

Laborübungen I

Elektronik

2. Sem.

Anleitung für Tag1



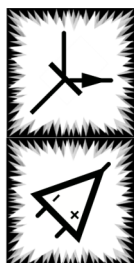
E1 Gleichstromtechnik



E2 Wechselstromtechnik



E3 Dioden



E4 Transistoren/
Operationsverstärker

Die Laborübungen basieren auf dem Skriptum
„Grundlagen der Elektronik“, 7. neu bearbeitete Version, Jan. 2015
von M. Schmid, E. Benes und M. Gröschl.

Weiterführende Literatur:
U. Tietze, Ch. Schenk: „Halbleiter-Schaltungstechnik“, Springer-Verlag.

Nach den Unterlagen von E. Benes, M. Gröschl, R. Grössinger, 1990
Überarbeitet und erweitert von P. Stamfest, P. Hundegger, G. Hilscher, 1994
Neu bearbeitet von M. Gröschl, W. Hofer, M. Schmid, 2003
komplett überarbeitet von W. Hofer und G. Pechoc März 2015

5. Auflage Februar 2016
ergänzt von W. Hofer und G. Pechoc
Institut für Angewandte Physik, TU Wien
<http://www.iap.tuwien.ac.at>

Informationsblatt für Studierende	4
Tag E1: Einführung	5
E0.1 Erforderliche Grundkenntnisse	5
Das Steckbrett (Experimentierplatine, Breadboard)	6
Verfügbare Bauelemente	7
Messgeräte, Signalgenerator und Netzteile	8
Das Massepotential und die Erdung	9
 E0.2 Voltmeter und Amperemeter	12
Genauigkeit der Messgeräte – ein wenig Fehlerrechnung	12
Der Innenwiderstand eines Voltmeters	13
Der Spannungsabfall am Amperemeter	13
 Tag E1: Gleichstromtechnik	15
E 1.1 Spannungs- und Strommessung	15
E 1.2 Spannungsteiler	16
E 1.3 Stromteiler	17
E 1.4 Ersatzschaltbilder eines Netzwerkes	18

Informationsblatt für Studierende

Laborübungen I • 2. Semester

Sie werden gebeten, ...

... vor Beginn des Übungsnachmittages:

-) sich mit den theoretischen Grundlagen der jeweiligen Aufgabenstellung vertraut zu machen (bei fehlender Vorbereitung werden für den betreffenden Tag keine Punkte vergeben);

Beachten Sie die CoViD-Regeln:

[https://colab.tuwien.ac.at/pages/viewpage.action?pageId=15205644#LeitfadenPra%CC%88senzpru%CC%88fungenanderTUWien-Schutzma%C3%9Fnahmen,f%C3%](https://colab.tuwien.ac.at/pages/viewpage.action?pageId=15205644#LeitfadenPra%CC%88senzpru%CC%88fungenanderTUWien-Schutzma%C3%9Fnahmen,f%C3%BCrderenUmsetzungdieStudierendenselbstverantwortlichsind)

[BCrderenUmsetzungdieStudierendenselbstverantwortlichsind](#)

-> [Sicherheitsunterweisung für Studierende](#)

... zu Beginn des Übungsnachmittages:

-) sich beim Koordinator (im Praktikumsbereich, 3.OG/C) zu melden (Schlüsselausgabe). Bitte pünktlich erscheinen, da Sie bei mehr als 15 min. Verspätung nicht mehr an dem betreffenden Übungsnachmittag teilnehmen können.
-) das Inventar anhand der am Platz aufliegenden Inventarliste gemeinsam mit dem Betreuer zu überprüfen;

... im Laufe des Übungsnachmittages:

-) mit dem Betreuer etwaige Unklarheiten zur Versuchsdurchführung zu besprechen;
-) Der Betreuer wird sich in einem Prüfungsgespräch von Ihrer Kenntnis der theoretischen Grundlagen der jeweiligen Aufgabenstellung überzeugen.
-) die in der Anleitung zur jeweiligen Aufgabenstellung gegebenen Versuche durchzuführen und die Versuchsergebnisse in den Arbeitsunterlagen zu dokumentieren;
-) Der Betreuer wird sich von Ihnen die Versuchsdurchführung erklären lassen und die Versuchsergebnisse mit Ihnen diskutieren.

... am Ende des Übungsnachmittages:

-) mit dem Betreuer gemeinsam das Inventar zu kontrollieren, und beim Betreuer den Schlüssel zum Versperren und Ablegen abzugeben.

Weitere Hinweise:

-) Wenn Sie an einem Übungstag wegen triftigen Gründen (Krankheit oder Wehrdienstübungen) nicht kommen können (Bestätigung notwendig!), melden Sie dies bitte **vorher persönlich** beim Koordinator (am Beginn eines beliebigen Übungsnachmittages vor dem verhinderten Termin). Bei unentschuldigtem Fernbleiben gibt es keinen Ersatztermin und das bedeutet negativer Abschluss der Lehrveranstaltung!
-) Für eine positive Bewertung ist die Teilnahme an **allen 4 Übungen E1 - E4 notwendig** (Anwesenheitspflicht bei den Laborübungen!), außerdem müssen mindestens 20 der maximal 40 Punkte (E1 - E5 à 10 Punkte) erreicht werden.
-) Die Übungszeiten sollten nicht überschritten werden.
-) Bitte beachten Sie das im Praktikum inkl. Gängen geltende **allgemeine Rauchverbot!**
-) Bitte beachten Sie das in den Laborräumen geltende **Essverbot!** (Die Arbeitsflächen und Geräte dürfen auch nicht zum Abstellen von Getränken verwendet werden.)
-) Halten Sie bitte die Plätze sauber. (Keine Flaschen oder andere Abfälle zurücklassen!)
-) Nehmen Sie bitte an der Lehrveranstaltungsbewertung teil

Tag E1a: Einführung

Der Einführungsnachmittag dient zum Kennenlernen der Geräte und des praktischen Übungsbetriebes und wird nicht beurteilt. Es gilt aber auch hier die **Anwesenheitspflicht!**

E0.1 Erforderliche Grundkenntnisse

Hinweise zur praktischen Durchführung der Experimente – bitte sorgfältig durchlesen.

Man beachte bitte das Informationsblatt für Studierende (vorhergehende Seite) mit den allgemeinen Hinweisen zur Vorbereitung und Durchführung der Laborübungen.

Aktuelle Informationen und Hinweise des jeweils abhaltenden Institutes (E134 bzw. E138) finden sich im TISS bei der LVA.

Die notwendigen Vorkenntnisse (die theoretischen Grundlagen) zu den Laborübungen I (Elektronik) werden in der Pflichtvorlesung „Grundlagen der Elektronik“ vermittelt. Das Skriptum dieser Vorlesung wird deshalb in den Laborübungen zusätzlich zu der Laboranleitung ständig benötigt – bitte immer mitnehmen.

Bei den Übungstagen wird jeweils am Anfang mit „Voraussetzung: GE-Skriptum Teil X ...“ auf die notwendigen Vorkenntnisse hingewiesen. Bitte vorher gründlich durchlesen und erforderliche Berechnungen bereits vorher durchführen.

Die vorliegende Laboranleitung dient als Arbeitsunterlage, in welche die Messergebnisse, Berechnungen etc. direkt eingetragen werden. Die zusätzliche Anfertigung eines Protokolls ist deshalb nicht erforderlich. Die Arbeitsunterlagen verbleiben bei den Übenden, die Eintragungen werden vom Betreuer am jeweiligen Übungstag kontrolliert und diskutiert.

Auch wenn die Laborübungen normalerweise in Zweier-Gruppen durchgeführt werden, sollte jeder auf eine vollständige Dokumentation in der persönlichen Laboranleitung achten.

Es gilt wie bei allen Übungstagen die **Anwesenheitspflicht!**



Bitte immer **vor jedem Übungstermin** die jeweiligen Angaben sorgfältig durchlesen, auch die entsprechenden theoretischen Grundlagen, und die gegebenen Berechnungen bereits vorher durchführen.

In den folgenden Abschnitten werden praktische Hinweise und kurze Erläuterungen zu den folgenden Themen gegeben:

Das Steckbrett – Hinweise zum Schaltungsaufbau und zum Anschluss der externen Geräte.

Verfügbare Bauelemente – Vorhandene Bauteilwerte und Anschlusschema.

Messgeräte, Signalgenerator und Netzteile – Hinweise

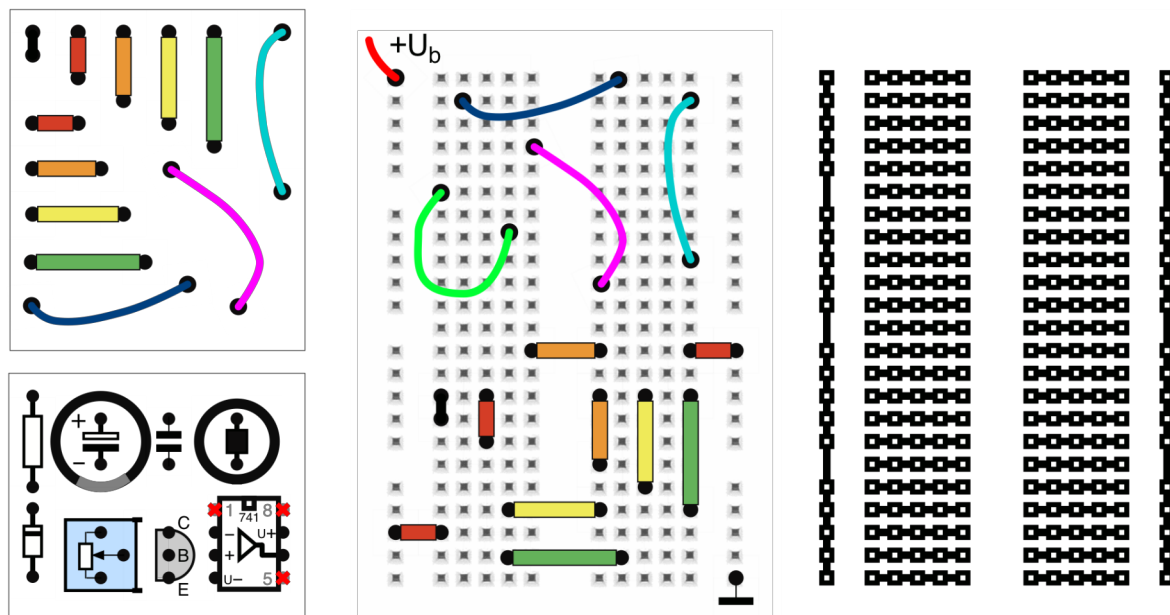
Das Massepotential und die Erdung – Hinweis zum Zusammenschalten der Geräte.

Das Steckbrett (Experimentierplatine, Breadboard)

Das Steckbrett (auf englisch Breadboard genannt) ist die Experimentierplatine zum Aufbau der jeweiligen Schaltung. Im Gegensatz zu Leiterplatten werden beim Steckbrett die Bauteile nicht gelötet, sondern nur gesteckt. Das ist insbesondere für Versuchsaufbauten vorteilhaft, da die Schaltung durch einfaches Umstecken geändert werden kann.

Bei unsachgemäßer Behandlung der Steckbretter gibt es allerdings auch oft Probleme wie z.B. unzuverlässige Kontakte infolge ausgeleierter oder verschmutzter Kontaktzungen. Deshalb ist es besonders wichtig, die weiter unten gegebenen Anweisungen zur Benutzung des Steckbrettes zu befolgen!

Ein Steckbrett besteht aus einer Kunststoffplatte, in der sich viele in Reihen angeordnete Kontaktfederleisten befinden. Der Abstand zwischen den Kontaktfedern beträgt 0.1 inch (2.54 mm). Der interne Aufbau des Steckbrettes wird in der folgenden Abbildung auf der rechten Seite als Leiterplatte mit entsprechenden Kupferbahnen aufgezeigt:



Die beiden vertikal durchgehend verbundenen Kontaktreihen am jeweiligen Rand werden typischerweise für die Versorgungsspannung ($+U_b$ und Masse) verwendet.

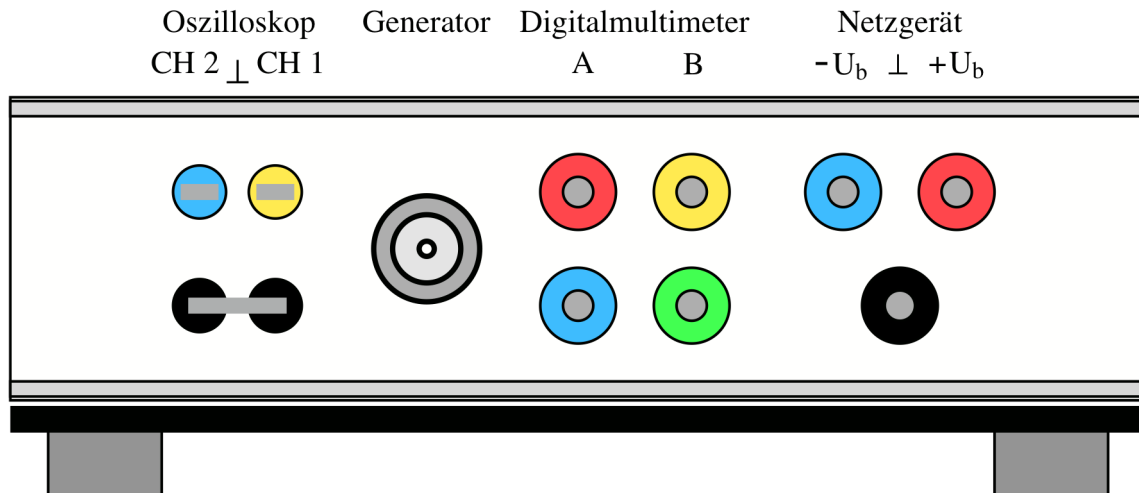
Auf der linken Seite der Abbildung sind die vorhandenen Kurzschlussstecker im Rastermaß dargestellt, zusammen mit einigen flexiblen Kabeln und darunter das Anschlussschema der verfügbaren Bauelemente. In der Mitte ist das Steckbrett mit korrekt gesetzten Verbindungsleitungen gezeigt.

Richtlinien zur Benutzung des Steckbrettes:

- Nur die dafür vorgesehenen Kurzschlussstecker, flexible Kabel und Bauteile verwenden
- Die Kurzschlussstecker nicht verbiegen, nur vertikal oder horizontal stecken.
- Schräg verlaufende und längere Verbindungen mit flexiblen Kabeln stecken.
- Anfangs können die Steckbuchsen etwas strenger gehen, „leichtes Rütteln“ hilft.
- Alle externen Anschlüsse erfolgen über das „Kopfteil“ (siehe nächste Seite).
- Kein direktes Stecken oder Anklemmen von Tastspitzen (Kopfteil verwenden!).
- Steckbrett sauber halten! Keine Essensreste, keine Getränke darüberschütten!

Kopfteil des Steckbrettes zum Anschluss externer Geräte:

Bei der Übungsdurchführung sind verschiedene Geräte, wie Netzgeräte, Signalgeneratoren, Multimeter und Oszilloskope an das Steckbrett anzuschliessen. Um ein „Ausleiern“ der Kontakte des Steckbrettes zu vermeiden, werden prinzipiell alle externen Anschlüsse über entsprechende Buchsen und Ösen am „Kopfteil“ angeschlossen und von dort mit bereits vorinstallierten, flexiblen und steckbrettkompatiblen Kabeln weitergeführt.



Das Netzgerät und die zwei Multimeter werden mit Messleitungen mit „Bananen-Steckern“ entsprechender Farbe angeschlossen, der Signalgenerator mittels Koaxialkabel (mit BNC-Stecker) und die beiden Tastköpfe des Oszilloskops werden an die Ösen gehängt.

Verfügbare Bauelemente

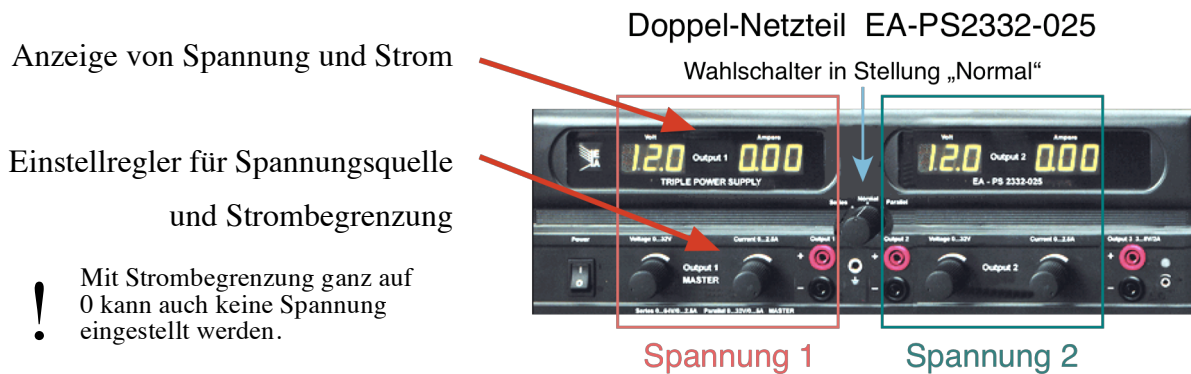
Zum Aufbau der Schaltungen stehen folgende Bauteile zur Verfügung:

Widerstand $\pm 5\%$ 100 Ω , 330 Ω , 1 k Ω , 1.2 k Ω , 2.2 k Ω , 4.7 k Ω , 10 k Ω , 12 k Ω , 47 k Ω , 100 k Ω Einstellregler 1 k Ω (Potentiometer) Kondensator 47 nF, 100 nF, 470 nF Elko 47 μ F / 100 V (Polarität beachten) Bauteile von oben gesehen, Anschlusspins angegeben		Spule L (siehe E2.3) Diode 1N4148 (bzw Z-Diode) Transistor BC 547 Operations- verstärker 741
---	--	---

Hinweis: Bitte die dem Bauteilschrank entnommenen Bauteile dann in der Bauteilbox am Laborplatz belassen.

Messgeräte, Signalgenerator und Netzteile

Für die Übungsdurchführung werden verschiedene Geräte, wie Netzgeräte (Spannungsversorgungen), Signalgeneratoren, Digital-Multimeter (DMM) und Oszilloskope verwendet.



Man stelle zuerst die gewünschte Spannung ein, schliesse danach mit einem Messkabel die Ausgangsbuchsen kurz (diese Netzteile im Praktikum sind kurzschlussfest) und stelle die Strombegrenzung ein. Erst danach wird das Netzteil an das Kopfteil des Steckbrettes angeschlossen, und mit der aufgebauten Schaltung verbunden. Wenn man einen genauen Spannungswert benötigt, dann kann man die Spannung mit dem DMM messen (genauer als Anzeige des Netzgerätes) und nachjustieren.



Fluke 115 DMM (Digital-Multimeter)

Messbereiche Spannung: 600.0 mV, 6.000 V, 60.00 V, 600.0 V

Genauigkeit in den Gleichspannungsbereichen: $\pm 0.5\%$ des Messwertes ± 2 Schritte der letzten Stelle („Digits“)

Genauigkeit in den Wechselspannungsbereichen: $\pm 2\%$ des Messwertes ± 3 Digits (45 Hz bis 500 Hz $\pm 1\%$; 500 Hz bis 1 kHz $\pm 2\%$; geht auch noch bis ca 3 kHz $\pm 3-5\%$)

Messbereich Strom:

6.000 A; Gleichstrom $\pm 1\% \pm 3$, Wechselstrom 45-500Hz 1.5% ± 3 Digits

Messbereich Ohm: 600.0 Ω bis 6.000 M Ω : $\pm 0.9\% \pm 1-2$ Digits

Eingangsimpedanz: Gleichspannung: >10 M Ω (Wechselspannung > 5 M Ω < 100 pF)

Hinweis: Man beachte den richtigen Anschluss für Strom- und Spannungsmessung! Multimeter abschalten, wenn nicht benutzt. (**Batterie!**)

Das Massepotential und die Erdung

Um nicht falsche Ergebnisse zu erhalten, ist es wichtig, die Geräte richtig miteinander und mit der zu untersuchenden Schaltung zu verbinden.

Aus Sicherheitsgründen müssen alle berührbaren Metallteile an einem elektrischen Gerät (mit wenigen Ausnahmen) geerdet sein. Das hat z.B. Auswirkungen auf Geräte, die BNC-Buchsen (Anschlussbuchsen für geschirmte Koaxialkabel) besitzen. Alle Abschirmungen von BNC-Buchsen sind direkt mit dem Erdungsleiter des Geräte-Netzsteckers verbunden. Damit sind auch alle BNC-Abschirmungen an verschiedenen Messgeräten miteinander über die Erdung verbunden, sobald die Geräte ans Stromnetz angeschlossen sind. Sie liegen daher alle auf dem selben Potential.

Das kann bei Nichtbeachtung zu Kurzschlüssen über den Erdungsleiter führen. Dabei können sehr hohe Kurzschlussströme auftreten, die nicht nur die Messergebnisse verfälschen sondern in ungünstigen Fällen auch zu einer Zerstörung der Geräte führen können!

BNC-Buchsen findet man meist an Signalgeneratoren, Oszilloskopen, Frequenzzählern, etc.

Im Gegensatz dazu sind Bananenstecker-Buchsen im Allgemeinen *nicht* mit der Erdung verbunden. (In Ausnahmefällen geerdete Bananenbuchsen sind üblicherweise deutlich mit einem Erdungssymbol gekennzeichnet.) Die meisten Labornetzgeräte sind mit Bananenbuchsen ausgestattet, die nicht geerdet sind.

Der Begriff „Masse“ wird in der Elektronik als Bezeichnung für das Bezugspotential, gegen das in der Regel alle Spannungen gemessen werden, verwendet. Will man auch Differenzen zwischen zwei verschiedenen Potentialen, von denen keines das Massenpotential ist, messen, so muss man auf die eventuell durch die Messgeräte vorgegebene Erdung achten.

E0.2 Voltmeter und Amperemeter

Genauigkeit der Messgeräte – ein wenig Fehlerrechnung

Die Genauigkeit von Digital-Multimetern (DMM) hängt vom Messbereich ab. Hier als Beispiel die Fehlerberechnung für eine Gleichspannungsmessung (V-DC, V=), gemessen mit einem Fluke 115 DMM in verschiedenen Messbereichen: man beachte den stark ansteigenden Fehler bei ungünstig gewähltem Messbereich!

Messgerät: **Fluke 115** (maximale Anzeige 6000 Digits. Genauigkeit für Gleichspannung, Messbereiche 6.000 V, 60.00 V und 600.0 V: 0.5% vom Messwert und 2 Digits).

Gemessene Spannung U	Messbereich, Auflösung	Relative Genauigkeit	Anzahl fehlerhafter Digits	Absoluter Fehler ΔU	Relativer Fehler $\Delta U/U$
4.987 V	6.000 V, 1 mV	0.5%·U: 25 mV	2 Digits: 0.002 V	± 27 mV	0.54 %
4.98 V	60.00 V, 10 mV	0.5%·U: 25 mV	2 Digits: 0.02 V	± 45 mV	0.9 %
4.9 V	600.0 V, 100 mV	0.5%·U: 25 mV	2 Digits: 0.2 V	± 225 mV	4.6 %

? Welche Genauigkeit und welche Auflösung haben die vorhandenen beiden DMM bei den jeweiligen Messbereichen für Gleichspannung und Gleichstrom? Sind beide gleich gut für Strommessungen (z.B. 2 mA, z.B. 1 μ A) geeignet?

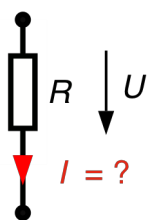
Hinweise zur Fehlerrechnung:

Bei Summen und Differenzen addieren sich die absoluten Fehler.

Bei Produkten und Quotienten addieren sich die relativen Fehler.

Ein relativer Fehler ist der Fehler Δx bezogen auf den Messwert x , also $\Delta x / x$.

Ein einfaches Beispiel zur Fehlerfortpflanzung:



Gemessen wurde: $U = 5 \text{ V} \pm 2\%$ und $R = 1 \text{ k}\Omega \pm 5\%$. Wie groß ist I?

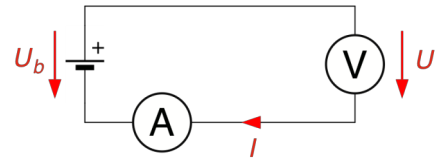
Den Strom I berechnet man mit dem Ohmsches Gesetz: $I = U / R$

(ein Quotient, deshalb addieren sich für I die relativen Fehler).

$$\text{Somit erhält man: } I = \frac{5 \text{ V} \pm 2\%}{1 \text{ k}\Omega \pm 5\%} = 5 \text{ mA} \pm 7\%$$

Der Innenwiderstand eines Voltmeters

Zuerst stelle man beim Regler am Netzgerät eine Spannung von $U_b \approx 10 \text{ V}$ ein. Danach wird der Kurzschlussstrom am Netzgerät auf 40 mA begrenzt.



Erst dann schliesse man das Netzteil und die Messgeräte an den Kopfteil des Steckbrettes an, und stelle bei Bedarf die mit dem DMM gemessene Spannung auf $U_b = 10 \text{ V}$ ein. (Die Messung mit dem DMM ist i.a. genauer als die Anzeige am Netzteil). Mit dieser Spannung speise man die Serienschaltung von Voltmeter (Fluke 115) und Amperemeter (anderes DMM).

- ? Welchen Spannungswert U zeigt das Voltmeter an, welcher Strom I fließt dabei durch beide Messgeräte? Welcher Innenwiderstand R_i des Voltmeters ergibt sich daraus? Mit welcher Genauigkeit erhält man die einzelnen Messwerte und den daraus berechneten Widerstand (Fehlerfortpflanzung)?

$U =$

$I =$

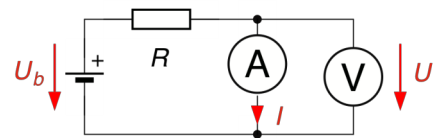
$R_i =$

- ? Warum ist das Fluke DMM hier als Amperemeter ungeeignet?
Man bestimme R_i auch mit Hilfe des anderen DMM (als Ohmmeter).

Mit Ohmmeter: $R_i =$

Der Spannungsabfall am Amperemeter

Man lege hier die Spannung $U_b = 10 \text{ V}$ an die Serienschaltung von Widerstand $R = 10 \text{ k}\Omega$ und dem Amperemeter (kein Fluke 115; warum nicht?). Den Spannungsabfall am Amperemeter messe man mit dem anderen Messgerät (Fluke 115), welches hiezu parallel zum Amperemeter angeschlossen wird.



- ? Welcher Strom I fließt durch das Amperemeter, welcher Spannungsabfall U tritt dabei auf, und welcher Innenwiderstand R_i für das Amperemeter ergibt sich daraus? Mit welcher Genauigkeit erhält man die einzelnen Messwerte und den daraus berechneten Widerstand (Fehlerfortpflanzung)? Wie ändert sich R_i mit Änderung des Messbereiches? Man bestimme R_i auch mit Hilfe des anderen DMM (als Ohmmeter).

$I =$

$U =$

$R_i =$

Mit Ohmmeter: $R_i =$

Messfehler bei der Strom- und Spannungsmessung

- ! Man lese das entsprechende Kapitel im GE-Skriptum durch. Dann noch offene Fragen zur strom- bzw. spannungsrichtigen Messung bitte mit dem Betreuer besprechen.

Tag E1: Gleichstromtechnik

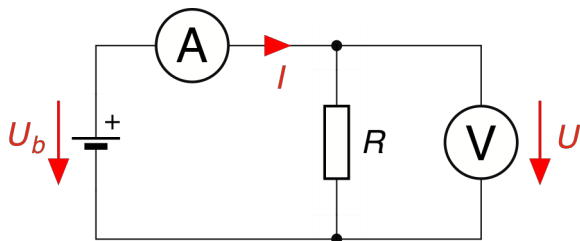
Voraussetzung: GE-Skriptum Teil A Gleichstromtechnik

Man gehe beim Aufbau der jeweiligen Schaltung und beim Anschluss der Geräte wie in E0 angegeben vor und stelle das Netzgerät auf die angegebenen Werte ein.

E 1.1 Spannungs- und Strommessung

Überprüfung des Ohmschen Gesetzes an einem Widerstand.

Ist eine strom- oder eine spannungsrichtige Messung dafür besser geeignet?



Netzgerät: $U_b = 5 \text{ V}$

Strombegrenzung $\approx 40 \text{ mA}$

Man messe die Spannung U und den Strom I beim vorgegebenen Lastwiderstand R und überlege, welches Messgerät für welche Messung benutzt werden sollte. Man gebe an, welche Messgeräte tatsächlich für die einzelnen Messungen benutzt wurden.

Gemessener Wert	Messgerät	Messbereich, Auflösung	Relative Genauigkeit	fehlerhafte Digits	Absoluter Fehler
$U_b =$	Fluke 115	6.000 V, 1 mV	0.5%:	2: 2 mV	
$R = 330 \Omega \pm 5\%$					
$U =$					
$I =$					

Man trage die gemessenen (und berechneten) Werte zusammen mit den jeweiligen relativen Fehlern in folgende Tabelle ein:

Bauteilwert	gemessene Werte		damit berechnete Werte	
$R [\Omega]$	$U [\text{V}]$	$I [\text{mA}]$	$I [\text{mA}]$	$R [\Omega]$
$330 \Omega \pm 5\%$				

?

Wie hängen R , U und I voneinander ab?

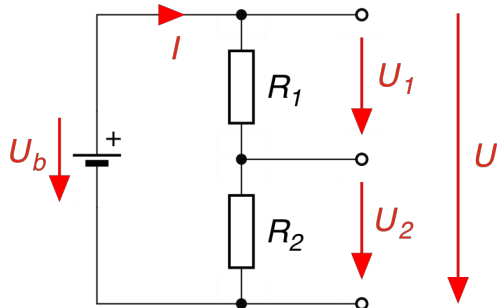
$I =$

$R =$

Misst man mit obiger Schaltung strom- oder spannungsrichtig? Warum?

E 1.2 Spannungsteiler

Untersuchung der Spannungsverhältnisse bei einem unbelasteten Spannungsteiler.



Netzgerät: $U_b = 5 \text{ V}$

Strombegrenzung $\approx 40 \text{ mA}$

$R_1 = 330 \text{ } \Omega$

$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$

Man messe die Spannungen U_1 , U_2 und U und trage die gemessenen (und berechneten) Werte in folgende Tabelle ein:

	$U \text{ [V]}$	$U_1 \text{ [V]}$	$U_2 \text{ [V]}$	$I \text{ [mA]}$
gemessen				_____
berechnet	_____			

? Wie lassen sich bei Kenntnis der Widerstände R_1 und R_2 sowie der Gesamtspannung U die Teilspannungen U_1 und U_2 auf einfache (leicht merkbare) Weise berechnen und wie berechnet man den Strom I ?

$$U_1 / U_2 =$$

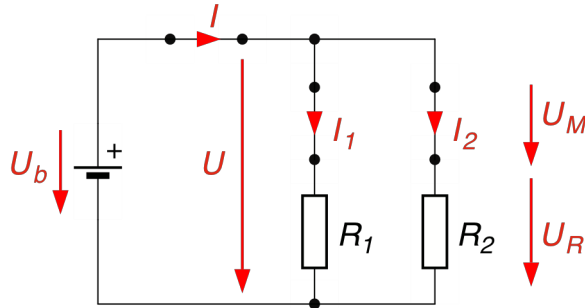
$$U_2 / U =$$

$$U_2 =$$

$$I =$$

E 1.3 Stromteiler

Strommessung an Parallelschaltung von Widerständen (Stromteiler).



Netzgerät: $U_b = 5 \text{ V}$

Strombegrenzung $\approx 40 \text{ mA}$

$R_1 = 330 \, \Omega$

$R_2 = 1 \text{ k}\Omega$

Man messe die Ströme I , I_1 und I_2 . Da nur ein für diese Strommessungen geeignetes Digital-Multimeter vorhanden ist (welches?), misst man die Ströme nacheinander indem man das Messgerät an den angegebenen Stellen in den Stromkreislauf einfügt.

Der Spannungsabfall U_M am Messgerät beeinflusst natürlich das Messergebnis (wegen $U_R < U$ wird ein geringerer Stromwert angezeigt). Deshalb, und um das Auftrennen der Leitung zum Einfügen des Amperemeters zu vermeiden, wird in der Praxis statt einer Strommessung der Spannungsabfall an einem bekannten Widerstand gemessen und daraus der Strom berechnet.

Man trage die oben gemessenen und die mittels Spannungsabfall U am bekannten Widerstand berechneten Werte in folgende Tabelle ein:

	$U \text{ [V]}$	$I_1 \text{ [mA]}$	$I_2 \text{ [mA]}$	$I \text{ [mA]}$
gemessen				
berechnet	—			

?

Wie berechnet man aus R_1 , R_2 und der Gesamtspannung U die Ströme I_1 , I_2 und I ?

$I_1 =$

$I_2 =$

$I =$

?

Wie lassen sich bei Kenntnis der Widerstände R_1 und R_2 sowie des Gesamtstromes I die Teilströme I_1 und I_2 auf einfache (leicht merkbare) Weise berechnen?

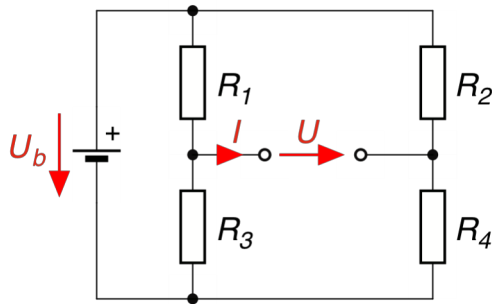
$I_1 / I_2 =$

$I_2 / I =$

$I_2 =$

E 1.4 Ersatzschaltbilder eines Netzwerkes

Bestimmung der Ersatzspannungs- bzw. Ersatzstromquelle von einem Netzwerk (Wheatstone-Brücke) durch Berechnung und Messung von Kurzschlussstrom I_0 und Leerlaufspannung U_0 .



Netzgerät: $U_b = 10 \text{ V}$
Strombegrenzung $\approx 40 \text{ mA}$

$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$

$R_2 = 4.7 \text{ k}\Omega$

$R_3 = 1 \text{ k}\Omega$

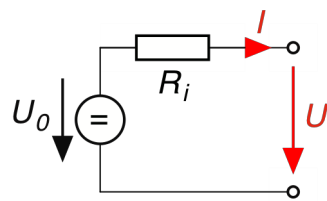
$R_4 = 4.7 \text{ k}\Omega$

(Als Anregung für den Schaltungsaufbau am Steckbrett beachte man das Beispiel von E 1.5)

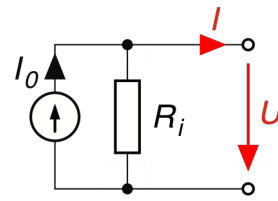
Man messe die Leerlaufspannung U_0 , den Kurzschlussstrom I_0 und den Innenwiderstand R_i . (Man überlege, wie bei der Messung des Innenwiderstandes vorzugehen ist). Man trage die gemessenen ebenso wie die berechneten Werte und den aus den gemessenen Werten bestimmten Quotienten für U_0/R_i in der Tabelle ein.

	$U_0 [\text{V}]$	$R_i [\text{k}\Omega]$	$I_0 [\text{mA}]$	$U_0/R_i [\text{mA}]$
gemessen				
berechnet				—

Man berechne die Leerlaufspannung U_0 , den Kurzschlussstrom I_0 und den Innenwiderstand R_i für die beiden äquivalenten Ersatzschaltungen.



Ersatzspannungsquelle



Ersatzstromquelle

Für die Berechnung der Leerlaufspannung U_0 beachte man die beiden Spannungsteiler. Für die Berechnung des Innenwiderstandes R_i ersetze man gedanklich die Spannungsquelle durch einen Kurzschluss. (Eine ideale Spannungsquelle hat ja keinen Innenwiderstand. Sind auch Stromquellen in der Schaltung, so müssen diese durch Unterbrechungen ersetzt werden.) Man überlege, wie die Widerstände geschickt zusammengefasst werden können. Dabei hilft es auch, wenn man die Schaltung umzeichnet. Für die Berechnung des Kurzschlussstromes I_0 überlege man, wie die Größen U_0 , R_i und I_0 zusammenhängen.

?

Wie berechnet man aus U_0 und R_i den Kurzschlussstrom I_0 ? $I_0 =$

Wie geht man bei der Messung des Innenwiderstandes R_i (mit dem Multimeter im Widerstandsmessbereich) vor?