

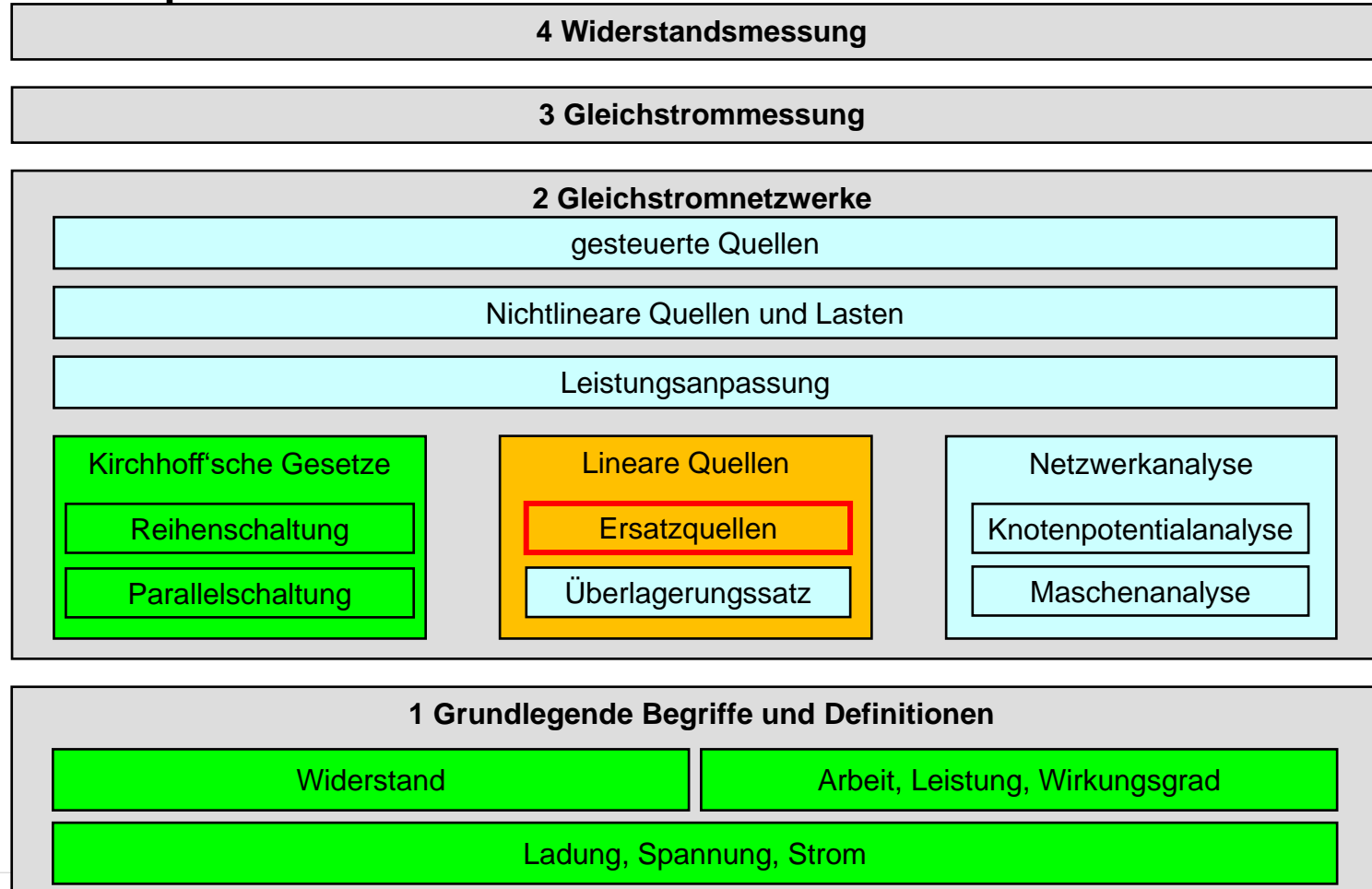
GRUNDLAGEN DER ELEKTROTECHNIK ET1

Teil 3 Lineare Quellen und Ersatzspannungsquellen



GLEICHSTROM

Inhalte der Kapitel 1 – 4: Gleichstrom



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

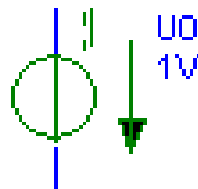
SPANNUNGS- UND STROMQUELLEN

Wie werden elektrische Schaltungen mit Leistung versorgt?

- Batterie
 - Steckdose
 - Generator
- Solarzelle (PV)
⋮

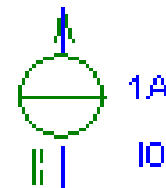
In der Netzwerkanalyse denkt man sich eine ideale Quelle:

Ideale Spannungsquelle



$$U_0 = \text{const.}$$

Ideale Stromquelle



$$I_0 = \text{const.}$$

IDEALE SPANNUNGSQUELLE

$$U = R \cdot I$$
$$P = U \cdot I$$

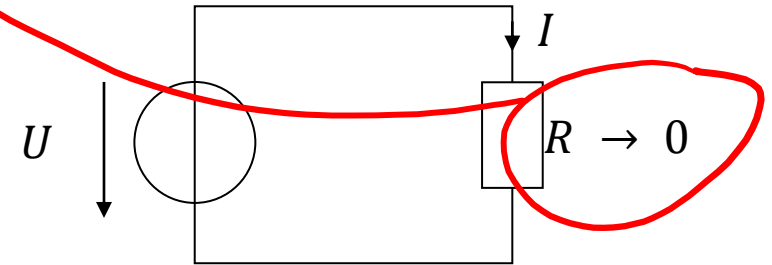
Was passiert mit einer idealen Spannungsquelle im Falle eines Kurzschlusses?

- A. U wird 0
- B. I wird 0
- C. I wird unendlich groß
- D. Leistung wird unendlich groß
- E. Leistung geht gegen 0

ideale Sp. Q. : $U_0 = \text{const}$



Näherungsweise Realisierung einer idealen Spannungsquelle:



Labornetzteil



REALE SPANNUNGSQUELLE

Was passiert bei einer (realen) Batterie bei einem Kurzschluss?



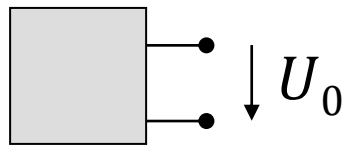
- A. I wird unendlich groß
- B. I wird 0
- C. I ergibt einen zunächst konstanten endlichen Wert ✓
- D. U wird unendlich groß
- E. U wird 0 ✓
- F. U ergibt einen zunächst konstanten endlichen Wert



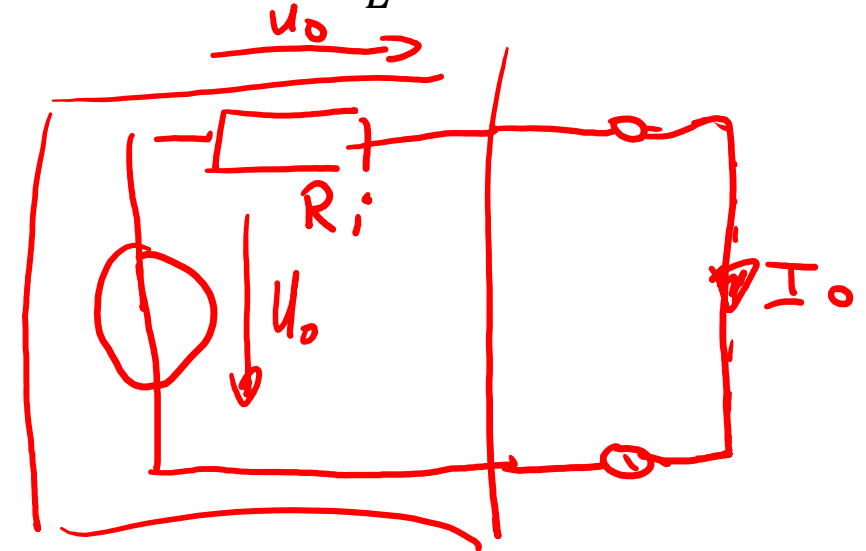
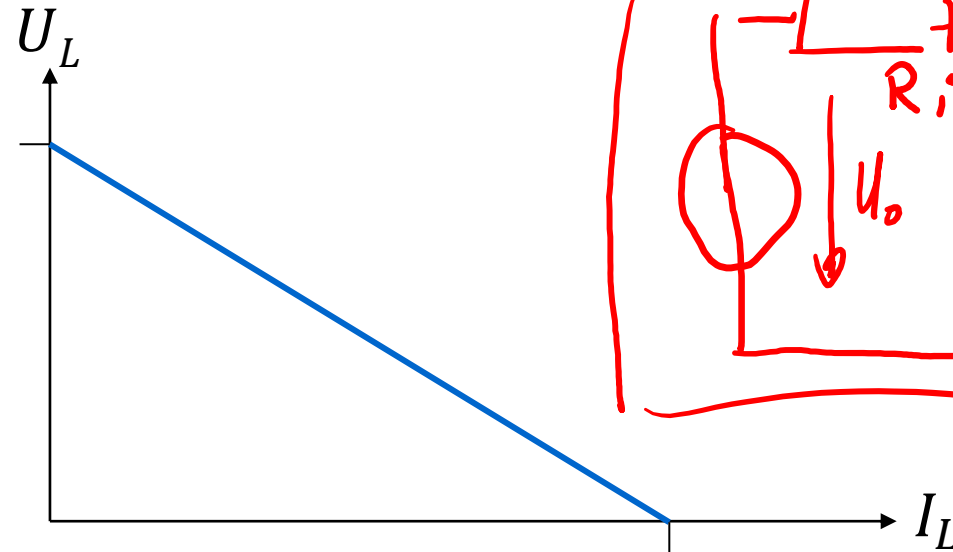
Warnhinweis:
Batterien nie
kurzschließen,
da
dies zu deren
Explosion
führen kann!

LINEARE SPANNUNGSQUELLE

Klemmenspannung U sinkt mit steigendem Laststrom I_L



Leerlaufspannung U_0
ohne Last



Kurzschlußstrom I_0 :
 $R_L = 0$

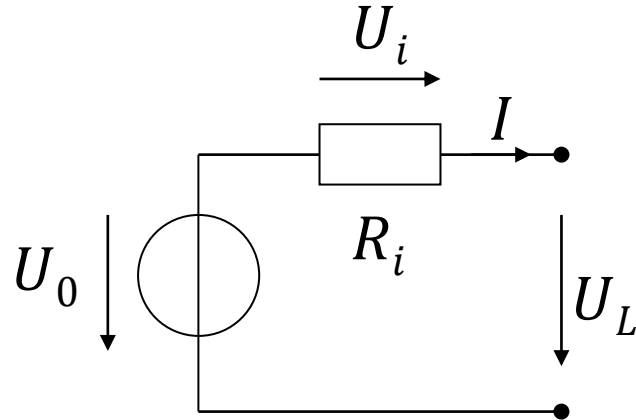
A grey square symbol representing a linear voltage source. Two terminals on the right are short-circuited, with a downward arrow labeled I_0 indicating the short-circuit current.

$$I_0 = \frac{U_0}{R_i}$$

LINEARE SPANNUNGSQUELLE

$$U_L + U_0 + U_i = 0$$

Schaltbild



Gleichung

$$U_L = U_0 - U_i$$
$$U_i = R_i \cdot I$$

$$U_L = U_0 - R_i \cdot I$$

U_0 : Leerlaufspannung
 R_i : Innenwiderstand



Beispiel:

$$U_0 = 1,5 \text{ V}$$

$$R_i = 0,15 \Omega$$

$$I_0 = \frac{U_0}{R_i} =$$

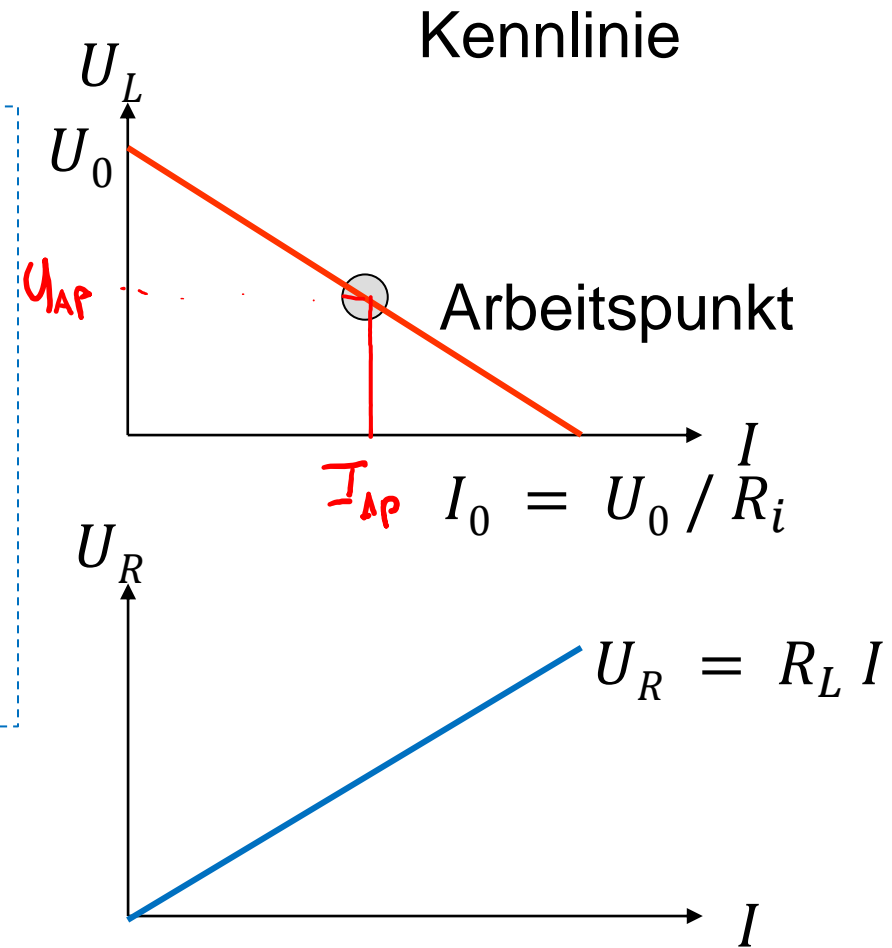
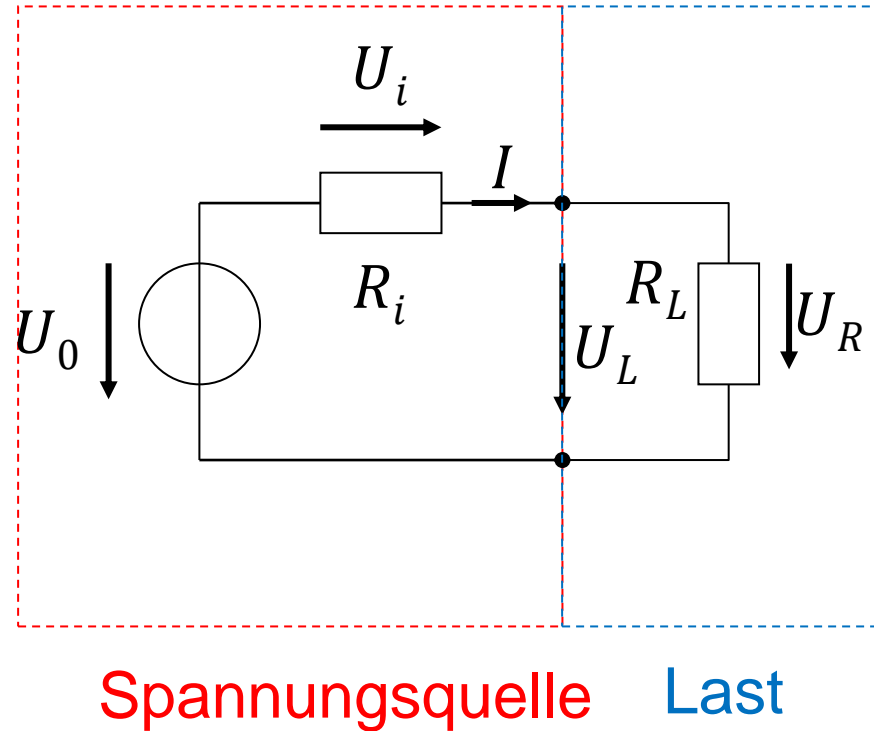
$$I_0 = 10 \text{ A}$$

$$P_k = 15 \text{ W}$$

vergleiche:
NiCd-Akku $0,016 \Omega$

LINEARE SPANNUNGSQUELLE MIT LAST

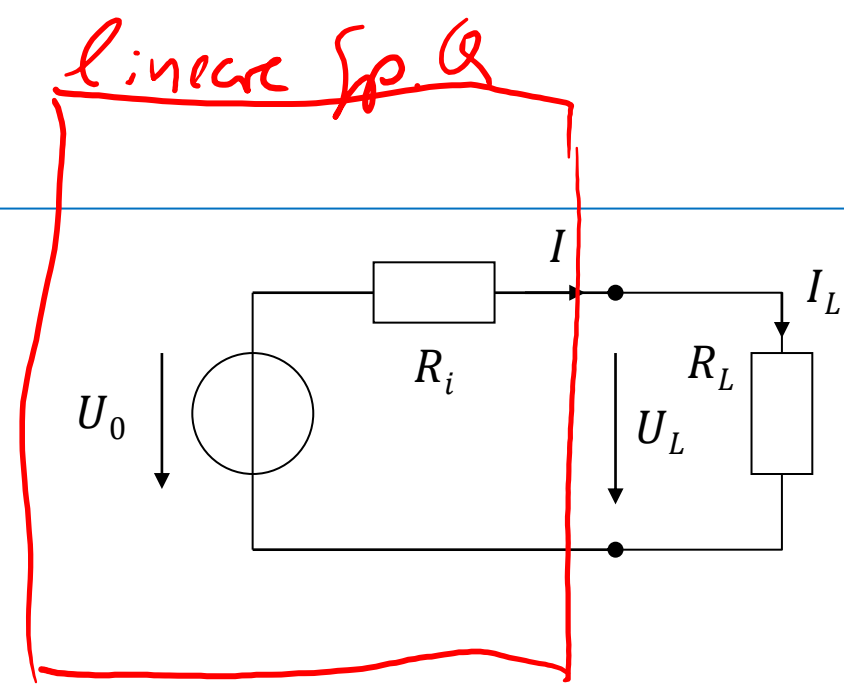
Schaltung



ÜBUNG

Berechnen Sie Spannung, Strom und Leistung im Arbeitspunkt.

gegeben: U_0 , R_i , R_L

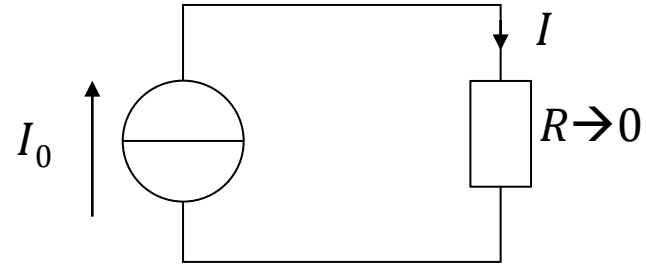


$$\bullet I_L = I_g = \frac{U_0}{R_i + R_L}$$

$$\bullet U_L = \frac{R_L}{R_i + R_L} \cdot U_0 = R_L \cdot I_L = \frac{R_L}{R_i + R_L} \cdot U_0$$

$$\bullet P_L = U_L \cdot I_L = \frac{R_L}{R_i + R_L} U_0 \cdot U_0 \cdot \frac{1}{(R_i + R_L)} = \frac{R_L}{(R_i + R_L)^2} \cdot U_0^2$$

IDEALE STROMQUELLE



$$U = R \cdot I$$

Handwritten red equation with arrows pointing down from the variables. The variable I is highlighted in yellow.

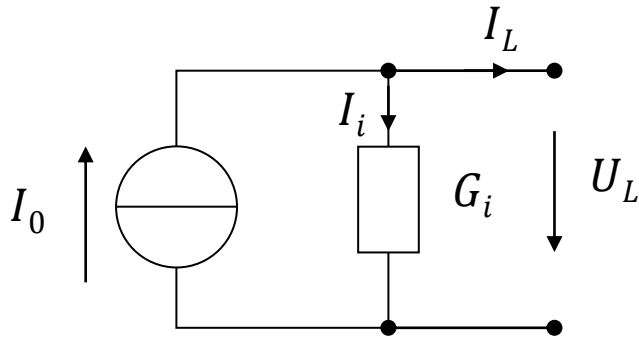
Was passiert, wenn die Klemmen einer idealen Stromquelle kurzgeschlossen werden?

- A. Nichts ✓
- B. Strom geht gegen Null
- C. Strom geht gegen unendlich
- D. Leistung geht gegen unendlich

LINEARE STROMQUELLE

$$U = R \cdot I = \frac{1}{G} \cdot I$$

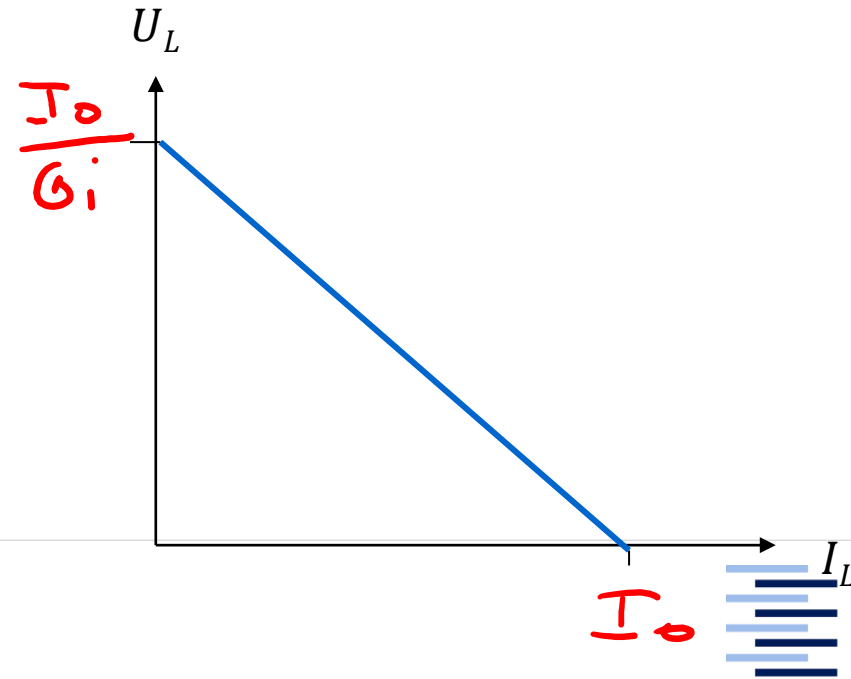
Wie sieht die Kennlinie einer linearen Stromquelle aus?



$$I_L = I_0 - I_i$$

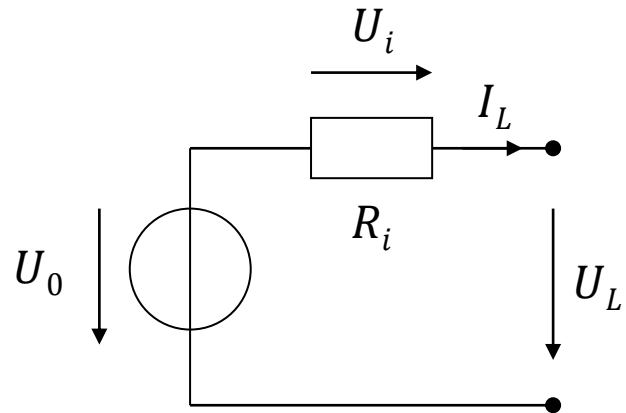
$$I_i = G_i \cdot U_L$$

$$\Rightarrow I_L = I_0 - G_i \cdot U_L$$



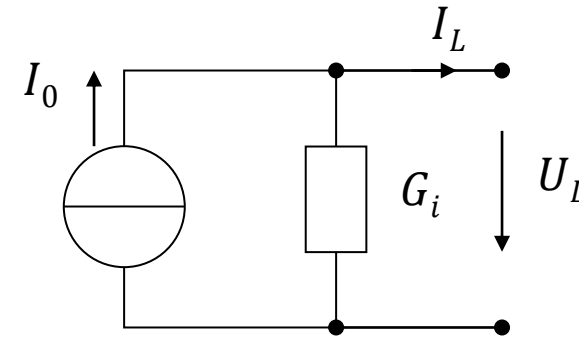
UMWANDLUNG VON LINEAREN QUELLEN

Lineare Spannungsquelle



$$U_L = U_0 - R_i I_L$$

Lineare Stromquelle



$$I_L = I_0 - G_i U_L$$

$$\Rightarrow U_L = \frac{I_0 - I_L}{G_i} = \frac{I_0}{G_i} - \frac{1}{G_i} I_L$$

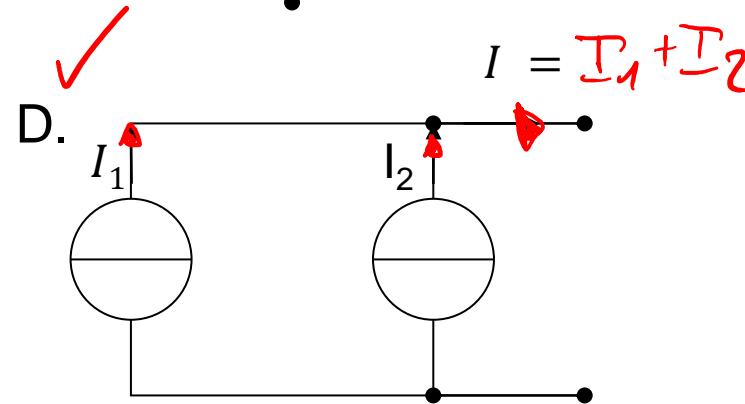
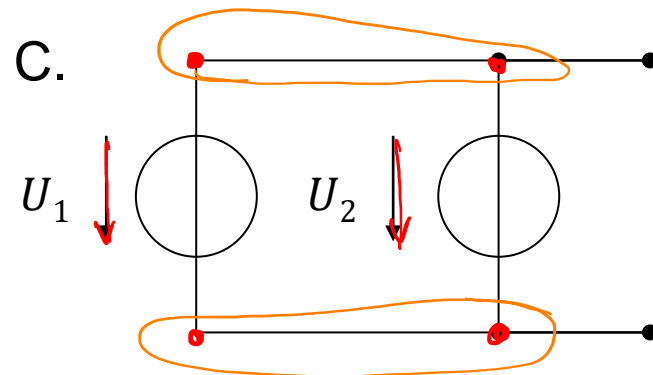
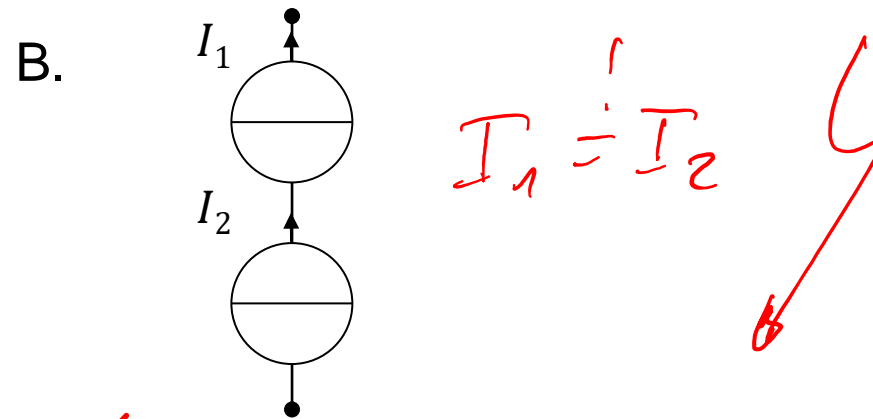
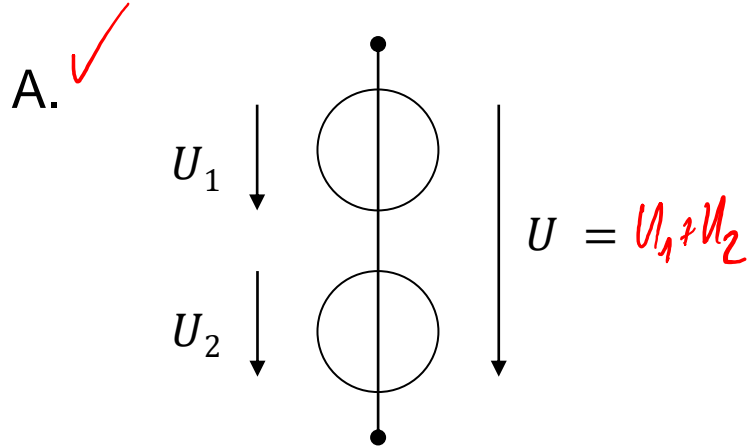
Beide Schaltungen verhalten sich gleich, wenn:

$$R_i = \frac{1}{G_i}$$

$$U_0 = \frac{I_0}{G_i}$$

KOMBINATION VON IDEALEN QUELLEN

Welche Kombinationen sind zulässig?



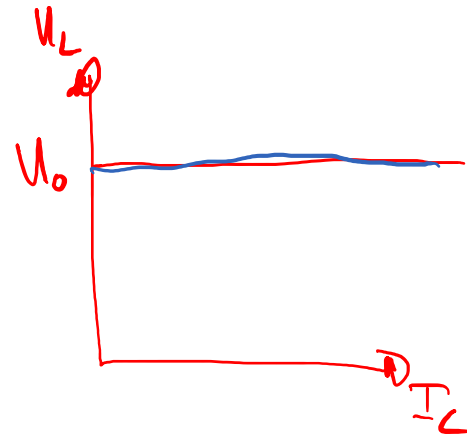
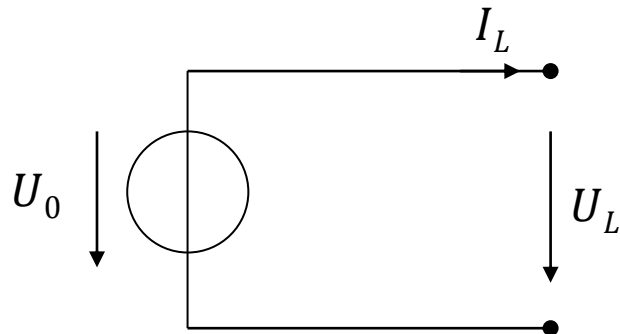
ZWISCHENRESUMÉE

Ideale Quelle



Abb.: Labornetzteil

$$U_L = U_0$$

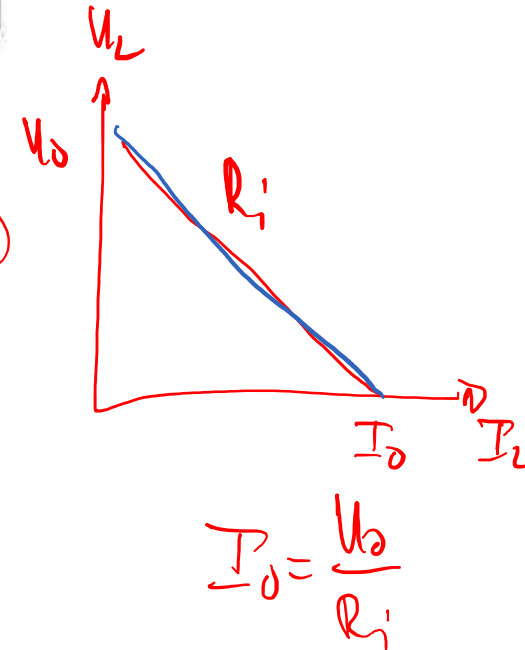
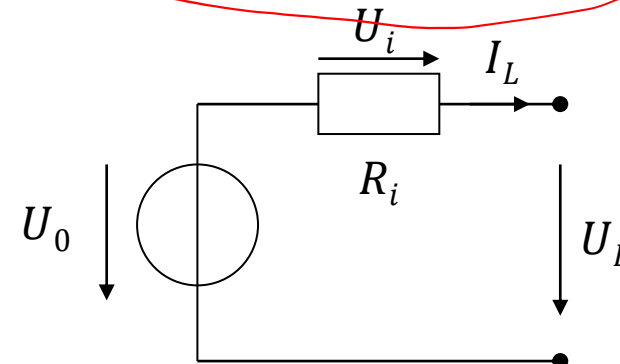


Lineare Quelle



Abb.: Batterie

$$U_L = U_0 - R_i I_L$$



2 GLEICHSTROMSCHALTUNGEN

2.1	Zählpfeilsystem	Grundlagen
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	Methoden
2.8	Überlagerungsprinzip	
2.9	Netzwerkanalyse	
2.10	Leistungsanpassung	Sonstiges
2.11	Nichtlineare Quellen und Verbraucher	
2.12	Gesteuerte Quellen	

UMWANDLUNG IN ERSATZQUELLEN

Ziel: Verfahren zur Vereinfachung einer Schaltung

Idee: nur Spannung und Strom an Klemmenpaar gesucht
⇒ Betrachtung als **Eintor** = Black box mit zwei Anschlüssen

(Hinweis: Zweipol ist eine veraltete Bezeichnung für ein Eintor)

Es gilt:

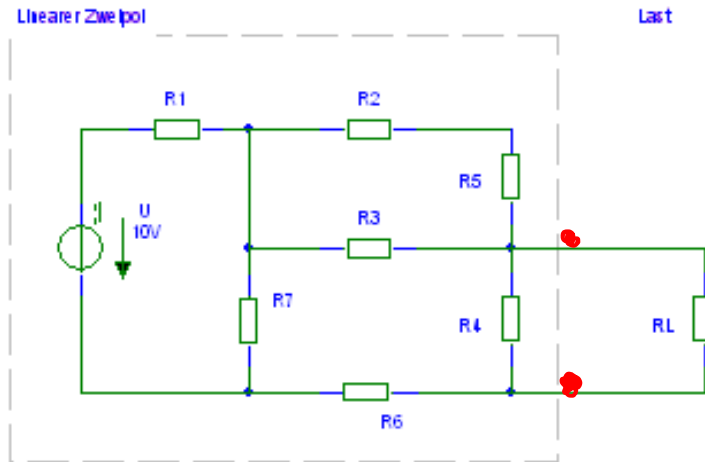
Jedes aktive lineare Eintor lässt sich in eine Ersatzspannungsquelle oder Ersatzstromquelle umwandeln.

NORTON- UND THÉVENIN-THEOREM

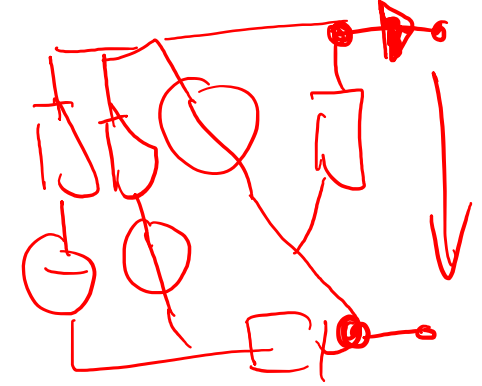
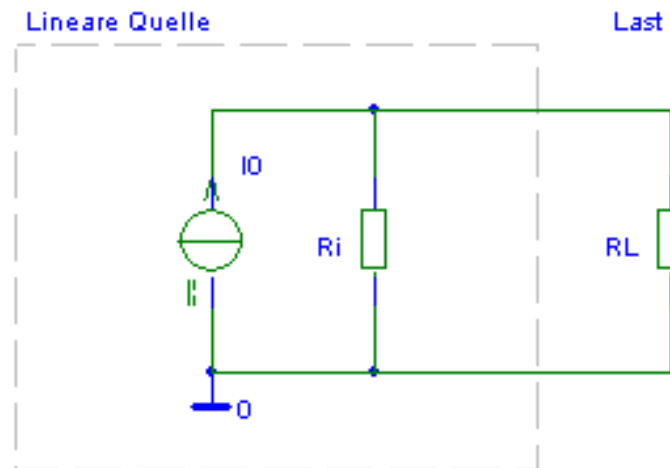
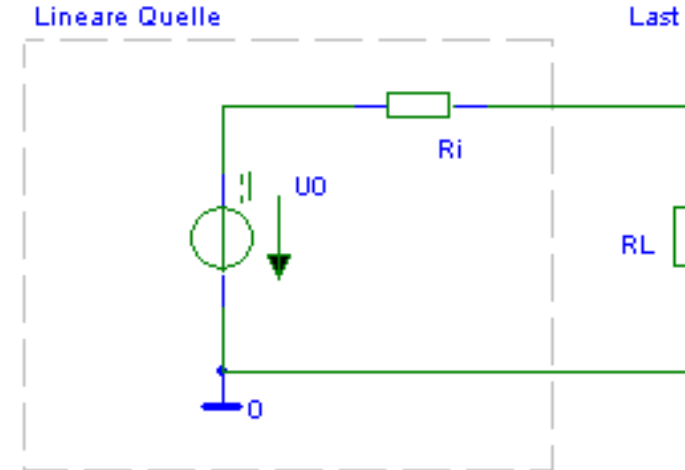
Aktiver Linearer Zweipol

Ersatzquelle

Thévenin-Theorem



Norton-Theorem



BESTIMMUNG DER ERSATZQUELLE

1. Bestimmung der Quellenspannung U_0
Leerlaufspannung des linearen Zweipols

2. Bestimmung des Innenwiderstandes R_i
Innenwiderstand zwischen den beiden Polen
(ohne den Lastwiderstand „in die Klemmen hineinschauen“)

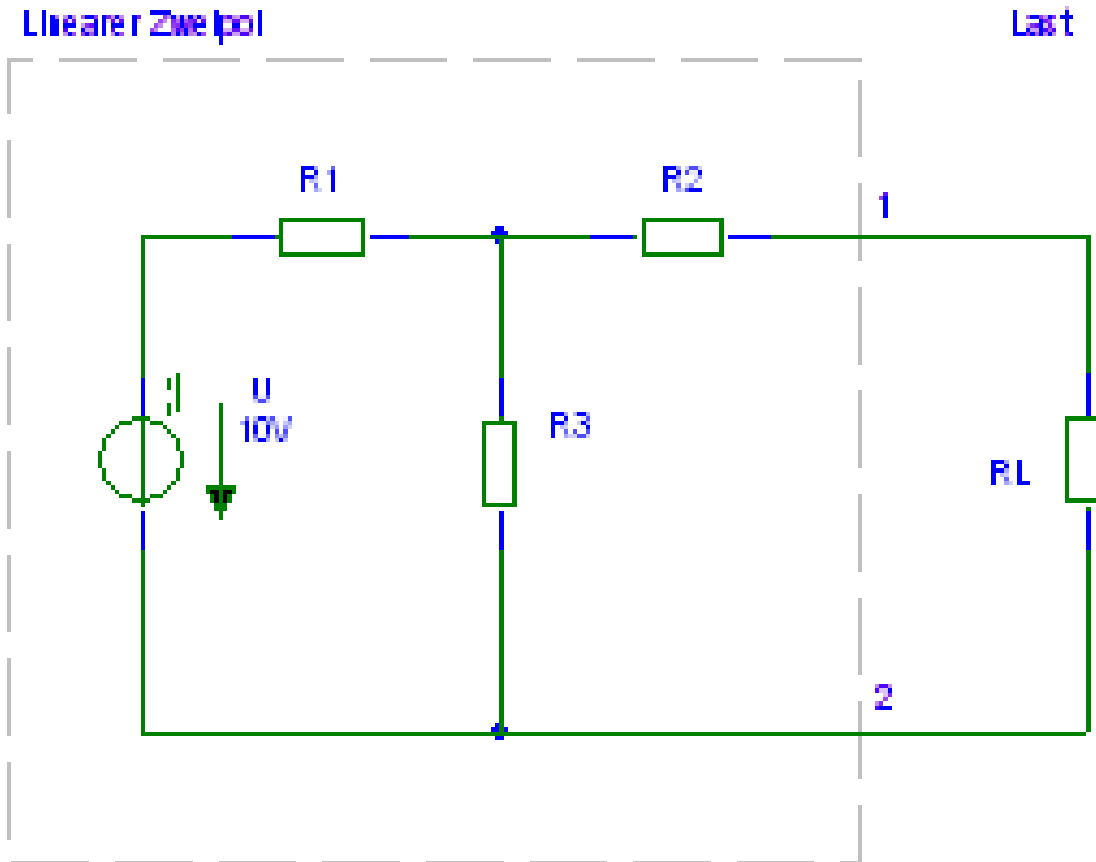
- ideale Spannungsquellen → durch Kurzschluss ersetzen
- ideale Stromquellen entfernen

Optional, nur wenn lineare Stromquelle gesucht:

3. Berechnung des Kurzschlussstromes I_0
Wenn Ersatzstromquelle gefragt
⇒ Kurzschlussstrom über $I_0 = U_0 / R_i$ berechnen

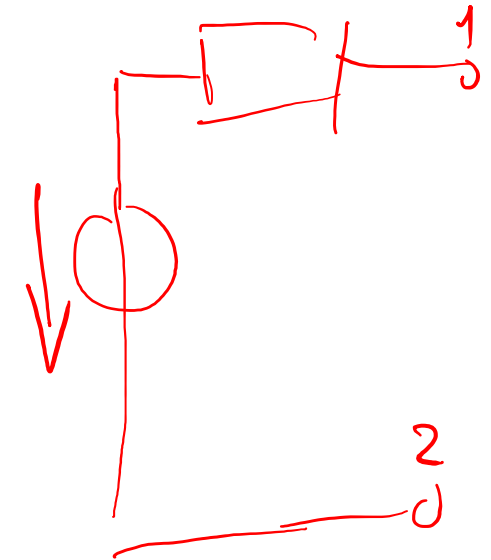
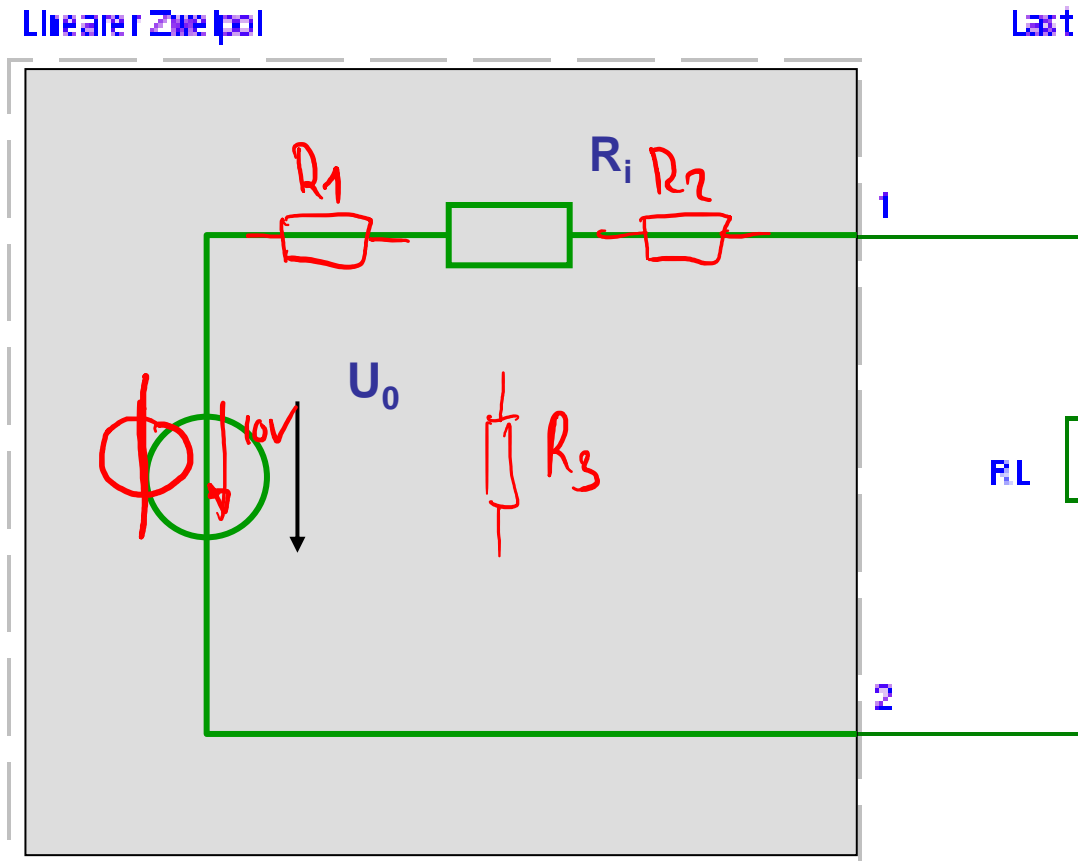
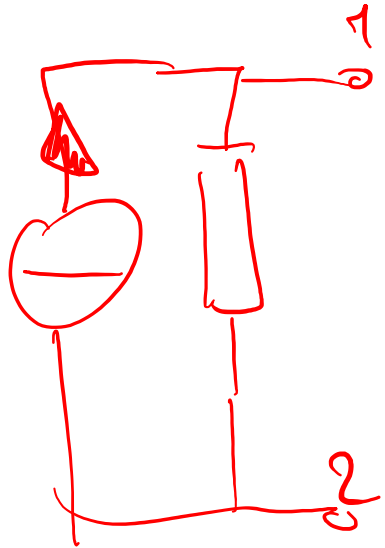
BEISPIEL

Bestimmen Sie die Ersatzquelle der folgenden Schaltung:



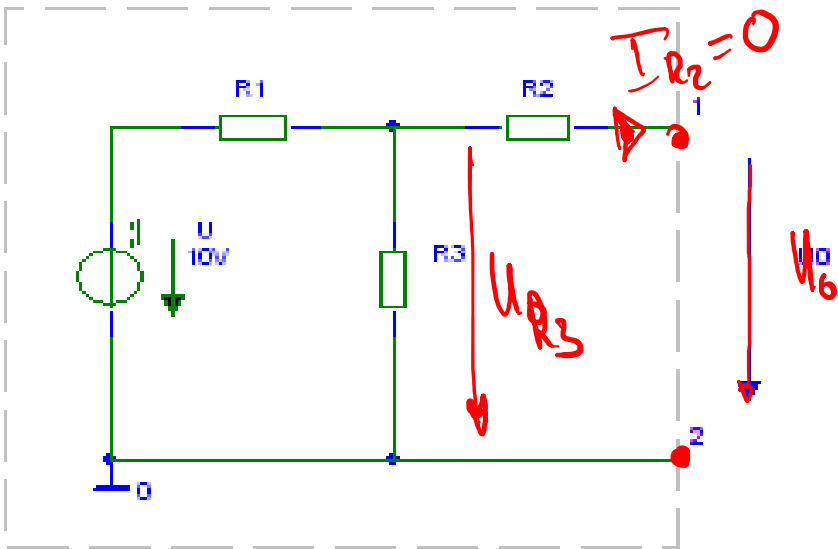
BEISPIEL

Bestimmen Sie die Ersatzquelle der folgenden Schaltung:



1. BESTIMMUNG DER LEERLAUFSPANNUNG

Lineare Zweipol



- Leerlauf der Klemmen 1 und 2 !
- Wie groß ist der Strom durch R_2 ?
- Wie groß ist die Spannung an R_2 ?

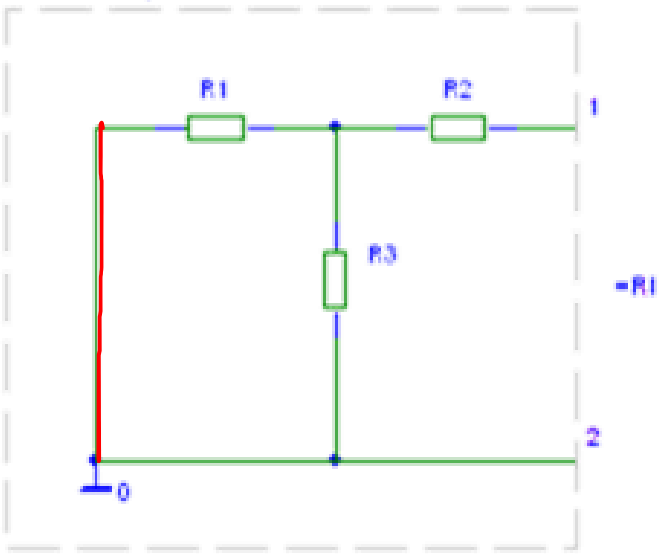
Null!

- Wie groß ist U_0 ?

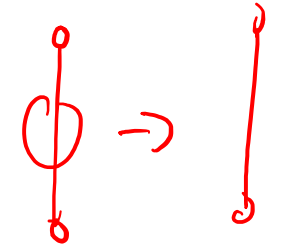
$$U_0 = U_{R3} = \frac{R_3}{R_1 + R_3} U$$

2. BESTIMMUNG DES INNENWIDERSTANDES

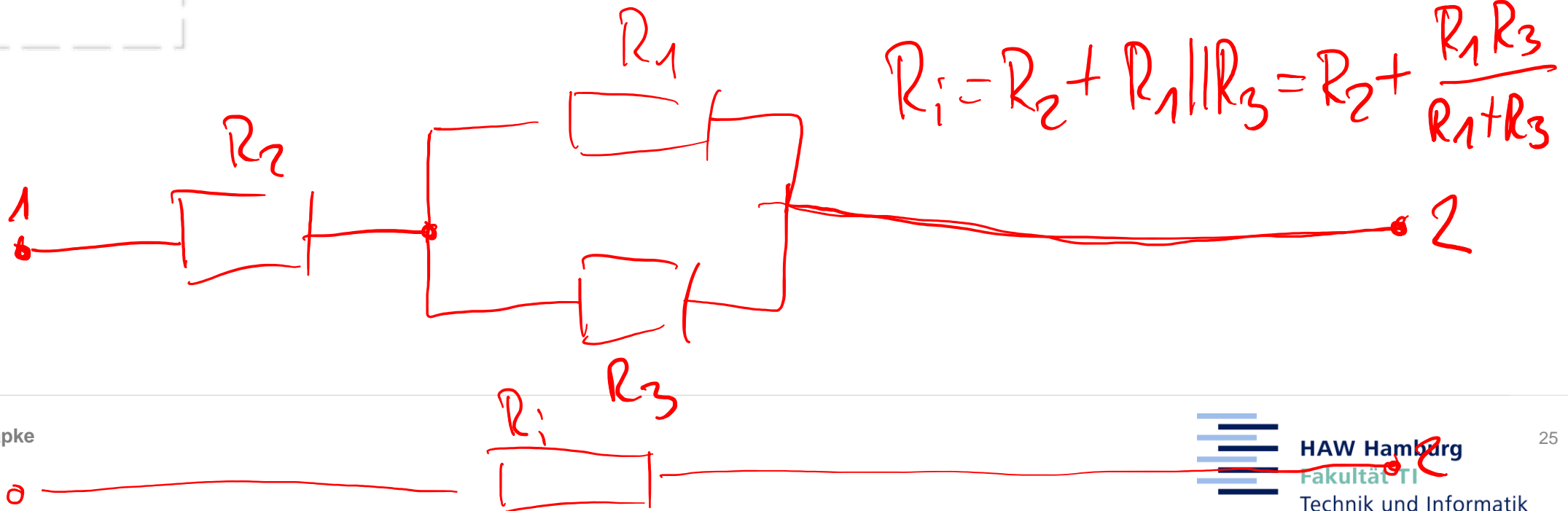
Linearer Zweipol



Spannungsquelle → Kurzschluss
 Stromquelle → Unterbrechung



Widerstand zwischen den Klemmen:



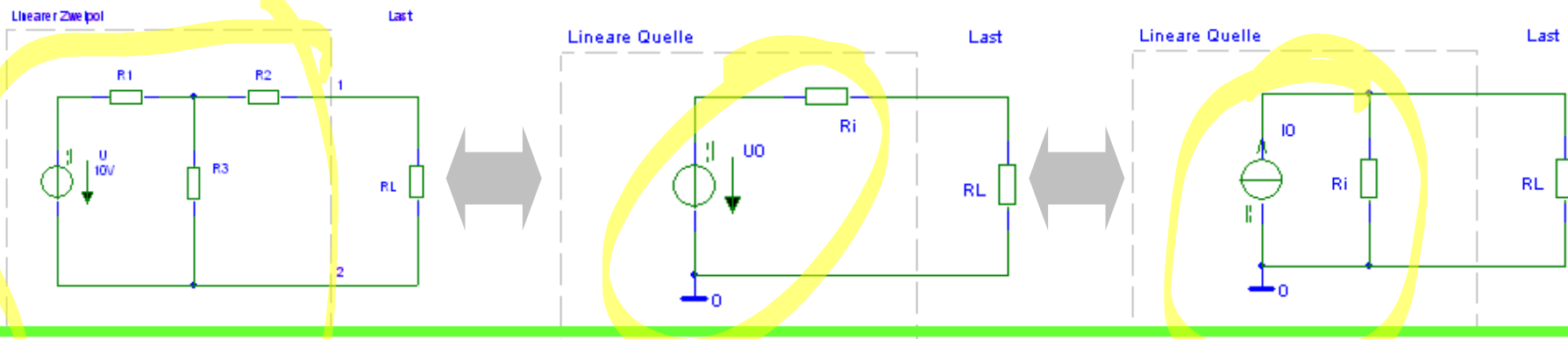
3. BESTIMMUNG DES KURZSCHLUßSTROMES

Kurzschlußsstrom berechnen: $I_0 = U_0 / R_i$

$$I_0 = \frac{U_0}{R_i} = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \cdot U \cdot \frac{R_1 + R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} = \frac{R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \cdot U$$

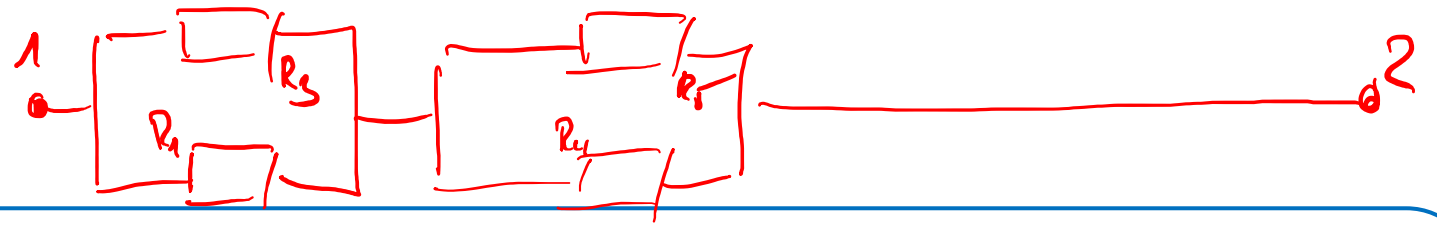
Ergebnis:

3 Schaltungen, die sich bzgl. der Klemmen 1-2 gleich verhalten



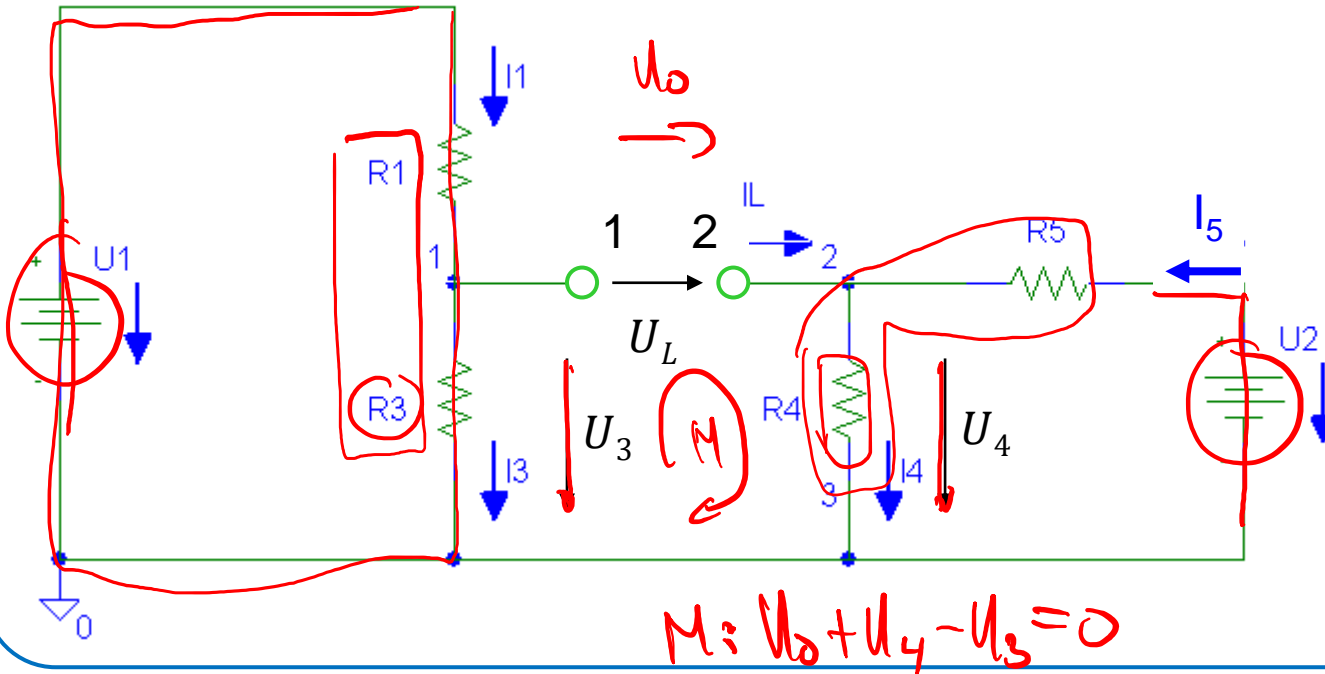
Vorsicht: Häufig wird die Leerlaufspannung U_0 mit U verwechselt !

ÜBUNGSAUFGABE



Bestimmen Sie die Ersatzspannungsquelle, gegeben sind U_1, U_2 und die Widerstände.

$$\underline{U_0} = U_3 - U_4$$



$$\begin{aligned} \underline{R_i} &= R_1 \parallel R_3 + R_4 \parallel R_5 \\ &= \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5} \end{aligned}$$

$$U_0 = U_3 - U_4$$

LÖSUNG ZUM VERGLEICH

$$U_3 = U_1 \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3}$$

$$U_4 = U_2 \cdot \frac{R_4}{R_4 + R_5}$$

$$U_0 = U_{12} = U_3 - U_4$$

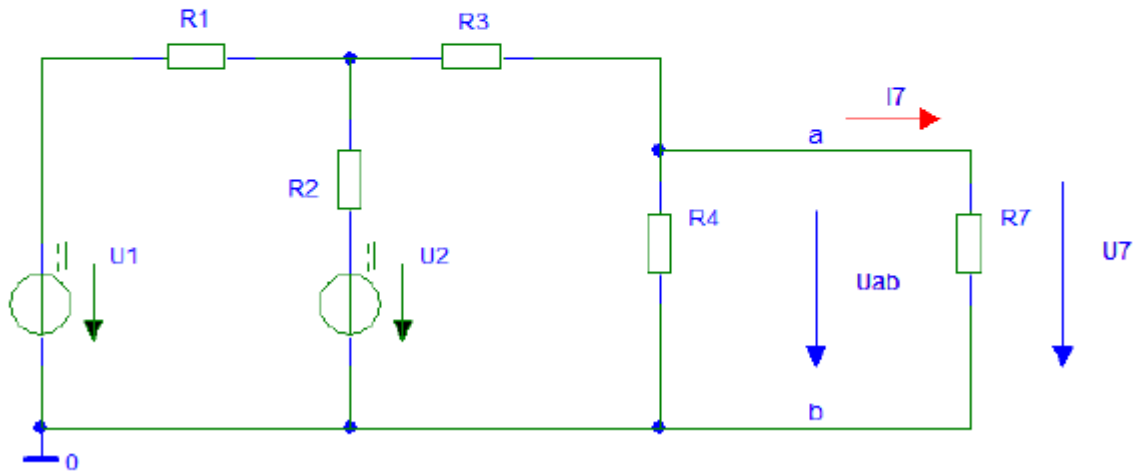
$$R_i = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5}$$

LABORAUFGABE

4. Ersatzquellen

Für ein Widerstandsnetzwerk mit zwei Spannungsquellen soll rechnerisch und experimentell eine Ersatzquelle bestimmt werden, die sich bezüglich der Klemmen a und b genau wie das ursprüngliche Netzwerk verhält. Bauen Sie das folgende Netzwerk auf und schließen Sie R_7 zunächst noch nicht an.

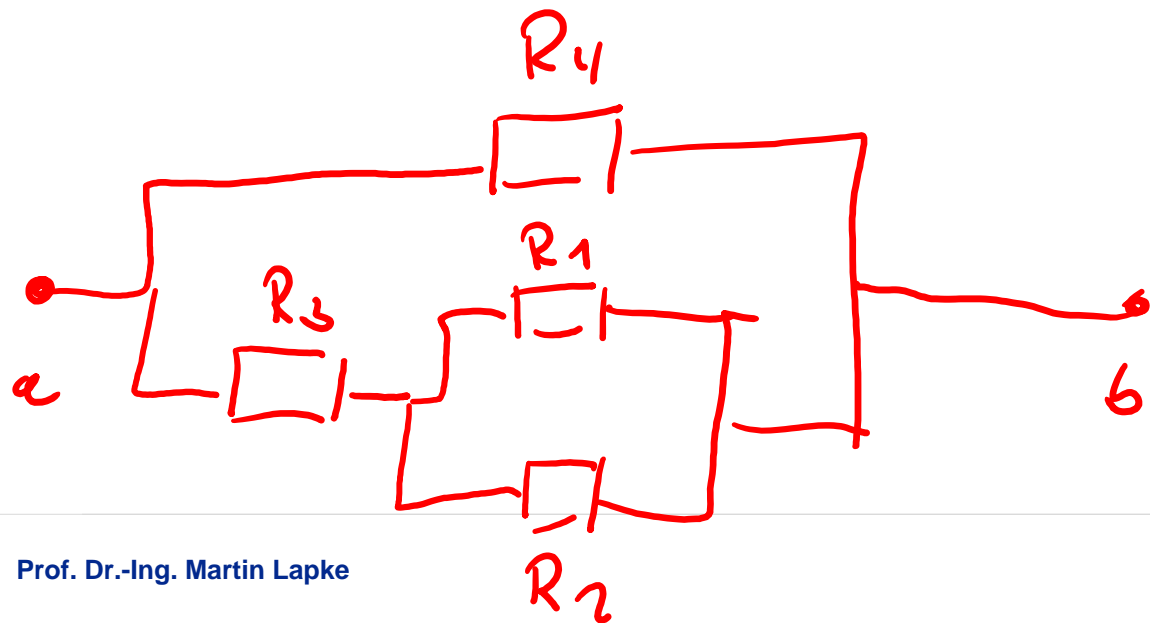
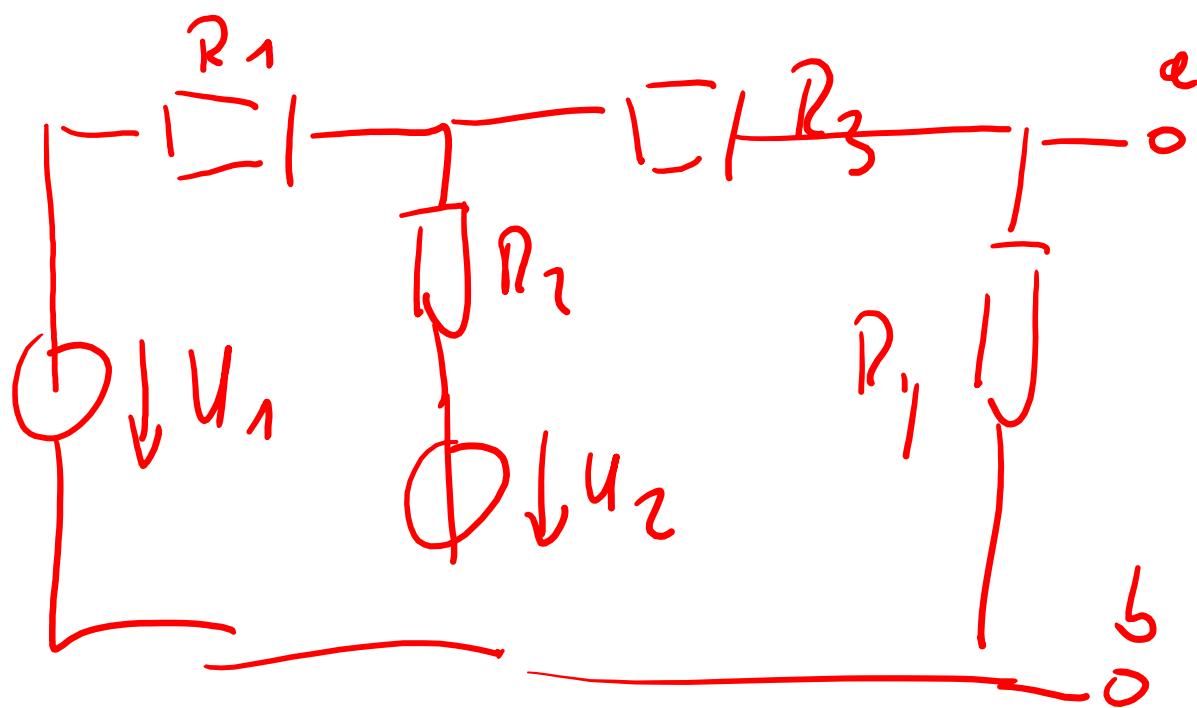
Es gilt: $U_1 = U_2 = 4,5 \text{ V}$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ }\Omega$, $R_3 = 220 \text{ }\Omega$, $R_4 = 680 \text{ }\Omega$, $R_7 = 470 \text{ }\Omega$. Die beiden Spannungsquellen werden mit dem Labornetzgerät Hameg Triple Power Supply HM7042-5 gebildet.



a) Vorbereitende Berechnungen:

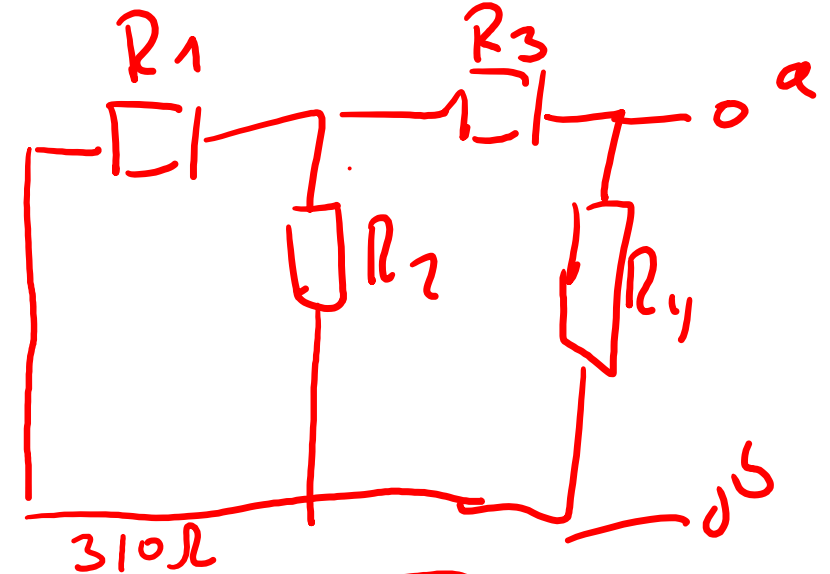
Berechnen Sie die folgenden Werte der Schaltung für das links von den Klemmen a und b liegende Netzwerk mit Hilfe des Verfahrens der Ersatzspannungsquelle:

- Leerlaufspannung U_L (ohne Belastung mit R_7) – Zur Berechnung bietet sich das Überlagerungsprinzip über die Berechnung der Stromsumme $I_{R4} = I_{41} + I_{42}$ der Einzelwirkungen von $U_1 (\Rightarrow I_{41})$ und $U_2 (\Rightarrow I_{42})$ an.
- Kurzschlussstrom I_K (ohne Belastung mit R_7)
- Klemmspannung U_7 bei Belastung mit R_7
- Laststrom I_7 bei Belastung mit R_7

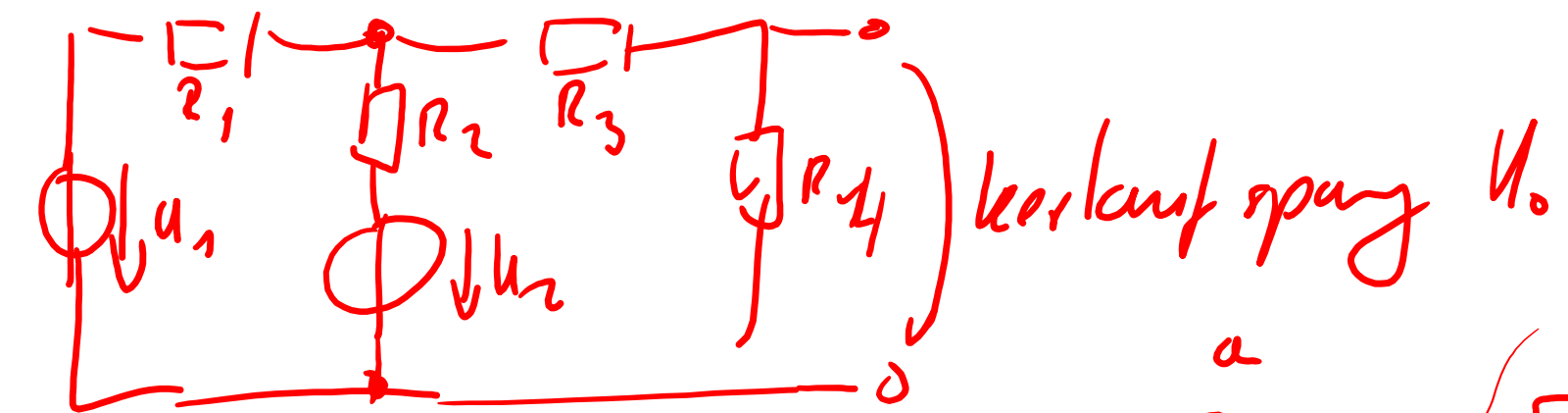


② $[R_i]$ ① Sp. \rightarrow Kurzschluss
 sh. \rightarrow Leerlauf

\rightarrow Zeichnen



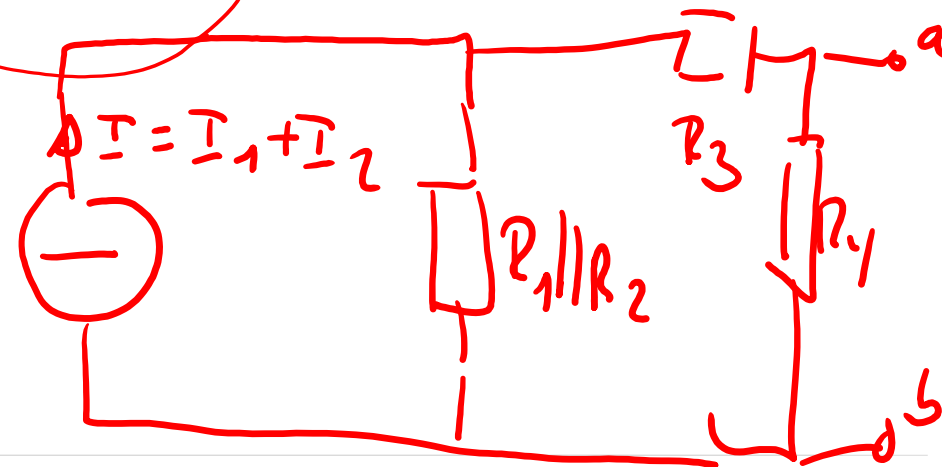
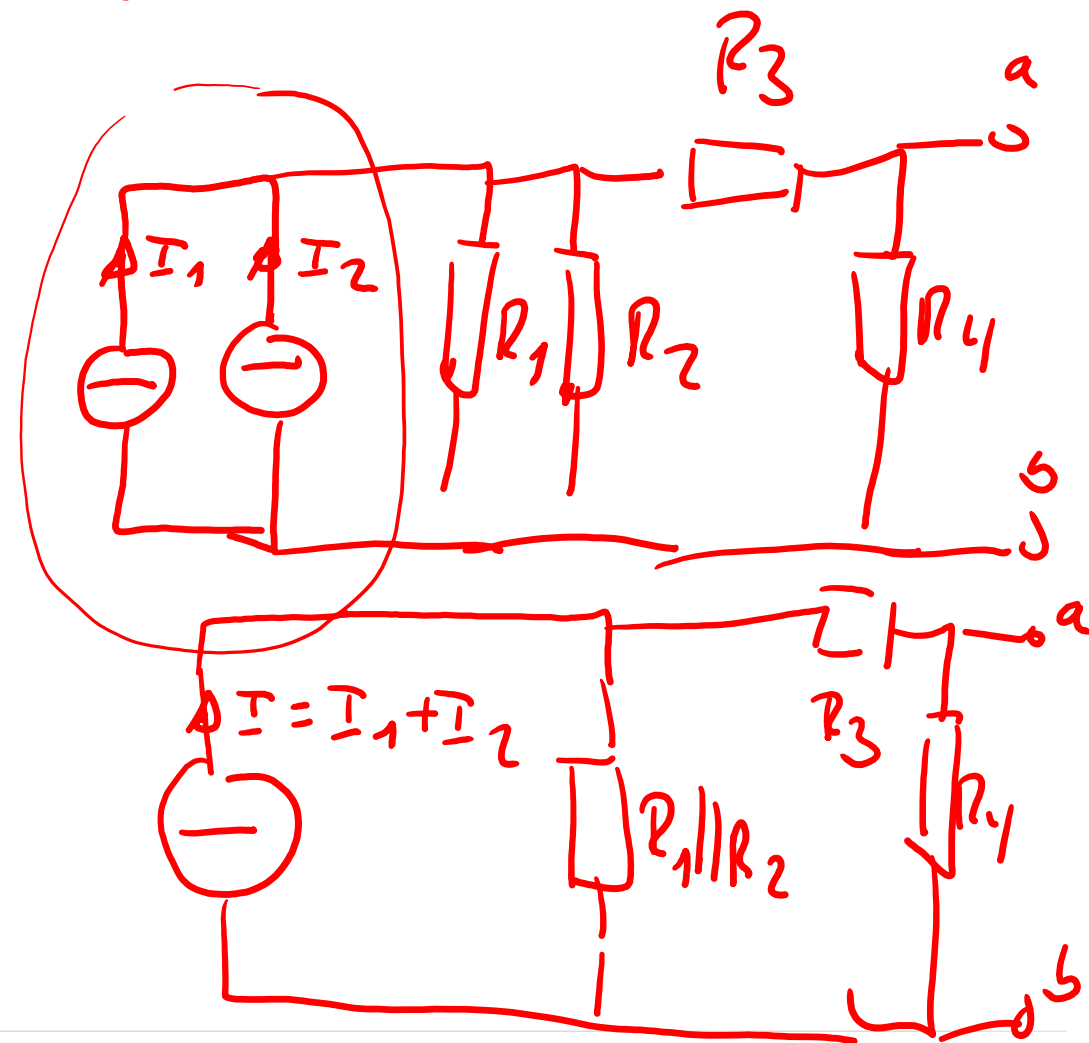
$$\Rightarrow R_i = \left[\overbrace{(R_1 \parallel R_2)}^{90,9 \Omega} + R_3 \right] \parallel R_4 = 213,35 \Omega$$

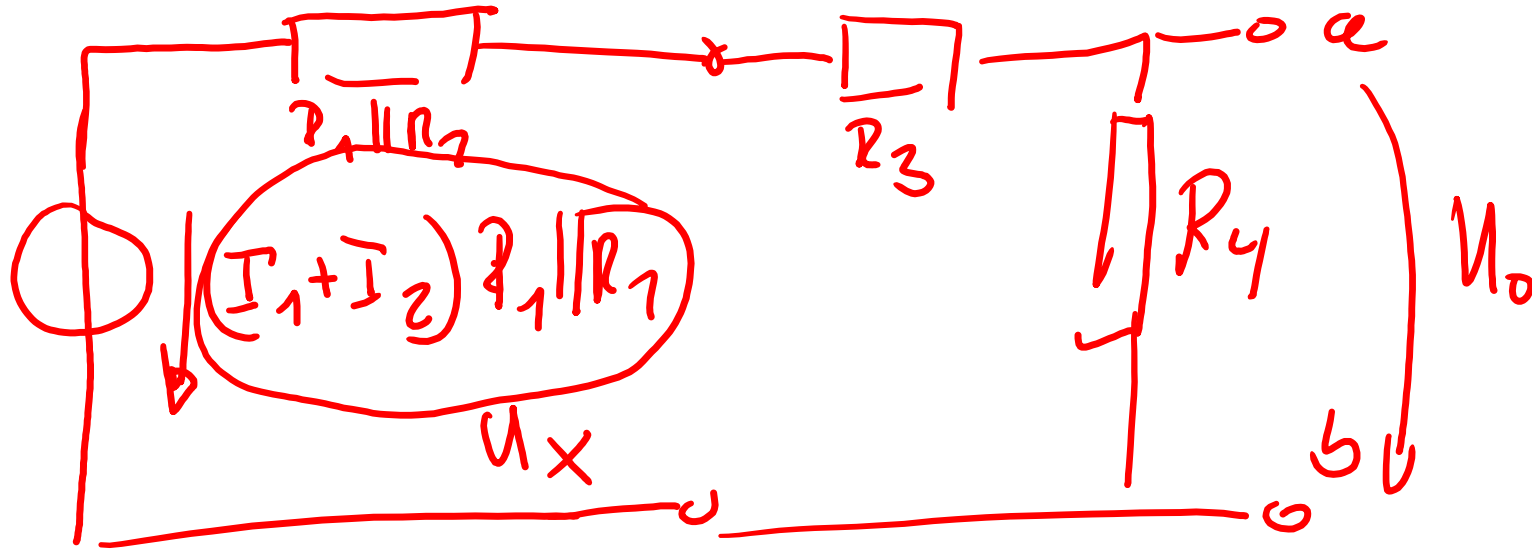


$$I_1 = U_1 / R_1$$

$$I_2 = U_2 / R_2$$

$= 1$





$$U_o = U_x \cdot \frac{R_4}{R_1 \parallel R_2 + R_3 + R_4} = 3,091V$$

$$I_1 = U_1 / R_1$$

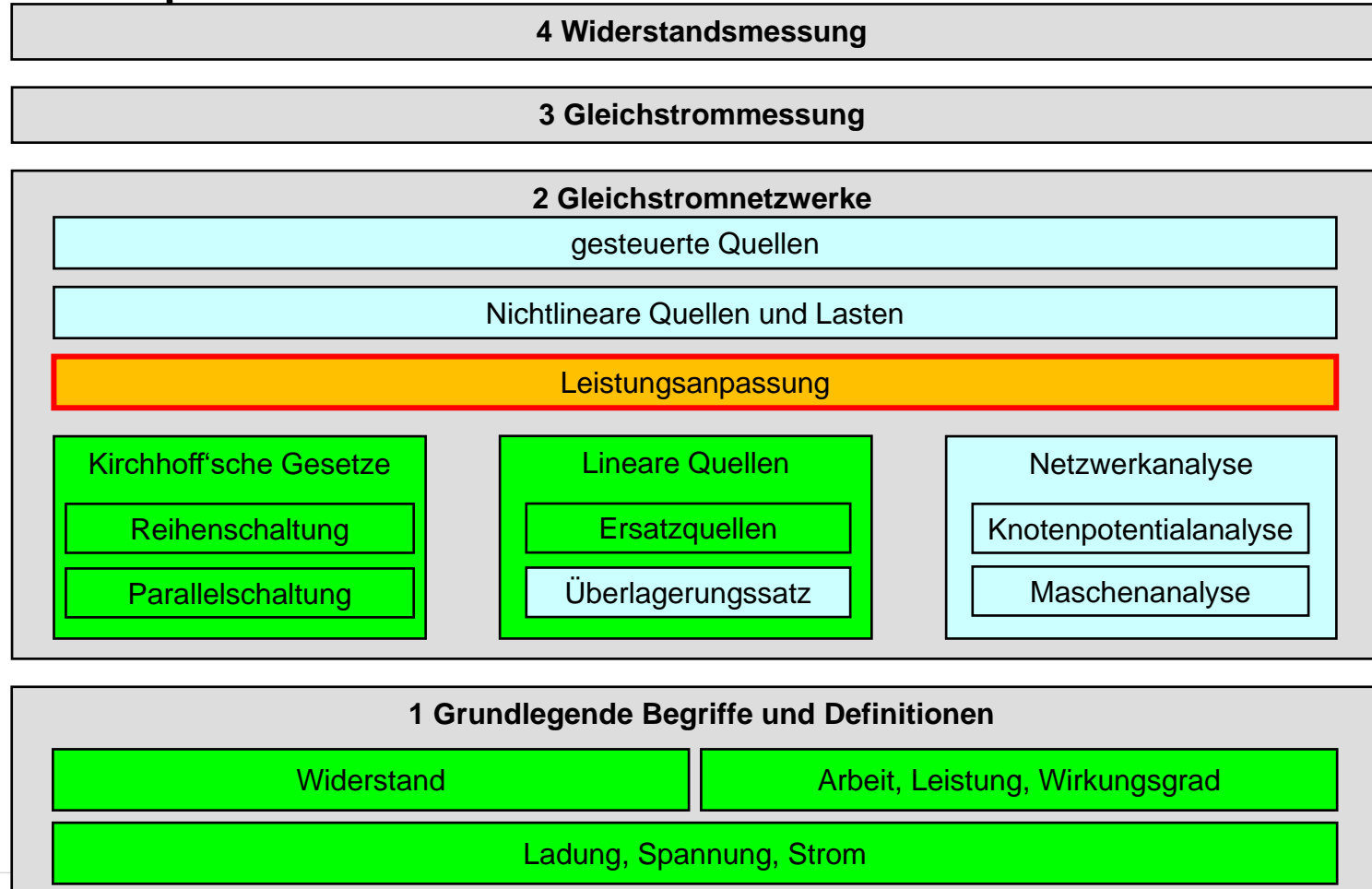
$$I_2 = U_2 / R_2$$

2 GLEICHSTROMSCHALTUNGEN

2.1	Zählpfeilsystem	Grundlagen
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	Methoden
2.8	Überlagerungsprinzip	
2.9	Netzwerkanalyse	
2.10	Leistungsanpassung	Sonstiges
2.11	Nichtlineare Quellen und Verbraucher	
2.12	Gesteuerte Quellen	

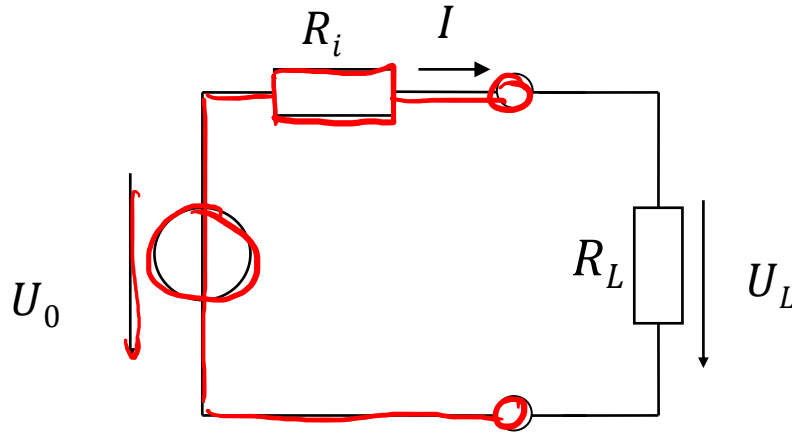
GLEICHSTROM

Inhalte der Kapitel 1 – 4: Gleichstrom



LEISTUNG IN LAST R_L BEI LINEARER QUELLE

Wie groß ist die Leistung, die in der Last R_L umgewandelt wird?



$$P_L = \frac{R_L U_0^2}{(R_i + R_L)^2}$$

$$I = \frac{U_0}{R_i + R_L}$$

$$U_L = \frac{R_L}{R_i + R_L} \cdot U_0$$

$$P_L = U_L \cdot I = U_0^2 \cdot \frac{R_L}{(R_i + R_L)^2}$$

LEISTUNGSANPASSUNG BEI LINEARER QUELLE

Bei welchem Lastwiderstand ist die Leistung in R_L maximal?

$$P_L = U_0 \cdot \frac{R_L}{(R_i + R_L)^2}$$

$P_L = f(R_L)$ hat Maximum, wenn:

$$P_L' = 0; \frac{dP_L}{dR_L} = 0; P_L'' < 0$$

Es gilt: $\left(\frac{f}{g}\right)' = \frac{f'g - fg'}{g^2}$

Mit: $P_L = \frac{R_L U_0^2}{(R_i + R_L)^2}$

$$\Rightarrow f = R_L U_0^2$$

$$g = (R_i + R_L)^2$$

$$\Rightarrow f' = U_0^2$$

$$g' = 2 \cdot (R_i + R_L)$$

$$P_L'(R_L) = \frac{U_0^2 (R_i + R_L)^2 - 2(R_i + R_L) R_L U_0^2}{((R_i + R_L)^2)^2}$$

RECHNUNGEN (SAUBER)

$$\begin{aligned}u &= R_L U_0^2 & v &= (R_i + R_L)^2 \\u' &= U_0^2 & v' &= 2(R_i + R_L)\end{aligned}$$

$$P_L' = \frac{U_0^2 (R_i + R_L)^2 - R_L U_0^2 2(R_i + R_L)}{(\cancel{R_i + R_L})^4} \quad \leftarrow \Rightarrow 0$$

$$P_L' = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \cancel{R_L U_0^2 2(R_i + R_L)} = \cancel{U_0^2 (R_i + R_L)^2}$$

$$2 R_L = R_i + R_L \quad \Rightarrow \quad R_L = R_i$$

~~XXXXXXXXXX~~

$$\boxed{R_L = R_i}$$

$$P_L(R_L) = \frac{R_i U_0^2}{(4R_i^2)} = \frac{U_0^2}{4R_i}$$

MATHEMATICA LÖSUNG

<https://develop.open.wolframcloud.com/app/>

```
PL[RL_]:=U0^2*(RL/(RL+Ri)^2);
```

```
D[PL[RL],RL]
```

```
FullSimplify[D[PL[RL],RL]]
```

```
Solve[D[PL[RL],RL]==0,RL]
```

```
PL[Ri]
```

```
Plot[PL[RL]/.{U0->1,Ri->1},{RL,0,6}]
```

```
In[1]:= PL[RL_]:=U0^2*(RL/(RL+Ri)^2);  
D[PL[RL],RL]
```

```
Out[17]=  $-\frac{2RLU0^2}{(Ri+RL)^3} + \frac{U0^2}{(Ri+RL)^2}$ 
```

```
In[18]:= FullSimplify[D[PL[RL],RL]]
```

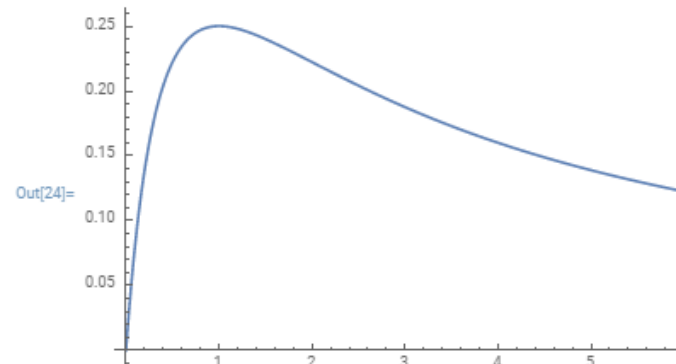
```
Out[18]=  $\frac{(Ri-RL)U0^2}{(Ri+RL)^3}$ 
```

```
In[19]:= Solve[D[PL[RL],RL]==0,RL]
```

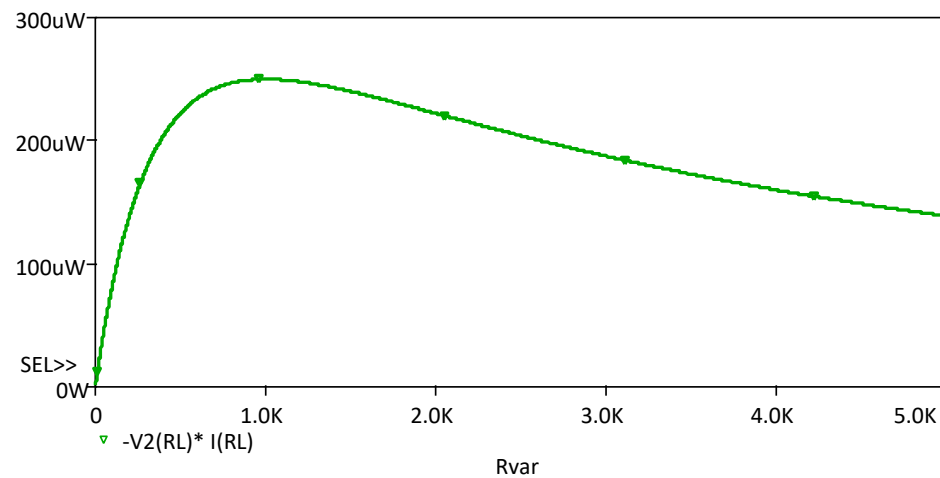
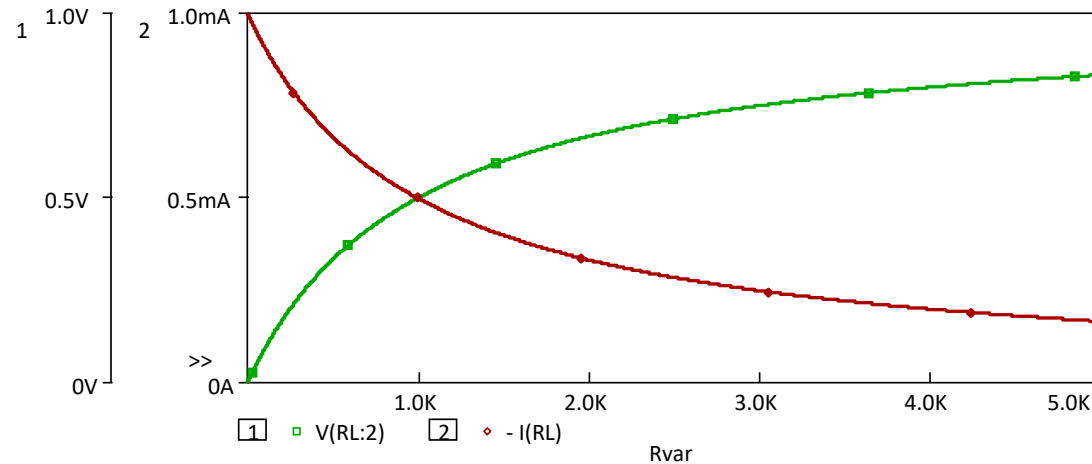
```
Out[19]= {{RL -> Ri}}
```

```
In[20]:= PL[Ri]
```

```
Out[20]=  $\frac{U0^2}{4Ri}$ 
```



LEISTUNGSANPASSUNG BEI LINEARER QUELLE



Die Leistung in R_L wird maximal für $R_i = R_L$ und es gilt:

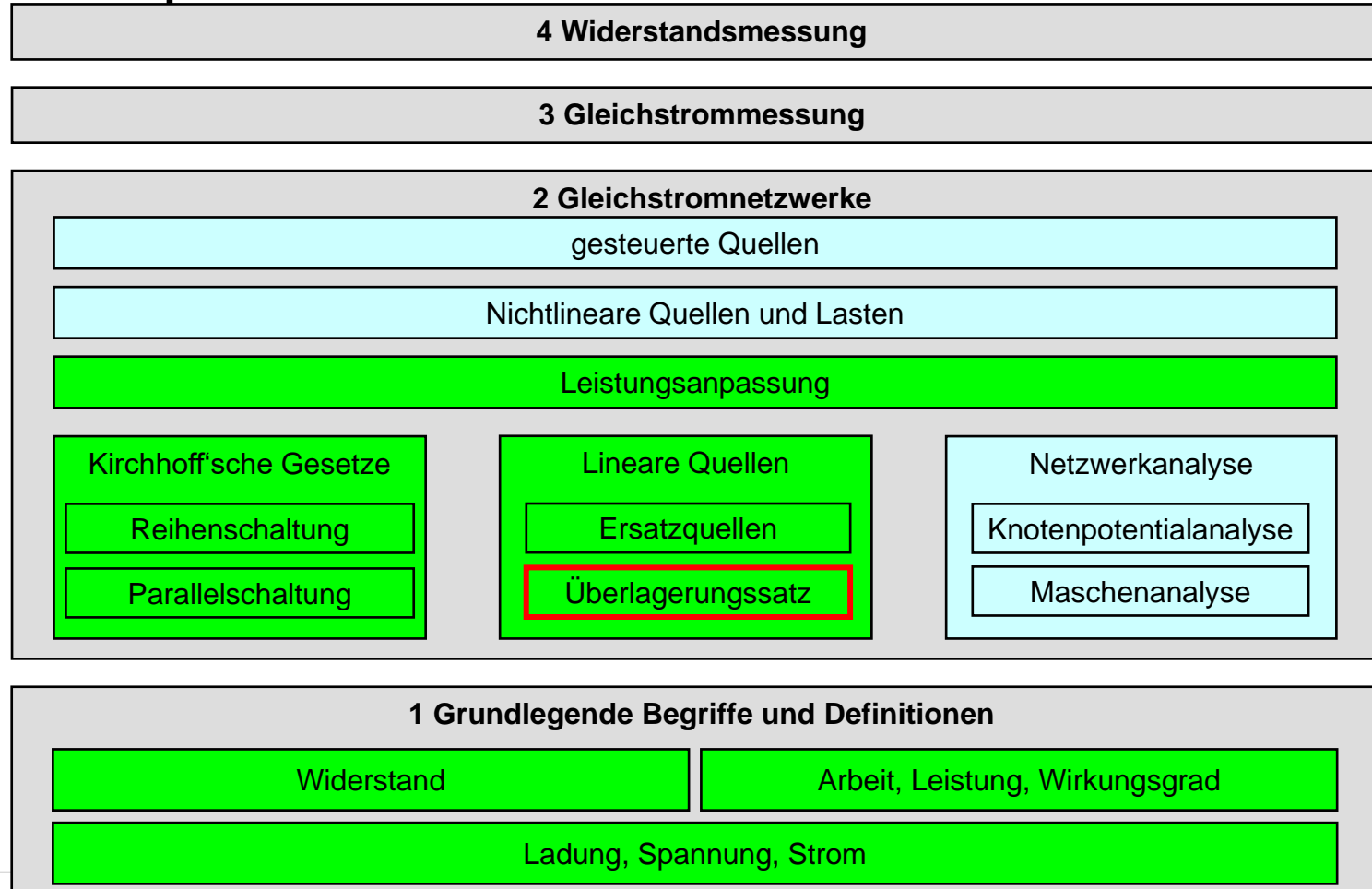
$$P_{L,max} = \frac{U_0^2}{4R_i}$$

2 GLEICHSTROMSCHALTUNGEN

2.1	Zählpfeilsystem	Grundlagen
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	Methoden
2.8	Überlagerungsprinzip	
2.9	Netzwerkanalyse	
2.10	Leistungsanpassung	Sonstiges
2.11	Nichtlineare Quellen und Verbraucher	
2.12	Gesteuerte Quellen	

GLEICHSTROM

Inhalte der Kapitel 1 – 4: Gleichstrom



ÜBERLAGERUNGSPRINZIP

Ziel: Analyse von Schaltungen mit mehr als einer Quelle

Idee: Wirkung jeder Quelle einzeln berechnen
Einzelwirkungen aufaddieren

Es gilt:

- In einem linearen Netzwerk kann die von allen Quellen hervorgerufene Wirkung an einer beliebigen Stelle des Netzwerkes als Summe der Wirkungen jeder einzelnen Quelle bestimmt werden.
- Dabei sind die idealen Quellen durch ihre idealen Innenwiderstände zu ersetzen (ideale Spannungsquelle $R_i = 0$, Stromquelle mit $R_i \rightarrow \infty$).

Auch bezeichnet als: **Superpositionsprinzip** oder **Helmholtz-Prinzip**

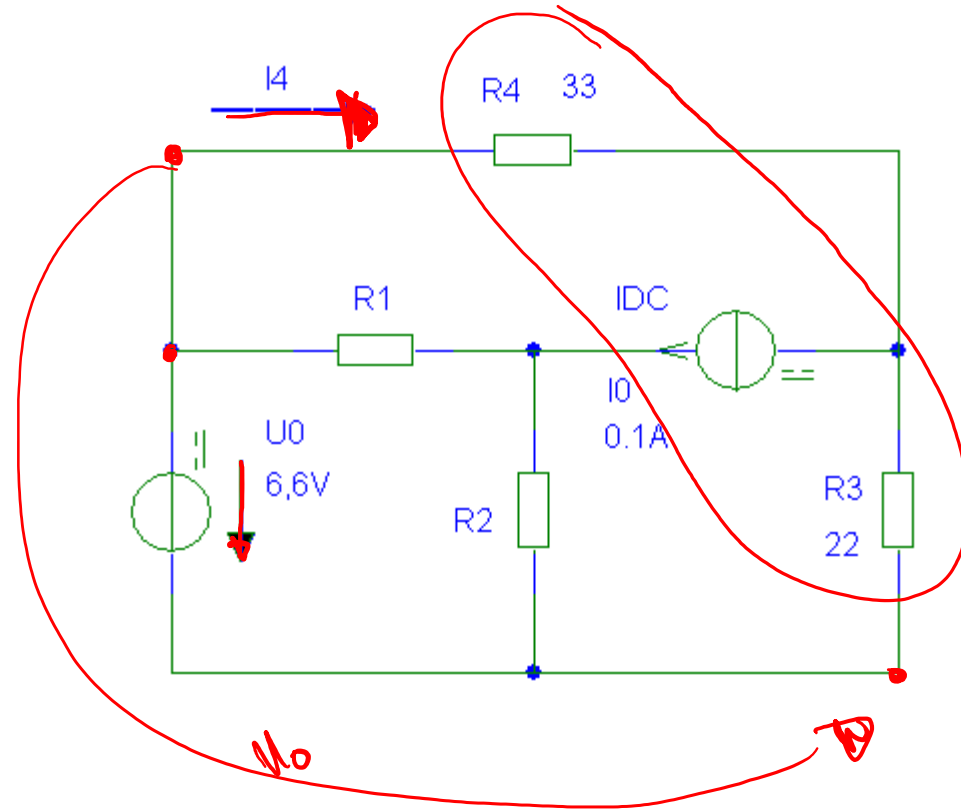
METHODE DES ÜBERLAGERUNGSPRINZIPS

- je Quelle ein Schaltbild:
 - alle anderen idealen Spannungsquellen kurzgeschlossen
 - alle anderen idealen Stromquellen entfernt
- je Schaltbild berechnet man dann den gesuchten Teilstrom oder die gesuchte Teilspannung
- Ergebnis
= Summe der Teilströme oder Teilspannungen
(die Superposition)

BEISPIEL

Bestimmen Sie den Laststrom I_4

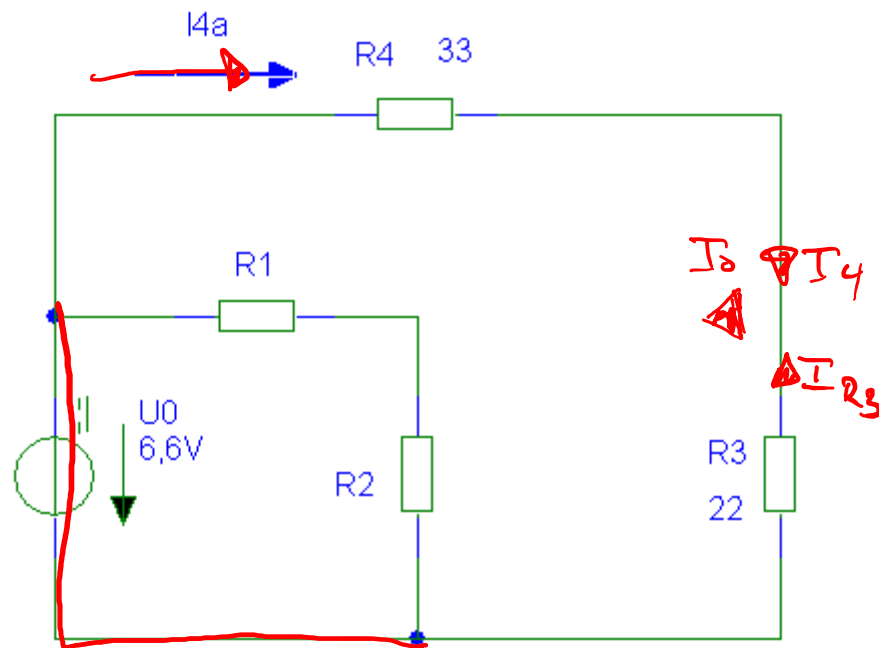
$$\frac{U_0}{(R_3 + R_4)} = \frac{6,6V}{(33\Omega + 22\Omega)} = \frac{6,6V}{55\Omega} = 120\text{mA}$$



1. SCHALTBILD: EINFLUSS VON U_0

$$I_{4a} =$$

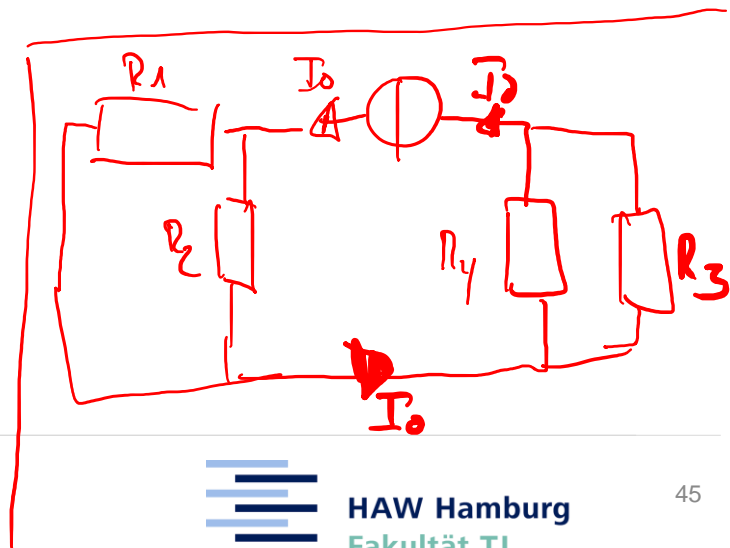
\uparrow
 I_0



$$I_{4b} = \frac{G_4}{G_3 + G_4} I_0$$

$$= \frac{G_4}{G_3 + G_4} I_0$$

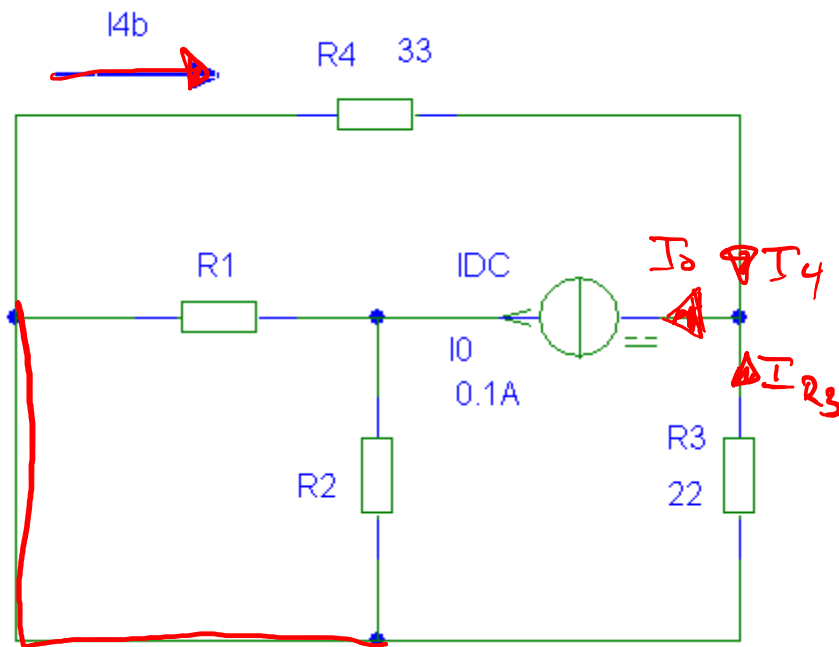
$$= 40mA$$



2. SCHALTBILD: EINFLUSS VON I_0

$$I_{4b} =$$

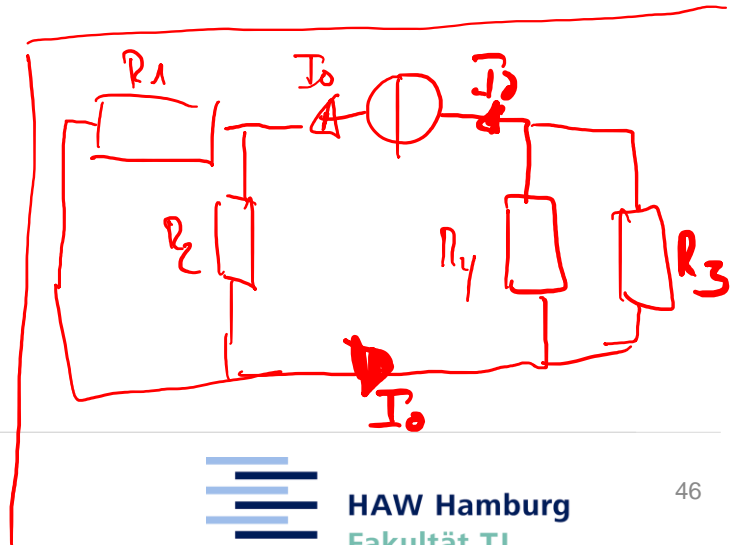
\uparrow
 I_0



$$I_{4b} = \frac{G_4}{G_3 + G_4} I_0$$

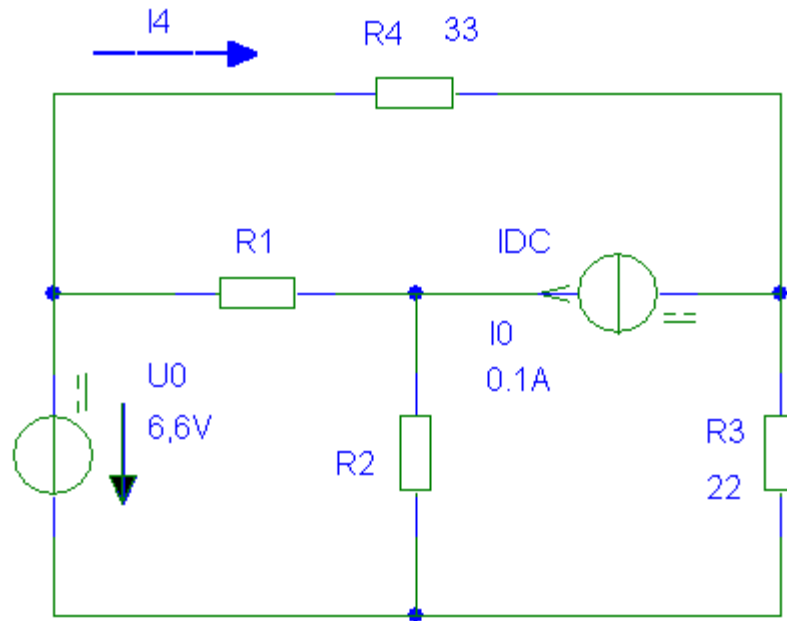
$$= \frac{G_4}{G_3 + G_4} I_0$$

$$= 40mA$$



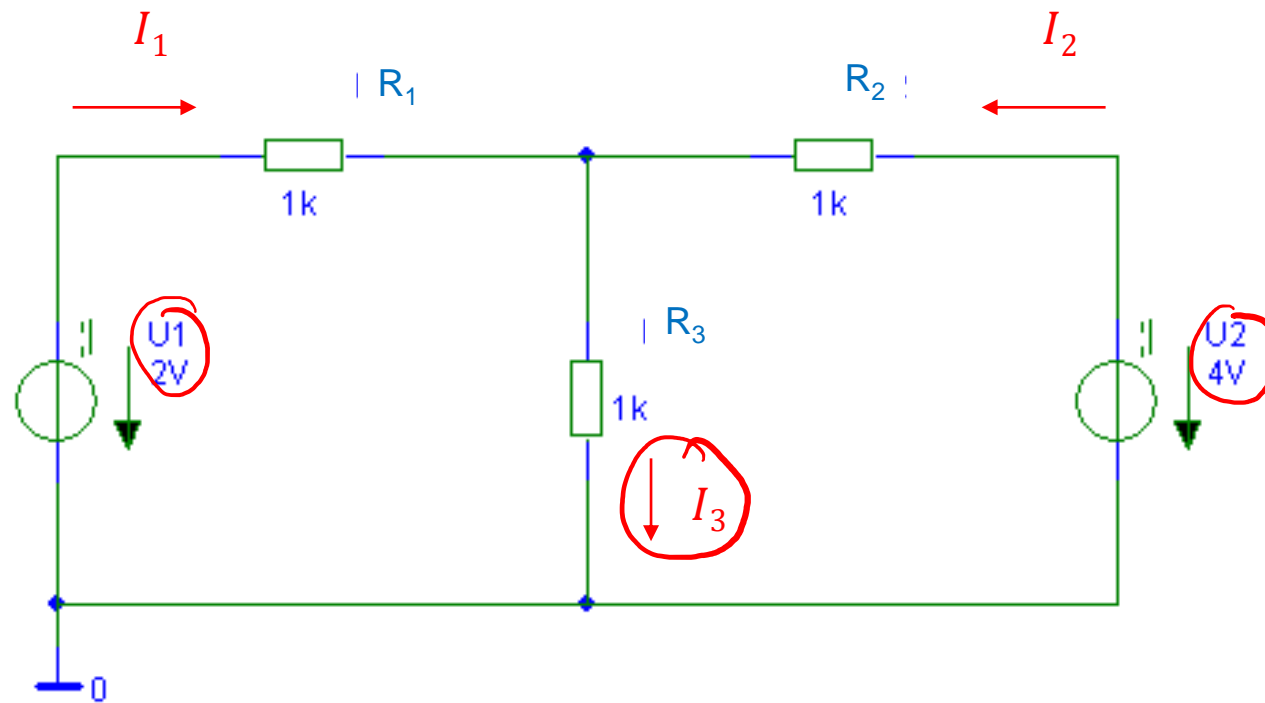
3. SUPERPOSITION

$$I_4 = I_{4a} + I_{4b} = 120\text{mA} + 40\text{mA} = 160\text{mA} = 0,16\text{A}$$

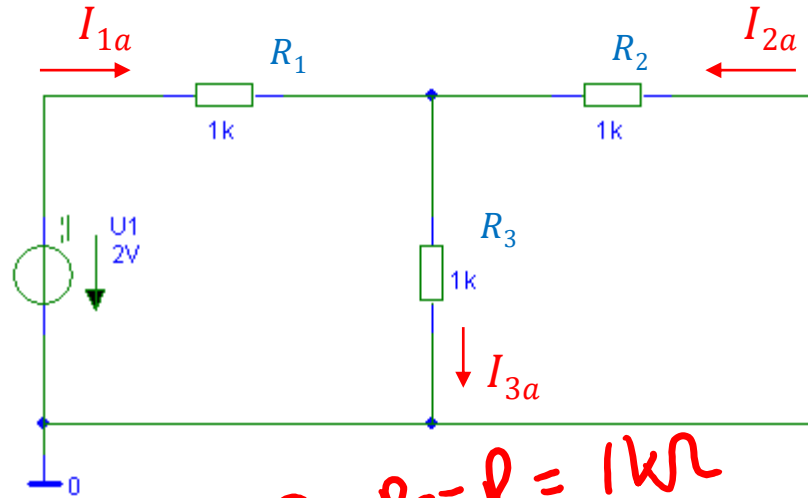


ÜBUNGSAUFGABE ZUR SUPERPOSITION

Bestimmen Sie den Strom I_3 durch den mittleren Widerstand.



1. EINFLUSS VON U_1



$$I_{1a} = \frac{U_1}{R_1 + R_2 \parallel R_3} = \frac{2V}{1k + 1k \parallel 1k} = \frac{2V}{1k + 500\Omega} = \frac{2V}{1.5k} = \frac{4}{3} \text{ mA}$$

$$I_{3a} = \frac{I_{1a}}{2} = \frac{2}{3} \text{ mA}$$

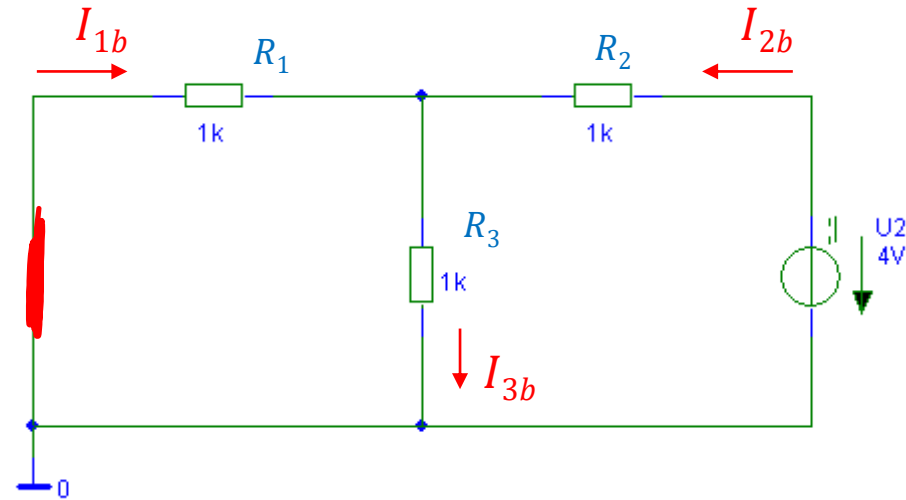
$R_1 = R_2 = R = 1k\Omega$

\downarrow

$\frac{U_1}{R + R/2} = \frac{2V}{1k + 500\Omega} = \frac{4}{3} \text{ mA}$

\uparrow $R_2 = R_3$

2. EINFLUSS VON U_2

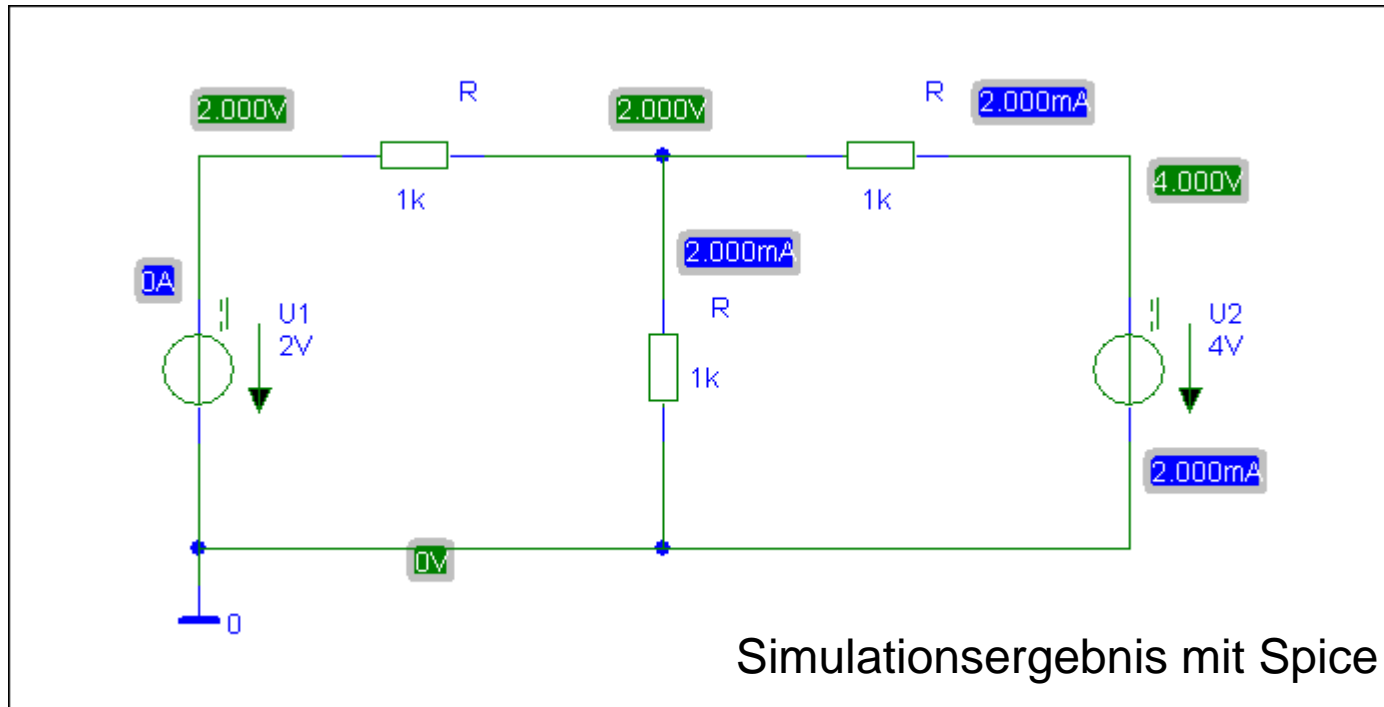


siehe letzte Seite!

$$I_{2b} = \frac{U_2}{R + R/2} = \frac{8}{3} \text{ mA}$$

$$I_{3b} = I_{2b}/2 = \frac{8}{6} \text{ mA} = \frac{4}{3} \text{ mA}$$

3. SUPERPOSITION



$$I_{3a} = 2/3 \text{ mA}$$

$$I_{3b} = 4/3 \text{ mA}$$

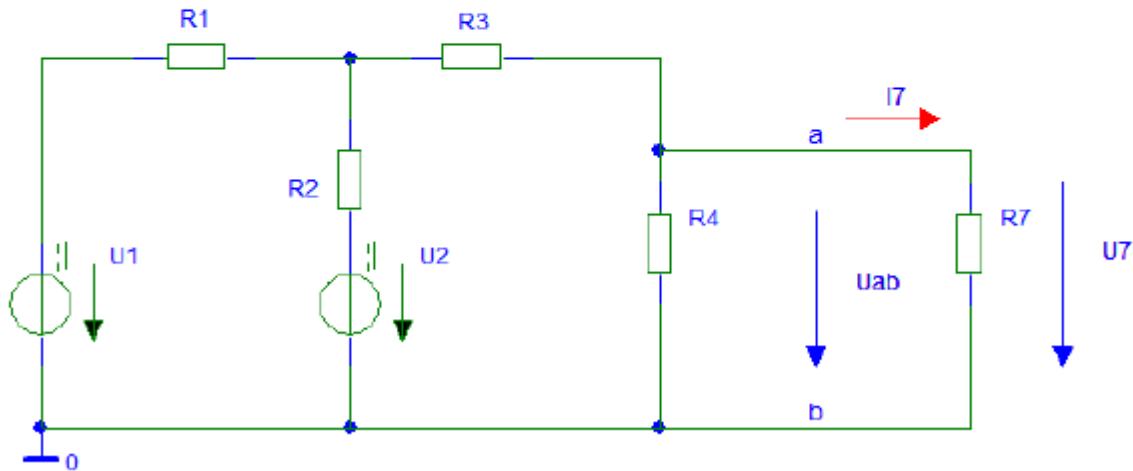
$$\Rightarrow I_3 = I_{3a} + I_{3b} = 6/3 \text{ mA} = 2 \text{ mA}$$

LABORAUFGABE

4. Ersatzquellen

Für ein Widerstandsnetzwerk mit zwei Spannungsquellen soll rechnerisch und experimentell eine Ersatzquelle bestimmt werden, die sich bezüglich der Klemmen a und b genau wie das ursprüngliche Netzwerk verhält. Bauen Sie das folgende Netzwerk auf und schließen Sie R_7 zunächst noch nicht an.

Es gilt: $U_1 = U_2 = 4,5 \text{ V}$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ }\Omega$, $R_3 = 220 \text{ }\Omega$, $R_4 = 680 \text{ }\Omega$, $R_7 = 470 \text{ }\Omega$. Die beiden Spannungsquellen werden mit dem Labornetzgerät Hameg Triple Power Supply HM7042-5 gebildet.



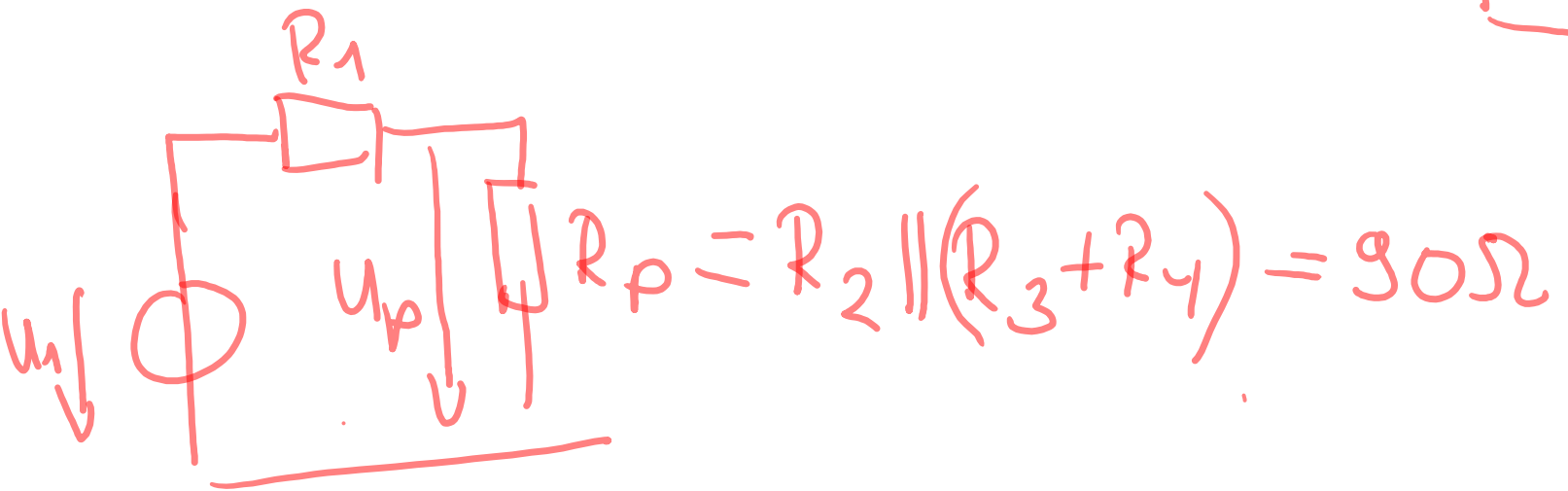
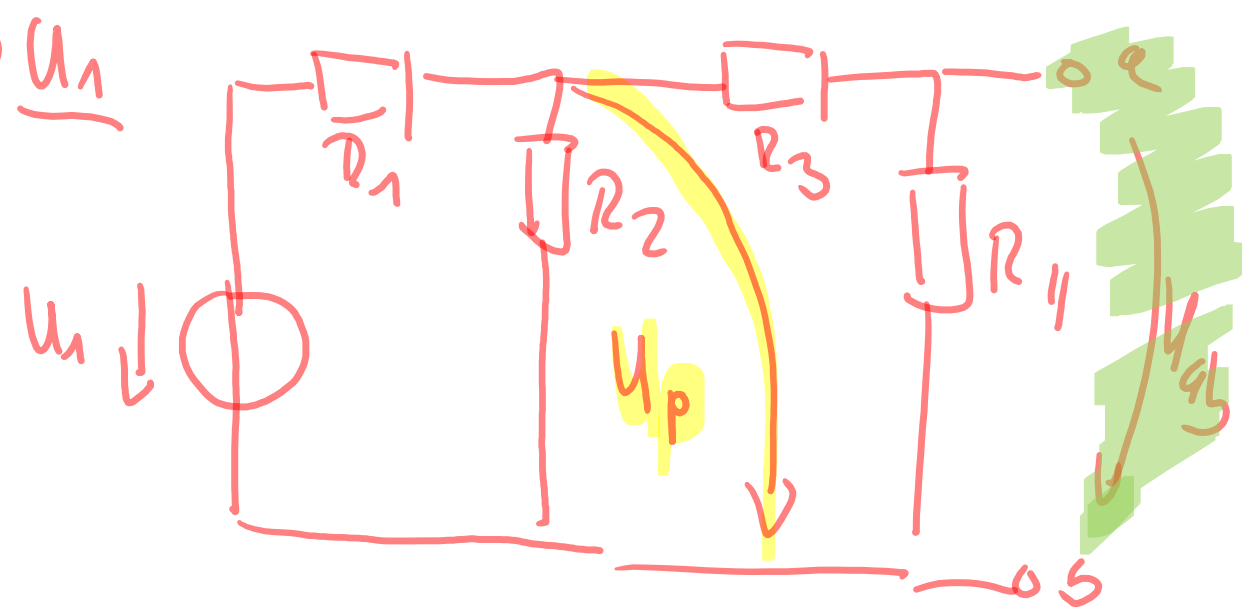
a) Vorbereitende Berechnungen:

Berechnen Sie die folgenden Werte der Schaltung für das links von den Klemmen a und b liegende Netzwerk mit Hilfe des Verfahrens der Ersatzspannungsquelle:

- Leerlaufspannung U_L (ohne Belastung mit R_7) – Zur Berechnung bietet sich das Überlagerungsprinzip über die Berechnung der Stromsumme $I_{R4} = I_{41} + I_{42}$ der Einzelwirkungen von $U_1 (\Rightarrow I_{41})$ und $U_2 (\Rightarrow I_{42})$ an.
- Kurzschlussstrom I_K (ohne Belastung mit R_7)
- Klemmspannung U_7 bei Belastung mit R_7
- Laststrom I_7 bei Belastung mit R_7



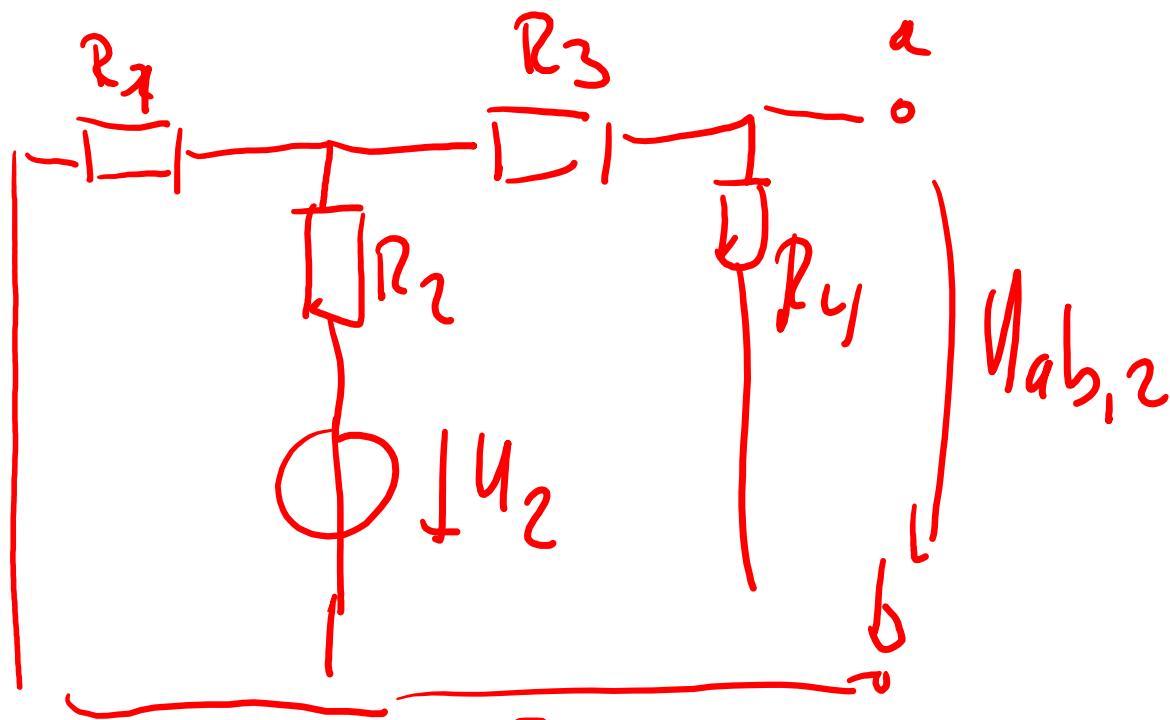
① $\underline{U_1}$



$$U_{R4} = U_p \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

$$U_{ab,1} = 0,2807 \text{ V}$$

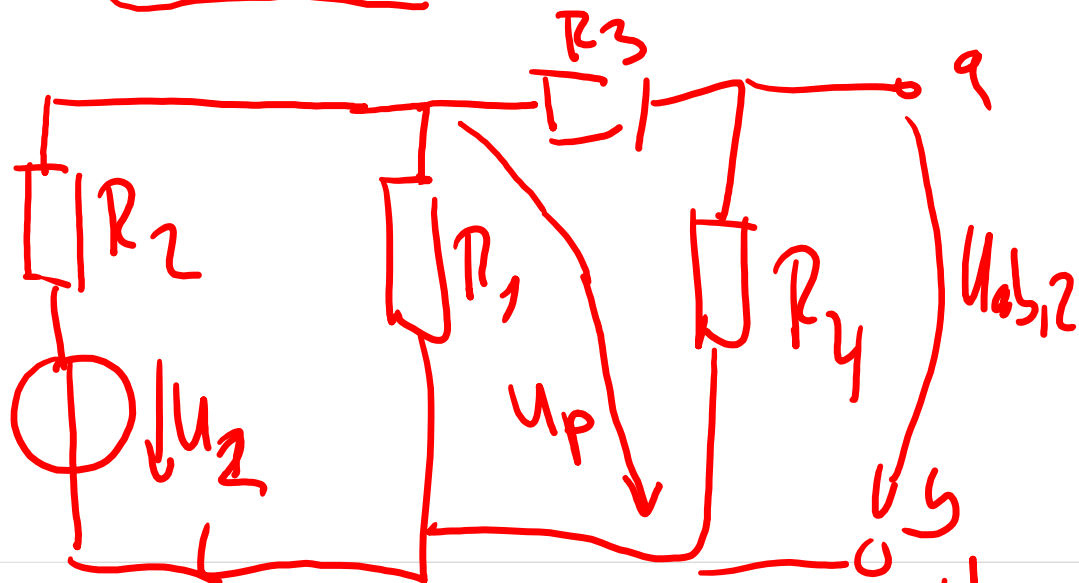
$$U_p = U_1 \cdot \frac{R_p}{R_1 + R_p} = 4 \text{ V} \cdot \frac{90 \Omega}{1 \text{ k}\Omega + 90 \Omega} = 0,3772 \text{ V}$$



② Effekt U_2 : U_1 Kurzschluss

$$R_p = R_1 \parallel (R_3 + R_4) = 473,68 \Omega$$

$$U_p = U_2 \cdot \frac{R_p}{R_p + R_2} = 372 \text{ V}$$





$$U_{ab,2} = U_p \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 2,807 \text{ V}$$

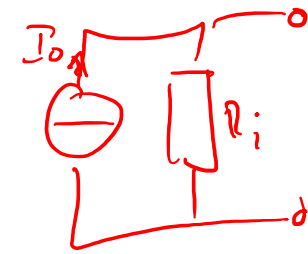
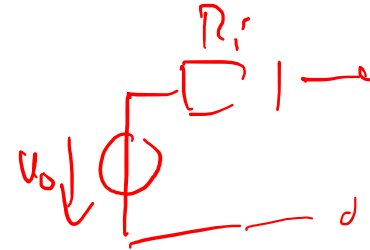
$$= 3088 \text{ V}$$

$$U_{ab} = U_{ab,1} + U_{ab,2} = 0,1807 \text{ V} + 2,807 \text{ V}$$

WAS SIE MITNEHMEN SOLLEN... (1)

Kennlinien und Schaltbild der linearen Quellen

- lineare Spannungsquelle: 
- lineare Stromquelle: 



Umwandlung von linearer Spannungs- in lineare Stromquelle:

- Widerstand: $R_{isp} = R_{isz}$
- Stromquelle: $I_0 = \frac{U_0}{R_i}$

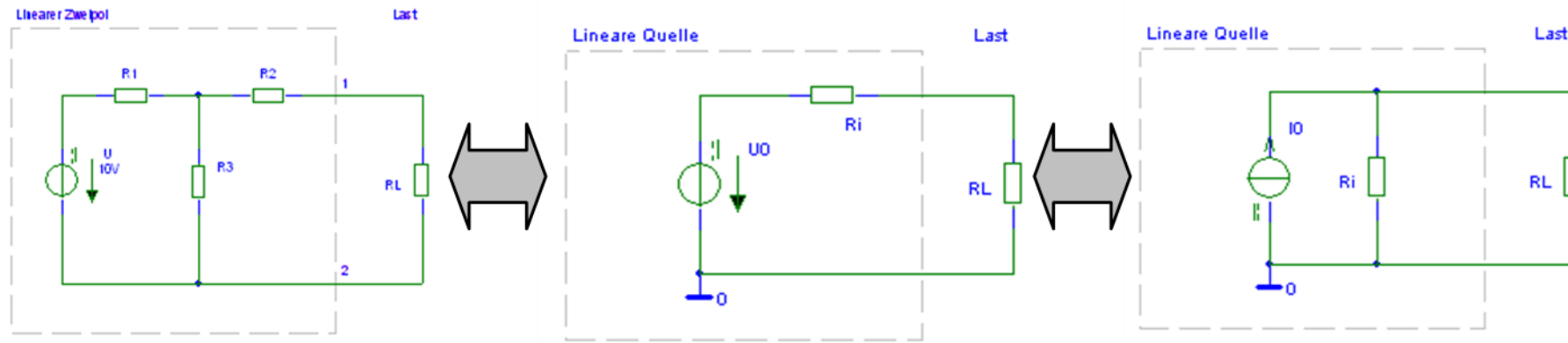
Umwandlung eines aktiven linearen Netzwerkes in Ersatzquelle:

1. *Innenwiderstand aus Sicht d. Anschlüsse*
2. *Leerlaufspannung ermitteln*

Leistungsanpassung ist gegeben, wenn: $R_i = R_L \Rightarrow P_{Lmax} = \frac{U_0^2}{4R_i} = \frac{U_0^2}{4R_L}$

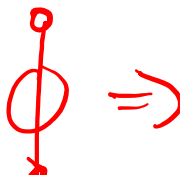
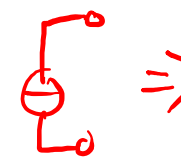
WAS SIE MITNEHMEN SOLLEN (2)

Wie bestimmt man den Innenwiderstand einer Quelle?



WAS SIE MITNEHMEN SOLLEN... (3)

Überlagerungsprinzip

- eingesetzt, wenn: *mehrere Quellen*
- Vorgehen: *jede Quelle einzeln betrachten*
- Spannungsquelle ersetzen durch:  \Rightarrow *Kurzschluss*
- Stromquelle ersetzen durch:  \Rightarrow *Leerlauf*