

Potenzen, Pegel, Kennfarben

	Pegel	Leistungsverhältnis	Spannungsverhältnis	Kennfarbe	Wert	Multiplikator	Toleranz
·							
·							
$10^{-3} = 0,001$	-20 dB	0,01	0,1	Silber	-	10^{-2}	±10%
	-10 dB	0,1	0,32	Gold	-	10^{-1}	±5%
$10^{-2} = 0,01$	-6 dB	0,25	0,5	schwarz	0	10^{-0}	-
	-3 dB	0,5	0,71	braun	1	10^1	±1%
$10^{-1} = 0,1$	-1 dB	0,8	0,89	rot	2	10^2	±2%
$10^0 = 1$	0 dB	1	1	orange	3	10^3	-
	1 dB	1,26	1,12	gelb	4	10^4	-
$10^1 = 10$	3 dB	2	1,41	grün	5	10^5	±0,5%
	6 dB	4	2	blau	6	10^6	±0,25%
$10^2 = 100$	10 dB	10	3,16	violett	7	10^7	±0,1%
	20 dB	100	10	grau	8	10^8	-
·				weiß	9	10^9	-
·				keine	-	-	±20%

Wertkennzeichnung durch Buchstaben

<i>p</i>	Pico	10^{-12}	<i>μ</i>	Mikro	10^{-6}		10^0	<i>M</i>	Mega	10^6	
<i>n</i>	Nano	10^{-9}	<i>m</i>	Milli	10^{-3}	<i>k</i>	Kilo	10^3	<i>G</i>	Giga	10^9

Ohmsches Gesetz

$$U = I \cdot R$$

Leistung

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

Arbeit

$$W = P \cdot t$$

Widerstand von Drähten

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

Widerstände in Reihenschaltung

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

bei 2 Widerständen

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

U_G ... Gesamtspannung; U_1, U_2 ... Teilspannungen

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

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

I_G ... Gesamtstrom; I_1, I_2 ... Teilströme

Innenwiderstand

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

Effektiv- und Spitzenwerte sinusförmiger Wechselspannung

$$U_{Spitze} = U_{eff} \cdot \sqrt{2} \quad U_{ss} = 2 \cdot U_{Spitze}$$

Periodendauer

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

Kreisfrequenz	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$	
Induktiver Widerstand	$X_L = \omega \cdot L$	
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 (auch für Zylinderspule wenn $l > D$)	$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2 \cdot A_S}{l_m}$	
Induktivität von Schalenkernspulen (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		
<i>Übersetzungsverhältnis</i>	$\ddot{u} = \frac{n_p}{n_s} = \frac{U_p}{U_s} = \frac{I_s}{I_p} = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}}$	
<i>Netztrafo</i>	$P_p \approx 1,2 \cdot P_s; \quad A_{Fe} \approx \sqrt{P_p} \cdot \frac{cm^2}{\sqrt{W}}; \quad n_v \approx \frac{42}{A_{Fe}} \cdot \frac{cm^2}{V}$	
	$P_p \dots$ Primärleistung; $P_s \dots$ Sekundärleistung	
<i>Belastbarkeit von Wicklungen</i>	$I = S \cdot A_{Dr}$ mit $S \approx 2,5 A/mm^2$	
Kapazitiver Widerstand	$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$	
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	$C_G = C_1 + C_2 + C_3 + \dots C_n$	
Kapazität eines Kondensators	$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$	$A \dots$ Kondensatorplattenfläche
Elektrische Feldstärke	$E = \frac{U}{d}$	
RC-Tiefpass / RC-Hochpass	$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$	$f_g \dots$ Grenzfrequenz
RL-Tiefpass / RL-Hochpass	$f_g = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$	(Frequenz am -3-dB-Punkt)

Aufladung eines Kondensators
über den Widerstand R

$$u_C = U \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$i_C = \frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Entladung eines Kondensators
über den Widerstand R

$$u_C = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$i_C = -\frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Zeitkonstante

$$\tau = R \cdot C$$

Resonanzfrequenz und Kreisgüte
des Schwingkreises

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

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

Zwischenfrequenz

$$f_{ZF} = f_E \pm f_{OSZ}$$

Spiegelfrequenz

$$f_S = f_E + 2 \cdot f_{ZF} \quad \text{für} \quad f_{OSZ} > f_E$$

$$f_S = f_E - 2 \cdot f_{ZF} \quad \text{für} \quad f_{OSZ} < f_E$$

Pegel

$$u = 20 \cdot \lg \frac{U}{U_0}; \quad p = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0}$$

Relativer Pegel: Als Spannungs- oder Leistungspegel bezogen auf beliebige Werte von U_0 oder P_0 (z.B. $1\mu V$, $1V$, $1W$, $1pW$)

Absoluter Pegel: 0 dB (dBm , dBu) liegt bei $P_0 = 1\text{mW}$ oder der Spannung $U_0 = 775\text{mV}$ bei einem System mit $R_1=R_L=600\Omega$ vor.

Der absolute Leistungspegel ist auch bei Systemen mit anderen Impedanzen gleich.

Dämpfung

$$a = 20 \cdot \lg \frac{U_1}{U_2}; \quad a = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2}$$

$U_1 \dots$ Eingangsspannung

$U_2 \dots$ Ausgangsspannung

$P_1 \dots$ Eingangsleistung

$P_2 \dots$ Ausgangsleistung

Verstärkung/Gewinn

$$g = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1}; \quad g = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1}$$

Thermisches Rauschen

$$P_R = k \cdot T_K \cdot B \quad \Delta p_R = 10 \cdot \lg \frac{B_1}{B_2}$$

$P_R \dots$ Rauschleistung

$\Delta p_R \dots$ Pegelunterschied

der Rauschleistungen in

B_1 und B_2

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

Signal-Rauschverhältnis

$$S/N = 10 \cdot \lg \frac{P_S}{P_N} = 20 \cdot \lg \frac{U_S}{U_N}$$

$P_S \dots$ Signalleistung

$P_N \dots$ Rauschleistung

$U_S \dots$ Signalspannung

$U_N \dots$ Rauschspannung

Rauschzahl

$$F = \frac{\left(\frac{P_S}{P_N}\right)_{\text{EINGANG}}}{\left(\frac{P_S}{P_N}\right)_{\text{AUSGANG}}}$$

$$a_F = 10 \cdot \lg F$$

$$a_F = (S/N)_{\text{EINGANG}} - (S/N)_{\text{AUSGANG}}$$

ERP/EIRP

$$p_{ERP} = p_S - a + g_d; \quad P_{ERP} = P_S \cdot 10^{\frac{g_d - a}{10}}$$

$g_d \dots$ Antennengewinn

bezogen auf den

Halbwellendipol in dB

$$p_{EIRP} = p_{ERP} + 2,16\text{dB} = p_S - a + g_d + 2,16\text{dB}$$

$a \dots$ Verluste (Kabel,
Koppler etc.)

$$P_{EIRP} = P_S \cdot 10^{\frac{g_d - a + 2,16\text{dB}}{10}}$$

Gewinnfaktor von Antennen $G_i = 10^{\frac{g_i}{10}}; \quad G_d = 10^{\frac{g_d}{10}}$
 $G_i = G_d \cdot 1,64$ (Halbwelldipol: $G_i = 1,64$)

Feldstärke im Fernfeld einer Antenne*) $E = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot P_A \cdot G_i}}{d} = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot P_{EIRP}}}{d}$

*) für Freiraumausbreitung ab $r > \frac{\lambda}{2 \cdot \pi}$; P_A ... Leistung an der Antenne

Amplitudenmodulation

Modulationsgrad

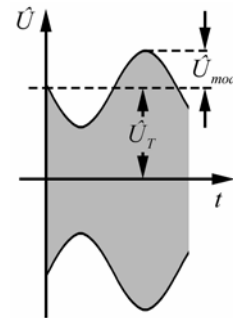
$$m = \frac{\hat{U}_{mod}}{\hat{U}_T}$$

Bandbreite

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

\hat{U}_{mod} ... Amplitude der Modulationsspannung

\hat{U}_T ... Amplitude der HF-Trägerspannung



Frequenzmodulation

Modulationsindex

$$m = \frac{\Delta f_T}{f_{mod}}; \quad \Delta f_T \text{ ... Frequenzhub}$$

Ungefähre Bandbreite

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

B enthält etwa 99 % der Gesamtleistung eines FM-Signals.

Phasengeschwindigkeit

$$c = f \cdot \lambda$$

Verkürzungsfaktor von HF-Leitungen

$$k_v = \frac{l_G}{l_E} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{c}{c_0} \quad \begin{array}{l} l_G \text{ ... geometrische Länge} \\ l_E \text{ ... elektrische Länge} \end{array}$$

Stehwellenverhältnis/VSWR

$$s = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{U_v + U_r}{U_v - U_r}; \quad s = \frac{1 + |r|}{1 - |r|} \quad \text{mit} \quad r = \frac{R_2 - Z}{R_2 + Z}$$

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

Reflektionsfaktor

$$|r| = \frac{s-1}{s+1} = \frac{U_r}{U_v} = \sqrt{\frac{P_r}{P_v}}$$

Rücklaufende Leistung

$$P_r = P_v \cdot r^2 \quad \text{mit} \quad P_r \neq P_v$$

An R_2 abgegebene Leistung

$$P_{ab} = P_v(1 - r^2)$$

Dämpfung durch Fehlanpassung

$$a_s = -10 \lg(1 - r^2)$$

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 $Z = \frac{60\Omega}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln \frac{D}{d}$
D ... Innendurchmesser Außenleiter
d ... Durchmesser des Innenleiters

Symmetrische Zweidraht-Leitungen mit $a/d > 2,5$ $Z = \frac{120\Omega}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln \frac{2 \cdot a}{d}$
a ... Mittenabstand der Leiter
d ... Durchmesser der Leiter

Viertelwellentransformator $Z = \sqrt{Z_E \cdot Z_A}$
Z ... erforderlicher Wellenwiderstand einer $\lambda/4$ -Transformationsleitung

Wirkungsgrad $\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$; $\eta_{\%} = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \cdot 100\%$; $P_{ab} = P_{zu} - P_V$

Höchste brauchbare Frequenz $MUF = \frac{f_c}{\sin \alpha}$
 $f_{opt} = MUF \cdot 0,85$

Empfindlichkeit von Messsystemen $E_{MESS} = \frac{R_i}{U_i} = \frac{1}{I_i}$

E_{MESS} ... Empfindlichkeit in Ω/V ; U_i ... Spannung am System bei Vollausschlag;
 I_i ... Strom durch das System bei Vollausschlag

Messbereichserweiterung

Spannungsmesser

$$R_V = \frac{U - U_M}{I_M} = R_M (n - 1) = \frac{U_M}{I_M} (n - 1)$$

Strommesser

$$R_P = \frac{R_M \cdot I_M}{I - I_M} = \frac{R_M}{n - 1}$$

n ... Erweiterungsfaktor

U ... neuer Spannungsmessbereich

U_M ... Spannungsmessbereich des Instruments

I ... neuer Strommessbereich

I_M ... Strom bei Vollausschlag des Instruments

R_V ... Vorwiderstand

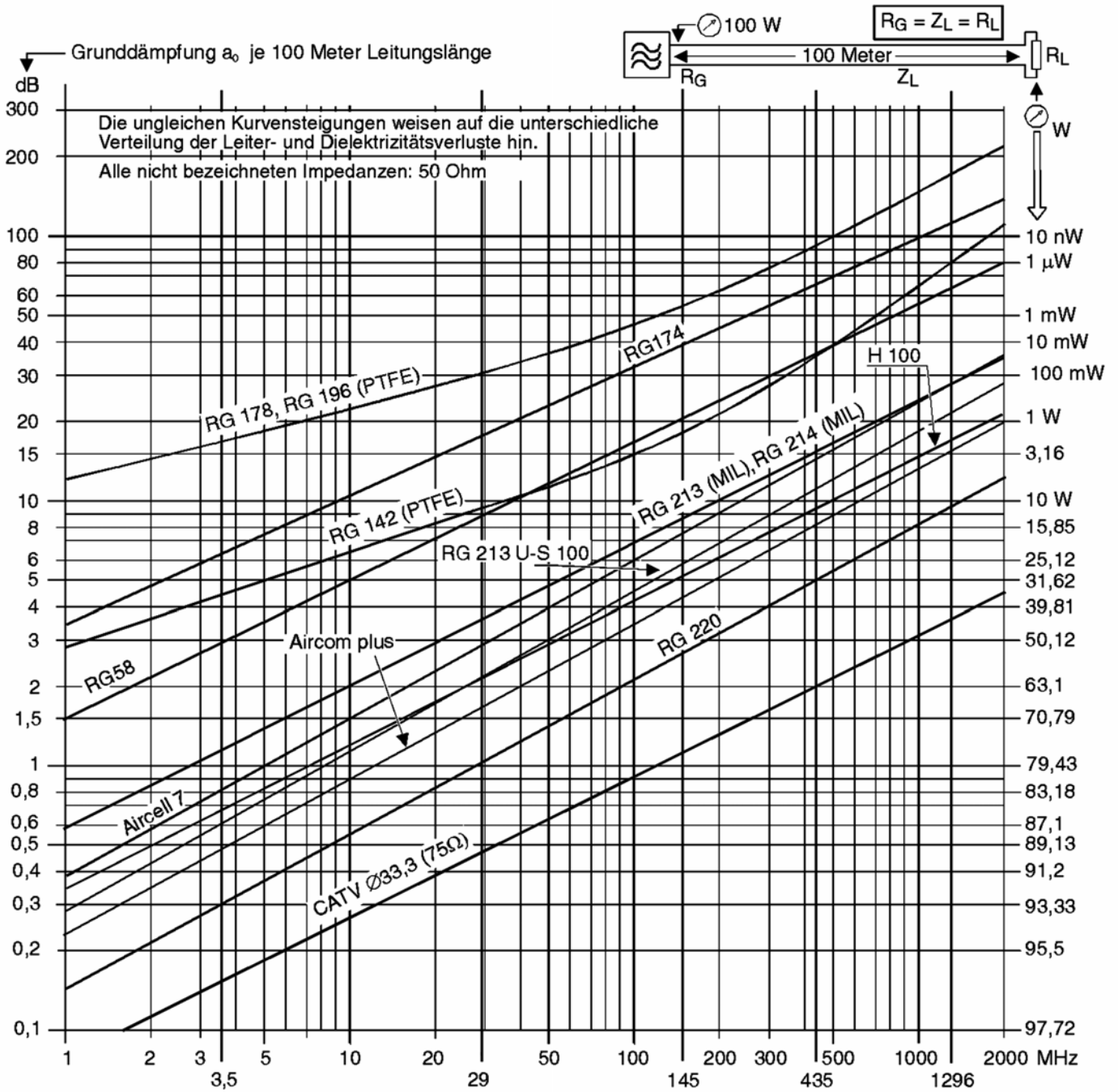
R_P ... Parallelwiderstand (Shunt)

Relativer maximaler Fehler

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

F_W ... relativer maximaler Fehler (in %); G ... Genauigkeitsklasse des Messinstrumentes;
 W_E ... Endwert des Messbereichs; W_M ... abgelesener Wert (Istwert)

Kabeldämpfungsdiagramm



Grunddämpfung verschiedener gebräuchlicher Koaxleitungen in Abhängigkeit von der Betriebsfrequenz für eine Länge von 100 m.

Formelzeichen, Konstanten und Tabellen*A ... Querschnitt; Fläche**A_{Dr} ... Drahtquerschnitt**A_{Fe} ... Eisenkernquerschnitt**A_L ... Induktivitätsfaktor in nH**A_S ... Querschnittsfläche der Spule**a ... Dämpfungsmaß in dB**a_F ... Rauschzahl in dB**B, B₁, B₂ ... Bandbreiten**B_m ... magnetische Flussdichte**C ... Kapazität;**C' ... Kapazitätsbelag (Kapazität pro Meter)**C_G ... Gesamtkapazität**C₁, C₂, C₃, C_n ... Teilkapazitäten**c ... Phasengeschwindigkeit**c₀ ... Vakuumlichtgeschwindigkeit, $c_0 = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$* *d ... Abstand, Entfernung**E ... elektrische Feldstärke**EIRP ... äquivalente isotrope Strahlungsleistung**ERP ... äquivalente (effektive)**Strahlungsleistung**e ... Eulersche Zahl, $e=2,718 \dots$* *F ... Rauschzahl**f ... Frequenz**f_c ... Höchste Frequenz, bei der die senkrecht in die Ionosphäre eintretende Strahlung von der gegebenen Schicht noch reflektiert wird.**f_E ... eingestellte Empfangsfrequenz**f_g ... Grenzfrequenz**f_{mod} ... Modulationsfrequenz**f_{modmax} ... höchste Modulationsfrequenz**f_{opt} ... optimale Frequenz**f_{OSZ} ... Oszillatorfrequenz**f_S ... Spiegelfrequenz**f_{ZF} ... Zwischenfrequenz**f₀ ... Resonanzfrequenz**G_d ... Gewinnfaktor bezogen auf den Halbwellendipol**G_i ... Gewinnfaktor bezogen auf den isotropen Strahler**g ... Verstärkungsmaß/Gewinn in dB**g_d ... Gewinn in dB bezogen auf den Halbwellendipol**g_i ... Gewinn in dB bezogen auf den isotropen Strahler**H ... magnetische Feldstärke**k_v ... Verkürzungsfaktor**I ... Stromstärke**I_G ... Gesamtstrom**I_p ... Primärstromstärke**I_s ... Sekundärstromstärke**I₁, I₂ ... Teilströme**i_C ... Strom durch den Kondensator**k ... Boltzmann-Konstante, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{Ws/K}$* *L ... Induktivität**L' ... Induktivitätsbelag (Induktivität pro Meter)**L_G ... Gesamtinduktivität**L₁, L₂, L₃, L_n ... Teilinduktivitäten**l ... Länge**l_m ... mittlere Feldlinienlänge**MUF ... Höchste brauchbare Frequenz bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen infolge ionosphärischer Brechung**m ... Modulationsindex**N ... Windungszahl**n_p ... Primärwindungszahl**n_s ... Sekundärwindungszahl**n_v ... Windungszahl pro Volt**P ... Leistung**P_R ... Rauschleistung**P_S, P_{ERP}, P_{EIRP} ... Sender-/ Strahlungsleistungen in Watt**P_V ... Verlustleistung**P_{ab} ... abgegebene Leistung**P_{zu} ... zugeführte Leistung**p ... Pegel der Leistung in dB...**p_S, p_{ERP}, p_{EIRP} ... Pegel der Sender-/ Strahlungsleistungen in dBm**Q ... Güte*

R ... Widerstand	$VSWR$... Stehwellenverhältnis oder Welligkeit
R_G ... Gesamtwiderstand	W ... Arbeit
R_i ... Innenwiderstand	X_C ... kapazitiver Blindwiderstand
R_1, R_2, R_3, R_n ... Teilwiderstände	X_L ... induktiver Blindwiderstand
R_p ... paralleler Verlustwiderstand	Z ... Wellenwiderstand
R_s ... serieller Verlustwiderstand	Z_A ... Ausgangsscheinwiderstand
r ... Reflektionsfaktor	Z_E ... Eingangsscheinwiderstand
S ... Stromdichte	Z_{F0} ... Feldwellenwiderstand des freien Raumes,
S/N ... Signal-Rauschverhältnis in dB, auch als	$Z_{F0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120 \cdot \pi \cdot \Omega$
SNR oder $\frac{S+N}{N}$ bezeichnet	Z_p ... Primärer Scheinwiderstand
s ... Stehwellenverhältnis oder Welligkeit	Z_s ... Sekundärer Scheinwiderstand
T ... Periodendauer	α ... Abstrahlwinkel der Antenne
T_K ... Temperatur in Kelvin bezogen auf den absoluten Nullpunkt T_0 ($T_0 = 0 \text{ K} = -273,15^\circ\text{C}$; d.h. $20^\circ\text{C} \approx 293 \text{ K}$)	ϵ_0 ... elektrische Feldkonstante,
t ... Zeit	$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 \cdot c_0^2} = 0,885 \cdot 10^{-11} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$
U ... Spannung	ϵ_r ... relative Dielektrizitätszahl (siehe Tabelle 2)
U_{eff} ... Effektivspannung	η ... Wirkungsgrad
U_G ... Gesamtspannung	$\eta\%$... Wirkungsgrad in Prozent
U_{Spitze} ... Spitzenspannung	λ ... Wellenlänge
U_p ... Primärspannung	μ_0 ... magnetische Feldkonstante,
U_R ... effektive Rauschspannung an R	$\mu_0 = \frac{4\pi}{10^7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} = 1,2566 \cdot 10^{-6} \frac{\text{H}}{\text{m}}$
U_s ... Sekundärspannung	μ_r ... relative Permeabilität
U_{ss} ... Spannung von Spitze zu Spitze	ρ ... spezifischer elektrischer Widerstand (siehe Tabelle 1)
U_1, U_2 ... Teilspannungen	τ ... Zeitkonstante
u ... Pegel der Spannung in dB...	ω ... Kreisfrequenz
u_C ... Spannung am Kondensator	
\ddot{u} ... Übersetzungsverhältnis	

Tabelle 1: Spezifischer elektrischer Widerstand ρ

Material	Kupfer	Aluminium	Eisen
ρ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ bei 20°C	0,0178	0,030	0,17

Tabelle 2: Relative Dielektrizitätszahl ϵ_r

Dielektrikum / Isolierstoff	Luft (trocken)	Voll-PE (Polyäthylen)	Schaum-PE	PTFE (Teflon)
ϵ_r	1,00059	2,29	1,5	2,0