

Dezibel

Alle Rechte an dieser Präsentation: Andreas Krüger, DJ3EI, dj3ei@famsik.de, 2016

Sie darf genutzt werden unter

Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.0 Generic License



Große und kleine Leistungen

Wir haben es im Amateurfunk mit extrem großen und kleinen Leistungen zu tun.

Was	Leistung in mW		
effektive Leistung EME-Station	100 000 000		
Standard-Transceiver	100 000		
kleine Handfunke	1 000		
Lautsprechersignal (Zimmerlautstärke)	100		
Kopfhörersignal	1		
Lautes KW-Signal	0,000 001		
Leises KW-Signal (Antenneneingang RX)	0,000 000 000 001		

Wer mit diesen Zahlen umgeht, fängt automatisch an, die Nullen zu zählen.

Nullen zählen

Zählen wir die Nullen (und nennen das Ergebnis „Bel“, nach Alexander Graham Bell):

Was	Leistung in mW	Bel	
effektive Leistung EME-Station	100 000 000	8	
Standard-Transceiver	100 000	5	
kleine Handfunke	1 000	3	
Lautsprechersignal (Zimmerlautstärke)	100	2	
Kopfhörersignal	1	0	
Lautes KW-Signal	0,000 001	-6	
Leises KW-Signal (Antenneneingang RX)	0,000 000 000 001	-12	

Von „mW“ als Basis auszugehen, ist willkürlich, aber im Amateurfunk üblich.

dBm = Dezibel bezogen auf mW

Die Bel – Zahl mit 10 malgenommen gibt „Dezibel“ dB.

Was	Leistung in mW	Bel	dBm
effektive Leistung EME-Station	100 000 000	8	80
Standard-Transceiver	100 000	5	50
kleine Handfunke	1 000	3	30
Lautsprechersignal (Zimmerlautstärke)	100	2	20
Kopfhörersignal	1	0	0
Lautes KW-Signal	0,000 001	-6	-60
Leises KW-Signal (Antenneneingang RX)	0,000 000 000 001	-12	-120

Man schreibt hinter dem „dB“ noch ein „m“, wenn man Nullen von **m**W-Zahlen zählt.

dBW = Dezibel bezogen auf W

Man kann auch Nullen von Watt – Zahlen zählen. Logischer, aber unüblicher.

Was	Leistung in W	Bel	dBW
effektive Leistung EME-Station	100 000	5	50
Standard-Transceiver	100	2	20
kleine Handfunke	1	0	0
Lautsprechersignal (Zimmerlautstärke)	0,1	-1	-10
Kopfhörersignal	0,001	-3	-30
Lautes KW-Signal	0,000 000 001	-9	-90
Leises KW-Signal (Antenneneingang RX)	0,000 000 000 000 001	-15	-150

Man schreibt immer dem „dB“ noch ein „W“, wenn man Nullen von W-Zahlen zählt.

„log“ ist die „Bel“ - Taste des Taschenrechners

Da wir uns nicht für Bel, sondern für dB interessieren: Noch mit 10 malnehmen.

Was	Leistung in mW	Bel	dBm
effektive Leistung EME-Station	100 000 000	8	80
Standard-Transceiver	100 000	5	50
kleine Handfunke	1 000	3	30
Lautsprechersignal (Zimmerlautstärke)	100	2	20
Kopfhörersignal	1	0	0
Lautes KW-Signal	0,000 001	-6	-60
Leises KW-Signal (Antenneneingang RX)	0,000 000 000 001	-12	-120

Bei Verstärkungen haben wir dasselbe Problem mit vielen Nullen

Empfänger

Eingangssignal 0,000 000 000 001 mW

Ausgangssignal 100 mW

Benötigte Verstärkung 100 000 000 000 000.

Sender

Frequenzerzeugende Stufe (Oszillator) 10 mW

Ausgangssignal 100 000 mW

Benötigte Verstärkung 10 000.

Die Verstärkung ist der Faktor, mit dem ich das eine Signal multiplizieren muss, um das andere zu erhalten.
Sie hat keine Maßeinheit.

Mit dB wird's einfacher!

Empfänger

Eingangssignal $0,000\ 000\ 000\ 001\ \text{mW} = -120\ \text{dBm}$

Ausgangssignal $100\ \text{mW} = 20\ \text{dBm}$

Benötigte Verstärkung $100\ 000\ 000\ 000\ 000 = 140\ \text{dB}$.

Sender

Frequenzerzeugende Stufe (Oszillator) $10\ \text{mW} = 10\ \text{dBm}$

Ausgangssignal $100\ 000\ \text{mW} = 50\ \text{dBm}$

Benötigte Verstärkung $10\ 000 = 40\ \text{dB}$

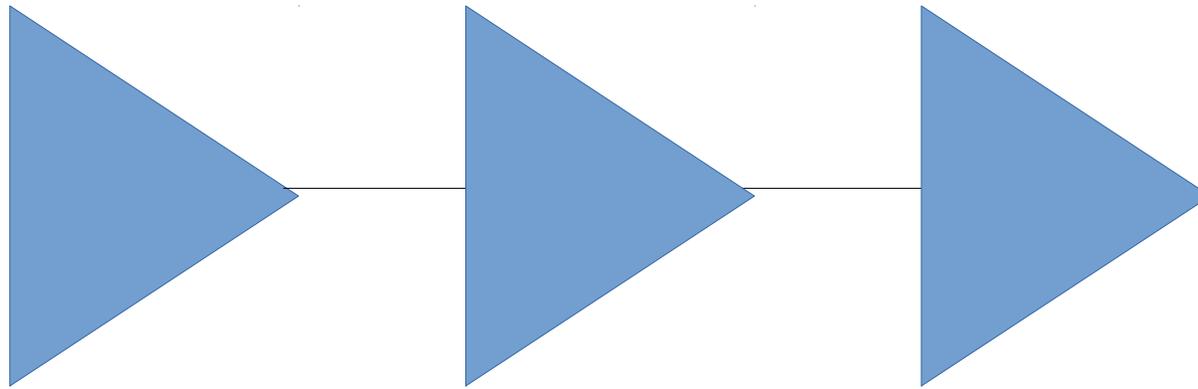
Verstärkung in dB ohne „m“.

Verstärkung in dB lässt sich durch Subtraktion ausrechnen:

$$50 - 10 = 40$$

$$20 - (-120) = 140$$

Verstärkungen verketteten



x 100

x 10

x 1000

Gesamtverstärkung: 1 000 000 (multipliziert)

20 dB

10 dB

30 dB

Gesamtverstärkung: 60 dB (addiert)

Der Taschenrechner kann auch „krumme“ Bel-Werte

(Nur) für mathematisch Interessierte:

10 Verstärker je $\times 2$ ergeben zusammen $1024 \approx 30$ dB.
Also muss die passende dB-Zahl für 2 etwa 3 dB sein.

Zwei Verstärker je $\times \sqrt{10}$ ergeben zusammen 10, also 10 dB.
Die passende dB-Zahl für $\sqrt{10}$ muss deshalb **genau** 5 dB sein.

Analog $\sqrt{\sqrt{10}} \Rightarrow 2,5$ dB, $\sqrt{\sqrt{\sqrt{10}}} \Rightarrow 1,25$ dB und so weiter.

Man kann auf dieser Basis tatsächlich ein Programm schreiben, das dB-Werte ausrechnet. Taschenrechner nutzen geschicktere Methoden, die aber nicht so leicht zu erklären ist.

Der Taschenrechner kann auch „krumme“ Bel-Werte

Für Überschlagsrechnungen im Kopf
kommt man schon weit
mit ein paar Zahlen:

Verstärkung	db (etwa)
2	3
3	5
5	7
10	10

Bitte mit dem Taschenrechner überprüfen!
Verstärkung, log – Taste, dann mal 10.
Auch andersherum üben!
dB durch 10, dann 10^x – Taste.

Dämpfung

Dämpfung ist negative Verstärkung.

Beispiel: Ein QRP-Sender strahlt 37 dBm ab.

Am Empfangsort erreichen Empfänger -123 dBm.

Die Gesamt-Pfaddämpfung beträgt 160 dB,
weil $37 - (-123) = 37 + 123 = 160$.

Die S-Stufen

- Die Empfänger zeigen Eingangssignalstärke von S1 (leise) bis S9 (laut) an.
- S9 ist für Kurzwelle definiert als $50 \mu\text{V}$ an 50Ω , das ergibt $5e-11 \text{ W} = 5e-8 \text{ mW}$ oder -73 dBm .
- Von jeder S-Stufe zur nächsten sind es 6 dB Unterschied.
- Von einer S-Stufe zur nächstniedrigeren verringert sich die Leistung auf $\frac{1}{4}$, zu nächsthöheren vervierfacht sich die Leistung.
- Bei lauten Signalen oberhalb von S9 sind Bezeichnungen wie z.B. $S9+20\text{dB}$ üblich.
- S1 entspricht -121 dBm ($-73 - 8 \cdot 6$).
Übliche KW-Empfänger geben noch Signale bei $-130 \dots -135 \text{ dBm}$ wieder, obwohl so viel Verstärkung wenig sinnvoll ist.

Was die BNetzA nicht „weiß“...

- Die meisten Empfänger zeigen die S-Stufen nicht sauber an. (Rühmliche Ausnahmen: Sündhaft teure Nobelgeräte und manche SDR.)
- Bei normalen RX bleibt die S-Meter-Anzeige unverändert auf S1, bis der tatsächliche Empfangspegel auf S3 oder S4 gestiegen ist.
- Die Anzeige bei S9 stimmt häufig einigermaßen.
- Dazwischen steigt der Anzeigewert deutlich schneller als die normgerechten „eine S-Stufe alle 6 dB“.

Alle Prüfungsfragen gehen von
normgerechtem S-Meter aus:
6 dB pro Stufe

Neues Thema: HF-Kabel

HF-Kabel

- Koaxkabel
asymmetrisch
typische Impedanzen 50-75 Ω
exzellente Abschirmung
eher hohe Dämpfung
- Bandleitung, „Hühnerleiter“
symmetrisch
typische Impedanzen 300-2000 Ω
geringe Dämpfung
weniger gute Abschirmung

Was ist eigentlich diese „Impedanz“?

Lege ich ein Signal an ein Kabel an, so dauert es eine gewisse Zeit, bis das Signal am anderen Ende des Kabels überhaupt ankommt.

(Typische Geschwindigkeit der Signalausbreitung 60-80% der Lichtgeschwindigkeit in Koaxkabeln und Bandleitungen, fast Lichtgeschwindigkeit bei Hühnerleitern. „Verkürzungsfaktor“)

Während dieser Zeit* verhält sich das Kabel wie ein Widerstand. Den Widerstandswert nennt man die **Impedanz** des Kabels. Sie ist (weitgehend) frequenzunabhängig.

* sogar während des Doppelten dieser Zeit.

Mantelwellen / Gleichtaktsignale

Bei einer Speiseleitung im Betrieb fließt an jeder Stelle im einen Leiter der Strom genau entgegengesetzt zu dem im anderen Leiter. Die von beiden erzeugten Magnetfelder heben sich genau auf. Deshalb strahlt die Leitung nicht.

Bei einer Speiseleitung im Betrieb ist an jeder Stelle die Spannung an dieser Stelle im einen Leiter genau entgegengesetzt zu der im anderen Leiter. Deshalb bleiben die elektrischen Felder im Kabel (Koax) oder auf die unmittelbare Umgebung des Kabels begrenzt (Bandleitung, Hühnerleiter) und die Leitung strahlt nicht.

Ist dieses Gleichgewicht gestört, spricht man von „Mantelwellen“ (Koaxkabel) oder „Gleichtaktsignalen“ (Hühnerleiter).

Mantelwellen / Gleichtaktsignale

Mantelwellen oder Gleichtaktsignale führen dazu, dass die Speiseleitung selbst strahlt, also zu einer Antenne wird. Das wird bei manchen Antennen in Kauf genommen und ist nicht immer schlimm.

Mögliche Nachteile:

- Mögliches Einstreuen störender Signale in elektronische Geräte (Früher Fernsehstörungen, heute Störungen von Computer-Aktivboxen, „HF im Shack“).
- Veränderung der Abstrahleigenschaften der Antenne (z.B. Dipole „schielen“).

Dipol direkt mit Koax speisen

Speist man ein Dipol direkt mit Koax, so bildet das Dipol mit dem Mantel des Koaxkabels einen Kondensator, über den Ströme eingekoppelt werden können. Da der Koax-Innenleiter durch den Mantel abgeschirmt ist, wird dort nichts eingekoppelt. So können Mantelwellen entstehen.

Mantelwellen führen zu Magnetfeldern. Wickelt man Koaxkabel auf einem Ferrit-Ringkern zur Spule, entsteht eine Mantelwellensperre.

Mantelwellensperren

Mantelwellen führen zu Magnetfeldern. Wickelt man Koaxkabel auf einem Ferrit-Ringkern zu einer Spule, so kann ein Magnetfeld nur entstehen, wenn viel Energie zugeführt wird. Dafür ist eine hohe Spannung nötig. Die Ringkernspule setzt den Mantelwellen einen hohen Widerstand entgegen. So entsteht eine Mantelwellensperre.

Bei den erwünschten Gegentaktsignalen gleichen sich Innenstrom und Außenstrom genau aus. In der Summe entsteht keinerlei Magnetfeld. Der Ringkern hat auf sie keinen Einfluss.

Neues Thema: Ausbreitung

Elektromagnetisches Spektrum

- ultraviolettes Licht
 - Licht von blau nach rot
 - Infrarot
 - ...
 - Mikrowellen
 - UHF
 - VHF
 - Kurzwelle
 - Mittelwelle
 - Langwelle
- ... sind vom physikalischen Grundprinzip her identisch, unterscheiden sich aber in Frequenz und Wellenlänge (500 nm für Licht, 2 km für Langwellen).
- Bei der Ausbreitung von Funkwellen gibt es Gemeinsamkeiten und Unterschiede zum Licht.
- Zum Beispiel passieren sichtbares Licht und Funkwellen Glas-Fensterscheiben. Wenn die Fensterscheibe aber dünn metallbedampft ist (heute üblich), werden Funkwellen stark gedämpft.

Ausbreitung bei Sichtverbindung

Sozusagen die „natürliche“ Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen.

Hat man direkte Sichtverbindung, funktionieren Funkwellen über große Entfernungen, relativ unabhängig von der Wellenlänge.

Z.B. reichen auf 2m ein paar Hundert mW für Satellitenverbindungen über viele 100 km.

Die beiden Gegner weitreichender Funkverbindungen

- Die Erdkrümmung
(darum geht es im Folgenden).
- Unerwünschte Signale
(„Rauschen“, Störungen, Gewitter, ...).

Überhorizont bei VHF/UHF

2m und 70cm werden durch Luftdruckunterschiede, Feuchtigkeitsunterschiede u.ä. zur Erde hin gebogen.

Es reicht nicht, um die Erdkrümmung zu kompensieren. Aber durch solche Effekte wird der Funkhorizont über den optischen hinaus vergrößert.

Hausnummer: + 15%.

Tropo VHF / UHF

Ruhige Hochdruckwetterlagen? Smog?
Inversionswetterlage? (Häufig im Dezember?)

Dabei kommt es auf 2m und manchmal sogar auf
70cm zu „Fata Morgana“ Überreichweiten:
Spiegelung der Wellen an Inversionsschichten.

Große Reichweiten (etliche 100 km), manchmal
sogar mit kleinen Handfunkgeräten.

Bodenwelle

Die Wellen dringen etwas in den Erdboden ein, erzeugen dort Ströme. Die führen dazu, dass die Welle der Erdkrümmung folgt.

Das funktioniert nur bei vertikaler Polarisation.

Kurze Wellen dringen nicht tief in den Boden ein. Daher ist die Bodenwelle nur im LW-Bereich und MW-Bereich für einige 100 km gut.

Auf 160 m und 80 m reicht die Bodenwelle noch über den Horizont hinaus, auf kürzeren Wellen spielt sie keine Rolle mehr.

Hohe Reflektoren – was es so gibt

- Signalumsetzer auf Türmen, Hochhäusern, Bergen („Relais“)
- Signalumsetzer auf Satelliten
- Reflektionen an Flugzeugen
- Reflektionen an der ISS
- Reflektionen an durch Sternschnuppen ionisierten Luftschläuchen („Meteor scatter“)
- Erde-Mond-Erde

Normaler Kurzwellenbetrieb

Die Sonne ionisiert sehr hohe Luftschichten durch „Sonnenwind“.

Die entstehende „Ionosphäre“ reflektiert Funkwellen.

Die „Troposphäre“ in der sich das Wetter abspielt, reicht bis ca. 8 km. Die Ionosphäre bis 300, maximal 500 km Höhe. (Da oben fliegen schon Satelliten und ISS herum!)

Der Sonnenwind unterliegt einem 11jährigen Zyklus. (Wir sind zur Zeit leider auf der Talfahrt.)

Die F2-Schicht

- Ganz oben: Die F2-Schicht ist z.B. 300 km hoch.
- Sie reflektiert Wellen unterhalb einer „maximal usable frequency“ (MUF). Was hochfrequenter ist, sticht durch und verschwindet im Weltraum.

Die „tote Zone“

- Die MUF hängt sehr vom Winkel ab. Hochfrequente Signale werden noch reflektiert, wenn sie nur genügend schräg einfallen. Die MUF für senkrecht von unten kommende Signale ist wesentlich niedriger.
- Hochfrequente Signale sind (jenseits der kurzen Bodenwellenreichweite) daher erst in gehöriger Entfernung wieder zu empfangen.
- Den Bereich davor nennt man „tote Zone“.
- Ein KW-QSO von Berlin zum Mittelmeer ist oft einfacher als eins zur deutschen Ostseeküste.

Die F2-Schicht nachts

- Nachts landet kein Sonnenwind in der Ionosphäre. Es bilden sich keine neuen Ionen. Die vorhandenen rekombinieren.
- Zu Beginn der Nacht kühlt die F2-Schicht ab, fällt zusammen, die Ionenkonzentration steigt und so kann die MUF nach Sonnenuntergang zunächst ansteigen.
- Im Laufe der Nacht fällt die MUF immer weiter ab. Ein Band nach dem anderen „geht zu“, von den hochfrequenten angefangen.

Die F1-Schicht

- Etwas unterhalb der F2-Schicht.
- Nicht sehr ausgeprägt, trägt zur Reflektion relativ wenig bei.
- In der Nacht vereinen sich beide, dann gibt es nur noch die F2-Schicht (manche nennen sie dann auch schlicht die „F-Schicht“).

Die D-Schicht

- D wie „Dämpfung“ und „doof“. Sie reflektiert nicht, sondern dämpft.
- Niedrigste Schicht, nur 70-90 km hoch. Was zu den E und F-Schichten will, muss hier durch.
- Hohe Frequenzen (10 m bis 30 m) werden normalerweise wenig bedämpft, 40 m schon mehr, 80 noch mehr, 160 noch mehr.
- Dämpft um so mehr, je schräger die Wellen auftreffen.
- Verschwindet glücklicherweise sehr schnell nach Sonnenuntergang.

Mögel-Dellinger Effekt

Ist die Sonne extrem aktiv („Sonnensturm“, „Flare“), so wird die D-Schicht derart stark, dass sie die gesamte Kurzwelle wirkungsvoll dämpft.

Dann geht für den Moment gar nichts mehr, bis der Sonnensturm nachlässt und die D-Schicht sich dann sehr schnell wieder zurück bildet.

(Nach Aurora Ausschau halten!)

40 – 160 m: DX nur Nachts.

- Für Weitverbindungen braucht man flache Abstrahlwinkel. Die F2-Schicht soll flach getroffen werden, um weit zu reflektieren.
- Die flachen Abstrahlwinkel bewirken tagsüber lange Wege durch die D-Schicht. Das ergibt so viel Dämpfung, dass die DX-Ausbreitung nicht funktioniert.
- Andererseits haben 160 und 80 m tagsüber meist keine tote Zone, und 40 m oft auch nicht, da die F2-Schicht stark genug ist, auch senkrechte aufsteigende Wellen zu reflektieren.

Greyline

Besonders gut funktioniert DX oft unter Greyline-Bedingungen: Zwischen Standorten, die sich beide gerade in der Dämmerung befinden.

Dann ist die D-Schicht noch nicht oder nicht mehr aktiv, aber F2 noch oder schon wieder vorhanden.

Die E-Schicht

Sie liegt in etwas über 100 km Höhe zwischen D- und F-Schicht. Sie verschwindet ähnlich der D-Schicht kurz nach Sonnenuntergang.

Sie ist im Sommer besonders ausgeprägt.

Dann ist sie die Primadonna: Manchmal gibt es, vor allem im Sommer, lokale Wolken extrem hoher Ionisation. Sie ermöglicht dann 10m-Verbindungen bis etwa 2000 km („short skip“), auch wenn die F2-MUF für 10m zu niedrig liegt.

Die sporadische E-Schicht

Von Mai bis etwa September tritt gelegentlich die „sporadische E-Schicht“ auf (Es).

Die E-Schicht bildet dann für einige Minuten bis Stunden kleine Wolken extrem starker Ionisation. Die MUF steigt bis ins 2m-Band hinauf, es treten entsprechende Überreichweiten von 1000...2000 km auf.

Da die Wolken klein sind, sind Verbindungen nur räumlich begrenzt möglich.

Aurora

Ebenfalls zur E-Schicht gehört Nordlicht / Aurora.

Die von der Sonne aktivierten Stellen der Atmosphäre (vor allem um die Pole herum) sind ionisiert und können Funkwellen reflektieren (ähnlich Es).

Da die ionisierte Wolke räumlich meist nicht gut definiert ist, entsteht bei der Reflektion ein verbrummtes, flatterndes Signal.

Informationsübertragung per Sprache oder Digimodes funktioniert dann nicht gut, wohl aber CW.