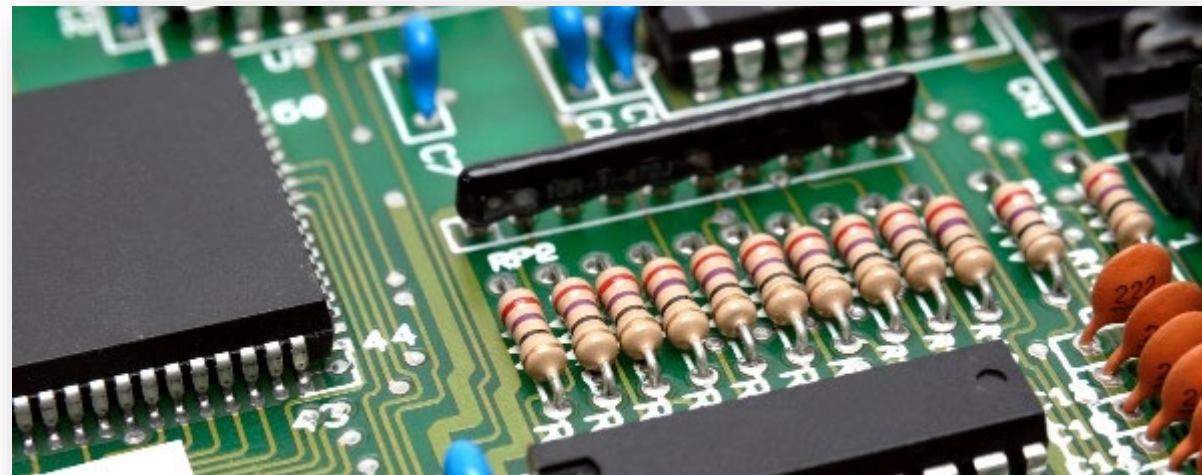


GRUNDLAGEN DER ELEKTROTECHNIK ET1

Teil 1: Von Einheiten bis Wirkungsgrad

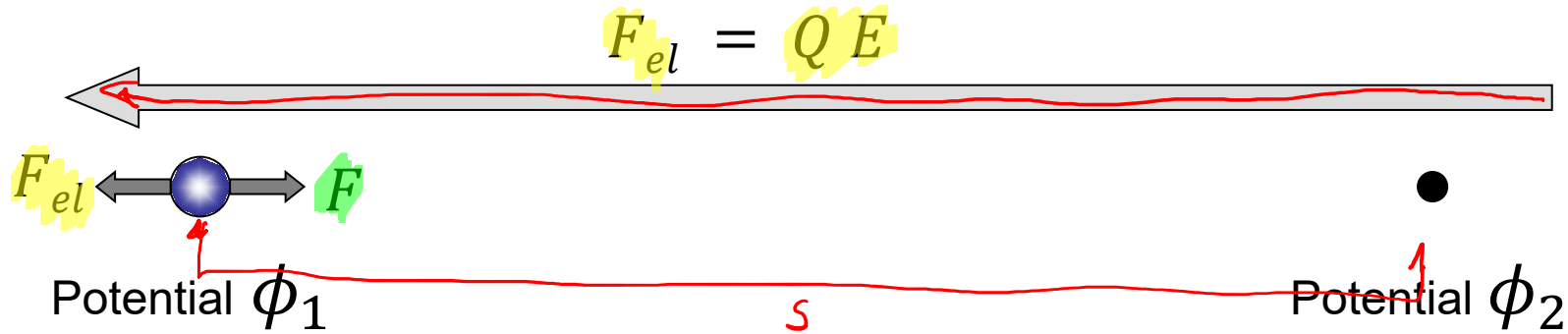


1 GRUNDLEGENDE BEGRIFFE

- 1.1 Einheiten
- 1.2 Gleichungen
- 1.3 Elektrische Ladung
- 1.4 Elektrisches Feld
- 1.5 Elektrische Spannung**
- 1.6 Elektrischer Strom
- 1.7 Elektrischer Widerstand
- 1.8 Arbeit, Leistung und Wirkungsgrad

ELEKTRISCHE SPANNUNG U

Spannung ist ein Maß für die Arbeit, die man aufwendet, wenn eine Ladung in einem elektrischen Feld bewegt wird.



Für ein konstantes elektrisches Feld E gilt:

$$W = F \cdot s = Q \cdot E \cdot s \quad [W] = A s \cdot \frac{V}{m} \cdot m = V A s = J$$

$\phi = W / Q$ heißt elektrisches Potential

$U_{12} = \phi_1 - \phi_2$ ist die Potentialdifferenz und heißt **Spannung**

$$U_{12} = \frac{W_{12}}{Q}$$

 mit $[W] / [Q] = 1 W s / A s = 1 V A s / A s = 1 \text{ Volt} = 1 V$

ELEKTRISCHER STROM I



Elektrischer Strom ist bewegte Ladung

Strom wird angegeben als Ladungsmenge pro Zeit:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad \frac{\text{As}}{\text{s}} \quad \text{mit } [I] = 1 \text{ Ampere} = 1 \text{ A}$$

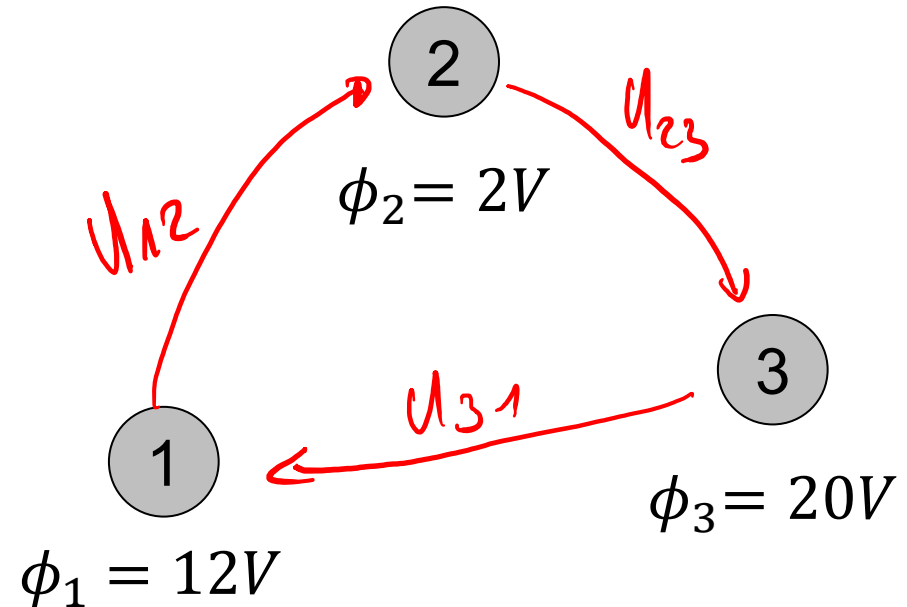
ELEKTRISCHE SPANNUNG

Aufgabe: Bestimmen Sie die folgenden Spannungen.

- 1) $U_{12} = \phi_1 - \phi_2 = 10V$
- 2) $U_{23} = \phi_2 - \phi_3 = -18V$
- 3) $U_{31} = \phi_3 - \phi_1 = 8$
- 4) $U_{12} + U_{23} + U_{31} = 0$

Endergebnis für Klicker-Abfrage:

- a) $U_{12} + U_{23} + U_{31} = 2V$
- b) $U_{12} + U_{23} + U_{31} = 8V$
- c) $U_{12} + U_{23} + U_{31} = 0V$ ←



1 GRUNDLEGENDE BEGRIFFE

- 1.1 Einheiten
- 1.2 Gleichungen
- 1.3 Elektrische Ladung
- 1.4 Elektrisches Feld
- 1.5 Elektrische Spannung
- 1.6 Elektrischer Strom**
- 1.7 Elektrischer Widerstand
- 1.8 Arbeit, Leistung und Wirkungsgrad

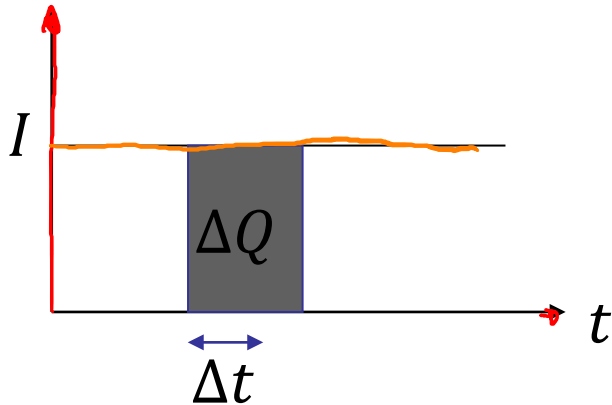
GLEICHSTROM UND MOMENTAN-STROM

Gleichstrom:

(DC – direct current)

$$\underline{I = \text{const.}}$$

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

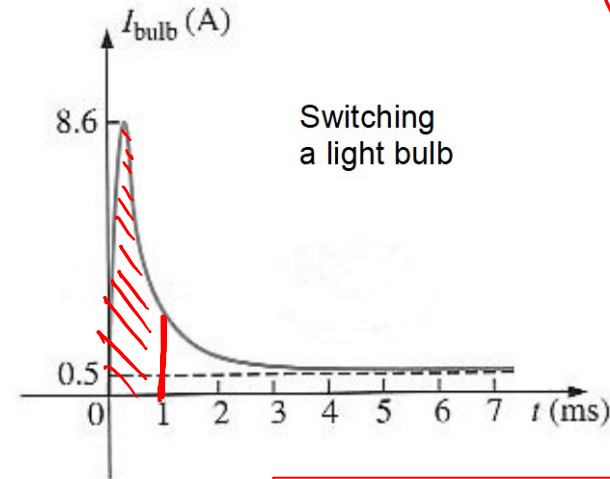


Zeitabhängiger Strom:

(AC – alternating current)

$$\underline{i = f(t)}$$

$$i = \frac{dQ}{dt}$$

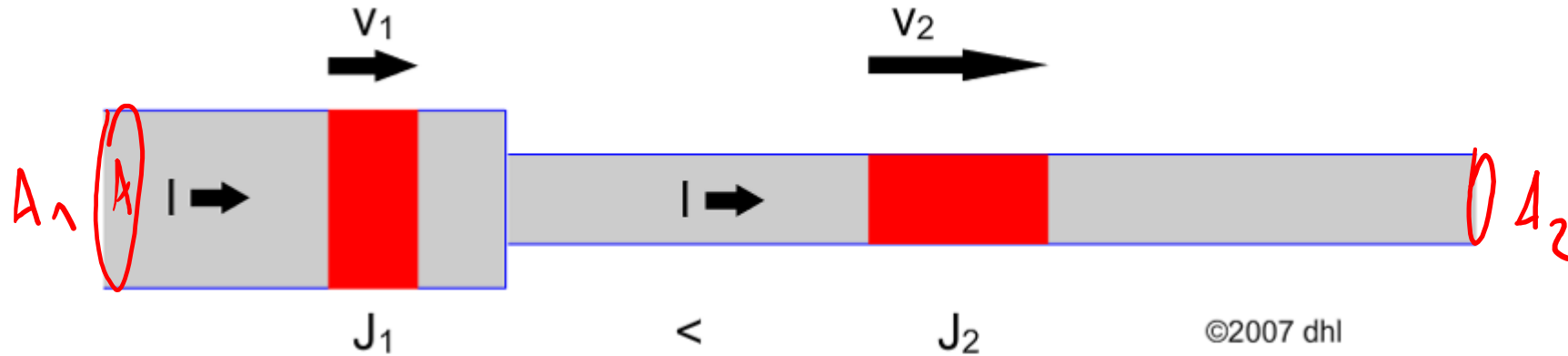


$$i = \frac{dQ}{dt} \quad \Leftrightarrow \quad Q = \int_0^t i dt$$

STROMDICHTEN J

Frage:

Was passiert mit dem Strom, wenn ein Draht dünner wird?



Stromdichte

$$J = \frac{I}{A}$$

mit $[J] = 1 \text{ A/m}^2$

BEISPIEL STROMDICHTHE

Aufgabe

Beim Starten des Autos fließt $I = 120 \text{ A}$.

Die Stromdichte darf höchstens 4 A/mm^2 betragen.

Welchen Durchmesser muss ein rundes Kabel mindestens haben?

A. 3,09 mm

B. 6,18 mm 

C. 9,18 mm

$$j = \frac{I}{A} \Rightarrow 4 \text{ A/mm}^2 \leq \frac{120 \text{ A}}{A}$$

$$\Rightarrow A \Rightarrow r, d$$

BEISPIELE FÜR LADUNGSTRANSPORT

Ladungsträger

- Elektronen
- Ionen
- Elektronen / Löcher
- Elektr. Ionen

Medium

Metall

Elektrolyt

Halbleiter

Plasma

Anwendung

Kupferleiter

galvanik

Dioden / Transistoren

Halbleitertechnologie
oberflächenveredelung

1 GRUNDLEGENDE BEGRIFFE

- 1.1 Einheiten
- 1.2 Gleichungen
- 1.3 Elektrische Ladung
- 1.4 Elektrisches Feld
- 1.5 Elektrische Spannung
- 1.6 Elektrischer Strom
- 1.7 Elektrischer Widerstand**
- 1.8 Arbeit, Leistung und Wirkungsgrad

ELEKTRISCHER WIDERSTAND R

Aufgabe:

Vergleichen Sie den elektrischen Strom mit Wasser.
Wie können Sie den “Wasserstrom” reduzieren?



ANALOGIE ELEKTRISCHER STROM UND WASSER



Widerstand

Ladungsmenge

Wasservolumen

Strom: Ladung pro Zeit

Wasservolumen/Zeit \Rightarrow Wasserfluß

Spannung: Potentialdifferenz

Druck

Widerstand

Widerstand

ELEKTRISCHER WIDERSTAND R

Im allgemeinen gilt:

- ein Leiter hat einen elektrischen Widerstand
- je höher die Spannung desto höher der Strom

Elektrischer Widerstand

- $[R] = 1 \text{ V/A} = 1 \Omega$ (Ohm)

\uparrow
gr. Omega

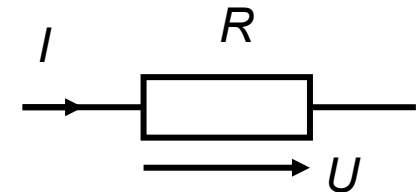
$$R = U / I$$

$$1/R = G$$

Elektrischer Leitwert

- $[G] = 1 \text{ A/V} = 1 \text{ Siemens} = 1 \text{ S}$ oder (US: 1 *mho*)

$$G = I / U$$



SPEZIFISCHER WIDERSTAND ρ ← kleines rho

Frage: Wovon hängt der Widerstand eines Leiters ab?

- Material
- Querschnittsfläche
- Länge

materialabhängige Komponente wird zusammengefasst zu dem **spezifischen Widerstand** ρ (rho)

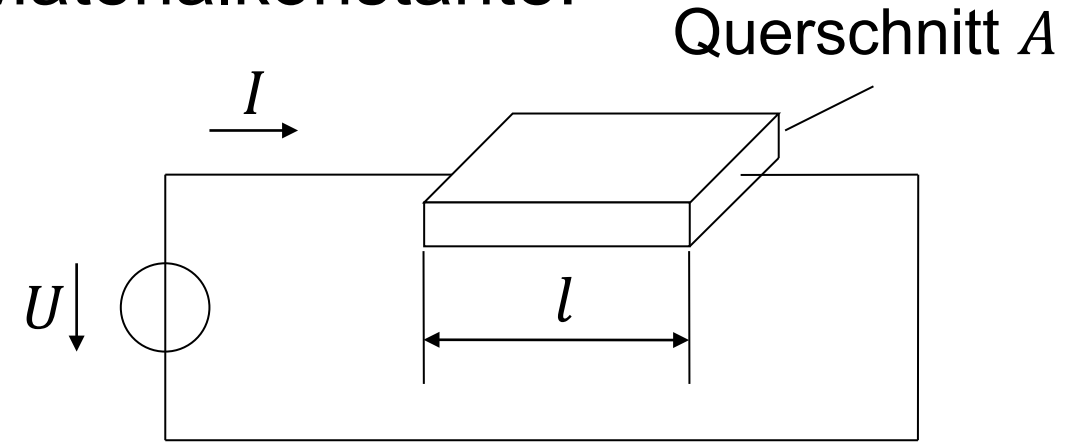
⇒ spezifischer Widerstand ist von der Geometrie unabhängig

SPEZIFISCHER WIDERSTAND ρ

Der spezifische Widerstand ρ ist eine Materialkonstante:

$$[\Omega] = [\rho] \frac{[m]}{[m^2]} \Rightarrow [\rho] = \Omega m$$
$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

$\Rightarrow [\rho] = \Omega m$
mit $[\rho] = 1 \Omega m$



Kehrwert heißt spez. Leitfähigkeit σ

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

kleines sigma

mit $[\sigma] = \frac{1}{\Omega m} = S \cdot \frac{1}{m}$

Beispiele

$$\rho_{Cu} = 0.0167 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\rho_{FE} = 0.0971 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\rho_{Konstantan} = 0.5 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

(55% Cu, 44% Ni, 1% Mn)

$$\rho_{Graphit} = 8 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\rho_{Silizium} = 2\,300\,000\,000 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

AUFGABE DRAHTWIDERSTAND

Ein Drahtwiderstand mit $R = 10\ \Omega$ besteht aus einem Konstantandraht mit $\rho = 0.5\ \Omega\ \text{mm}^2 / \text{m}$. Der Drahtquerschnitt ist $A = 0.025\ \text{mm}^2$.

Wie lang ist der Draht?

Lösung:

a) 50 cm

b) 0,5 m ✓

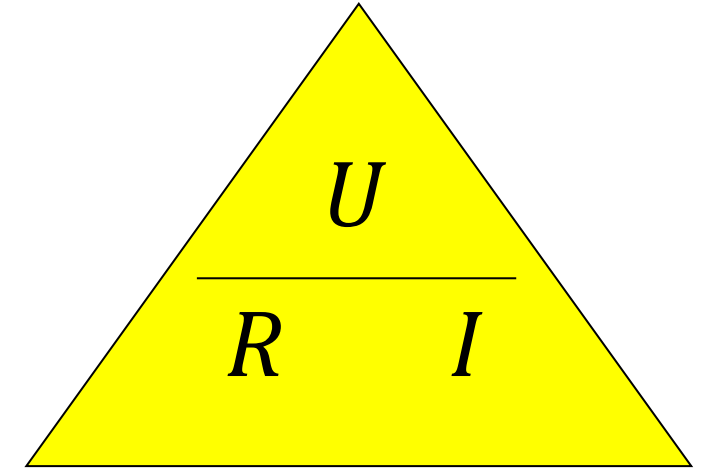
c) 1,50 m

$$R = 10\ \Omega$$

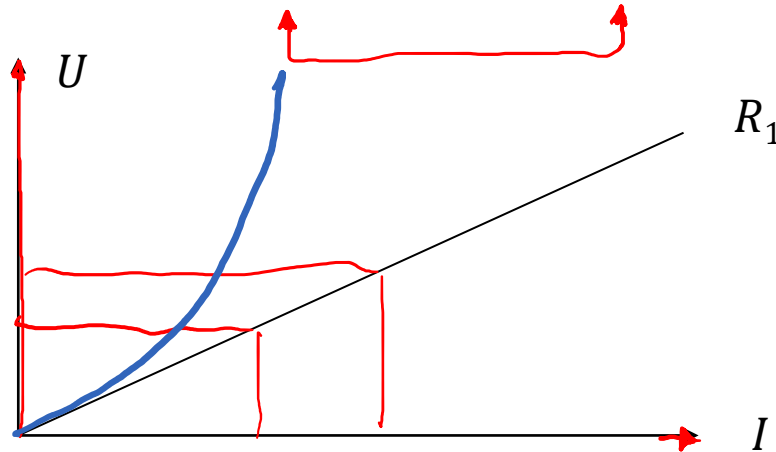


OHMSCHES GESETZ

Bei einem metallischen Leiter und konstanter Temperatur ist der Widerstand R konstant.
 \Rightarrow Spannung proportional zum Strom



Ohmsches Gesetz: $U = R \cdot I$ mit $R = \text{const.}$



Nur wenn R konstant ist,
spricht man von einem
ohmschen Widerstand.

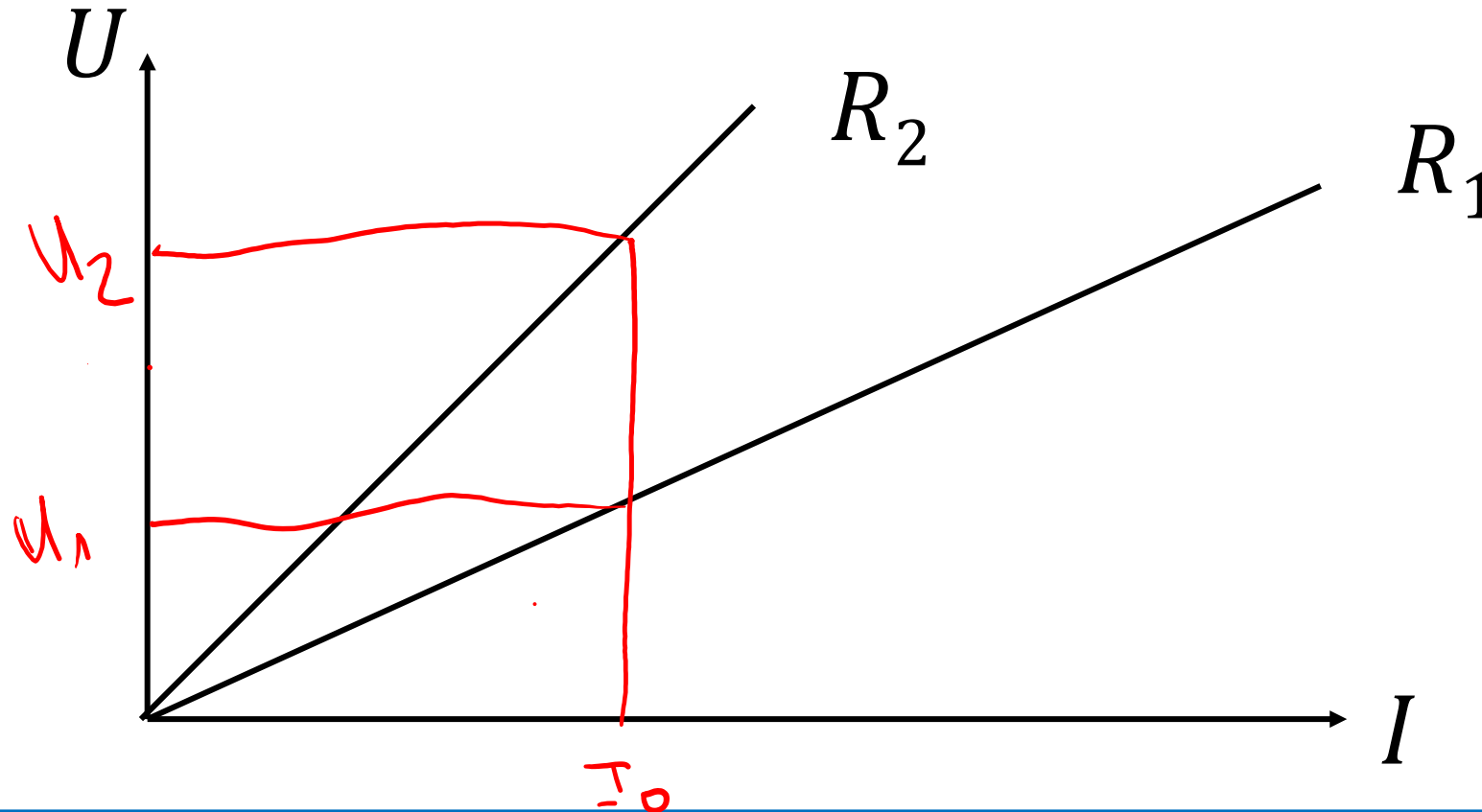
\Leftrightarrow lineare Kennlinie

FRAGE: WELCHER WIDERSTAND IST GRÖßER?

$$U = R \cdot I$$

A. R_1 oder

B. R_2 ?



$$R = U / I$$

$$R = U_0 / I$$

$$R = U / I_0$$

$$R_2 = U_2 / I_0$$

$$R_1 = U_1 / I_0$$

$$R_2 > R_1 \quad \text{weil} \quad U_2 > U_1$$

AUFGABE: WIDERSTANDSBERECHNUNG

Sie haben ein 5V Ausgangssignal am Rechner und wollen damit eine Leuchtdiode (LED) versorgen. Der maximal zulässige Strom für die Leuchtdiode ist $I_{max} = 15 \text{ mA}$.

Wählen Sie den Vorwiderstand so, dass auch ohne LED der Strom I_{max} niemals überschritten wird. Wie hoch ist der entsprechende Leitwert G ?

- A. $R = 333 \Omega$ und $G = 3 \text{ mS}$
- B. $R = 333 \text{ m}\Omega$ und $G = 3 \text{ mS}$
- C. $R = 3 \text{ k}\Omega$ und $G = 333 \text{ S}$



NICHT-OHMSCHE WIDERSTÄNDE

PTC: $R = f(T)$
(Metall)



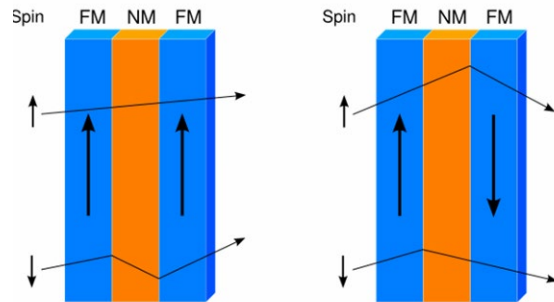
NTC: $R = f(T)$



Varistor VDR: $R = f(U)$



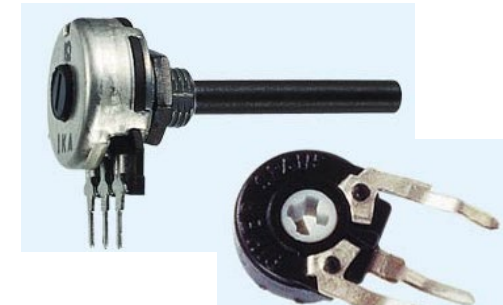
MDR: $R=f(B)$
speziell: GMR
(Giant magneto resistance)



LDR:
 $R = f(\text{Light intensity})$



Variabel: Potentiometer



BEISPIEL VARISTOR

Voltage Dependent Resistor VDR

hohe Spannung

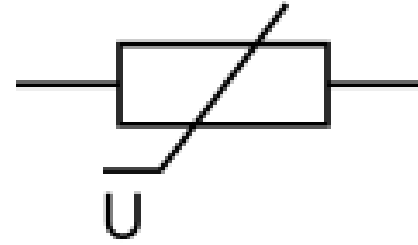
→ Widerstand bricht zusammen

Anwendung:

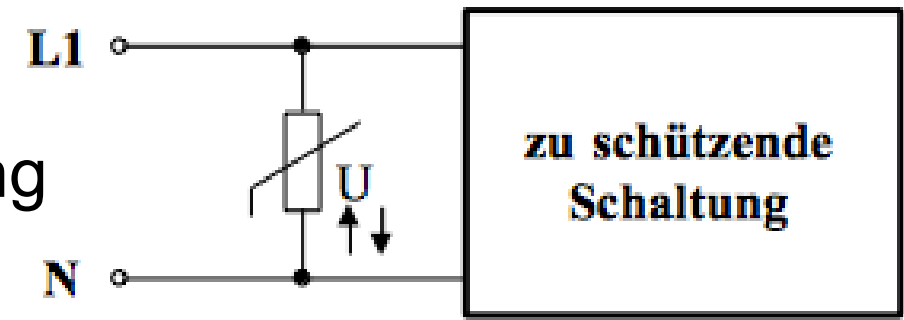
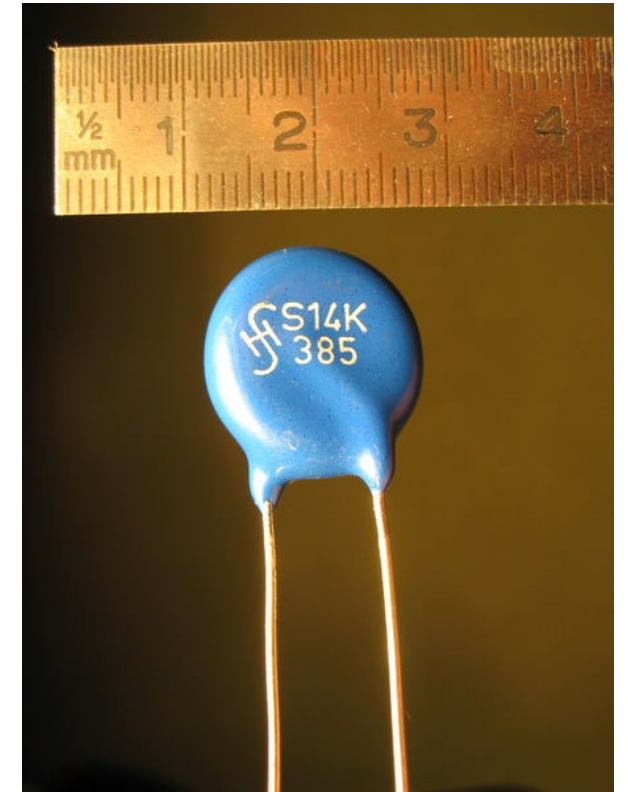
Schutz elektronischer Schaltungen vor Überspannung

Beispiel:

Schutz von Telefonleitungen gegen Überspannung durch Blitzschlag

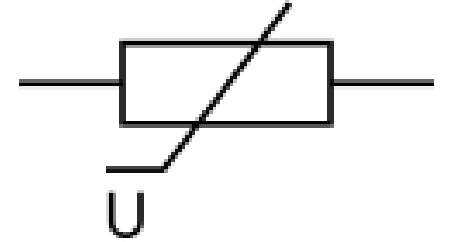


Schaltzeichen VDR



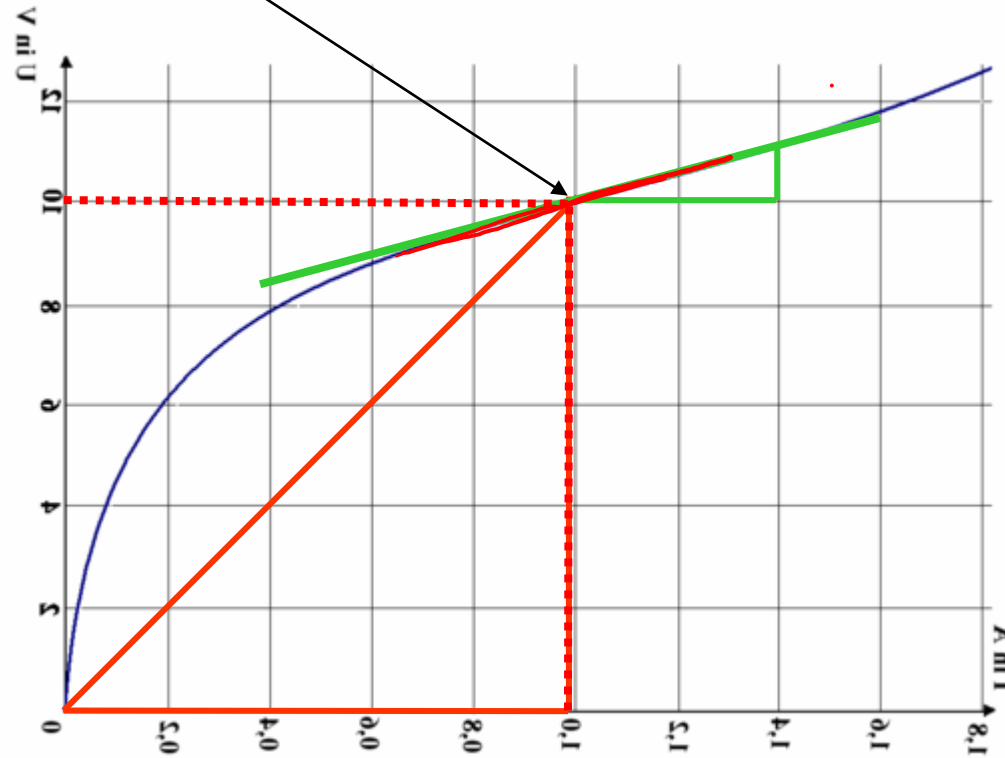
BESCHREIBUNG EINES NICHTLINEAREN WIDERSTANDES

Arbeitspunkt AP (operating point OP)



$$R_{AP} = \frac{U_{AP}}{I_{AP}}$$

$$r_d = \left. \frac{dU}{dI} \right|_{I=I_{AP}}$$



GLEICHSTROM- UND DIFFERENTIELLER WIDERSTAND

Bei nichtlinearen Widerständen gibt man den Widerstand für einen bestimmte Spannungs-Strom-Punkt an

⇒ **Arbeitspunkt** AP (operating point OP)

Gleichstromwiderstand im AP

$$R_{AP} = \frac{U_{AP}}{I_{AP}}$$

Differentieller Widerstand im AP

$$r_d = \left. \frac{dU}{dI} \right|_{I=I_{AP}}$$

AUFGABE: VARISTOR

Im Arbeitspunkt $U_{AP} = 10 \text{ V}$ habe ein VDR einen Gleichstromwiderstand von $R_{AP} = 200 \Omega$ und einen differentiellen Widerstand von $r_d = 5 \Omega$.

a) Bestimmen Sie den Strom I im Arbeitspunkt.

b) Welcher Strom I_1 fließt bei einer höheren Spannung von $U_1 = 10.5 \text{ V}$?

A. $I_{AP} = 2 \text{ A}$

B. $I_{AP} = 48,8 \text{ mA}$

C. $I_{AP} = 50 \text{ mA}$

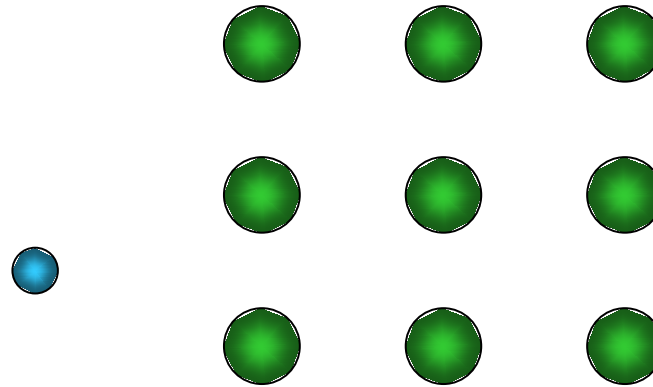
D. $I_1 = 100 \text{ mA}$

E. $I_1 = 150 \text{ mA}$



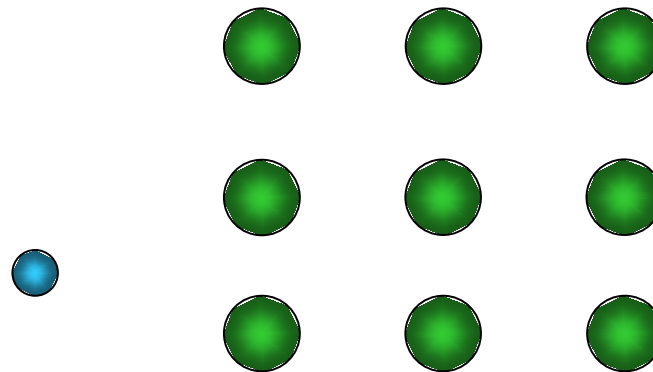
TEMPERATURABHÄNGIGKEIT DES WIDERSTANDS

Niedrige Temperatur



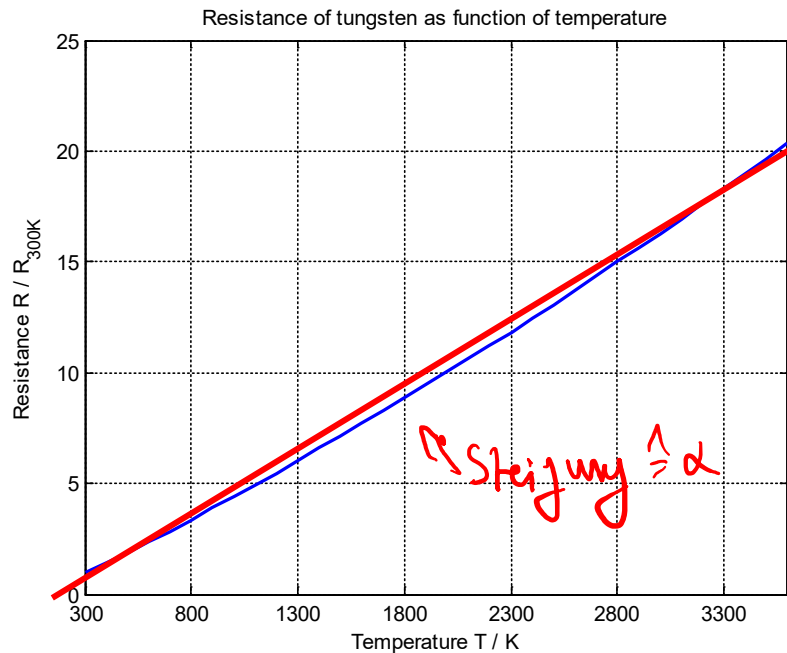
Hohe Temperatur

→ Atomschwingungen
→ Widerstandserhöhung



TEMPERATURKOEFFIZIENT α

typischer Temperaturverlauf:



⇒ Näherung durch: *eine Gerade*

$$R = R_{20} \cdot (1 + \alpha_{20} \cdot \Delta\vartheta)$$

$$R_{20} + R_{20} \cdot \alpha_{20} \cdot (\vartheta - 20^\circ\text{C})$$

wobei:

R_{20} : Widerstand bei 20°C

α_{20} : Temperaturkoeffizient für 20°C

$\Delta\vartheta$ = $\vartheta - 20^\circ\text{C}$ mit

ϑ : Temperatur in $^\circ\text{C}$

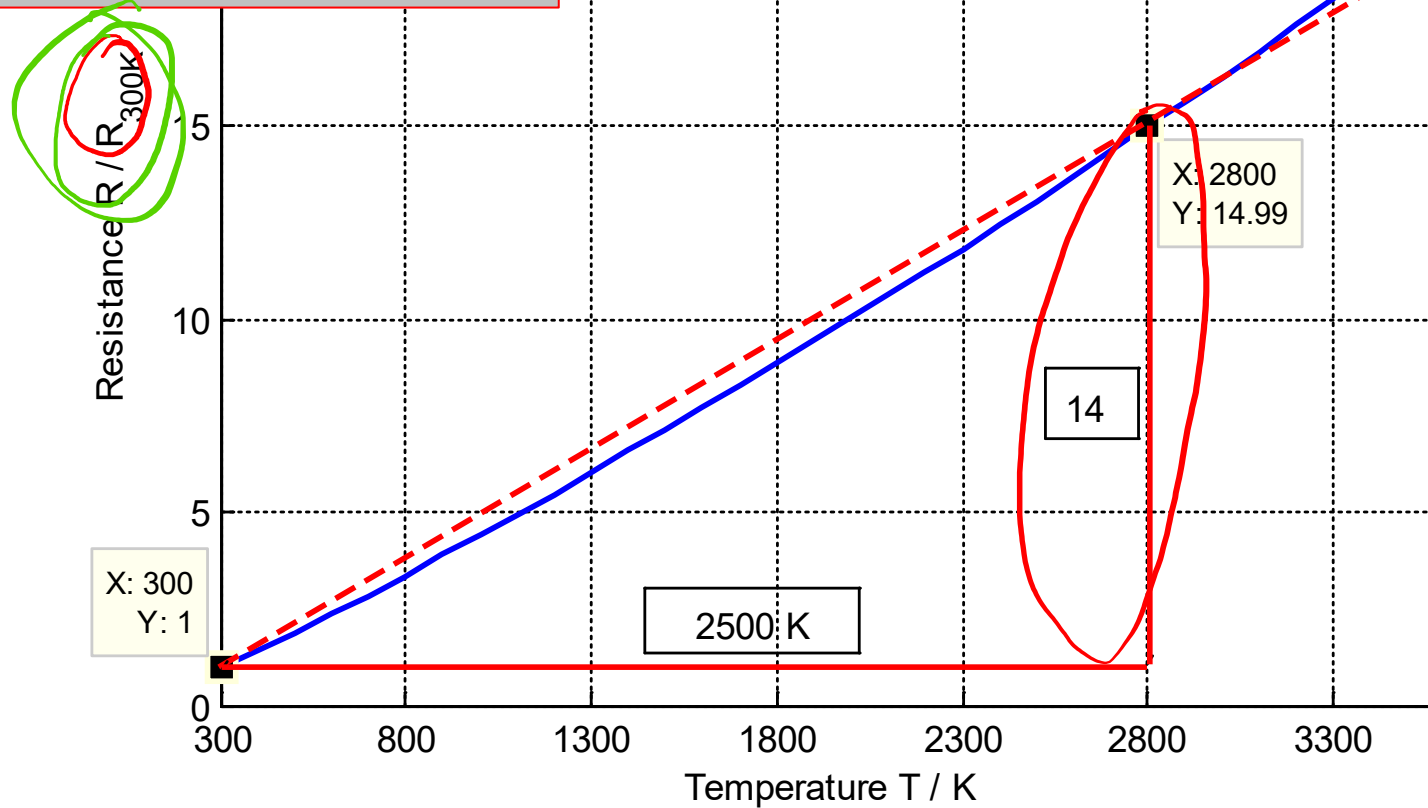
$$\alpha = TK = \frac{\Delta R}{\Delta T} \frac{1}{R_{20}}$$

α : relative Widerstandsänderung
bei 1 K Temperaturänderung

TEMPERATURKOEFFIZIENT WOLFRAM

$$\alpha = \frac{\Delta R}{\Delta T} \frac{1}{R} = \frac{\Delta R}{R} \frac{1}{\Delta T}$$

$$\Rightarrow \alpha = \frac{14}{2500 \text{ K}} = 5.6 \cdot 10^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$$



$$\alpha = \frac{\Delta R}{\Delta T} \frac{1}{R_{20}}$$

$$= \frac{14}{2500 \text{ K}}$$

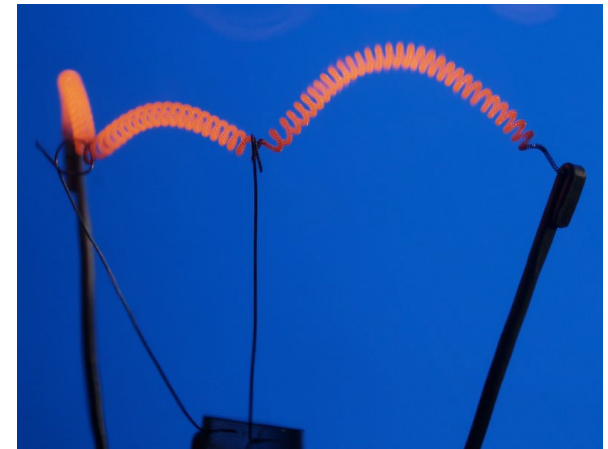
AUFGABE: TEMPERATURABHÄNGIGKEIT

Ein Wolfram-Glühfaden einer herkömmlichen Glühlampe erreicht eine Betriebstemperatur von 2550°C . Der Temperaturkoeffizient von Wolfram kann über den Temperaturbereich $20 \dots 2550^{\circ}\text{C}$ als näherungsweise konstant mit $5,6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ angenommen werden.

Bei Betriebstemperatur hat eine 100 W Glühbirne mit Wolfram-Faden einen Widerstand von $R_{2550^{\circ}\text{C}} = 530 \Omega$. Wie groß ist der Widerstand im kalten Zustand bei 20°C und um welchen Faktor ist der Einschaltstrom größer als im Betrieb der Glühbirne.

Antwort:

- A) $43,9 \Omega$ und 15-facher Einschaltstrom
- B) $43,9 \Omega$ und 10-facher Einschaltstrom
- C) $34,9 \Omega$ und 15-facher Einschaltstrom



TEMPERATURKOEFFIZIENT

Wir unterscheiden:

PTC: Positive Temperature Coefficient mit $\alpha > 0$ bei Metallen

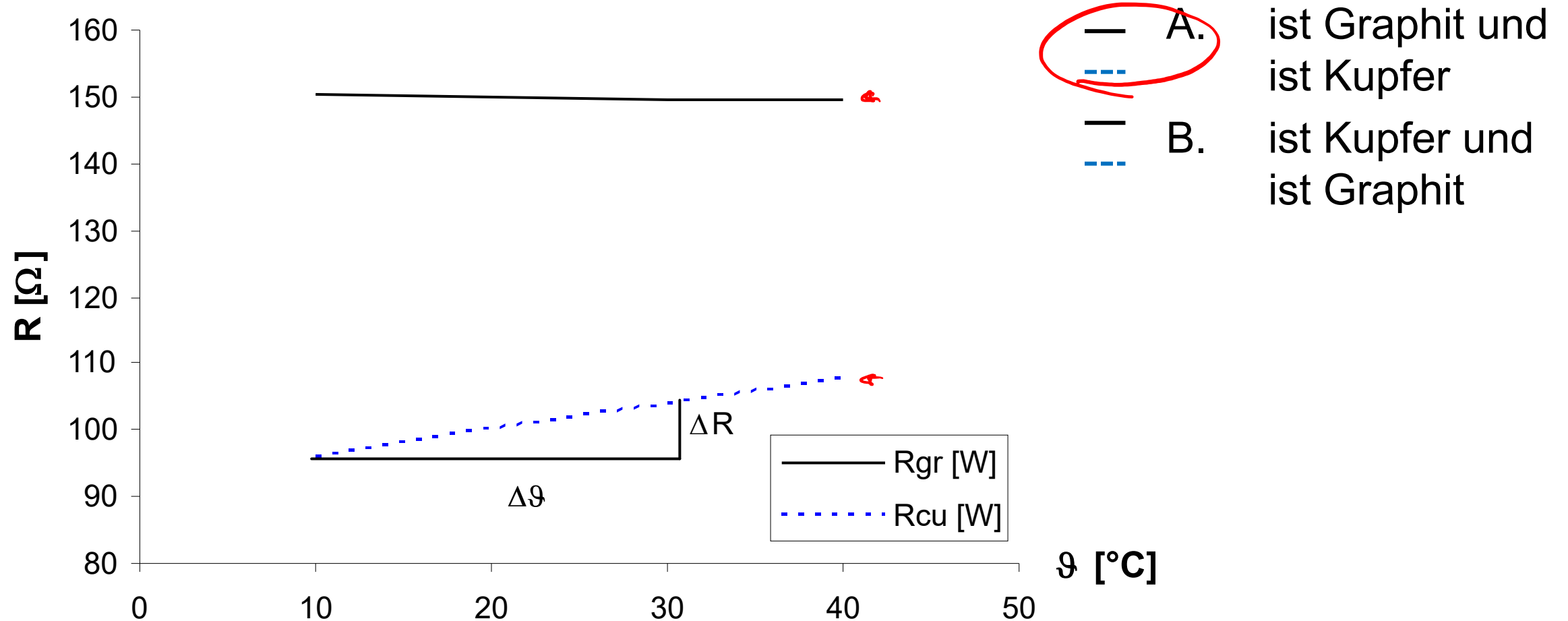
NTC: Negative Temperature Coefficient mit $\alpha < 0$ bei Halbleitern

(Bei Bedarf: zur näherungsweisen Berechnung siehe Skript)

WICHTIGE TEMPERATURKOEFFIZIENTEN

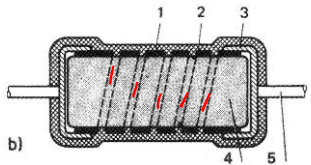
Graphit: $a_{20} = -0.2 \cdot 10^{-3} K^{-1} < 0$ (Kohleschichtwiderstand)

Kupfer: $a_{20} = 3.9 \cdot 10^{-3} K^{-1} > 0$ (Metallschichtwiderstand)

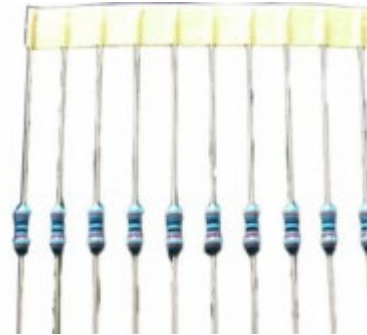


AUFBAU VON WIDERSTÄNDEN

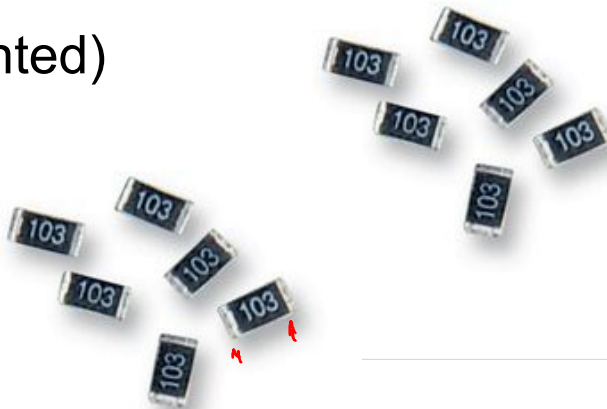
Kohleschichtwiderstand



Metallfilmwiderstand



SMD-Widerstand (surface mounted)



Drahtwiderstand



1 GRUNDLEGENDE BEGRIFFE

1.1 Einheiten

1.2 Gleichungen

1.3 Elektrische Ladung

1.4 Elektrisches Feld

1.5 Elektrische Spannung

1.6 Elektrischer Strom

1.7 Elektrischer Widerstand

1.8 Arbeit, Leistung und Wirkungsgrad

ELEKTRISCHE LEISTUNG UND ARBEIT

Ein Strom I durch einen Widerstand R verrichtet bei einem Spannungsabfall U in der Zeit Δt **elektrische Arbeit W** :

$$W = U \cdot I \cdot \Delta t \quad \text{mit } [W] = 1 \text{ VAs} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ Joule} = 1 \text{ J}$$

Die Menge der Energie pro Zeiteinheit, die umgeformt wird, bezeichnet man als **elektrische Leistung P**

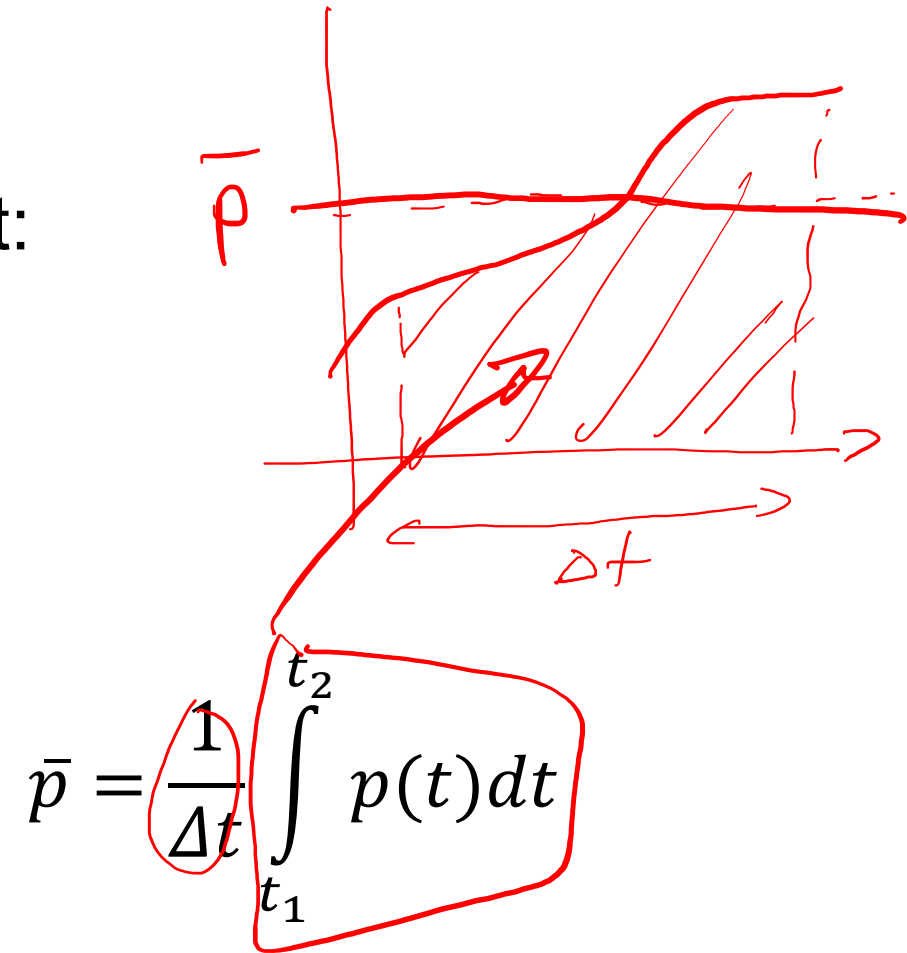
$$P = \frac{W}{\Delta t} = U \cdot I \quad \text{mit } [P] = 1 \text{ VA} = 1 \text{ Watt} = 1 \text{ W}$$

MOMENTANLEISTUNG UND MITTELWERT

Bei zeitlich veränderlichen Größen $u(t)$, $i(t)$ gilt:

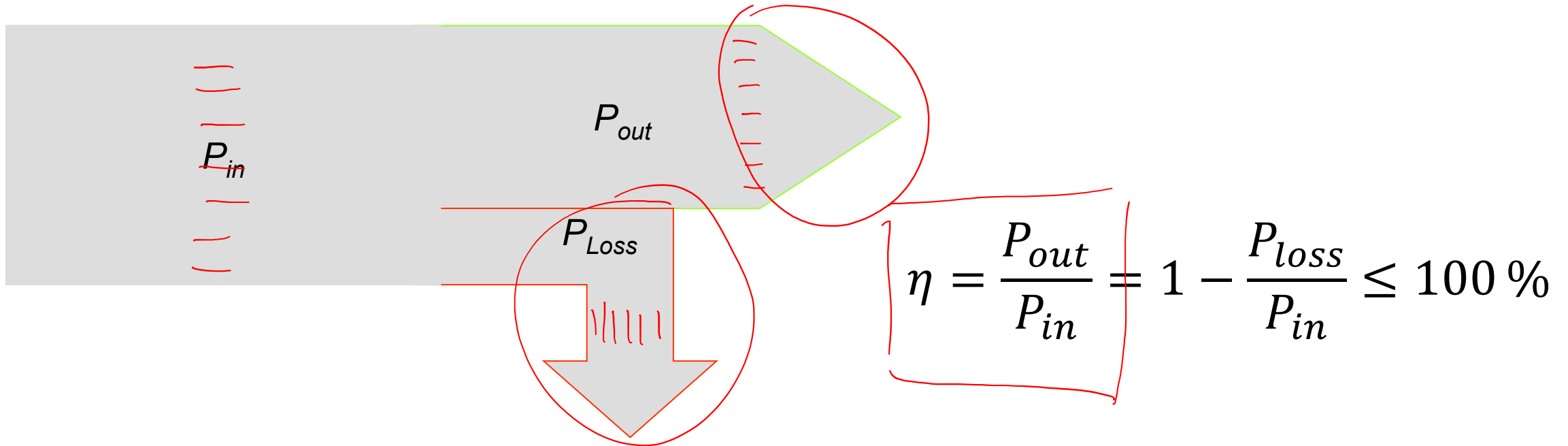
Momentanleistung $p(t) = u \cdot i$

arithmetischer Mittelwert der Leistung
(oder mittlere Leistung)



WIRKUNGSGRAD η

Wenn Energie umgewandelt wird, entstehen stets Verluste



Das Verhältnis von Nutzleistung zu Eingangsleistung heißt:
Elektrischer Wirkungsgrad η (eta)

AUFGABE ZUR LEISTUNG

Wie groß ist der Strom, der durch eine 100 W-Lampe bei einer Gleichspannung von 230 V fließt?

- A. kann nur bei Wechselspannung berechnet werden
- B. 0,343 A
- C. 434 mA
- D. hängt von der Größe der Glühbirne ab

WAS SIE MITNEHMEN SOLLEN... (1)

SI Einheiten und SI Präfix

Einheiten

Ladung

Spannung

Strom

Stromdichte

Widerstand

ohmscher Widerstand?

Leitwert

Spezifischer Widerstand

Spezifischer Leitwert

Gleichstromwiderstand

Differentieller Widerstand

MKSA, pico = 10^{-12} , ...

Hilfe bei Fehlersuche

Quelle des elektrischen Feldes

$$U = W / Q$$

$$I = \Delta Q / \Delta t$$

$$J = I / A$$

$$R = U / I$$

$$R = \text{const.}, \text{Ohmsches Gesetz}$$

$$G = 1/R$$

$$R = \rho l / A$$

$$\sigma = 1 / \rho$$

$$R = U / I \text{ im AP}$$

$$r_d = dU / dI \text{ im AP}$$

WAS SIE MITNEHMEN SOLLEN ... (2)

Temperaturkoeffizient

- $R = R_0 (1 + a \Delta \vartheta)$

Temperaturempfindlichkeit

- $E = dR / d\vartheta$

Arbeit

- $W = U I \Delta t$

Leistung

- $P = U I$

Wirkungsgrad

- $\eta = P_{out} / P_{in}$