

# AfuTUB-Kurs

## Technik Klasse A 02: Der Widerstand und seine Schaltungsarten

DK0TU  
Amateurfunkgruppe der TU Berlin

<https://dk0tu.de>

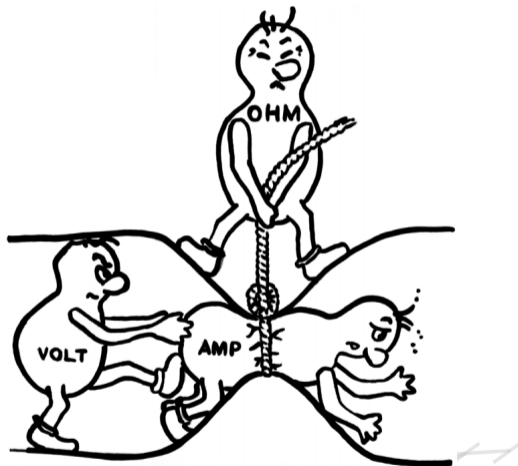
WiSe 2017/18 – SoSe 2018




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

Amateurfunkgruppe der Technische Universität Berlin (AfuTUB), DKØTU, Stand: Sun Apr 15 19:17:13 2018 +0200

# Einleitung / Widerstand



Strom, Spannung und Widerstand (von TU Wien )

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung

Parallelschaltung

Ersatzwiderstand

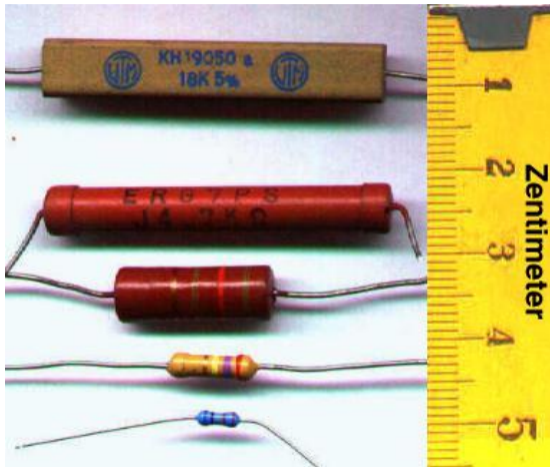
Spannungsteiler





Übung

Referenzen

Literatur

# Einleitung / Widerstand



Widerstände (von Honina    )

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung

Parallelschaltung

Ersatzwiderstand

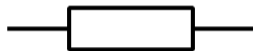
Spannungsteiler

Übung

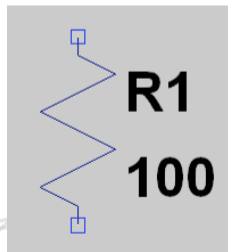
Referenzen

Literatur

# Einleitung / Widerstand



Schaltzeichen für elektrischen Widerstand nach DIN EN 60617 (von Markus Kuhn [↗](#) [©](#) [®](#))



aus LTspice

# Aufbau von Widerständen

## Kohleschichtwiderstände:

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung

Parallelschaltung

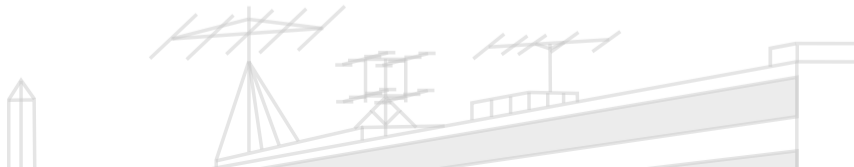
Ersatzwiderstand

Spannungsteiler

Übung

Referenzen

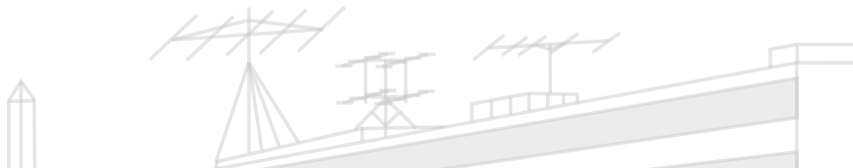
Literatur



# Aufbau von Widerständen

## Kohleschichtwiderstände:

- Günstig in der Herstellung
- Hohe Toleranzen



# Aufbau von Widerständen

## Kohleschichtwiderstände:

- Günstig in der Herstellung
- Hohe Toleranzen

## Metallschichtwiderstände:

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

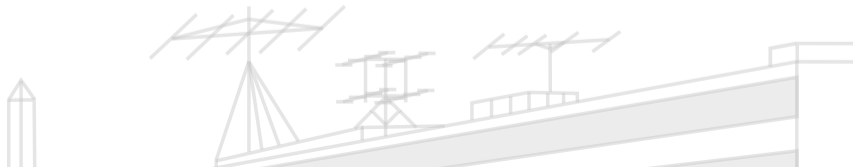
Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
WiderständenReihenschaltung  
Parallelschaltung  
Ersatzwiderstand  
Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur



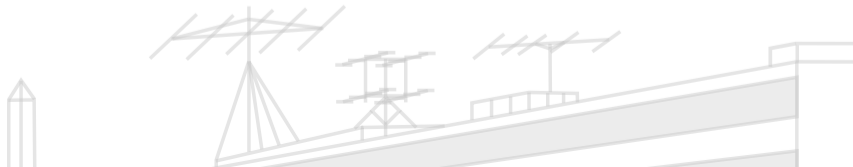
# Aufbau von Widerständen

## Kohleschichtwiderstände:

- Günstig in der Herstellung
- Hohe Toleranzen

## Metallschichtwiderstände:

- Sehr präzise





# Aufbau von Widerständen

## Kohleschichtwiderstände:

- Günstig in der Herstellung
- Hohe Toleranzen

## Metallschichtwiderstände:

- Sehr präzise

## Metalloxidwiderstände:

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

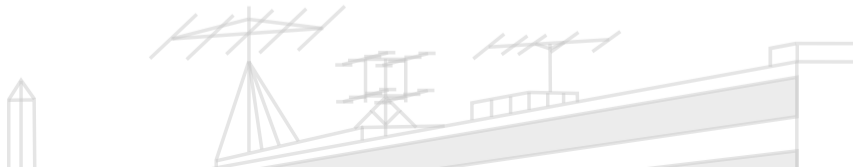
Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
WiderständenReihenschaltung  
Parallelschaltung  
Ersatzwiderstand  
Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur



# Aufbau von Widerständen

## Kohleschichtwiderstände:

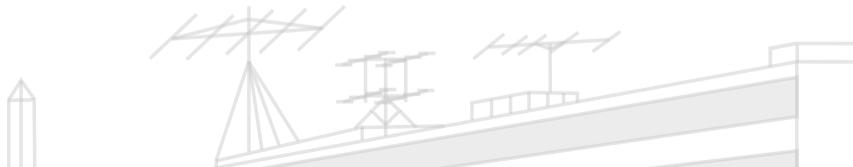
- Günstig in der Herstellung
- Hohe Toleranzen

## Metallschichtwiderstände:

- Sehr präzise

## Metalloxidwiderstände:

- HF tauglich



# Aufbau von Widerständen

## Kohleschichtwiderstände:

- Günstig in der Herstellung
- Hohe Toleranzen

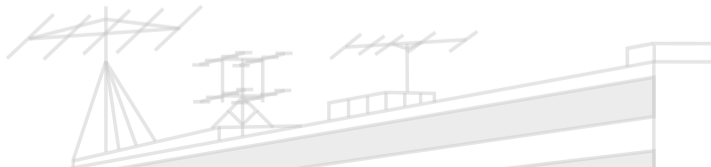
## Metallschichtwiderstände:

- Sehr präzise

## Metalloxidwiderstände:

- HF tauglich

## Drahtwiderstände:



# Aufbau von Widerständen

## Kohleschichtwiderstände:

- Günstig in der Herstellung
- Hohe Toleranzen

## Metallschichtwiderstände:

- Sehr präzise

## Metalloxidwiderstände:

- HF tauglich

## Drahtwiderstände:

- Leistungswiderstände für NF

## Leitende Materialien

Material	Spezifischer Widerstand $\rho$ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
Silber	$1,587 \cdot 10^{-2}$
Kupfer	$1,721 \cdot 10^{-2}$
Gold	$2,214 \cdot 10^{-2}$
Aluminium	$2,65 \cdot 10^{-2}$
Zinn	$1,15 \cdot 10^{-1}$
Blei	$2,08 \cdot 10^{-1}$
Quecksilber	$9,412 \cdot 10^{-1}$
Germanium	← <b>Halbleiter</b> $4,6 \cdot 10^5$
Porzellan	← <b>Isolator</b> $1 \cdot 10^{18}$

## Leitende Materialien

Material	Spezifischer Widerstand $\rho$ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
Silber	$1,587 \cdot 10^{-2}$
Kupfer	$1,721 \cdot 10^{-2}$
Gold	$2,214 \cdot 10^{-2}$
Aluminium	$2,65 \cdot 10^{-2}$
Zinn	$1,15 \cdot 10^{-1}$
Blei	$2,08 \cdot 10^{-1}$
Quecksilber	$9,412 \cdot 10^{-1}$
Germanium	$4,6 \cdot 10^5$
Porzellan	$1 \cdot 10^{18}$

← **Halbleiter**← **Isolator**

## Leitende Materialien

Material	Spezifischer Widerstand $\rho$ in $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$
Silber	$1,587 \cdot 10^{-2}$
Kupfer	$1,721 \cdot 10^{-2}$
Gold	$2,214 \cdot 10^{-2}$
Aluminium	$2,65 \cdot 10^{-2}$
Zinn	$1,15 \cdot 10^{-1}$
Blei	$2,08 \cdot 10^{-1}$
Quecksilber	$9,412 \cdot 10^{-1}$
Germanium	$4,6 \cdot 10^5$
Porzellan	$1 \cdot 10^{18}$

← **Halbleiter**← **Isolator**Berechnung des  
Widerstands

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$$

# der Skin-Effekt

- Tritt bei höherfrequenter Wechselspannung auf
- Verdrängt die Elektronen aus dem Leitungsinnenen an die Leiteroberfläche
- Dadurch steigt der Widerstand im Leiter

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung

Parallelschaltung

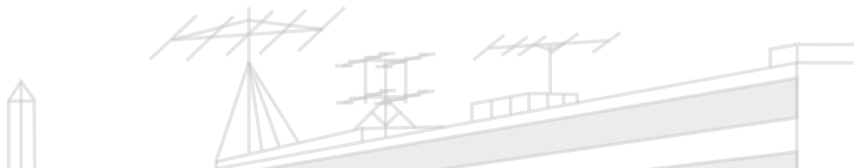
Ersatzwiderstand

Spannungsteiler

Übung

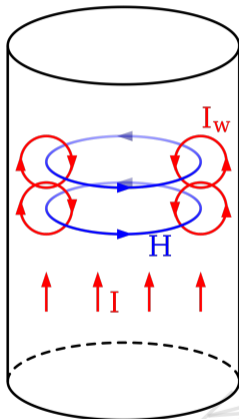
Referenzen

Literatur





# Ursachen des Skin-Effektes



- Ursache des Skin-Effektes ist das magnetische Feld
- Es erzeugt Wirbelströme im Innern des Leiters
- Diese sind dem Erzeugerstrom entgegengerichtet
- Das wechselnde Magnetfeld erzeugt im Leiter eine höhere Gegenspannung als am Rand

Überlagerung von Wechsel- und  
Wirbelströmen (von Biezl ⚡ Ⓢ Ⓜ)

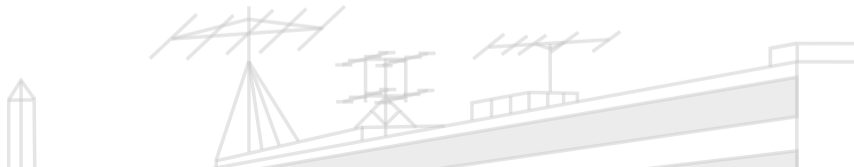
# Folgen & Gegenmaßnahmen

## Folgen:

- Der Leiterquerschnitt sinkt
- Die Impedanz steigt

## Gegenmaßnahmen

- Verwendung von Hohlleitern
- Mehrere voneinander isolierte Drähte nutzen
- Oberfläche versilbern



# Ohmsches Gesetz

- **Erinnert ihr euch an das ohmsche Dreieck?**

AfUTUB-Kurs

DK0TU

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

**Ohmsches Gesetz**Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung

Parallelschaltung

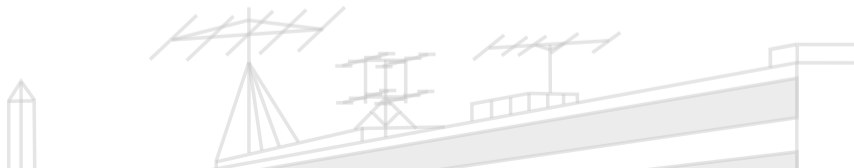
Ersatzwiderstand

Spannungsteiler

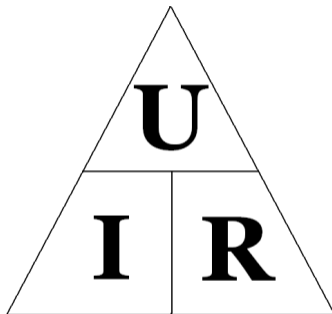
Übung

Referenzen

Literatur



# Ohmsches Gesetz



Ohmsches Dreieck (von Eirik )

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung

Parallelschaltung

Ersatzwiderstand

Spannungsteiler

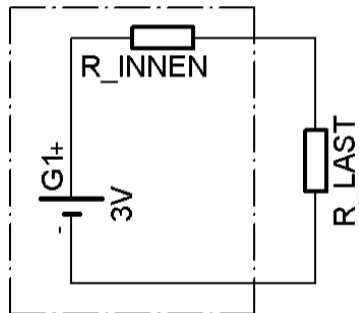
Übung

Referenzen

Literatur

# Der Innenwiderstand

- Oftmals bemerken wir einen Spannungsabfall zwischen einer Maschine im Leerlauf und der gleichen Maschine bei Belastung  
→ Innenwiderstand der Maschine



Innenwiderstand einer Batterie

# der Innenwiderstand

- Um den Innenwiderstand zu ermitteln nutzen wir wieder das ohmsche Gesetz
- Dabei gilt es zu beachten, dass diesmal die Differenzen der Spannungen und des Stromes zwischen dem Leerlauf und dem belasteten Fall verrechnet werden
- Es gilt:

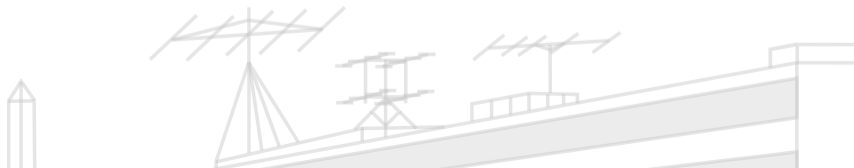
## Innenwiderstand

$$R_{innen} = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

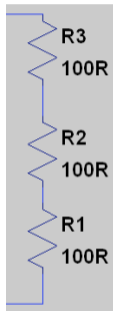
- Um den Wert nicht zu sehr zu verfälschen sollten **Spannungsquellen einen niedrigen** und **Stromquellen einen hohen Innenwiderstand** besitzen

# Anpassung

- Leistungsanpassung:  $R_L = R_i$
- Spannungsanpassung:  $R_L \gg R_i$
- Stromanpassung:  $R_L \ll R_i$



# Reihenschaltung



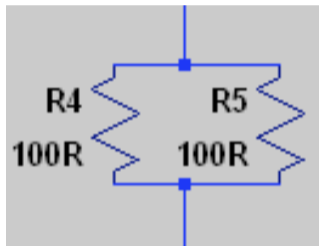
aus LTspice

## Berechnung

$$R_{\text{gesamt}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$



# Parallelschaltung



aus LTspice

## Berechnung

$$\frac{1}{R_{\text{gesamt}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung

Parallelschaltung

Ersatzwiderstand

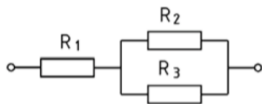
Spannungsteiler

Übung

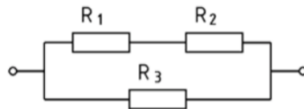
Referenzen

Literatur

# Ersatzwiderstand



Ersatzwiderstand



Ersatzwiderstand

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung

Parallelschaltung

Ersatzwiderstand

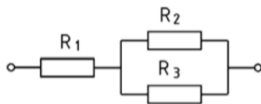
Spannungsteiler

Übung

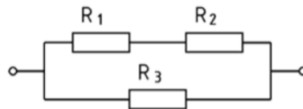
Referenzen

Literatur

# Ersatzwiderstand



Ersatzwiderstand



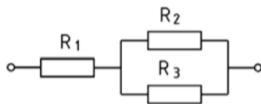
Ersatzwiderstand

## Berechnung

$$R_1 + (R_2 \parallel R_3)$$

$$\Rightarrow R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

# Ersatzwiderstand

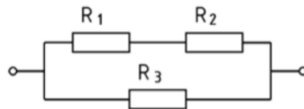


Ersatzwiderstand

## Berechnung

$$R_1 + (R_2 \parallel R_3)$$

$$\Rightarrow R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$



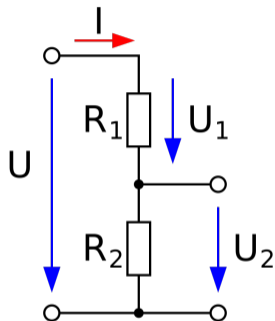
Ersatzwiderstand

## Berechnung

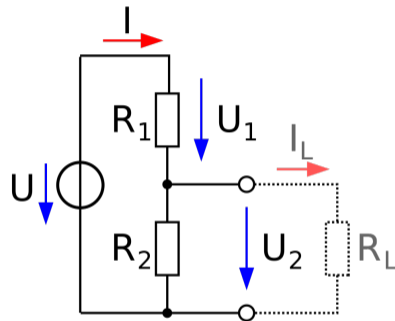
$$(R_1 + R_2) \parallel R_3$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

# Spannungsteiler



Unbelasteter Spannungsteiler (von Biezl)



Belasteter Spannungsteiler (von Biezl)



- $U_2$  ist beim belasteten Spannungsteiler kleiner als beim unbelasteten Spannungsteiler

## Rechnen beim Spannungsteiler beim unbelasteten Spannungsteiler:

- $U_2$  ist die Spannung über  $R_2$

### unbelasteter Spannungsteiler

$$\frac{U_2}{U} = \frac{R_2}{R_{\text{gesamt}}}$$

## beim belasteten Spannungsteiler:

- $U_2$  ist die Spannung über den beiden parallelen Widerständen  $R_2$  und  $R_L$

### belasteter Spannungsteiler

$$\frac{U_2}{U} = \frac{R_2 || R_L}{R_{\text{gesamt}}}$$

# Übungsaufgaben

Als Teil des Praxisskriptes im Anschluss.

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung

Parallelschaltung

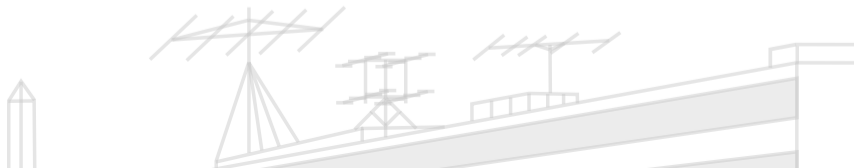
Ersatzwiderstand

Spannungsteiler

**Übung**

Referenzen

Literatur



[1] Moltrecht A 02:

<https://www.darc.de/der-club/referate/ajw/lehrgang-ta/a02/>

[2] Wikipedia DE:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Spannungsteiler>

[http://de.wikipedia.org/wiki/Ohmsches\\_Gesetz](http://de.wikipedia.org/wiki/Ohmsches_Gesetz)

[http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrische\\_Leistung](http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrische_Leistung)

[http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrische\\_Energie#Elektrische\\_Energie\\_in\\_einem\\_elektrischen\\_Feld](http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrische_Energie#Elektrische_Energie_in_einem_elektrischen_Feld)

AfuTUB-Kurs

DK0TU

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung

Parallelschaltung

Ersatzwiderstand

Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur

