

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	-
$10^{-1} = 0,1$	-3 dB	0,5	0,71	braun	1	10^1	$\pm 1\%$
$10^0 = 1$	-1 dB	0,8	0,89	rot	2	10^2	$\pm 2\%$
	0 dB	1	1	orange	3	10^3	-
$10^1 = 10$	1 dB	1,26	1,12	gelb	4	10^4	-
	3 dB	2	1,41	grün	5	10^5	$\pm 0,5\%$
$10^2 = 100$	6 dB	4	2	blau	6	10^6	$\pm 0,25\%$
	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

<i>p</i>	Pico	10^{-12}
<i>n</i>	Nano	10^{-9}

μ	Mikro	10^6
<i>m</i>	Milli	10^3

		10^9
<i>k</i>	Kilo	10^3

<i>M</i>	Mega	10^6
<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

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

Widerstände in Reihenschaltung

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

Bei 2 Widerständen gilt

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

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

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

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

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>	$P_P \approx 1,2 \cdot P_S$	$A_{Fe} \approx \sqrt{P_P} \cdot \frac{cm^2}{\sqrt{W}} \quad N_V \approx \frac{42}{A_{Fe}} \cdot \frac{cm^2}{V}$
	$P_P \dots$ 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 (Frequenz am -3-dB-Punkt)
RL-Tiefpass / RL-Hochpass	$f_g = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$	

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

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

$$I_E = I_C + I_B$$

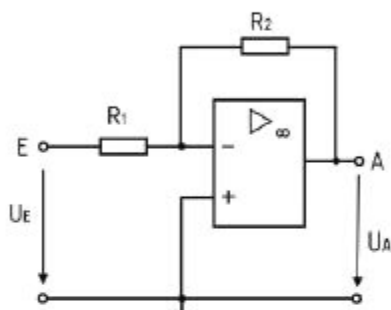
B ... Gleichspannungsverstärkung

Für Wechselstrom gilt

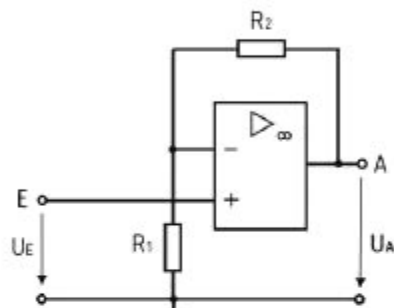
$$v_i = \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

$$v_U = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta U_{BE}}$$

$$v_p = v_U \cdot v_i$$

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 $R_s=R_L=600\Omega$ 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 ... Eingangsspannung *U_2 ... Ausgangsspannung* *P_1 ... Eingangsleistung* *P_2 ... 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

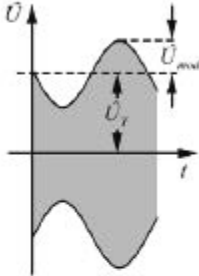
$$f_S = f_E + 2 \cdot f_{ZF}$$

$$\text{für } f_{OSZ} > f_E$$

$$f_S = f_E - 2 \cdot f_{ZF}$$

$$\text{für } f_{OSZ} < f_E$$

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

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 $\Delta p_R \dots$ 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	$P_{ERP} = P_S - a + g_d$	$P_{ERP} = P_S \cdot 10^{\frac{g_d - a}{10}}$	$g_d \dots$ Antennengewinn bezogen auf den Halbwellendipol in dB
	$P_{EIRP} = P_{ERP} + 2,15 \text{ dB}$	$P_{EIRP} = P_S \cdot 10^{\frac{g_d - a + 2,15 \text{ dB}}{10}}$	$a \dots$ Verluste (Kabel, Koppler etc.)
Gewinnfaktor von Antennen	$G_i = G_d \cdot 1,64$	$g_i = g_d + 2,15 \text{ dB}$	$G = 10^{\frac{g}{10}}$
Halbwellendipol	$G_i = 1,64$	$g_i = 2,15 \text{ dBi}$	
$\lambda/4$ -Vertikalantenne	$G_i = 3,28$	$g_i = 5,15 \text{ dBi}$	
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	$m = \frac{\hat{U}_{\text{mod}}}{\hat{U}_T}$		
Bandbreite	$B = 2 \cdot f_{\text{mod max}}$		
Frequenzmodulation			
Modulationsindex	$m = \frac{\Delta f_T}{f_{\text{mod}}}$		$\Delta f_T \dots$ Frequenzhub
Carson-Bandbreite (Ungefähre FM-Bandbreite)	$B = 2 \cdot (\Delta f_T + f_{\text{mod max}})$		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 $s = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{U_v + U_r}{U_v - U_r}$ $s = \frac{1 + |r|}{1 - |r|}$ mit $r = \frac{R_2 - Z}{R_2 + Z}$
 $s = \frac{R_2}{Z}$ wenn $R_2 > Z$ und $s = \frac{Z}{R_2}$ wenn $R_2 < Z$

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

Rücklaufende Leistung $P_r = P_v \cdot r^2$ 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 Ω/V
 U_i ... Spannung am System bei Vollausschlag
 I_i ... Strom durch das System bei Vollausschlag

Messbereichserweiterung

Spannungsmesser $R_V = \frac{U - U_M}{I_M} = \frac{U_M}{I_M} \cdot (n-1) = R_M \cdot (n-1)$ n ... Erweiterungsfaktor
 U ... neuer Spannungsmessbereich
 U_M ... Spannungsmessbereich des Instruments
 I ... neuer Strommessbereich
 I_M ... Strom bei Vollausschlag des Instruments
 R_V ... Vorwiderstand
 R_P ... Parallelwiderstand (Shunt)

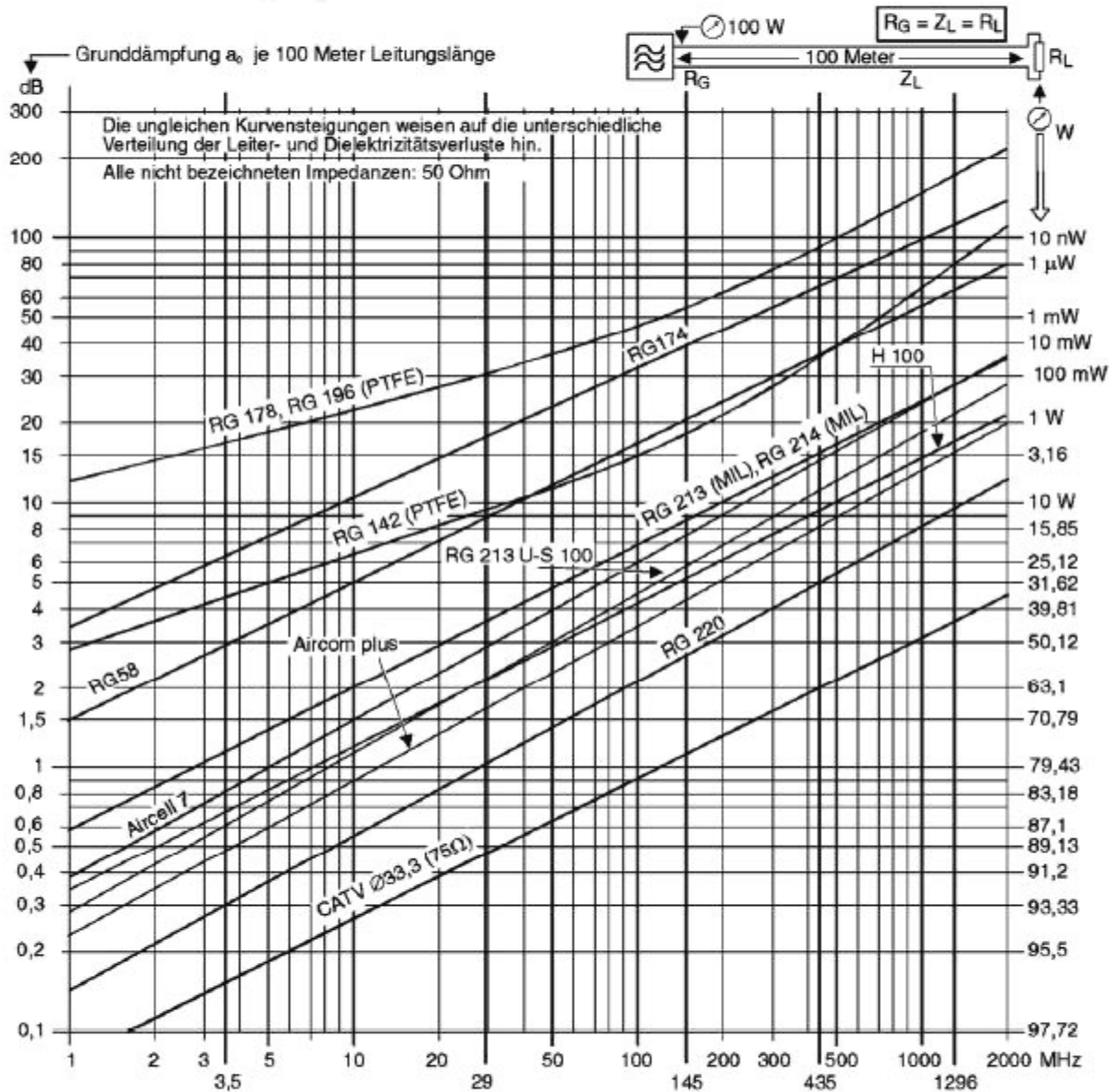
Gültig ab 1. Juni 2007, bei Prüfungen alternativ wählbar ab 1. März 2007

Relativer maximaler Fehler

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

F_W ... relativer maximaler Fehler (in %);
 W_E ... Endwert des Messbereichs;

G ... Genauigkeitsklasse des Messinstrumentes;
 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 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
- 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, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} Ws / K$
 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

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

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_{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}_{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

ΔI ... Stromänderung

ΔI_B ... Basisstromänderung

ΔI_C ... Kollektorstromänderung

ΔU ... Spannungsänderung

ΔU_{CE} ... Kollektor-Emitter-Spannungsänderung

ΔU_{BE} ... Basis-Emitter-Spannungsänderung

α ... Abstrahlwinkel der Antenne

β ... Wechselstromverstärkung

ϵ_0 ... elektrische Feldkonstante,

$$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 \cdot c_0^2} = 0,885 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$$

ϵ_r ... relative Dielektrizitätszahl (siehe Tabelle 2)

η ... Wirkungsgrad

$\eta_{\%}$... Wirkungsgrad in Prozent

λ ... Wellenlänge

μ_0 ... magnetische Feldkonstante,

$$\mu_0 = \frac{4\pi}{10^7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} = 1,2566 \cdot 10^{-6} \frac{\text{H}}{\text{m}}$$

μ_r ... relative Permeabilität

ρ ... spezifischer elektrischer Widerstand (siehe Tabelle 1)

ω ... Kreisfrequenz

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