

6 Anhang

6.1 Formelsammlung

Zehnerpotenz				Symbol	Präfix	Zweierpotenzen				Bit
10^{-12}	=	0,000 000 000 001		p	Piko	2^0	=	1		0
10^{-9}	=	0,000 000 001		n	Nano	2^1	=	2		1
10^{-6}	=	0,000 001		μ	Mikro	2^2	=	4		2
10^{-3}	=	0,001		m	Milli	2^3	=	8		3
10^{-2}	=	0,01		c	Zenti	2^4	=	16		4
10^{-1}	=	0,1		d	Dezi	2^5	=	32		5
10^0	=	1		–	–	2^6	=	64		6
10^1	=	10		da	Deka	2^7	=	128		7
10^2	=	100		h	Hekto	2^8	=	256		8
10^3	=	1000		k	Kilo	2^9	=	512		9
10^6	=	1 000 000		M	Mega	2^{10}	=	1024		10
10^9	=	1 000 000 000		G	Giga	2^{11}	=	2048		11
10^{12}	=	1 000 000 000 000		T	Tera	2^{12}	=	4096		12

Widerstände

Ohmsches Gesetz

$$U = R \cdot I \qquad R = \frac{U}{I} \qquad I = \frac{U}{R}$$

Innenwiderstand

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

Widerstand von Drähten

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A_{Dr}} \qquad A_{Dr} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = r^2 \cdot \pi$$

l : Drahtlänge
 A_{Dr} : Drahtquerschnitt
 ρ : Spezifischer Widerstand in $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
(Tabelle am Ende der Formelsammlung)

Farbe	Wert	Multiplikator		
Silber	–	10^{-2}	=	0,01 ±10 %
Gold	–	10^{-1}	=	0,1 ±5 %
Schwarz	0	10^0	=	1 –
Braun	1	10^1	=	10 ±1 %
Rot	2	10^2	=	100 ±2 %
Orange	3	10^3	=	1000 –
Gelb	4	10^4	=	10 000 –
Grün	5	10^5	=	100 000 ±0,5 %
Blau	6	10^6	=	1 000 000 ±0,25 %
Violett	7	10^7	=	10 000 000 ±0,1 %
Grau	8	10^8	=	100 000 000 –
Weiß	9	10^9	=	1 000 000 000 –
Keine	–	–		±20 %

Widerstände in Reihenschaltung

$$R_G = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N$$

Bei 2 Widerständen gilt

$$R_G = R_1 + R_2$$

Widerstände in Parallelschaltung

$$\frac{1}{R_G} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N}$$

Bei 2 Widerständen gilt

$$R_G = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Spannungsteiler (unbelastet)

$$U_G = U_1 + U_2 \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad \frac{U_2}{U_G} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Stromteiler

$$I_G = I_1 + I_2 \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1}{R_2}$$

Vorzugsreihen für die Nennwerte von Widerständen und Kondensatoren

Reihe		Toleranz		Werte																					
E6	20%	1				1,5				2,2				3,3				4,7				6,8			
E12	10%	1		1,2		1,5		1,8		2,2		2,7		3,3		3,9		4,7		5,6		6,8		8,2	
E24	5%	1	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,7	3	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1

Leistung

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$$

$$U = \frac{P}{I} = \sqrt{P \cdot R}$$

$$I = \frac{P}{U} = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

Arbeit/Energie

$$W = P \cdot t$$

Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \cdot 100 \% \quad P_{ab} = P_{zu} - P_V$$

Wechselspannung

Effektiv- und Spitzenwerte bei Sinusförmiger Wechselspannung

$$\hat{U} = U_{\text{eff}} \cdot \sqrt{2} \quad U_{\text{SS}} = 2 \cdot \hat{U}$$

Kreisfrequenz

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Scheinwiderstand

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Periodendauer

$$T = \frac{1}{f} \quad f = \frac{1}{T}$$

Z: Scheinwiderstand

X: Blindwiderstand

Induktivität/Spule

Induktiver Blindwiderstand

$$X_L = \omega \cdot L$$

Induktivitäten in Reihenschaltung

$$L_G = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_N$$

Induktivitäten in Parallelschaltung

$$\frac{1}{L_G} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_N}$$

Induktivität der Ringspule

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot A_S}{l_m}$$

Induktivität einer langen Zylinderspule

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot A_S}{l}$$

Induktivität von Ringkernspulen

Auch für mehrlagige Spulen

$$L = N^2 \cdot A_L$$

Magnetische Feldstärke in einer Ringspule

$$H = \frac{I \cdot N}{l_m}$$

Magnetische Flussdichte

$$B_m = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$$

Transformator/ Übertrager

Übersetzungsverhältnis

$$\dot{u} = \frac{N_P}{N_S} = \frac{U_P}{U_S} = \frac{I_S}{I_P} = \sqrt{\frac{Z_P}{Z_S}}$$

Belastbarkeit von Wicklungen

$$I = S \cdot A_{Dr} \text{ mit } S \approx 2,5 \frac{A}{\text{mm}^2}$$

Kapazität/Kondensator

Kapazitiver Blindwiderstand

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

Kondensatoren in Reihenschaltung

$$\frac{1}{C_G} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_N}$$

Kondensatoren in Parallelschaltung

$$C_G = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_N$$

Elektrische Feldstärke im homogenen Feld

$$E = \frac{U}{d}$$

Kapazität eines Kondensators

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

A : Kondensatorplattenfläche

d : Plattenabstand

ϵ_r : Relative Dielektrizitätszahl

(Tabelle am Ende der Formelsammlung)

Filter

RC-Tiefpass / RC-Hochpass

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

f_g : Grenzfrequenz (Frequenz am -3 dB-Punkt)

RL-Tiefpass / RL-Hochpass

$$f_g = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

Schwingkreis

Es gilt

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Im Resonanzfall $X_C = X_L$ gilt

Reihenschwingkreis

$$B = \frac{R_s}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

$$Q = \frac{f_0}{B} = \frac{X_L}{R_s}$$

Parallelschwingkreis

$$B = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_p \cdot C}$$

$$Q = \frac{f_0}{B} = \frac{R_p}{X_L}$$

Transistor

Für Gleichstrom gilt

$$B = \frac{I_C}{I_B}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

B : Gleichstromverstärkung

Für Wechselstrom gilt

$$\nu_I = \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

$$\nu_U = \beta = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta U_{BE}}$$

$$\nu_P = \beta^2 = \nu_U \cdot \nu_I$$

β : Wechselstromverstärkung

ZF und Spiegelfrequenzen

Um die Darstellung übersichtlich zu halten, wird der Fall $f_{ZF} = f_E + f_{OSZ}$ nicht betrachtet.

Zwischenfrequenz

$$f_{ZF} = |f_E - f_{OSZ}| = \begin{cases} f_{OSZ} - f_E & \text{wenn } f_E < f_{OSZ} \\ f_E - f_{OSZ} & \text{wenn } f_E > f_{OSZ} \end{cases}$$

f_{ZF} : Zwischenfrequenz

f_E : Eingangsfrequenz

f_{OSZ} : Oszillatorfrequenz

Spiegelfrequenz

$$f_S = 2 \cdot f_{OSZ} - f_E = \begin{cases} f_{OSZ} + f_{ZF} = f_E + 2 \cdot f_{ZF} & \text{wenn } f_E < f_{OSZ} \\ f_{OSZ} - f_{ZF} = f_E - 2 \cdot f_{ZF} & \text{wenn } f_E > f_{OSZ} \end{cases}$$

Pegel

Leistungs und Spannungspegel

$$p = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{1 \text{ mW}} \right) \text{ dBm}$$

$$p = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{1 \text{ W}} \right) \text{ dBW}$$

$$u = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{0,775 \text{ V}} \right) \text{ dBu}$$

Verstärkung/Gewinn

$$g = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \text{ dB} \quad g = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{U_2}{U_1} \right) \text{ dB}$$

Dämpfung/Verluste

$$a = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \text{ dB} \quad a = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{U_1}{U_2} \right) \text{ dB}$$

Leistungsverhältnis Spannungsverhältnis

-20 dB	0,01	0,1
-10 dB	0,1	0,32
-6 dB	0,25	0,5
-3 dB	0,5	0,71
-1 dB	0,79	0,89
0 dB	1	1
1 dB	1,26	1,12
3 dB	2	1,41
6 dB	4	2
10 dB	10	3,16
20 dB	100	10

P_1 : Eingangsleistung

P_2 : Ausgangsleistung

U_1 : Eingangsspannung

U_2 : Ausgangsspannung

Strahlungsleistung und Gewinn von Antennen

ERP

$$P_{\text{ERP}} = P_{\text{S}} - a + g_{\text{d}}$$

$$P_{\text{ERP}} = P_{\text{S}} \cdot 10^{\frac{g_{\text{d}} - a}{10 \text{ dB}}}$$

Feldstärke im Fernfeld einer Antenne

$$E = \frac{\sqrt{30 \Omega \cdot P_{\text{A}} \cdot G_{\text{i}}}}{d} = \frac{\sqrt{30 \Omega \cdot P_{\text{EIRP}}}}{d}$$

Gilt für Freiraumausbreitung ab $d > \frac{\lambda}{2 \cdot \pi}$

P_{A} : Leistung an der Antenne

Gewinn von Antennen

$$G_{\text{i}} = G_{\text{d}} \cdot 1,64 \quad g_{\text{i}} = g_{\text{d}} + 2,15 \text{ dB} \quad G = 10^{\frac{g}{10 \text{ dB}}}$$

EIRP

$$P_{\text{EIRP}} = P_{\text{ERP}} + 2,15 \text{ dB}$$

$$P_{\text{EIRP}} = P_{\text{ERP}} \cdot 1,64 = P_{\text{S}} \cdot 10^{\frac{g_{\text{d}} - a + 2,15 \text{ dB}}{10 \text{ dB}}}$$

Halbwellendipol

$$G_{\text{i}} = 1,64 \quad g_{\text{i}} = 2,15 \text{ dB}$$

$\lambda/4$ -Vertikalantenne mit Bodenreflektion

$$G_{\text{i}} = 3,28 \quad g_{\text{i}} = 5,15 \text{ dB}$$

Parabolspiegelantenne

$$g_{\text{i}} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\pi \cdot d}{\lambda} \right)^2 \cdot \eta \text{ dB}$$

Rauschen

Thermisches Rauschen

$$P_R = k \cdot T_K \cdot B$$

$$\Delta p_R = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{B_1}{B_2} \right) \text{ dB}$$

$$U_R = 2 \cdot \sqrt{P_R \cdot R}$$

P_R : Rauschleistung

Δp_R : Pegelunterschied der Rauschleistungen in B_1 und B_2 z. B. in dB

Signal-Rauschverhältnis (SNR)

$$\text{SNR} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_S}{P_N} \right) \text{ dB} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{U_S}{U_N} \right) \text{ dB}$$

Shannon-Hartley-Gesetz für AWGN-Kanal

$$C = \frac{B}{1 \text{ Hz}} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_S}{P_N} \right) \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

Rauschzahl

$$F = \frac{\left(\frac{P_S}{P_N} \right)_{\text{Eingang}}}{\left(\frac{P_S}{P_N} \right)_{\text{Ausgang}}}$$

$$a_F = 10 \cdot \log_{10} (F)$$

$$a_F = \text{SNR}_{\text{Eingang}} - \text{SNR}_{\text{Ausgang}}$$

P_S : Signalleistung

U_N : Rauschspannung

P_N : Rauschleistung

U_S : Signalspannung

C : Maximale Datenübertragungsrate

B : Bandbreite in Hz

Logarithmus zur Basis 2

$$\log_2(x) = \frac{\log_{10}(x)}{\log_{10}(2)}$$

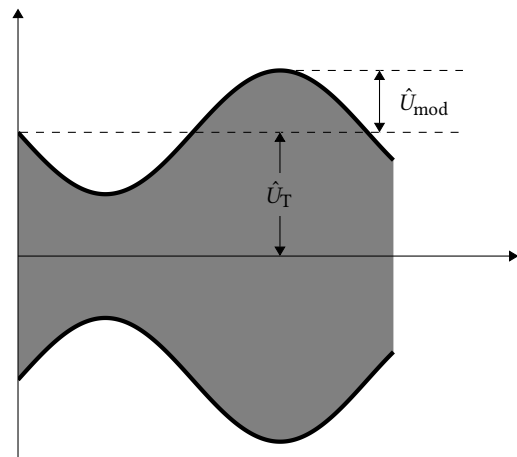
Amplitudenmodulation

Modulationsgrad

$$m = \frac{\hat{U}_{\text{mod}}}{\hat{U}_T}$$

Bandbreite

$$B = 2 \cdot f_{\text{mod max}}$$



Frequenzmodulation

Modulationsindex

$$m = \frac{\Delta f_T}{f_{\text{mod}}}$$

Δf_T : Frequenzhub

Carson-Bandbreite

$$B \approx 2 \cdot (\Delta f_T + f_{\text{mod max}})$$

Ungefähre FM-Bandbreite B enthält etwa 99 % der Gesamtleistung des Signals

Wellenlänge und Frequenz

Lichtgeschwindigkeit

$$c = f \cdot \lambda \quad f = \frac{c}{\lambda} \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

Im Freiraum gilt

$$c = c_0 \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 300\,000\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$f[\text{MHz}] \approx \frac{300}{\lambda[\text{m}]} \quad \lambda[\text{m}] \approx \frac{300}{f[\text{MHz}]}$$

Verkürzungsfaktor von HF-Leitungen

$$k_v = \frac{l_G}{l_E} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{c}{c_0}$$

l_G : mechanische Länge

l_E : elektrische Länge

Reflektion

Stehwellenverhältnis (SWR, SWV, VSWR)

$$s = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{U_v + U_r}{U_v - U_r} = \frac{\sqrt{P_v} + \sqrt{P_r}}{\sqrt{P_v} - \sqrt{P_r}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$s = \frac{R_2}{Z} \text{ wenn } R_2 > Z \text{ und } s = \frac{Z}{R_2} \text{ wenn } R_2 < Z$$

Reflektionsfaktor

$$|\Gamma| = \frac{s-1}{s+1} = \left| \frac{R_2 - Z}{R_2 + Z} \right| = \frac{|U_r|}{|U_v|} = \sqrt{\frac{P_r}{P_v}}$$

Rücklaufende Leistung

$$P_r = P_v \cdot |\Gamma|^2$$

An R_2 abgegebene Leistung

$$P_{ab} = P_v \cdot (1 - |\Gamma|^2)$$

U_v : Spannung der hinlaufenden Welle

U_r : Spannung der rücklaufenden Welle

Z : Wellenwiderstand der HF-Leitung

R_2 : reeller Abschlusswiderstand der HF-Leitung

P_v : vorlaufende Leistung

P_r : rücklaufende (reflektierte) Leistung

P_{ab} : Leistung an R_2

Wellenwiderstand

HF-Leitungen

$$Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

Koaxiale Leitungen

$$Z = \frac{60 \Omega}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln\left(\frac{D}{d}\right)$$

D : Innendurchmesser Außenleiter

d : Durchmesser des Innenleiters

Symmetrische Zweidrahtleitungen ($a/d > 2,5$)

$$Z = \frac{120 \Omega}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot a}{d}\right)$$

a : Mittenabstand der Leiter

d : Durchmesser der Leiter

Viertelwellentransformator

$$Z = \sqrt{Z_E \cdot Z_A}$$

Z : erforderlicher Wellenwiderstand einer $\lambda/4$ -Transformationsleitung

Weitere Formeln

Höchste brauchbare Frequenz

f_{opt} : Optimale Arbeitsfrequenz

$$\text{MUF} \approx \frac{f_c}{\sin(\alpha)} \quad f_{\text{opt}} = \text{MUF} \cdot 0,85$$

Empfindlichkeit von Messsystemen

E_{MESS} : Empfindlichkeit in $\frac{\Omega}{V}$

U_i : Spannung am System bei Vollausschlag

I_i : Strom durch das System bei Vollausschlag

$$E_{\text{MESS}} = \frac{R_i}{U_i} = \frac{1}{I_i}$$

Relativer maximaler Fehler

F_W : relativer maximaler Fehler (in %)

G : Genauigkeitsklasse des Messinstruments

W_E : Endwert des Messbereichs

W_M : abgelesener Wert (Ist-Wert)

$$F_W = \pm \frac{G}{100} \cdot \frac{W_E}{W_M}$$

Abtasttheorem

f_{abtast} : Abtastrate

f_{min} : Minimale Frequenz

f_{max} : Maximale Frequenz

$$f_{\text{abtast}} > 2 \cdot f_{\text{max}}$$

für Nicht-Basisband-Signale

$$f_{\text{abtast}} > 2 \cdot (f_{\text{max}} - f_{\text{min}}) \text{ wenn } f_{\text{abtast}} < f_{\text{min}} \text{ oder } f_{\text{abtast}} > f_{\text{max}}$$

Datenübertragungs-/Symbolrate

C : Datenübertragungsrate in Bit/s

R_S : Symbolrate in Baud

n : Symbolgröße in Bit/Symbol

$$C = R_S \cdot n$$

6.2 Formelzeichen, Konstanten und Tabellen

Sofern bei der jeweiligen Formel nicht anders angegeben, gilt:

A	Querschnitt, Fläche	g	Verstärkungsmaß/Gewinn (z. B. in dB)
A_{Dr}	Drahtquerschnitt	g_d	Gewinn bezogen auf den Halbwellendipol (z. B. in dB)
A_{Fe}	Eisenkernquerschnitt	g_i	Gewinn bezogen auf den isotropen Strahler (z. B. in dB)
A_L	Induktivitätskonstante (z. B. in nH)	GPSDO	GPS Disciplined Oscillator (GPS-synchronisierter Oszillator)
A_S	Querschnittsfläche der Spule	H	magnetische Feldstärke
a	Dämpfungsmaß (z. B. in dB)	I	Stromstärke
a_F	Rauschzahl gemessen mit Eingangsabschluss bei 290 K (z. B. in dB)	I_B	Basisgleichstrom
AWGN	Additive White Gaussian Noise (Additives weißes gaußsches Rauschen)	I_C	Kollektorgleichstrom
B, B_1, B_2	Bandbreiten	I_E	Emittergleichstrom
B_m	magnetische Flussdichte	I_G	Gesamtstrom
C	Kapazität	I_P	Primärstromstärke
C'	Kapazitätsbelag (Kapazität pro Meter)	I_S	Sekundärstromstärke
C_G	Gesamtkapazität	I_1, I_2	Teilströme
C_1, C_2, C_3, C_n	Teilkapazitäten	k	Boltzmann-Konstante, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{W \cdot s}{K}$
c	Phasengeschwindigkeit	k_v	Verkürzungsfaktor
c_0	Vakuumlichtgeschwindigkeit, $c_0 = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$	L	Induktivität
d	Abstand, Entfernung	L'	Induktivitätsbelag (Induktivität pro Meter)
E	elektrische Feldstärke	L_G	Gesamtinduktivität
EIRP	äquivalente isotrope Strahlungsleistung	L_1, L_2, L_3, L_n	Teilinduktivitäten
ERP	äquivalente (effektive) Strahlungsleistung	l	Länge
e	Eulersche Zahl, $e = 2,718 \dots$	l_m	mittlere Feldlinienlänge
F	Rauschzahl (Eingangsabschluss bei 290 K)	MUF	Höchste brauchbare Frequenz bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen infolge ionosphärischer Brechung
f	Frequenz	m	Modulationsindex
$f_c, f_k, f_{krit}, f_{oF2}$	Höchste Frequenz, bei der senkrecht in die Ionosphäre eintretende Strahlung von der gegebenen Region noch gebrochen wird	N	Windungszahl
f_E	eingestellte Empfangsfrequenz	N_P	Primärwindungszahl
f_g	Grenzfrequenz	N_S	Sekundärwindungszahl
f_{mod}	Modulationsfrequenz	N_V	Windungszahl pro Volt
$f_{mod \max}$	höchste Modulationsfrequenz	OCCO	Oven-Controlled Crystal Oscillator (Quarzoszillator mit Quarzofen)
f_{opt}	optimale Frequenz	P	Leistung
f_{OSZ}	Oszillatorfrequenz	P_R	Rauschleistung
f_S	Spiegelfrequenz	P_S	Senderleistung
f_{ZF}	Zwischenfrequenz	P_{ERP}	ERP Strahlungsleistung
f_0	Resonanzfrequenz	P_{EIRP}	EIRP Strahlungsleistung
G	Gewinnfaktor	P_V	Verlustleistung
G_d	Gewinnfaktor bezogen auf den Halbwellendipol	P_{ab}	abgegebene Leistung
G_i	Gewinnfaktor bezogen auf den isotropen Strahler	P_{zu}	zugeführte Leistung

p	Pegel der Leistung (z. B. in dBm oder dBW)	v_i	Wechselstromverstärkung
p_S	Pegel der Senderleistung (z. B. in dBm)	v_U	Wechselspannungsverstärkung
p_{ERP}	Pegel der ERP Strahlungsleistung (z. B. in dBm)	v_P	Leistungsverstärkung für Wechselstrom
p_{EIRP}	Pegel der EIRP Strahlungsleistungen (z. B. in dBm)	VCO	Voltage-Controlled Oscillator (Spannungsgesteuerter Oszillator)
PEP	Peak Envelope Power (Hüllkurvenspitzenleistung)	W	Arbeit/Energie
Q	Güte	X	Blindwiderstand
R	Widerstand	X_C	kapazitiver Blindwiderstand
R_G	Gesamtwiderstand	X_L	induktiver Blindwiderstand
R_i	Innenwiderstand	XO	Crystal Oscillator (Quarzoszillator)
R_1, R_2, R_3, R_n	Teilwiderstände	Z	Wellenwiderstand
R_p	paralleler Verlustwiderstand	Z_A	Ausgangsscheinwiderstand
R_s	serieller Verlustwiderstand	Z_E	Eingangsscheinwiderstand
r	Reflektionsfaktor	Z_{F0}	Feldwellenwiderstand des freien Raumes,
S	Stromdichte		$Z_{F0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \Omega$
SNR	Signal-Rauschverhältnis (z. B. in dB)	Z_P	Primärer Scheinwiderstand
$s, SWR, SWV, VSWR$	Stehwellenverhältnis oder Welligkeit	Z_S	Sekundärer Scheinwiderstand
T	Periodendauer	ΔI	Stromänderung
T_K	Temperatur in Kelvin bezogen auf den absoluten Nullpunkt T_0 ($T_0 = 0 \text{ K} = -273,15^\circ\text{C}$; d. h. $20^\circ\text{C} \approx 293 \text{ K}$)	ΔI_B	Basisstromänderung
t	Zeit	ΔI_C	Kollektorstromänderung
TCXO	Temperature Compensated Crystal Oscillator (Temperaturkompensierter Quarzoszillator)	ΔU	Spannungsänderung
U	Spannung	ΔU_{CE}	Kollektor-Emitter-Spannungsänderung
U_{eff}	Effektivspannung	ΔU_{BE}	Basis-Emitter-Spannungsänderung
U_G	Gesamtspannung	α	Abstrahlwinkel der Antenne (Höhenwinkel)
U_P	Primärspannung	β	Wechselstromverstärkung
U_R	effektive Rauschspannung an R	ϵ_0	elektrische Feldkonstante,
U_S	Sekundärspannung		$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 \cdot c_0^2} = 0,885 \cdot 10^{-11} \frac{\text{A s}}{\text{V m}}$
U_{SS}	Spannung von Spitze zu Spitze	ϵ_r	relative Dielektrizitätszahl
U_1, U_2	Teilspannungen	η	Wirkungsgrad
$\hat{U}$	Spitzenspannung	λ	Wellenlänge
$\hat{U}_{mod}$	Amplitude der Modulationsspannung	μ_0	magnetische Feldkonstante,
$\hat{U}_T$	Amplitude der HF-Trägerspannung		$\mu_0 = \frac{4\pi}{10^7} \frac{\text{V s}}{\text{A m}} = 1,2566 \cdot 10^{-6} \frac{\text{H}}{\text{m}}$
u	Pegel der Spannung (z. B. in dBu)	μ_r	relative Permeabilität (Luft ≈ 1)
$\ddot{u}$	Übersetzungsverhältnis	ρ	spezifischer elektrischer Widerstand
		ω	Kreisfrequenz

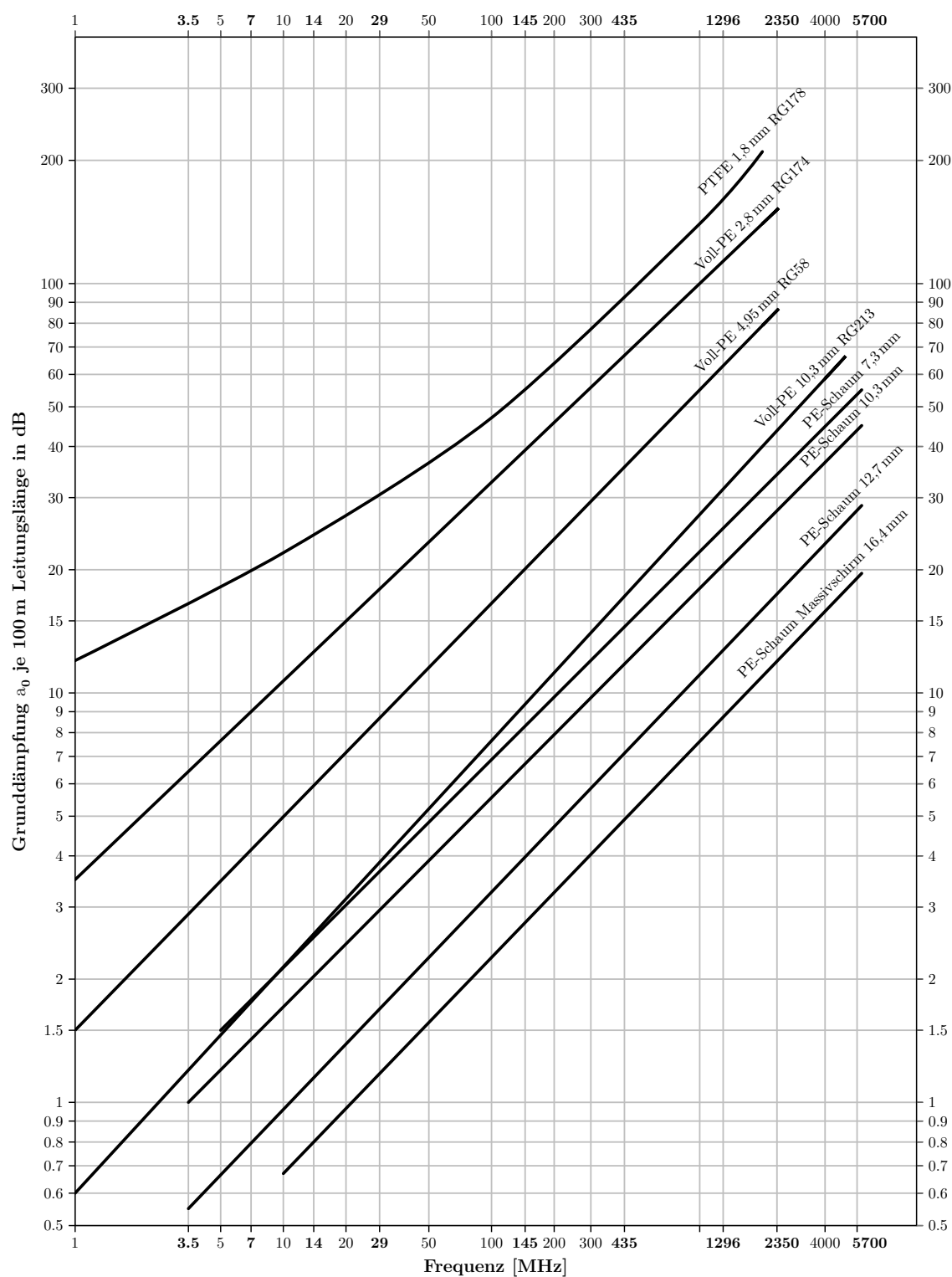
Spezifischer Widerstand in $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

Material	Wert
Kupfer	0,018
Aluminium	0,028
Gold	0,022
Silber	0,016
Zink	0,11
Eisen	0,1
Messing	0,07

Relative Dielektrizitätszahl

Material	Wert
Luft (trocken)	1,00059
Voll-PE (Polyäthylen)	2,29
Schaum-PE	1,5
PTFE (Teflon)	2,0

6.3 Kabeldämpfungsdiagramm Koaxialkabel



Dämpfung gebräuchlicher Koaxleitungen in Abhängigkeit von der Betriebsfrequenz
für eine Länge von 100 m

6.4 IARU Bandplan 2m

	Frequency Segment	Max.	Preferred Mode and Usage	
144–146 MHz	144,000–144,025 MHz	2,7 kHz	All mode	Sattelite downlink only
	144,025–144,100 MHz	500 Hz	Telegraphy	144,050 MHz Telegraphy calling 144,100 MHz Random MS
	144,100–144,150 MHz	500 Hz	MGM, Telegra- phy	144,110–144,160 MHz CW and MGM EME
	144,150–144,400 MHz	2,7 kHz	MGM, Telegra- phy, SSB	144,195–144,205 MHz Random MS SSB 144,300 MHz SSB Centre of activity
	144,400–144,490 MHz	500 Hz	MGM, Telegra- phy	Beacons exclusive
	144,491–144,493 MHz	500 Hz	MGM	Experimental MGM, Personal weak signal MGM Beacons
	144,500–144,794 MHz	20 kHz	All mode	144,500 MHz Image mode centre (SSTV, Fax,...) 144,600 MHz Data Centre of activity (MGM, RTTY,...) 144,750 MHz ATV Talk back
	144,794–144,9625 MHz	12 kHz	MGM Digital Communicati- on	144,8000 MHz APRS 144,8125 MHz DV internet voice gateway 144,8250 MHz DV internet voice gateway 144,8375 MHz DV internet voice gateway 144,8500 MHz DV internet voice gateway 144,8625 MHz DV internet voice gateway
	144,975–145,194 MHz	12 kHz	FM/Digital Voice	Repeater input exclusive
	145,194–145,206 MHz	12 kHz	FM/Digital Voice	Space Communication
	145,206–145,5625 MHz	12 kHz	FM/Digital Voice	145,2375 MHz FM Internet Voice Gateway 145,2875 MHz FM Internet Voice Gateway 145,3375 MHz FM Inter- net Vocie Gateway 145,3750 MHz digital voice calling 145,5000 MHz FM calling
	145,575–145,7935 MHz	12 kHz	FM/Digital Voice	Repeater output exclusive
	145,794–145,806 MHz	12 kHz	FM/Digital Voice	Space Communication
	145,806–146,000 MHz	12 kHz	All mode	Sattelite exclusive

6.5 IARU Bandplan 70cm

Frequency Segment	Max.	Preferred Mode and Usage	
430,000–431,975 MHz	20 kHz	All mode	430,025–430,375 MHz FM repeater output (1,6 MHz shift) 430,400–430,575 MHz digital communications 430,600–430,925 MHz digital communications repeater channels 430,925–431,025 MHz multimode channels 431,050–431,825 MHz Repeater input channel freqs 7,6 MHz shift 431,625–431,975 MHz Repeater input channels (1,6 MHz shift)
432,000–432,100 MHz	500 Hz	MGM, Telegraphy	432,050 MHz Telegraphy Centre of activity
432,100–432,400 MHz	2,7 kHz	MGM, Telegraphy, SSB	432,200 MHz SSB centre of activity 432,350 MHz Microwave talkback centre of activity 432,370 MHz Meteo Scatter centre of activity
432,400–432,490 MHz	500 Hz	MGM, Telegraphy	Beacons Exclusive
432,191–432,193 MHz	500 Hz	EMGM	Experimental MGM
432,500–432,975 MHz	12 kHz	All mode	432,500 MHz New APRS frequency 432,600–432,9875 Repeater Input Region 1 Standard, 25 kHz spacing, 2 MHz shift (Channel freq 432,600–432,975 MHz)
433,000–433,375 MHz	12 kHz	FM, Digital Voice Repeaters	Repeater Input Region 1 Standard, 25 kHz spacing, 1,6 MHz shift
433,400–433,575 MHz	12 kHz	FM, Digital Voice	433,400 MHz SSTV (FM/AFSK) 433,450 MHz Digital Voice calling 433,500 MHz FM calling
433,600–434,000 MHz	none	All mode	433,625–433,775 MHz Digital communications channels 434,000 MHz Centre frequency of digital experiments
434,000–434,594 MHz	12 kHz	All mode, ATV	434,450–434,575 MHz Digital communications channels
434,594–434,981 MHz	12 kHz	All mode	434,600–434,9875 MHz Repeater Output (12,5 kHz spacing 1,6 MHz or 2 MHz shift)
435,000–436,000 MHz	none	Sattelite service	
436,000–438,000 MHz	none	Sattelite service, DATV/data	DATV/data centre of activity
438,000–440,000 MHz	none	All mode	438,025–438,175 MHz Digital communication channels 438,200–438,525 MHz Digital communication repeater channels 438,550–438,625 MHz Multi mode 438,650–439,425 MHz Repeater output channels (7,6 MHz shift) 439,800–439,975 MHz Digital communication link channels

430–440 MHz

Impressum

Herausgeber

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas,
Telekommunikation, Post und Eisenbahnen
Tulpenfeld 4
53113 Bonn

Stand

Dezember 2023, 2. Auflage