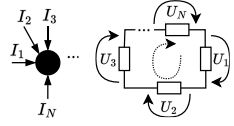




## Formelsammlung für die Prüfung zur Zulassung Amateurfunk gültig ab 01.01.2025

|                                                              |                                                                                                                                                |                                                                                   |                                            |                                           |   |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|---|
| Kirchhoffsche Regeln                                         | $I_1 + I_2 + \dots + I_N = 0$                                                                                                                  |  | $U_i$                                      | Teilspannungen<br>$i = 1, 2, 3, \dots, N$ | V |
|                                                              | $U_1 + U_2 + \dots + U_N = 0$                                                                                                                  |                                                                                   | $I_i$                                      | Teilströme<br>$i = 1, 2, 3, \dots, N$     | A |
| Ohmsches Gesetz                                              | $U = R \cdot I$                                                                                                                                | $U$                                                                               | Spannung                                   | V                                         |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $I$                                                                               | Strom                                      | A                                         |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $R$                                                                               | Widerstand                                 | $\Omega$                                  |   |
| Leistung und Arbeit                                          | $P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$<br><br>$W = P \cdot t$                                                                           | $U$                                                                               | Spannung                                   | V                                         |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $I$                                                                               | Stromstärke                                | A                                         |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $R$                                                                               | Widerstand                                 | $\Omega$                                  |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $P$                                                                               | Leistung                                   | W                                         |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $t$                                                                               | Zeit                                       | s                                         |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $W$                                                                               | Arbeit                                     | J                                         |   |
| Effektiv- und Spitzenwerte bei sinusförmiger Wechselspannung | $\hat{U} = U_{\text{eff}} \cdot \sqrt{2} = U_{\text{eff}} \cdot 1,414$<br><br>$U_{\text{ss}} = 2 \cdot \hat{U}$                                | $\hat{U}$                                                                         | Spannungsamplitude                         | V                                         |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $U_{\text{eff}}$                                                                  | Effektivspannung (RMS)                     | V                                         |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $U_{\text{ss}}$                                                                   | Gesamtspannung                             | V                                         |   |
| Widerstände in Reihenschaltung                               | $R_G = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N$                                                                                                          | $R_G$                                                                             | Gesamtwiderstand                           | $\Omega$                                  |   |
|                                                              | Bei 2 Widerständen (Spannungsteiler):<br>$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad U_G = U_1 + U_2 \quad U_1 = \frac{U_G \cdot R_1}{R_1 + R_2}$ | $R_i$                                                                             | Teilwiderstände<br>$i = 1, 2, 3, \dots, N$ | $\Omega$                                  |   |
| $U_G$                                                        |                                                                                                                                                | Gesamtspannung                                                                    | V                                          |                                           |   |
| Widerstände in Parallelschaltung                             | $R_G = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N}}$                                                        | $R_G$                                                                             | Gesamtwiderstand                           | $\Omega$                                  |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $R_i$                                                                             | Teilwiderstände<br>$i = 1, 2, 3, \dots, N$ | $\Omega$                                  |   |
| Bei 2 parallel geschalteten Widerstände gilt:                | $R_G = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1}{R_2}$<br><br>$I_G = I_1 + I_2 \quad U_1 = U_2$                       | $I_G$                                                                             | Gesamtstrom                                | A                                         |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $I_1$                                                                             | Strom durch $R_1$                          | A                                         |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $I_2$                                                                             | Strom durch $R_2$                          | A                                         |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $U_1$                                                                             | Spannung über $R_1$                        | V                                         |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $U_2$                                                                             | Spannung über $R_2$                        | V                                         |   |
| Widerstand von Drähten                                       | $R = \frac{\rho \cdot l}{A_D}$<br><br>$A_D = \frac{d_D^2 \cdot \pi}{4} = r_D^2 \cdot \pi$                                                      | $\rho$                                                                            | Spezifischer Widerstand                    | $\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$     |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $R$                                                                               | Widerstand                                 | $\Omega$                                  |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $l$                                                                               | Länge                                      | m                                         |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $r_D$                                                                             | Radius                                     | mm                                        |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $d_D$                                                                             | Drahtdurchmesser                           | mm                                        |   |
|                                                              |                                                                                                                                                | $A_D$                                                                             | Drahtquerschnittsfläche                    | mm <sup>2</sup>                           |   |



|                               |                                                                          |          |                        |          |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------|----------|
| <b>Kapazitiver Widerstand</b> | $X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$ | $X_c$    | Kapazitiver Widerstand | $\Omega$ |
|                               |                                                                          | $C$      | Kapazität              | F        |
|                               |                                                                          | $f$      | Frequenz               | Hz       |
|                               |                                                                          | $\omega$ | Kreisfrequenz          | 1/s      |

|                                          |                                                                                         |       |                                            |   |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------|---|
| <b>Kondensatoren</b><br>Reihenschaltung: | $C_G = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_N}}$ | $C_G$ | Gesamtkapazität                            | F |
| Parallelschaltung:                       | $C_G = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_N$                                                   | $C_i$ | Teilkapazitäten<br>$i = 1, 2, 3, \dots, N$ | F |

|                                                                                      |                                                                                      |                 |                                     |                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|
| <b>Kapazität eines Plattenkondensators</b><br><br><br><br><br>Elektrische Feldstärke | $C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$<br><br>$E = \frac{U_C}{d}$ | $A$             | Kondensatorplattenfläche            | m <sup>2</sup>  |
|                                                                                      |                                                                                      | $d$             | Plattenabstand                      | m               |
|                                                                                      |                                                                                      | $C$             | Kapazität                           | F               |
|                                                                                      |                                                                                      | $\varepsilon_r$ | Permittivitätszahl                  | -               |
|                                                                                      |                                                                                      | $\varepsilon_0$ | Elektrische Feldkonstante: 8,85E-12 | $\frac{As}{Vm}$ |
|                                                                                      |                                                                                      | $E$             | Elektrische Feldstärke              | V/m             |
|                                                                                      |                                                                                      | $U_C$           | Spannung über C                     | V               |

|                                       |                                                      |          |                            |                     |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------|----------|----------------------------|---------------------|
| <b>Induktiver (Blind-) Widerstand</b> | $X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$ | $X_L$    | Induktiver Blindwiderstand | $\Omega$            |
|                                       |                                                      | $L$      | Induktivität               | H<br>$\frac{Vs}{A}$ |
|                                       |                                                      | $f$      | Frequenz                   | Hz                  |
|                                       |                                                      | $\omega$ | Kreisfrequenz              | 1/s                 |

|                                           |                                                                                         |       |                                               |   |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------|---|
| <b>Induktivitäten</b><br>Reihenschaltung: | $L_G = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_N$                                                   | $L_G$ | Gesamtinduktivität                            | H |
| Parallelschaltung:                        | $L_G = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_N}}$ | $L_i$ | Teilinduktivitäten<br>$i = 1, 2, 3, \dots, N$ | H |

|                                                                            |                       |       |                     |    |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------|---------------------|----|
| <b>Induktivität von Schalenkernspulen</b><br>(auch für mehr-lagige Spulen) | $L = N_W^2 \cdot A_L$ | $N_W$ | Anzahl Windungen    | -  |
|                                                                            |                       | $A_L$ | Induktivitätsfaktor | nH |
|                                                                            |                       | $L$   | Induktivität        | nH |



|                                |                                   |         |                                     |                    |
|--------------------------------|-----------------------------------|---------|-------------------------------------|--------------------|
| <b>Magnetische Flussdichte</b> | $B_m = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$ | $B_m$   | Magnetische Flussdichte             | $T \frac{Vs}{m^2}$ |
|                                |                                   | $\mu_r$ | Relative Permeabilität              | -                  |
|                                |                                   | $\mu_0$ | Magnetische Feldkonstante (1,26E-6) | H/m                |
|                                |                                   | $H$     | magnetische Feldstärke              | A/m                |

|                                                                                         |                                                           |         |                                     |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------|----------------|
| <b>Induktivität der Ringspule</b><br><br>(auch für lange Zylinderspule wenn $l_m > D$ ) | $L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N_W^2 \cdot A_S}{l_m}$ | $L$     | Induktivität                        | H              |
|                                                                                         |                                                           | $l_m$   | Umfang/Länge der Spule              | m              |
|                                                                                         |                                                           | $A_S$   | Querschnittsfläche der Spule        | m <sup>2</sup> |
|                                                                                         |                                                           | $N_W$   | Anzahl Windungen                    | -              |
|                                                                                         |                                                           | $\mu_0$ | Magnetische Feldkonstante (1,26E-6) | H/m            |
| <b>Magnetische Feldstärke in einer Ringspule</b>                                        | $H = \frac{I \cdot N_W}{l_m}$                             | $\mu_r$ | Relative Permeabilität              | -              |
|                                                                                         |                                                           | $I$     | Stromstärke                         | A              |
|                                                                                         |                                                           | $H$     | magnetische Feldstärke              | A/m            |

|                                   |                                                                                                                      |            |                        |   |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------|---|
| <b>Transformator / Übertrager</b> | $\ddot{u} = \frac{N_P}{N_S} = \frac{U_P}{U_S} = \frac{I_S}{I_P} = \sqrt{\frac{Z_P}{Z_S}}$<br>P: Primär → S: Sekundär | $\ddot{u}$ | Übersetzungsverhältnis | - |
|                                   |                                                                                                                      | $N$        | Anzahl Windungen       | - |
|                                   |                                                                                                                      | $U$        | Spannung               | V |
|                                   |                                                                                                                      | $I$        | Strom                  | A |
|                                   |                                                                                                                      | $Z$        | Impedanz               | Ω |

|                  |                                                                                                                                          |          |                       |                 |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|-----------------|
| <b>Netztrafo</b> | $P_P \approx 1,2 \cdot P_S$ $A_{Fe} \approx \sqrt{P_P} \cdot \frac{cm^2}{\sqrt{W}}$ $N_V \approx \frac{42}{A_{Fe}} \cdot \frac{cm^2}{V}$ | $P_P$    | Primärleistung        | W               |
|                  |                                                                                                                                          | $P_S$    | Sekundärleistung      | W               |
|                  |                                                                                                                                          | $A_{Fe}$ | Eisenkernquerschnitt  | cm <sup>2</sup> |
|                  |                                                                                                                                          | $N_V$    | Windungszahl pro Volt | -/V             |

|                                     |                                                          |           |                      |                  |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------|----------------------|------------------|
| <b>Belastbarkeit von Wicklungen</b> | $I_{max} = S \cdot A_D \text{ mit } S \approx 2,5A/mm^2$ | $S$       | Stromdichte          | $\frac{A}{mm^2}$ |
|                                     |                                                          | $A_D$     | Drahtquerschnitt     | mm <sup>2</sup>  |
|                                     |                                                          | $I_{max}$ | Maximale Stromstärke | A                |



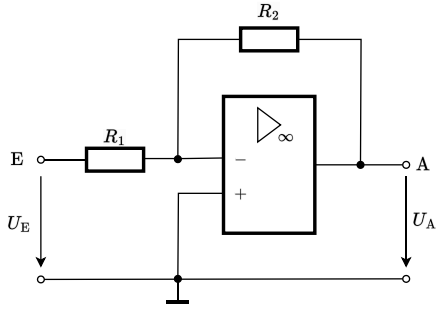
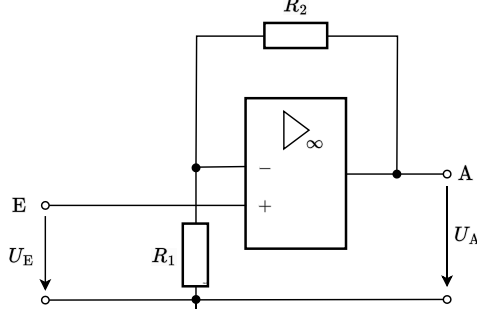
|                                    |                                                                  |           |                      |     |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------|-----|
| <b>Periodendauer</b>               | $T = \frac{1}{f}$                                                | $T$       | Periode              | s   |
|                                    |                                                                  | $f$       | Frequenz             | Hz  |
| <b>Kreisfrequenz</b>               | $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$                                   | $\omega$  | Kreisfrequenz        | 1/s |
| <b>Phasen-<br/>geschwindigkeit</b> | $c = f \cdot \lambda = \frac{\omega \cdot \lambda}{2 \cdot \pi}$ | $c$       | Lichtgeschwindigkeit | m/s |
|                                    |                                                                  | $\lambda$ | Wellenlänge          | m   |

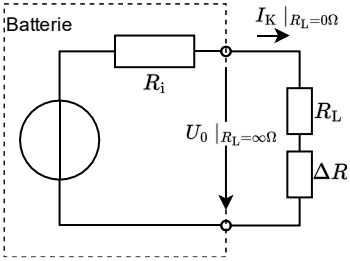
|                                      |                                               |       |                                           |          |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|-------|-------------------------------------------|----------|
| <b>RC-Tiefpass /<br/>RC-Hochpass</b> | $f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$ | $f_g$ | Grenzfrequenz<br>(Frequenz am -3dB-Punkt) | Hz       |
|                                      |                                               | $R$   | Widerstand                                | $\Omega$ |
| <b>RL-Tiefpass /<br/>RL-Hochpass</b> | $f_g = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$         | $C$   | Kapazität                                 | F        |
|                                      |                                               | $L$   | Induktivität                              | H        |

|                     |                                                                                                                                                                                              |       |                                |          |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------|----------|
| <b>Schwingkreis</b> | $f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$<br><br>Im Resonanzfall $X_C = X_L$ gilt:<br>$Q = \frac{f_0}{B} = \frac{R_P}{X_L} = \frac{R_P}{X_C} = \frac{X_L}{R_S} = \frac{X_C}{R_S}$ | $f_0$ | Resonanzfrequenz               | Hz       |
|                     |                                                                                                                                                                                              | $Q$   | Güte                           | -        |
|                     |                                                                                                                                                                                              | $B$   | Bandbreite                     | Hz       |
|                     |                                                                                                                                                                                              | $R_P$ | paralleler (P) serieller (S)   | $\Omega$ |
|                     |                                                                                                                                                                                              | $R_S$ | Verlustwiderstand              |          |
|                     |                                                                                                                                                                                              | $C$   | Kapazität                      | F        |
|                     |                                                                                                                                                                                              | $L$   | Induktivität                   | H        |
|                     |                                                                                                                                                                                              | $X_L$ | Induktiver<br>Blindwiderstand  | $\Omega$ |
|                     |                                                                                                                                                                                              | $X_C$ | Kapazitiver<br>Blindwiderstand | $\Omega$ |

|                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                       |                 |                                          |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------|---|
| <b>Transistor</b><br><br>Für Gleichstrom<br>gilt:<br><br><br><br><br>Für<br>Wechselstrom<br>gilt:<br><br><br>B: Basis<br>C: Kollektor<br>E: Emitter | $B_T = \frac{I_C}{I_B}$<br><br>$I_E = I_C + I_B$<br><br>$v_1 = \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$<br><br>$v_U = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta U_{BE}}$<br><br>$v_P = v_U \cdot v_1$ | $B_T$           | Gleichspannungs-<br>verstärkung          | - |
|                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                       | $I_{B,C,E}$     | Ruheströme                               | A |
|                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                       | $\Delta I$      | Differenzstrom                           | A |
|                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                       | $\Delta U$      | Differenzspannung                        | V |
|                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                       | $v_1$           | Wechselstrom-<br>verstärkung             | - |
|                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                       | $\beta$         | Wechselstrom-<br>verstärkung             | - |
|                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                       | $v_U$           | Wechselspannungs-<br>verstärkung         | - |
|                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                       | $v_P$           | Leistungsverstärkung für<br>Wechselstrom | - |
|                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                       | $\Delta U_{CE}$ | Teilspannung (C zu E)                    | V |
|                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                       | $\Delta U_{BE}$ | Teilspannung (B zu E)                    | V |
|                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                       |                 |                                          |   |
|                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                       |                 |                                          |   |



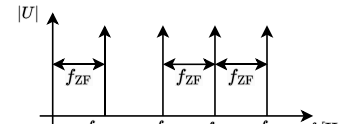
| Operations-<br>verstärker | Invertierender Verstärker                                                                                                    | Nicht-invertierender Verstärker                                                                                                  |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           |  $v_U = \frac{U_A}{U_E} = -\frac{R_2}{R_1}$ |  $v_U = \frac{U_A}{U_E} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ |
| Verstärkung:              |                                                                                                                              |                                                                                                                                  |

| Innenwiderstand |  $R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ |                     |          |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------|
|                 |                                                                                                                      |                     |          |
|                 | $R_i$                                                                                                                | Innenwiderstand     | $\Omega$ |
|                 | $R_L$                                                                                                                | Lastwiderstand      | $\Omega$ |
|                 | $U_0$                                                                                                                | Leerlaufspannung    | V        |
|                 | $I_K$                                                                                                                | Kurzschlussstrom    | A        |
|                 | $\Delta R$                                                                                                           | Differenzwiderstand | $\Omega$ |
|                 | $\Delta U$                                                                                                           | Differenzspannung   | V        |
|                 | $\Delta I$                                                                                                           | Differenzstrom      | A        |

| Pegel            | $u = 20 \cdot \lg\left(\frac{U}{U_0}\right) \quad U = U_0 \cdot 10^{(u/20\text{dB})}$ $p = 10 \cdot \lg\left(\frac{P}{P_0}\right) \quad P = P_0 \cdot 10^{(p/10\text{dB})}$                                              |                |    |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----|
|                  |                                                                                                                                                                                                                          |                |    |
|                  | $U$                                                                                                                                                                                                                      | Spannung       | V  |
|                  | $P$                                                                                                                                                                                                                      | Leistung       | W  |
|                  | $u$                                                                                                                                                                                                                      | Spannungspegel | dB |
|                  | $p$                                                                                                                                                                                                                      | Leistungspegel | dB |
| Relativer Pegel: | Spannungs- oder Leistungspegel bezogen auf beliebige Werte von $U_0$ oder $P_0$ (z.B. 1μV, 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 $R_1=R_L=600\Omega$ vor.<br><br>Der absolute Leistungspegel ist auch bei Systemen mit anderen Impedanzen gleich. |                |    |

| Dämpfung               | $a = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_1}{U_2}\right)$ $a = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$                                                                                           |                     |    |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----|
|                        |                                                                                                                                                                                         |                     |    |
|                        | $U_1$                                                                                                                                                                                   | Eingangsspannung    | V  |
|                        | $U_2$                                                                                                                                                                                   | Ausgangsspannung    | V  |
|                        | $P_1$                                                                                                                                                                                   | Eingangsleistung    | W  |
|                        | $P_2$                                                                                                                                                                                   | Ausgangsleistung    | W  |
|                        | $a$                                                                                                                                                                                     | Dämpfung            | dB |
|                        | $g$                                                                                                                                                                                     | Verstärkung/ Gewinn | dB |
| Verstärkung/<br>Gewinn | $g = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_2}{U_1}\right) \quad \frac{U_2}{U_1} = 10^{(g/20\text{dB})}$ $g = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad \frac{P_2}{P_1} = 10^{(g/10\text{dB})}$ |                     |    |

|                     |                                                                                                        |             |                     |   |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------|---|
| <b>Wirkungsgrad</b> | $\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$ $\eta_{\%} = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \cdot 100\%$ $P_{ab} = P_{zu} - P_v$ | $\eta$      | Wirkungsgrad        | - |
|                     |                                                                                                        | $\eta_{\%}$ | Wirkungsgrad        | % |
|                     |                                                                                                        | $P_{ab}$    | abgegebene Leistung | W |
|                     |                                                                                                        | $P_{zu}$    | zugeführte Leistung | W |
|                     |                                                                                                        | $P_v$       | Verlustleistung     | W |

|                  |                                                                                                                                  |                                              |                  |                    |    |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------|--------------------|----|
| Zwischenfrequenz | <div><math>f_{ZF} =  f_E \pm f_0 </math></div>  | $f_{ZF}$                                     | Zwischenfrequenz | Hz                 |    |
|                  |                                                                                                                                  | $f_E$                                        | Empfangsfrequenz | Hz                 |    |
| Spiegelfrequenz  |                                                                                                                                  | $f_S = f_E + 2 \cdot f_{ZF}$ für $f_0 > f_E$ | $f_0$            | Oszillatorfrequenz | Hz |
|                  |                                                                                                                                  | $f_S = f_E - 2 \cdot f_{ZF}$ für $f_0 < f_E$ | $f_S$            | Spiegelfrequenz    | Hz |

|                             |                                                                                                                           |              |                                                          |                              |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------|------------------------------|
| <b>Thermisches Rauschen</b> | $P_N = k \cdot T_K \cdot B$ $\Delta p_N = 10 \cdot \lg \left( \frac{B_1}{B_2} \right)$ $U_N = 2 \cdot \sqrt{P_N \cdot R}$ | $P_N$        | Rauschleistung                                           | W                            |
|                             |                                                                                                                           | $T_K$        | Temperatur                                               | K                            |
|                             |                                                                                                                           | $B$          | Bandbreite                                               | Hz                           |
|                             |                                                                                                                           | $U_N$        | Rauschspannung                                           | V                            |
|                             |                                                                                                                           | $R$          | Widerstand                                               | $\Omega$                     |
|                             |                                                                                                                           | $\Delta p_N$ | Pegelunterschied der Rauschleistungen in $B_1$ und $B_2$ | dB                           |
|                             |                                                                                                                           | $k$          | Boltzmann-Konstante, (1,38E-23)                          | $\frac{\text{Ws}}{\text{K}}$ |

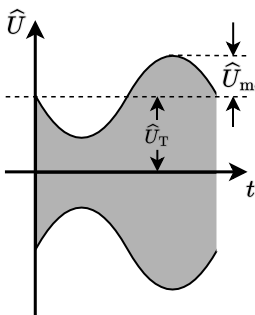
|                                      |                                                                                                           |       |                           |    |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------|----|
| <b>Signal-Rausch-<br/>verhältnis</b> | $SNR = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_S}{P_N}\right)$                                                          | $SNR$ | Signalrauschverhältnis    | dB |
|                                      | $SNR = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_S}{U_N}\right)$                                                          | $P_S$ | Signalleistung            | W  |
|                                      |                                                                                                           | $P_N$ | Rauschleistung            | W  |
|                                      |                                                                                                           | $U_S$ | Signalspannung            | V  |
|                                      |                                                                                                           | $U_N$ | Rauschspannung            | V  |
|                                      |                                                                                                           | $F$   | Rauschzahl                | -  |
|                                      |                                                                                                           | $n_F$ | Logarithmische Rauschzahl | dB |
| <b>Rauschzahl</b>                    | $F = \frac{\left(\frac{P_S}{P_N}\right)_{\text{Eingang}}}{\left(\frac{P_S}{P_N}\right)_{\text{Ausgang}}}$ |       |                           |    |
|                                      | $n_F = 10 \cdot \lg(F)$                                                                                   |       |                           |    |
|                                      | $n_F = SNR_{\text{Eingang}} - SNR_{\text{Ausgang}}$                                                       |       |                           |    |



|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                   |                                                                                    |     |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>ERP/EIRP</b> | $p_{\text{ERP}} = p_{\text{S}} - a + g_{\text{d}}$ $P_{\text{ERP}} = P_{\text{S}} \cdot 10^{((g_{\text{d}} - a)/10\text{dB})}$<br>$p_{\text{EIRP}} = p_{\text{ERP}} + 2,15 \text{ dB}$ $P_{\text{EIRP}} = 1,64 \cdot P_{\text{ERP}}$<br>$P_{\text{EIRP}} = P_{\text{S}} \cdot 10^{((g_{\text{d}} - a + 2,15 \text{ dB})/10\text{dB})}$ | $a$               | Kabelverluste                                                                      | dB  |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $g_{\text{d}}$    | Antennengewinn bezogen auf den Halbwellendipol                                     | dB  |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $p_{\text{S}}$    | Sendeleistungspegel                                                                | dBm |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $p_{\text{ERP}}$  | Effektiver Strahlungsleistungspegel bezogen auf den Halbwellendipol im Freiraum    | dBm |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $p_{\text{EIRP}}$ | Effektiver Strahlungsleistungspegel bezogen auf den isotropen Strahler im Freiraum | dBm |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $P_{\text{S}}$    | Leistung am Sender                                                                 | W   |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $P_{\text{ERP}}$  | Effective Radiated Power                                                           | W   |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $P_{\text{EIRP}}$ | Effective Isotropic Radiated Power                                                 | W   |

|                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                |                                                                                                            |     |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Gewinnfaktor von Antennen</b>            | $G = 10^{\frac{g}{10}} \quad g = 10 \cdot \lg(G)$ $G_{\text{i}} = G_{\text{d}} \cdot 1,64$ $g_{\text{i}} = g_{\text{d}} + 2,15\text{dB}$<br>Halbwellendipol:<br>$G_{\text{i}} = 1,64 \quad g_{\text{i}} = 2,15 \text{ dBi}$<br>$\lambda/4$ -Vertikalantenne:<br>$G_{\text{i}} = 3,28 \quad g_{\text{i}} = 5,15 \text{ dBi}$ | $G$            | Antennengewinnfaktor<br>$i$ : Isotropstrahler (Strahlt in alle Richtungen gleich)<br>$d$ : Halbwellendipol | -   |
|                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $g$            | Gewinn                                                                                                     | dB  |
|                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $g_{\text{i}}$ | Gewinn bezogen auf den Isotropstrahler                                                                     | dB  |
|                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $g_{\text{d}}$ | Gewinn bezogen auf den Halbwellendipol                                                                     | dB  |
| <b>Feldstärke im Fernfeld einer Antenne</b> | $E = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot P_{\text{A}} \cdot G_{\text{i}}}}{d} = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot P_{\text{EIRP}}}}{d}$<br>Gilt für Freiraumausbreitung falls: $d > \frac{\lambda}{2 \cdot \pi}$                                                                                                                            | $d$            | Abstand zur Antenne                                                                                        | m   |
|                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $E$            | Elektrisches Feld                                                                                          | V/m |
|                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $\lambda$      | Wellenlänge                                                                                                | m   |
|                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $P_{\text{A}}$ | Leistung an der Antenne                                                                                    | W   |



|                             |                                                                                                                                                                                                                                                           |                 |                                           |    |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|----|
| <b>Amplitudenmodulation</b> | $m_{AM} = \frac{\hat{U}_{mod}}{\hat{U}_T}$ $B_{AM} = 2 \cdot f_{NFmax}$ $\bar{P}_{AM} = P_T + 2 \cdot P_{SSB}$ $\bar{P}_{AM} = \left(1 + \frac{m_{AM}^2}{2}\right) P_T$  | $m_{AM}$        | Modulationsgrad                           | -  |
|                             |                                                                                                                                                                                                                                                           | $\hat{U}_{mod}$ | Modulationsspannungsamplitude             | V  |
|                             |                                                                                                                                                                                                                                                           | $\hat{U}_T$     | Trägerspannungsamplitude                  | V  |
|                             |                                                                                                                                                                                                                                                           | $B_{AM}$        | AM-Bandbreite                             | Hz |
|                             |                                                                                                                                                                                                                                                           | $f_{NFmax}$     | Maximalfrequenz des Niederfrequenzsignals | Hz |
|                             |                                                                                                                                                                                                                                                           | $\bar{P}_{AM}$  | Mittlere Leistung                         | W  |
|                             |                                                                                                                                                                                                                                                           | $P_T$           | Leistung des Trägers                      | W  |
|                             |                                                                                                                                                                                                                                                           | $P_{SSB}$       | Seitenbandsignalleistung                  | W  |
| <b>SSB</b>                  | $B_{SSB} = f_{NFmax} - f_{NFmin}$                                                                                                                                                                                                                         | $B_{SSB}$       | SSB-Bandbreite                            | Hz |
|                             |                                                                                                                                                                                                                                                           | $f_{NFmin}$     | Minimalfrequenz des Niederfrequenzsignals | Hz |

|                           |                                                                                                                                                                                                             |              |                            |    |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------|----|
| <b>Frequenzmodulation</b> | $m_{FM} = \frac{\Delta f_T}{f_{mod}}$ $B_{FM} = 2 \cdot (\Delta f_T + f_{mm})$ <p>Carson-Bandbreite <math>B_{FM}</math> (Ungefähre FM-Bandbreite) enthält etwa 99% der Gesamtleistung eines FM-Signals.</p> | $m_{FM}$     | Modulationsgrad            | -  |
|                           |                                                                                                                                                                                                             | $\Delta f_T$ | Frequenzhub                | Hz |
|                           |                                                                                                                                                                                                             | $f_{mod}$    | Modulationsfrequenz        | Hz |
|                           |                                                                                                                                                                                                             | $B_{FM}$     | FM-Bandbreite              | Hz |
|                           |                                                                                                                                                                                                             | $f_{mm}$     | Modulationsmaximalfrequenz | Hz |

|                                 |                                |              |                                          |    |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------|------------------------------------------|----|
| <b>(Nyquist-) Abtasttheorem</b> | $f_{abtest} > 2 \cdot f_{max}$ | $f_{abtest}$ | Abtastrate                               | Hz |
|                                 |                                | $f_{max}$    | Maximalfrequenz des abgetasteten Signals | Hz |

|                                          |                     |       |                       |       |
|------------------------------------------|---------------------|-------|-----------------------|-------|
| <b>Datenübertragungsrate, Symbolrate</b> | $R_D = R_S \cdot n$ | $R_D$ | Datenübertragungsrate | bit/s |
|                                          |                     | $R_S$ | Symbolrate            | Baud  |
|                                          |                     | $n$   | Bits pro Symbol       | -     |

|                                           |                                                                             |              |                                          |     |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------|-----|
| <b>Verkürzungsfaktor von HF-Leitungen</b> | $k_v = \frac{l_G}{l_E} = \frac{c}{c_0} \approx \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}$ | $l_G$        | Geometrische Länge                       | m   |
|                                           |                                                                             | $l_E$        | Elektrische Länge                        | m   |
|                                           |                                                                             | $k_v$        | Verkürzungsfaktor                        | -   |
|                                           |                                                                             | $\epsilon_r$ | Permittivitätszahl                       | -   |
|                                           |                                                                             | $c$          | Lichtgeschwindigkeit im Material         | m/s |
|                                           |                                                                             | $c_0$        | Lichtgeschwindigkeit im Vakuum (3E8 m/s) | m/s |





|                                                          |                              |       |                              |          |
|----------------------------------------------------------|------------------------------|-------|------------------------------|----------|
| <b>Wellen-<br/>widerstand</b><br><br><i>HF-Leitungen</i> | $Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$ | $Z_0$ | Wellenwiderstand der Leitung | $\Omega$ |
|                                                          |                              | $L'$  | Induktivitätsbelag           | H/m      |
|                                                          |                              | $C'$  | Kapazitätsbelag              | F/m      |

|                                                                |                                                                                       |              |                               |          |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------|----------|
| <b>Koaxiale Leitungen</b>                                      | $Z_0 = \frac{60\Omega}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln\left(\frac{D}{d_i}\right)$        | $Z_0$        | Wellenwiderstand der Leitung  | $\Omega$ |
|                                                                |                                                                                       | $D$          | Innendurchmesser Aussenleiter | m        |
|                                                                |                                                                                       | $d_i$        | Durchmesser des Innenleiters  | m        |
| <b>Symmetrische Zweidraht-leitungen</b><br><br>mit $a/d > 2,5$ | $Z_0 = \frac{120\Omega}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot a}{d}\right)$ | $a$          | Mittenabstand der Leiter      | m        |
|                                                                |                                                                                       | $d$          | Durchmesser der Leiter        | m        |
|                                                                |                                                                                       | $\epsilon_r$ | Relative Dielektrizitätszahl  | -        |

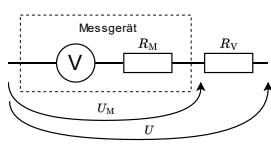
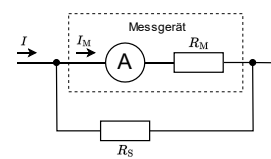
|                                         |                              |       |                               |          |
|-----------------------------------------|------------------------------|-------|-------------------------------|----------|
| <b>Viertelwellen-<br/>transformator</b> | $Z_0 = \sqrt{Z_E \cdot Z_A}$ | $Z_0$ | Wellenwiderstand der Leitung  | $\Omega$ |
|                                         |                              | $Z_A$ | Ausgangsschein-<br>widerstand | $\Omega$ |
|                                         |                              | $Z_E$ | Eingangsschein-<br>widerstand | $\Omega$ |

|                                             |                                                                                       |             |                                      |          |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------------------------|----------|
| <b>Stehwellen-<br/>verhältnis/<br/>VSWR</b> | $s = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{\hat{U}_v + \hat{U}_r}{\hat{U}_v - \hat{U}_r}$ | $s$         | Stehwellenverhältnis                 | -        |
|                                             | $s = \frac{1 +  r }{1 -  r }$                                                         | $r$         | Reflexionsfaktor                     | -        |
|                                             | $r = \frac{R_L - Z_0}{R_L + Z_0}$                                                     | $Z_0$       | Wellenwiderstand der HF Leitung      | $\Omega$ |
|                                             |                                                                                       | $R_L$       | Abschlusswiderstand                  | $\Omega$ |
|                                             | $s = \frac{R_L}{Z_0} \quad \text{falls} \quad R_L > Z_0$                              | $\hat{U}_v$ | Amplitude der hinlaufenden Welle     | V        |
|                                             |                                                                                       | $\hat{U}_r$ | Amplitude der rücklaufenden Welle    | V        |
|                                             | $s = \frac{Z_0}{R_L} \quad \text{falls} \quad R_L < Z_0$                              | $P_v$       | Hinlaufende Leistung                 | W        |
|                                             |                                                                                       | $P_r$       | Rücklaufende Leistung                | W        |
|                                             | $ r  = \frac{s - 1}{s + 1} = \frac{\hat{U}_r}{\hat{U}_v} = \sqrt{\frac{P_r}{P_v}}$    | $P_L$       | Leistung an $R_L$                    | W        |
|                                             | $P_r = P_v \cdot r^2 \quad \text{falls} \quad P_r \neq P_v$                           | $U_{\max}$  | Maximale Spannung auf der HF Leitung | V        |
|                                             |                                                                                       | $U_{\min}$  | Minimale Spannung auf der HF Leitung | V        |
|                                             | $P_L = P_v \cdot (1 - r^2)$                                                           | $a_x$       | Dämpfung                             | dB       |
|                                             | $a_x = -10 \cdot \lg(1 - r^2)$                                                        |             |                                      |          |
|                                             | Dämpfung durch Fehlanpassung:                                                         |             |                                      |          |



|                                    |                                                                                                |                  |                                                                  |    |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Höchste brauchbare Frequenz</b> | $f_{\text{MUF}} \approx \frac{f_c}{\sin(\alpha)}$ $f_{\text{opt}} = 0,85 \cdot f_{\text{MUF}}$ | $f_{\text{MUF}}$ | Höchste brauchbare Frequenz (Maximal usable frequency)           | Hz |
|                                    |                                                                                                | $f_c$            | Höchste ionosphären-reflektierte Frequenz bei senkrechtem Strahl | Hz |
|                                    |                                                                                                | $f_{\text{opt}}$ | Optimale Frequenz                                                | Hz |
|                                    |                                                                                                | $\alpha$         | Abstrahlwinkel der Antenne relativ zur Erdoberfläche             | °  |

|                                         |                                         |       |                                          |            |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-------|------------------------------------------|------------|
| <b>Empfindlichkeit von Messsystemen</b> | $E_M = \frac{R_i}{U_i} = \frac{1}{I_i}$ | $U_i$ | Spannung am System bei Vollausschlag     | V          |
|                                         |                                         | $I_i$ | Strom durch das System bei Vollausschlag | A          |
|                                         |                                         | $R_i$ | Innenwiderstand des Systems              | $\Omega$   |
|                                         |                                         | $E_M$ | Empfindlichkeit                          | $\Omega/V$ |

|                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       |                            |          |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------|----------|
| <b>Messbereichserweiterung</b><br><br>Spannungsmesser<br><br>Strommesser | $R_V = \frac{U - U_M}{I_M} = \frac{(n-1) \cdot U_M}{I_M}$ $R_V = (n-1) \cdot R_M$  $R_S = \frac{R_M \cdot I_M}{I - I_M} = \frac{R_M}{n-1}$  | $R_V$ | Vorwiderstand              | $\Omega$ |
|                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $U_M$ | Spannungsmessbereich       | V        |
|                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $I_M$ | Strom bei Vollausschlag    | A        |
|                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $U$   | Neuer Spannungsmessbereich | V        |
|                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $R_S$ | Shuntwiderstand            | $\Omega$ |
|                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $R_M$ | Messgeräthewiderstand      | $\Omega$ |
|                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $I$   | Neuer Strommessbereich     | A        |

|                                   |                                                 |       |                                        |   |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------|-------|----------------------------------------|---|
| <b>Relativer maximaler Fehler</b> | $F_W = \pm \frac{G}{100} \cdot \frac{W_E}{W_M}$ | $F_W$ | relativer maximaler Fehler             | % |
|                                   |                                                 | $W_E$ | Endwert des Messbereichs               | - |
|                                   |                                                 | $W_M$ | abgelesener Wert                       | - |
|                                   |                                                 | $G$   | Genauigkeitsklasse des Messinstruments | - |



Tabelle 1: Spezifischer elektrischer Widerstand ( $\rho$ )

| Material                                                 | Silber | Kupfer | Gold  | Aluminium | Eisen |
|----------------------------------------------------------|--------|--------|-------|-----------|-------|
| $\rho$ in $\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$ bei 20°C | 0,0159 | 0,0178 | 0,022 | 0,030     | 0,17  |

Tabelle 2: Relative Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$

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

Tabelle 3: (Physikalische) Konstanten

|              |                                                               |           |                                                                              |
|--------------|---------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------|
| $c_0$        | Lichtgeschwindigkeit im Vakuum                                | 299792458 | $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$                                               |
| $e$          | Eulersche Zahl                                                | 2,71828   |                                                                              |
| $\epsilon_0$ | Elektrische Feldkonstante $1/(\mu_0 c_0^2)$                   | 8,85E-12  | $\text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$            |
| $k$          | Boltzmann-Konstante                                           | 1,38E-23  | $\text{J} \cdot \text{K}^{-1} = \text{W} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| $\mu_0$      | Magnetische Feldkonstante $4\pi/10^7$                         | 1,26E-6   | $\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$                                               |
| $\pi$        | Kreiszahl                                                     | 3,14159   |                                                                              |
| $T_0$        | Absoluter Nullpunkt 0°K                                       | -273,15   | °C                                                                           |
| $Z_0$        | Wellenwiderstand im Vakuum $\sqrt{\mu_0/\epsilon_0} = 120\pi$ | 377       | $\Omega$                                                                     |

### Wertkennzeichnung durch Buchstaben

|   |       |            |
|---|-------|------------|
| f | Femto | $10^{-15}$ |
| p | Pico  | $10^{-12}$ |
| n | Nano  | $10^{-9}$  |

|       |       |           |
|-------|-------|-----------|
| $\mu$ | Mikro | $10^{-6}$ |
| m     | Milli | $10^{-3}$ |
| c     | Zenti | $10^{-2}$ |

|   |      |        |
|---|------|--------|
| k | Kilo | $10^3$ |
| M | Mega | $10^6$ |
| G | Giga | $10^9$ |

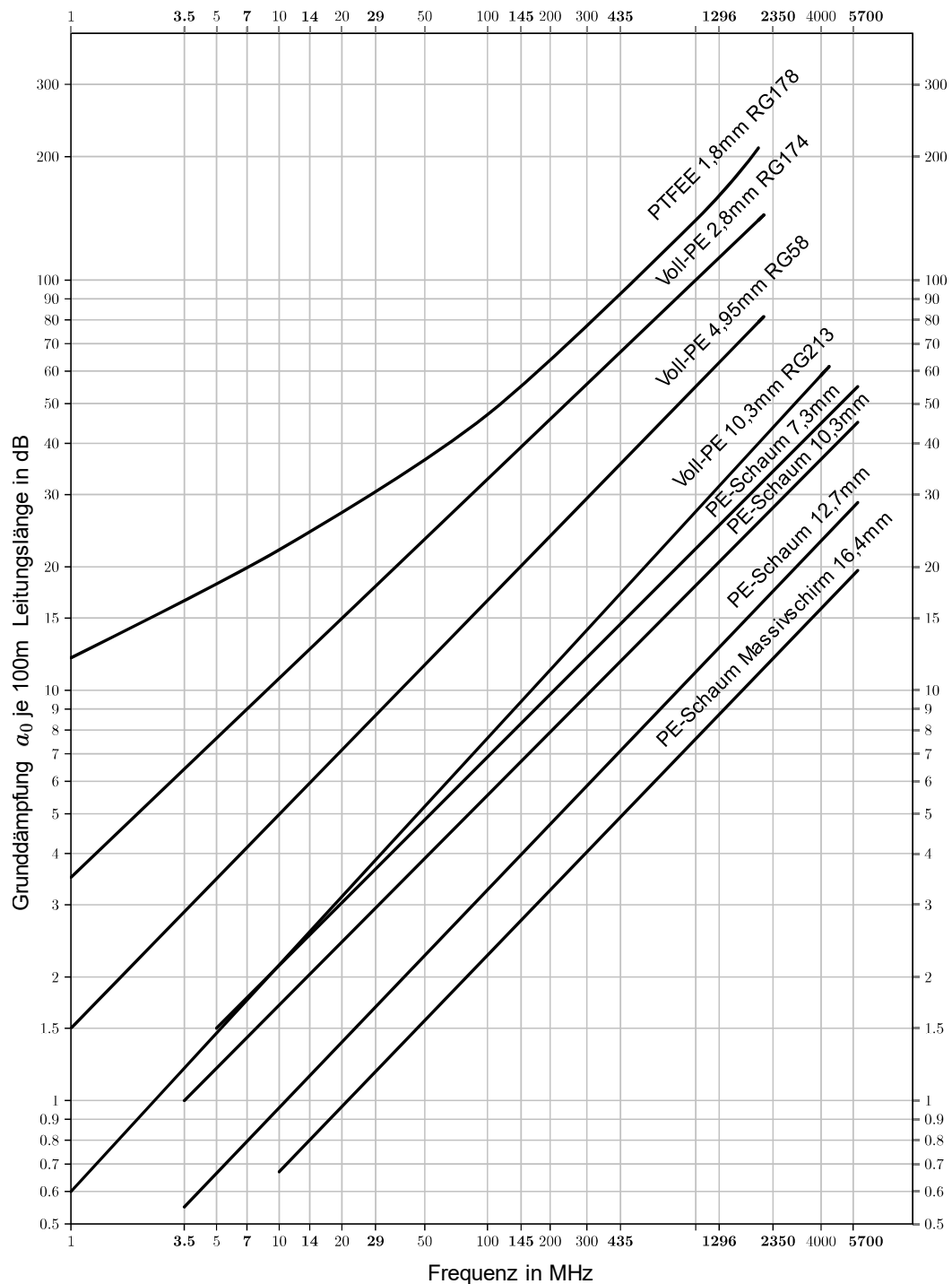
|   |      |           |
|---|------|-----------|
| T | Tera | $10^{12}$ |
| P | Peta | $10^{15}$ |

| Pegel  |                          |                          |
|--------|--------------------------|--------------------------|
| Pegel  | Leistungs-<br>verhältnis | Spannungs-<br>verhältnis |
| -30 dB | 0,001                    | 0,03                     |
| -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  | 0,8                      | 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                       |
| 30 dB  | 1000                     | 31,62                    |

| Kennfarben für Widerstände |      |                    |              |
|----------------------------|------|--------------------|--------------|
| Kenn-<br>farbe             | Wert | Multi-<br>plikator | Toleranz     |
| Silber                     | -    | $10^{-2}$          | $\pm 10\%$   |
| Gold                       | -    | $10^{-1}$          | $\pm 5\%$    |
| schwarz                    | 0    | $10^{-0}$          | -            |
| braun                      | 1    | $10^1$             | $\pm 1\%$    |
| rot                        | 2    | $10^2$             | $\pm 2\%$    |
| orange                     | 3    | $10^3$             | -            |
| gelb                       | 4    | $10^4$             | -            |
| grün                       | 5    | $10^5$             | $\pm 0,5$    |
| blau                       | 6    | $10^6$             | $\pm 0,25\%$ |
| violett                    | 7    | $10^7$             | $\pm 0,1\%$  |
| grau                       | 8    | $10^8$             | -            |
| weiss                      | 9    | $10^9$             | -            |
| keine                      | -    | -                  | $\pm 20\%$   |



## Kabeldämpfungsdiagramm



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

Gefundene Fehler bitte an [kf-fk@bakom.admin.ch](mailto:kf-fk@bakom.admin.ch) melden – Danke!

(Am besten mit einer Word-Datei mit aktivierter «Änderungen nachverfolgen» oder kommentierter pdf-Datei.)