# Feldtheorie in der Hochfrequenztechnik

## 1) Freiraumwellenwiderstand (Feldwellenwiderstand):

### Elementare Feldkonstante ε0 des elektrischen Feldes (lässt sich zur Zeit nur empirisch bestimmen)

**Erklärung:**

Die **elektrische Flussdichte D** und die **elektrische Feldstärke E** existieren in Form eines Wirkungs/Ursachepaares gleichzeitig im Raum an jeder Stelle. Im Freiraum ist ihr Betragsverhältnis durch die Naturkonstante **"elektrische Feldkonstante" ε0 = D/E** festgelegt.

**Betrag und Einheit:**

Elektrische Feldkonstante für Freiraumbedingungen [Vakuum] (Epsilon 0) = **ε0 = 8,854187817… *1E-12 [A*s/(V*m)]** **FW1**

### Elementare Konstante c0 der Bewegung (Lichtgeschwindigkeit)

**Erklärung:**

Die Lichtgeschwindigkeit ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Informationen über den Raum und somit auch die Ausbreitungsgeschwindigkeit des elektrischen Feldes. Bestimmung ist in der allgemeinen Relativitätstheorie nachzulesen.

**Betrag und Einheit:**

Lichtgeschwindigkeit für Freiraumbedingungen [Vakuum] **c0 = 299792,458… *1E3 [m/s]** **FW2**

### Errechnete Feldkonstante μ0 des magnetischen Feldes (Permeabilitätskonstante)

**Erklärung:**

Da ein Strom und somit ein magnetischens Feld erst entsteht, wenn sich elektrisch geladene Teilchen bewegen, muss die magnetische Feldkonstante von der elektrischen Feldkonstante (geladenes Teilchen) und der Konstante der Bewegung (Teilchen bewegt sich) durch einfache Relation abhängen.

**Formel und Einheit:**

Magnetische Feldkonstante für Freiraumbedingungen[Vakuum] **$\mu0 = 1/(\varepsilon0*c0^2)$ [V*s/(A*m)]** **FW3**

### Freiraumwellenwiderstand (Feldwellenwiderstand)

**Erklärung:**

1. Dividiert man die elektrische Feldstärke [V/m] durch die dazugehörige magnetische Feldstärke [A/m] einer **elektromagnetischen Welle Ex/Hy,** so entsteht der Dimension nach ein Widerstand [V/A] = [Ohm] (m kürzt sich raus). Endet die betrachtete Welle nicht im Unendlichen, so wird sie im einfachsten Fall durch ihre eigene rücklaufende Welle überlagert. Je nach Phasenlage der rücklaufenden Welle muss zwingend entweder die elektrische oder magnetische Feldstärke ein negatives Vorzeichen bekommen. Somit kann der Feldwellenwiderstand auch negative Werte annehmen. Der absolute Feldwellenwiderstand (nur positiv) gilt jeweils nur für die hinlaufende oder rücklaufende Welle separat. Man kann

nun denktheoretisch die beiden Wellen separat betrachten und durch nachträgliche Superposition (Überlagerung) die Summenlösung erzielen.

2. Man vereinfacht die ersten beiden Maxwellschen Gleichungen zu der "Wellengleichung für beliebige Zeitanregung" (Gleichung der elektromagnetischen Welle).

Die Voraussetzung dieser Gleichungen ist, dass die elektrische Komponente senkrecht zu der magnetischen Komponente steht.

Dann gelten: dHy/dz = ε0*dEx/dt und dEx/dz = μ0*dHy/dt als Differentialgleichungen. Diese kann man duch geeignete Randbedingungen in eine quadratische Gleichung überführen und nach Hy auflösen. **Hy = +- Wurzel(e0/u0) * Ex, gültig für elektromagnetische Welle im freien Raum!!!**

Daraus folgt, dass Ex/Hy gleich der Wurzel (μ0/ε0) ist. Somit ist im freien Raum Zfo = Wurzel(μ0/ε0). Da μ0 eine errechnete Größe ist, führen wir die Gleichung mittels **FW3** auf ε0 (FW1) und c0 (FW2) zurück. --> Zf0 (Freiraumwellenwiderstand) = 1/(c0*e0) = **376,730313** [Ohm] ~ 377Ohm

**Formel und Einheit:**

Freiraumwellenwiderstand (Feldwellenwiderstand), **Zfo = Ex/Hy für elektromagnetische Wellen (E und H sind senkrecht aufeinander) = E/H** **FW4**

Freiraumwellenwiderstand (Feldwellenwiderstand), **Zfo = 1/(c0*ε0) = 376,730313… [Ohm] oder [V/A] ~ 377Ohm** **FW5**

**E = elektrische Feldstärke [V/m]**

**H = magnetische Feldstärke [A/m]**

**c0 = Lichtgeschwindigkeit [m/s] im Vakuum**

**ε0 = elektrische Feldkonstante [A*s/(V*m)] im Vakuum**

# 2) Poyntingvektor, Leistungsflussdichte und Leistung im Kabel der Messtechnik

## Poyntingvektor und Leistungsflussdichte Pd

**Erklärung:**

Bewegt sich eine Welle in Ausbreitungsrichtung, also in Richtung des Poyntingvektors, so ist deren Flächenleistungsdichte mit der Volumenenergiedichte über die einfache Beziehung Psi = E x H verknüpft. Für den Fall der elektromagnetischen Welle (Fernfeldbedingungen) gilt die Bedingung, dass elektrisches Feld und magnetisches Feld senkrecht aufeinander stehen. Dann vereinfacht sich der Poyntingvektor zu dem Skalarprodukt Pd = E*H, wobei E und H mit ihren Beträgen verwendet werden.

**Formel und Einheit:**

Betrag des Poyntingvektors für E senkrecht zu H -> **Leistungsflussdichte Pd(PowerfluxDensity)[W/m$^2$) = E[V/m] * H[M/m]** = V*A/m$^2$ -> [W/m$^2$] **PL1**

Durch Einsetzen des Freiraumwellenwiderstandes (FW4) ergeben sich noch folgende Relationen:

**Leistungsflussdichte Pd[W/m$^2$] = E$^2$[V$^2$/m$^2$] / Zfo[Ohm] = [V$^2$*A/(m$^2$*V)] = [V*A/m$^2$] -> [W/m$^2$]** **PL2**

**Leistungsflussdichte Pd[W/m$^2$] = H$^2$[A$^2$/m$^2$] * Zfo[Ohm] = [A$^2$*V/(m$^2$*A)] = [A*V/m$^2$] -> [W/m$^2$]** **PL3**

## Elektrische Leistungsberechnung in Kabeln

**Erklärung:**

In der Messtechnik werden meist konstante Impedanzen (Widerstände) zum Transport der Hochfrequenzwellen verwendet. In der Antennentechnik ist es eine Impedanz von 75 Ohm, in der Messtechnik für unsymmetrische Leitungen (koaxial) wird meistens eine Impedanz von 50 Ohm verwendet.

Mit dieser gemeinsamen Impedanz lassen sich Strom, Spannung und Leistung im Kabel durch einfache Beziehungen miteinander verknüpfen. Dies gilt jedoch nur, wenn man harmonische Signale betrachtet und deren Effektivwerte verwendet. Bei Rauschsignalen (UMTS) ist dies so einfach nicht möglich.

Bei UMTS muss die Leistung im Kabel echt gemessen werden (TRMS oder RMS bei Spektrumanalysatoren) und kann nicht einfach durch Umrechnung aus gemessenen Spannungen ermittelt werden. Ist bei technischen Rauschsignalen der sogenannte Crest Faktor bekannt (da technisch erzeugt auch stabil), so kann man mit seiner Hilfe wieder die Spannungen und Leistungen umrechnen. Die allgemeinen Beziehungen lauten: R[Ohm] = U[V] / I[A] und P[W] = U[V] * I[A]

**Formel und Einheit:**

Wellenwiderstand HF Messtechnik **R[Ohm] = U[V] (Spannung in Volt) / I[A] (Strom in Ampere) = 50 Ohm** **PL4**

Leistung im HF Kabel oder Buchsen **P[W] = U[V] (Spannung in Volt) * I[A] (Strom in Ampere)** **PL5**

Durch Einsetzen der Formel (PL4) in (PL5) ergiben sich noch folgende Relationen:

Leistung im HF Kabel oder Buchsen **P[W] = U$^2$[V$^2$] / R[Ohm] = [V$^2$*A/V] = [V*A] -> [W]** **PL6**

Leistung im HF Kabel oder Buchsen **P[W] = I$^2$[A$^2$] * R[Ohm] = [A$^2$*V/A] = [V*A] -> [W]** **PL7**

## dB Verhältniszahl Darstellung U,I,P,E,H,Pd,Gi

**Erklärung:**

Die Definition des logarithmischen Verhältnismaßes wurde durch Zweitor-Parameter von Spannungen und Strömen festgelegt. Hat ein Zweitor-Netzwerk am Ausgang (Ua) eine größere Spannung als am Eingang (Ue), so handelt es sich um einen Spannungsverstärker. Die dB Verhältniszahl ist dann positiv.
Ist am Ausgang des Zweitor-Netzwerkes die Spannung (Ua) geringer als am Eingang (Ue), so handelt es sich um eine Spannungsdämpfung. Die dB-Zahl ist dann negativ. Der Vorteil der logarithmischen Darstellung ist, um das Verhalten von mehreren Zweitoren zu erhalten, dass man lediglich die dB-Werte summieren muss..
Definition: **Verhältniszahl[dB] = 20*LOG(Ua[V]/Ue[V])**. Ua ist die Ausgangsspannung des Zweitors und Ue ist dessen Eingangsspannung. Bei elektrischen Feldstärken wird genauso verfahren wie bei den Spannungen -> **Verhältniszahl[dB] = 20*LOG(Ea[V/m]/Ee[V/m])**. Ist Ea kleiner als Ee, so handelt es sich um eine Dämpfung. Man kann sich dann das Zweitor zum Beispiel als eine Abschirmmatte vorstellen. Man misst an der Vorderseite die Feldstärke (Ee) und an der Rückseite (Ea). Man erhält nun die Dämpfung der Abschirmmatte üblicherweise in dB.
Bei den Strömen und der magnetischen Feldstärke wird genauso verfahren wie bei den Spannungen und den elektrischen Feldstärken.
Bei den Leistungen oder Leistungsflussdichten muss man die Produktbildung von Spannung und Strom berücksichtigen. Verwenden wir eine konstante Impedanz (50 Ohm Kabelwiderstand Messtechnik oder Freiraumimpedanz 377 Ohm), dann kann man das Verhältnis der Leistung wie folgt berechnen:
**Pa/Pe = Ua*Ia / (Ue*Ie), R = konstant -> Ua*Ua/R / (Ue*Ue/R) -> $Ua^2/Ue^2$. Verhältnismaß von Spannungen: dB = 20*LOG(Ua/Ue)**
**Man kann die 20 auch zerlegen in 2*10*LOG(Ua/Ue) gemäss Bronnstein, Logarithmen, Eigenschaften 1.22b -> 10*LOG($(Ua/Ue)^2$) -> 10*LOG($Ua^2/Ue^2$)**
Daraus folgt **Verhältniszahl[dB] = 10*LOG(Pa/Pe)**. Gleiches gilt für die Leistungsflussdichte Pd und den Gewinn Gi von Antennen.

**Formel und Einheit:**

**Verhältniszahl[dB] = 20*LOG(Ua[V]/Ue[V]) <> 20*LOG(Ia[A]/Ie[A]) <> 20*LOG(Ea[V/m]/Ee[V/m]) <> 20*LOG(Ha[A/m]/He[A/m])**, Einheit kürzt sich **PL8**
**Verhältniszahl[dB] = 10*LOG(Pa[W]/Pe[W]) <> 10*LOG(Pda[W/m²]/Pde[W/m²]) <> 10*LOG(Pdmax/Pdi) = Gi[dB],** Einheit kürzt sich jeweils. **PL9**

## 3) dB-Darstellung von normierten Grössen

### Erklärung:

Man kann auch Größen normiert auf einen Standardwert in dB darstellen. Hierfür verwendet man jeweils die gleiche logarithmische Darstellung wie bei der Verhältniszahl. So kann man zum Beispiel Spannungen logarithmisch auf 1V normiert angeben. Die Spannung wird dann in dBV (dBVolt) angegeben.
**dBV = 20*LOG(U[V]/1[V])**. In der Hochfrequenztechnik werden manchmal auch Teile der Normierungseinheit weggelassen (vielleicht aus Bequemlichkeit?). **DB1**
So steht dBm eigendlich für dBmW. Das W für Watt wird jedoch immer weggelassen. Einige in der Hochfrequenz häufig verwendete normierten Größen und Wertebeispiele:

**Typische Beispiele von logarithmisch normierten Größen der Messtechnik (50 Ohm Impedanz):**

| **Größe:** | Leistung **[W]** | Leistung **[dBW]** | Leistung **[dBm]** =[dBmW] | Leistung **[dBµW]** | | Feldstärke **[V/m]** | Feldstärke **[dBV/m]** | Feldstärke **[dBmV/m]** | Feldstärke **[dBµV/m]** | Leistungsfluss-dichte**[µW/m²]** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Name Einheit:** | Watt | dBWatt | dBmilliWatt | dBmikroWatt | | VoltProMeter | dBVolt-ProMeter | dBmilliVolt-ProMeter | dBmikroVolt-ProMeter | mikroWattPro Quadratmeter |
| **Formel:** | P | =10*LOG(P/1) | =10*LOG (P/1E-3) | =10*LOG (P/1E-6) | | E | =20*LOG(E/1) | =20*LOG (E/1E-3) | =20*LOG (E/1E-6) | =(E^2/377)*1E6 |
| **Herleitung:** | | DB1,PL9 | DB1,PL9 | DB1,PL9 | | | DB1,PL8 | DB1,PL8 | DB1,PL8 | DB1,PL8,PL2 |
| | 10 | 10,0 | 40,0 | 70,0 | | 10 | 20,0 | 80,0 | 140,0 | 265251,989390 |
| | 2 | 3,0 | 33,0 | 63,0 | | 2 | 6,0 | 66,0 | 126,0 | 10610,079576 |
| | 1 | 0,0 | 30,0 | 60,0 | | 1 | 0,0 | 60,0 | 120,0 | 2652,519894 |
| | 0,5 | -3,0 | 27,0 | 57,0 | | 0,5 | -6,0 | 54,0 | 114,0 | 663,129973 |
| | 0,1 | -10,0 | 20,0 | 50,0 | | 0,1 | -20,0 | 40,0 | 100,0 | 26,525199 |
| | 0,01 | -20,0 | 10,0 | 40,0 | | 0,01 | -40,0 | 20,0 | 80,0 | 0,265252 |
| | 0,002 | -27,0 | 3,0 | 33,0 | | 0,002 | -54,0 | 6,0 | 66,0 | 0,010610 |
| | 0,001 | -30,0 | 0,0 | 30,0 | | 0,001 | -60,0 | 0,0 | 60,0 | 0,002653 |
| | 0,0005 | -33,0 | -3,0 | 27,0 | | 0,0005 | -66,0 | -6,0 | 54,0 | 0,000663 |
| | 0,0001 | -40,0 | -10,0 | 20,0 | | 0,0001 | -80,0 | -20,0 | 40,0 | 0,000027 |
| | 0,00001 | -50,0 | -20,0 | 10,0 | | 0,00001 | -100,0 | -40,0 | 20,0 | 2,653E-07 |
| | 0,000002 | -57,0 | -27,0 | 3,0 | | 0,000002 | -114,0 | -54,0 | 6,0 | 1,061E-08 |
| | 0,000001 | -60,0 | -30,0 | 0,0 | | 0,000001 | -120,0 | -60,0 | 0,0 | 2,653E-09 |
| | 0,0000005 | -63,0 | -33,0 | -3,0 | | 0,0000005 | -126,0 | -66,0 | -6,0 | 6,631E-10 |

**Typische Beispiele von logarithmisch normierten Größen der Antennentechnik (75 Ohm Impedanz)**

| **Grösse:** | Leistung **[W]** | Leistung **[dBm]** =[dBmW] | | Spannung **[V]** | Spannung **[dBµV]** | ents. Leistung **[dBm]**bei75Ω |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Name Einheit:** | Watt | dBmilliWatt | | Volt | dBmikroVolt | dBmilliWatt |
| **Formel:** | P | =10*LOG (P/1E-3) | | U | =20*LOG (U/1E-6) | =10*LOG (U^2/75r/1E-3) |
| **Herleitung:** | | DB1,PL9 | | | DB1,PL8 | DB1,PL8,PL6 |
| | 10 | 40,0 | | 10 | 140,0 | 31,2 |
| | 2 | 33,0 | | 2 | 126,0 | 17,3 |
| | 1 | 30,0 | | 1 | 120,0 | 11,2 |
| | 0,5 | 27,0 | | 0,5 | 114,0 | 5,2 |
| | 0,1 | 20,0 | | 0,1 | 100,0 | -8,8 |
| | 0,01 | 10,0 | | 0,01 | 80,0 | -28,8 |
| | 0,002 | 3,0 | | 0,002 | 66,0 | -42,7 |
| | 0,001 | 0,0 | | 0,001 | 60,0 | -48,8 |
| | 0,0005 | -3,0 | | 0,0005 | 54,0 | -54,8 |
| | 0,0001 | -10,0 | | 0,0001 | 40,0 | -68,8 |
| | 0,00001 | -20,0 | | 0,00001 | 20,0 | -88,8 |
| | 0,000002 | -27,0 | | 0,000002 | 6,0 | -102,7 |
| | 0,000001 | -30,0 | | 0,000001 | 0,0 | -108,8 |
| | 0,0000005 | -33,0 | | 0,0000005 | -6,0 | -114,8 |

# 4) Antennenfaktor (Antennenwandlungsmaß) und Rechenformeln

## Antennenfaktor:

**Erklärung:**

Der Antennenfaktor wird definiert als Verhältnis von elektrischer Feldstärke zu dadurch erzeugter Spannung an der 50 Ohm Antennenbuchse.
Der Antennenfaktor charakterisiert eindeutig die Empfangseigenschaften einer Antenne. Er gibt das direkte Wandlungsmaß von der Feldstärke an, in der die Antenne eingebracht wird, zu erzeugter Spannung an der Anschlussbuchse der Antenne. Alle nichtidealen Verluste sind in diesem Wandlungsmaß bereits berücksichtigt. Der Antennenfaktor wird meistens als logarithmisch normierte Größe angegeben.

**AF[dB/m] = 20*LOG(af[1/m]) und af[1/m] = E[V/m]/U[V] -> AF[dB/m] = 20*LOG(E[V/m]/U[V])**

Die logarithmische Darstellung ist besonders einfach, wenn auch die Feldstärke und die Spannung an der Buchse logarithmisch normiert dargestellt werden. Dann ist U[dBV] (Spannung in dBVolt) = E[dBV/m] (elektrische Feldstärke in Volt pro Meter) - AF[dB/m] (Antennenfaktor in 1 pro Meter).
Der Antennenfaktor kann für ideale logarithmisch periodische Antennen auch berechnet werden. Als Ausgangsbasis dienen die ideal berechenbaren Zusammenhänge des theoretischen idealen isotropen Strahlers. Für diesen gilt der Zusammenhang von der ihn umfliessenden Leistungsflussdichte zu seiner Leitung, die er aus dem Raum auskoppelt durch: P[W] = Pd[W/m$^2$] * Lambda$^2$[m$^2$]/(4*Pi()). Dies ist eine Generische Formel, in der eingeht, dass die hohen Frequenzen durch kleinere Antennenquerschnitte (effektive Flächenanteile) empfangen werden, und somit weniger Leistung in der Empfangsantenne erzeugen. Dies ist repräsentiert durch den Faktor LambdaQuadrat durch 4 PI().

**Herleitung idealer Antennenfaktor von LogPer Antennen (LogPer Antenne wird mit einem Gewinn von 6dB approximiert)**

| | |
|---|---|
| P[W] = Pd[W/m$^2$] * Lambda$^2$[m$^2$]/(4*Pi()) | (Basisformel Empfangsleistung isotroper Strahler) |
| P[W] = Pd[W/m$^2$] * Lambda$^2$[m$^2$]/(4*Pi()) * Gi | (Für Gi (Gewinnisotrop) = 6dBi, Basisformel Empfangsleistung LogPer Antenne) |
| P[W] = (E$^2$[V$^2$/m$^2$] / Zfo) * Lambda$^2$[m$^2$]/(4*Pi()) * Gi <--PL1 | (Pd (Leistungsflussdichte) durch E$^2$/Zfo (E$^2$ geteilt durch Freiraumimpedanz) ersetzt) |
| U$^2$[V$^2$]/R[Ohm] = (E$^2$[V$^2$/m$^2$] / Zfo) * Lambda$^2$[m$^2$]/(4*Pi()) * Gi <--PL5 | (P (Leistung an der Antennenbuchse) durch U$^2$/R (U$^2$ geteilt durch Kabelimpedanz) ersetzt) |
| U$^2$[V$^2$] = E$^2$[V$^2$/m$^2$] * R[Ohm]/Zfo[Ohm] * Lambda$^2$/(4*Pi()) * Gi | Formel umformen |
| U[V] = E[V/m] * Lambda[m] * Wurzel(R[Ohm]/Zfo[Ohm]/(4*Pi()) * Gi) | beide Seiten Wurzel ziehen |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Berechne Wurzel mit: R[Ohm] = | 50 | Zfo[Ohm] = | 377 | <-- PL4, FW5 | |
| **Wurzel(R[Ohm]/Zfo[Ohm/(4*Pi()) :** | **0,102733** | Kehrwert: | **9,733983** | Geteilt durch Wurzel(6dBi[GewinnLogPer]): | **4,866992** |

| | |
|---|---|
| U[V] = E[V/m] * Lambda[m] * 0,1027 * Wurzel(Gi)) | Wurzel als Konstante einsetzen |

Auf Format von AF[db/m] umstellen (E/U)

E[V/m]/U[V] = 9,733 / (Lambda[m] * Wurzel(Gi)) = af

**AF[dB/m] = 20*LOG( 9,734/Wurzel(Gi) * 1/Lambda[m])**

**Formel und Einheit:**

Der logarithmisch normierte Antennenfaktor **AF[dB/m] = 20*LOG(E[V/m]/U[V])** **AF1**

Für die ideale Antenne lassen sich die Empfangseigenschaften auch aus dem Gewinn errechnen:

Der logarithmisch normierte Antennenfaktor **AF[dB/m] = 20*LOG( 9,734/Wurzel(Gi) * 1/Lambda[m])** **AF2**

Für ideale LogPer Antennen ist der Gewinn etwa 6 dBi. Daraus ergibt sich:

Der logarithmisch normierte Antennenfaktor **AF[dB/m] = 20*LOG( 4,867 / Lambda[m])** **AF3**

**Beispiel Antennenfaktor ideale LogPer Antenne Gi=6dBi:**

Verwendet: Lambda[m] = c0 (Lichtgeschwindigkeit)[m/s] / f[Hertz] =  299792,458*1E3[m/s]/f[Hertz]

| Frequenz[MHz | Lambda[m] | **AF[dB/m]** | Vergleich 60XXX AF[dB/m] | | Vergleich USLP9143 AF[dB/m] | | Vergleich VULP9118E AF[dB/m] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Abweichung | | Abweichung | | Abweichung |
| 100 | 2,998 | **4,21** | n/a | | n/a | | 4,52 | 0,31 |
| 500 | 0,600 | **18,19** | n/a | | 18,15 | -0,04 | 17,35 | -0,84 |
| 700 | 0,428 | **21,11** | 22,87 | 1,76 | 20,73 | -0,38 | 20,23 | -0,88 |
| 1000 | 0,300 | **24,21** | 24,82 | 0,61 | 23,46 | -0,75 | 23,23 | -0,98 |
| 1500 | 0,200 | **27,73** | 29,23 | 1,50 | 27,42 | -0,31 | 27,92 | 0,19 |
| 2000 | 0,150 | **30,23** | 31,38 | 1,15 | 30,56 | 0,33 | n/a | |
| 2500 | 0,120 | **32,17** | 33,25 | 1,08 | 33,32 | 1,15 | n/a | |
| 3000 | 0,100 | **33,75** | 34,69 | 0,94 | 34,60 | 0,85 | n/a | |
| 3500 | 0,086 | **35,09** | 35,41 | 0,32 | 36,40 | 1,31 | n/a | |
| 4000 | 0,075 | **36,25** | 38,29 | 2,04 | 37,77 | 1,52 | n/a | |

# 5) Spektrumanalyzer, dBm Umrechnung in Leistungsflussdichte Pd

## Umrechnungsgleichungen:

**Erklärung:**

Da für die Charakterisierung der Empfangseigenschaften von Antennen in der Regel nur der Antennenfaktor zur Verfügung steht, muss man mit den bereits hergeleiteten Zusammenhängen zwischen Feldstärke und Leistungsflussdichte im Raum (PL2) und den Zusammenhängen zwischen Spannung und Leistung im Messkabel (PL6), die entsprechenden Rechenvorschriften ermitteln.

**A:** P[W] = $U^2$[V]/R[Ohm], mit R=50Ohm <-- **PL6**

**B:** P[dBm] = 10*LOG(P[W]/1E-3[W]) <-- **DB1**,Tabelle

**C:** P[dBm] = 10*LOG($U^2$[$V^2$]/(1E-3[W]*R[Ohm])) <-- **A:** in **B:** einsetzen

**D:** U[V] = WURZEL(1E-3[W]*R[Ohm]) * 10^(P[dBm]/20) <-- **C:** nach U aufgelöst, Regel: [10^LOG(A) = A], Bronstein,Potenzen,Regeln,1.17 [(10^A)^B = 10^(A*B)] --> Wurzel(10^A) = 10^A^0,5 = 10^(A/2)

**E:** AF[dB/m] = 20*LOG(E[V/m]/U[V] <-- **AF1**

**F:** E[V/m] = U[V] * 10^(AF/20) <-- **E:** nach E aufgelöst, Regel: [10^LOG(A) = A]

**G:** E[V/m] = Wurzel(1E-3[W]*R[Ohm]) * 10^(P[dBm]/20) * 10^(AF/20) <-- **D:** in **F:** eingesetzt

**H:** E[V/m] = Wurzel(1E-3[W]*R[Ohm]) * 10^((P[dBm]+AF[dB/m])/20) <--Umformen, Bronstein,Potenzen,Regeln,1.15 [10^A * 10^B = 10^(A+B)]

**I:** Pd[W/$m^2$] = $E^2$[$V^2$/$m^2$] / Zfo[Ohm] <-- **PL2**

**J:** Pd[W/$m^2$] = 1E-3[W]*R[Ohm] * 10^((P[dBm]+AF[dB/m])/10) / Zfo[Ohm] <-- **H:** in **I:** einsetzen, Bronstein,Potenzen,Regeln,1.17 [(10^A)^B = 10^(A*B)] --> 10^$A^2$ = 10^(2*A)

| Gleichungen allgemein: | Mit R=50[Ohm] und Zfo=377[Ohm]: | | |
|---|---|---|---|
| **Pd[W/$m^2$] = 1E-3[W] * R[Ohm] / Zfo[Ohm] * 10^((P[dBm]+AF[dB/m])/10) =** | **1,326E-04** | *** 10^((P[dBm]+AF[dB/m])/10)** | **UR1** |
| **Pd[mW/$m^2$] = 1[W) * R[Ohm] / Zfo[Ohm] * 10^((P[dBm]+AF[dB/m])/10) =** | **0,1326** | *** 10^((P[dBm]+AF[dB/m])/10)** | **UR2** |
| **Pd[µW/$m^2$] = 1E3[W] * R[Ohm] / Zfo[Ohm] * 10^((P[dBm]+AF[dB/m])/10) =** | **1,326E+02** | *** 10^((P[dBm]+AF[dB/m])/10)** | **UR3** |

**Beispiel: Umrechnung über Antennenfaktor ideal für Logper Antennen Gi = 6dBi**

| Frequenz[MHz] | Lambda[m] | AF[dB/m] 6dBi | **P[dBm]** | **Pd[mW/m$^2$]** | **P[dBm]** | **Pd[mW/m$^2$]** | **P[dBm]** | **Pd[mW/m$^2$]** | **P[dBm]** | **Pd[mW/m$^2$]** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 2,998 | 4,21 | **-15** | **0,0111** | **-20** | **0,0035** | **-25** | **0,0011** | **-30** | **0,0003** |
| 500 | 0,600 | 18,19 | **-15** | **0,2763** | **-20** | **0,0874** | **-25** | **0,0276** | **-30** | **0,0087** |
| 700 | 0,428 | 21,11 | **-15** | **0,5416** | **-20** | **0,1713** | **-25** | **0,0542** | **-30** | **0,0171** |
| 1000 | 0,300 | 24,21 | **-15** | **1,1054** | **-20** | **0,3496** | **-25** | **0,1105** | **-30** | **0,0350** |
| 1500 | 0,200 | 27,73 | **-15** | **2,4871** | **-20** | **0,7865** | **-25** | **0,2487** | **-30** | **0,0786** |
| 2000 | 0,150 | 30,23 | **-15** | **4,4215** | **-20** | **1,3982** | **-25** | **0,4422** | **-30** | **0,1398** |
| 2500 | 0,120 | 32,17 | **-15** | **6,9086** | **-20** | **2,1847** | **-25** | **0,6909** | **-30** | **0,2185** |
| 3000 | 0,100 | 33,75 | **-15** | **9,9484** | **-20** | **3,1460** | **-25** | **0,9948** | **-30** | **0,3146** |
| 3500 | 0,086 | 35,09 | **-15** | **13,5409** | **-20** | **4,2820** | **-25** | **1,3541** | **-30** | **0,4282** |
| 4000 | 0,075 | 36,25 | **-15** | **17,6860** | **-20** | **5,5928** | **-25** | **1,7686** | **-30** | **0,5593** |

**Beispiel: Umrechnung über Antennenfaktor ideal für isotropen Strahler Gi = 0dBi**

| Frequenz[MHz] | Lambda[m] | AF[dB/m] 0dBi | **P[dBm]** | **Pd[mW/m$^2$]** | **P[dBm]** | **Pd[mW/m$^2$]** | **P[dBm]** | **Pd[mW/m$^2$]** | **P[dBm]** | **Pd[mW/m$^2$]** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 2,998 | 10,23 | **-15** | **0,0442** | **-20** | **0,0140** | **-25** | **0,0044** | **-30** | **0,0014** |
| 500 | 0,600 | 24,21 | **-15** | **1,1054** | **-20** | **0,3496** | **-25** | **0,1105** | **-30** | **0,0350** |
| 700 | 0,428 | 27,13 | **-15** | **2,1665** | **-20** | **0,6851** | **-25** | **0,2167** | **-30** | **0,0685** |
| 1000 | 0,300 | 30,23 | **-15** | **4,4215** | **-20** | **1,3982** | **-25** | **0,4422** | **-30** | **0,1398** |
| 1500 | 0,200 | 33,75 | **-15** | **9,9484** | **-20** | **3,1460** | **-25** | **0,9948** | **-30** | **0,3146** |
| 2000 | 0,150 | 36,25 | **-15** | **17,6860** | **-20** | **5,5928** | **-25** | **1,7686** | **-30** | **0,5593** |
| 2500 | 0,120 | 38,19 | **-15** | **27,6344** | **-20** | **8,7388** | **-25** | **2,7634** | **-30** | **0,8739** |
| 3000 | 0,100 | 39,77 | **-15** | **39,7935** | **-20** | **12,5838** | **-25** | **3,9794** | **-30** | **1,2584** |
| 3500 | 0,086 | 41,11 | **-15** | **54,1634** | **-20** | **17,1280** | **-25** | **5,4163** | **-30** | **1,7128** |
| 4000 | 0,075 | 42,27 | **-15** | **70,7440** | **-20** | **22,3712** | **-25** | **7,0744** | **-30** | **2,2371** |

# 6) Spektrumanalyzer, Pd Umrechnung in Leistungsflussdichte dBm

## Umrechnungsgleichungen:

**Erklärung:**

Die Gleichungen UR1, UR2 und UR3 werden nach P[dBm] aufgelöst.

Pd[W/m$^2$] = 1E-3[W] * R[Ohm] / Zfo[Ohm] * 10^((P[dBm]+AF[dB/m])/10) <-- UR1

(Pd[W/m$^2$]*Zfo[Ohm]) / (1E-3[W]*R[Ohm]) = 10^((P[dBm]+AF[dB/m])/10) <-- konstanten Faktor auf linke Seite ziehen

LOG((Pd[W/m$^2$]*Zfo[Ohm]) / (1E-3[W]*R[Ohm])) = (P[dBm]+AF[dB/m])/10 <-- Regel: [10^LOG(A) = A]

10*LOG((Pd[W/m$^2$]*Zfo[Ohm]) / (1E-3[W]*R[Ohm])) - AF[dB/m] = P[dBm] <-- Nach P[dBm] auflösen

P[dBm] = 10*LOG(Pd[W/m$^2$]) +10*LOG(Zfo[Ohm]/(1E-3[W]*R[Ohm])) - AF[dB/m] <-- Bronnstein, Logarithmen, Eigenschaften 1.22a LOG(A*B) = LOG(A) + LOG(B)

| Gleichungen allgemein: | Mit R=50[Ohm] und Zfo=377[Ohm]: | | |
|---|---|---|---|
| **P[dBm] = 10*LOG(Zfo[Ohm]/(1E-3[W]*R[Ohm])) + 10*LOG(Pd[W/m$^2$]) - AF[dB/m] =** | **38,774** | **+ 10*LOG(Pd[W/m$^2$]) - AF[dB/m]** | **UR4** |
| **P[dBm] = 10*LOG(Zfo[Ohm]/(1[W]*R[Ohm])) + 10*LOG(Pd[mW/m$^2$]) - AF[dB/m] =** | **8,774** | **+ 10*LOG(Pd[mW/m$^2$]) - AF[dB/m]** | **UR5** |
| **P[dBm] = 10*LOG(Zfo[Ohm]/(1E3[W]*R[Ohm])) + 10*LOG(Pd[µW/m$^2$]) - AF[dB/m] =** | **-21,226** | **+ 10*LOG(Pd[µW/m$^2$]) - AF[dB/m]** | **UR6** |

**Beispiel: Umrechnung über Antennenfaktor ideal für Logper Antennen Gi = 6dBi**

| Frequenz[MHz] | Lambda[m] | AF[dB/m] 6dBi | **Pd[mW/m$^2$]** | **P[dBm]** | **Pd[mW/m$^2$]** | **P[dBm]** | **Pd[mW/m$^2$]** | **P[dBm]** | **Pd[mW/m$^2$]** | **P[dBm]** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 2,998 | 4,21 | **10,00** | **14,57** | **5,00** | **11,55** | **1,00** | **4,57** | **0,50** | **1,55** |
| 500 | 0,600 | 18,19 | **10,00** | **0,59** | **5,00** | **-2,42** | **1,00** | **-9,41** | **0,50** | **-12,42** |
| 700 | 0,428 | 21,11 | **10,00** | **-2,34** | **5,00** | **-5,35** | **1,00** | **-12,34** | **0,50** | **-15,35** |
| 1000 | 0,300 | 24,21 | **10,00** | **-5,43** | **5,00** | **-8,45** | **1,00** | **-15,43** | **0,50** | **-18,45** |
| 1500 | 0,200 | 27,73 | **10,00** | **-8,96** | **5,00** | **-11,97** | **1,00** | **-18,96** | **0,50** | **-21,97** |
| 2000 | 0,150 | 30,23 | **10,00** | **-11,46** | **5,00** | **-14,47** | **1,00** | **-21,46** | **0,50** | **-24,47** |
| 2500 | 0,120 | 32,17 | **10,00** | **-13,39** | **5,00** | **-16,40** | **1,00** | **-23,39** | **0,50** | **-26,40** |
| 3000 | 0,100 | 33,75 | **10,00** | **-14,98** | **5,00** | **-17,99** | **1,00** | **-24,98** | **0,50** | **-27,99** |
| 3500 | 0,086 | 35,09 | **10,00** | **-16,32** | **5,00** | **-19,33** | **1,00** | **-26,32** | **0,50** | **-29,33** |
| 4000 | 0,075 | 36,25 | **10,00** | **-17,48** | **5,00** | **-20,49** | **1,00** | **-27,48** | **0,50** | **-30,49** |

**Beispiel: Umrechnung über Antennenfaktor ideal für isotropen Strahler Gi = 0dBi**

| Frequenz[MHz] | Lambda[m] | AF[dB/m] 0dBi | **Pd[mW/m²]** | **P[dBm]** | **Pd[mW/m²]** | **P[dBm]** | **Pd[mW/m²]** | **P[dBm]** | **Pd[mW/m²]** | **P[dBm]** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 2,998 | 10,23 | **10,00** | **8,54** | **5,00** | **5,53** | **1,00** | **-1,46** | **0,50** | **-4,47** |
| 500 | 0,600 | 24,21 | **10,00** | **-5,43** | **5,00** | **-8,45** | **1,00** | **-15,43** | **0,50** | **-18,45** |
| 700 | 0,428 | 27,13 | **10,00** | **-8,36** | **5,00** | **-11,37** | **1,00** | **-18,36** | **0,50** | **-21,37** |
| 1000 | 0,300 | 30,23 | **10,00** | **-11,46** | **5,00** | **-14,47** | **1,00** | **-21,46** | **0,50** | **-24,47** |
| 1500 | 0,200 | 33,75 | **10,00** | **-14,98** | **5,00** | **-17,99** | **1,00** | **-24,98** | **0,50** | **-27,99** |
| 2000 | 0,150 | 36,25 | **10,00** | **-17,48** | **5,00** | **-20,49** | **1,00** | **-27,48** | **0,50** | **-30,49** |
| 2500 | 0,120 | 38,19 | **10,00** | **-19,41** | **5,00** | **-22,42** | **1,00** | **-29,41** | **0,50** | **-32,42** |
| 3000 | 0,100 | 39,77 | **10,00** | **-21,00** | **5,00** | **-24,01** | **1,00** | **-31,00** | **0,50** | **-34,01** |
| 3500 | 0,086 | 41,11 | **10,00** | **-22,34** | **5,00** | **-25,35** | **1,00** | **-32,34** | **0,50** | **-35,35** |
| 4000 | 0,075 | 42,27 | **10,00** | **-23,50** | **5,00** | **-26,51** | **1,00** | **-33,50** | **0,50** | **-36,51** |

**Beispiel: Umrechnung über Antennenfaktor ideal für Logper Antennen Gi = 6dBi**

| Frequenz[MHz] | Lambda[m] | AF[dB/m] 6dBi | **Pd[μW/m²]** | **P[dBm]** | **Pd[μW/m²]** | **P[dBm]** | **Pd[μW/m²]** | **P[dBm]** | **Pd[μW/m²]** | **P[dBm]** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 2,998 | 4,21 | **1,00** | **-25,43** | **0,50** | **-28,45** | **0,10** | **-35,43** | **0,01** | **-45,43** |
| 500 | 0,600 | 18,19 | **1,00** | **-39,41** | **0,50** | **-42,42** | **0,10** | **-49,41** | **0,01** | **-59,41** |
| 700 | 0,428 | 21,11 | **1,00** | **-42,34** | **0,50** | **-45,35** | **0,10** | **-52,34** | **0,01** | **-62,34** |
| 1000 | 0,300 | 24,21 | **1,00** | **-45,43** | **0,50** | **-48,45** | **0,10** | **-55,43** | **0,01** | **-65,43** |
| 1500 | 0,200 | 27,73 | **1,00** | **-48,96** | **0,50** | **-51,97** | **0,10** | **-58,96** | **0,01** | **-68,96** |
| 2000 | 0,150 | 30,23 | **1,00** | **-51,46** | **0,50** | **-54,47** | **0,10** | **-61,46** | **0,01** | **-71,46** |
| 2500 | 0,120 | 32,17 | **1,00** | **-53,39** | **0,50** | **-56,40** | **0,10** | **-63,39** | **0,01** | **-73,39** |
| 3000 | 0,100 | 33,75 | **1,00** | **-54,98** | **0,50** | **-57,99** | **0,10** | **-64,98** | **0,01** | **-74,98** |
| 3500 | 0,086 | 35,09 | **1,00** | **-56,32** | **0,50** | **-59,33** | **0,10** | **-66,32** | **0,01** | **-76,32** |
| 4000 | 0,075 | 36,25 | **1,00** | **-57,48** | **0,50** | **-60,49** | **0,10** | **-67,48** | **0,01** | **-77,48** |

# 7) Arithmetrische und quadratische Mittelwerte der Elektrotechnik

## Definition

**Erklärung:**

Wenn Signale in der Elektrotechnik nicht konstant sind, so gibt es eine Reihe von Möglichkeiten, die nicht konstante Signalform zu beschreiben.
Die beste Beschreibung einer nicht konstanten Signalfom ist deren sogenante tansiente Darstellung. Diese Darstellung trägt das Signal über der Zeitachse auf. Die praktische Realisierung stellt der "Transientenrekorder" dar. Diese Funktion ist auch manchmal in hochwertigen Oszilloskopen integriert.
Das Signal wird durch den Transientenrekorder in sehr kurzen Abständen abgetastet. Die Abtastrate muss wesentlich häufiger geschehen, als die Periodendauer des abzutastenden Signales. Nimmt man an, dass man ein Signal mit einer Periode von 1MHz abtasten will, so sollte man mindestens 6 Millionen mal dieses Signal abtasten. Das Aufzeichnen der Transienten stellt die eindeutigste Darstellung des original Signales dar, benötigt jedoch ein Maximum an Datenspeicher um das Signal aufzuzeichnen. Eine übliche Komprimierung der transienten Information ist die Bildung von Mittelwerten der periodisch zeitlich varianten Signalformen. In der Elektrotechnik werden hauptsachlich der arithmetrische und der quadratische Mittelwert verwendet. Bei reinen Wechselsignalen wird anstelle des arithmetrischen Mittelwertes, der sogenannte Gleichrichtmittelwert verwendet. Bei Ihm handelt es sich um den arithmetrischen Mittelwert der Absolutwerte (oder Beträge). Beim quadratischen Mittelwert ist die Absolutwertbildung nicht notwendig da negative Werte durch das Quadrieren selbst positiv werden.

**Formeln für Gleichrichtmittelwert (arithmetrischer Mittelwert der Beträge):**

arithmetrischer Mittelwert : Xa = (X1+X2+…+Xn)/n = Summe[von k=1 bis n](Xk)/n <-- Bronstein, Mittelwerte, siehe auch Mittelwerte (1.68a)

**Gleichrichtmittelwert : Xa = (|X1|+|X2|+…+|Xn|)/n = Summe[von k=1 bis n](|Xk|)/n** <-- ISBN 3-343-00879-6,S105,(3.4) **MW1**

Hat man ein sich ständig änderndes Signal, so macht man die Anzahl der Werte sehr gross und erhält im Übergang die Integralform, mit der sich einfache Signalformen beschreiben lassen.

**Gleichrichtmittelwert (Integralform) : Xa = Integral[von 0 bis T)(|X(t)|dt)/T** <-- ISBN 3-343-00879-6,S105,(3.4) **MW2**

Die Integralform wird zum Beispiel für Sinussignalformen verwendet:

Ua[V] = Integral[von 0 bis Pi()]Û[V]*sin(t)dt/Pi(), mit Û[V] gleich Spitzenwert der Sinusschwingung <-- ISBN 3-343-00879-6,S105,(3.4)

Ua[V] = Û[V]/PI() * Integral[von 0 bis Pi()]sin(t)dt <-- Bronstein, Integrationsregeln, konstanter Faktor (8.3): Integral(a*f(x)dx) = a*Integral(f(x)dx)

Ua[V] = Û[V]/PI() * |(-cos(a))|[von 0 bis Pi(()] <-- Bronstein, Grundintegrale, Tabelle: Integral(sin(x)dx) = -cos(x)

Ua[V] = Û[V]/PI() * (-cos(Pi()) + cos(0)) <-- Bronstein, Bestimmte Integrale (Integralrechnung), Grundbegriffe, Hauptsatz der Integralrechnung (8.38):

Integral[von a bis b](f(x)dx) = F(b) - F(a)

Ua[V] = Û[V]/PI() * 2 <-- Cosinus Werte einsetzen

**Gleichrichtmittelwert für Sinus Signale: Ua[V] = 2/Pi() * Û[V] = 0,6366 * Û[V]** Û ist Maximalwert der Sinusschwingung (Spitzenwert) **MW3**

**Formeln für quadratischen Mittelwert (Effektivwert):**

**quadratischer Mittelwert : Xq = Wurzel((X1$^2$+X2$^2$+…+Xn$^2$)/n) = Wurzel(Summe[von k=1 bis n](Xk$^2$)/n)** <-- Bronstein, Mittelwerte, siehe auch Mittelwerte (1.70a) **MW4**

Integralform vom quadratischen Mittelwert für einfache Signalformen:

Uq[V] = Wurzel(Integral[von 0 bis Pi()]Û$^2$[V$^2$]*sin$^2$(t)dt/Pi()), mit Û[V] gleich Spitzenwert der Sinusschwingung <-- ISBN 3-343-00879-6,S105,(3.6)(3.7)(3.8)

Uq[V] =Û[V] * Wurzel(Integral[von 0 bis Pi()]sin$^2$(t)dt/Pi()),  <-- Bronstein, Integrationsregeln, konstanter Faktor (8.3):
Integral(a*f(x)dx) = a*Integral(f(x)dx), Wurzel(a²*b) = a*Wurzel(b)

Uq[V] =Û[V] * Wurzel(|t/2- sin(2t)/4|[von 0 bis Pi(()]/Pi()),  <-- Bronstein, Integralrechnung, Integration trigonometrischer Funktionen, Tabelle,
Integrale mit Sinusfunktionen (Nr275)

Uq[V] =Û[V] * Wurzel((Pi()/2 - sin(2*Pi())/4 - sin(0)) / Pi()),  <-- Bronstein, Bestimmte Integrale (Integralrechnung), Grundbegriffe, Hauptsatz der
Integralrechnung (8.38): Integral[von a bis b](f(x)dx) = F(b) - F(a)

Uq[V] =Û[V] * 1/Wurzel(2),  <-- Sinus Werte einsetzen

**Quadratischer Mittelwert für Sinus Signale: Uq[V] = Û[V] * 1/Wurzel(2) = 0,7071 * Û[V]** Û ist Maximalwert der Sinusschwingung (Spitzenwert) **MW5**

Für die Verhältnisse von Spitzenwerten zu quadratischen Mittelwerten und Gleichrichtmittelwerten haben sich in der Elektrotechnik folgende Definitionen durchgesetzt:

**Formfaktor: Kf = Uq[V]/Ua[V] ist das Verhältnis von quadratischen Mittelwert(Effektivwert) zu Gleichrichtmittelwert** **MW6**

<--  ISBN 3-343-00879-6,S105,(3.10)

**Scheitelfaktor(Crestfaktor): Kc = Û[V]/Uq[V] ist das Verhältnis von Spitzenwert zu quadratischen Mittelwert(Effektivwert)** **MW7**

<--  ISBN 3-343-00879-6,S105,(3.9)

Beispiel mit der reinen Sinusschwingung:

**Formfaktor(Sinus) = Uq[V]/Ua[V] = (Û[V] * 1/Wurzel(2)) / (2/Pi() * Û[V]) = Pi()/(2*Wurzel(2)) = 1,1107**

**Crestfaktor(Sinus) = Û[V]/Uq[V] = Û[V]*Wurzel(2) / Û[V] = Wurzel(2) = 1,4142**

## Literaturverzeichnis

Bronstein: Taschenbuch der Mathematik, Verlag Harry Deutsch

Detlefsen, Siart: Grundlagen der Hochfrequenztechnik, Oldenbourg Verlag

Geißler, Kammerloher, Schneider: Berechnungs- und Entwurfsverfahren der Hochfrequenztechnik 2, Vieweg Verlag

Georg: Elektromagnetische Wellen, Springer Verlag

Gronau: Höchstfrequenztechnik, Springer Verlag

Häberle, Krall, Leitner, Rieger, Schiermann, Schmitz, Stricker: Tabellenbuch Elektrotechnik, Verlag-Europa Lehrmittel, 18. Auflage

Lehner: Elektromagnetische Feldtheorie, Springer Verlag, 3. Auflage

Lindner, Brauer, Lehnmann: Taschenbuch der Elektrotechnik und Elektronik Fachbuchverlag Leipzig – Köln, 6. Auflage

Schwab: Begriffswelt der Feldtheorie, Springer Verlag, 5. Auflage

Wunsch, Schulz: Elektromagnetische Felder, Verlag Technik Berlin, 2. Auflage

Zimmer: Hochfrequenztechnik – Lineare Modelle, Springer Verlag

Zinke, Brunswig: Hochfrequenztechnik 1, Springer Verlag, 6. Auflage

## Anmerkung

Diese Ausarbeitung wurde zur Ergänzung unseres Tests über Hochfrequenzgeräte erstellt, damit Hochfrequenz-Experten usw. auch auf Ihre Kosten kommen. Der Testbericht wurde möglichst einfach formuliert, damit auch Laien diesen nachvollziehen können, und kann auf unserer Webseite www.buergerwelle.de heruntergeladen werden. Aufgrund unseren ausführlichen Tests war die Zeit für diese Ausarbeitung knapp bemessen. Sollten sich daher Schreibfehler eingeschlichen haben, nehmen Sie bitte mir mir Kontakt auf:

Siegfried Zwerenz
Lindenweg 10
D-95643 Tirschenreuth
E-Mail: pr@buergerwelle.de

Ich erteile zu meinen Ausführungen gerne Auskunft per E-Mail oder Telefon, aber nur bei Anfragen mit kompletter Adresse und Telefonnummer (keine Handynummern).