Voyager Koimmunikation

Bolzmann Konstante $k := 1.380649 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$

Planck Konstante $h := 6.62607015 \cdot 10^{-34} J \cdot s$

Distanz Voyager 1 - Erde am 18.11.2026 $r_{Voy1} := 25902400000 km$

Distanz in Lichtzeit $t_{rVoy1} := \frac{r_{Voy1}}{c} = 24.0003\ hr$

Sendeleistung Voyager $P_{TX} := 20W$

Frequenzen Voyager $f_{TX1} := 2.3GHz$ $f_{TX2} := 8.4GHz$

Antennendurchmesser High Gain Antenne $D_{HG} := 3.7m$

Antennengewinn High Gain Antenne $G_{TX1} := 36dBi$ $G_{TX2} := 48dBi$

Antennengewinn Low Gain Antenne $G_{LG} := 7dBi$

Antennenfläche Isotropstrahler $A_{Wi} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \rightarrow A_{Wi} = \frac{c^2}{4\pi f^2}$

Antennenapertur High Gain Antenne f_{TX1} $\alpha_{TX1} := \frac{c^2 10^{\frac{G_{TX1}}{10dBi}}}{4\pi^2 f_{TX1}^2 \left(\frac{D_{HG}}{4}\right)^2} = 50.1 \cdot \%$

Antennenapertur High Gain Antenne f_{TX1} $\alpha_{TX2} := \frac{c^2 10^{\frac{G_{TX2}}{10dBi}}}{4\pi^2 f_{TX2}^2 \left(\frac{D_{HG}}{4}\right)^2} = 59.5 \cdot \%$

Fläche Kugelkappe: r Radius, h Kappenhöhe $A_K = 2\pi r h = 2\pi r^2 \left(1 - \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right)\right)$

Raumwinkel der Kugelkappe $\Omega_K = 2\pi\left(1 - \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right)\right) \rightarrow \varphi = 2\,\mathrm{acos}\left(1 - \frac{\Omega_K}{2\pi}\right)$

voller Raumwinkel $\Omega_V := 4\pi = 12.566 \cdot sr$

Raumwinkel TX1 basierend auf Gewinn $\Omega_{TX1} := 10^{-\frac{G_{TX1}}{10dBi}} \Omega_V = 3.16 \times 10^{-3} \cdot sr$

Raumwinkel TX2 basierend auf Gewinn $\Omega_{TX2} := 10^{-\frac{G_{TX2}}{10dBi}} \Omega_V = 1.99 \times 10^{-4} \cdot sr$

Raumwinkel LG basierend auf Gewinn $\Omega_{LG} := 10^{-\frac{G_{LG}}{10dBi}} \Omega_V = 2.51 \cdot sr$

Öffnungswinkel bei TX1 $\varphi_{TX1} := 2\,\mathrm{acos}\left(1 - 10^{-\frac{G_{TX1}}{10dBi}} \frac{\Omega_V}{2\pi}\right) = 3.63 \cdot °$

Öffnungswinkel bei TX2

$$\varphi_{TX2} := 2\,\mathrm{acos}\left(1 - 10^{-\frac{G_{TX2}}{10dBi}}\,\frac{\Omega_V}{2\pi}\right) = 0.91\cdot°$$

Öffnungswinkel bei Low Gain Antenne

$$\varphi_{TX2} := 2\,\mathrm{acos}\left(1 - 10^{-\frac{G_{LG}}{10dBi}}\,\frac{\Omega_V}{2\pi}\right) = 106\cdot°$$

Leistungsdichte im Abstand r_{Voy1} auf TX1

$$S_{TX1} := \frac{10^{\frac{G_{TX1}}{10dBi}}\,P_{TX}}{4\pi\,r_{Voy1}^{\,2}} = 9.44\cdot\frac{10^{-24}\,W}{m^2}$$

Leistungsdichte im Abstand r_{Voy1} auf TX2

$$S_{TX2} := \frac{10^{\frac{G_{TX2}}{10dBi}}\,P_{TX}}{4\pi\,r_{Voy1}^{\,2}} = 1.5\cdot\frac{10^{-22}\,W}{m^2}$$

Energie eines Photons bei f_{TX1}

$$E_{Ph1} := h\,f_{TX1} = 1.52\cdot W\,s\,10^{-24}$$

Energie eines Photons bei f_{TX2}

$$E_{Ph2} := h\,f_{TX2} = 5.57\cdot W\,s\,10^{-24}$$

Anzahl Photonen pro m^2 pro s bei f_{TX1}

$$N_{Ph1} := \frac{S_{TX1}}{E_{Ph1}} = 6.2\,\frac{1}{m^2\cdot s}$$

Anzahl Photonen pro m^2 pro s bei f_{TX2}

$$N_{Ph2} := \frac{S_{TX2}}{E_{Ph2}} = 26.9\,\frac{1}{m^2\cdot s}$$

Durchmesser Deep Space Antenne $D_{DS} := 70m$

$$A_{DS} := \pi\left(\frac{D_{DS}}{2}\right)^2 = 3848\,m^2$$

Anuahl Photonen auf Deep Space Antenne bei f_{TX1}

$$N_{DS1} := N_{Ph1}\,A_{DS} = 23847\cdot s^{-1}$$

Anuahl Photonen auf Deep Space Antenne bei f_{TX2}

$$N_{DS2} := N_{Ph2}\,A_{DS} = 103488\cdot s^{-1}$$

Empfangspegel bei f_{TX1}, DS Apertur $Ap_{DS} := 75\%$

$$P_{RX1} := Ap_{DS}\,E_{Ph1}\,N_{DS1} = 2.7\cdot10^{-20}\,W$$

Empfangspegel bei f_{TX2}, DS Apertur $Ap_{DS} := 75\%$

$$P_{RX2} := Ap_{DS}\,E_{Ph2}\,N_{DS2} = 4.3\cdot10^{-19}\,W$$

Rauschpegel Weltall $T_S := 3K,\ B := 160Hz$

$$P_{NS} := k\,T_S\,B = 0.7\cdot10^{-20}\,W$$

Rauschpegel Empfänger $T_{RX} := 4.2K,\ B := 160Hz$

$$P_{NRX} := k\,T_{RX}\,B = 0.9\cdot10^{-20}\,W$$

Rauschpegel Gesamt

$$P_N := P_{NS} + P_{NRX} = 1.6\cdot10^{-20}\,W$$

Rauschabstand f_{TX1}

$$SNR_{RX1} := 10dB\log\left(\frac{P_{RX1}}{P_N}\right) = 2.3\cdot dB$$

Rauschabstand f_{TX2}

$$SNR_{RX2} := 10dB\log\left(\frac{P_{RX2}}{P_N}\right) = 14.3\cdot dB$$