

AfuTUB-Kurs

Technik Klasse E 10: Dezibel, Dämpfung, Kabel

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und
Adapter

Referenzen

DL0XK

Amateurfunk Forschungs Gruppe der TU Kaiserslautern

<https://www.amateurfunk.uni-kl.de/home/>



This work is licensed under the *Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 License*.

Amateurfunkgruppe der Technische Universität Kaiserslautern, DL0XK, Stand: Thu May 9 16:08:10 2019 +0200
basierend auf dem Kurs der Amateurfunkgruppe der Technische Universität Berlin (AfuTUB), DKØTU

Einschub: Dezibel einfach erklärt

Große und kleine Leistungen

Wir haben es im Amateurfunk mit 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.

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und Adapter

Referenzen

Einschub: Dezibel einfach erklärt

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 (Antennen-eingang RX)	0,000 000 000 001	-12

Von "mW" als Basis auszugehen ist willkürlich, aber in der Funktechnik üblich.

Einschub: Dezibel einfach erklärt

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 die Nullen von mW-Zahlen zählt.

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und
Adapter

Referenzen

Einschub: Dezibel einfach erklärt

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 hinter dem "dB" noch ein "W", wenn man Nullen von W-Zahlen zählt.

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und
Adapter

Referenzen

Einschub: Dezibel einfach erklärt

“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

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und

Adapter

Referenzen

Bei Verstärkungen haben wir dasselbe Problem mit vielen Nullen

Empfänger

Eingangssignal: 0,000 000 000 001 mW

Ausgangssignal: 100mW

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.

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und

Adapter

Referenzen

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:

$$50 - 10 = 40$$

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

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und
Adapter

Referenzen

Dämpfungsfaktor

$$D = \frac{P_{in}}{P_{out}}$$

- Dämpfungsfaktor D gibt Verhältnis zwischen Eingangsleistung P_{in} und der Ausgangsleistung P_{out} .

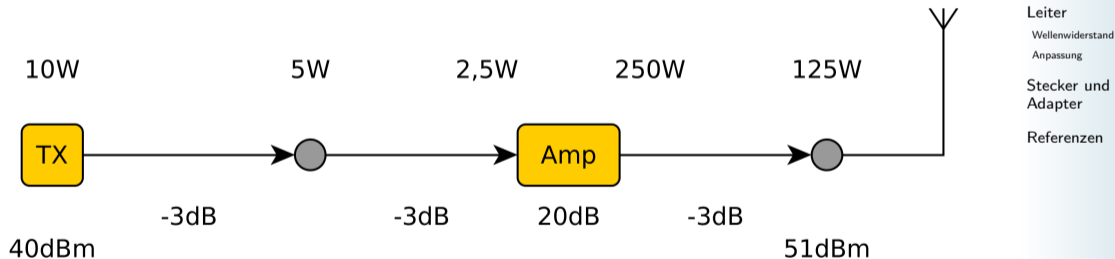


Abb. 1: Übertragungswege einer Funkstation

Dämpfungsmaß dB

- Dämpfungsmaß ist die Logarithmierung des Dämpfungsfaktors
- Einheit Bel \rightarrow dB
- durch Logarithmusgesetze: Multiplikation \rightarrow Addition

Dämpfungsmaß

$$a = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right) \text{ dB}$$

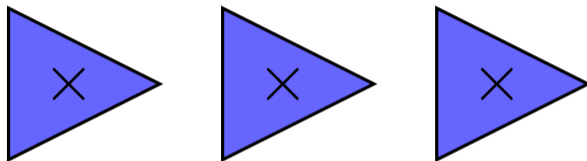
Verstärkung in dB

- generell wird eher mit Verstärkung und nicht mit Dämpfung gerechnet
- Dämpfung ist eine negative Verstärkung

Verstärkung

$$g = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) \text{ dB}$$

Verstärkungen verketteten



$\times 100$

$\times 10$

$\times 1000$

Gesamtverstärkung: 1 000 000 (multipliziert)

$+20dB$

$+10dB$

$+30dB$

Gesamtverstärkung: 60dB (addiert)

“Krumme” Bel-Werte¹

- 10 Verstärker je $\times 2$ ergeben zusammen $1024 \approx 30dB$.
- Also muss die passende dB-Zahl für 2 etwa 3dB sein.
- Zwei Verstärker je $\times \sqrt{10}$ ergeben zusammen 10, also genau 10 dB.
- Die passende dB-Zahl für $\sqrt{10}$ muss deshalb *genau* 5 dB sein.
- Analog $\sqrt{\sqrt{10}} \Rightarrow 2,5dB$, $\sqrt{\sqrt{\sqrt{10}}} \Rightarrow 1,25dB$ 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 sind.

¹für mathematisch Interessierte

Verstärkung in dB

dB	≈ Leistungsfaktor
0	1
1,5	$\sqrt{2} = 1,41$
2,15	1,64
3	2
5	$\sqrt{10} = 3,16$
6	4
10	10
20	100

Taschenrechner

Verstärkung → *log*-Taste → ×10dB → ÷10 → 10^x-Taste

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und
Adapter

Referenzen

Spannungsdämpfungsmaß

Spannungsdämpfungsmaß

$$a_U = 20 \cdot \log\left(\frac{U_1}{U_2}\right) \text{ dB}$$

Wird in der A-Technik näher erläutert.

AfuTUB-Kurs

Technik E 10

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und
Adapter

Referenzen

Spannungsfaktor & Leistungsfaktor

dB	a_U
6dB	2
12dB	4
20dB	10

dB	a_P
3dB	2
6dB	4
10dB	10

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und

Adapter

Referenzen

S-Stufen



- eine S-Stufe entspricht 6dB → Faktor?
- Wird beim RST-System verwendet
- gibt einen bestimmten Spannungswert an einem 50Ω Widerstand an
- Kurzwelle: $S9 = 50\mu\text{V}$ bei 50Ω
- UKW: $S9 = 5\mu\text{V}$ bei 50Ω

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und

Adapter

Referenzen

Pegel

- Pegel ist auf einen Grundwert P_0 bezogen
- Grundwert wird auch Normal oder Nullwert genannt

Leistungspegel

$$L_P = 10 \lg \frac{P}{P_0} \text{ dBx}$$

<i>dBm</i>	$P_0 = 1\text{mW}$
20dBm	100mW
10dBm	10mW
0dBm	1mW
-10dBm	0,1mW

<i>dBW</i>	$P_0 = 1\text{W}$
20dBW	100W
10dBW	10W
0dBW	1W
-10dBW	0,1W

Hochfrequenzleitungen

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

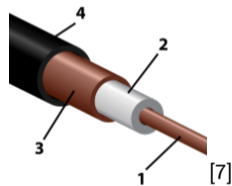
Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und
Adapter

Referenzen



Hochfrequenzleitungen



AfuTUB-Kurs

Technik E 10

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und

Adapter

Referenzen

Wellenwiderstand

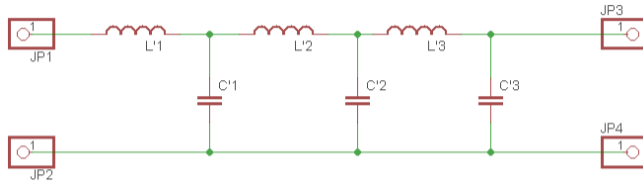


Abb. 2: Ersatzschaltbild

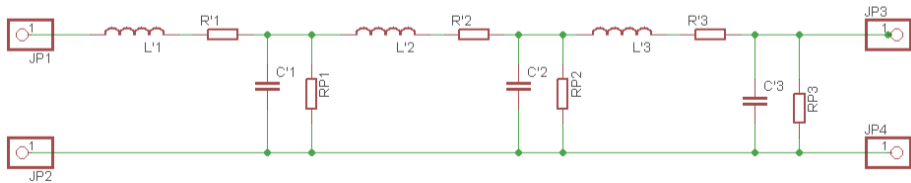


Abb. 3: Genaues Ersatzschaltbild eines Koaxialkabels

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und

Adapter

Referenzen

Wellenwiderstand

Wellenwiderstand

$$Z_W = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

- Paralleldrahtleitungen: $Z_W = 150\Omega \dots 600\Omega$
- Koaxialleitungen: $Z_W = 50\Omega \dots 95\Omega$ – verbreitet:
 - 50Ω !
 - 60Ω
 - 75Ω
- Wellenwiderstand entspricht dem Abschlusswiderstand einer Leitung, bei dem keine stehenden Wellen auftreten \rightarrow SWR

AfuTUB-Kurs

Technik E 10

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und

Adapter

Referenzen

Dämpfungsberechnung

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

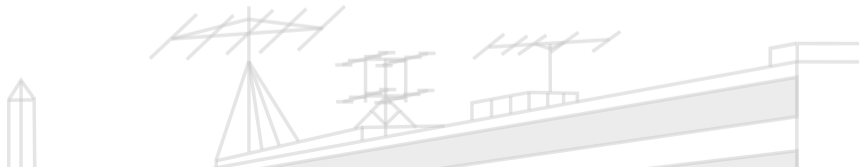
Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und
Adapter

Referenzen

Formelsammlung, Diagramm auf der letzten Seite.



Gemeinsame Rechnung (optional)

AfuTUB-Kurs

Technik E 10

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und
Adapter

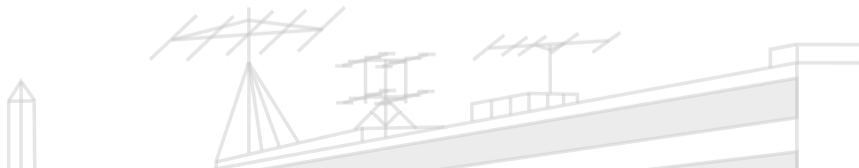
Referenzen

Übung 1

Kabel RG58

Länge 10 m

Frequenz 145 MHz



Anpassung

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

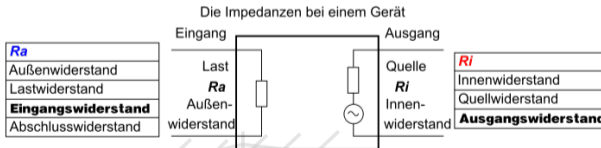
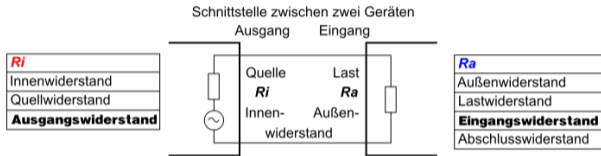
Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und

Adapter

Referenzen

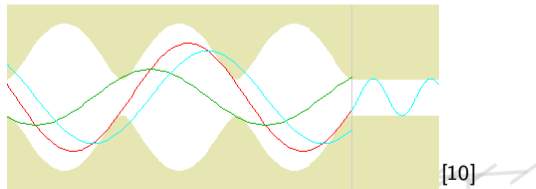


[9]

Stehwellenverhältnis

- ist ein Maß für die Anpassung
- ist das Verhältnis von vorlaufender zu zurücklaufender Welle

$$SWR = \frac{U_{\text{vorlaufend}} + U_{\text{ruecklaufend}}}{U_{\text{vorlaufend}} - U_{\text{ruecklaufend}}}$$



Symmetrierung

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

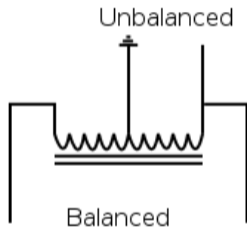
Leiter

Wellenwiderstand

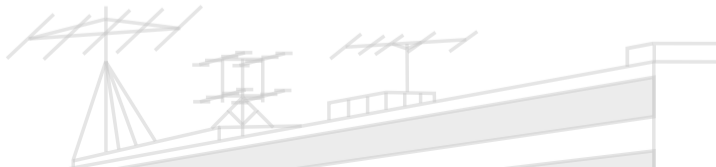
Anpassung

Stecker und
Adapter

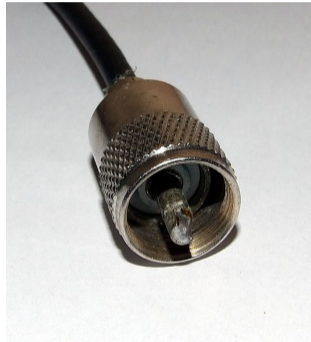
Referenzen



- Wird bei Verbindungen zwischen symmetrischen und unsymmetrischen Punkten verwendet
- Koaxialkabel ist unsymmetrisch
- Paralleldraht ist symmetrisch
- Alle Dipole sind symmetrisch
- [11] • Alle Antennen die gegen Erde erregt werden sind unsymmetrisch



Stecker und Adapter



[12]

- UHF im Namen, aber ungeeignet dafür
- Kurzwelle, auch 2-Meter-Band
- “geschirmter Bananenstecker”

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und
Adapter

Referenzen

Stecker und Adapter

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

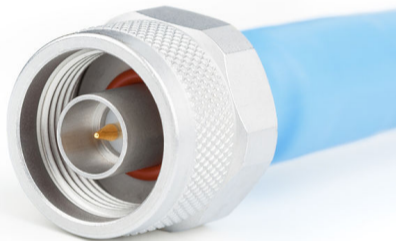
Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und
Adapter

Referenzen



[13]

- N
- HF ... 70-cm und höher

Stecker und Adapter



[14]

- BNC
- HF ... 70-cm und höher

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und

Adapter

Referenzen

Stecker und Adapter



[15]

- SMA
- VHF-/UHF-Handfunkgeräte

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und
Adapter

Referenzen

Referenzen/Links

- [1] Moltrecht E10: <https://www.darc.de/der-club/referate/ajw/lehrgang-te/e10/>
- [2] Anschauliche Erklärung zu Dezibel:
<http://www.elektronik-kompodium.de/sites/grd/0304011.htm>
- [3] Animierte Stehende Welle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/75/Standing_wave_SWR_4_%28forward%2C_reflected%29_open.gif
- [4] Differentielle Signalübertragung:
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/95/DiffSignalUebertragung.png>

Abbildungen:

- [5] S-Meter: (CC BY-NC) <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:S-Meter.jpg>
- [6] Paralleldrahtleitung: (CC BY-NC) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Twin-lead_cable_dimension.svg
- [7] Koaxialkabel: (CC BY) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Coaxial_cable_cutaway_new.svg
- [8] Hohlleiter: (CC BY-NC) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elli_holl.jpg
- [9] Anpassung: (CC BY-NC) <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EingangswiderstandAusgangswiderstandA.svg>

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und
Adapter

Referenzen

- [10] Stehwelle: (CC BY) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Standing_wave_SWR_4_\(forward,_reflected\)_open.gif](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Standing_wave_SWR_4_(forward,_reflected)_open.gif)
- [11] Balun: (CC BY) <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cdbalun2.svg>
- [12] UHF/PL-Stecker: (CC BY) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:UHF_PL_Connector.jpg
- [13] N-Stecker: (CC BY) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Male_type_N_connector.jpg
- [14] BNC-Stecker: (CC BY) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BNC_50_75_Ohm.jpg
- [15] RP-SMA-Stecker: (CC BY) https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BNC_50_75_Ohm.jpg

