

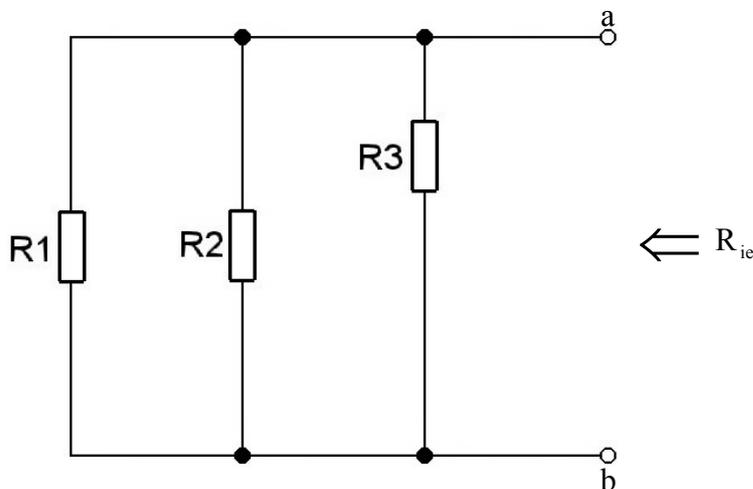
University of Applied Sciences Cologne Campus Gummersbach Dipl.-Ing. (FH) Dipl.-Wirt. Ing. (FH) G. Danielak	<h1>Gleichspannung</h1> <h2>Ersatzspannungsquelle</h2>	<h1>Tutorium</h1> <h2>L-ESpQ-01</h2> <p>Stand: 19.03.2006; R0</p>
--	--	---

Die hier gezeigten Lösungen beziehen sich auf die alten Klausuren von Herrn Dr. Weber, die man sich im Internet unter den bekannten Adressen herunterladen kann. Sie zeigen verschiedene Lösungswege auf und beschreiben darüber hinaus das grafische Lösungsverfahren.

Prüfung 2003/1
Aufgabe 5:

- Bestimmung von R_{ic}

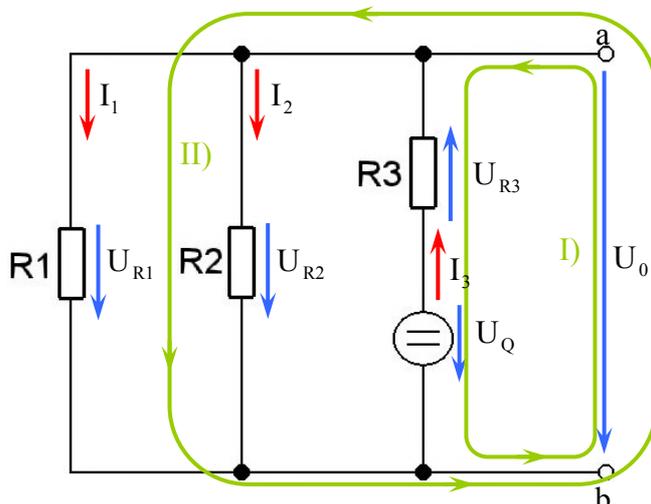
Lastwiderstand entfernen, Spannungsquelle kurzschließen und von der Lastseite her in die Schaltung hereinschauen.



$$\underline{\underline{R_{ic}}} = R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{40\Omega} + \frac{1}{120\Omega} + \frac{1}{30\Omega}} = \underline{\underline{15\Omega}}$$

- Bestimmung von U_0

Lastwiderstand entfernen, Masche um U_0 legen und U_0 definieren.



Hierfür gibt es mehrere Lösungsmöglichkeiten, bedingt durch das Legen der Maschen.

$$\text{Masche I): } -U_0 - U_{R_3} + U_Q = 0 \Leftrightarrow U_0 = U_Q - U_{R_3} = U_Q - I_3 \cdot R_3$$

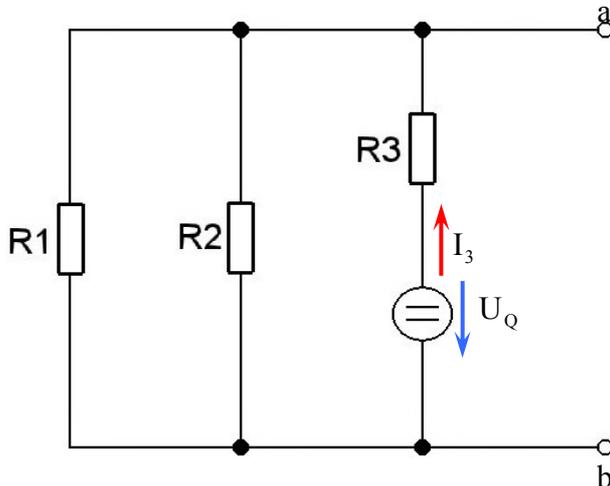
$$\text{Masche II): } -U_0 + U_{R_2} = 0 \Leftrightarrow U_0 = U_{R_2} = I_2 \cdot R_2$$

Weil R_2 parallel zu R_1 liegt, ist die Spannung an beiden Widerständen gleich groß, d. h. $U_{R_2} = U_{R_1}$. Damit kann die II) Masche auch folgendermaßen lauten:

$$-U_0 + U_{R_1} = 0 \Leftrightarrow U_0 = U_{R_1} = I_1 \cdot R_1$$

In allen Fällen ist das Berechnen des Stroms I_3 unumgänglich, denn um I_2 oder I_1 nach der Stromteilerregel zu berechnen, muss der einfließende Strom I_3 bekannt sein.

Lösung nach Masche I)



Der Widerstand, mit dem die Spannungsquelle belastet wird, ist der Gesamtwiderstand R_{ges} . Er setzt sich aus allen Widerständen zusammen, die an der Quelle angeschlossen sind und durch die ein Strom fließt. Dabei muss dieser Strom nicht unbedingt – so wie hier – der Strom aus der Quelle sein. Es ist dabei unbedingt wichtig, dass für diese Formel der Strom aus dem Pluspol der Quelle herausfließt:

$$\begin{aligned} \underline{I_3} &= \frac{U_Q}{R_{\text{ges}}} = \frac{U_Q}{R_3 + R_1 \parallel R_2} = \frac{U_Q}{R_3 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} \\ &= \frac{10\text{V}}{30\Omega + \frac{40\Omega \cdot 120\Omega}{40\Omega + 120\Omega}} = \underline{\underline{166,6\text{mA}}} \end{aligned}$$

Wenn man die Parallelschaltung bestehend aus R_1 und R_2 durch einen Widerstand R_{12} ausdrückt, so fließt durch R_{12} der Strom I_3 . Damit liegt R_{12} in Reihe zu R_3 , denn er wird vom gleichen Strom durchflossen. Die Masche (angelegt entgegengesetzt zum Uhrzeigersinn) zur Bestimmung des Stroms lautet: $-U_Q + I_3 \cdot R_3 + I_3 \cdot R_{12} = 0$. Löst man diese Gleichung nach I_3 auf, so ergibt sich die oben angegebene Gleichung. Würde man die Stromrichtung in die andere Richtung wählen – der Strom fließt jetzt durch R_3 von oben nach unten – so erhält man eine andere Maschengleichung: $-U_Q - I_3 \cdot R_3 - I_3 \cdot R_{12} = 0$. Stellt man diese Gleichung nach I_3 um, so ergibt sich ein negatives Vorzeichen für den gesuchten Strom! Das bedeutet lediglich, dass der Strom in die entgegen gesetzte Richtung fließt, der Zahlenwert bleibt identisch:

$$\begin{aligned} -U_Q - I_3 \cdot R_3 - I_3 \cdot R_{12} = 0 &\Leftrightarrow U_Q = -I_3 \cdot R_3 - I_3 \cdot R_{12} = -I_3 \cdot (R_3 + R_{12}) \\ \Leftrightarrow I_3 &= -\frac{U_Q}{R_3 + R_{12}} = -\frac{U_Q}{R_3 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} \end{aligned}$$

University of Applied Sciences Cologne Campus Gummersbach Dipl.-Ing. (FH) Dipl.-Wirt. Ing. (FH) G. Danielak	<h1>Gleichspannung</h1> <h2>Ersatzspannungsquelle</h2>	<h1>Tutorium</h1> <h2>L-ESpQ-03</h2> <p>Stand: 19.03.2006; R0</p>
--	--	---

Setzt man die Lösung für I_3 in die Gleichung für U_0 ein, so erhält man folgendes Ergebnis:

$$\underline{U_0} = U_Q - U_{R3} = U_Q - I_3 \cdot R_3 = 10V - 166,6\bar{m}A \cdot 30\Omega = 10V - 5V = \underline{5V}$$

Lösung nach Masche II)

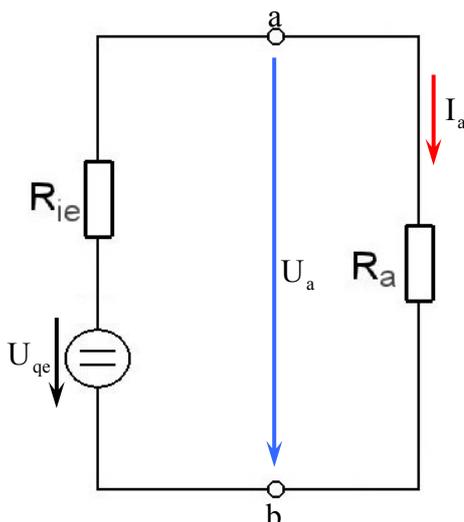
Für diese Lösung muss erst der Strom I_2 berechnet werden. Das geschieht mit Hilfe der Stromteilerregel; der einfließende Strom I_3 muss hierfür separat berechnet werden. In diesem Beispiel wird auf die Lösung aus Masche I) zurückgegriffen.

$$\underline{I_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I_3 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{U_Q}{\underbrace{R_3 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}_{I_3}} = \frac{40\Omega}{40\Omega + 120\Omega} \cdot \frac{10V}{30\Omega + \frac{40\Omega \cdot 120\Omega}{40\Omega + 120\Omega}} = \underline{41,6\bar{m}A}$$

Die Lösung für I_2 in die Gleichung für Masche II) eingesetzt ergibt:

$$\underline{U_0} = U_{R2} = I_2 \cdot R_2 = 41,6\bar{m}A \cdot 120\Omega = \underline{5V}$$

Nach dem Berechnen von U_0 und R_{ie} erfolgt das Ausrechnen der gesuchten Spannung U_a sowie des Stroms I_a :



Die Gleichungen für I_a und U_a werden aus dem Schaltbild der Ersatzspannungsquelle hergeleitet:

$$\underline{I_a} = \frac{U_{qe}}{R_{ie} + R_a} = \frac{5V}{15\Omega + 100\Omega} = \underline{43,47mA}$$

$$\underline{U_a} = I_a \cdot R_a = 43,47mA \cdot 100\Omega = \underline{4,34V}$$

University of Applied Sciences Cologne Campus Gummersbach Dipl.-Ing. (FH) Dipl.-Wirt. Ing. (FH) G. Danielak	<h1>Gleichspannung</h1> <h2>Ersatzspannungsquelle</h2>	<h1>Tutorium</h1> <h2>L-ESpQ-04</h2> <p>Stand: 19.03.2006; R0</p>
--	--	---

- Grafisches Verfahren

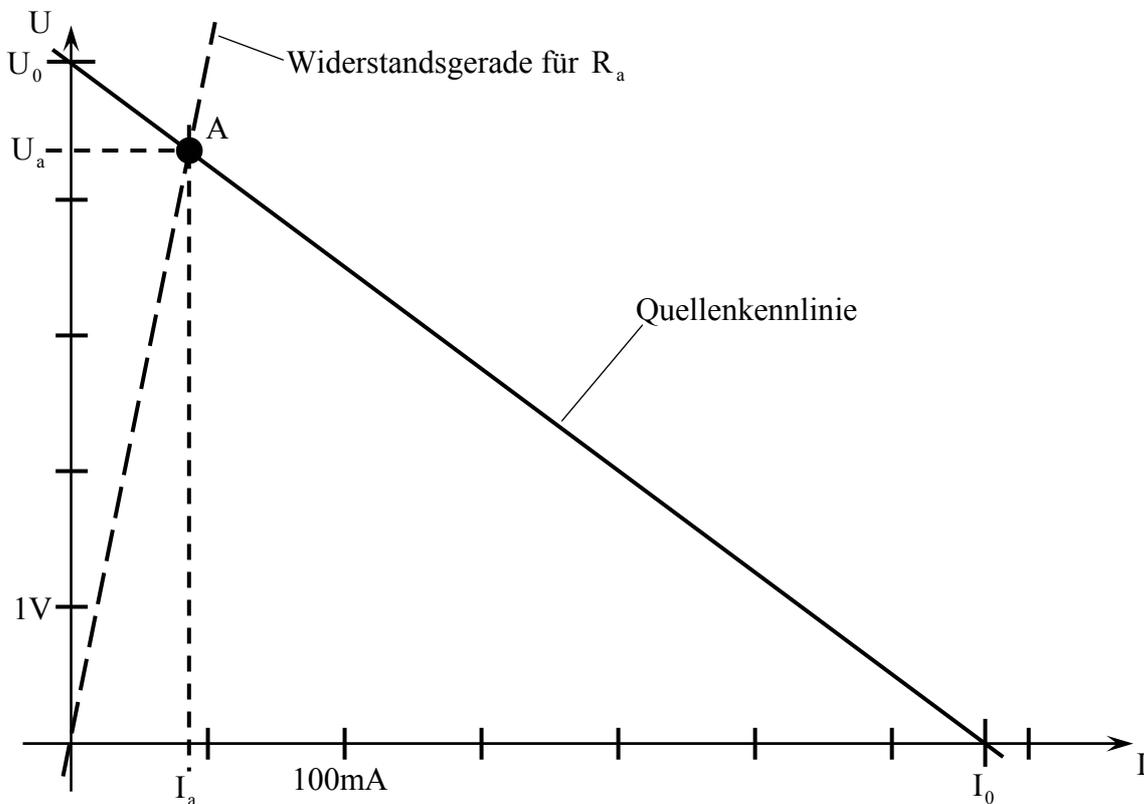
Für das grafische Verfahren benötigt man neben den Werten für U_0 und R_{ic} zusätzlich den Kurzschlussstrom I_0 . Dieser wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\underline{I_0} = \frac{U_0}{R_{ic}} = \frac{5V}{15\Omega} = \underline{\underline{333,3mA}}$$

Damit zeichnet man zuerst die Quellenkennlinie mit den beiden Punkten U_0 und I_0 ein. Danach wird die Widerstandsgerade für den Lastwiderstand R_a eingezeichnet. Dafür benötigt man wiederum zwei Punkte. Ein Punkt, der bei allen passiven Bauelementen gleich ist, ist der Ursprung. Den anderen kann man nach dem ohmschen Gesetz $U = I \cdot R$ berechnen. Man wählt einfach einen beliebigen Strom I und multipliziert ihn mit dem Widerstandswert für R_a :

$$\underline{U} = I \cdot R_a = 50mA \cdot 100\Omega = \underline{5V}$$

Damit ist die Widerstandsgerade definiert. Der Schnittpunkt der beiden Geraden ist der Arbeitspunkt mit I_a und U_a .

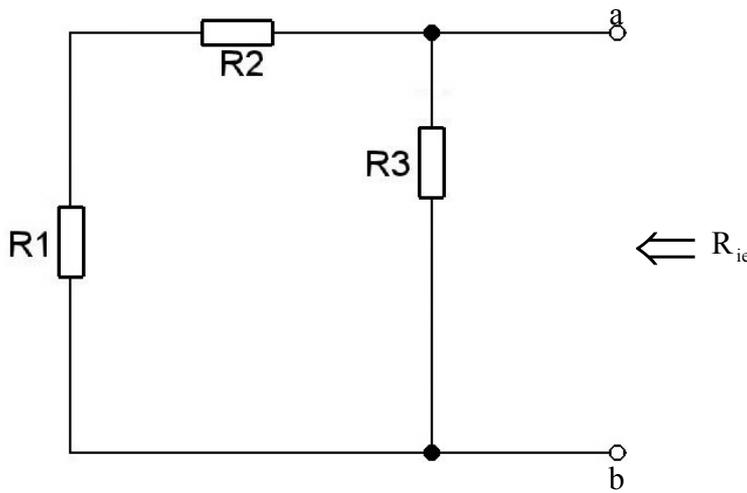


University of Applied Sciences Cologne Campus Gummersbach Dipl.-Ing. (FH) Dipl.-Wirt. Ing. (FH) G. Danielak	<h1>Gleichspannung</h1> <h2>Ersatzspannungsquelle</h2>	<h1>Tutorium</h1> <h2>L-ESpQ-05</h2> <p>Stand: 19.03.2006; R0</p>
--	--	---

Prüfung 2003/3
Aufgabe 5:

- Bestimmung von R_{ie}

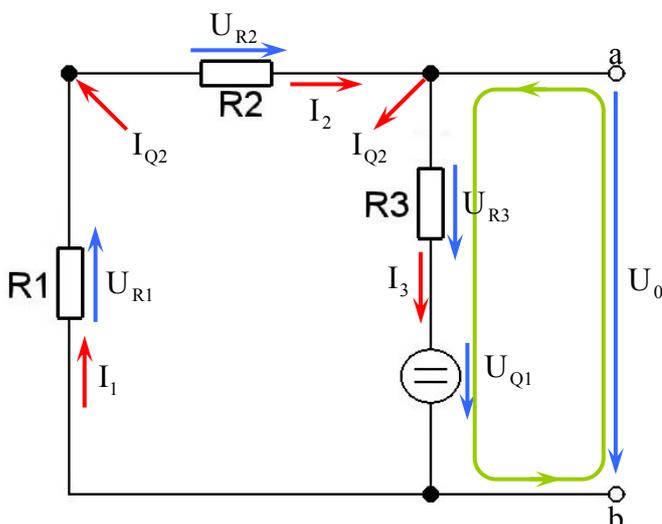
Lastwiderstand entfernen, Spannungsquelle kurzschließen, Stromquelle auftrennen und von der Lastseite her in die Schaltung hereinschauen.



$$\underline{R_{ie}} = (R_1 + R_2) \parallel R_3 = \frac{(R_1 + R_2) \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{(100\Omega + 200\Omega) \cdot 300\Omega}{100\Omega + 200\Omega + 300\Omega} = \underline{150\Omega}$$

- Bestimmung von U_0

Lastwiderstand entfernen, Masche um U_0 legen und U_0 definieren. Weil hier zwei Quellen zum Einsatz kommen – also Strom abgeben – ist die Richtung der Ströme frei wählbar.

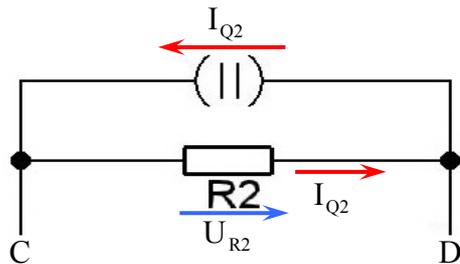


Die Bestimmung der Leerlaufspannung U_0 erfolgt erst dann, wenn diese Schaltung so umgeformt wurde, dass sich die Quellenströme nicht aufteilen, sondern nur ein einziger Strom fließt. In diesem Zustand ist das Bestimmen von I_3 (zur Berechnung von U_0) ohne anwenden der Superposition schwierig.

University of Applied Sciences Cologne Campus Gummersbach Dipl.-Ing. (FH) Dipl.-Wirt. Ing. (FH) G. Danielak	<h1>Gleichspannung</h1> <h2>Ersatzspannungsquelle</h2>	<h1>Tutorium</h1> <h2>L-ESpQ-06</h2> <p>Stand: 19.03.2006; R0</p>
--	--	---

Zum Lösen dieser Aufgabe ist es erforderlich, dass man die Stromquelle in eine Spannungsquelle umwandelt. Dadurch wird gewährleistet, dass sich kein Strom aus einer der beiden Quellen aufteilt. Der resultierende Strom fließt somit in einem Strang durch beide Quellen (vgl. Praktikum Elektrotechnik I 3) und kann auf sehr einfache Art und Weise bestimmt werden.

Umwandeln der Stromquelle in eine Spannungsquelle



Der Innenwiderstand einer Stromquelle liegt immer parallel zu ihr; in diesem Falle ist dies nur der Widerstand R_2 . Das bedeutet, die Last für die Stromquelle sind alle Bauelemente unterhalb der beiden Anschlussklemmen C und D. In dieser Klausuraufgabe ist das die Reihenschaltung bestehend aus R_3 , U_{Q1} und R_1 , denn sie liegen zwischen C und D.

Wandelt man die Stromquelle in eine Spannungsquelle um, so geht man wie gewohnt vor: Bestimmung von Ersatzinnenwiderstand und Leerlaufspannung. Weil sich die Last zwischen den Klemmen C und D befindet, werden beide Größen auf diese Klemmen bezogen. Dadurch heißt der Ersatzinnenwiderstand R_{ie}' und die Ersatzspannungsquelle U_{qe}' .

- Bestimmung von R_{ie}'

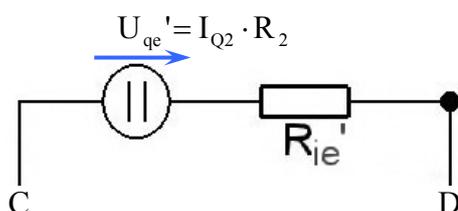
Der Ersatzinnenwiderstand zwischen C und D ist R_2 , denn die Stromquelle ist aufgetrennt.

$$R_{ie}' = R_2$$

- Bestimmung von U_{qe}'

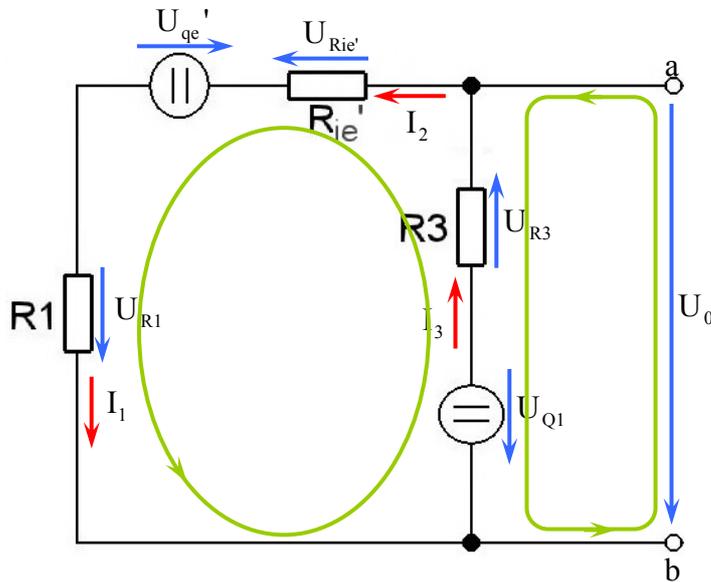
Die Leerlaufspannung zwischen C und D ist die Spannung am Widerstand R_2 . Diese wird berechnet aus $I_{Q2} \cdot R_2$ und fällt in der Richtung von C nach D ab, weil der I_{Q2} Strom in diese Richtung fließt.

Die Ersatzspannungsquelle zwischen C und D muss die gleichen Eigenschaften aufweisen, denn sie soll die Stromquelle ersetzen. Wird bei der Stromquelle die Last angeschlossen, so fließt ein Teilstrom aus der Quelle von C nach D über die Last. Das bedeutet, dass auch der Strom aus der Ersatzspannungsquelle von C nach D über die Last fließen muss. Dadurch ergeben sich folgende Richtungen für die Zählpfeile:



Die Leerlaufspannung fällt bei dieser Schaltung von C nach D ab, genauso wie bei der Stromquelle. Würde man eine Last zwischen die Klemmen C und D anschließen, so würde der Strom aus dem Pluspol der Ersatzspannungsquelle über die Klemme C zur Klemme D und wieder zurück zum Minuspol fließen – analog zur Stromquelle. Damit kann man diese Ersatzschaltung

anstelle der Stromquelle in die Originalschaltung einsetzen.



Hat man die Stromquelle durch eine Spannungsquelle ersetzt, so ergibt sich eine neue Schaltung, welche die gleichen Eigenschaften besitzt wie die Originalschaltung. Dadurch darf man jetzt wiederum die Richtung der Zählpfeile (also der Ströme, denn die Spannung an einem passiven Bauelement zeigt immer in die gleiche Richtung, in die der Strom fließt) frei wählen. Weil der Strom aus beiden Quellen in die gleiche Richtung fließt, ergibt sich ein resultierender Strom, der entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn fließt. Daraus folgt auch, dass alle drei hier aufgezeigten Ströme gleich sind, also:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I$$

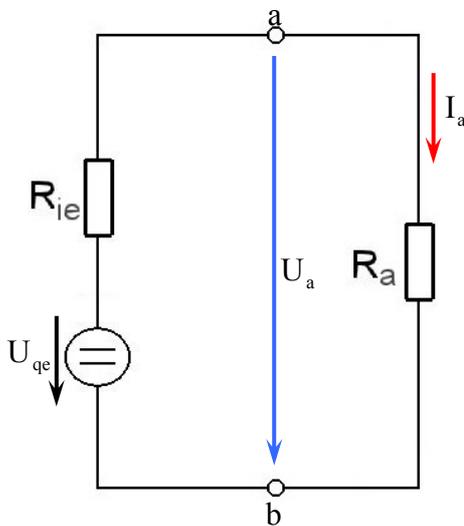
Mit diesem Ergebnis legt man eine Masche in die Schaltung hinein, so dass alle Spannungen, welche von Strom I durchflossen werden, berücksichtigt werden:

$$\begin{aligned} -U_{Q1} + U_{R3} + U_{R_{ie'}} - U_{qe'} + U_{R1} &= 0 \Leftrightarrow U_{Q1} + U_{qe'} = U_{R1} + U_{R_{ie'}} + U_{R3} \\ &\Leftrightarrow U_{Q1} + U_{qe'} = I \cdot R_1 + I \cdot R_3 + I \cdot R_{ie'} \\ &\Leftrightarrow U_{Q1} + U_{qe'} = I \cdot (R_1 + R_3 + R_{ie'}) \\ &\Leftrightarrow I = \frac{U_{Q1} + U_{qe'}}{R_1 + R_3 + R_{ie'}} = \frac{U_{Q1} + I_{Q2} \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \\ &\Leftrightarrow I = \frac{10V + 150mA \cdot 200\Omega}{100\Omega + 200\Omega + 300\Omega} = \underline{\underline{66,6mA}} \end{aligned}$$

Mit dieser Lösung kann man jetzt die Leerlaufspannung U_0 bestimmen, denn sie berechnet sich aus:

$$\underline{\underline{U_0}} = U_{Q1} - U_{R3} = U_{Q1} - I \cdot R_3 = U_{Q1} - \underbrace{\frac{U_{Q1} + U_{qe'}}{R_1 + R_2 + R_3}}_I \cdot R_3 = 10V - 66,6mA \cdot 300\Omega = 10V - 20V = \underline{\underline{-10V}}$$

Die nachfolgende Rechnung für I_a und U_a wird mit den hier berechneten Werten genauso wie immer durchgeführt:



$$\underline{\underline{I_a}} = \frac{U_{qe}}{R_{ie} + R_a} = \frac{-10V}{150\Omega + 150\Omega} = \underline{\underline{-33,3mA}}$$

$$\underline{\underline{U_a}} = I_a \cdot R_a = -33,3mA \cdot 150\Omega = \underline{\underline{-5V}}$$

Auch wenn die Werte für I_a und U_a negativ sind, so bleiben die Zählpfeile eingezeichnet wie sie sind. Würde man sie um 180° drehen, so entfällt das negative Vorzeichen bei I_a und U_a .

- Grafisches Verfahren

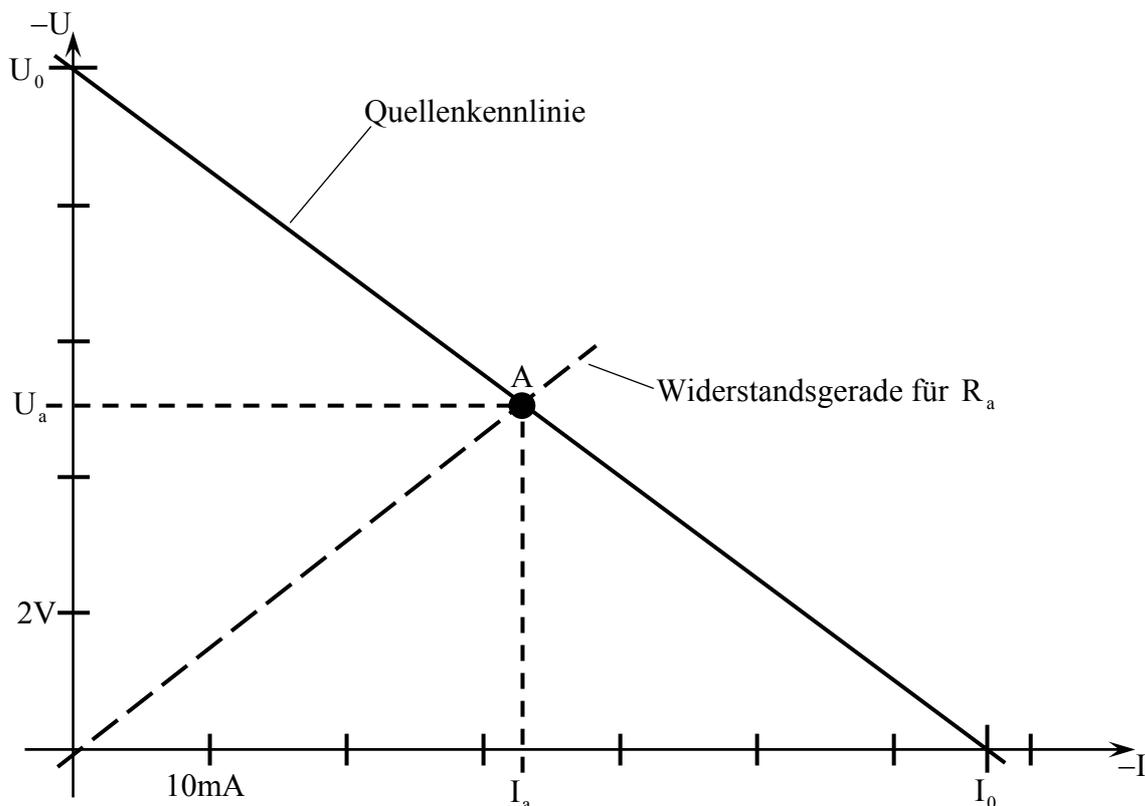
Benötigt wird der Kurzschlussstrom zwischen den Klemmen a und b:

$$\underline{I_0} = \frac{U_0}{R_{ie}} = \frac{-10\text{V}}{150\Omega} = \underline{\underline{-66,6\text{mA}}}$$

Damit zeichnet man zuerst die Quellenkennlinie mit den beiden Punkten U_0 und I_0 ein. Danach wird die Widerstandsgerade für den Lastwiderstand R_a eingezeichnet. Dafür benötigt man wiederum zwei Punkte. Ein Punkt, der bei allen passiven Bauelementen gleich ist, ist der Ursprung. Den anderen kann man nach dem ohmschen Gesetz $U = I \cdot R$ berechnen. Man wählt einfach einen beliebigen Strom I und multipliziert ihn mit dem Widerstandswert für R_a :

$$\underline{U} = I \cdot R_a = -20\text{mA} \cdot 150\Omega = \underline{\underline{-3\text{V}}}$$

Damit ist die Widerstandsgerade definiert. Der Schnittpunkt der beiden Geraden ist der Arbeitspunkt mit I_a und U_a .

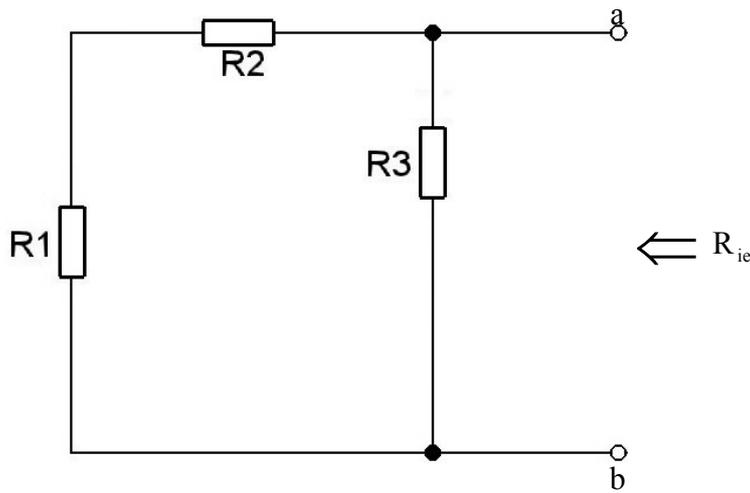


University of Applied Sciences Cologne Campus Gummersbach Dipl.-Ing. (FH) Dipl.-Wirt. Ing. (FH) G. Danielak	<h1>Gleichspannung</h1> <h2>Ersatzspannungsquelle</h2>	<h1>Tutorium</h1> <h2>L-ESpQ-010</h2> <p>Stand: 19.03.2006; R0</p>
--	--	--

Prüfung 2005/3
Aufgabe 2:

- Bestimmung von R_{ie}

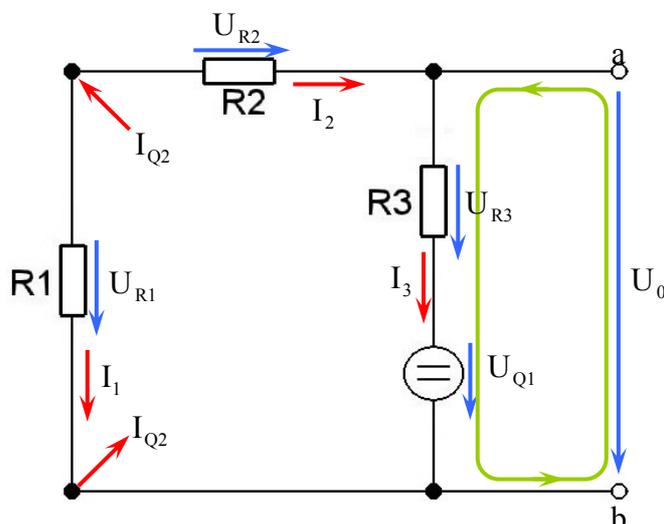
Lastwiderstand entfernen, Spannungsquelle kurzschließen, Stromquelle auftrennen und von der Lastseite her in die Schaltung hereinschauen.



$$\underline{\underline{R_{ie}}} = (R_1 + R_2) \parallel R_3 = \frac{(R_1 + R_2) \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{(100\Omega + 200\Omega) \cdot 200\Omega}{100\Omega + 200\Omega + 200\Omega} = \underline{\underline{120\Omega}}$$

- Bestimmung von U_0

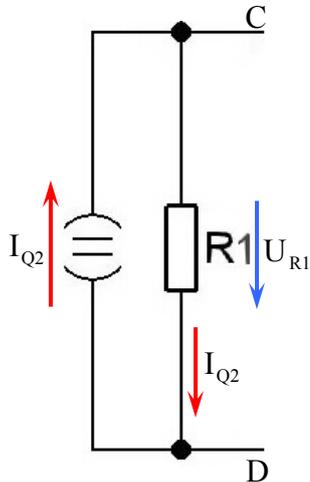
Lastwiderstand entfernen, Masche um U_0 legen und U_0 definieren. Weil hier zwei Quellen zum Einsatz kommen – also Strom abgeben – ist die Richtung der Ströme frei wählbar.



Die Bestimmung der Leerlaufspannung U_0 erfolgt erst dann, wenn diese Schaltung so umgeformt wurde, dass sich die Quellenströme nicht aufteilen, sondern nur ein einziger Strom fließt. In diesem Zustand ist das Bestimmen von I_3 (zur Berechnung von U_0) ohne anwenden der Superposition schwierig.

University of Applied Sciences Cologne Campus Gummersbach Dipl.-Ing. (FH) Dipl.-Wirt. Ing. (FH) G. Danielak	<h1>Gleichspannung</h1> <h2>Ersatzspannungsquelle</h2>	<h1>Tutorium</h1> <h2>L-ESpQ-011</h2> Stand: 19.03.2006; R0
---	--	---

Umwandeln der Stromquelle in eine Spannungsquelle



Bestimmt wird der Ersatzinnenwiderstand R_{ie}' sowie die Leerlaufspannung U_0' zwischen den Klemmen C und D, denn zwischen diesen beiden Klemmen liegt die Stromquelle I_{Q2} mit ihrem Innenwiderstand R_1 . Die Last für diese Stromquelle ist die Reihenschaltung, bestehend aus den Widerständen R_1 , R_2 sowie der Spannungsquelle U_{Q1} . Das bedeutet, der Strom muss aus Knotenpunkt C in die Last hineinfließen und aus D in die Quelle zurückfließen.

Diese Richtung ist bei der Erstellung der Ersatzspannungsquelle für die Stromquelle I_{Q2} zu berücksichtigen.

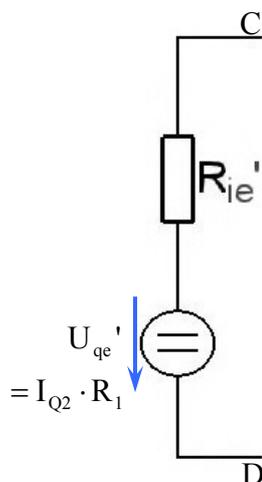
- Bestimmung von R_{ie}'

Der Erstzinnenwiderstand zwischen C und D ist R_1 , denn die Stromquelle ist aufgetrennt.

$$R_{ie}' = R_1$$

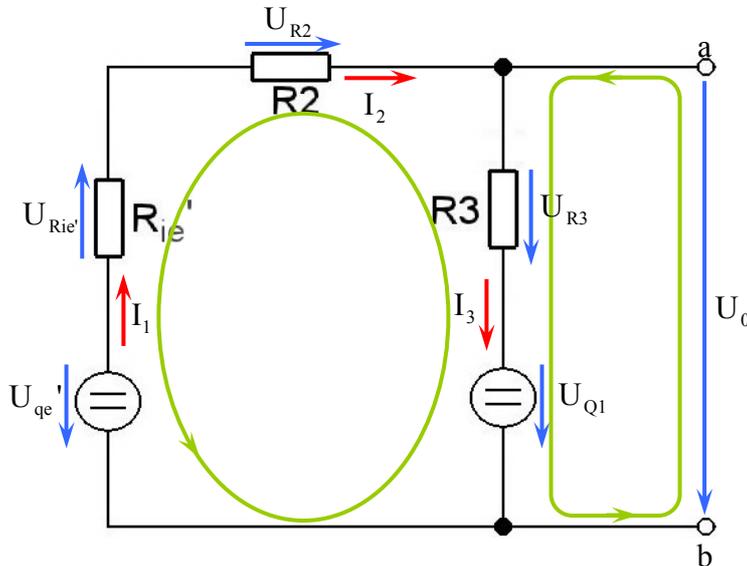
- Bestimmung von U_{qe}'

Die Leerlaufspannung zwischen C und D ist die Spannung am Widerstand R_1 . Diese wird berechnet aus $I_{Q2} \cdot R_1$ und fällt in der Richtung von C nach D ab, weil der Strom I_{Q2} in diese Richtung fließt.



Diese Schaltung wird anstelle der Stromquelle zwischen die Klemmen C und D eingebaut. Dadurch ist gewährleistet, dass nur ein Strang existiert, in dem nur ein Strom fließt.

Die Berechnung dieses Stroms ist jetzt sehr einfach.



Für diese Schaltung gilt wiederum: $I_1 = I_2 = I_3 = I$.

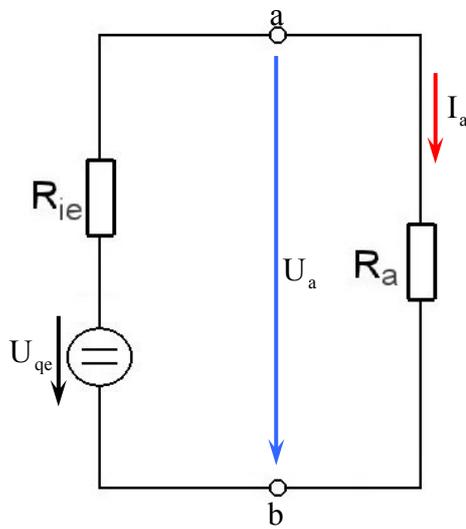
Mit der linken Masche kann der Strom I berechnet werden; dieses Ergebnis wird in der rechten Masche für die Berechnung von U_0 verwendet.

$$\begin{aligned}
 -U_{Q1} - U_{R3} - U_{R2} - U_{Rie'} + U_{qe'} &= 0 \Leftrightarrow U_{qe'} - U_{Q1} = U_{R2} + U_{R3} + U_{Rie'} \\
 \Leftrightarrow U_{qe'} - U_{Q1} &= I \cdot R_2 + I \cdot R_3 + I \cdot R_{ie'} \\
 \Leftrightarrow U_{qe'} - U_{Q1} &= I \cdot (R_2 + R_3 + R_{ie'}) \\
 \Leftrightarrow I &= \frac{U_{qe'} - U_{Q1}}{R_2 + R_3 + R_{ie'}} = \frac{(-I_{Q2} \cdot R_1) - U_{Q1}}{R_1 + R_2 + R_3} \\
 \Leftrightarrow I &= \frac{-100\text{mA} \cdot 100\Omega - 15\text{V}}{100\Omega + 200\Omega + 200\Omega} = \underline{\underline{-50\text{mA}}}
 \end{aligned}$$

Das negative Vorzeichen bedeutet lediglich, dass der Strom nicht in die angenommene Richtung, also von oben nach unten, sondern entgegengesetzt fließt. Mit diesem Ergebnis sowie den Zählpfeilrichtungen wird weiter gerechnet. Die Leerlaufspannung U_0 wird wie gehabt berechnet:

$$\underline{\underline{U_0}} = +U_{R3} + U_{Q1} = I \cdot R_3 + U_{Q1} = \underbrace{\frac{(-I_{Q2} \cdot R_1) - U_{Q1}}{R_1 + R_2 + R_3}}_I \cdot R_3 + U_{Q1} = -50\text{mA} \cdot 200\Omega + 15\text{V} = -10\text{V} + 15\text{V} = \underline{\underline{5\text{V}}}$$

Die nachfolgende Rechnung für I_a und U_a wird mit den hier berechneten Werten genauso wie immer durchgeführt:



$$\underline{I_a} = \frac{U_{qe}}{R_{ie} + R_a} = \frac{5V}{120\Omega + 50\Omega} = \underline{\underline{29,41mA}}$$

$$\underline{U_a} = I_a \cdot R_a = 29,41mA \cdot 50\Omega = \underline{\underline{1,47V}}$$

University of Applied Sciences Cologne Campus Gummersbach Dipl.-Ing. (FH) Dipl.-Wirt. Ing. (FH) G. Danielak	<h1>Gleichspannung</h1> <h2>Ersatzspannungsquelle</h2>	<h1>Tutorium</h1> <h2>L-ESpQ-014</h2> Stand: 19.03.2006; R0
--	--	---

- Grafisches Verfahren

Benötigt wird der Kurzschlussstrom zwischen den Klemmen a und b:

$$\underline{I_0} = \frac{U_0}{R_{ie}} = \frac{5V}{120\Omega} = \underline{\underline{41,6mA}}$$

Damit zeichnet man zuerst die Quellenkennlinie mit den beiden Punkten U_0 und I_0 ein. Danach wird die Widerstandsgerade für den Lastwiderstand R_a eingezeichnet. Dafür benötigt man wiederum zwei Punkte. Ein Punkt, der bei allen passiven Bauelementen gleich ist, ist der Ursprung. Den anderen kann man nach dem ohmschen Gesetz $U = I \cdot R$ berechnen. Man wählt einfach einen beliebigen Strom I und multipliziert ihn mit dem Widerstandswert für R_a :

$$\underline{U} = I \cdot R_a = 40mA \cdot 50\Omega = \underline{\underline{2V}}$$

Damit ist die Widerstandsgerade definiert. Der Schnittpunkt der beiden Geraden ist der Arbeitspunkt mit I_a und U_a .

