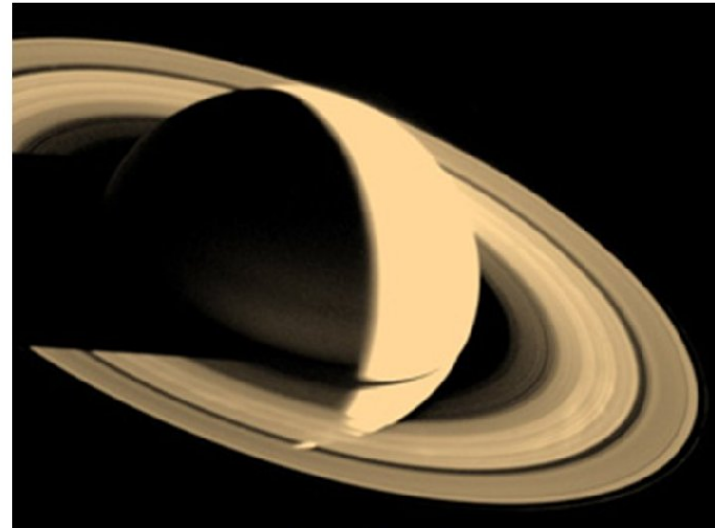


VOYAGER VIDICON (1977)

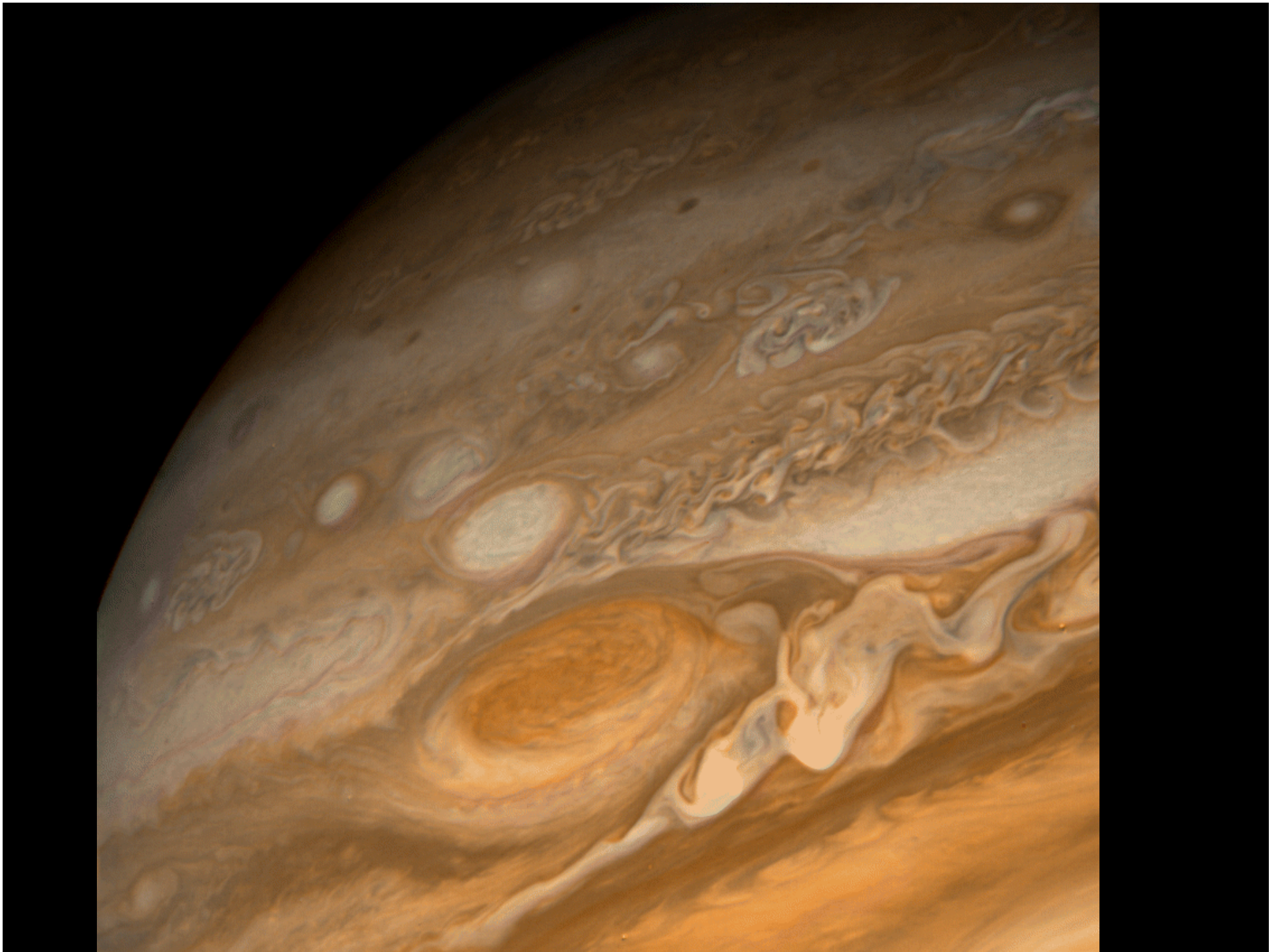
Exploring Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune and Interstellar space.



JUPITER



SATURN





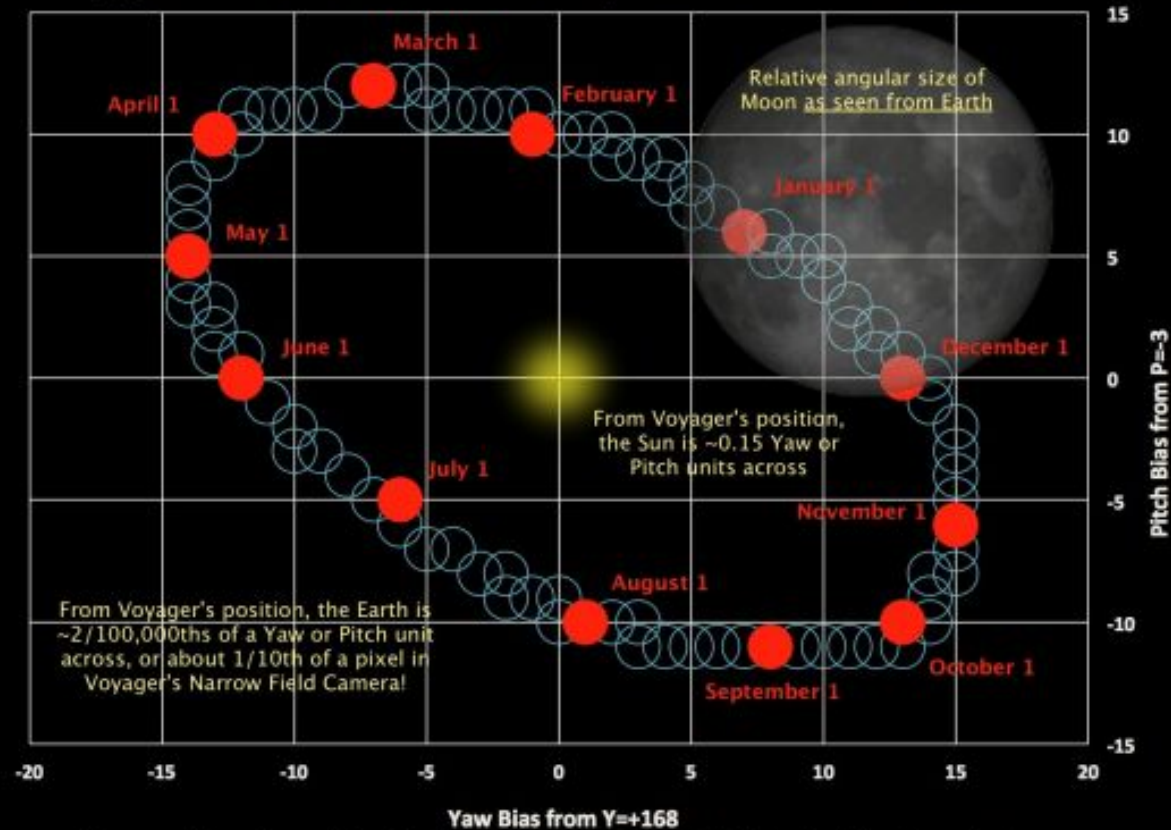
14.Februar 1990 - Rückblick auf Erde

Kurt.Niel@fh-wels.at - 12.10.2015



Radioteleskopaufnahme von Voyager

Voyager 2 Sun Sensor Bias and X-band 1/2-Beam width at Earth for 2010



Voyager adjusts the position of its X-band beam to follow the Earth as it orbits about the Sun

Kalibrierprozedur zur Ausrichtung der High-Gain-Antenne auf Erde



Missions Currently Tracked at Goldstone



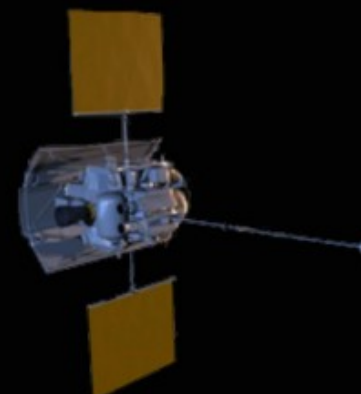
Cassini



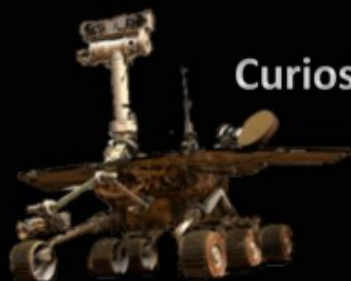
DAWN



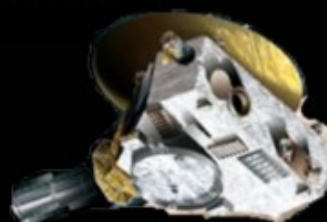
Kepler



MESSENGER



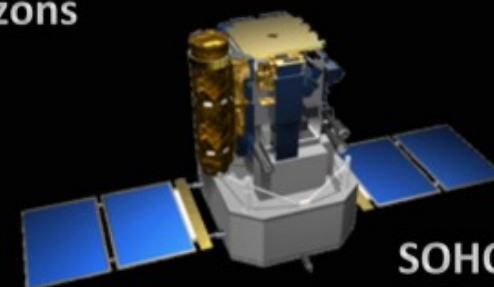
Curiosity



New Horizons



Mars Express



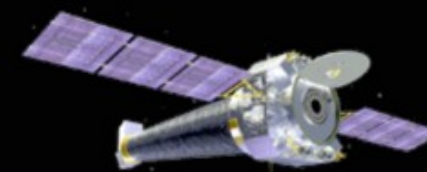
SOHO



Mars Reconnaissance Orbiter



ROSETTA



Chandra



SCaN Current Network



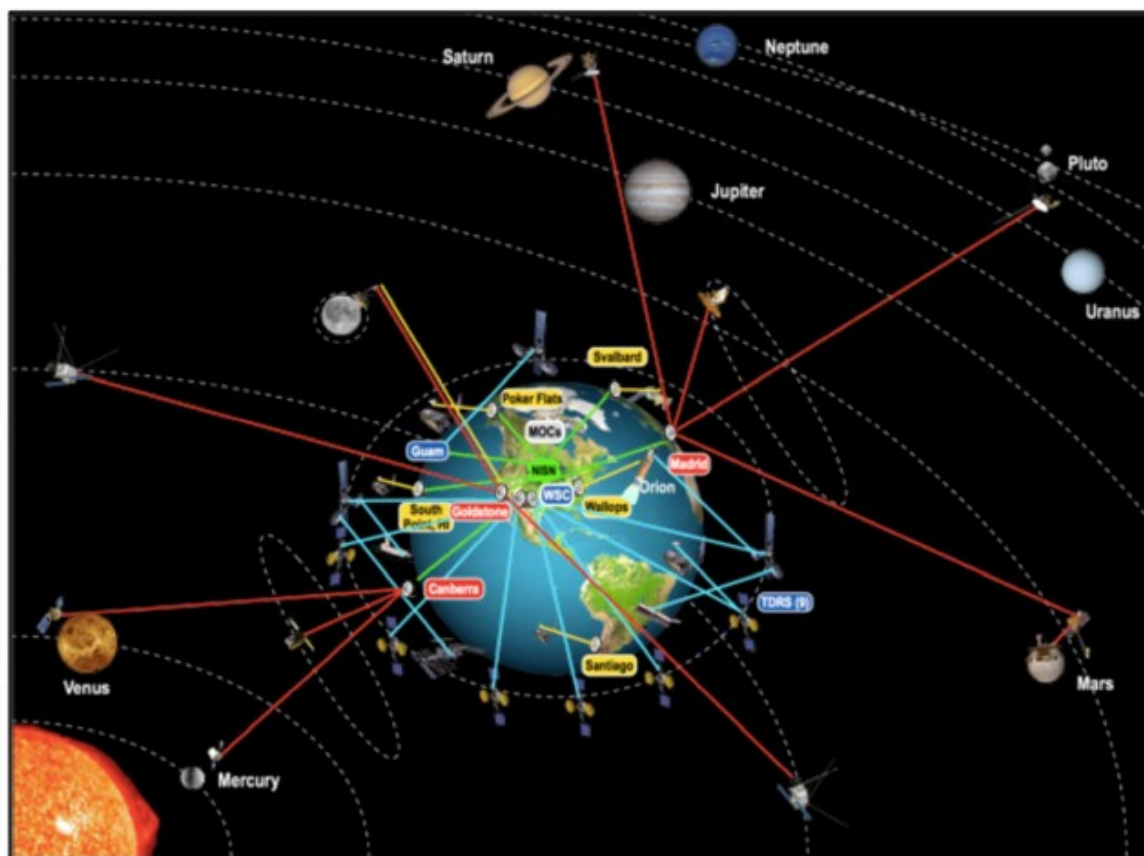
The current NASA space communications architecture embraces three operational networks that collectively provide communications services to supported missions using space-based and ground-based assets

Near Earth Network - NASA, commercial, and partner ground stations and integration systems providing space communications and tracking services to orbital and suborbital missions

Space Network - constellation of geosynchronous relays (TDRSS) and associated ground systems

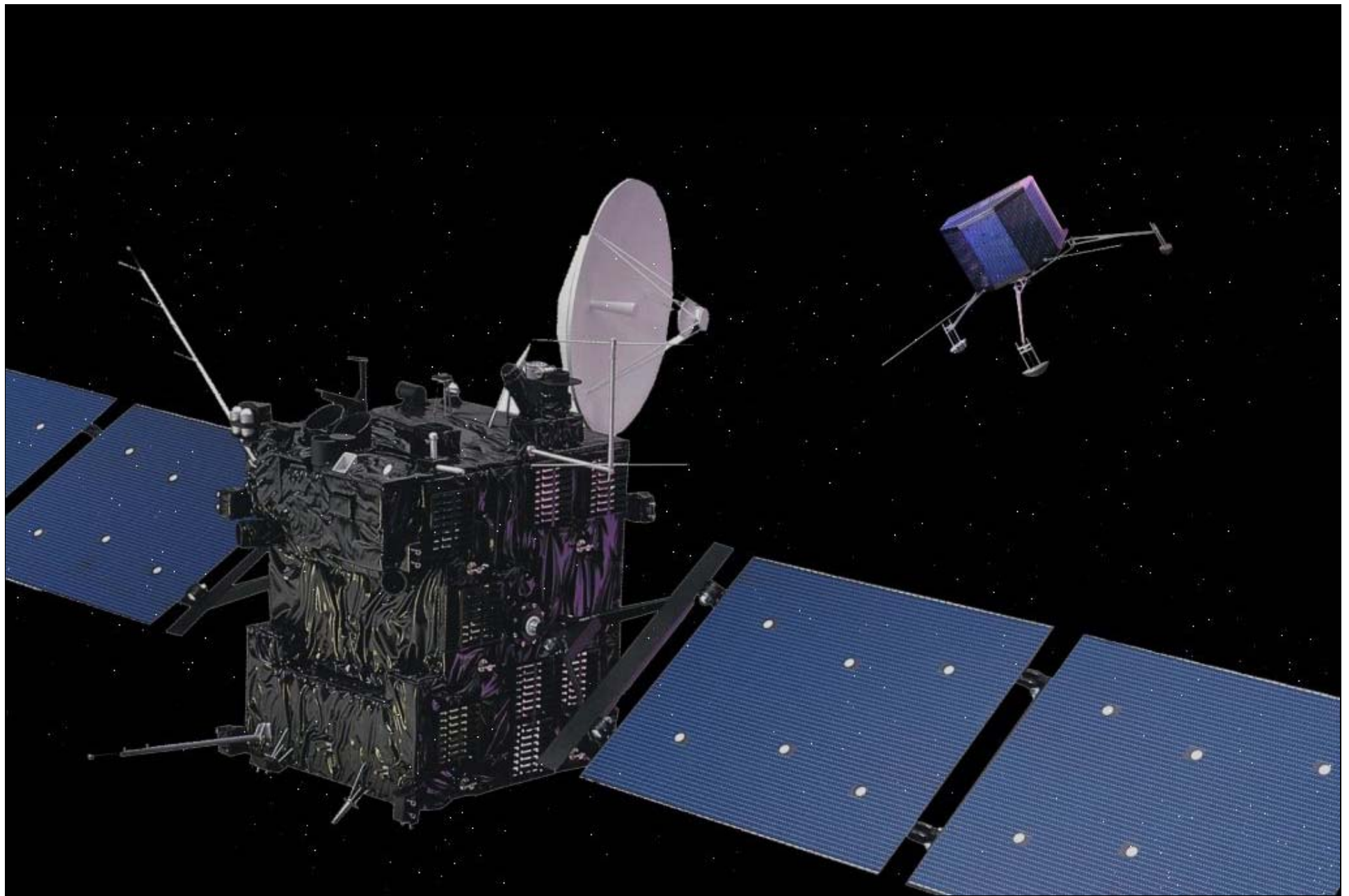
Deep Space Network - ground stations spaced around the world providing continuous coverage of satellites from Earth Orbit (GEO) to the edge of our solar system

NASA Integrated Services Network (NISN) – no longer part of SCaN – managed by OCIO; provides terrestrial connectivity



SCaN Notional Integrated Communication Architecture





ROSETTA

Start 2005; jetzt nach Perihel Richtung Mars (1,4 AU)

Technische Daten (Funk via Deep Space Network DSN + ESA/Perth)

- Gewicht 1.670 kg + Treibgas ca. 1.500 kg
- Energieversorgung Solar array (2 x 32 m²)
850 W (3,4 AU) / 395 W (5,25 AU)
- Antennen 2,2 m High Gain Parabolspiegel +
0,8 m Medium Gain Parabolspiegel +
2 omnidirectional Low Gain
- Sendeleistung 28 W RF X-Band TWTA +
2 x 5 W RF S/X-Band

Technische Daten Übertragungskanal Rosetta:

- Uplink S-Band (2,7 – 3,5 GHz) - 5 - 20 kb/s
- Downlink X-Band (8,4 – 8,5 GHz) - 22 kb/s

PHILAE

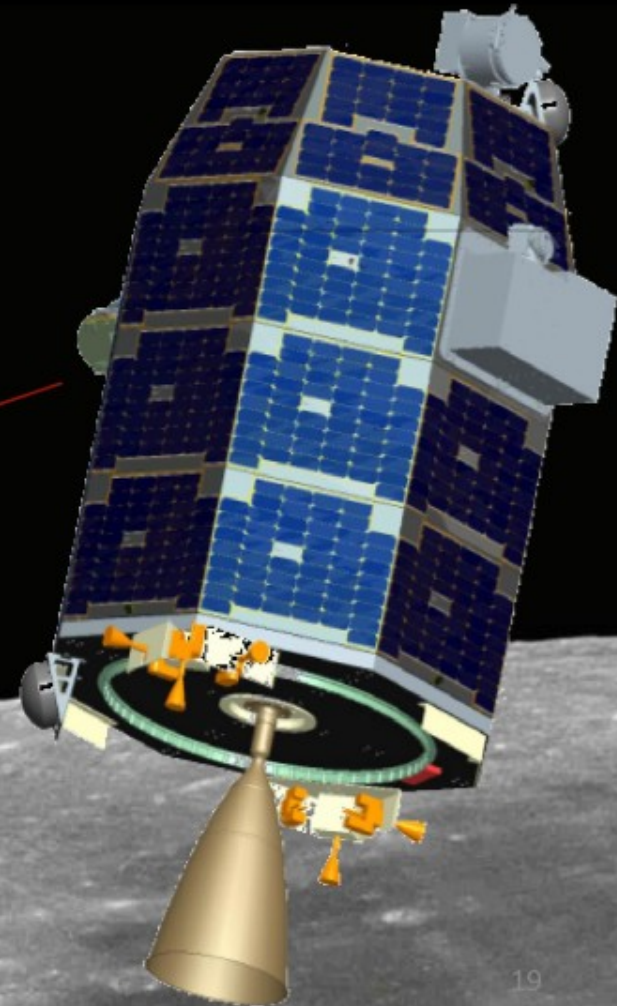
Abkopplung von Rosetta 12.11.2014; jetzt auf 67P ?

Technische Daten (Funk via Rosetta in max. 100 km Entfernung):

- Gewicht 100 kg
- Energieversorgung Solar array
970 Whr + 110 Whr battery
- Antenne ??
- Sendeleistung 1 W RF S-Band transmitter

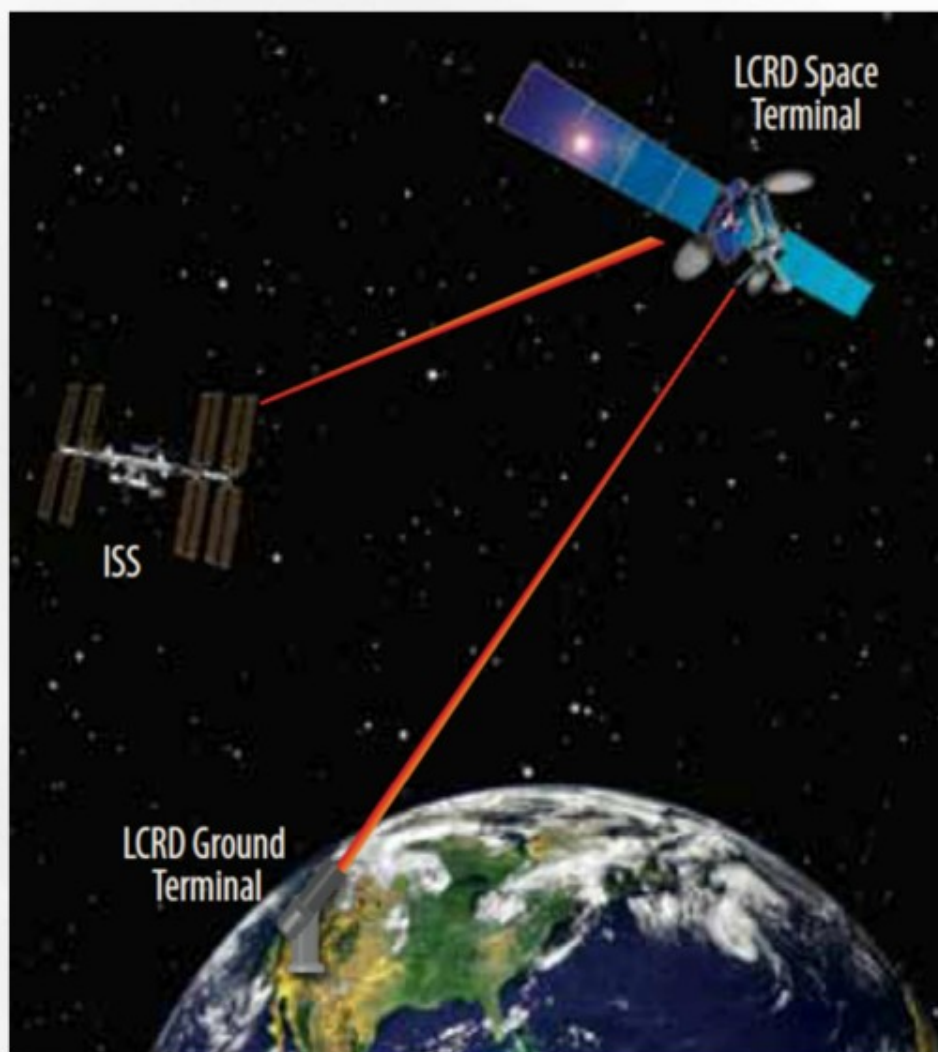
Lunar Laser Communication Demo

- Lunar Laser Communications Demo (LLCD) to fly on Lunar Atmosphere and Dust Environment Explorer (LADEE)
- Launch Readiness Date: August 2013 from Wallops Flight Facility, VA on Minotaur V
 - One month transfer
 - One month commissioning
 - 250 km orbit
 - LLCD operation demonstrating 600 Mbps downlink
 - Spacecraft and science payloads checkout
 - Three months science
 - 50 km orbit
 - Three science payloads
 - Neutral Mass Spectrometer
 - UV Spectrometer
 - Lunar Dust Experiment

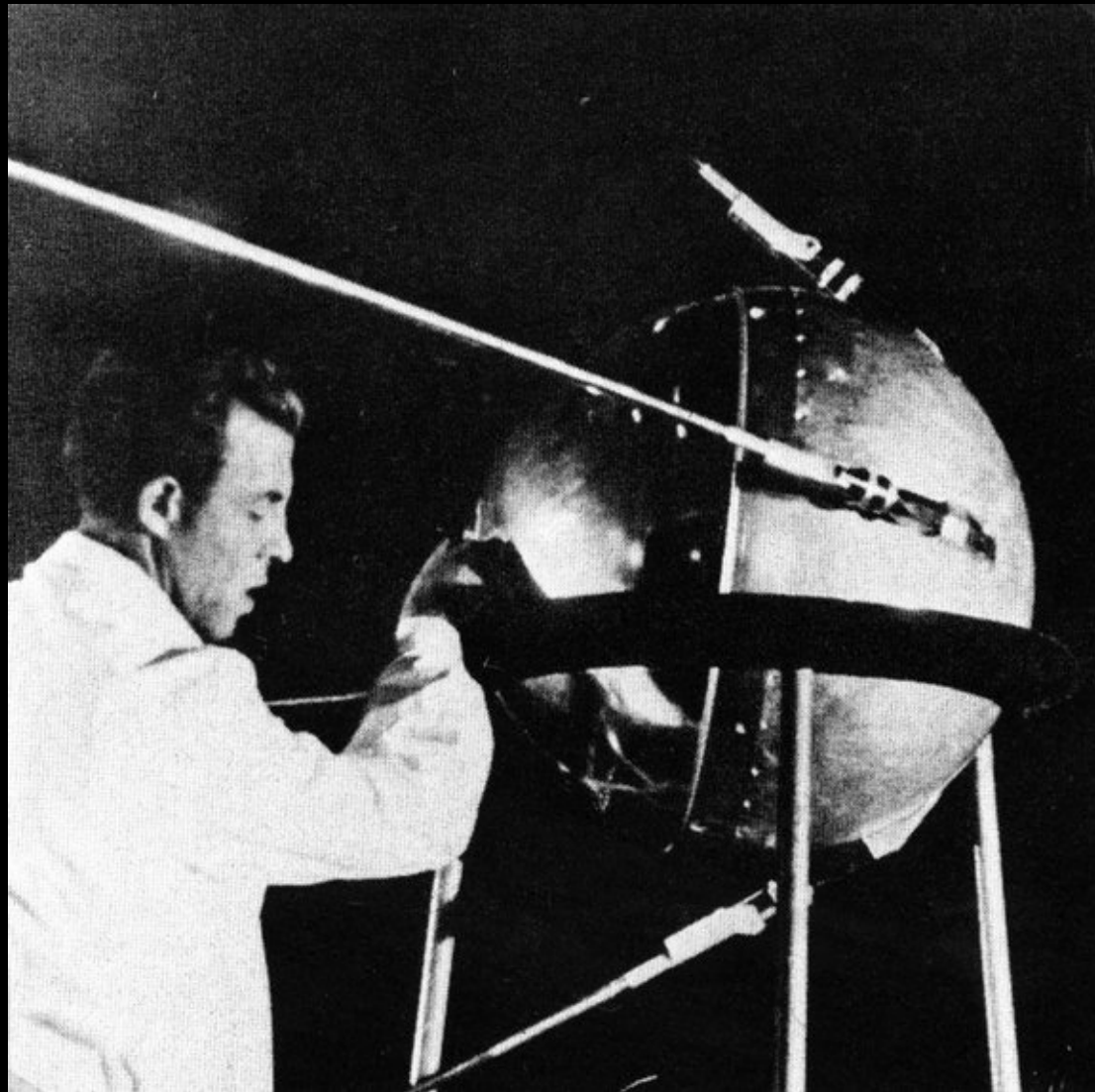




Laser Communications Relay Demo (LCRD)



- LCRD will fly in 2017 and demonstrate optical communication for possible inclusion in NASA's Next Generation Tracking and Data Relay Satellite (TDRS).
- LCRD will be a network node with two optical terminals based on the LLCD design.
- Data transfer will be at variable data rates up to 2.8 Gbps.
- Onboard processing will implement DTN protocols to help address atmospheric conditions.



HÖRPROBEN WELTRAUMGERÄUSCHE

1) Sputnik 1 (Okt. 1957) – Orbit 238 – 947 km; 20/40 MHz CW

<http://www.dd1us.de/sounds/DL3PD%20Alois%20-%20001%20-%20Sputnik%201%20first%20satellite%20reduced.mp3>

2) Sputnik 2 (Nov. 1957) – Orbit 320 – 1770 km; Herzschlag Hund Laika

<http://www.dd1us.de/sounds/02%20traguardo%20l'infinito%20heart%20of%20Laika%20in%20Sputnik%202%20in%20the%204th%20orbit.mp3>

3) Vostok 1 (Apr. 1961) – Stimme Jurij Gagarin

<http://www.dd1us.de/sounds/DL3PD%20Alois%20-%20006%20-%20Juri%20Gagarin%20first%20man%20in%20Space%20reduced.mp3>

4) Mercury Atlas 6 (Feb. 1962) – Stimme John Glenn

http://www.dd1us.de/sounds/Mercury-6_Zero-G.mp3

5) Apollo 13 (Apr. 1970) – Weg zum Mond

<http://www.dd1us.de/sounds/apollo-13%20houston%20we%20have%20had%20a%20problem.mp3>

6) Voyager (Jul. 1979) – Plasma Wave Subsystem Nahe Jupiter

<https://www.youtube.com/watch?v=5j5IOblRegk>

7) EME Amateurfunk (1995) – OE2AXH über 6,4 m Parabolspiegel

http://www.dd1us.de/sounds/EME_5GHZ6_OH2AUE_7_ssb.mp3

8) Rosetta (2014?) – Magnetfeldoszillationen von 67P/Tschuryumov/Gerasimenko

http://www.dd1us.de/sounds/manuel_senfft_-_a_singing_comet.mp3



Amateur Radio on the International Space Station

<http://www.ariss.org>

UK Amateur Radio Educational Satellite

<http://warehouse.funcube.org.uk>

QUELLEN

NASA Deep Space Network DSN

- <http://eyes.nasa.gov/dsn/dsn.html>
- Goldstone (CA, USA), Madrid (E), Canberra (AUS)

NASA Space Communication and Navigation

- <http://www.spacecomm.nasa.gov>

Twitter @NSFVoyager2

„Descanso“-Dokument: Descanso4--Voyager_new.pdf
→ JPL „Voyager Telecommunications“, R. Ludwig, J. Taylor, March 2002

ARISS Amateur Radio on the International Space Station

- <http://www.ariss.org>

FUNCube UK Amateur Radio Education Satellite

- <http://warehouse.funcube.org.uk>

Sounds from Space by Maththias Bopp/DD1US

- <http://www.dd1us.de>