



# Einfache elektrische Netzwerke (2/2)

Manfred Albach, «Elektrotechnik», Kapitel 3

227-0001-00L «Netzwerke und Schaltungen 1»

# Informationen und Ankündigungen

- Übungsstunden am Donnerstag sind als Arbeits- und Übungsumgebung in **kleineren** Gruppen gedacht
  - Bitte gehen Sie ausschliesslich in die Übungsgruppe, für die Sie eingeschrieben sind.
  - Wir werden Legikontrolle durchführen, da dies nicht gut eingehalten wird.
  - Study-Center ist ebenfalls ideal für individuelle Unterstützung
- Nächste Woche findet Vorführung der elektrostatischen Generatoren statt
  - Bitte melden Sie sich noch bei Pit welche Gruppe definitiv vorführen möchte.
  - Präsentation und Vorführung
    - 5 min max!!
    - Erklärung des Funktionsprinzips (mit Theorie aus Vorlesung)

# Woche 6



- Reale Spannungs- und Stromquellen
- Ersatzspannungs- und –stromquellen
- Leistungsanpassung
- Stern-Dreieck-Umwandlung
- Überlagerungsverfahren
- Analyse Umfangreicher Netzwerke (Vollständiger Baum, Auftrennen der Maschen)
- (*Ausblick auf NuS-2*) Maschenstrom- und Knotenpotentialverfahren

## Lernziele - Einfache elektrische Netzwerke (2/2)

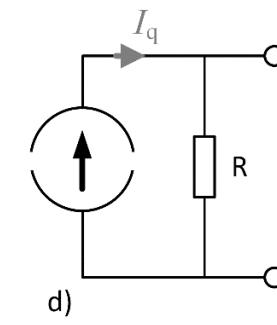
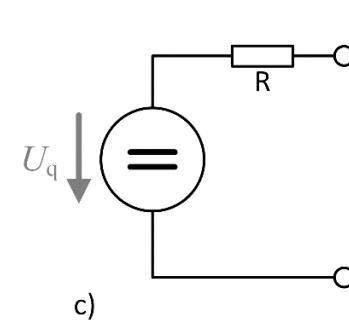
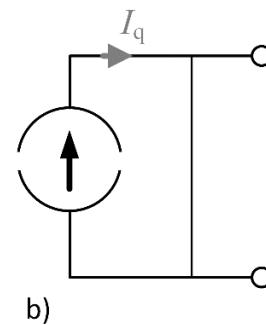
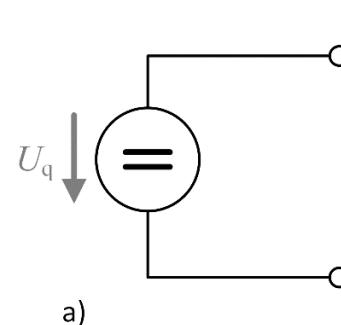
Nach dieser Woche (Lesen im Buch, Vorlesungsstunde, Übungsstunde sowie dem eigenständigen Lösen von Übungsaufgaben) werden Sie in der Lage sein:

- Spannungs- und Stromquellen ineinander umzurechnen,
- die Verbraucherleistung bei vorgegebener Quelle zu maximieren,
- Wirkungsgradberechnungen durchzuführen sowie
- umfangreiche Gleichstromnetzwerke mit unterschiedlichen Methoden zu analysieren.



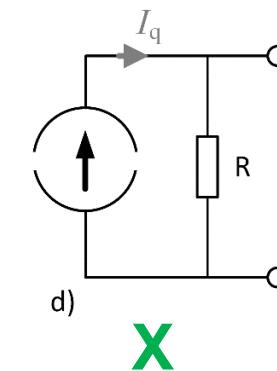
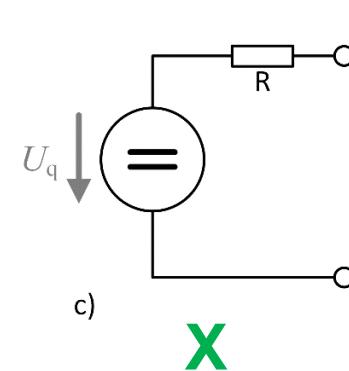
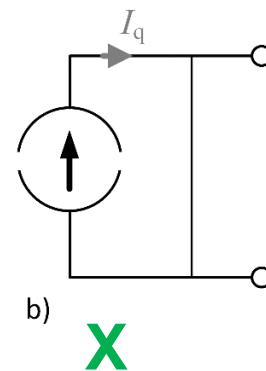
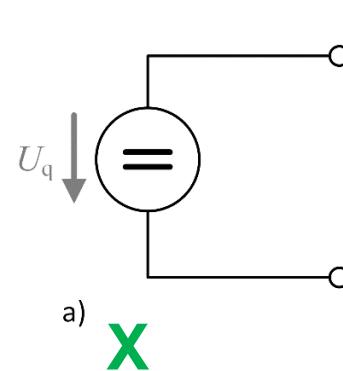
## 1 - Strom- und Spannungsquellen

Welche der Schaltungen a) - d) führen **nicht** zu einem Widerspruch? (Mehrfachnennung möglich).



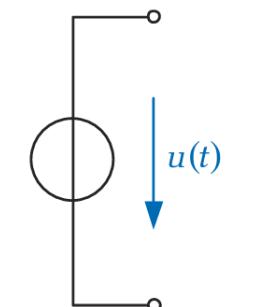
# 1 - Strom- und Spannungsquellen

Welche der Schaltungen a) - d) führen **nicht** zu einem Widerspruch? (Mehrfachnennung möglich).



# Überblick – Strom- und Spannungsquellen

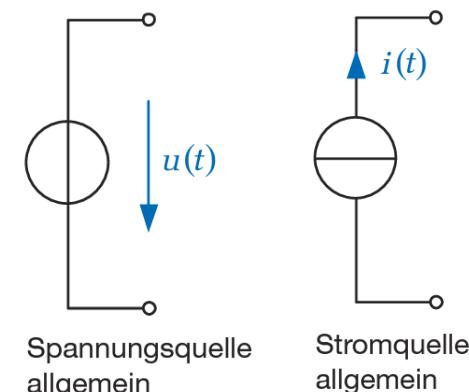
	ideale	Reale
Spannungsquelle	<ul style="list-style-type: none"><li>Ausgangsspannung unabhängig vom angeschlossenen Netzwerk</li><li>Ausgangstrom hängt vom angeschlossenen Netzwerk ab</li></ul>	
Stromquelle		



Spannungsquelle  
allgemein

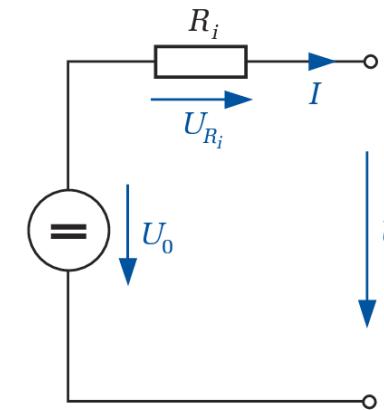
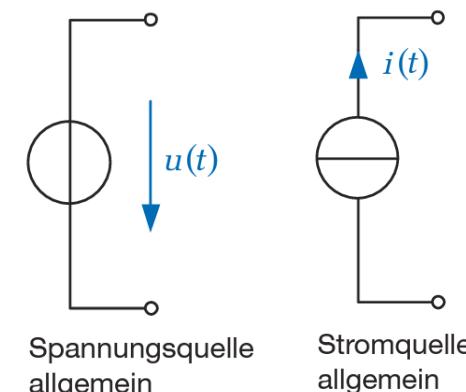
# Überblick

	ideale	Reale
Spannungsquelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ausgangsspannung unabhängig vom angeschlossenen Netzwerk</li> <li>Ausgangstrom hängt vom angeschlossenen Netzwerk ab</li> </ul>	
Stromquelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ausgangstrom unabhängig vom angeschlossenen Netzwerk</li> <li>Ausgangsspannung hängt vom angeschlossenen Netzwerk ab</li> </ul>	



# Überblick

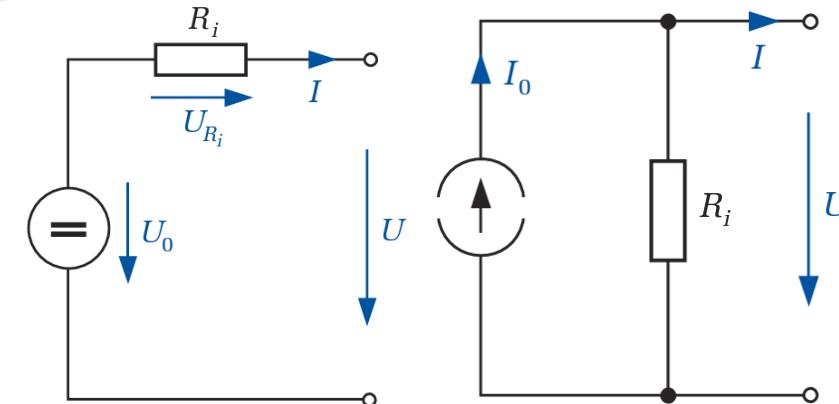
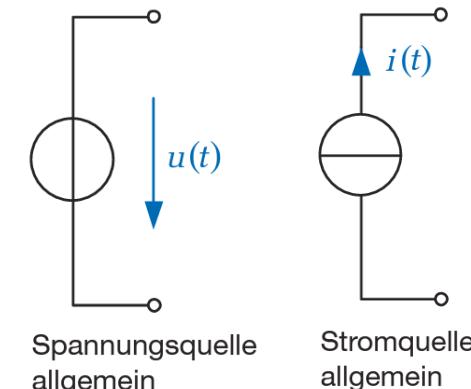
	ideale	Reale
Spannungsquelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ausgangsspannung unabhängig vom angeschlossenen Netzwerk</li> <li>Ausgangstrom hängt vom angeschlossenen Netzwerk ab</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Innenwiderstand <math>R_i</math> in Reihe zu idealer Quellenspannung <math>U_0</math></li> <li>Leerlaufspannung <math>U_L</math> (= Quellenspannung)</li> <li>Kurzschlussstrom <math>I_K = U_0/R_i</math></li> </ul>
Stromquelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ausgangstrom unabhängig vom angeschlossenen Netzwerk</li> <li>Ausgangsspannung hängt vom angeschlossenen Netzwerk ab</li> </ul>	



# Überblick



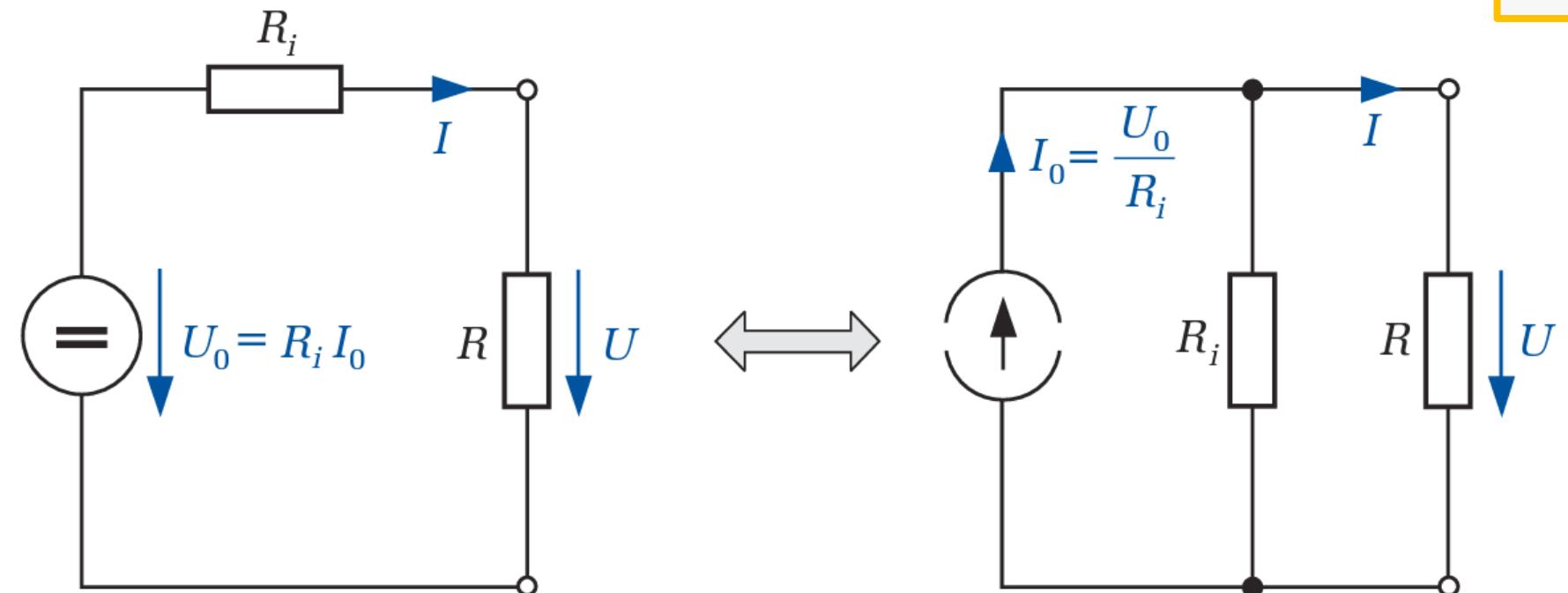
	ideale	Reale
Spannungsquelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ausgangsspannung unabhängig vom angeschlossenen Netzwerk</li> <li>Ausgangstrom hängt vom angeschlossenen Netzwerk ab</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Innenwiderstand <math>R_i</math> in Reihe zu idealer Quellenspannung <math>U_0</math></li> <li>Leerlaufspannung <math>U_L</math> (= Quellenspannung)</li> <li>Kurzschlussstrom <math>I_K = U_0/R_i</math></li> </ul>
Stromquelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ausgangstrom unabhängig vom angeschlossenen Netzwerk</li> <li>Ausgangsspannung hängt vom angeschlossenen Netzwerk ab</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Innenwiderstand <math>R_i</math> parallel zu idealem Quellenstrom <math>I_0</math></li> <li>Kurzschlussstrom <math>I_K</math> (= Quellenstrom <math>I_0</math>)</li> <li>Leerlaufspannung <math>U_0 = I_0 \cdot R_i</math></li> </ul>



Bezüglich Klemmenverhalten: Spannungs- und Stromquelle können ineinander umgerechnet werden.

- äquivalent, wenn gleiche Leerlaufspannung und gleicher Kurzschlussstrom
- gegeben, wenn  $U_0 = I_0 \cdot R_i$

ABER: internes Quellenverhalten komplett anders!



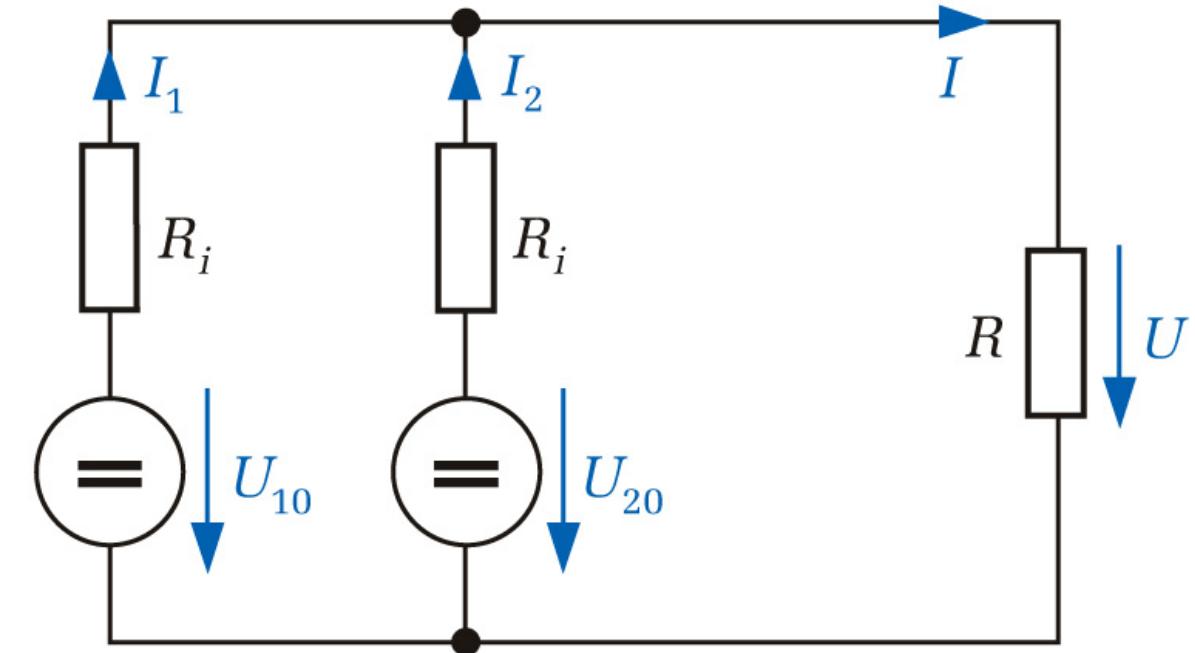
**Abbildung 3.29:** Äquivalente Quellen



Quelle 1  
(Netzteil)

Quelle 2  
(Akku)

Last  
(Bildschirm,  
Prozessor, ...)



**Abbildung 3.30:** Parallel geschaltete Spannungsquellen

# Rechenbeispiel

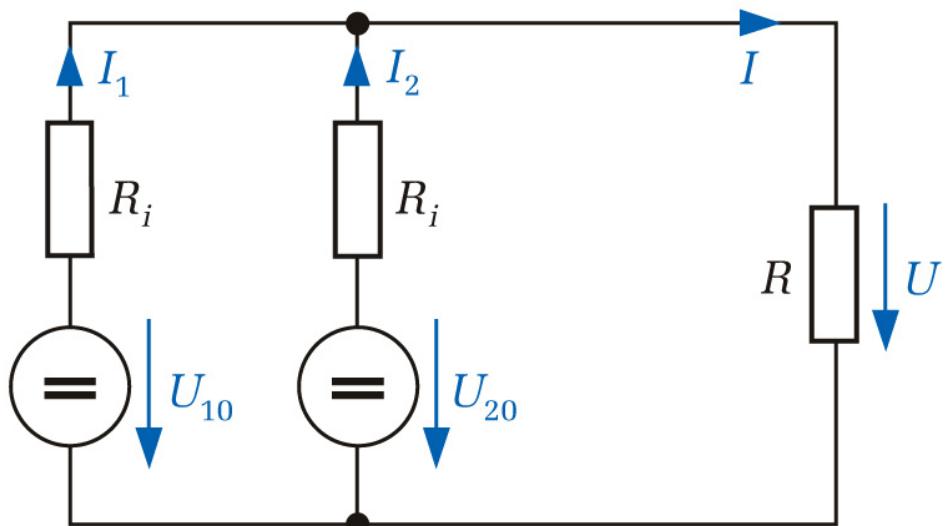


Abbildung 3.30: Parallel geschaltete Spannungsquellen

Ladebetrieb: S1 geschlossen, S2 geöffnet, das Netzgerät lädt den Akku.

Akku: S1 ist geöffnet, S2 geschlossen, der Akku speist den Verbraucher.

Pufferbetrieb: beide Schalter S1 und S2 sind geschlossen, das Netzgerät speist den Verbraucher und lädt den Akku.

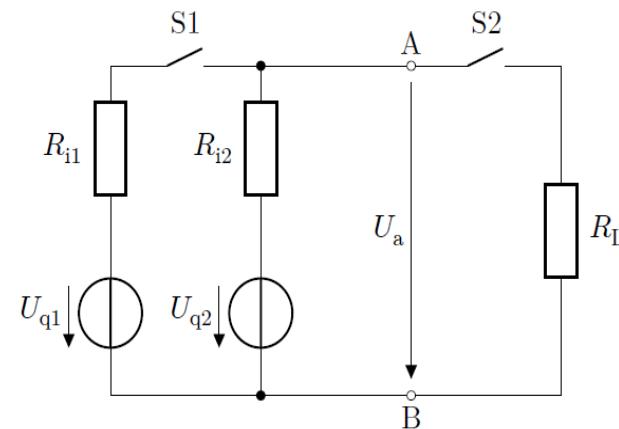


Abbildung 4: Netzwerk aus zwei Spannungsquellen

**Aufgabe 4**  
Prüfung Januar 2020

## Rechenbeispiel

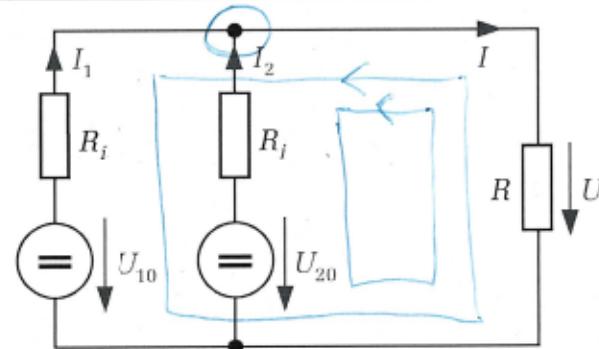


Abbildung 3.30: Parallel geschaltete Spannungsquellen

a) Knoten:  $I_1 + I_2 = I$

b) Maschen:  $U_{10} - RI - R_1 I_1 = 0$

c)  $U_{20} - RI - R_2 I_2 = 0$

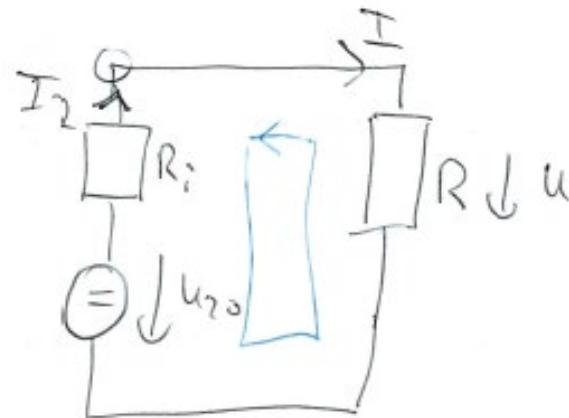
Bsp:  $U_{10} = 12.8V$

$U_{20} = 11.8V$

$R_1 = 1\Omega \Rightarrow I_1 = 0.8A$

$R = 20\Omega \quad I_2 = -0.2A$

## Akkubetrieb



$$\text{Knotenregel: } I_2 = I$$

$$\text{Maschenregel: } u_{20} - I \cdot R - R_i \cdot I_2 = 0$$

$$u_{20} = I (R_i + R)$$

$$I = \frac{u_{20}}{R_i + R}$$

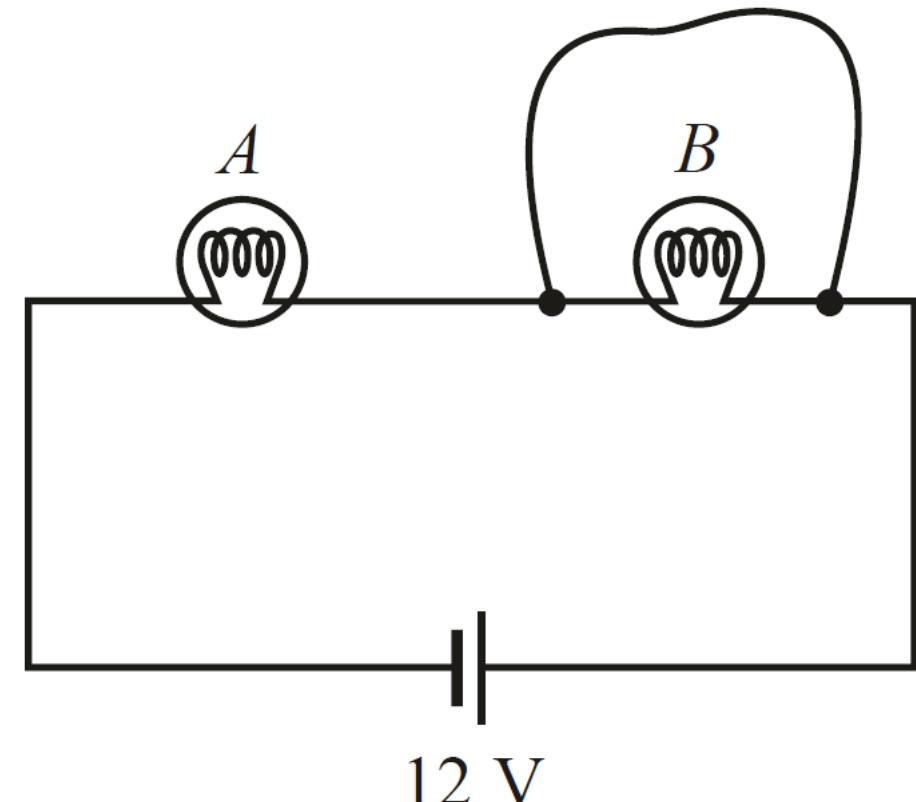
$$I = \frac{11.8V}{1\Omega + 20\Omega} = \frac{11.8V}{21\Omega} \approx 0.56A$$

2 - Leistung in Schaltung mit Glühbirnen  
(3)

The diagram shows a circuit with a 12 V battery at the bottom. Two light bulbs, labeled A and B, are connected in series above the battery. A horizontal line connects the top of bulb A to the top of bulb B. The bottom of bulb A is connected to the positive terminal of the battery, and the bottom of bulb B is connected to the negative terminal.

Zwei Glühbirnen A und B werden in Reihe an eine Gleichspannungsquelle angeschlossen. Anschließend wird ein Draht über Glühbirne B hinweg verbunden. Nach Anlegen der Drahtverbindung ...

- nimmt die Helligkeit der Glühbirne A zu.
- ändert sich Helligkeit der Glühbirne A nicht.
- nimmt die Helligkeit der Glühbirne A ab.
- geht die Glühbirne A aus.



# Experiment

Ohne Kurzschluss von Glühbirne B

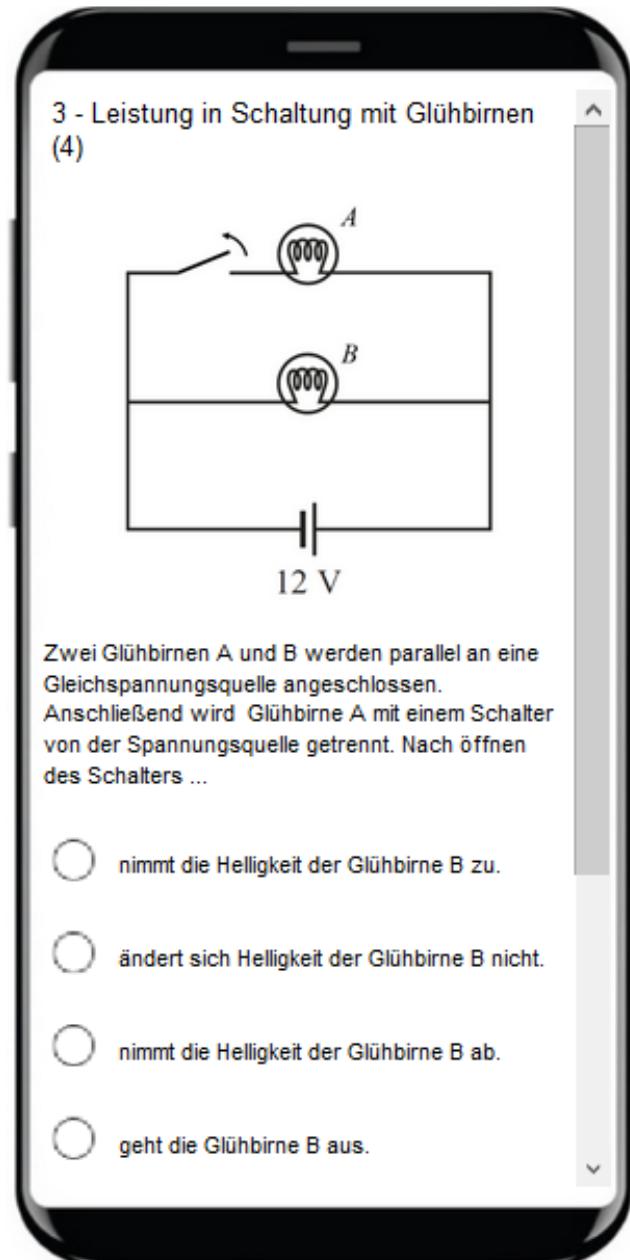


Mit Kurzschluss von Glühbirne B



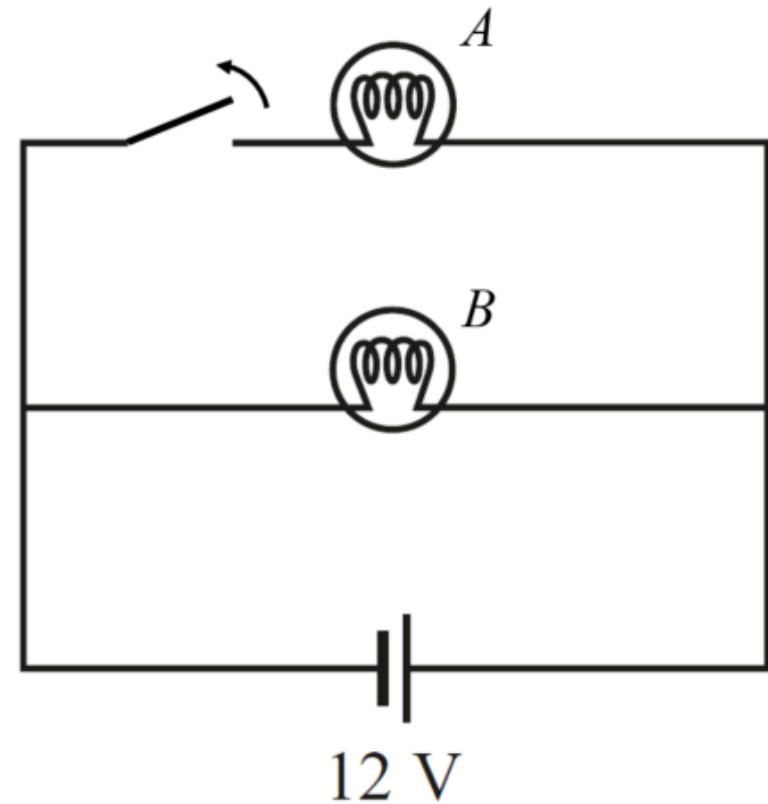
Richtige Antwort: a)

3 - Leistung in Schaltung mit Glühbirnen  
(4)



Zwei Glühbirnen A und B werden parallel an eine Gleichspannungsquelle angeschlossen. Anschließend wird Glühbirne A mit einem Schalter von der Spannungsquelle getrennt. Nach öffnen des Schalters ...

- nimmt die Helligkeit der Glühbirne B zu.
- ändert sich Helligkeit der Glühbirne B nicht.
- nimmt die Helligkeit der Glühbirne B ab.
- geht die Glühbirne B aus.



# Experiment

Geschlossener Schalter



Offener Schalter

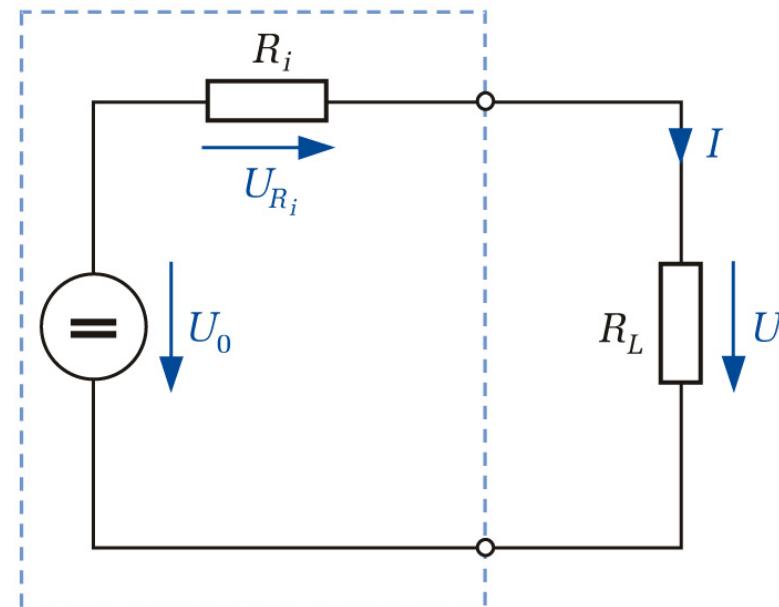


Richtige Antwort: b)

# Konzept - Maximalwertberechnung

Für den zu maximierenden Wert (Zielfunktion) muss es in Bezug auf die Variable (mindestens) zwei konkurrenzierende Prozesse geben:

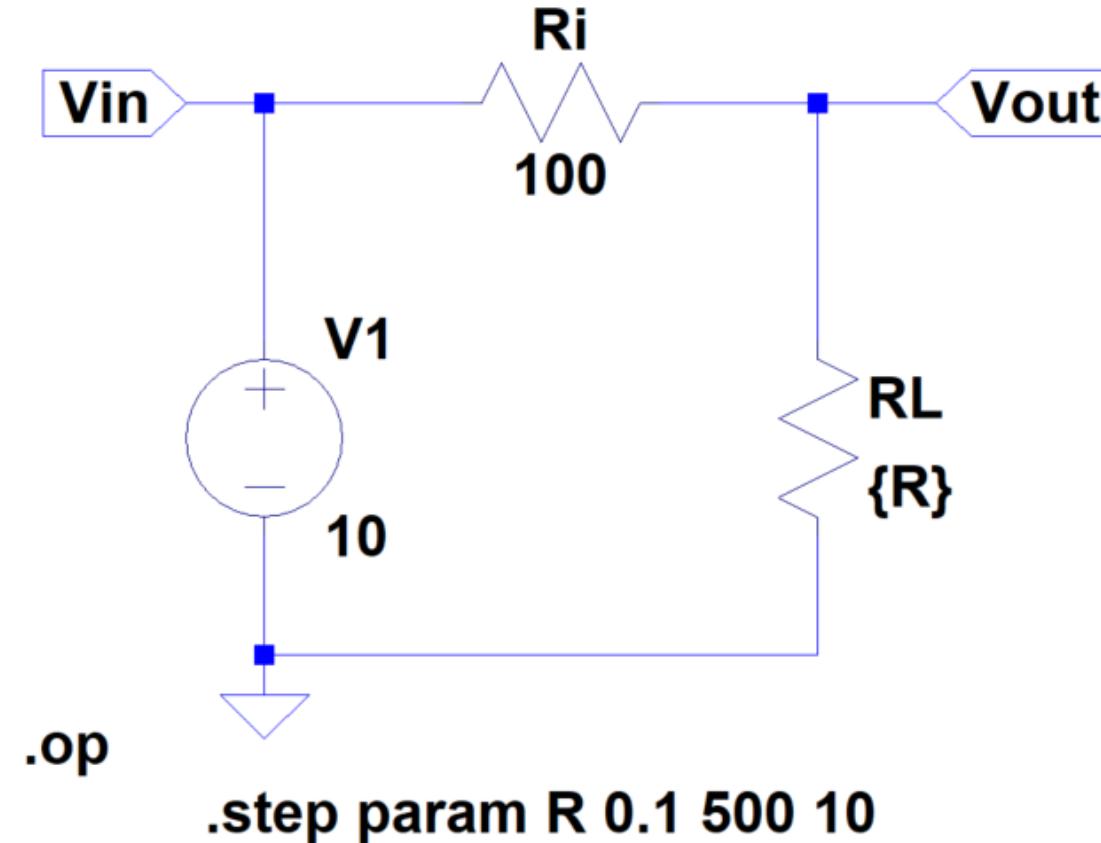
- a) mit Vergrösserung der Variablen wird der erste Prozess grösser, der zweite kleiner.
- b) mit Verkleinerung der Variablen wird der erste Prozess kleiner, der zweite grösser.



Wie gross ist die maximal von der Quelle an den Klemmen zur Verfügung gestellte Leistung?

Zielfunktion: Leistung  $P = UI$ .

Abbildung 3.31: Berechnung der maximalen Ausgangsleistung





# Leistungsanpassung und Wirkungsgrad

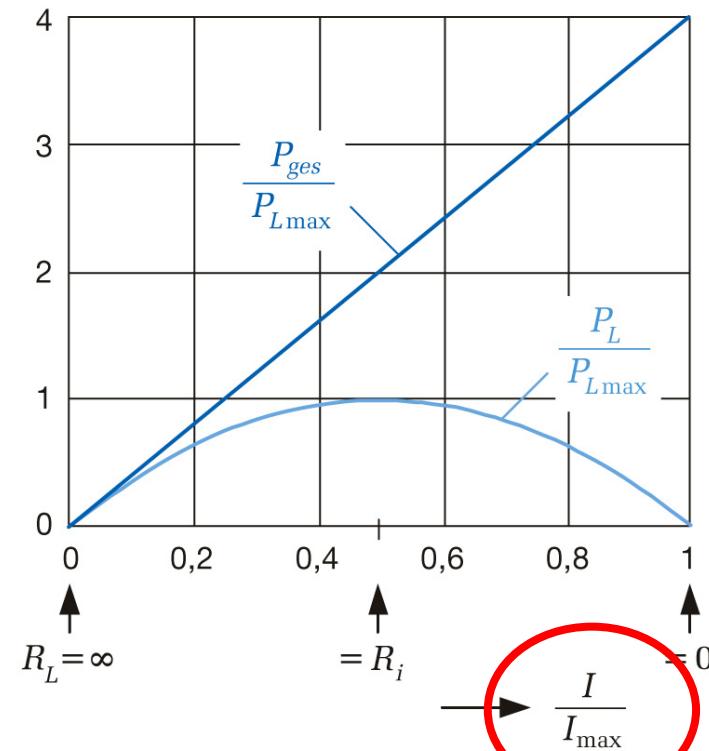


Abbildung 3.33: Von der Quelle abgegebene und vom Verbraucher aufgenommene Leistung

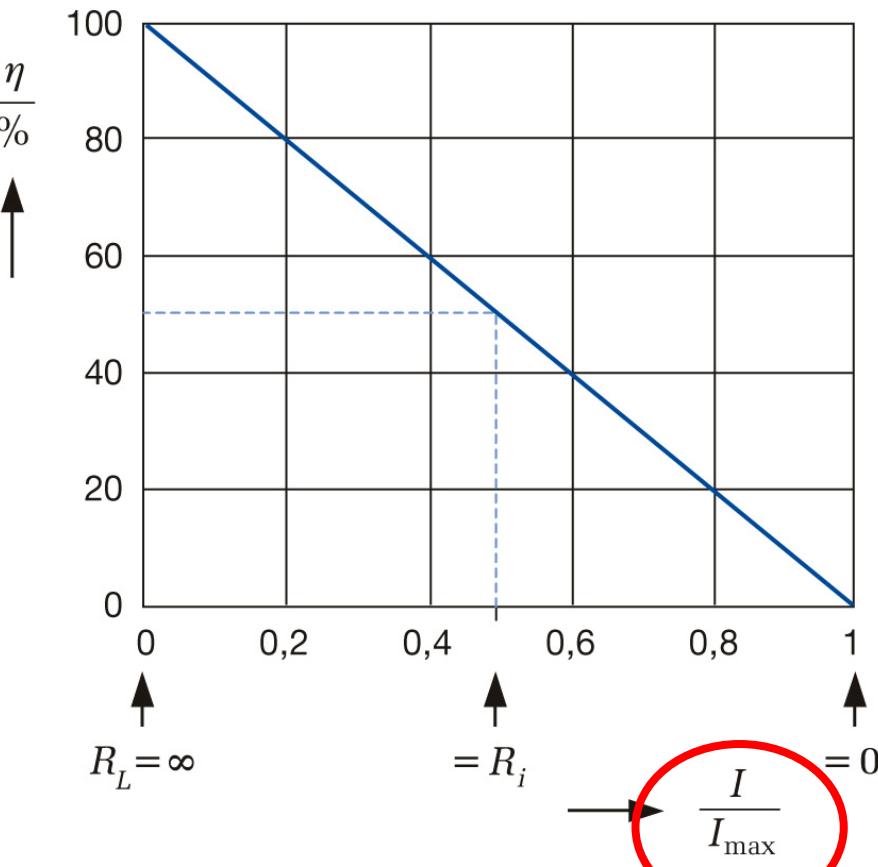


Abbildung 3.34: Wirkungsgrad

# Effiziente elektrische Energieübertragung

Nutzleistung der Verbraucher ist gegeben.

Verlustleistung an «Spannungsquelle» minimieren.  
(also an Innenwiderstand Generator und Übertragungsleitung)

$P_{\text{Verlust}} = R_i I^2 \rightarrow$  Strom möglichst klein  $\rightarrow$  Spannung möglichst hoch.



# Struktur «Netzwerkanalyse»

(behalten Sie den Überblick trotz der vielen Details!)

**Netzwerk:** elektrische Schaltung mit mindestens einer Stromverzeigung

- Gleichstrom und –spannung,
- Elemente mit linearem Zusammenhang zwischen Strom und Spannung

 Netzwerke mit nicht-linearen Elementen werden numerisch in der Regel iterativ gelöst

## Verfahren zur

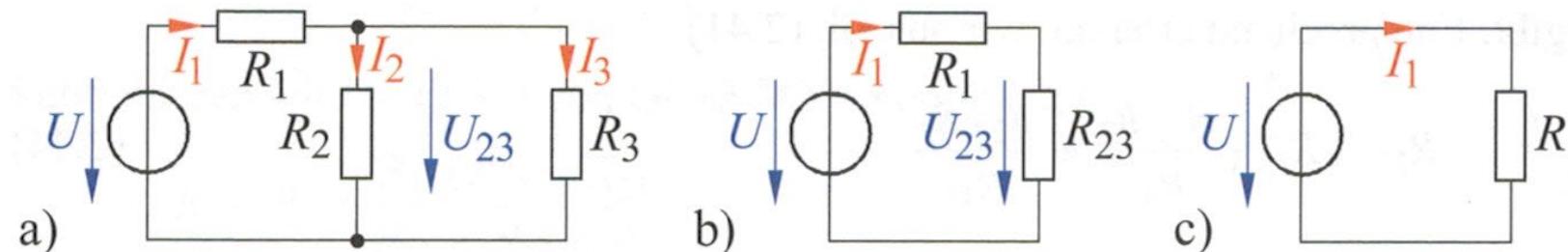
- Berechnung Netzwerke mit **einer** Quelle.
- Berechnung Netzwerke mit **mehreren** Quellen:
  - Überlagerungsprinzip
  - «automatisierte» Berechnung «komplizierterer» Netzwerke:
    - Aufstellen und Lösen der Knoten- und Maschengleichungen
    - Knotenpotentialverfahren
    - Maschenstromverfahren



Reduktion des Rechenaufwandes  
(Grundlage von Computerprogrammen zur Netzwerkanalyse)

# Berechnung Netzwerke mit einer Quelle

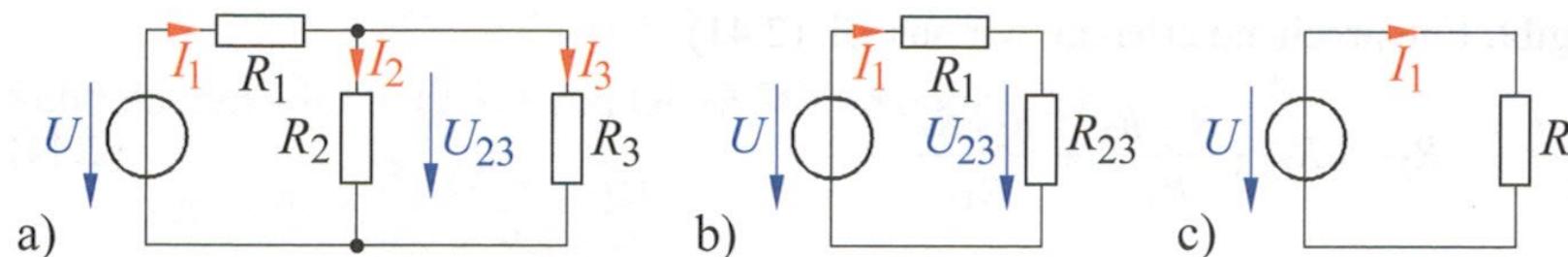
1. Zusammenfassen aller Widerstände mit Regeln der
  - a. Reihenschaltung
  - b. Parallelschaltung
  - c. Stern-Dreiecks-Umwandlung



**Bild 2.18** Beispiel eines einfachen Netzwerkes. a) Tatsächliche Schaltung,  
b) und c) elektrisch gleichwertige Ersatzschaltungen

# Berechnung Netzwerke mit einer Quelle

1. Zusammenfassen aller Widerstände
2. Berechnung  $I_1$  mit Ohm'schen Gesetz
3. Berechnung der anderen Größen durch schrittweise Rückführung
  - $U_{23}$
  - $I_2$  und  $I_3$

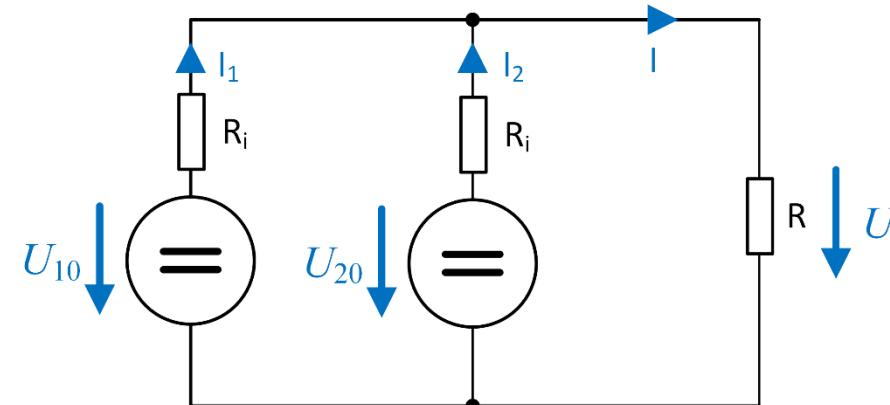


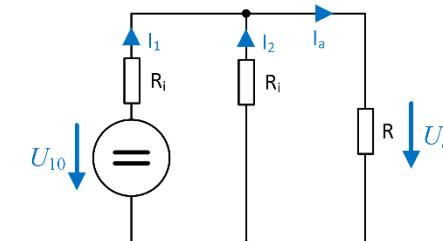
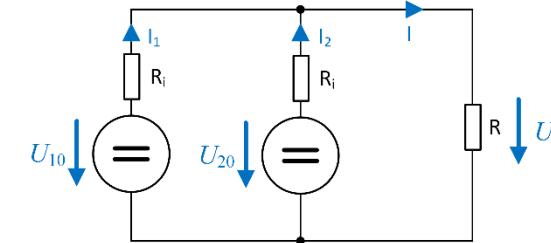
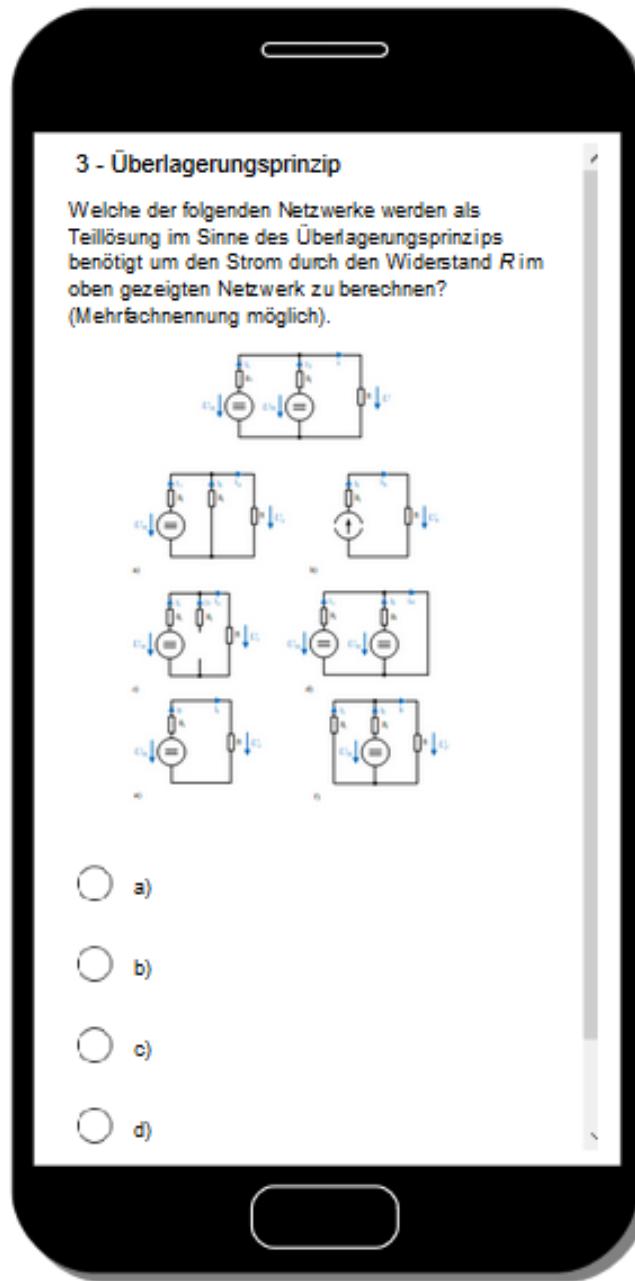
**Bild 2.18** Beispiel eines einfachen Netzwerkes. a) Tatsächliche Schaltung,  
b) und c) elektrisch gleichwertige Ersatzschaltungen

# Berechnung Netzwerke mit mehreren Quellen

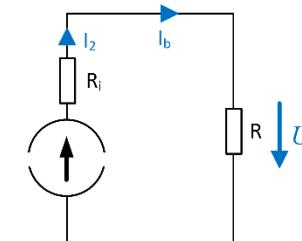
## I. Überlagerungsprinzip

Lesekontrollfrage 1

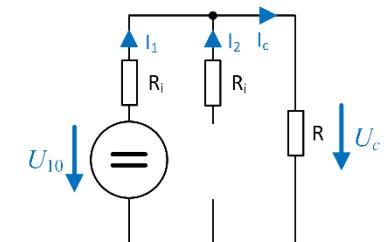




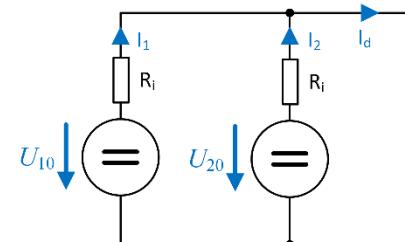
a)



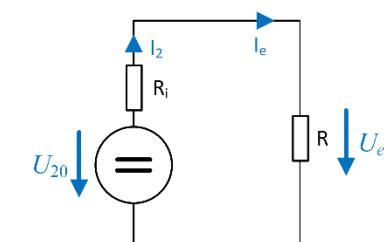
b)



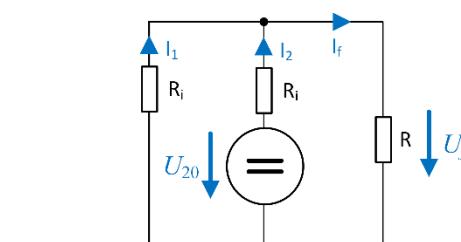
c)



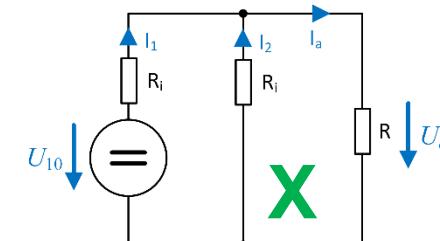
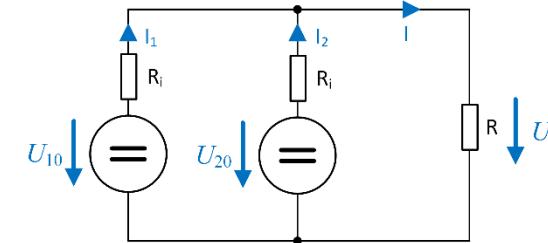
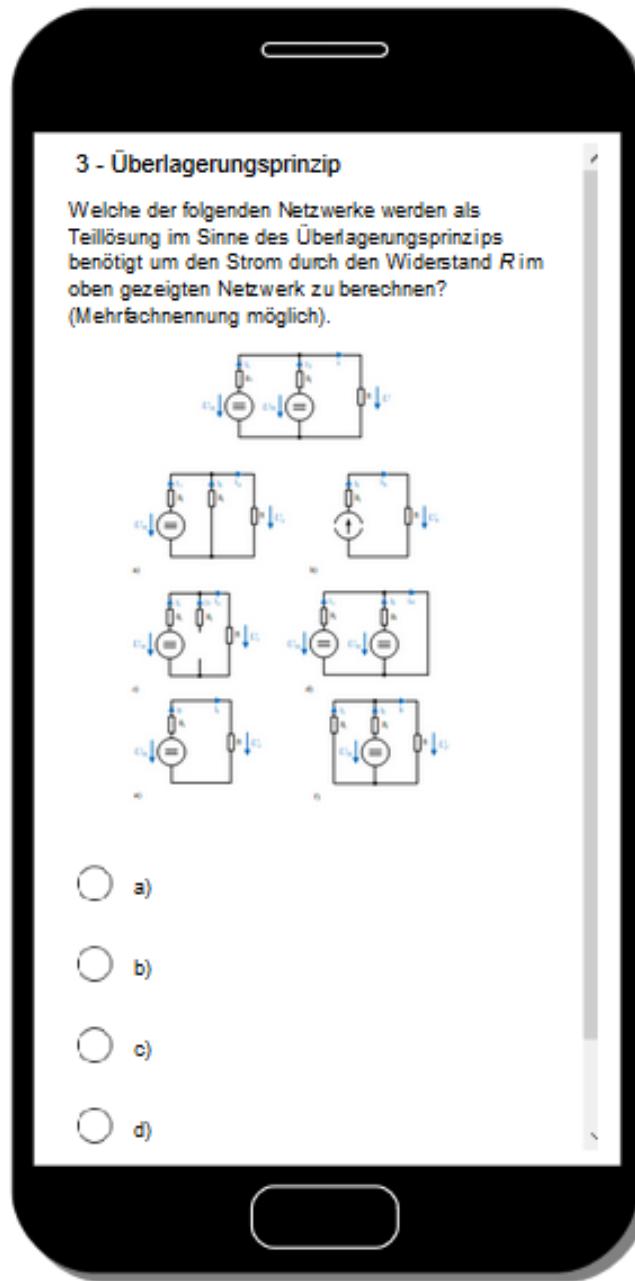
d)



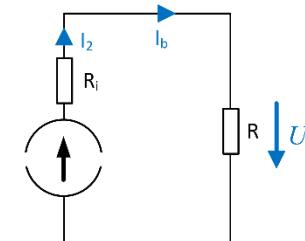
e)



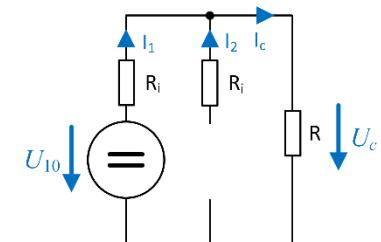
f)



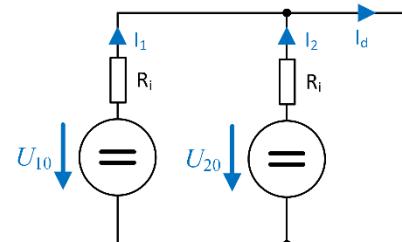
a)



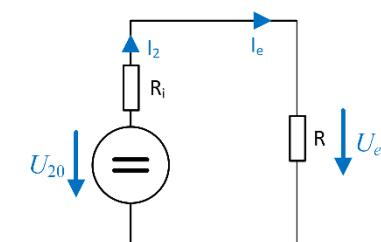
b)



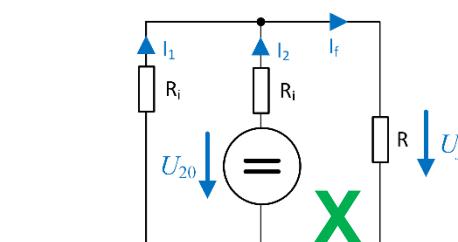
c)



d)



e)



f)

# Überlagerungsprinzip



## Teillösungen

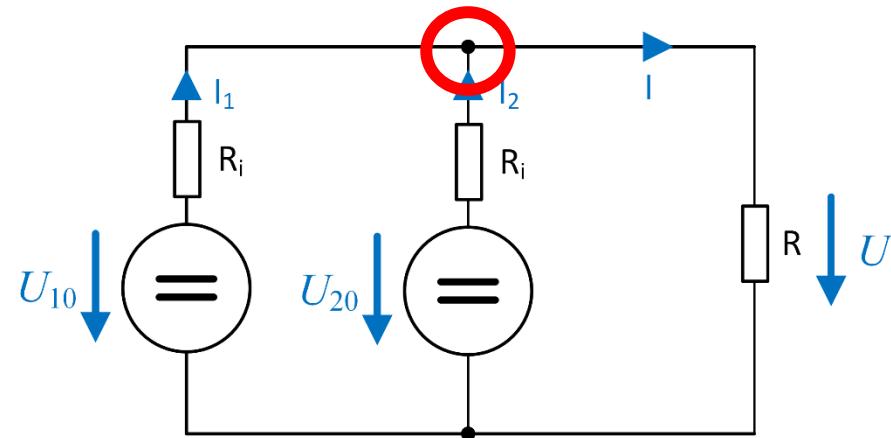
- Effekt aller Strom- und Spannungsquellen einzeln betrachten.
- Andere Quellen müssen dabei «Null gesetzt werden»
  - Andere Stromquellen dürfen keinen weiteren Beitrag liefern → Leerlauf im Zweig
  - Andere Spannungsquellen dürfen keinen weiteren Beitrag liefern → Kurzschluss

Gilt nur für Netzwerkelemente mit linearem Zusammenhang zwischen Strom und Spannung.

Wegen quadratischem Zusammenhang zwischen Strom und Leistung dürfen nicht die Teilleistungen über Widerstand addiert werden.

# Berechnung «komplizierterer» Netzwerke

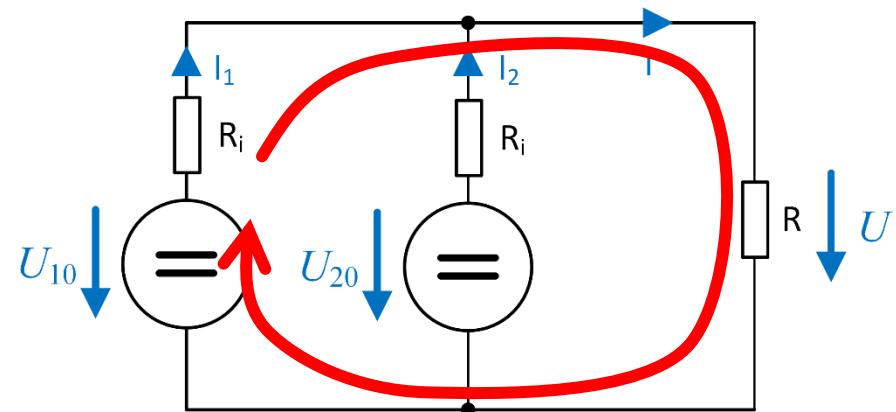
## II. Aufstellen der Maschen- und Knotengleichungen



$$I = I_1 + I_2$$

# Berechnung «komplizierterer» Netzwerke

## II. Aufstellen der Maschen- und Knotengleichungen

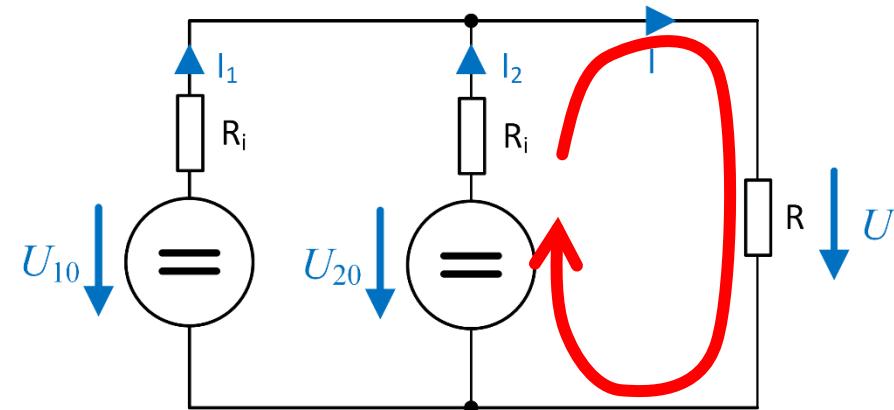


$$I = I_1 + I_2$$

$$R_i I_1 + RI - U_{10} = 0$$

# Berechnung «komplizierterer» Netzwerke

## II. Aufstellen der Maschen- und Knotengleichungen



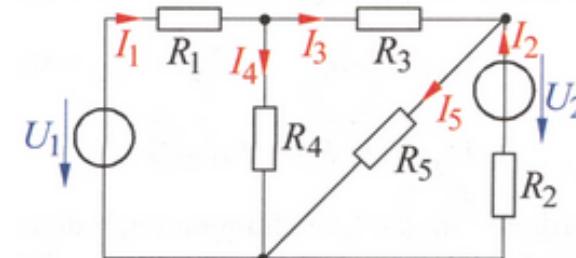
$$I = I_1 + I_2$$

$$R_i I_1 + RI - U_{10} = 0$$

$$R_i I_2 + RI - U_{20} = 0$$

## 5 - Netzwerkgleichungen

Mit welcher der folgenden Matrizengleichungen lässt sich das gezeichnete Netzwerk korrekt lösen?  
Wählen Sie eine oder mehrere Antworten.



$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 1 \\ R_1 & 0 & 0 & R_4 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & R_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 \\ R_1 & 0 & 0 & R_4 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & -R_4 & R_5 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & R_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ U_1 \\ 0 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 \\ R_1 & 0 & 0 & R_4 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & -R_4 & R_5 \\ R_1 & 0 & R_3 & 0 & R_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ U_1 \\ 0 \\ U_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 1 \\ R_1 & 0 & 0 & R_4 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & -R_4 & R_5 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & R_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ U_1 \\ 0 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 \\ R_1 & 0 & 0 & R_4 & 0 \\ R_1 & 0 & R_3 & 0 & R_5 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & R_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ U_1 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

5 - Netzwerkgleichungen

Mit welcher der folgenden Matrizengleichungen lässt sich das gezeichnete Netzwerk korrekt lösen?  
Wählen Sie eine oder mehrere Antworten.

Drei Knotengleichungen

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 1 \\ R_1 & 0 & 0 & R_4 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & R_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

Zwei redundante Maschengleichungen (R2 und U2 nicht enthalten)

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 \\ R_1 & 0 & 0 & R_4 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & -R_4 & R_5 \\ R_1 & 0 & R_3 & 0 & R_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ U_1 \\ U_1 \end{bmatrix}$$

Unterer Knoten: -I1 fehlt

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 1 \\ R_1 & 0 & 0 & R_4 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & -R_4 & R_5 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & R_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

**X**

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 \\ R_1 & 0 & 0 & R_4 & 0 \\ 0 & 0 & R_3 & -R_4 & R_5 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & R_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

**X**

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -1 \\ R_1 & 0 & 0 & R_4 & 0 \\ R_1 & 0 & R_3 & 0 & R_5 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & R_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

# Analyse umfangreicher Netzwerke

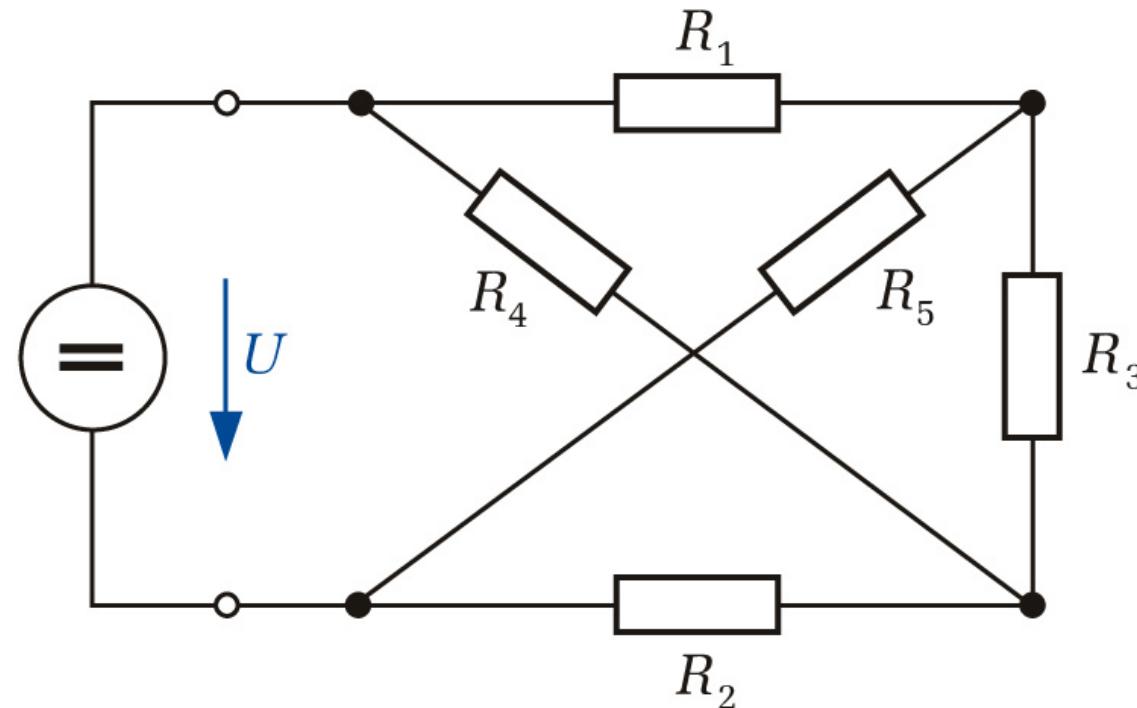


Abbildung 3.6: Einfaches Netzwerk

## Definition «Zweig»:

Beliebig zusammengesetzter Zweipol, der zwischen zwei Knoten eines Netzwerks liegt.

Beispiel hat 6 Zweige

# Analyse umfangreicher Netzwerke

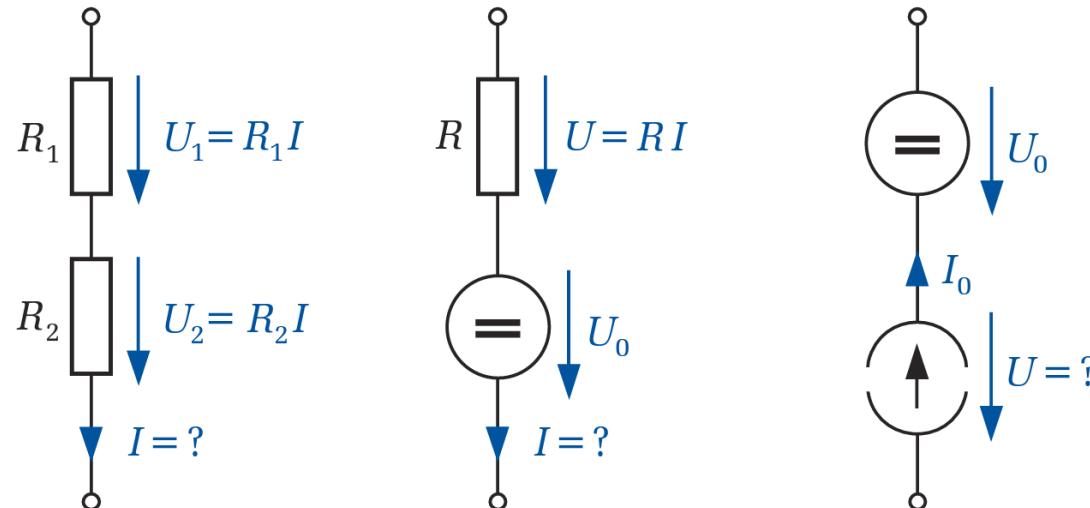


Abbildung 3.43: Zweipolnetzwerke

Die Anzahl unbekannter Ströme und Spannungen kann in jedem Zweig auf eine Unbekannte reduziert werden.

→ z Zweige → z Unbekannte!

- Aufstellen der Knoten- und Maschengleichungen

# Analyse umfangreicher Netzwerke

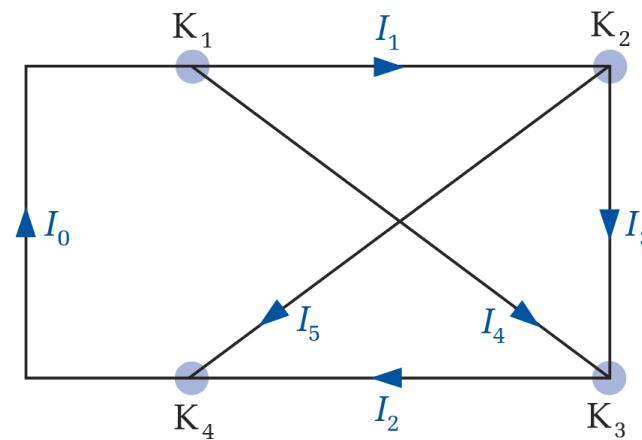


Abbildung 3.44: Netzwerkgraph

**1. Schritt:** Darstellung des Netzwerkgraphen  
(ohne Komponenten)

**2. Schritt:** Festlegung der Zählrichtungen

**3. Schritt:** Aufstellung der (k-1) Knotengleichungen

$$K_1 : \quad I_0 - I_1 - I_4 = 0$$

$$K_2 : \quad I_1 - I_3 - I_5 = 0$$

$$K_3 : \quad -I_2 + I_3 + I_4 = 0$$

**4. Schritt:** Aufstellung der Maschengleichungen  
(es braucht noch  $m=z-(k-1)$  Maschengleichungen)

# Aufstellen der Maschengleichung

## 1. Variante: Vollständiger Baum

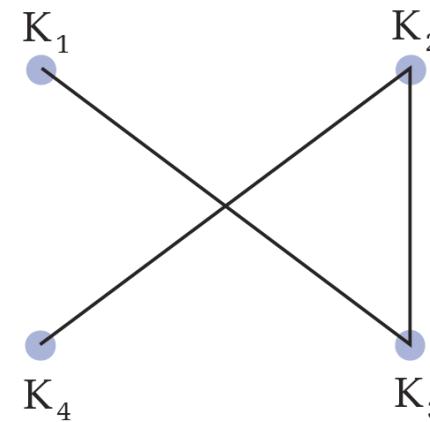
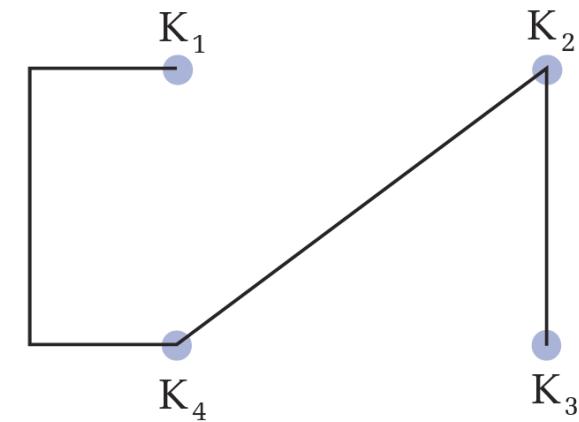
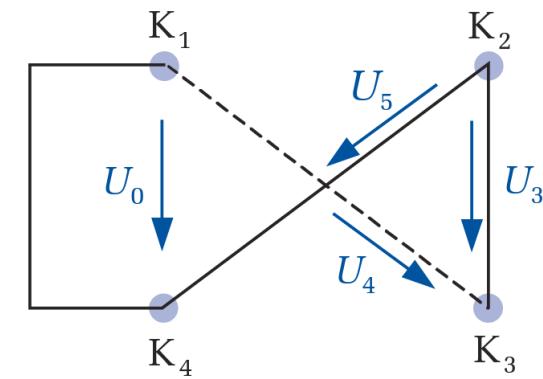
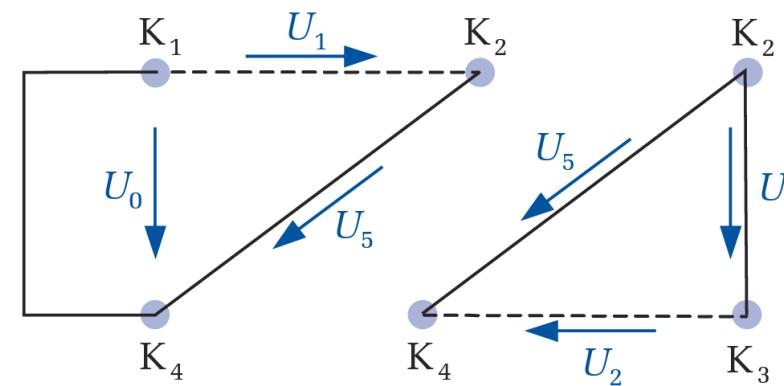
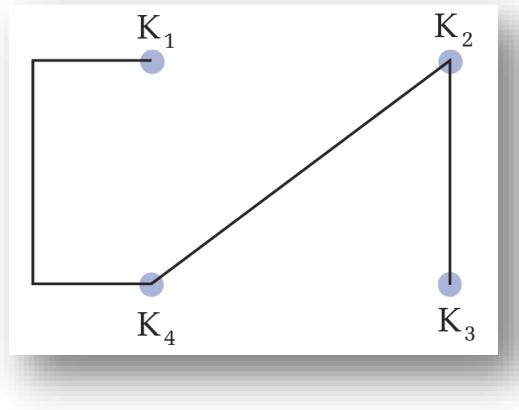


Abbildung 3.45: Vollständiger Baum



(2 Beispiele)

# Analyse umfangreicher Netzwerke



**Abbildung 3.46:** Aufstellung der Maschengleichungen beim vollständigen Baum

**4. Schritt:** Aufstellung der Maschengleichungen (1. Methode, vollständiger Baum)

$$\begin{aligned} M_1 : \quad U_1 &+ U_5 = U_0 \\ M_2 : \quad U_2 + U_3 &- U_5 = 0 \\ M_3 : \quad -U_3 + U_4 + U_5 &= U_0 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} M_1 : \quad R_1 I_1 &+ R_5 I_5 = U_0 \\ M_2 : \quad R_2 I_2 + R_3 I_3 &- R_5 I_5 = 0 \\ M_3 : \quad -R_3 I_3 + R_4 I_4 + R_5 I_5 &= U_0 \end{aligned}$$

# Aufstellen der Maschengleichung

## 2. Variante: Auftrennung der Maschen

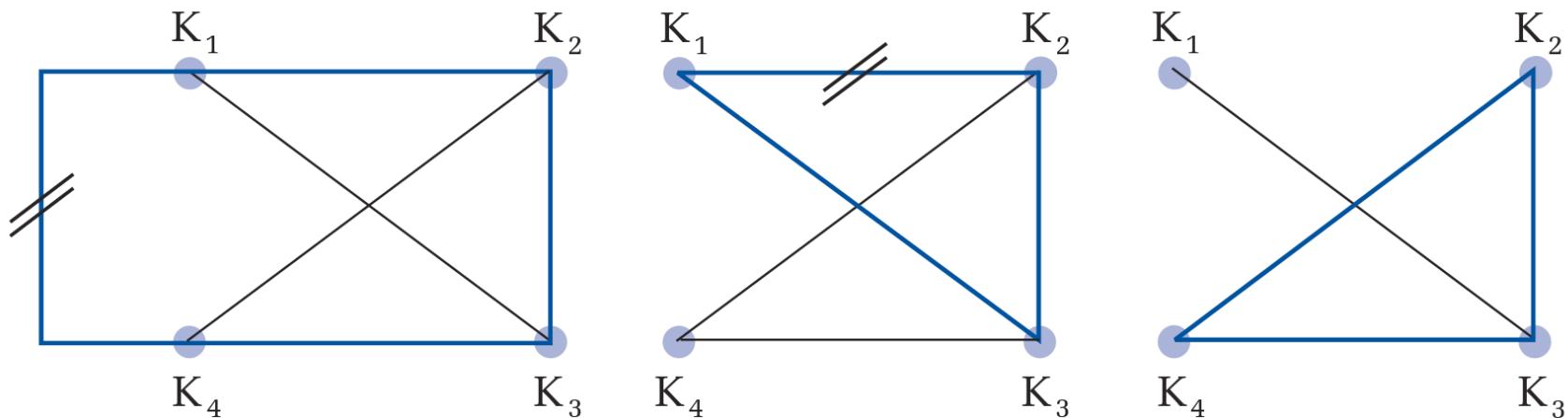


Abbildung 3.47: Auftrennung der Maschen

4. Schritt: Aufstellung der Maschengleichungen (2. Methode, Auftrennung der Maschen)

# Ausblick

In der Praxis:

- benötigt man nicht immer alle Ströme und Spannungen
- Gleichungen mit dem Computer aufstellen
- möglichst kleine Matrixgleichungen lösen

→ Anzahl Knoten- und Maschengleichungen = Anzahl Zweige

Rechenaufwand:  $\sim \mathcal{O}(n^3)$

→ «formalisiertes» Aufstellen der Gleichungen  
und Reduktion der Anzahl Gleichungen

- Knotenpotentialverfahren  
(wird in erweiterter Form in Spice genutzt)
- Maschenstromverfahren

Ausführlich in NuS-2  
(Wechselstrom, alle Komponenten, ...)



# Zum Ausprobieren (asc-file auf moodle)

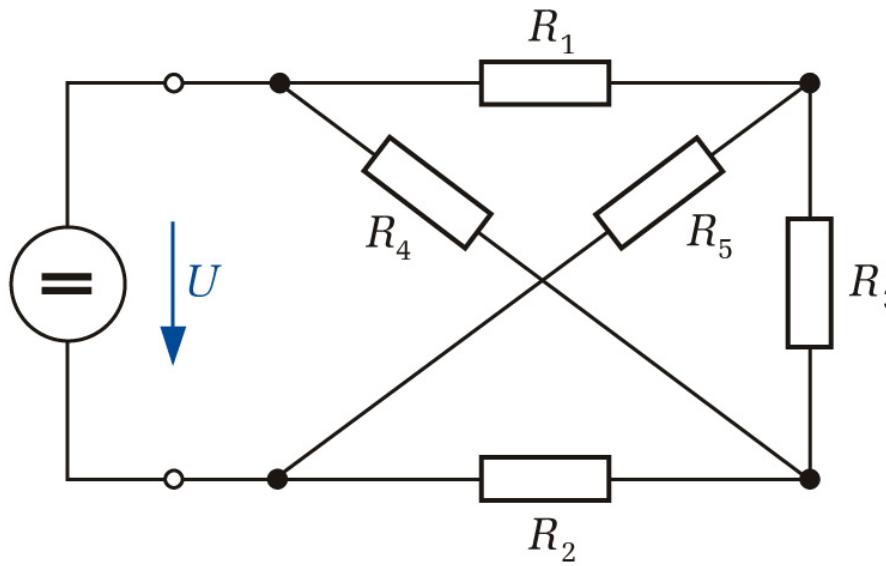
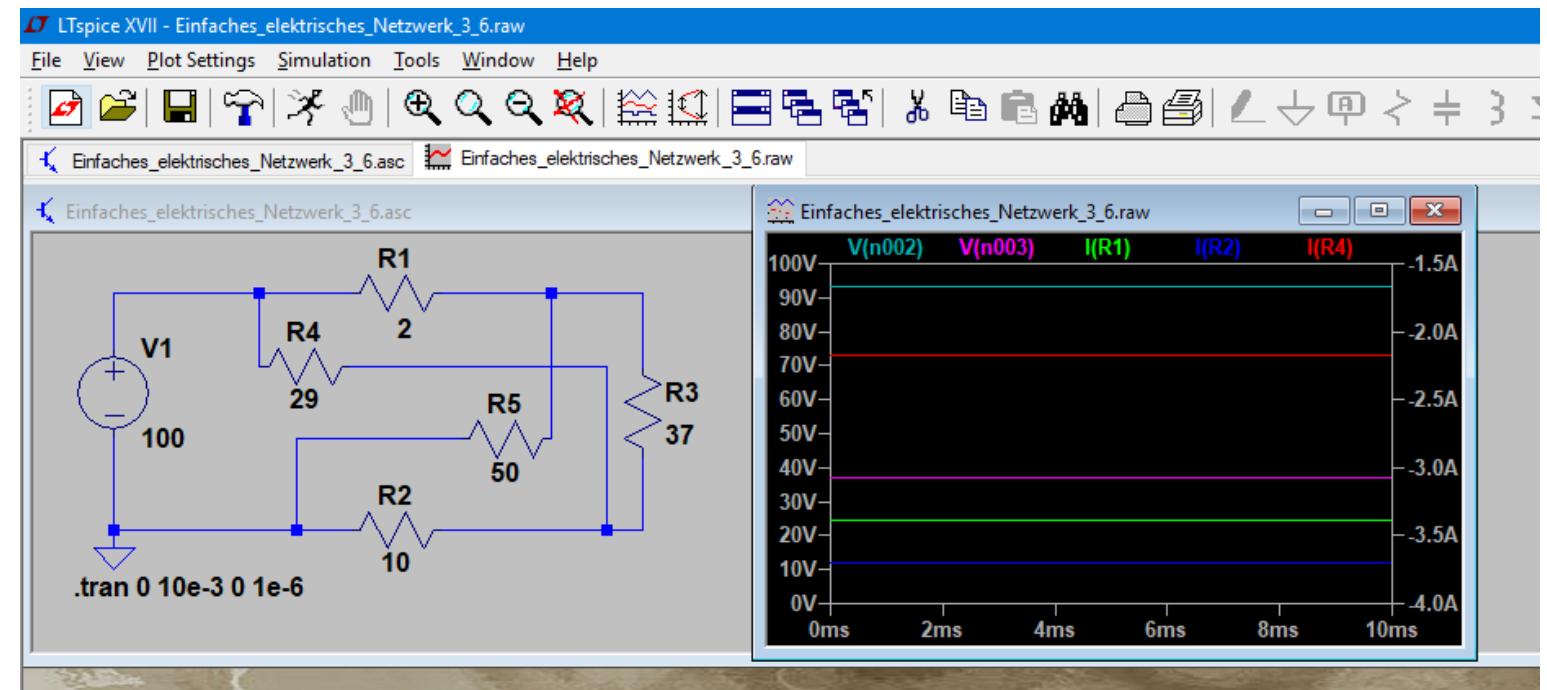


Abbildung 3.6: Einfaches Netzwerk



# Ausblick Woche 7: «Zwischenwoche»

- kein neuer Fachinhalt
- Vorlesung (**mit Vorführung elektrostatischer Generatoren**) und Übung finden statt
- Zum Wiederholen des Stoffes und der Übungen Kap 1-3 nutzen.
- Lesekontrollfragen = Feedbackfragen (Bonuspunkte)

