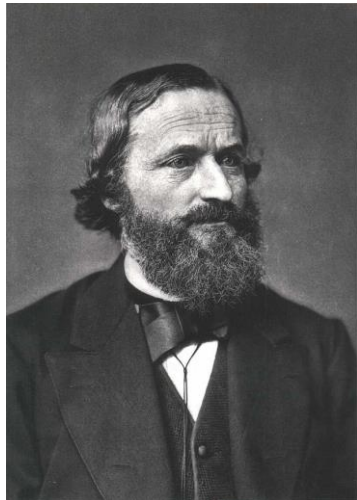


GRUNDLAGEN DER ELEKTROTECHNIK ET1

Teil 2

Gleichstromschaltungen, von Kirchhoff bis zum Spannungsteiler



Gustav Robert Kirchhoff (* 12. März 1824 in Königsberg (Preußen); † 17. Oktober 1887 in Berlin) war ein deutscher Physiker, der sich insbesondere um die Erforschung der Elektrizität verdient gemacht hat. Kirchhoff ist bekannt für seine Regeln der elektrischen Stromkreise zur Beschreibung der Abhängigkeit von elektrischer Spannung, elektrischem Strom und elektrischem Widerstand, die er 1845 fand.

(http://de.wikipedia.org/wiki/Gustav_Robert_Kirchhoff)

REVIEW ...

SI Einheiten und SI Präfix

Einheiten

Ladung

Spannung

Strom

Stromdichte

Widerstand

ohmscher Widerstand?

Leitwert

Spezifischer Widerstand

Spezifischer Leitwert

Gleichstromwiderstand

Differentieller Widerstand

Temperaturkoeffizient

Temperaturempfindlichkeit

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

Hilfe bei Fehlersuche

Quelle des elektrischen Feldes

$$U = W / Q$$

$$I = Q / t$$

$$J = I / A$$

$$R = U / I$$

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

$$G = 1/R$$

$$R = \rho \ell / A$$

$$\sigma = 1 / \rho$$

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

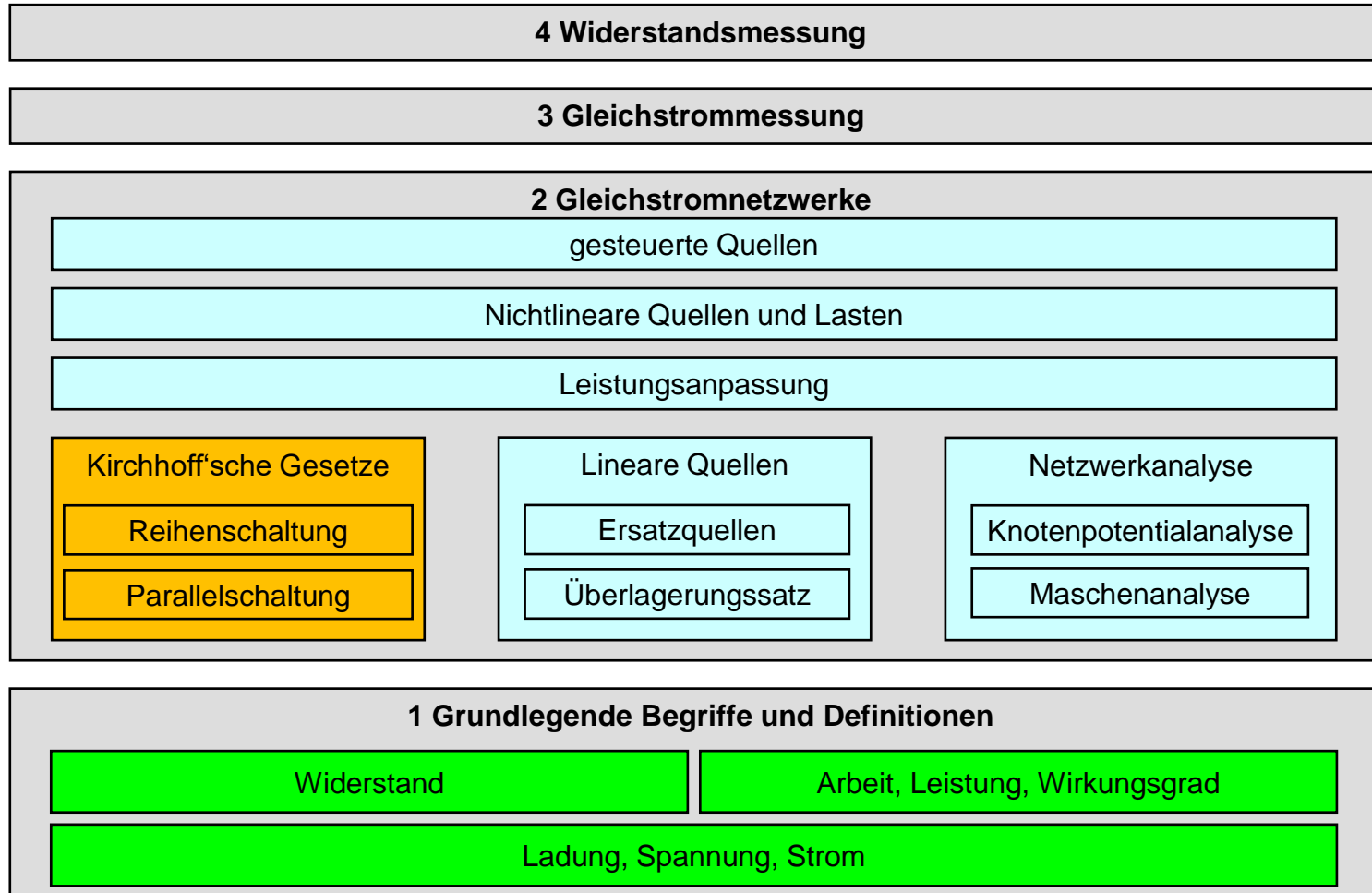
$$r = dU / dI \text{ im AP}$$

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta \vartheta)$$

$$E = dR / d\vartheta$$

GLEICHSTROM

Inhalte der Kapitel 1 – 4: Gleichstrom

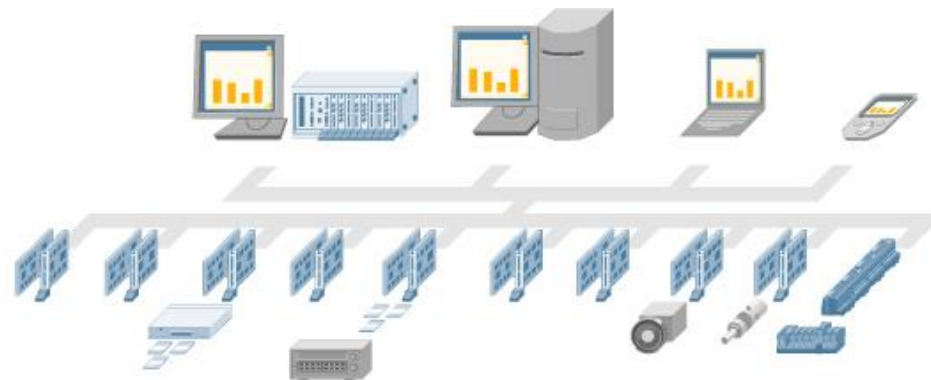


PROBLEMSTELLUNG

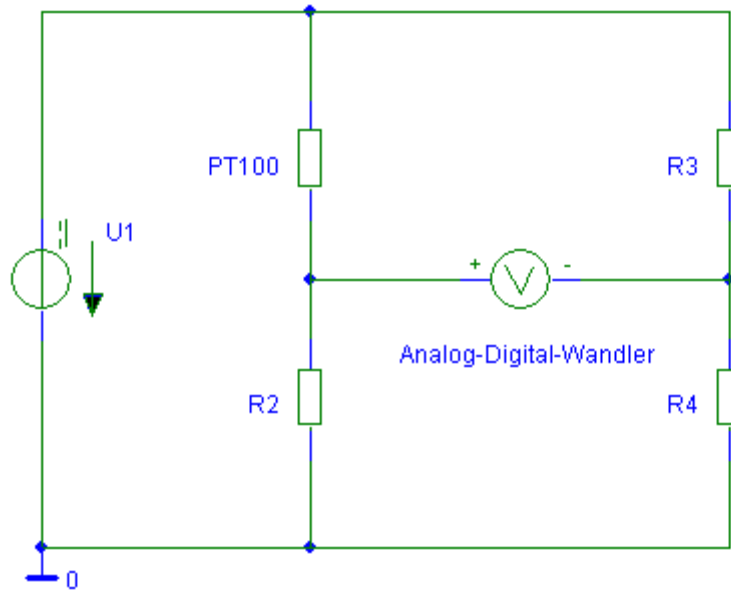
Werten Sie das Signal eines Pt100-Temperatursensors durch einen Rechner aus.

gegeben:

- Temperaturbereich: $0^{\circ}\text{C} \dots +100^{\circ}\text{C}$
- Temperaturkoeffizient $\alpha = 3,85 \cdot 10^{-3} / \text{K}$
- Analogschnittstelle für $U_{in} = 0 \dots 1\text{V}$



LÖSUNGSMÖGLICHKEIT



Wheatstone'sche Brückenschaltung
zur präzisen Widerstandsmessung

→ Später im Kurs

Offene Fragen:

- Wie groß sollen die Widerstände sein?
- Wie groß sollte die Versorgungsspannung gewählt werden?

ANALYSE VON GLEICHSTROM. WARUM?

- Aufbau von Grundlagenwissen
 - Netzwerkanalyse deckt einen sehr großen Teil der grundlegenden Dinge der Elektrotechnik ab
- Ingenieurmäßiges Arbeiten trainieren
 - Methodisches Vorgehen zur Lösung komplexer Aufgaben

...oder nehmen Sie es als eine
Art Kreuzworträtsel.



2 GLEICHSTROMSCHALTUNGEN

2.1 Zählpfeilsystem

2.2 Grundlegende Begriffe

2.3 Kirchhoffsche Gesetze

2.4 Parallel- und Reihenschaltung von Widerständen

2.5 Strom- und Spannungsteiler

2.6 Lineare Quellen

2.7 Umwandlung in Ersatzquellen

2.8 Überlagerungsprinzip

2.9 Netzwerkanalyse

2.10 Leistungsanpassung

2.11 Nichtlineare Quellen und Verbraucher

2.12 Gesteuerte Quellen

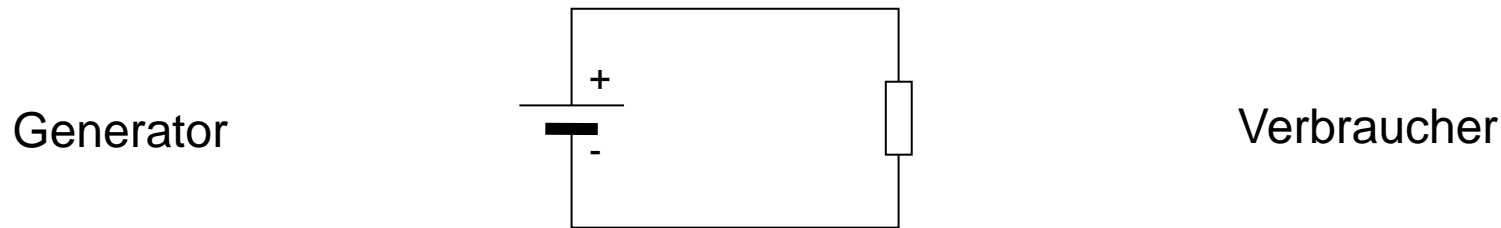
ELEKTRISCHER SCHALTKREIS

Energie wird transportiert...

- vom Generator (Quelle, source)
- zum Verbraucher (load, sink)

Im physikalischen Sinne gilt:

- Energie wird nicht erzeugt, sondern umgeformt
- Energie wird nicht verbraucht, sondern umgeformt

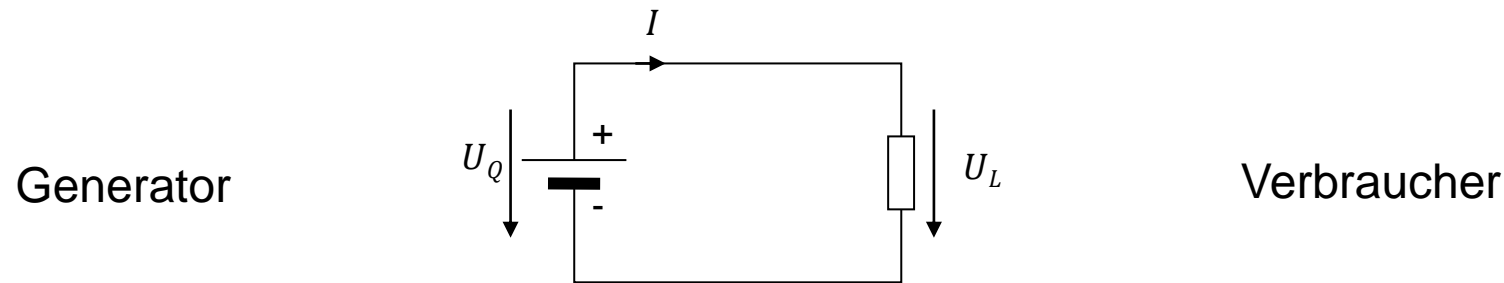


ZÄHLPFEILSYSTEM

Stromrichtung := Bewegungsrichtung positiver Ladungsträger

Konvention für Zählpfeile

- Spannung: positiv, wenn von hohem Potential zu niedrigem
- Strom: positiv, wenn Stromrichtung gleich Pfeilrichtung
- Verbraucher: Spannungs- und Strompfeil in gleiche Richtung
- Quellen: Spannungs- und Strompfeil entgegengesetzt



Wichtig: Zu jeder Spannung und jedem Strom gehört eine Richtungsangabe.

2 GLEICHSTROMSCHALTUNGEN

2.1 Zählpfeilsystem

2.2 Grundlegende Begriffe

2.3 Kirchhoffsche Gesetze

2.4 Parallel- und Reihenschaltung von Widerständen

2.5 Strom- und Spannungsteiler

2.6 Lineare Quellen

2.7 Umwandlung in Ersatzquellen

2.8 Überlagerungsprinzip

2.9 Netzwerkanalyse

2.10 Leistungsanpassung

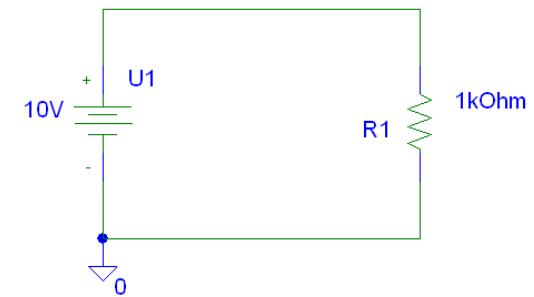
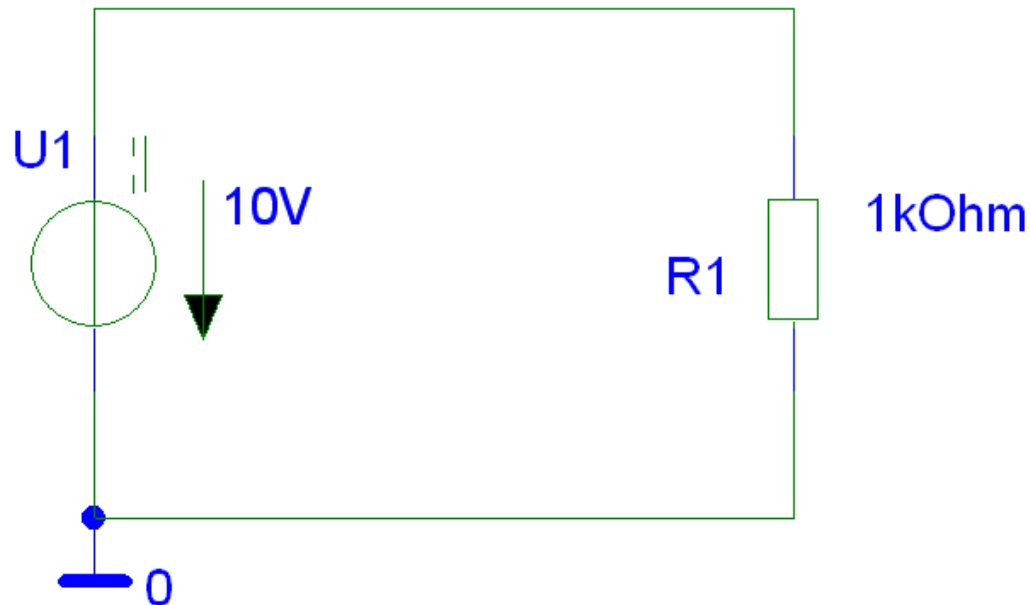
2.11 Nichtlineare Quellen und Verbraucher

2.12 Gesteuerte Quellen

BEGRIFFE NETZWERK UND SCHALTKREIS

- **Netzwerk**
Verbindung von elektronischen Bauelementen
- **Schaltkreis**
Netzwerk mit geschlossener Schleife

... daher der Begriff
Netzwerkanalyse



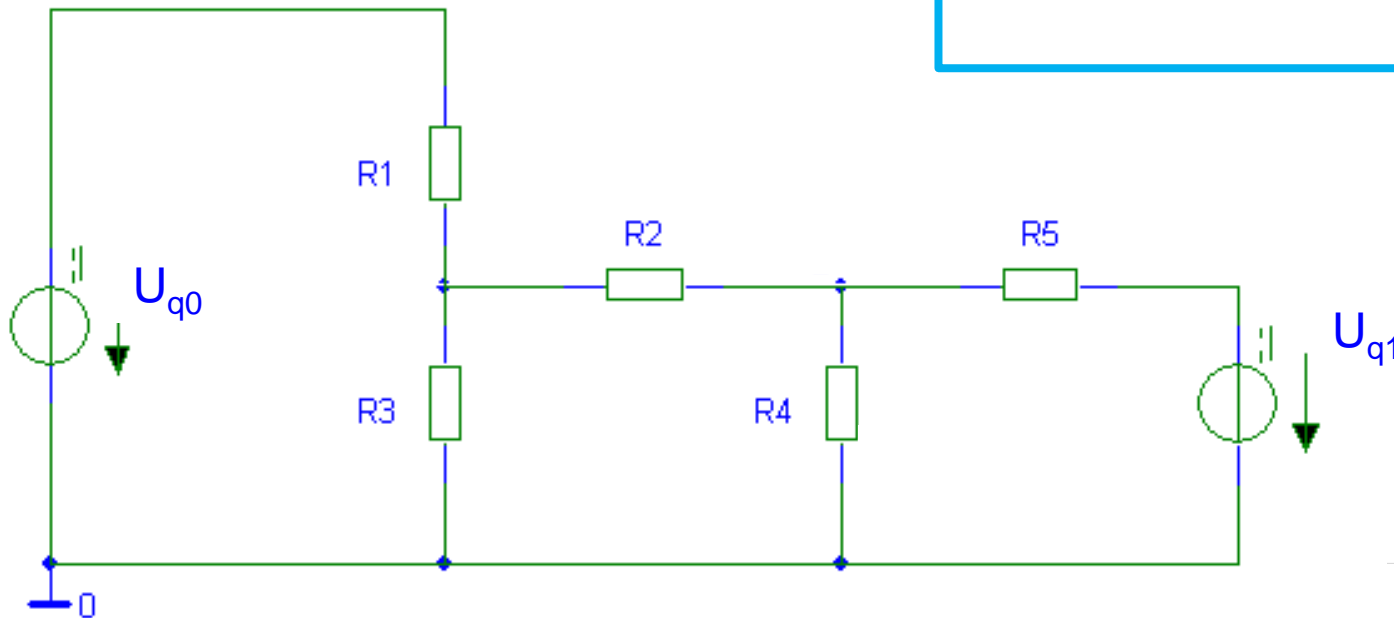
DEFINITION ZWEIG

Zweig:

Ein oder mehrere Elemente in Serie ohne Abzweigung

Wieviele Zweige z hat dieses Netzwerk?

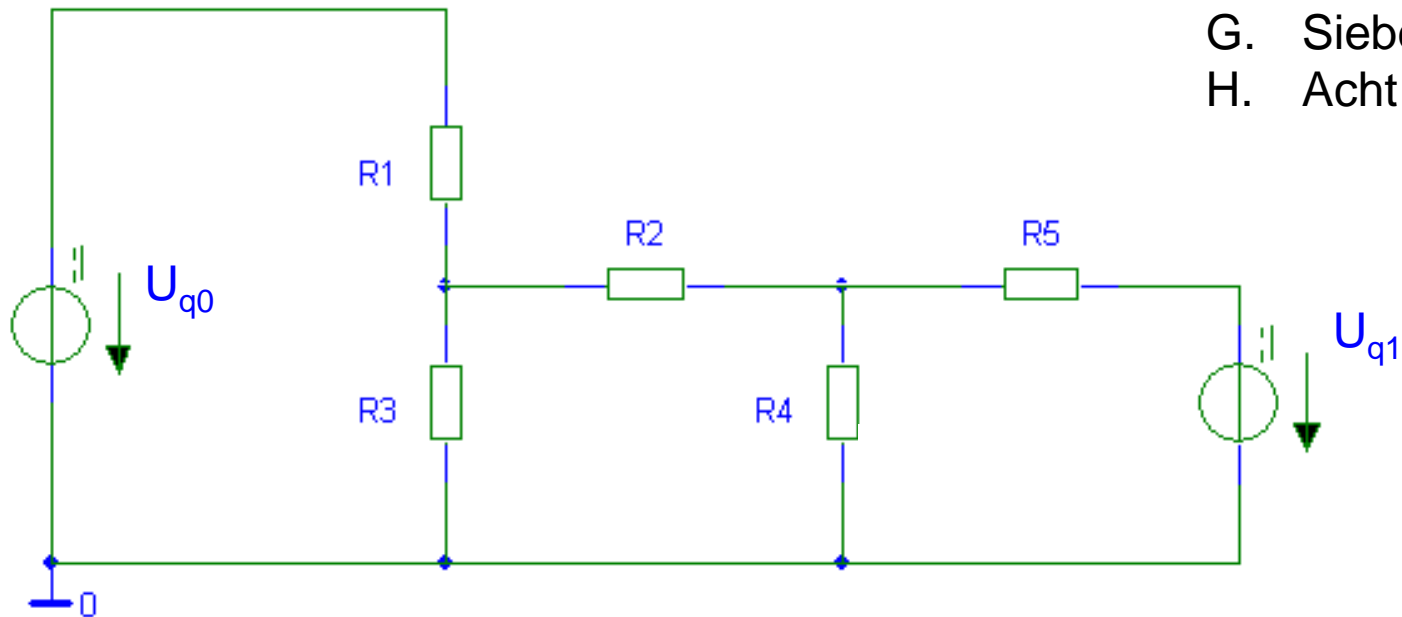
- A. Einen
- B. Zwei
- C. Drei
- D. Vier
- E. Fünf
- F. Sechs
- G. Sieben
- H. Acht
- I. Neun



DEFINITION KNOTEN

Knoten:

Verbindung von 2 oder mehr Zweigen.



Wie groß ist die Anzahl der Knoten k ?

- A. Einen
- B. Zwei
- C. Drei
- D. Vier
- E. Fünf
- F. Sechs
- G. Sieben
- H. Acht

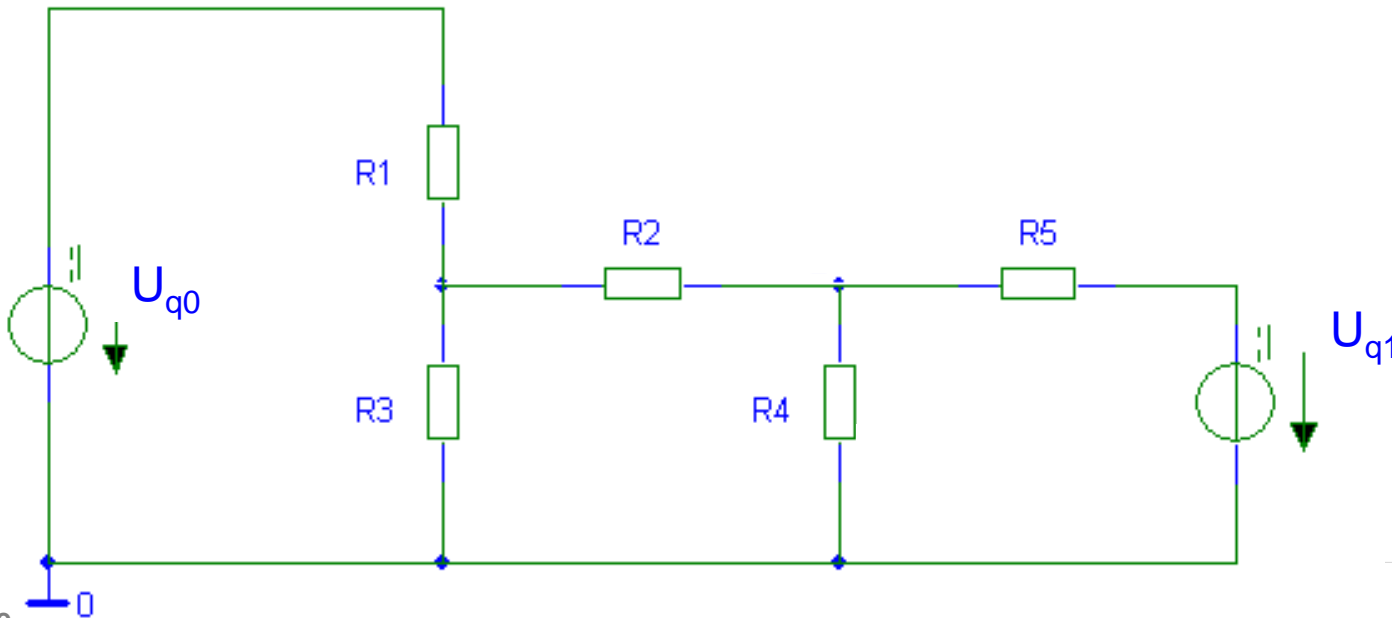
Ein Netzwerk mit k Knoten hat genau $k - 1$ unabhängige Knoten.

DEFINITION MASCHE

Masche:

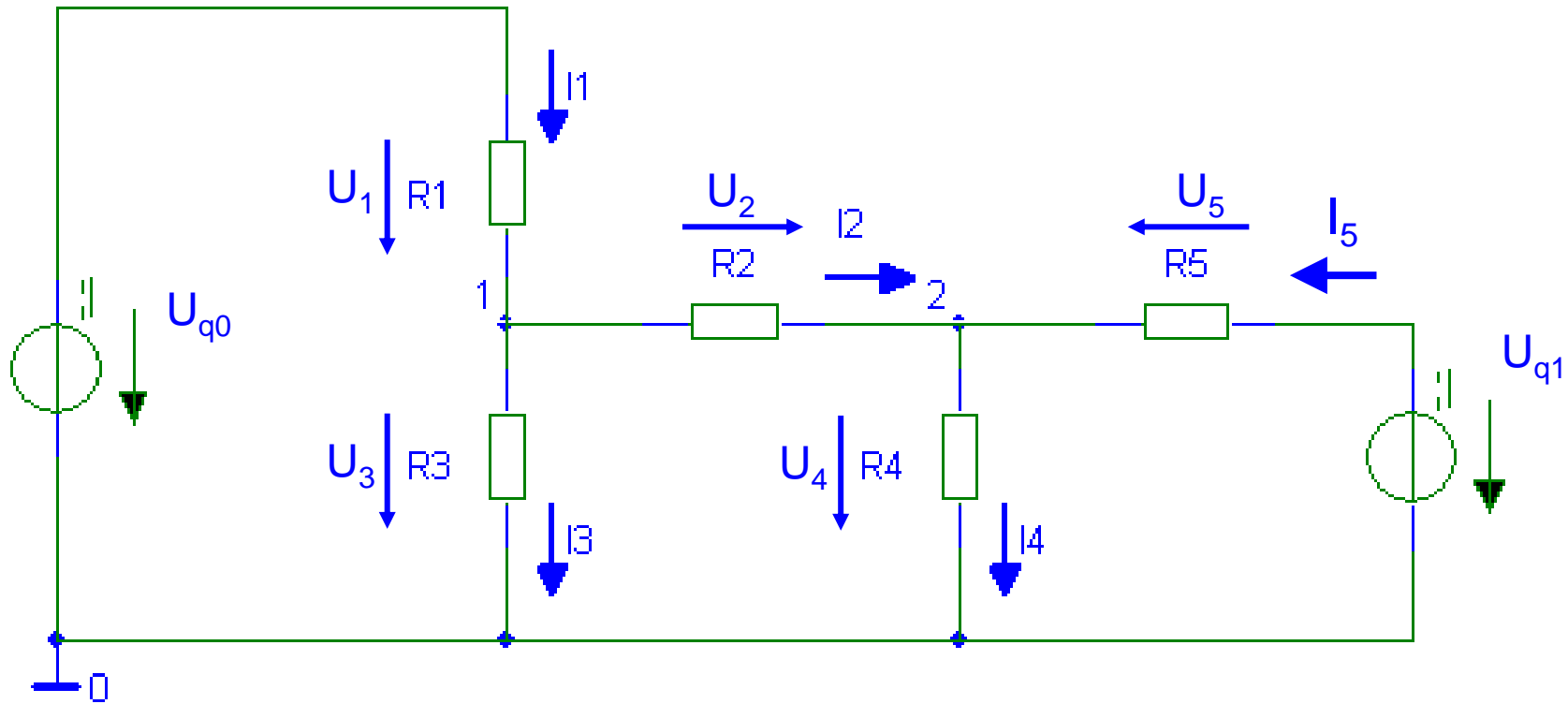
Jede geschlossene Schleife in einem Netzwerk.

$$\text{Anzahl der unabhängigen Maschen } m = z - (k - 1)$$



Hier?

GLEICHSTROMNETZWERK



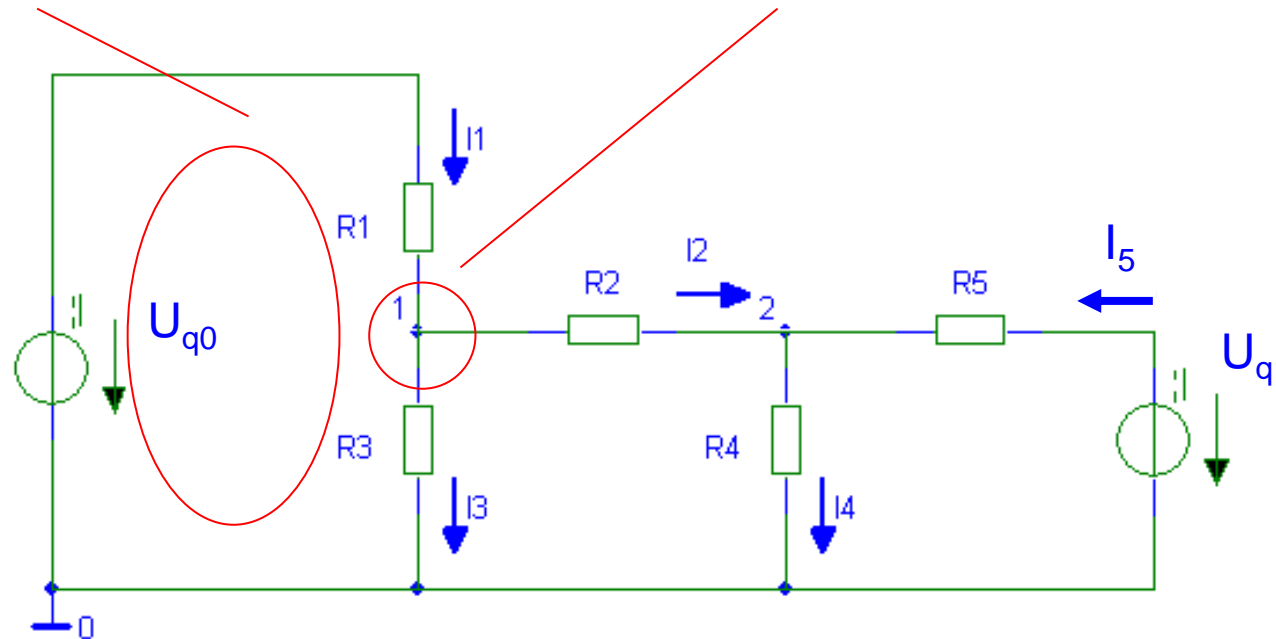
2 GLEICHSTROMSCHALTUNGEN

- 2.1 Zählpfeilsystem
- 2.2 Grundlegende Begriffe
- 2.3 Kirchhoffsche Gesetze**
- 2.4 Parallel- und Reihenschaltung von Widerständen
- 2.5 Strom- und Spannungsteiler
- 2.6 Lineare Quellen
- 2.7 Umwandlung in Ersatzquellen
- 2.8 Überlagerungsprinzip
- 2.9 Netzwerkanalyse
- 2.10 Leistungsanpassung
- 2.11 Nichtlineare Quellen und Verbraucher
- 2.12 Gesteuerte Quellen

KIRCHHOFFSCHE GESETZE

Kirchhoffsche Maschenregel
(Kirchhoffs' Voltage Law KVL)
→ Spannungen in Masche

Kirchhoffs Knotenregel
(Kirchhoff's current law KCL)
→ Ströme in Knoten



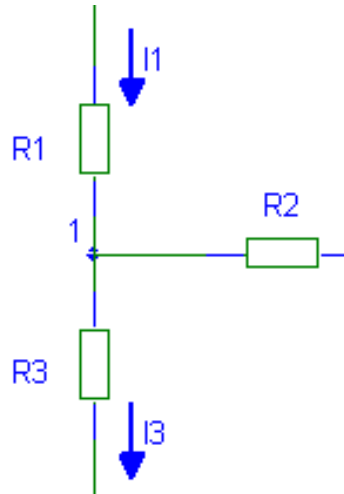
KIRCHHOFFSCHE KNOTENREGEL

Die Summe aller in einen Knoten hinein- und hinausfließenden Ströme ist gleich Null.

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

+ I_i wenn Pfeil auf Knoten zeigt, $-I_i$ wenn Pfeil vom Knoten weg zeigt

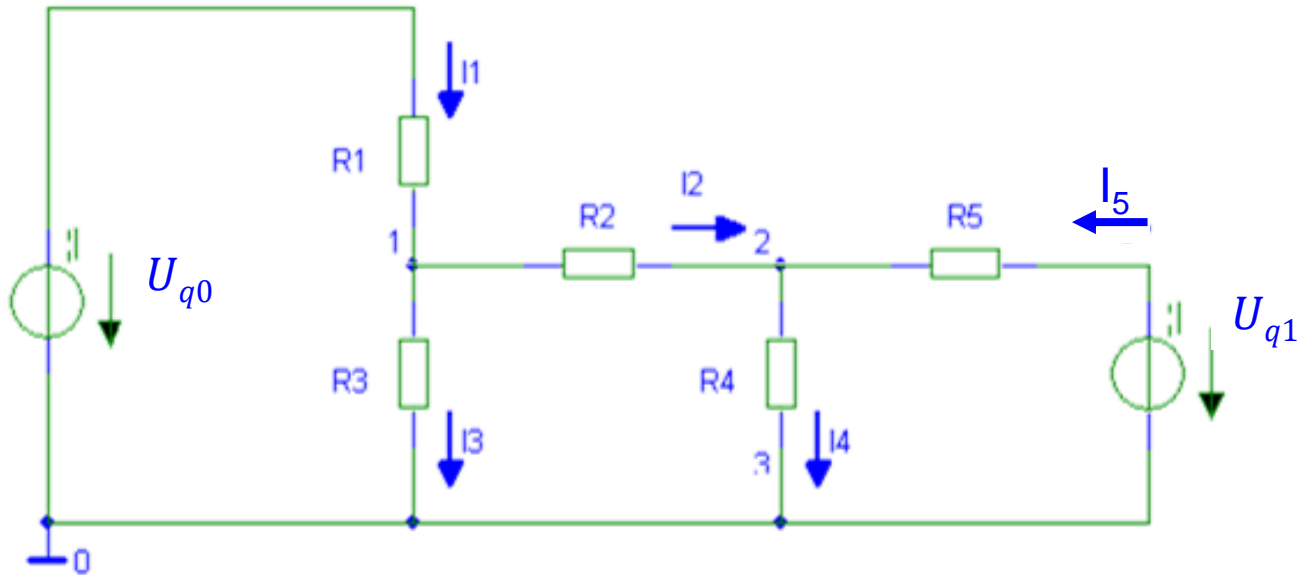
• Beispiel:



Knotenregel für Knoten 1:
 $+ I_1 - I_3 - I_2 = 0$

ÜBUNG

Wenden Sie die Kirchhoffsche Knotenregel an.



Knoten 1:

Knoten 2:

Knoten 3:

Welche Aussagen sind korrekt?

A. $K1: I_1 + I_2 + I_3 = 0$

B. $K2 = I_2 - I_4 + I_5$

C. $K3: I_3 + I_4 - I_5 = I_1$

BEACHTEN: NUR K-1 UNABHÄNGIGE KNOTEN

$$K_1: I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$K_2: I_2 - I_4 + I_5 = 0$$

$$K_3: -I_1 + I_3 + I_4 - I_5 = 0$$

$$(K_1) + (K_2) :$$

\Leftrightarrow

$$\Leftrightarrow \cdot (-1) :$$

Vergleiche mit K_3 !

KIRCHHOFFSCHE MASCHENREGEL

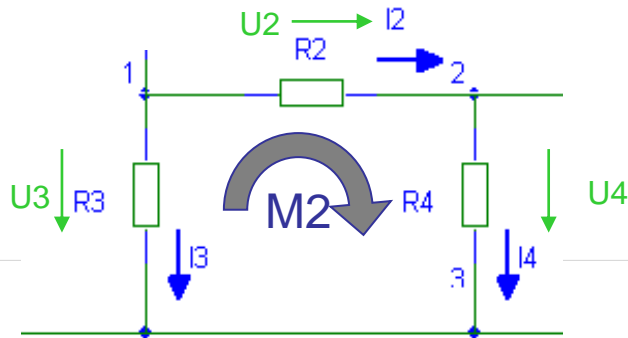
- Die Summe aller Spannungen entlang eines Maschenumlaufes ist gleich Null.

$$\sum_{i=1}^n U_i = 0$$

Umlaufsinn der Schleife definieren (Konvention: im Uhrzeigersinn), dann:

- + U_i wenn Pfeil von U_i in Richtung der Schleife
- U_i wenn Pfeil von U_i gegen die Richtung der Schleife

- Beispiel:



Maschenregel:

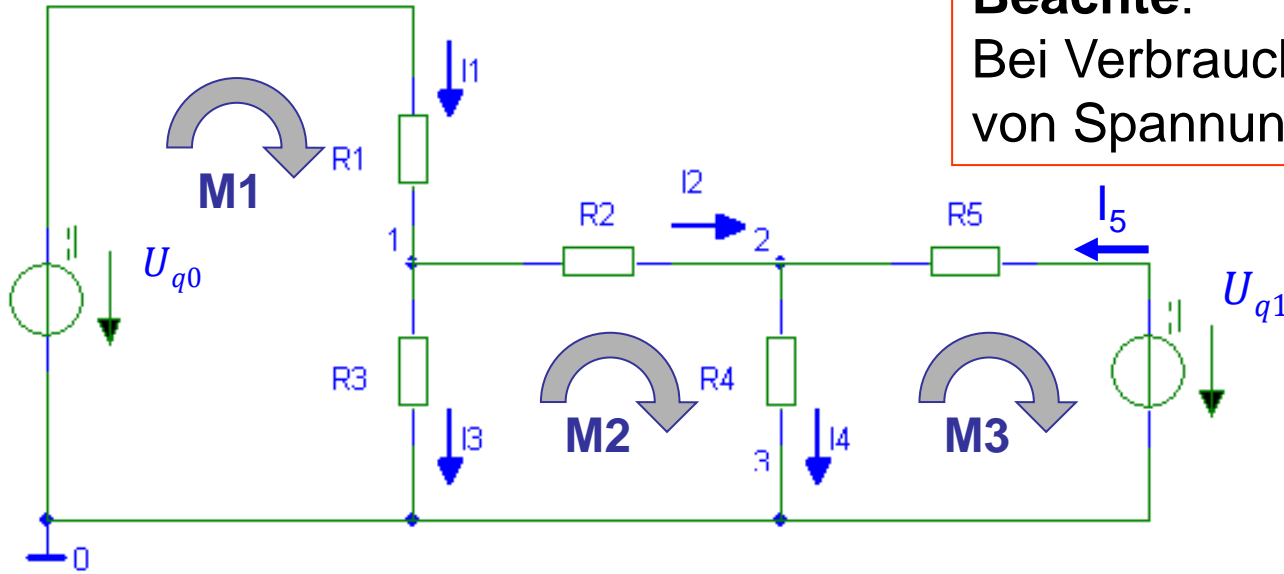
$$+ U_2 + U_4 - U_3 = 0$$

ÜBUNG: KIRCHHOFFS MASCHENREGEL

Wenden Sie die Kirchhoffsche Maschenregel an.

Beachte:

Bei Verbrauchern (z.B. Widerständen) zeigen die Pfeile von Spannung und Strom in die gleiche Richtung.



Masche 1:

Masche 2:

Masche 3:

Welche Antwort ist korrekt?

- A. $M_1: U_1 + U_3 = 0$
- B. $M_2: U_2 - U_3 + U_4 = 0$
- C. $M_3: U_{q1} = U_4 + U_5$

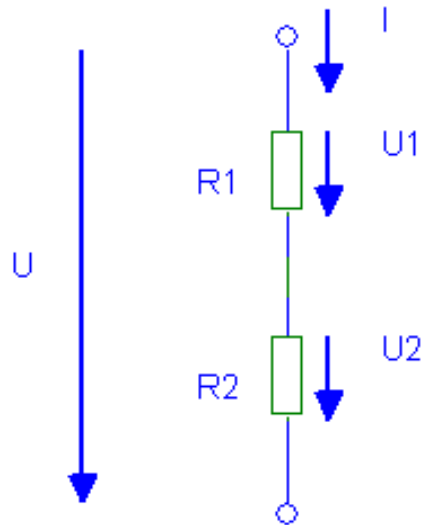
2 GLEICHSTROMSCHALTUNGEN

- 2.1 Zählpfeilsystem
- 2.2 Grundlegende Begriffe
- 2.3 Kirchhoffsche Gesetze
- 2.4 Parallel- und Reihenschaltung von Widerständen**
- 2.5 Strom- und Spannungsteiler
- 2.6 Lineare Quellen
- 2.7 Umwandlung in Ersatzquellen
- 2.8 Überlagerungsprinzip
- 2.9 Netzwerkanalyse
- 2.10 Leistungsanpassung
- 2.11 Nichtlineare Quellen und Verbraucher
- 2.12 Gesteuerte Quellen

REIHENSCHALTUNG VON WIDERSTÄNDEN

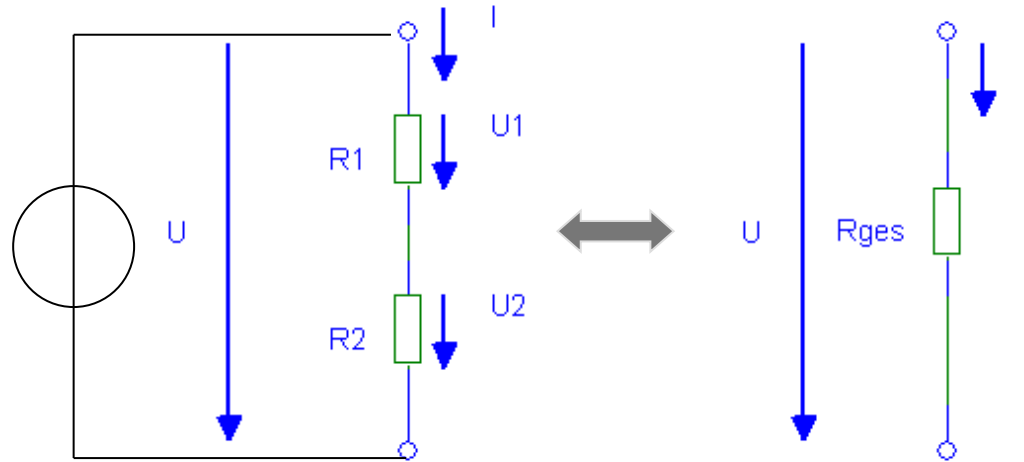
Reihenschaltung

- 2 Bauelemente haben nur einen gemeinsamen Ende und mit diesem Knoten sind keine anderen Elemente verbunden



GESAMTWIDERSTAND DER REIHENSCHALTUNG

Welcher Gesamtwiderstand entspricht der Reihenschaltung?



Maschenregel :

Ohmsches Gesetz:

\Rightarrow

\Rightarrow

ALLGEMEIN GILT FÜR DIE REIHENSCHALTUNG

- mehr als 2 Elemente in Reihe:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

- Kurzform:

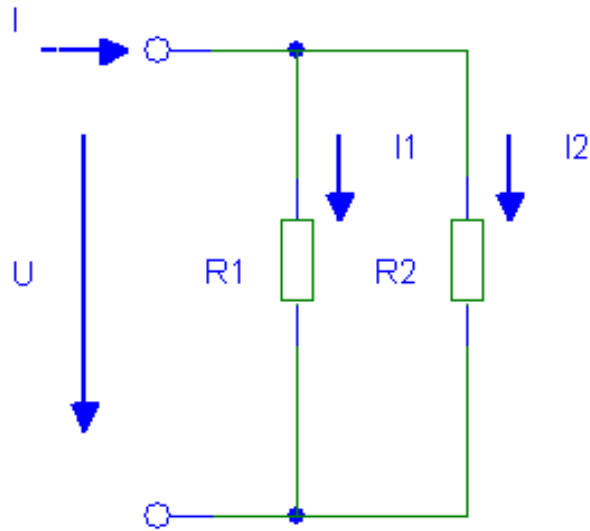
$$R = \sum_{i=1}^n R_i$$

Der Gesamtwiderstand ist stets größer als

PARALLELSCHALTUNG VON WIDERSTÄNDEN

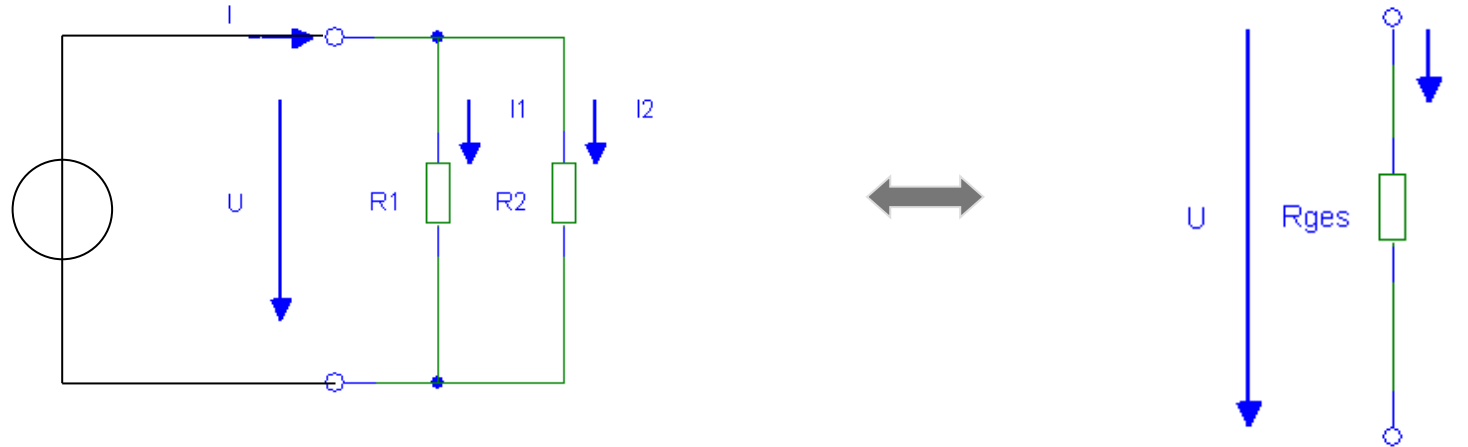
Parallelschaltung

- 2 Elemente haben zwei gemeinsame Enden



GESAMTWIDERSTAND DER PARALLELSCHALTUNG

Was ist der Gesamtwiderstand der Parallelschaltung?



Knotenregel :

Ohmsches Gesetz :

\Rightarrow

\Rightarrow

ALLGEMEINE LÖSUNG DER PARALLELSCHALTUNG

- mehr als 2 Elemente parallel:

$$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n \Leftrightarrow 1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$$

- Kurzform:

$$G = \sum_{i=1}^n G_i$$

\Leftrightarrow

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

- für $n = 2$: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ \Leftrightarrow $R =$

Der Gesamtwiderstand ist stets kleiner als

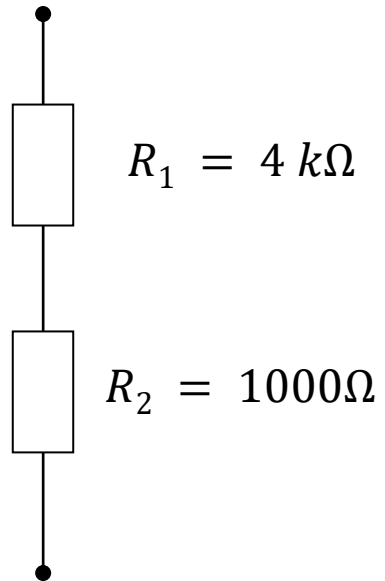
HINWEISE

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

ÜBUNG

Bestimmen Sie den Gesamtwiderstand

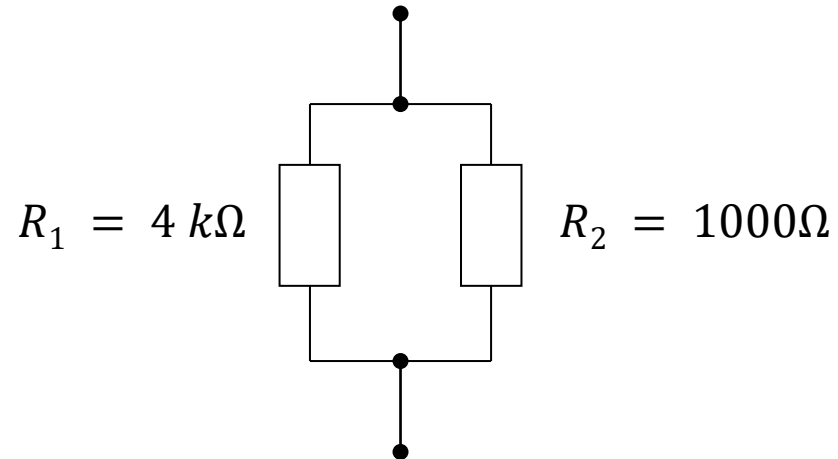


Lösung

- A. $R = 1004 \Omega$
- B. $R = 4,1 \text{ k}\Omega$
- C. $R = 5 \text{ k}\Omega$

ÜBUNG

Bestimmen Sie den Gesamtwiderstand



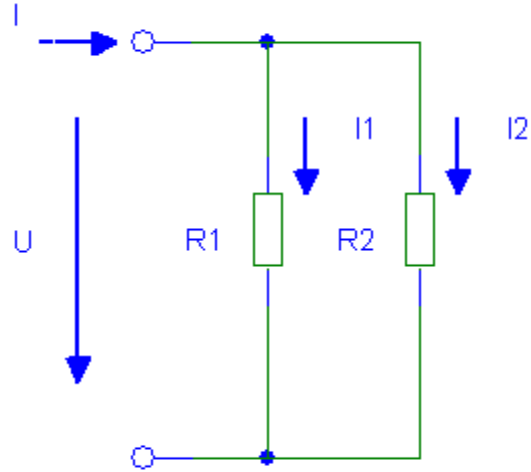
Lösung

- A. $R = 5 \text{ k}\Omega$
- B. $R = 3 \text{ k}\Omega$
- C. $R = 800\Omega$

2 GLEICHSTROMSCHALTUNGEN

- 2.1 Zählpfeilsystem
- 2.2 Grundlegende Begriffe
- 2.3 Kirchhoffsche Gesetze
- 2.4 Parallel- und Reihenschaltung von Widerständen
- 2.5 Strom- und Spannungsteiler**
- 2.6 Lineare Quellen
- 2.7 Umwandlung in Ersatzquellen
- 2.8 Überlagerungsprinzip
- 2.9 Netzwerkanalyse
- 2.10 Leistungsanpassung
- 2.11 Nichtlineare Quellen und Verbraucher
- 2.12 Gesteuerte Quellen

STROMTEILER



$$I_1 =$$

$$I_2 =$$

$$I =$$

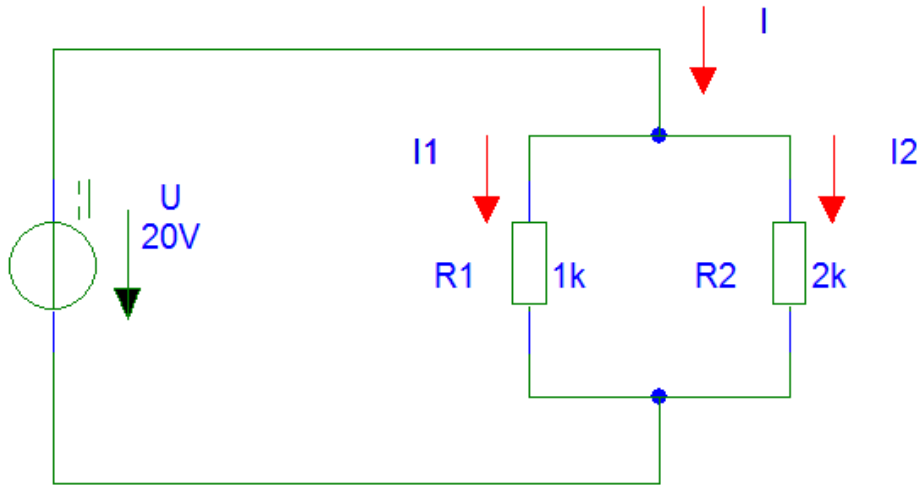
$$I_1 = \quad \cdot I$$

Bei Parallelschaltung teilt sich der Strom entsprechend des Verhältnisses der Leitwerte auf.

$$I_i = \frac{G_i}{G} \cdot I$$

AUFGABE

Bestimmen Sie I , I_1 und I_2 , das Verhältnis I_1 / I_2 und G_1 / G_2 .



$$G_1 =$$

$$G_2 =$$

$$G =$$

$$I =$$

$$I_1 =$$

$$I_2 =$$

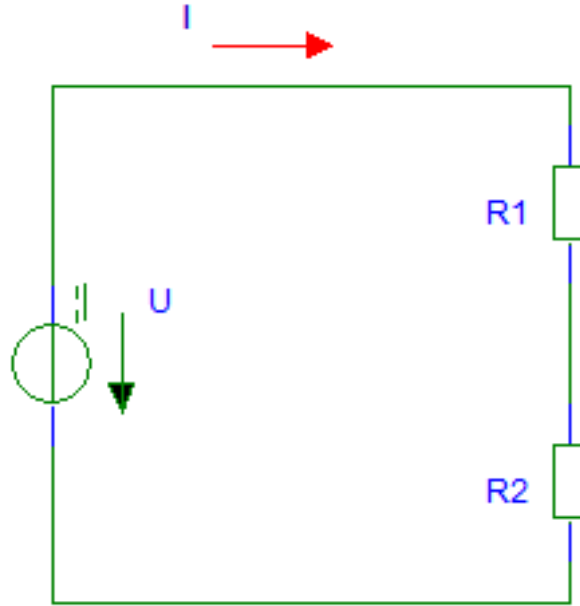
$$\frac{I_1}{I_2} =$$

$$\frac{G_1}{G_2} =$$

Richtige Antwort?

- A. $I_1 / I_2 = 2$
- B. $I_2 / I_1 = 2$
- C. $G_2 / G_1 = 1/2$

SPANNUNGSTEILER



$$U_2 =$$

$$I =$$

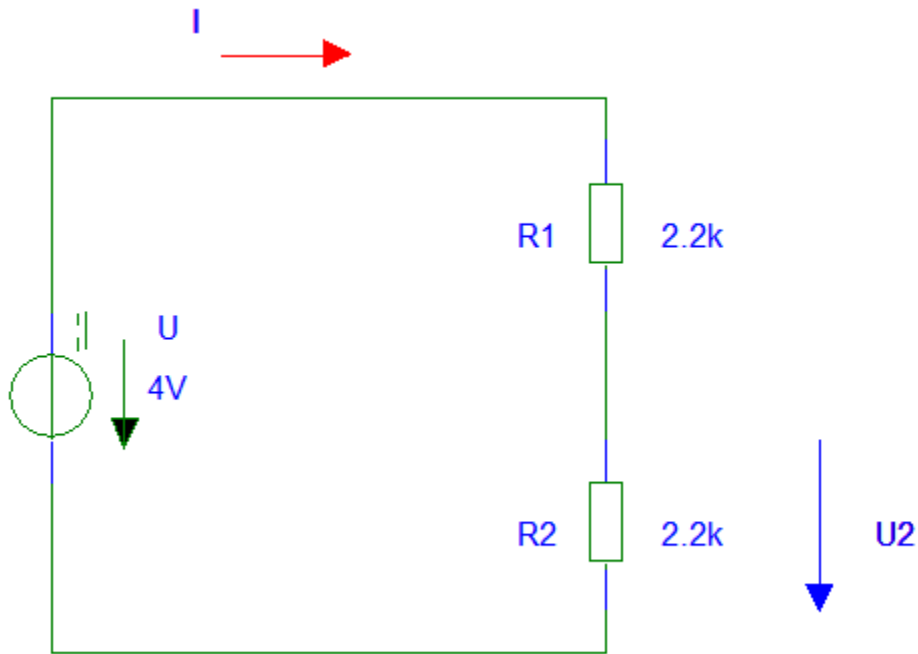
$$\Rightarrow U_2 =$$

Die Spannung an den Widerständen teilt sich entsprechend der Widerstandswerte auf.

$$U_i = \frac{R_i}{R} \cdot U$$

AUFGABE

Bestimmen Sie die Spannung U_2 .

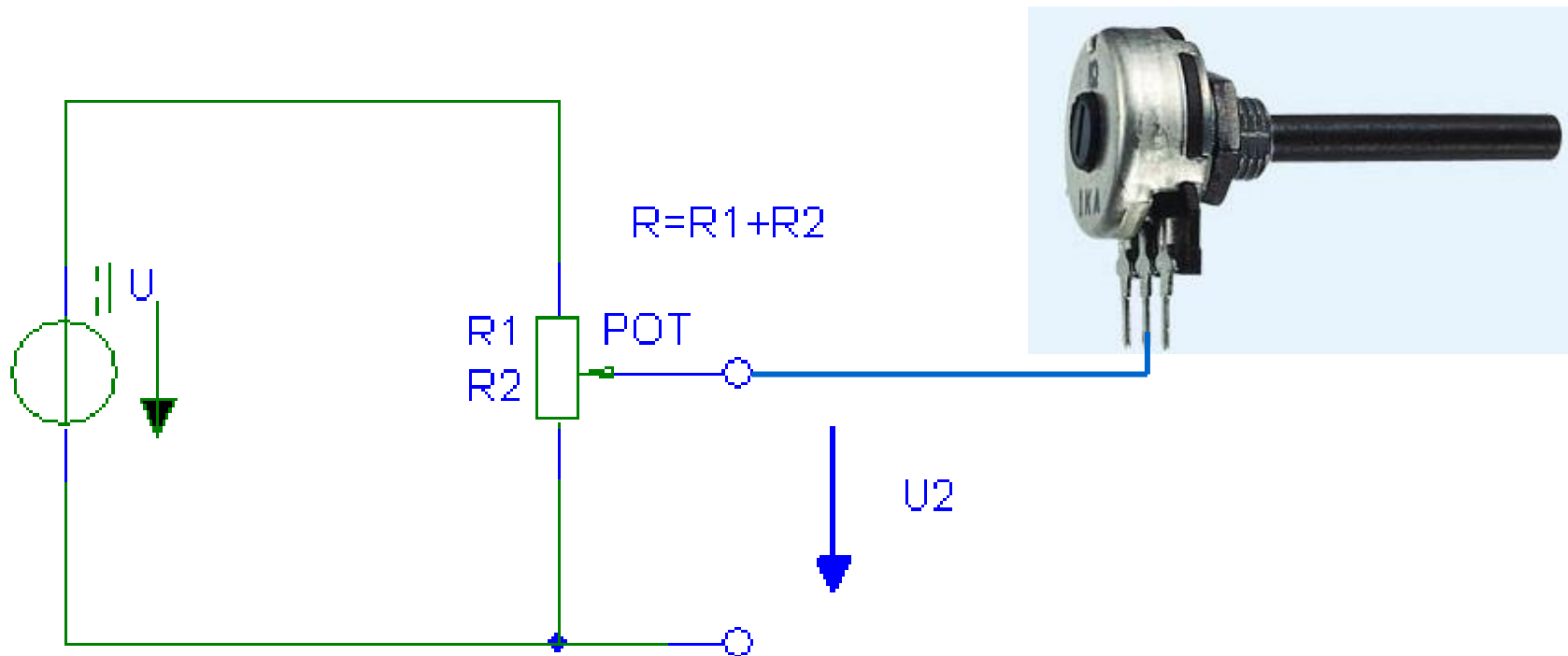


Lösung:

- A. $U_2 = 2,2 V$
- B. $U_2 = 2 V$
- C. $U_2 = 1 V$

ANWENDUNG: EINSTELLBARE SPANNUNG

Wie kann man die Spannung einstellen, wenn nur eine Batterie mit fester Spannung zur Verfügung steht?



ANWENDUNG / ÜBUNG

Was machen Sie, wenn Sie genau diesen Widerstand benötigen ...

- $4\text{ k}\Omega$
- $5\text{ k}\Omega$
- $9\text{ k}\Omega$

E 12 Toleranz $\pm 10\%$
1,0
1,2
1,5
1,8
2,2
2,7
3,3
3,9
4,7
5,6
6,8
8,2

WAS SIE MITNEHMEN SOLLEN ...

Grundbegriffe verstehen, definieren, anwenden

- Netzwerk, Schaltkreis, Zweig, Knoten, Masche

Kirchhoffsche Gesetze

- Maschenregel
- Knotenregel

Schaltung von Widerständen

- Parallelschaltung
- Reihenschaltung

Spannungsteiler

Stromteiler