

**Potenzen, Pegel, Kennfarben**

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

**Wertkennzeichnung durch Buchstaben**

p	Pico	$10^{-12}$
n	Nano	$10^{-9}$

$\mu$	Mikro	$10^{-6}$
m	Milli	$10^{-3}$

		$10^0$
k	Kilo	$10^3$

M	Mega	$10^6$
G	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**

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

**Widerstände in Reihenschaltung**

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

Bei 2 Widerständen gilt

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

**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

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

**Innenwiderstand**

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

**Effektiv- und Spitzenwerte bei sinusförmiger Wechselspannung**

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

**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***Übersetzungsverhältnis*

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

*Netztrafo*

$$P_P \approx 1,2 \cdot P_S \quad A_{Fe} \approx \sqrt{P_P} \cdot \frac{cm^2}{\sqrt{W}} \quad N_V \approx \frac{42}{A_{Fe}} \cdot \frac{cm^2}{V}$$

 $P_P$  ... Primärleistung;  $P_S$  ... Sekundärleistung*Belastbarkeit von Wicklungen*

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

**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**

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

 $A$  ... Kondensatorplattenfläche**Elektrische Feldstärke**

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

**RC-Tiefpass / RC-Hochpass**

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

 $f_g$  ... Grenzfrequenz**RL-Tiefpass / RL-Hochpass**

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

(Frequenz am -3-dB-Punkt)

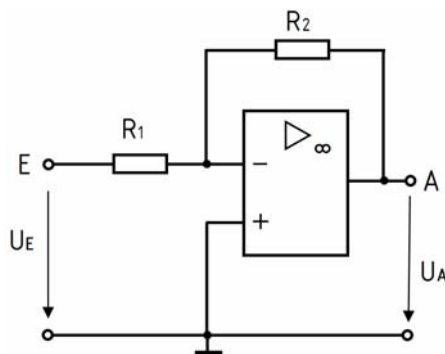
**Schwingkreis**  $f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$   $Q = \frac{f_0}{B} = \frac{R_p}{X_L} = \frac{X_L}{R_s}$

**Transistor**

Für Gleichstrom gilt  $B = \frac{I_C}{I_B}$   $I_E = I_C + I_B$   $B \dots$  Gleichspannungsverstärkung

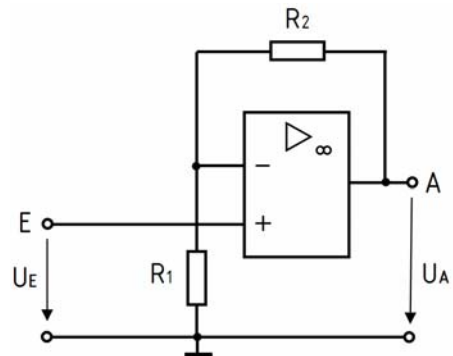
Für Wechselstrom gilt  $v_I = \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$   $v_U = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta U_{BE}}$   $v_P = v_U \cdot v_I$

**Operationsverstärker** *Invertierender Verstärker*



$$v_U = -\frac{U_A}{U_E} = \frac{R_2}{R_1}$$

*Nicht-invertierender Verstärker*



$$v_U = \frac{U_A}{U_E} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

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

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  $P_0 = 1mW$  oder der Spannung  $U_0 = 775mV$  bei einem System mit  $R_I=R_L=600\Omega$  vor.  
 Der absolute Leistungspegel ist auch bei Systemen mit anderen Impedanzen gleich.

**Dämpfung**  $a = 20 \cdot \lg \frac{U_1}{U_2}$   $a = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2}$   $U_1 \dots$  Eingangsspannung  
 $U_2 \dots$  Ausgangsspannung  
 $P_1 \dots$  Eingangsleistung  
 $P_2 \dots$  Ausgangsleistung

**Verstärkung/Gewinn**  $g = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1}$   $g = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1}$

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

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

**Spiegelfrequenz**  $f_S = f_E + 2 \cdot f_{ZF}$  für  $f_{OSZ} > f_E$   
 $f_S = f_E - 2 \cdot f_{ZF}$  für  $f_{OSZ} < f_E$

**Thermisches Rauschen**  $P_R = k \cdot T_K \cdot B$   $\Delta p_R = 10 \cdot \lg \frac{B_1}{B_2}$   $P_R \dots$  Rauschleistung  
 $U_R = 2 \cdot \sqrt{P_R \cdot R}$   $\Delta p_R \dots$  Pegelunterschied der Rauschleistungen in  $B_1$  und  $B_2$

**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**  $F = \frac{\left(\frac{P_S}{P_N}\right)_{EINGANG}}{\left(\frac{P_S}{P_N}\right)_{AUSGANG}}$   $a_F = 10 \cdot \lg F$   
 $a_F = (S/N)_{EINGANG} - (S/N)_{AUSGANG}$

**ERP/EIRP**  $p_{ERP} = p_S - a + g_d$   $P_{ERP} = P_S \cdot 10^{\frac{g_d - a}{10}}$   $g_d \dots$  Antennengewinn bezogen auf den Halbwellendipol in dB  
 $p_{EIRP} = p_{ERP} + 2,15dB$   $P_{EIRP} = P_S \cdot 10^{\frac{g_d - a + 2,15dB}{10}}$   $a \dots$  Verluste (Kabel, Koppler etc.)

**Gewinnfaktor von Antennen**  $G_i = G_d \cdot 1,64$   $g_i = g_d + 2,15dB$   $G = 10^{\frac{g}{10}}$   
 Halbwellendipol  $G_i = 1,64$   $g_i = 2,15 dBi$   
 $\lambda/4$ -Vertikalantenne  $G_i = 3,28$   $g_i = 5,15 dBi$

**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  $d > \frac{\lambda}{2 \cdot \pi}$ ;  $P_A \dots$  Leistung an der Antenne

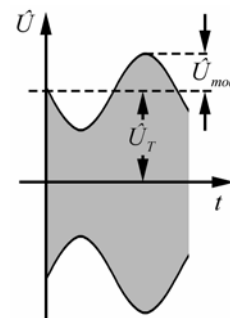
**Amplitudenmodulation**

Modulationsgrad

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

Bandbreite

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



**Frequenzmodulation**

Modulationsindex

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

$\Delta f_T \dots$  Frequenzhub

Carson-Bandbreite (Ungefähre FM-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**

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

$l_G \dots$  geometrische Länge  
 $l_E \dots$  elektrische Länge

**Stehwellenverhältnis/VSWR**

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

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

**Reflektionsfaktor**

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

**Rücklaufende Leistung**

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

**An  $R_2$  abgegebene Leistung**

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

**Dämpfung durch Fehlanpassung**

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

$U_v$  ... 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

**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  $\Omega/V$

$U_i$  ... Spannung am System bei Vollausschlag

$I_i$  ... Strom durch das System bei Vollausschlag

**Messbereichserweiterung****Spannungsmesser**

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

$n$  ... Erweiterungsfaktor

$U$  ... neuer Spannungsmessbereich

$U_M$  ... Spannungsmessbereich des Instruments

$I$  ... neuer Strommessbereich

$I_M$  ... Strom bei Vollausschlag des Instruments

**Strommesser**

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

$R_V$  ... Vorwiderstand

$R_P$  ... Parallelwiderstand (Shunt)

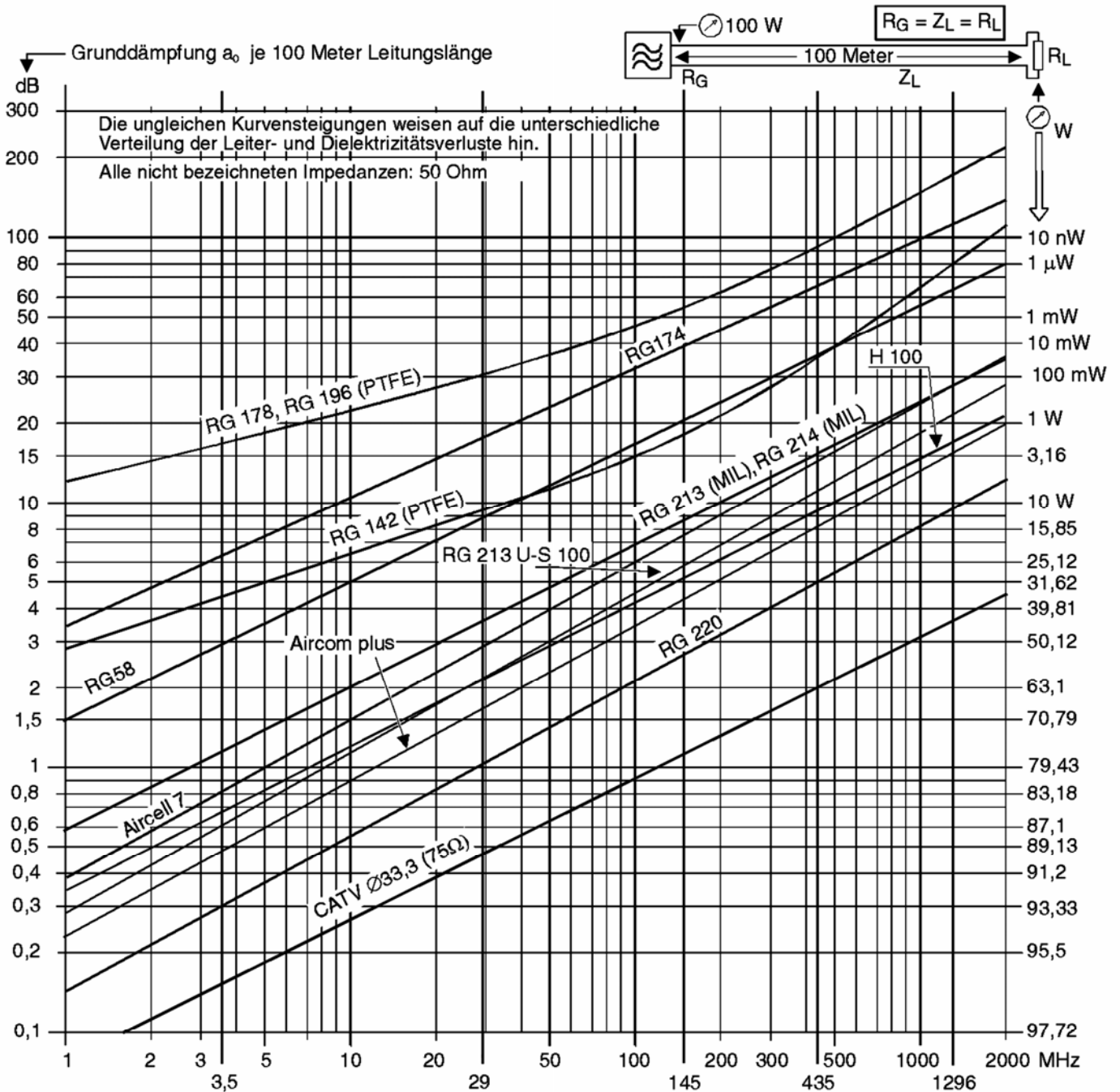
Gültig ab 1. Juni 2007, bei Prüfungen alternativ wählbar ab 1. März 2007

**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**

Sofern bei der jeweiligen Formel nicht anders angegeben, gilt:

$A$  ... 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 gemessen mit Eingangsabschluss bei 290 K

$B, B_1, B_2$  ... Bandbreiten

$B_m$  ... magnetische Flussdichte

$C$  ... Kapazität

$C'$  ... Kapazitätsbelag (Kapazität pro Meter)

$C_G$  ... Gesamtkapazität

$C_1, C_2, C_3, C_n$  ... Teilkapazitäten

$c$  ... Phasengeschwindigkeit

$c_0$  ... 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,  $e=2,718...$

$F$  ... Rauschzahl (Eingangsabschluss bei 290 K)

$f$  ... Frequenz

$f_c$  ... Höchste Frequenz, bei der 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

$f_0$  ... Resonanzfrequenz

$G$  ... Gewinnfaktor

$G_d$  ... Gewinnfaktor bezogen auf den Halbwelldipol

$G_i$  ... Gewinnfaktor bezogen auf den isotropen Strahler

$g$  ... Verstärkungsmaß/Gewinn in dB

$g_d$  ... Gewinn in dB bezogen auf den Halbwelldipol

$g_i$  ... Gewinn in dB bezogen auf den isotropen Strahler

$H$  ... magnetische Feldstärke

$I$  ... Stromstärke

$I_B$  ... Basisgleichstrom

$I_C$  ... Kollektorgleichstrom

$I_E$  ... Emittergleichstrom

$I_G$  ... Gesamtstrom

$I_P$  ... Primärstromstärke

$I_S$  ... Sekundärstromstärke

$I_1, I_2$  ... Teilströme

$k$  ... Boltzmann-Konstante,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{Ws} / \text{K}$

$k_v$  ... Verkürzungsfaktor

$L$  ... Induktivität

$L'$  ... Induktivitätsbelag (Induktivität pro Meter)

$L_G$  ... Gesamtinduktivität

$L_1, L_2, L_3, L_n$  ... 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

$P_V$  ... 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

$R_G$  ... Gesamtwiderstand

$R_i$  ... Innenwiderstand

$R_1, R_2, R_3, R_n$  ... Teilwiderstände

$R_p$  ... paralleler Verlustwiderstand  
 $R_s$  ... serieller Verlustwiderstand  
 $r$  ... Reflektionsfaktor  
 $S$  ... Stromdichte  
 $S/N$  ... Signal-Rauschverhältnis in dB, auch als  
 $SNR$  oder  $\frac{S+N}{N}$  bezeichnet  
 $s$  ... Stehwellenverhältnis oder Welligkeit  
 $T$  ... Periodendauer  
 $T_K$  ... Temperatur in Kelvin bezogen auf den absoluten Nullpunkt  $T_0$  ( $T_0 = 0\text{ K} = -273,15^\circ\text{C}$ ; d.h.  $20^\circ\text{C} \approx 293\text{ K}$ )  
 $t$  ... Zeit  
 $U$  ... Spannung  
 $U_{\text{eff}}$  ... Effektivspannung  
 $U_G$  ... Gesamtspannung  
 $U_P$  ... Primärspannung  
 $U_R$  ... effektive Rauschspannung an R  
 $U_S$  ... Sekundärspannung  
 $U_{SS}$  ... Spannung von Spitze zu Spitze  
 $U_1, U_2$  ... Teilspannungen  
 $\hat{U}$  ... Spitzenspannung  
 $\hat{U}_{\text{mod}}$  ... Amplitude der Modulationsspannung  
 $\hat{U}_T$  ... Amplitude der HF-Trägerspannung  
 $u$  ... Pegel der Spannung in dB...  
 $\ddot{u}$  ... Übersetzungsverhältnis  
 $VSWR$  ... Stehwellenverhältnis oder Welligkeit  
 $v_I$  ... Wechselstromverstärkung  
 $v_U$  ... Wechselspannungsverstärkung  
 $v_P$  ... Leistungsverstärkung für Wechselstrom  
 $W$  ... Arbeit

$X_C$  ... kapazitiver Blindwiderstand  
 $X_L$  ... induktiver Blindwiderstand  
 $Z$  ... Wellenwiderstand  
 $Z_A$  ... Ausgangsscheinwiderstand  
 $Z_E$  ... Eingangsscheinwiderstand  
 $Z_{F0}$  ... Feldwellenwiderstand des freien Raumes,  
 $Z_{F0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120 \cdot \pi \cdot \Omega$   
 $Z_P$  ... Primärer Scheinwiderstand  
 $Z_S$  ... Sekundärer Scheinwiderstand  
 $\Delta I$  ... Stromänderung  
 $\Delta I_B$  ... Basisstromänderung  
 $\Delta I_C$  ... Kollektorstromänderung  
 $\Delta U$  ... Spannungsänderung  
 $\Delta U_{CE}$  ... Kollektor-Emitter-Spannungsänderung  
 $\Delta U_{BE}$  ... Basis-Emitter-Spannungsänderung  
 $\alpha$  ... Abstrahlwinkel der Antenne  
 $\beta$  ... Wechselstromverstärkung  
 $\epsilon_0$  ... elektrische Feldkonstante,  
 $\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 \cdot c_0^2} = 0,885 \cdot 10^{-11} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$   
 $\epsilon_r$  ... relative Dielektrizitätszahl (siehe Tabelle 2)  
 $\eta$  ... Wirkungsgrad  
 $\eta\%$  ... Wirkungsgrad in Prozent  
 $\lambda$  ... Wellenlänge  
 $\mu_0$  ... magnetische Feldkonstante,  
 $\mu_0 = \frac{4\pi}{10^7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} = 1,2566 \cdot 10^{-6} \frac{\text{H}}{\text{m}}$   
 $\mu_r$  ... relative Permeabilität  
 $\rho$  ... spezifischer elektrischer Widerstand (siehe Tabelle 1)  
 $\omega$  ... Kreisfrequenz

**Tabelle 1: Spezifischer elektrischer Widerstand  $\rho$**

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

**Tabelle 2: Relative Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$**

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