

# Afu-Kurs

## Technik Klasse A 02: Widerstand und seine Grundsaltungen

DL0XK  
AmateurfunkForschungsGruppe der TU Kaiserslautern

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

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung  
Parallelschaltung  
Ersatzwiderstand  
Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur



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

Amateurfunkgruppe der Technische Universität Kaiserslautern, DL0XK, Stand: Wed Apr 17 17:28:09 2019 +0200  
basierend auf dem Kurs der Amateurfunkgruppe der Technische Universität Berlin (AfuTUB), DKØTU

# Einleitung / Widerstand

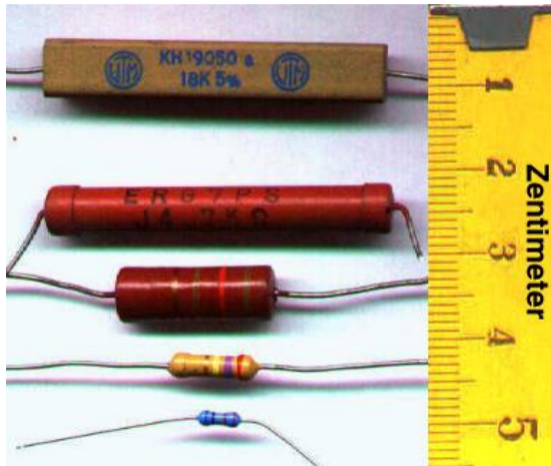


Abb. 1: Widerstände (von Honina ♂ © ⓘ ⓘ)

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
WiderständenReihenschaltung  
Parallelschaltung  
Ersatzwiderstand  
Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur

# Einleitung / Widerstand

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung  
Parallelschaltung  
Ersatzwiderstand  
Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur

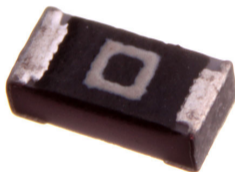


Abb. 2: SMD Widerstand (von oomlout ↗)

# Einleitung / Widerstand

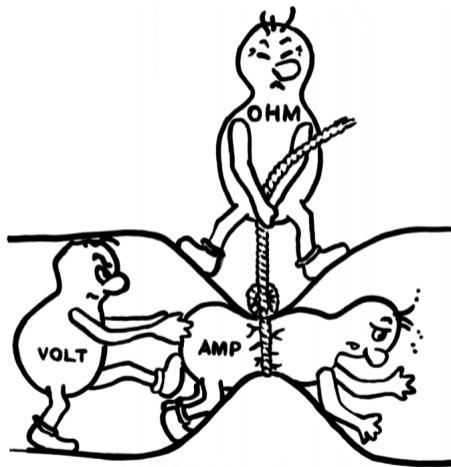


Abb. 3: Strom, Spannung und Widerstand (von TU Wien [♂](#) )

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung

Parallelschaltung

Ersatzwiderstand

Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur

# Einleitung / Widerstand

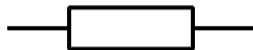


Abb. 4: Schaltzeichen für elektrischen Widerstand nach DIN EN 60617 (von Markus Kuhn [↗](#) [©](#) [©](#))

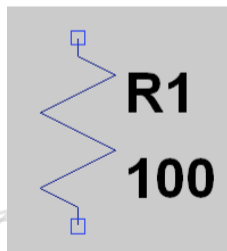


Abb. 5: aus LTSpice

# Aufbau von Widerständen

## Kohleschichtwiderstände:

Afu-Kurs

Technik A 02

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung

Parallelschaltung

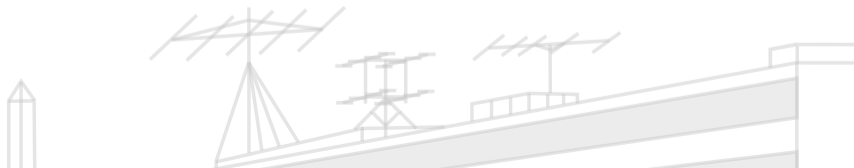
Ersatzwiderstand

Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur



# Aufbau von Widerständen

## Kohleschichtwiderstände:

- Günstig in der Herstellung
- Hohe Toleranzen

Afu-Kurs

Technik A 02

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

## Metallschichtwiderstände:

Afu-Kurs

Technik A 02

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

Afu-Kurs

Technik A 02

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

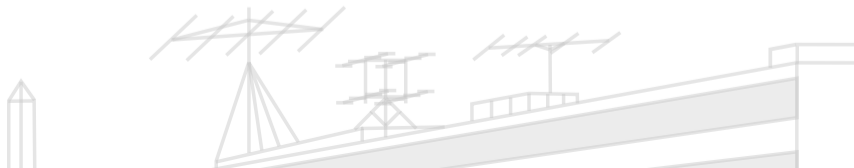
Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
WiderständenReihenschaltung  
Parallelschaltung  
Ersatzwiderstand  
Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur



# Aufbau von Widerständen

## Kohleschichtwiderstände:

- Günstig in der Herstellung
- Hohe Toleranzen

## Metallschichtwiderstände:

- Sehr präzise

## Metalloxidwiderstände:

Afu-Kurs

Technik A 02

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

Afu-Kurs

Technik A 02

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

## Drahtwiderstände:

Afu-Kurs

Technik A 02

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

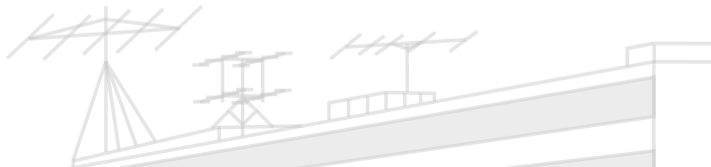
Ohmsches Gesetz

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

## 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	← Halbleiter $4,6 \cdot 10^5$
Porzellan	← Isolator $1 \cdot 10^{18}$

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
WiderständenReihenschaltung  
Parallelschaltung  
Ersatzwiderstand  
Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur

## 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**

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
WiderständenReihenschaltung  
Parallelschaltung  
Ersatzwiderstand  
Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur

## 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

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

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
WiderständenReihenschaltung  
Parallelschaltung  
Ersatzwiderstand  
Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur



# der Skin-Effekt

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

Afu-Kurs

Technik A 02

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

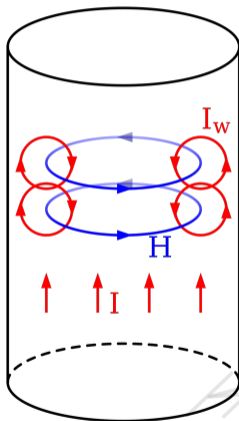
Rechnen mit  
WiderständenReihenschaltung  
Parallelschaltung  
Ersatzwiderstand  
Spannungsteiler

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

Abb. 6: 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?

Afu-Kurs

Technik A 02

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung

Parallelschaltung

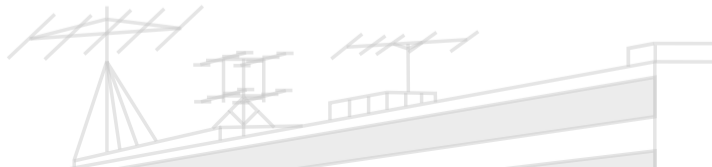
Ersatzwiderstand

Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur



# Ohmsches Gesetz

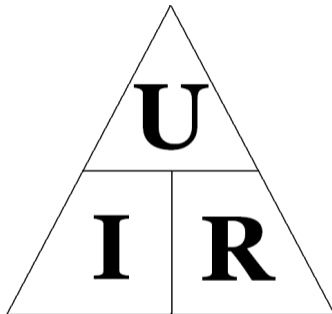


Abb. 7: Ohmsches Dreieck (von Eirik ☺ ©)

Afu-Kurs

Technik A 02

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

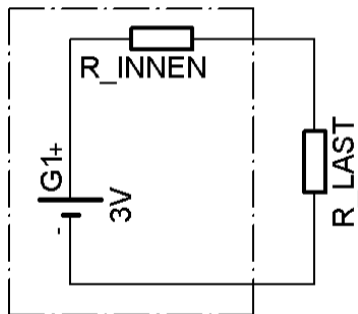


Abb. 8: Innenwiderstand einer Batterie

# 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:  $R_L \ll R_i$

Afu-Kurs

Technik A 02

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
WiderständenReihenschaltung  
Parallelschaltung  
Ersatzwiderstand  
Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur



# Reihenschaltung

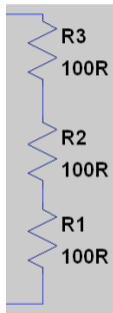


Abb. 9: aus LTSpice

## Berechnung

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

Afu-Kurs

Technik A 02

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung  
Parallelschaltung  
Ersatzwiderstand  
Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur

# Parallelschaltung

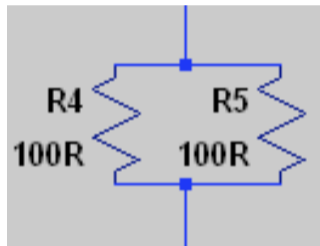


Abb. 10: aus LTspice

## Berechnung

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

Afu-Kurs

Technik A 02

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung

Parallelschaltung

Ersatzwiderstand

Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur

# Ersatzwiderstand

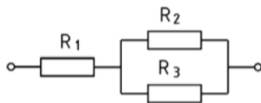


Abb. 11: Ersatzwiderstand



Abb. 12: Ersatzwiderstand

Afu-Kurs

Technik A 02

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung

Parallelschaltung

Ersatzwiderstand

Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur

# Ersatzwiderstand

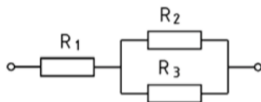


Abb. 11: Ersatzwiderstand



Abb. 12: Ersatzwiderstand

## Berechnung

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

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

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
WiderständenReihenschaltung  
Parallelschaltung  
Ersatzwiderstand  
Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur

# Ersatzwiderstand

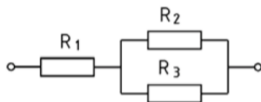


Abb. 11: Ersatzwiderstand

Berechnung

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

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

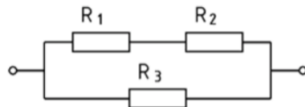


Abb. 12: Ersatzwiderstand

Berechnung

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

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

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung

Parallelschaltung

Ersatzwiderstand

Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur

# Spannungsteiler

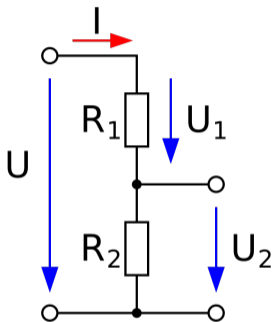


Abb. 13: Unbelasteter Spannungsteiler (von Biezl  
 ⚡ © ©)

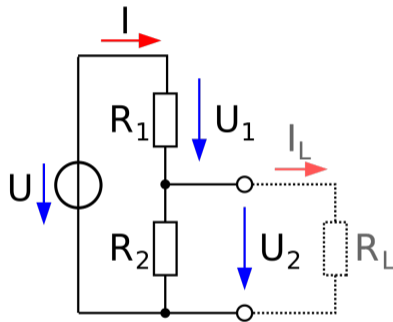


Abb. 14: Belasteter Spannungsteiler (von Biezl ⚡  
 © ©)

- $U_2$  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 Widerstände  $R_2$  und  $R_L$

### belasteter Spannungsteiler

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

# Übungsaufgaben

Als Teil des Praxisskriptes im Anschluss.

Afu-Kurs

Technik A 02

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

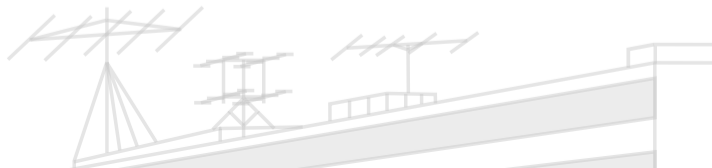
Rechnen mit  
Widerständen

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)

Afu-Kurs

Technik A 02

Einleitung

Spezifischer  
Widerstand

Skin-Effekt

Ohmsches Gesetz

Rechnen mit  
Widerständen

Reihenschaltung

Parallelschaltung

Ersatzwiderstand

Spannungsteiler

Übung

Referenzen

Literatur