

# 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), DK0TU, Stand: Fri Jan 12 13:39:17 2018 +0100

# 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

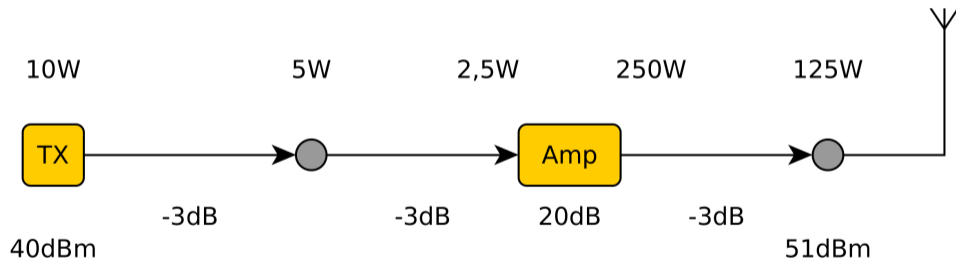
Referenzen



## 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

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

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und  
Adapter

Referenzen

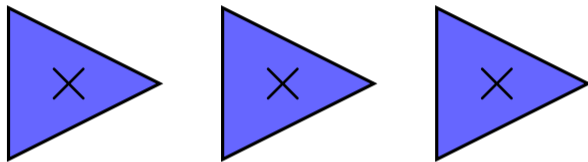
# Verstärkung in dB

- 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   | $\approx$ 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  $\rightarrow$  *log*-Taste  $\rightarrow$   $\times 10$

dB  $\rightarrow$   $\div 10$   $\rightarrow$   $10^x$ -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

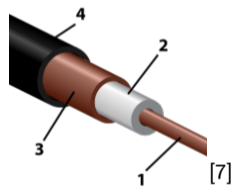
Wellenwiderstand

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**

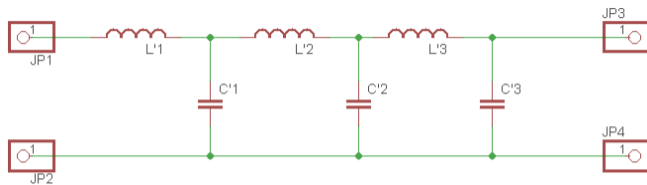
Wellenwiderstand

Anpassung

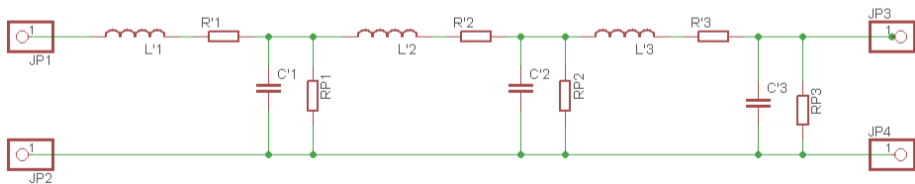
Stecker und  
Adapter

Referenzen

## Wellenwiderstand



Ersatzschaltbild



Genaueres Ersatzschaltbild eines Koaxialkabels

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und

Adapter

Referenzen

# Wellenwiderstand

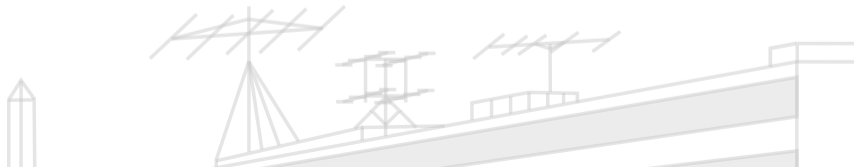
## Wellenwiderstand

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

- 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.



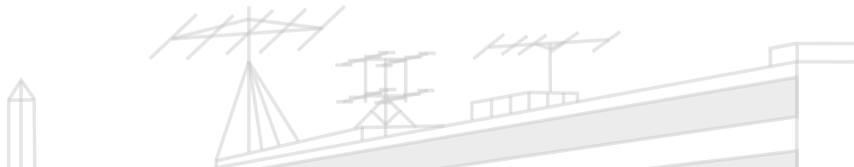
# Gemeinsame Rechnung (optional)

## Übung 1

Kabel RG58

Länge 10 m

Frequenz 145 MHz





## Anpassung

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

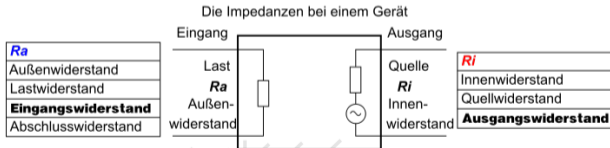
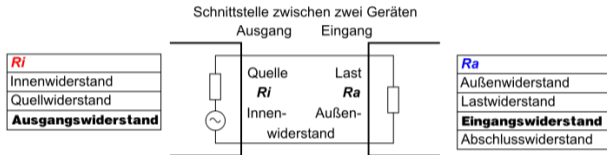
Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und

Adapter

Referenzen

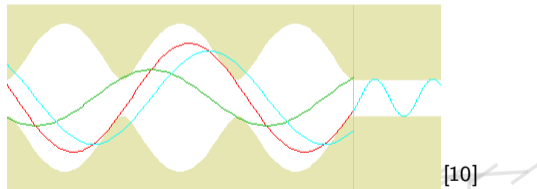


[9]

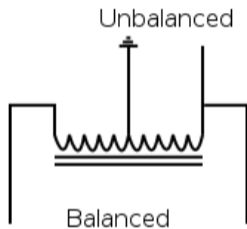
# Stehwellenverhältnis

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

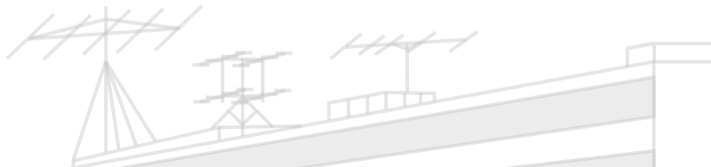
$$SWR = \frac{U_{\text{vorlaufend}} + U_{\text{ruecklaufend}}}{U_{\text{vorlaufend}} - U_{\text{ruecklaufend}}}$$



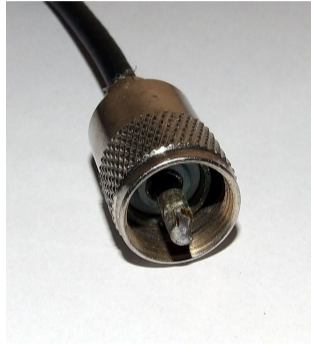
# Symmetrierung



- 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



# Stecker und Adapter



[12]

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

Dezibel

Dämpfung

S-Stufen

Pegel

Leiter

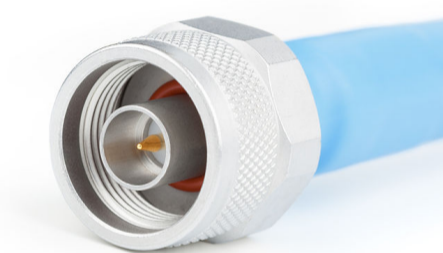
Wellenwiderstand

Anpassung

Stecker und  
Adapter

Referenzen

# Stecker und Adapter



[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](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) <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:S-Meter.jpg>
- [6] Paralleldrahtleitung: (CC BY) [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) [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elli\\_holl.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elli_holl.jpg)
- [9] Anpassung: (CC PD) <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)

