



Formelsammlung für die Prüfung zur Zulassung Amateurfunk (HB9) gültig ab 01.01.2023

Pegel, Kennfarben

Pegel	Leistungs- verhältnis	Spannungs- verhältnis	Kenn- farbe	Wert	Multi- plikator	Toleranz
			Silber	-	10^{-2}	$\pm 10\%$
			Gold	-	10^{-1}	$\pm 5\%$
-20 dB	0,01	0,1	schwarz	0	10^0	-
-10 dB	0,1	0,32	braun	1	10^1	$\pm 1\%$
-6 dB	0,25	0,5	rot	2	10^2	$\pm 2\%$
-3 dB	0,5	0,71	orange	3	10^3	-
-1 dB	0,8	0,89	gelb	4	10^4	-
0 dB	1	1	grün	5	10^5	$\pm 0,5$
1 dB	1,26	1,12	blau	6	10^6	$\pm 0,25\%$
3 dB	2	1,41	violett	7	10^7	$\pm 0,1\%$
6 dB	4	2	grau	8	10^8	-
10 dB	10	3,16	weiss	9	10^9	-
20 dB	100	10	keine	-	-	$\pm 20\%$

Wertkennzeichnung durch Buchstaben

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

μ	<i>Mikro</i>	10^{-6}
<i>m</i>	<i>Milli</i>	10^{-3}

		10^0
<i>k</i>	<i>Kilo</i>	10^3

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

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

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 / Überträger

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

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} \quad A \dots \text{Kondensatorplattenfläche}$$

Elektrische Feldstärke

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

RC-Tiefpass / RC-Hochpass

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad f_g \dots \text{Grenzfrequenz (Frequenz am -3-dB-Punkt)}$$

RL-Tiefpass / RL-Hochpass

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



Schwingkreis

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

Transistor

Für Gleichstrom gilt

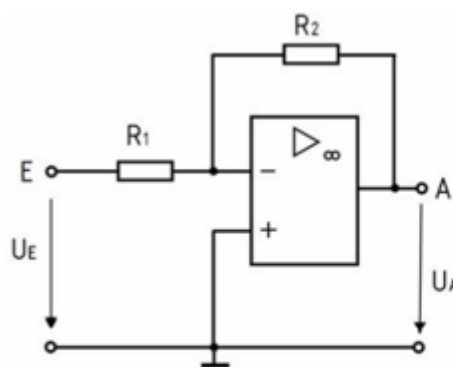
$$B = \frac{I_C}{I_B} \quad I_E = I_C + I_B \quad B \dots \text{Gleichspannungs-}$$

Für Wechselstrom gilt

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

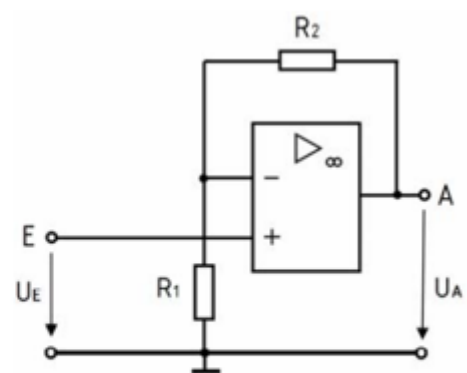
Operationsverstärker

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

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

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

Absoluter Pegel: 0dB (dBm , dBu) liegt bei $P_0 = 1\text{mW}$ oder der Spannung $U_0 = 775\text{mV}$ bei einem System mit $R_1=R_2=600\Omega$ 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

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

Wirkungsgrad

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

Zwischenfrequenz

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



Spiegelfrequenz

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

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

Thermisches Rauschen

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

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

P_R ... Rauschleistung
 Δp_R ... 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 ... Signalleistung
 P_N ... Rauschleistung
 U_S ... Signalspannung
 U_N ... 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

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

$$P_{EIRP} = P_{ERP} + 2,15 \text{ dB} \quad P_{EIRP} = P_S \cdot 10^{\frac{g_d - a + 2,15 \text{ dB}}{10}}$$

g_d ... Antennengewinn be-
zogen auf den Halbwell-
Lendipol in dB
 a ... Verlust (Kabel,
Koppler etc.)

Gewinnfaktor von Antennen

Halbwellendipol

1/4-Vertikalantenne

$$G_i = G_d \cdot 1,64 \quad g_i = g_d + 2,15 \text{ dB} \quad G = 10^{10}$$

$$G_i = 1,64 \quad g_i = 2,15 \text{ dBi}$$

$$G_i = 3,28 \quad g_i = 5,15 \text{ dBi}$$

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 ... Leistung an der Antenne

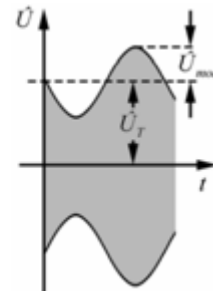
Amplitudenmodulation

Modulationsgrad

Bandbreite

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

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



Δf_T ... Frequenzhub

Frequenzmodulation

Modulationsindex

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

Carson-Bandbreite

(Ungefähre FM-Bandbreite)

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

B enthält etwa 99% der Ge-
samtleistung 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 ... geometrische Länge

l_E ... 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

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

An R2 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

n ... Erweiterungsfaktor

U ... neuer Spannungsmessbereich

U_m ... Spannungsmessbereich des
Instruments

Spannungs- messer

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



Strom-
messer

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

I ... neuer Strommessbereich

I_M ... Strom bei Vollausschlag des Instruments

R_V ... Vorwiderstand

R_P ... Parallelwiderstand (Shunt)

Relativer maximaler Fehler

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

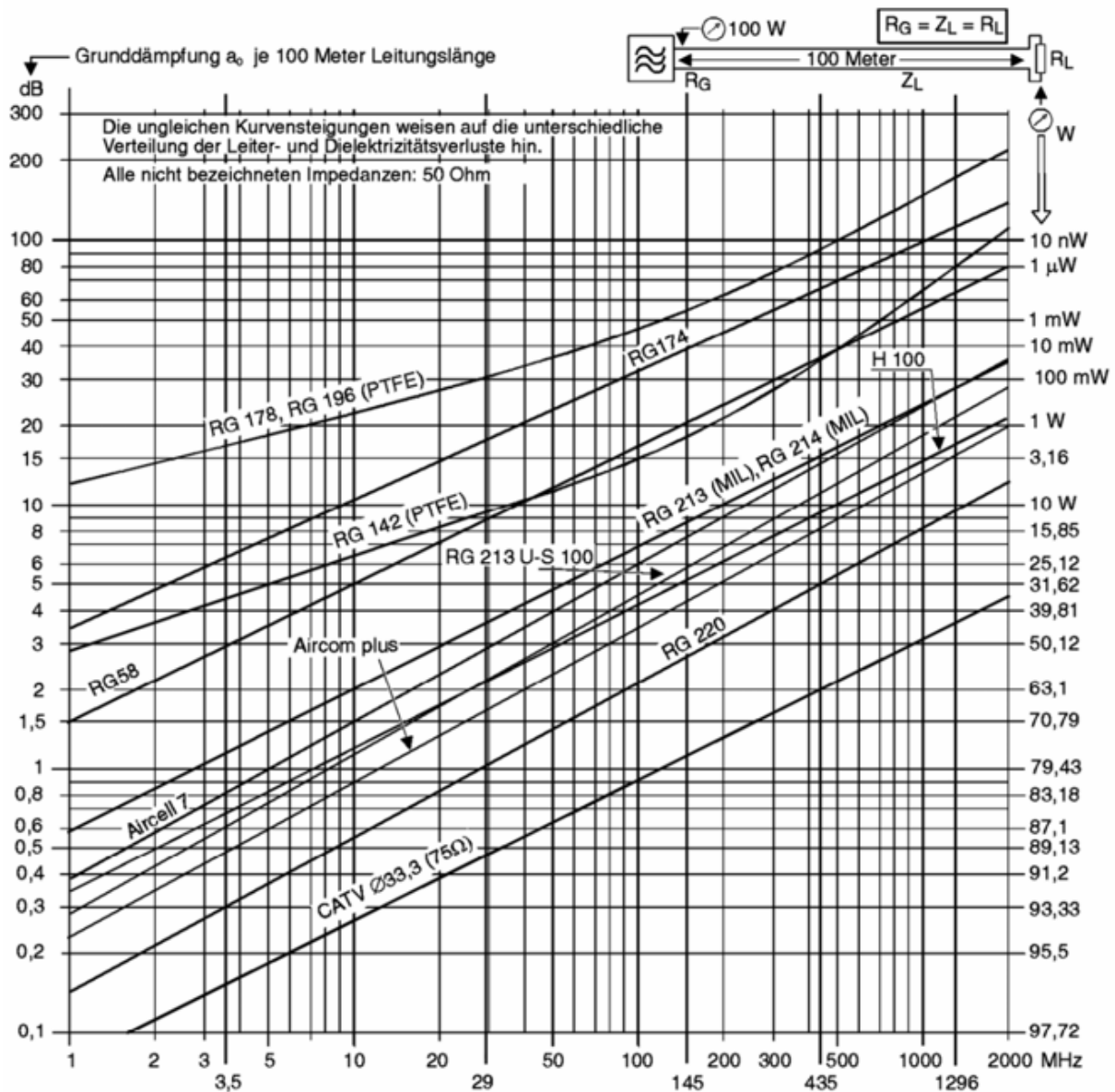
F_w ... relativer maximaler Fehler (in%);

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 100m.



Sofern bei der jeweiligen Formel nicht anders angegeben, gilt:

<p>A ... Querschnitt, Fläche A_{Dr} ... Drahtquerschnitt A_{Fe} ... Eisenkernquerschnitt A_L ... Induktivitätsfaktor in nH A_S ... Querschnittfläche der Spule</p> <p>a ... Dämpfungsmass in dB AF ... Rauschzahl in dB gemessen mit Eingangsabschluss bei 290 K</p> <p>B, B_1, B_2 ... Bandbreiten B_m ... magnetische Flussdichte</p> <p>C ... Kapazität C' ... Kapazitätsbelag (Kapazität pro Meter) CG ... Gesamtkapazität C_1, C_2, C_3, C_n ... Teilkapazitäten</p> <p>c ... Phasengeschwindigkeit</p> <p>c_0 ... Vakuumlichtgeschwindigkeit, $c_0 = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$</p> <p>$d$... Abstand, Entfernung</p> <p>E ... elektrische Feldstärke $EIRP$... äquivalente isotrope Strahlungsleistung ERP ... äquivalente (effektive) Strahlungsleistung</p> <p>e ... Eulersche Zahl, $e=2,718$</p> <p>F ... Rauschzahl (Eingangsabschluss bei 290K)</p> <p>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 ... Spiefelfrequenz f_{ZF} ... Zwischenfrequenz f_0 ... Resonanzfrequenz</p> <p>G ... Gewinnfaktor G_d ... Gewinnfaktor bezogen auf den Halbwellendipol G_i ... Gewinnfaktor bezogen auf den isotropen Strahler</p>	<p>g ... Verstärkungsmass/Gewinn in dB g_d ... Gewinn in dB bezogen auf den Halbwellendipol g_i ... Gewinn in dB bezogen auf den isotropen Strahler</p> <p>H ... magnetische Feldstärke</p> <p>I ... Stromstärke I_B ... Basisgleichstrom I_C ... Kollektorgleichstrom I_E ... Emittorgleichstrom I_G ... Gesamtstrom I_P ... Primärstromstärke I_S ... Sekundärstromstärke I_1, I_2 ... Teilströme</p> <p>k ... Boltzmann-Konstante, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{Ws} / \text{K}$ k_v ... Verkürzungsfaktor</p> <p>L ... Induktivität L' ... Induktivitätsbelag (Induktivität pro Meter) L_G ... Gesamtinduktivität L_1, L_2, L_3, L_n ... Teilinduktivitäten</p> <p>l ... Länge l_m ... mittlere Feldlinienlänge</p> <p>MUF ... Höchste brauchbare Frequenz bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen infolge ionosphärischer Brechung</p> <p>m ... Modulationsindex</p> <p>N ... Windungszahl N_P ... Primärwindungszahl N_S ... Sekundärwindungszahl N_V Windungszahl pro Volt</p> <p>P ... Leistung P_R ... Rauschleistung $P_s, P_{ERP}, P_{EIRP}, \dots$ Sender-/Strahlungsleistungen P_V ... Verlustleistung P_{ab} ... abgegebene Leistung P_{zu} ... zugeführte Leistung</p> <p>p ... Pegel der Leistung in dB $P_s, P_{ERP}, P_{EIRP}, \dots$ Pegel der Sender- /Strahlungsleistungen in dBm</p> <p>Q ... Güte</p> <p>R ... Widerstand R_G ... Gesamtwiderstand R_i ... Innenwiderstand R_1, R_2, R_3, R_n ... Teilwiderstände</p>
---	---



<p>R_p ... paralleler Verlustwiderstand R_s ... serieller Verlustwiderstand</p> <p>r ... Reflektionsfaktor</p> <p>S ... Stromdichte S/N ... Signal-Rauschverhältnis in dB, auch als SNR oder $\frac{S+N}{N}$ bezeichnet</p> <p>s ... Stehwellenverhältnis oder Welligkeit</p> <p>T ... Periodendauer T_K ... Temperatur in Kelvin bezogen auf den absoluten Nullpunkt T_0 ($T_0 = 0K = -273,15^\circ C$; d.h. $20^\circ C \approx 293K$)</p> <p>t ... Zeit U ... Spannung U_{eff} ... Effektivspannung U_G ... Gesamtspannung U_P ... Primärspannung U_R ... effektive Rauschspannung an R U_S ... Sekundärspannung U_1, U_2 ... Teilspannungen \hat{U} ... Spitzenspannung \hat{U}_{mod} ... Amplitude der Modulationsspannung \hat{U}_T ... Amplitude der HF-Trägerspannung</p> <p>u ... Pegel der Spannung in dB \ddot{u} ... Übersetzungsverhältnis</p> <p>VSWR ... Stehwellenverhältnis oder Welligkeit</p> <p>v_1 ... Wechselstromverstärkung v_U ... Wechselspannungsverstärkung v_P ... Leistungsverstärkung für Wechselstrom</p> <p>W ... Arbeit</p>	<p>X_C ... kapazitiver Blindwiderstand X_L ... induktiver Blindwiderstand</p> <p>Z ... Wellenwiderstand Z_A ... Ausgangsscheinwiderstand Z_E ... Eingangsscheinwiderstand Z_{F0} ... Feldwellenwiderstand des freien Raumes, $Z_{F0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120 \cdot \pi \cdot \Omega$</p> <p>$Z_P$... Primärer Scheinwiderstand Z_S ... Sekundärer Scheinwiderstand</p> <p>ΔI ... Stromänderung ΔI_B ... Basisstromänderung ΔI_C ... Kollektorstromänderung ΔU ... Spannungsänderung ΔU_{CE} ... Kollektor-Emitter-Spannungsänderung ΔU_{BE} ... Basis-Emitter-Spannungsänderung</p> <p>α ... Abstrahlwinkel der Antenne β ... Wechselstromverstärkung $\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 \cdot c_0^2} = 0,885 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$ ϵ_r ... relative Dielektrizitätszahl (siehe Tabelle 2) n ... Wirkungsgrad $n\%$... Wirkungsgrad in Prozent λ ... Wellenlänge $\mu_0 = \frac{4\pi}{10^7} \frac{Vs}{Am} = 1,2566 \cdot 10^{-6} \frac{H}{m}$ μ_r ... relative Permeabilität ρ ... spezifischer elektrischer Widerstand (siehe Tabelle 1) ω ... Kreisfrequenz</p>
--	---

Tabelle 1: Spezifischer elektrischer Widerstand ρ

Material	Kupfer	Aluminium	Eisen
ρ in $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ bei $20^\circ C$	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