

## Aufgabenblatt 5 (Labor 2)

letzte Änderung: 01.12.2017

### **Thema: Batterievermessung und Anwendung des ESQ(Ersatz-Spannungs-Quelle)**

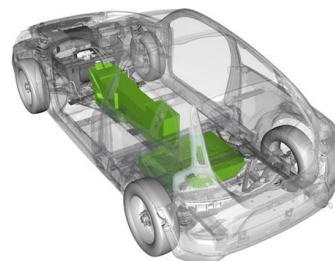
#### **Einleitung:**

Batterien und Akkumulatoren werden in vielen Anwendungen der mobilen elektrischen Schaltungsversorgung eingesetzt. Prinzipiell handelt es sich um chemische Energiespeicher, die in der Lage sind diese in elektrische Energie umzuwandeln. Der Grundaufbau besteht aus zwei Elektroden (Kathode und Anode), die über ein Elektrolyt „verbunden“ sind. Wird ein externer Stromkreis an die Elektroden angeschlossen, kommt es zu einem kontinuierlichen Stromfluss aufgrund der Ladungsträgergenerierung der chemischen Reaktion. In einigen Konfigurationen ist diese chemische Reaktion reversibel, also umkehrbar. Der Grundunterschied zwischen einer Batterie (Primärelement) und einem Akkumulator (Sekundärelement) besteht in der bidirektionalen Energieflussrichtung des Akkus und ermöglicht so die Wiederverwendbarkeit. Weiterhin ergeben sich unterschiedliche Eigenschaften aufgrund der verwendeten Materialien. Viele Batterien kleinerer Leistung sind als Alkali-Mangan ausgeführt, während Akkus u.a. aus Blei-Schwefelsäure oder Lithium ausgeführt sein können. Eine Batterie besteht aus mehreren galvanischen Elementen bzw. Zellen, die je nach Strom- und Spannungsanforderung verschaltet werden. So ergibt sich je nach Anwendungsgebiet ein weiter Leistungsbereich von einigen Watt –Versorgung von Unterhaltungselektronik- bis hin zu einigen kW –Elektromobilität- (siehe Abbildung 2), wobei bei höheren Leistungen meist Sekundärelemente zum Einsatz kommen.

Aufgrund von bestimmten Standardanwendungen der Schaltungsversorgung haben sich einige weitverbreitete Bauweisen (siehe **Abbildung 1**), wie z.B. „Mignon“ für kleine Leistungen durchgesetzt. Dazu gehört auch die 9 V-Alkali-Mangan-Blockbatterie (6LR61), die in diesem Versuch verwendet wird. Dabei soll die grundlegende Verhaltensweise einer Batterie als Spannungsquelle untersucht werden.



**Abbildung 1.:** Batteriebauformen<sup>1</sup>



**Abbildung 2.:** Akkumulator eines Elektroautos<sup>2</sup>

Die elementaren Parameter einer Batterie oder eines Akkus sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

<sup>1</sup> [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/21/Alkali\\_battery\\_5.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/21/Alkali_battery_5.jpg) (Stand 23.05.16)

<sup>2</sup> <http://www.grueneautos.com/wp-content/uploads/2009/09/elektroauto-volvo-c30-bev-batterien.jpg> (Stand 23.05.16)

**Tabelle 1:** Batterieparameter

Bezeichnung	Formelzeichen	Einheit	Beschreibung
Leerlaufspannung	$U_0$	V	Klemmenspannung der Batterie, wenn keine Last angeschlossen ist.
Kurzschlussstrom	$I_k$	A	Strom der bei Kurzschluss der Klemmen fließt. <b>VORSICHT:</b> Theoretische Größe, die bei direkter Bestimmung zur Zerstörung der Batterie führen kann.
Innenwiderstand	$R_i$	$\Omega$	Verdeutlicht Stromabhängigkeit der Klemmenspannung und repräsentiert thermische Verluste im elektrischen Modell.
Ladung	$Q$	As	In der Anwendung meist in der Einheit mAh. Diese Größe gibt die maximale Ladung der Batterie an. Zusammen mit der Klemmenspannung kann dadurch auch der Energieinhalt ermittelt werden.

### Labornetzteil zur Spannungsversorgung

In diesem Versuch wird im weiteren Verlauf ein Labornetzteil eingesetzt, welches eine einstellbare Spannung zur Verfügung stellt. Hierbei sind einige Punkte zu beachten. Da es sich um eine Spannungsquelle handelt, darf das Netzteil nie kurzgeschlossen werden, weil es nach dem ohmschen Gesetz sonst zu einem unzulässig hohen Stromfluss kommen kann. Aus diesem Grund und zum Schutz der angeschlossenen Betriebsmittel gibt es eine sogenannte Strombegrenzung, die den Ausgangsstrom des Netzteils auf einen eingestellten Wert begrenzt. Wird eine passive Last angeschlossen, die bei eingestellter Spannungen einen höheren Strom als festgelegt beansprucht, wird das Netzteil zu einer Stromquelle: sie liefert den durch die Strombegrenzung eingestellten Strom und die Spannung, die sich entsprechend dem Ohm'schen Gesetz über der passiven Last einstellt. In diesem Fall entspricht die Spannung nicht mehr der eingestellten Spannung.

Die Strombegrenzung sollte immer so niedrig wie nötig eingestellt sein, um Beschädigungen der angeschlossenen Baugruppen zu vermeiden. Vor dem Betrieb ist es also notwendig, den Strom im Nennbetrieb abzuschätzen.

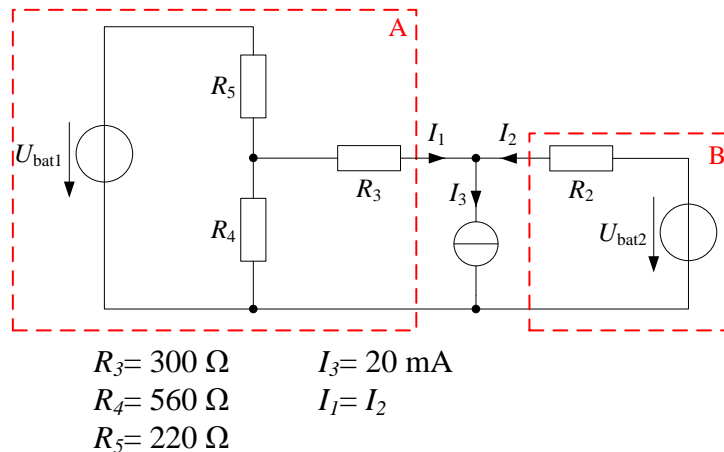


**Abbildung 3.:** Labornetzteil<sup>3</sup>

<sup>3</sup><http://www.loetlabor.org/images/thumb/c/c0/Labor-Netzteil.jpg/550px-Labor-Netzteil.jpg>

(Stand 23.05.16)

## 1. Aufgabe: Vorbereitung



**Abbildung 4.:** Spannungsversorgung

- a) Gegeben sei eine Tabelle mit zwei Lastkennlinien von unterschiedlichen Batterien (siehe Anhang 1). Die Lastkennlinie gibt an, welche Spannung an der Batterie bei verschiedenen Lastströmen anliegt.
- Veranschaulichen Sie die Tabellendaten in einem U-I-Graph mit einem Tabellenkalkulationsprogramm wie MS Excel oder LibreOffice.
  - Die beiden Kennlinien können durch eine Geradengleichung:
$$U(I) = m \cdot I + c$$
angenähert werden. Bestimmen Sie die Koeffizienten  $m$  und  $c$  der beiden Kennlinien<sup>4</sup>.
- b) Vergleichen Sie die Geradengleichung aus dem Punkt a) mit der Gleichung einer realen Spannungsquelle.
- Was bedeuten die Koeffizienten  $m$  und  $c$ ?
  - Lässt sich das elektrische Verhalten der gegebenen Batterien durch eine reale Spannungsquelle beschreiben? Wenn ja, zeichnen Sie das Ersatzschaltbild von einer realen Spannungsquelle?
- c) Die oben beschriebenen Batterien sollen nun parallel eine Last speisen (Abbildung 4), wobei sich die Ströme gleichmäßig auf beide Batterien aufteilen sollen ( $I_1 = I_2$ ). Hinweis: Die beiden Batterien  $U_{bat1}$  und  $U_{bat2}$  sollen durch das Ersatzschaltbild einer realen Spannungsquelle ersetzt werden.
- i. Berechnen Sie die Ersatzspannungsquelle der Schaltung im Rahmen A.

<sup>4</sup> Sie können die Funktion „lineare Trendlinie“ Ihres Tabellenkalkulationsprogramms, um die Koeffizienten der Geradengleichung zu bestimmen.

- ii. Fertigen Sie ein neues Ersatzschaltbild an, indem Sie die Schaltung im Rahmen A in Abbildung 4 durch die ermittelten Ersatzspannungsquelle aus Aufgabe i ersetzen.
- iii. Berechnen Sie mit Hilfe des Superpositionsprinzips (Helmholtz-Verfahren) den notwendigen Parameter  $R_2$ , damit die gegebene Strombedingung  $I_1 = I_2$  erfüllt ist. Vergessen Sie dabei den Innenwiderstand der Quelle  $U_{bat2}$  nicht.
- iv. Bestimmen Sie grafisch die Spannung über der Stromquelle  $I_3$ , indem Sie den Schnittpunkt der U-I-Kennlinien von Schaltung A und B ablesen.
- v. Die Stromquelle  $I_3$  soll im Versuch durch einen Lastwiderstand  $R_L$  ersetzt werden. Wie groß muss der Lastwiderstand  $R_L$  sein, damit die symmetrische Stromaufteilung  $I_1 = I_2$  für  $I_3 = 20\text{mA}$  erfüllt ist?

## 2. Aufgabe: Durchführung

Der Versuchsaufbau besteht aus einem Steckbrett, zwei Batterien, einer Gleichspannungsquelle  $U_0$ , mehreren Einzelwiderständen und zwei Multimetern. Benutzen Sie bei allen Versuchsdurchführungen NUR die Spannungsmessung des Multimeters. Der Strom kann indirekt über das ohmsche Gesetz ermittelt werden. Dafür muss aber der Widerstandswert bekannt sein. *Der angegebene Widerstandswert kann bis zu 5% von dem tatsächlichen Wert abweichen.* Um mögliche Messfehler bei der indirekten Strommessung auszuschließen, muss der tatsächliche Wert des verwendeten Widerstandes immer zuerst mit einem Multimeter gemessen werden. Die Änderung des Widerstandwertes durch Stromerwärmung kann in diesem Versuch vernachlässigt werden.

**ACHTUNG: Benutzen Sie bei allen Versuchsdurchführungen NUR die Spannungsmessung des Multimeters. Versehentliches Wechseln des Messbetriebs während der Messung auf andere Modi kann das Multimeter zerstören.**

### a) Vermessung der Batterien

Schließen Sie die Batterie nacheinander parallel an die gegebenen Widerstände an und bestimmen Sie für die unterschiedlichen Widerstände die Klemmenspannung. Benutzen Sie für  $R \rightarrow \infty$  den Innenwiderstand des Multimeters. Dieser beträgt bei üblichen Multimetern mindestens  $1\text{M}\Omega$ . *Die Messung muss insbesondere bei kleinen Widerstandswerten so kurz wie möglich gehalten, damit man die Batterie durch die Messung nicht zu stark entleert.*

$R (\Omega)$	330	470	680	1000	1500	$\infty$				
$R_{\text{gemessen}}(\Omega)$										
$U_{\text{Bat1}} (\text{V})$										
$I_{\text{Bat1}} (\text{mA})$										
$U_{\text{Bat2}} (\text{V})$										
$I_{\text{Bat2}} (\text{mA})$										

### b) Bestimmung der ESQ mit der Batterie

Bauen Sie den Versuch wie in Abbildung 5a beschrieben auf und verwenden Sie die Batterie mit der höheren Leerlaufspannung aus Durchführung a). Nehmen Sie die U-I-Kennlinie für die unterschiedlichen Widerstandswerte auf. Berechnen Sie mit Hilfe der gemessenen Größen den Ersatzinnenwiderstand  $R_i$ .

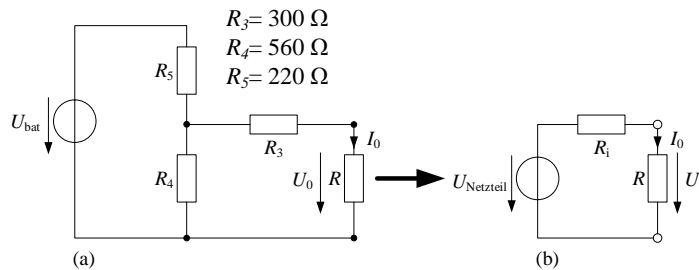


Abbildung 5: Versuchsaufbau Teil b)

$R \text{ (}\Omega\text{)}$	100	150	220	330	470	680	$\infty$			
$R_{\text{gemessen}}(\Omega)$										
$U_0 \text{ (V)}$										
$I_0 \text{ (mA)}$										

Bauen Sie die Ersatzspannungsquelle mit dem Labornetzteil<sup>5</sup> sowie dem von Ihnen berechneten Innenwiderstand  $R_i$  nach Abbildung 5b auf und wiederholen Sie die Messung. Welche Spannung  $U_{\text{Netzteil}}$  soll am Netzteil eingestellt werden, damit die Klemmenspannung der Schaltung (b) mit dem Widerstand  $R_i$  sich wie die Klemmenspannung der Schaltung (a) verhält?

$R \text{ (}\Omega\text{)}$	100	150	220	330	470	680	$\infty$			
$U_0 \text{ (V)}$										
$I_0 \text{ (mA)}$										

$R_2 =$  \_\_\_\_\_

### c) Parallele Quellen

Durch die von Ihnen ermittelten Größen, kann der eine Teil des Netzwerks vereinfachend durch das Labornetzteil und einen Widerstand angenähert werden. Verschalten Sie nun den Aufbau aus Durchführung b) nach Abbildung 6 und vergleichen Sie die Stromaufteilung bei unterschiedlichen Lastwiderständen. Die Strommessung kann indirekt durch Messung der Spannungen  $U_{R_i}$  und  $U_{R_3}$  erfolgen.

<sup>5</sup> Das Labornetzteil darf an dieser Stelle als ideale Spannungsquelle angesehen werden.

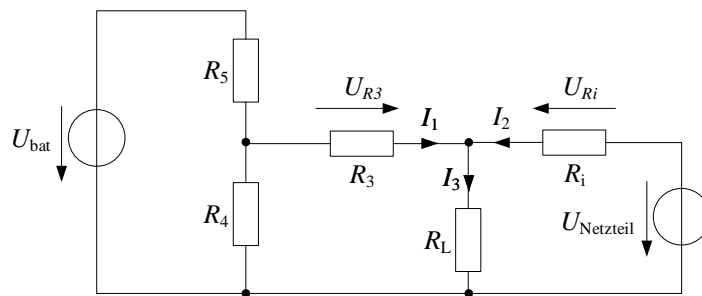


Abbildung 6: Versuchsaufbau Teil c)

$R_L$ ( $\Omega$ )	100	150	220	330	470	680				
$U_{R3}$ (V)										
$U_{Ri}$ (V)										
$I_1$ (mA)										
$I_2$ (mA)										

$R_{2,gemessen} =$  \_\_\_\_\_ ,  $R_{3,gemessen} =$  \_\_\_\_\_

### 3. Aufgabe: Auswertung

- Zeichnen Sie aus den gemessenen Werten die U-I-Kennlinien der beiden Batterien und bestimmen Sie die Innenwiderstände. Wie lässt sich das Verhalten der beiden Batterien mathematisch beschreiben?
- Bestimmen Sie die U-I-Kennlinien der Spannungsquelle und der Ersatzspannungsquelle mit Labornetzteil aus der Abbildung 5. Wo liegen die Unterschiede und worauf sind diese zurückzuführen?
- Zeichnen Sie das Verhalten der Ströme der parallelen Quellen gegenüber dem Lastwiderstand aus Durchführung c) und die I-R-Kennlinie der einzelnen Spannungsquellen aus Durchführung b) in ein Diagramm. Erklären Sie warum die Kennlinien aus der Durchführung b) und c) nicht übereinstimmen, obwohl es sich dabei um die gleichen Quellen handelt.

### 4. Aufgabe: Fazit

Treffen Sie eine kurze Aussage über die Übereinstimmung der theoretischen Kennlinien mit den Messwerten.