

# AfuTUB-Kurs

Technik Klasse E 10:  
Dezibel, Dämpfung & Kabel

DK0TU

Amateurfunkgruppe der TU Berlin

<https://dk0tu.de>

WiSe 2017/18 – SoSe 2018



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

Amateurfunkgruppe der Technische Universität Berlin (AfuTUB), DKØTU, Stand: Mon Apr 9 14:02:14 2018 +0200

# 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 (Antenneneingang RX)	0,000 000 000 001	-12

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

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und  
Adapter

Referenzen

## 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 (Antennen- eingang 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

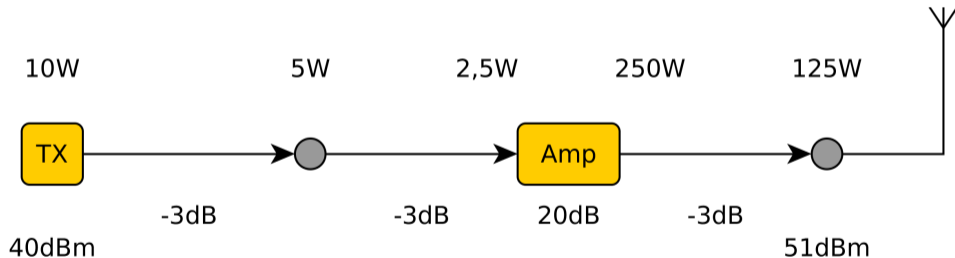
Referenzen



## Dämpfungsfaktor

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

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



Übertragungswege einer Funkstation

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und  
Adapter

Referenzen

# Dämpfungsmaß dB

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

## Dämpfungsmaß

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

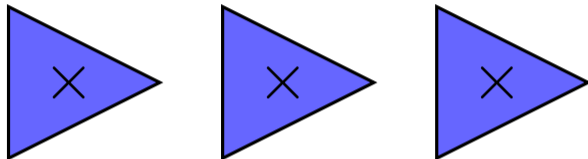
# Verstärkung in dB

- 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)

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und  
Adapter

Referenzen

# “Krumme” Bel-Werte<sup>1</sup>

- 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.

---

<sup>1</sup>für mathematisch Interessierte

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und  
Adapter

Referenzen

## 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 → ×10

dB → ÷10 → 10<sup>x</sup>-Taste

# Spannungsdämpfungsmaß

## Spannungsdämpfungsmaß

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

Wird in der A-Technik näher erläutert.

## Spannungsfaktor &amp; Leistungsfaktor

dB	$a_U$
<b>6dB</b>	<b>2</b>
12dB	4
<b>20dB</b>	<b>10</b>

dB	$a_P$
<b>3dB</b>	<b>2</b>
6dB	4
<b>10dB</b>	<b>10</b>



## S-Stufen



[5]

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

# 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

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

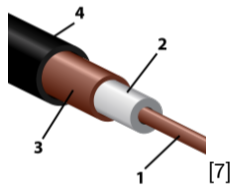
Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und  
Adapter

Referenzen

# Hochfrequenzleitungen



AfuTUB-Kurs

DK0TU

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und  
Adapter

Referenzen

# Hochfrequenzleitungen



[8]

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

**Leiter**

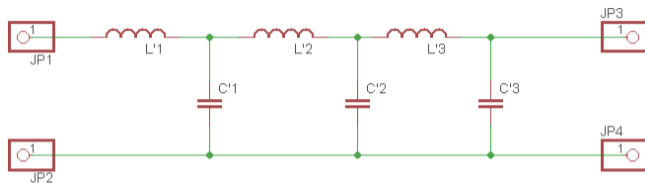
Wellenwiderstand

Anpassung

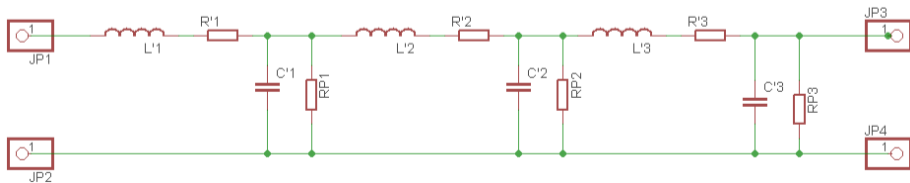
Stecker und  
Adapter

Referenzen

## Wellenwiderstand



Ersatzschaltbild



Genaueres Ersatzschaltbild eines Koaxialkabels

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und

Adapter

Referenzen

# Wellenwiderstand

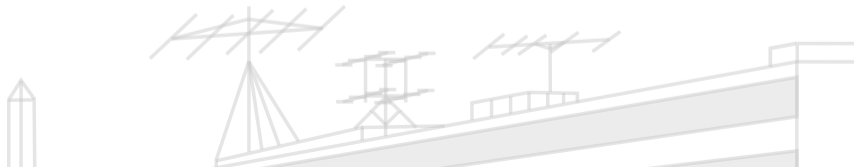
## Wellenwiderstand

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

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

# Dämpfungsberechnung

Formelsammlung, Diagramm auf der letzten Seite.



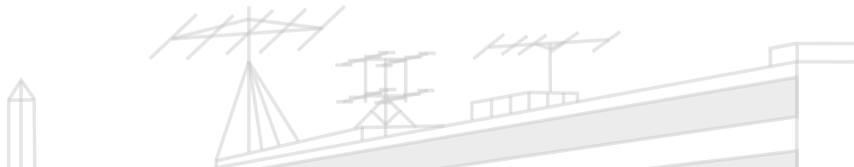
# Gemeinsame Rechnung (optional)

## Übung 1

Kabel RG58

Länge 10 m

Frequenz 145 MHz





## Anpassung

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

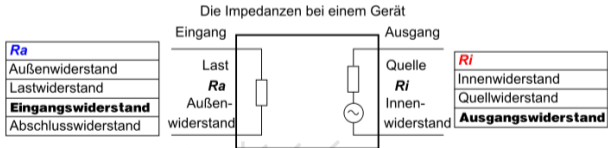
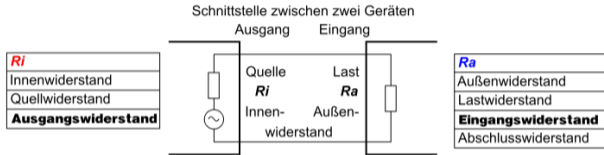
Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und

Adapter

Referenzen

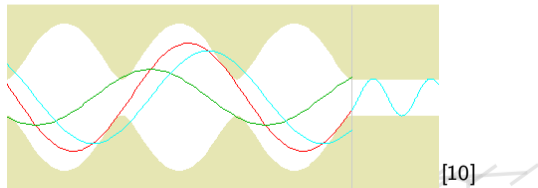


[9]

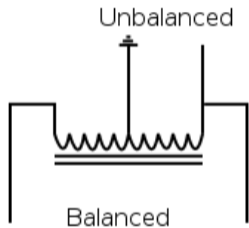
# Stehwellenverhältnis

- 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



- 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

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

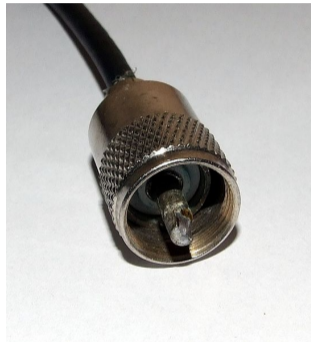
Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und Adapter

Referenzen

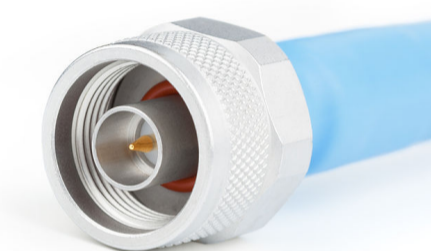
# Stecker und Adapter



[12]

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

# Stecker und Adapter



[13]

- N
- HF ... 70-cm und höher

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und  
Adapter

Referenzen

# 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](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](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](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](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](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](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](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BNC_50_75_Ohm.jpg)
- [15] RP-SMA-Stecker: (CC PD) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BNC\\_50\\_75\\_Ohm.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BNC_50_75_Ohm.jpg)

