

Link-Budget Berechnung (vereinfacht)

①

Kommunikation mit Aliens / Extraterrestrischer Intelligenz möglich?

Trägerfrequenz = $f_c = 8 \text{ GHz}$ (bzw. 20 GHz)

Wellenlänge = $\lambda = \frac{c}{f_c} = 0.0375 \text{ m}$ (bzw. 0.015 m)

Entfernung = d (1 LJ = $300,000 \frac{\text{km}}{\text{s}} \cdot 3600 \text{ s} \cdot 24 \cdot 365 = 9.5 \cdot 10^{12} \text{ km}$)

Freiraumdämpfung = $L_{\text{free}} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \text{Verdopplung } d \text{ kostet } 6 \text{ dB} \\ \text{Verdopplung } f_c \text{ kostet } 6 \text{ dB} \end{array} \right\}$

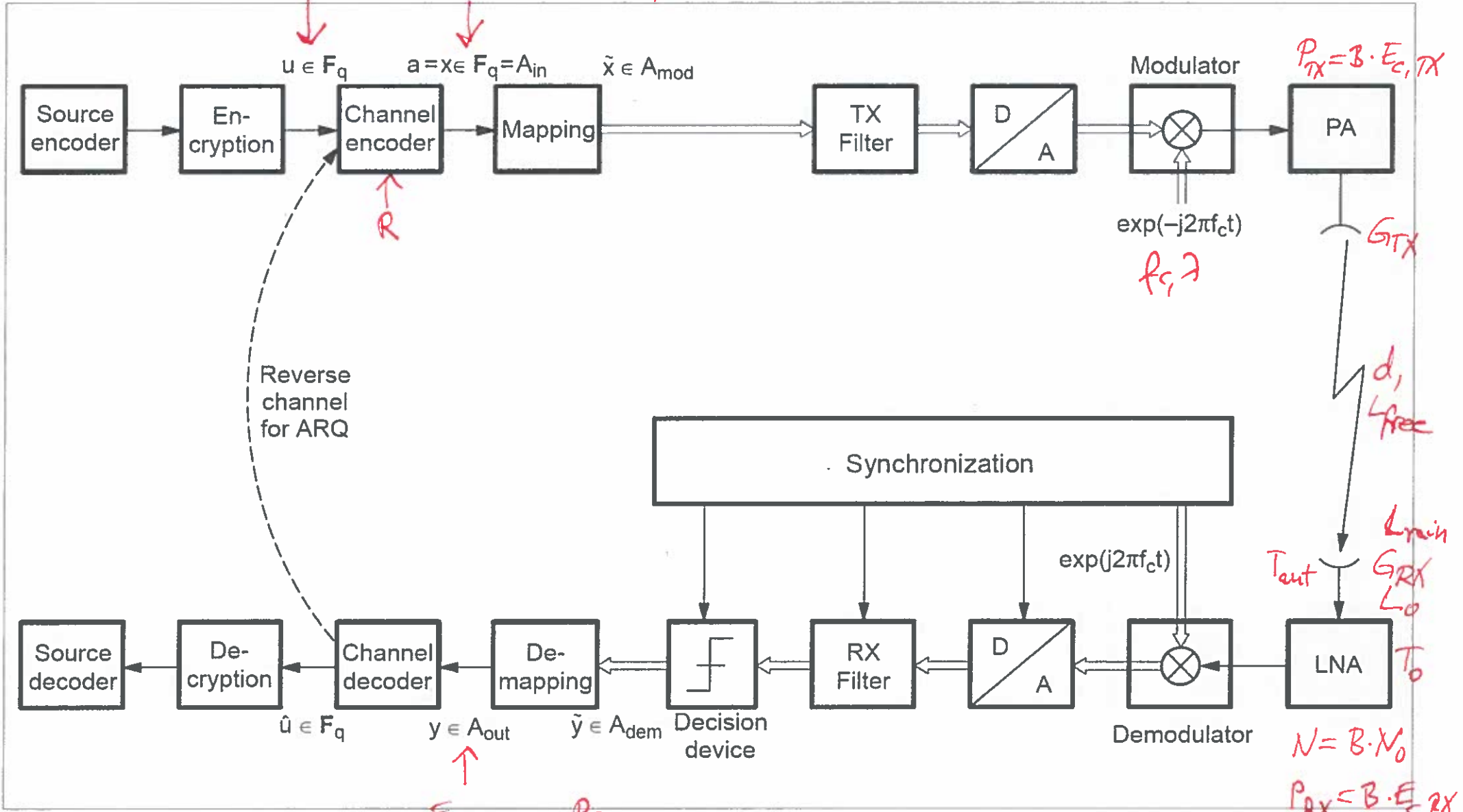
Bandbreite = $B = r_c = C \text{ oder } \text{rate} = \frac{1}{R} r_b \quad \left\{ \begin{array}{l} r_b = \text{Infosrate} \\ R = \text{Code rate} \end{array} \right.$

Sendeleistung = $P_{\text{TX}} = B \cdot E_{c,\text{TX}}$, $E_{c,\text{TX}} = R \cdot E_{b,\text{TX}}$

Empfangsleistung = $P_{\text{RX}} = B \cdot E_{c,\text{RX}}$: $\left. \begin{array}{l} E_{c,\text{RX}} \\ E_{b,\text{RX}} = \frac{1}{R} E_{c,\text{RX}} \end{array} \right\} \text{entspricht den bisherigen} \left. \begin{array}{l} E_c \\ E_b \end{array} \right\}$

$E_{b,TX}$ $E_{c,TX} = R \cdot E_{b,TX}$ (nach PA) ($E_c = E_s$ im Binärfall)

r_b $r_c = B = \frac{1}{R} r_b$



$$\frac{E_{c,RX}}{N_0} = \frac{P_{RX}}{N}$$

Antennengewinne = G_{TX}, G_{RX} : $G = 10 \log_{10} \left(\frac{\pi^2 D^2 \eta}{\lambda^2} \right)$

mit $D =$ Durchmesser Parabolantenne
 $\eta =$ Antenneneffizienzfaktor = 0.6

⇒ $\left. \begin{array}{l} \text{Verdopplung } f_c \text{ ergibt } 6 \text{ dB Gewinn} \\ \text{Verdopplung } D \text{ ergibt } 6 \text{ dB Gewinn} \end{array} \right\}$

EIRP = $P_{TX} \cdot G_{TX}$

Regelofdiy = Gewinn = 0 dB @ 8 GHz (bzw. 20 dB @ 20 GHz / 99.99%)

Implementierungsverlust = L_0 = 3 dB (optimistisch!)

Friis-Gleichung:

$$P_{RX} = \frac{P_{TX} \cdot G_{TX} \cdot G_{RX}}{L_{free} \cdot L_{rain} \cdot L_0}$$

④

$$\text{Temperatur gesehen von Antenne} = T_{\text{ant}} = \begin{cases} 50\text{K} & \text{☉ Sicht in Weltraum, d.h. Eraktion} \\ 300\text{K} & \text{☉ Sicht auf Erde, d.h. vor Region} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \text{Temperatur Transponder} &= T_0 = 290\text{K} \\ \text{Rauschzahl} &= F = 2 \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Temperatur Transponder} \\ \text{Rauschzahl} \end{aligned}} \right\} \text{d.h. v.a. vor Dämpfung zwischen RX-Ant. und LNA}$$

$$\text{Rauschtemperatur} = T_e = T_0(F-1) = 290\text{K}$$

$$\text{Temperatur total} = T_{\text{total}} = T_{\text{ant}} + T_e = 50 + 290 = 340\text{K} = 25.3\text{ dBK}$$

$$\text{Boltzmann Konstante} = K_{\text{Boltz}} = -228.6 \frac{\text{dBW}}{\text{K} \cdot \text{Hz}}$$

$$\text{Rauschleistungsdichte} = N_0 = K_{\text{Boltz}} \cdot T_{\text{total}} = -203.3 \frac{\text{dBW}}{\text{Hz}}$$

$$\text{Rauschleistung} = N = B \cdot N_0$$

Zielvorgabe $\left(\frac{E_{c,RX}}{N_0}\right)_{\text{Ziel}} = \frac{P_{RX}}{N} = \frac{P_{TX} \cdot G_{TX} \cdot G_{RX}}{L_{\text{free}} \cdot L_{\text{rain}} \cdot L_0 \cdot B \cdot N_0} \stackrel{!}{=} 10 \text{ dB}$

\uparrow Energie-Verhältnis \uparrow Leistungs-Verhältnis

Resultierende Bandbreite

$$B = \frac{N}{N_0} = \frac{\overset{\text{EIRP}}{P_{TX} \cdot G_{TX}} \cdot \overset{\text{G/T}}{G_{RX}}}{L_{\text{free}} \cdot L_{\text{rain}} \cdot L_0 \cdot \left(\frac{E_{c,RX}}{N_0}\right)_{\text{Ziel}} \cdot K_{\text{Bretz}} \cdot T_{\text{total}}}$$

Scenario Parameter	GEO		L2 Lagrange-Punkt	Saturn	NachSat Stern	Quas durch die ⁽⁶⁾ Milchstraße	
Distanz	36,000 km	36,000 km	$1.5 \cdot 10^6$ km	$1.5 \cdot 10^9$ km	20 L7	100,000 L7	100,000 L7
G_{free} [dB]	201.6	209.6	234.0	294.0	396.0	470.0	470.0
f_c [GHz]	8	20	8	8	8	8	8
TX- ϕ [m]	1.5	1.5	1.5	1.5	1000	1000	100,000
G_{TX} [dBi]	39.8	47.7	39.8	39.8	96.2	96.2	136.2
RX- ϕ [m]	7	7	70	70	70	100	300
G_{RX} [dBi]	53.1	61.1	73.2	73.2	73.2	76.2	85.8
P_{TX} [Watt]	100	100	100	100	100,000	1,000,000	10,000,000
P_{RX} [dBW]	-91.7	-103.8	-104.1	-164.1	-179.6	-240.5	-181.0
B resultierend	14.3 GHz	897 MHz	827 MHz	827 Hz	23 Hz	19 μ Hz	17 Hz
Bemerkung	Physikalisch absurdes Ergebnis: $B > f_c$	\approx realistisch, aber typischerweise höherstufige Mod., weniger B mehr E_c/N_0 .	\approx optimistisch	Kleines B frequenzlos $B \ll \frac{f_c}{1000}$	\leftarrow L70	\leftarrow dito unrealistisch	\leftarrow dito
					Round trip delay = 40 Jahre	Round trip delay = 200,000 Jahre	